



UNIDAD DIDÁCTICA V. REGIONES D Y ELEMENTOS DE CONTENCIÓN Y CIMENTACIÓN

LECCIÓN 21.3

DISEÑO DE ZAPATAS. EJEMPLOS DE APLICACIÓN

DPTO. DE INGENIERÍA MINERA Y CIVIL
ÁREA DE INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

ZAPATA AISLADA RÍGIDA

ENUNCIADO

En una nave industrial de 25 m de luz, se pretende diseñar las zapatas a las que llega un soporte IPE 360 de 7 m de altura con placa de base de $560 \times 370 \text{ mm}^2$, y un cerramiento compuesto por placas de hormigón de 12 cm de espesor. Las hipótesis adoptadas para el cálculo de esfuerzos arrojan los siguientes resultados para la sección de arranque del soporte:

- 1) *Dimensionamiento de la zapata según la presión admisible del terreno.*

Se combinan las acciones sin mayorar:

N (kN)	M (kN m)	V (kN)
35,8	87,2	26,5

- 2) *Dimensionamiento de la zapata en hip. de levantamiento por el viento.*

Se combinan las acc. permanentes sin mayorar y el viento mayorado:

N (kN)	M (kN m)	V (kN)
-12,5	95,3	31,6

- 3) *Dimensionamiento de la armadura de la zapata.*

Se combinan las acciones mayoradas:

N_d (kN)	M_d (kN m)	V_d (kN)
56,2	137,8	41,8

Datos:

- Presión admisible del terreno $\sigma_{adm} = 0,1 \text{ MPa}$
- Hormigón HA-25/B/20/IIa
- Acero de armaduras B 400 SD

RESOLUCIÓN

Cálculos previos:

Hormigón → $f_{cd} = 25/1,5 = 16,67$ MPa

Acero → $f_{yd} = 400/1,15 = 347,83$ Mpa

Recubrim. geométrico $r_{nom} = r_{mín} + \Delta r = 20 + 10 = 30$ mm (Amb. IIa)

Recubrimiento mecánico $d' = 30 + 16 = 46$ mm (con barras Ø16)

Nota: Aunque los valores numéricos se presenten en el desarrollo del problema con dos o tres decimales, el problema se ha resuelto con Excel, por lo que internamente se ha operado con una precisión de 15 dígitos.

DIMENSIONES DE LA ZAPATA

Primeramente hemos de obtener los esfuerzos a nivel de la cimentación:

- Esfuerzo axil: $N = N_{estr} + N_{zap} + N_{cerr} = N_{estr} + 25abh + 25 \cdot 0,12 \cdot 7a$ [kN]
siendo a, b dimensiones en planta de la zapata [m]
 h canto de la zapata [m]

- Momento flector: $M = M_{estructura} + Vh$ [kN m]

Como estos esfuerzos son función de las dimensiones de la zapata, el proceso de resolución es iterativo, por lo que resulta necesario ir probando distintas dimensiones hasta converger a una solución satisfactoria.

Tras varias iteraciones, obtenemos los siguientes resultados:

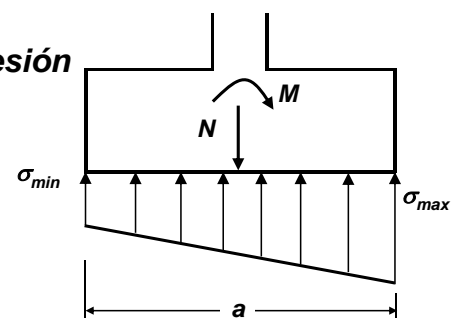
- Toda la base comprimida (Caso $M/N \leq a/6$)

Dimensionamiento de la zapata según la presión admisible del terreno:

Dimensiones $2,80 \times 2,80 \times 0,70$ m³

$M = 105,8$ kN m ; $N = 231,8$ kN

$M/N = 0,46 < a/6 = 0,47$ m



$$\sigma_{\max} = \frac{N}{ab} + \frac{6M}{a^2b} = 0,058 \text{ MPa} < \sigma_{adm} = 0,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\min} = \frac{N}{ab} - \frac{6M}{a^2b} = 0,01 \geq 0$$

ZAPATA AISLADA RÍGIDA

Dimensionamiento de la zapata en hipótesis de levantamiento por el viento:

Dimensiones $3,15 \times 3,15 \times 0,70 \text{ m}^3$

$M = 117,4 \text{ kN m}$; $N = 227,3 \text{ kN}$

$M/N = 0,52 < a/6 = 0,53 \text{ m}$

$$\sigma_{\max} = \frac{N}{ab} + \frac{6M}{a^2b} = 0,045 \text{ MPa} < \sigma_{adm} = 0,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\min} = \frac{N}{ab} - \frac{6M}{a^2b} = 0,00 \geq 0$$

