

 <b>CEU</b> Universidad Cardenal Herrera	<b>Mecánica de suelos y cimentaciones especiales</b>	<b>Pág. 1 de 10</b>
	<b>Dimensionamiento de zapata rígida</b>	<b>Marzo 2012</b>
<b>Referencias</b>	<b>Cálculos/ Resultados</b>	
	<p><b><u>Enunciado del problema:</u></b></p> <p>Se quiere dimensionar una zapata cuadrada en la que las acciones transmitidas por un pilar también cuadrado (de sección 0,40x0,40 m<sup>2</sup>) son las siguientes:</p> <p>Acciones permanentes:</p> <p style="text-align: right;">Axil acciones permanentes, <math>N_g = 900kN</math></p> <p style="text-align: right;">Momento acciones permanentes, <math>M_g = 200kNm</math></p> <p style="text-align: right;">Cortante acciones permanentes, <math>V_g = 60kNm</math></p> <p>Acciones variables:</p> <p style="text-align: right;">Axil acciones variables, <math>N_q = 350kN</math></p> <p style="text-align: right;">Momento acciones variables, <math>M_q = 60kNm</math></p> <p style="text-align: right;">Cortante acciones variables, <math>V_q = 40kNm</math></p> <p>Dimensiones del pilar:</p> <p style="text-align: right;">Cuadrado, lado, <math>a = 0,40m</math></p> <p>El estudio geotécnico indica que deberá emplearse la siguiente tensión admisible del terreno:</p> <p style="text-align: right;">Tensión admisible, <math>\sigma_{adm} = 350kPa</math></p> <hr/> <p><b><u>Materiales y coeficientes de seguridad</u></b></p> <p><b><u>Acero B 500 SD</u></b></p> <p>EHE/08 Art.15.3</p> <p style="text-align: right;">Límite elástico característico, <math>f_{yk} = 500MPa</math></p> <p style="text-align: right;">Coeficiente minoración resistencia, <math>\gamma_s = 1,15</math></p> <p style="text-align: right;">Límite elástico de cálculo, <math>f_{yd} = 435MPa</math></p> <p style="text-align: right;">Módulo de deformación, <math>E_s = 2 \cdot 10^5 MPa</math></p> <p><b><u>Hormigón zapata y pilar HA-25/B/20/IIa</u></b></p> <p>EHE/08 Art.15.3 Art.10.2</p> <p style="text-align: right;">Resistencia a compresión característica, <math>f_{ck} = 25MPa</math></p> <p style="text-align: right;">Coeficiente minoración resistencia, <math>\gamma_c = 1,50</math></p> <p style="text-align: right;">Resistencia a compresión de cálculo, <math>f_{cd} = 16,7MPa</math></p> <p style="text-align: right;">Peso específico hormigón, <math>\rho_c = 25kN / m^3</math></p> <p><b><u>Coeficiente mayoración ponderado</u></b></p> <p>Si para obtener los esfuerzos de diseño (necesarios para armar la zapata), se multiplicasen las acciones características con los coeficientes de mayoración correspondientes, se podrían obtener resultados sin sentido (por ejemplo que se transmita al terreno una tensión mayor que la que puede soportar).</p>	

 <b>CEU</b> Universidad Cardenal Herrera	<b>Mecánica de suelos y cimentaciones especiales</b>	<b>Pág. 2 de 10</b>
	<b>Dimensionamiento de zapata rígida</b>	<b>Marzo 2012</b>
<b>Referencias</b>	<b>Cálculos/ Resultados</b>	

CTE SE  
Tabla 4.1

Por esa razón, se opta por obtener los esfuerzos a partir de las acciones características (sin mayorar) y a estos valores aplicarles un coeficiente de mayoración de acciones ponderado determinado como a continuación se indica.

Coeficiente mayoración acciones permanentes,  $\gamma_g = 1,35$

Coeficiente mayoración acciones variables,  $\gamma_q = 1,50$

Coeficiente de mayoración ponderado

$$\gamma_d = \frac{\gamma_g \cdot N_g + \gamma_q \cdot N_q}{N_g + N_q} = \frac{1,35 \cdot 900 + 1,50 \cdot 350}{900 + 350} = 1,39$$

### Estabilidad y tensiones transmitidas al terreno

Axil característico transmitido por el pilar

$$N = N_g + N_q = 900kN + 350kN = 1250kN$$

Momento característico transmitido por el pilar

$$M = M_g + M_q = 200kNm + 60kNm = 260kNm$$

Cortante característico transmitido por el pilar

$$V = V_g + V_q = 60kN + 40kN = 100kN$$

Para comenzar a tantear, se supone un canto de 0,60 m y se emplea la siguiente expresión:

$$\frac{N}{A^2} + h \cdot \rho_c \leq \sigma_{adm}$$

$$A \geq \sqrt{\frac{1250kN}{350kPa - 0,6m \cdot 25 \frac{kN}{m^3}}} = 1,93m$$

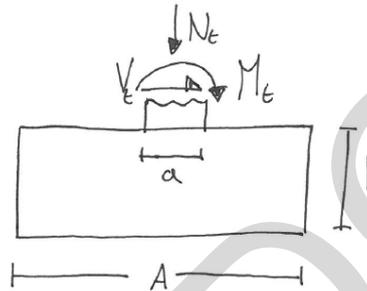
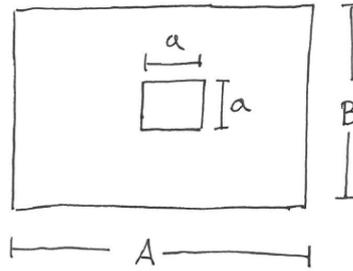
Por lo que redondeando el valor de A al alza, se comienza el tanteo, con una zapata de las siguientes dimensiones<sup>1</sup>:

Largo,  $A = 2,30m$

Ancho,  $B = 2,30m$

Canto,  $h = 0,60m$

<sup>1</sup> Como el alumno puede imaginarse, el problema se ha resuelto antes de redactarlo. Por lo que de una manera algo tramposa, se han dado en el primer tanteo las dimensiones correctas (tal y como se verá en el desarrollo del ejercicio) para evitar los inevitables tanteos. Lo que ha de servir al alumno para valorar las bondades de emplear herramientas electrónicas que automaticen los cálculos.



Vuelo máximo,  $v_{\max}$ ,

$$v_{\max} = A/2 - a/2 = 2,3/2 - 0,40/2 = 0,95m$$

EHE/08  
Art.58.2.1

Como,

$$v_{\max} < 2h$$

$$0,95m < 2 \cdot 0,6m = 1,2m$$

**Zapata rígida**

Peso de la zapata,  $W_{zapata}$ ,

$$W_{zapata} = A \cdot B \cdot h \cdot \gamma_c = (2,3 \cdot 2,3 \cdot 0,6m^3) \cdot 25 \frac{kN}{m^3} = 79,35kN$$

Acciones transmitidas al terreno,

$$N_t = N + W_{zapata} = 1250kN + 79,35kN = 1329,35kN$$

$$M_t = M + V \cdot h = 260kNm + 100kN \cdot 0,6m = 320kNm$$

Excentricidad del axil,

$$e = \frac{M_t}{N_t} = \frac{320kN \cdot m}{1329,35kN} = 0,24m$$

Excentricidad mínima que produce despegue,

$$e_{despegue} = \frac{A}{6} = 0,38m > e$$

**No despegue**

Excentricidad mínima que produce vuelco con factor de seguridad  $FS_{vuelco} = 1,50$

$$e_{vuelco} = \frac{1}{3}A = 0,77m > e$$

**No vuelca**

Como era de prever, la zapata al no despegar tampoco no vuelca.

Las tensiones transmitidas al terreno (máxima, media y mínima respectivamente):

$$\sigma_{\max} = \frac{N_t}{A \cdot B} + \frac{e \cdot N_t}{\frac{1}{12} A^3 \cdot B} \left( \frac{1}{2} A \right) = N_t \left( \frac{1}{A \cdot B} + \frac{6 \cdot e}{A^2 \cdot B} \right) = 409 \text{ kPa} \leq 1,25 \cdot \sigma_{adm} = 437 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{med} = \frac{N_t}{A \cdot B} = 251 \text{ kPa} \leq \sigma_{adm} = 350 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{\min} = N_t \left( \frac{1}{A \cdot B} - \frac{6 \cdot e}{A^2 \cdot B} \right) = 93 \text{ kPa} > 0$$

**Cumple hundimiento**

### Armado longitudinal (paralelo a la dimensión A)

En primer lugar se ha de determinar el canto útil.

EHE/08  
Art.37.2.4.1.