ZAPATA AISLADA RÍGIDA

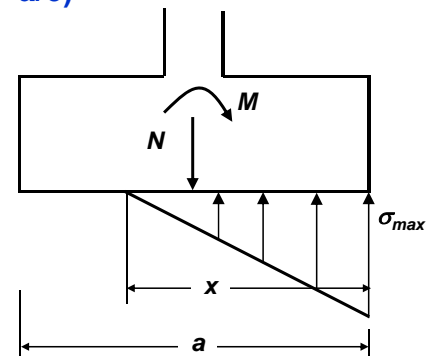
• Sólo parte de la base comprimida (Caso $M/N > a/6$)

Dimensionamiento de la zapata según la presión admisible del terreno:

Dimensiones $2,25 \times 2,25 \times 0,70 \text{ m}^3$

$M = 105,8 \text{ kN m}$; $N = 171,6 \text{ kN}$

$M/N = 0,62 > a/6 = 0,38 \text{ m}$



$$\sigma_{\max} = \frac{2N}{3b \left(\frac{a}{2} - \frac{M}{N} \right)} = 0,1 \text{ MPa} \leq \sigma_{adm} = 0,1 \text{ MPa}$$

$$x = \frac{2N}{\sigma_{\max} b} = 1,53 \text{ m} > \frac{2}{3} a = 1,5 \text{ m}$$

ZAPATA AISLADA RÍGIDA

Dimensionamiento de la zapata en hip. de levantamiento por el viento:

Dimensiones 2,65×2,65×0,70 m³

M = 117,42 kN m ; N = 166,04 kN

M/N = 0,71 > a/6 = 0,44 m

$$\sigma_{\max} = \frac{2N}{3b \left(\frac{a}{2} - \frac{M}{N} \right)} = 0,07 \text{ MPa} < \sigma_{\text{adm}} = 0,1 \text{ MPa}$$

$$x = \frac{2N}{\sigma_{\max} b} = 1,85 \text{ m} \geq \frac{2}{3} a = 1,77 \text{ m}$$

Para diseñar con distribución triangular de presiones, debe prestarse atención al caso de zapatas en el que, sobre alguna zona de la cara superior, actúe un peso (rellenos, soleras, etc.) superior a la reacción del terreno sobre esa zona, pues al presentar momentos de signo inverso a los analizados, necesitarían armadura en cara superior o verificar que las tracciones pueden resistirse con el hormigón. En general, las zapatas sometidas a momentos deben ser diseñadas para que las tensiones del terreno sobre ellas sean de compresión o nulas. En otro caso deben verificarse muy cuidadosamente los valores realmente posibles de las combinaciones de acciones. Así pues, bajo este criterio adoptamos el siguiente dimensionamiento:

Dimensiones 3,15×3,15×0,70 (6,95 m³)

7

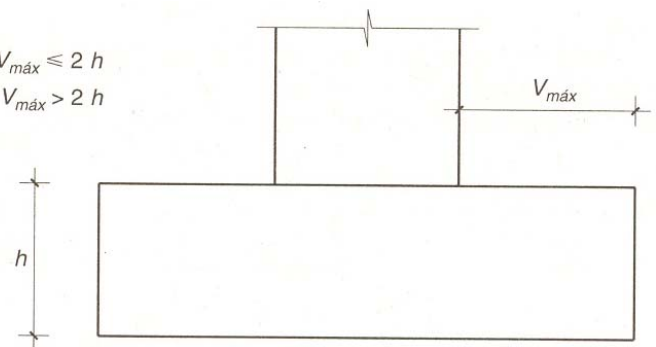
A. TOMÁS – Área Ingeniería de la Construcción – Dpto. de Ingeniería Minera y Civil – UPCT

ZAPATA AISLADA RÍGIDA

CLASIFICACIÓN DE LA ZAPATA

RÍGIDO $V_{\max} \leq 2h$
FLEXIBLE $V_{\max} > 2h$

$$\begin{aligned} \text{Vuelo} &= (3,15 - 0,36)/2 = \\ &= 1,395 \text{ m} \leq 2h = 1,40 \text{ m} \\ &\Rightarrow \text{Zapata RÍGIDA} \end{aligned}$$



Fuente: EHE-08, 2011

DIMENSIONAMIENTO DE LA ARMADURA

* OBTENCIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE PRESIONES BAJO LA ZAPATA