Teniendo en cuenta que se la clase de exposición es IIa, se considera que el nivel de control de ejecución no va a ser intenso y que se va a disponer hormigón de limpieza (por lo que la zapata no apoyará directamente sobre el terreno) el recubrimiento a considerar:

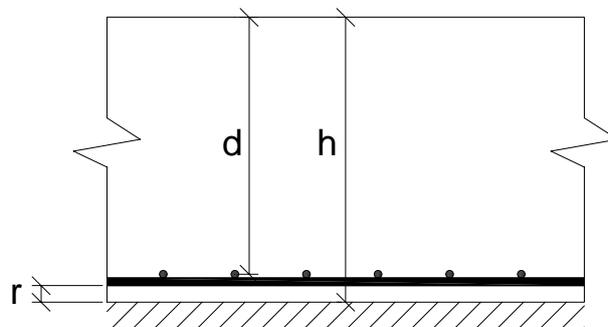
$$r = r_{\min} + \Delta r = 25 \text{ mm} + 10 \text{ mm} = 35 \text{ mm}$$

Además, se ha de adelantar qué diámetro de armadura se va a emplear, en este caso se utilizarán redondos,

$$\phi = 16 \text{ mm}$$

Canto útil, d

$$d = h - \left( r + \phi + \frac{\phi}{2} \right) = 600 - (35 + 16 + 8) = 544 \text{ mm} = 0,544 \text{ m}$$



Si la zapata no despega, no se deberá tener en cuenta en la determinación del armado el peso de la zapata. Es decir, las tensiones  $\sigma_0, \sigma_1, \sigma_2$  representadas en la siguiente figura no incluyen la tensión sobre el terreno debido al peso de la zapata:

$$\sigma_p = h \cdot \rho_s = 0,6m \cdot 25 \frac{kN}{m^3} = 15kPa$$

Por lo tanto  $\sigma_1$  y  $\sigma_2$  se calculan como:

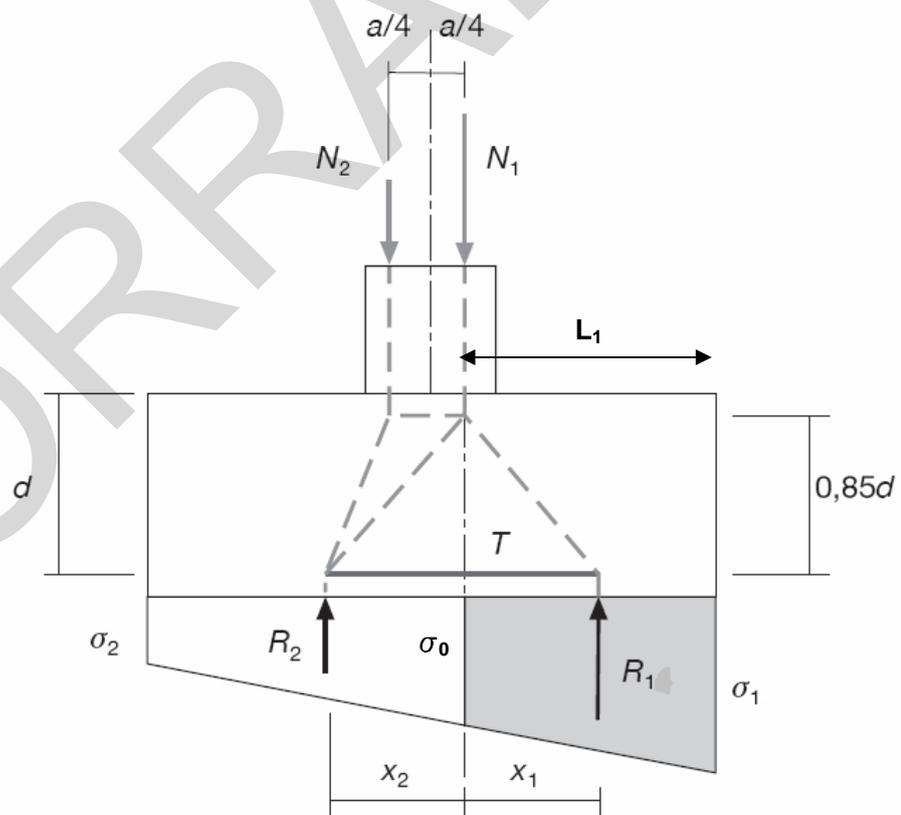
$$\sigma_1 = \sigma_{\max} - \sigma_p = 409kPa - 15kPa = 394kPa$$

$$\sigma_2 = \sigma_{\min} - \sigma_p = 251kPa - 15kPa = 236kPa$$

Tal y como se ve en la anterior figura,  $\sigma_0$  es la tensión a una distancia  $L_1$  del extremo más comprimido.

$$L_1 = \frac{A}{2} - \frac{a}{4} = \frac{2,3m}{2} - \frac{0,40m}{4} = 1,05m$$

EHE/08  
Art.58.4.1



	Mecánica de suelos y cimentaciones especiales	Pág. 6 de 10
	Dimensionamiento de zapata rígida	Marzo 2012
Referencias	Cálculos/ Resultados	

Por semejanza de triángulos:

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{A} = \frac{\sigma_1 - \sigma_0}{L_1}$$

$$\sigma_0 = \sigma_1 - \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{A} L_1 = 394 - \frac{394 - 78}{2,3} 1,05 = 250 \text{ kPa}$$

Por lo que la resultante  $R_1$  por metro de sección transversal:

$$R_1 = L_1 \cdot \sigma_0 + \frac{1}{2} L_1 (\sigma_1 - \sigma_0) = 1,05 \cdot 250 + \frac{1}{2} 1,05 (394 - 250) = 338 \text{ kN / m}$$

Se hace notar que la resultante se obtiene por metro de sección transversal por esa razón la anterior expresión no está multiplicada por el ancho B.

$R_1$  se aplicará en  $x_1$  (centro de gravedad del área sombreada)

$$x_1 = \frac{[L_1 \cdot \sigma_0] \frac{1}{2} L_1 + \left[ \frac{1}{2} L_1 (\sigma_1 - \sigma_0) \right] \frac{2}{3} L_1}{R_1} = \frac{\frac{1}{2} \sigma_0 L_1^2 + \frac{1}{3} (\sigma_1 - \sigma_0) L_1^2}{R_1}$$

$$= \frac{\frac{1}{2} 250 \cdot 1,05^2 + \frac{1}{3} (394 - 250) 1,05^2}{338} = 0,564 \text{ m}$$

Por lo que el tirante estará sometido a una tracción  $T$ , que tal y como se observa en la anterior figura cuyo valor se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$T = \frac{R_1}{0,85d} x_1 = \frac{338}{0,85 \cdot 0,541} 0,564 = 414,9 \text{ kN / m}$$

EHE/08  
Art.58.4.1.1

Para determinar el armado, se deberá mayorar la tracción  $T$  para obtener el valor de diseño  $T_d$

$$T_d = \gamma_d \cdot T = 1,39 \cdot 414,9 = 577,5 \text{ kN / m}$$

Por lo que la armadura longitudinal necesaria por metro de sección transversal será:

$$T_d = A_s \cdot f_{yd}$$

$$f_{yd} \leq 400 \text{ MPa}$$

$$A_s = \frac{T_d}{f_{yd}} = \frac{577,5}{400 \cdot 10^3} = 1,443 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^2}{\text{m}} = 14,43 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

EHE/08  
Art.58.4.1.1

Para dimensionar el tirante, la norma limita el límite elástico ( $f_{yd}$ ) a 400 MPa.

	Mecánica de suelos y cimentaciones especiales	Pág. 7 de 10
	Dimensionamiento de zapata rígida	Marzo 2012
Referencias	Cálculos/ Resultados	

Cuantía mínima geométrica,  $A_{s, \min \text{ geo}}$

EHE/08 Tabla  
42.3.5

La actual EHE/08 permite que la cuantía geométrica mínima sea de  $0,9 \cdot 10^{-3} \cdot A_c$ , sin embargo a juicio de los autores de este ejercicio para zapatas aisladas es más adecuado mantener la limitación anterior, es decir  $1,8 \cdot 10^{-3} \cdot A_c$ , siendo  $A_c$  el área bruta sección hormigón,

$$A_c = 1m \cdot 0,6m = 0,6m^2 = 600cm^2 / m$$

$$A_{s, \min \text{ geo}} = 1,8 \cdot 10^{-3} \cdot A_c = 1,8 \cdot 10^{-3} \cdot 100 \cdot 60 = 10,8cm^2 / m$$

EHE/08  
Art.42.3.2

Cuantía mínima mecánica,  $A_{s, \min \text{ mec}}$

$$A_{s, \min \text{ mec}} = 0,04 \cdot A_c \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,04 \cdot 100 \cdot 60 \frac{16,67}{443,48} = 9,20cm^2 / m$$

Como  $A_s \geq A_{s, \min \text{ geo}}$  y  $A_s \geq A_{s, \min \text{ mec}}$  se adopta  $A_s$  como armado.