Para dimensionar la armadura hemos de utilizar las combinaciones de acciones mayoradas, es decir, en Estados Límite Últimos (ELU), cuyos esfuerzos son los proporcionados en el enunciado:

$$N_d = 56,2 \text{ kN}$$

$$M_d = 137,8 \text{ kN m}$$

$$V_d = 41,8 \text{ kN}$$

8

A. TOMÁS – Área Ingeniería de la Construcción – Dpto. de Ingeniería Minera y Civil – UPCT

ZAPATA AISLADA RÍGIDA

Esta vez, para la obtención de los esfuerzos a nivel de cimentación, sólo hemos de considerar las acciones transmitidas por la estructura, por lo que no tenemos en cuenta el peso propio de la zapata en el cálculo del esfuerzo axil, aunque sí el peso del cerramiento ($25 \cdot 0,12 \cdot 3,15 \cdot 7 = 66,2$ kN) sin mayorar por ser efecto favorable.

Con estos nuevos esfuerzos de cálculo estamos en el caso $M/N > a/6$:

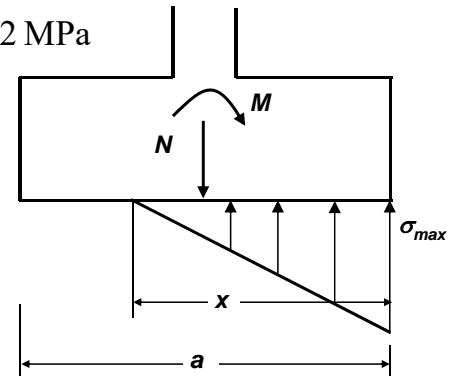
Dimensiones $3,15 \times 3,15 \times 0,70$ m³

$M = 167,1$ kN m ; $N = 122,4$ kN

$M/N = 1,37 > a/6 = 0,53$ m

$$\sigma_{\max} = \frac{2N}{3b \left(\frac{a}{2} - \frac{M}{N} \right)} = 0,124 \text{ MPa} \leq 2\sigma_{adm} = 0,2 \text{ MPa}$$

$$x = \frac{2N}{\sigma_{\max} b} = 0,63 \text{ m}$$



ZAPATA AISLADA RÍGIDA

* OBTENCIÓN DE LA ARMADURA DE CÁLCULO

Para zapatas rectangulares sometidas a flexión compuesta recta se propone el modelo representado en la figura:

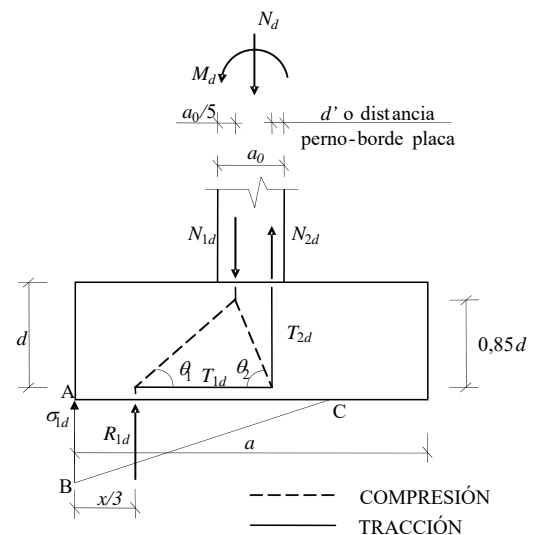
La armadura principal se obtendrá para resistir la tracción T_{1d} indicada en el modelo, que resulta:

$$T_{1d} = \frac{R_{1d}}{\tan \theta_1} = A_s f_{yd}$$

En el método del modelo de bielas y tirantes, debe ser $f_{yd} \leq 400$ MPa.

Cambiando las unidades a N y m obtenemos:

$$R_{1d} = \frac{1}{2} x \sigma_{1d} \cdot 1 = 38841 \text{ N/ml}$$



Fuente: Martí, Sánchez y Tomás, 2006

ZAPATA AISLADA RÍGIDA

CONSTRUCCIÓN
EN HORMIGÓN
1º curso Máster
Ing. de Caminos

LECCIÓN 21.3

EJEMPLOS DE APLICACIÓN.
DISEÑO DE ZAPATAS

11

El valor de la $\tan \theta_1$ puede establecerse por consideraciones trigonométricas resultando la siguiente expresión:

$$\tan \theta_1 = \frac{0,85d}{\frac{a-a_0}{2} + \frac{a_0}{5} - \frac{x}{3}} = 0,464$$

siendo $d = h - d' = 0,70 - 0,046 = 0,654 \text{ m}$

$a = 3,15 \text{ m}$

$a_0 = 0,56 \text{ m}$ (ancho de la placa de base)