$$A_s = 13,28 \frac{cm^2}{m}$$

El armado longitudinal se resolverá con  $\varnothing 16$ , por lo que el número de redondos a emplear será:

$$n = \frac{A_s}{\frac{\pi \cdot \phi^2}{4}} = \frac{14,43 \frac{cm^2}{m}}{\frac{\pi \cdot 1,6^2}{4} \frac{cm^2}{barra}} = 7,18 \frac{barras}{m}$$

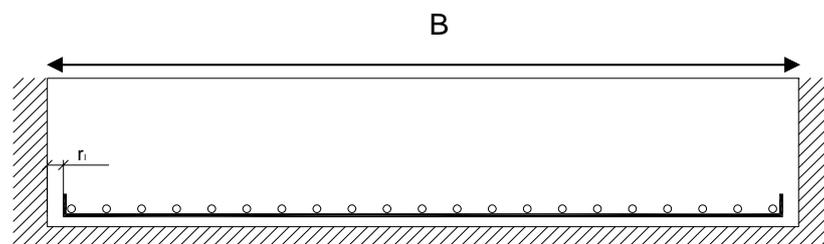
Por lo que se tendrán que espaciar las barras

$$e_{barras} = 100 / 7,18 = 14cm$$

EHE/08  
Art.37.2.4.1

Para determinar el número de los redondos en la sección, se ha de tener en cuenta que como las paredes de la zapata se hormigonan contra el terreno, el recubrimiento,  $r_l$ , a considerar es,

$$r_l = 70mm$$



Por lo que la distancia en la que hay que repartir las barras del armado será:

$$B - 2 \cdot r_l - 3\phi = 2,3 - 2 \cdot 0,07 - 3 \cdot 0,016 = 2,112m$$

Redondeando al entero inmediatamente superior, el número de barras necesario será:

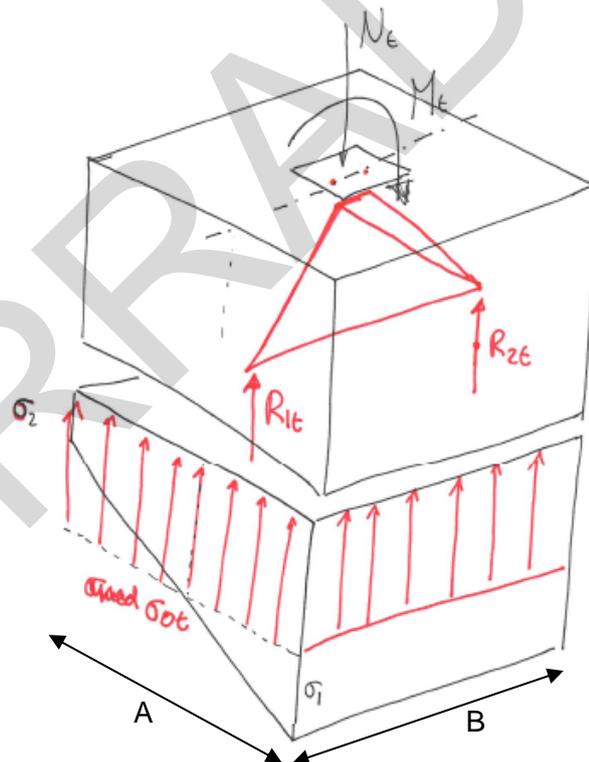
$$n_{barras} = 2,112m \cdot 7,18 \frac{\text{barras}}{m} = 16 \text{ barras}$$

Por lo tanto:

**ARMADO LONGITUDINAL: Ø16 cada 14 cm**  
**(16Ø16)**

### Armado transversal (paralelo a la dimensión B)

A efectos de calcular el armado transversal, consideraremos que la carga se reparte uniformemente con una tensión media  $\sigma_{or}$ , tal y como se justifica en la siguiente figura:



Como la zapata no despega, para determinar las tensiones en la misma no hay que considerar el peso propio del hormigón por lo que:

$$\sigma_p = h \cdot \rho_s = 0,6m \cdot 25 \frac{kN}{m^3} = 15kPa$$

$$\sigma_{or} = \sigma_{med} - \sigma_p = 251kPa - 15kPa = 236kPa$$

	Mecánica de suelos y cimentaciones especiales	Pág. 9 de 10
	Dimensionamiento de zapata rígida	Marzo 2012
Referencias	Cálculos/ Resultados	

La distancia  $L_{1r}$  se calcula de manera análoga al anterior caso (como la zapata es cuadrada las distancias coinciden)

$$L_{1r} = \frac{B}{2} - \frac{a}{4} = \frac{2,3m}{2} - \frac{0,40m}{4} = 1,05m$$

Por lo que la resultante  $R_{1r}$  por metro de sección transversal:

$$R_{1r} = L_{1r} \cdot \sigma_{0r} = 1,05 \cdot 236 = 248kN / m$$

Se hace notar que la resultante se obtiene por metro de sección transversal por esa razón la anterior expresión no está multiplicada por el ancho B.

Por lo que el punto de aplicación de  $R_{1r}$  será:

$$x_{1r} = \frac{1}{2} L_{1r} = 0,525m$$

Por lo que el tirante estará sometido a una tracción  $T_t$ , se obtiene a partir de la siguiente expresión:

EHE/08  
Art.58.4.1

$$T_t = \frac{R_{1r}}{0,85d} x_{1r} = \frac{248}{0,85 \cdot 0,541} \cdot 0,525 = 283,3kN / m$$

Para determinar el armado, se deberá mayorar la tracción  $T_t$  para obtener el valor de diseño  $T_{td}$

$$T_{td} = \gamma_d \cdot T_t = 1,39 \cdot 283,3 = 394,3kN / m$$

Por lo que la armadura longitudinal necesaria por metro de sección transversal será:

$$T_{td} = A_{st} \cdot f_{yd}$$

$$f_{yd} \leq 400MPa$$

$$A_{st} = \frac{T_{td}}{f_{yd}} = \frac{394,3}{400 \cdot 10^3} = 0,986 \cdot 10^{-3} \frac{m^2}{m} = 9,86 \frac{cm^2}{m}$$

EHE/08 Tabla  
42.3.5  
(véase pag. 7)

Cuantía mínima geométrica,  $A_{s,min geo}$

$$A_c = 1m \cdot 0,6m = 0,6m^2 = 600cm^2 / m$$

$$A_{s,min geo} = 1,8 \cdot 10^{-3} \cdot A_c = 1,8 \cdot 10^{-3} \cdot 100 \cdot 60 = 10,8cm^2 / m$$

EHE/08  
Art.42.3.2

Cuantía mínima mecánica,  $A_{s,min mec}$

$$A_{s,min mec} = 0,04 \cdot A_c \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,04 \cdot 100 \cdot 60 \frac{16,67}{443,48} = 9,20cm^2 / m$$

Como  $A_{st} < A_{s,min\ geo}$  y  $A_s \geq A_{s,min\ mec}$  se adopta  $A_{s,min\ geo}$  como armado.

$$A_{st} = 10,8 \frac{cm^2}{m}$$

El armado longitudinal se resolverá con  $\varnothing 16$ , por lo que el número de redondos a emplear será:

$$n = \frac{A_s}{\frac{\pi \cdot \phi^2}{4}} = \frac{10,8 \frac{cm^2}{m}}{\frac{\pi \cdot 1,6^2}{4} \frac{cm^2}{barra}} = 5,37 \frac{barras}{m}$$

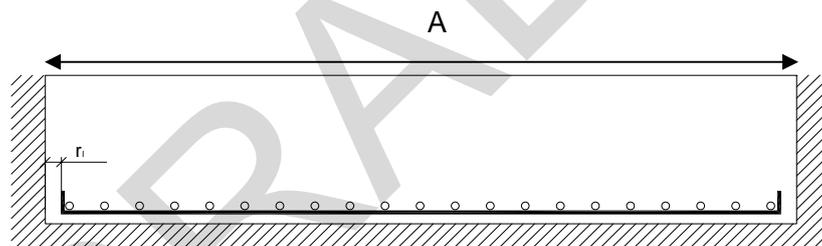
Por lo que se tendrán que espaciar las barras

$$e_{barras} = 100 / 5,37 = 18cm$$

EHE/08  
Art.37.2.4.1

El recubrimiento lateral,  $r_l$ , a considerar es,

$$r_l = 70mm$$



Por lo que la distancia en la que hay que repartir las barras del armado será:

$$A - 2 \cdot r_l - 3\phi = 2,3 - 2 \cdot 0,07 - 3 \cdot 0,016 = 2,112m$$

Redondeando al entero inmediatamente superior, el número de barras necesario será:

$$n_{barras} = 2,112m \cdot 5,37 \frac{barras}{m} = 12 \text{ barras}$$

Por lo tanto:

**ARMADO LONGITUDINAL:  $\varnothing 16$  cada 18 cm**  
**(12 $\varnothing 16$ )**