Por tanto, la armadura principal en la zapata resulta:

$$T_{1d} = \frac{R_{1d}}{\tan \theta_1} = 83665 \text{ N/ml} = A_s f_{yd} \Rightarrow A_s = \frac{T_{1d}}{f_{yd}} = \boxed{241 \text{ mm}^2/\text{ml}}$$

ZAPATA AISLADA RÍGIDA

CONSTRUCCIÓN
EN HORMIGÓN
1º curso Máster
Ing. de Caminos

LECCIÓN 21.3

EJEMPLOS DE APLICACIÓN.
DISEÑO DE ZAPATAS

12

La armadura vertical que soporta las tracciones en el soporte se obtendrá para resistir la tracción T_{2d} indicada en el modelo. En este caso, como el soporte no es de hormigón sino metálico, esta tracción será la que tengan que soportar los pernos de anclaje de la base del pilar que se disponen embebidos en el hormigón de la zapata. Si adoptamos como distancia de los pernos al borde de la placa el mismo valor que para d' , el valor de esta fuerza de tracción es:

$$T_{2d} = \frac{M_d}{a_0 - d' - \frac{a_0}{5}} - \frac{N_d}{2} = 354397 \text{ N} = 354,4 \text{ kN}$$

Este modelo de bielas y tirantes propuesto es válido si se cumple la siguiente comprobación del nudo donde llega la fuerza de compresión N_{1d} :

$$\sigma_{1cd} = \frac{N_d + T_{2d}}{2 \frac{a_0}{5} b_0} = 5,75 \text{ MPa} \leq f_{cd} = 16,67 \text{ MPa}$$

Si esta comprobación no fuese válida habría que proponer un valor superior a $a_0/5$ (p.ej. $a_0/4$ ó $a_0/3$), o localizar exactamente el punto de aplicación de la compresión, o modificar las dimensiones de la sección del pilar o de la placa de anclaje, y volver a dimensionar la armadura.

* OBTENCIÓN DE LA ARMADURA MÍNIMA

- Cuantía mecánica mínima:

$$A_s \geq 0,04 A_c \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,04 \cdot 700 \cdot 1000 \cdot \frac{16,67}{347,83} = 1342 \text{ mm}^2 / \text{ml}$$

- Cuantía geométrica mínima:

En zapatas con acero B 400, es el 1^o/₁₀₀ de la sección bruta de hormigón

$$0,001 A_c = 0,001 \cdot 700 \cdot 1000 = 700 \text{ mm}^2/\text{ml}$$

Por tanto, el mayor de los tres valores es 1342 mm²/ml

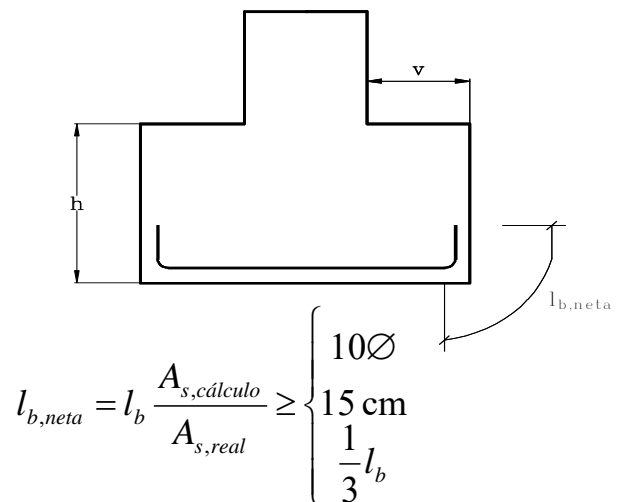
La separación entre barras en 1 m es:

$$Sep = \frac{100 \text{ cm}}{\text{n}^\circ \text{ barras}} \quad \text{n}^\circ \text{ barras} = \frac{A_s}{\pi \varnothing^2 / 4}$$

$$1342 \text{ mm}^2/\text{ml} \Rightarrow \boxed{\varnothing 16/14 \text{ cm (1436 mm}^2/\text{ml)}}$$

* ANCLAJE DE LA ARMADURA

La armadura se anclará según los criterios establecidos en el artículo 69º de la EHE-08. La longitud neta de anclaje ($l_{b, \text{neto}}$) se contará a partir del punto final de la parte recta de la barra y se llevará a partir de ese punto dicha longitud tal que no podrá adoptar valores inferiores al mayor de los tres siguientes:



$$l_{b, \text{neto}} = l_b \frac{A_{s, \text{cálculo}}}{A_{s, \text{real}}} \geq \begin{cases} 10\varnothing \\ 15 \text{ cm} \\ \frac{1}{3} l_b \end{cases}$$

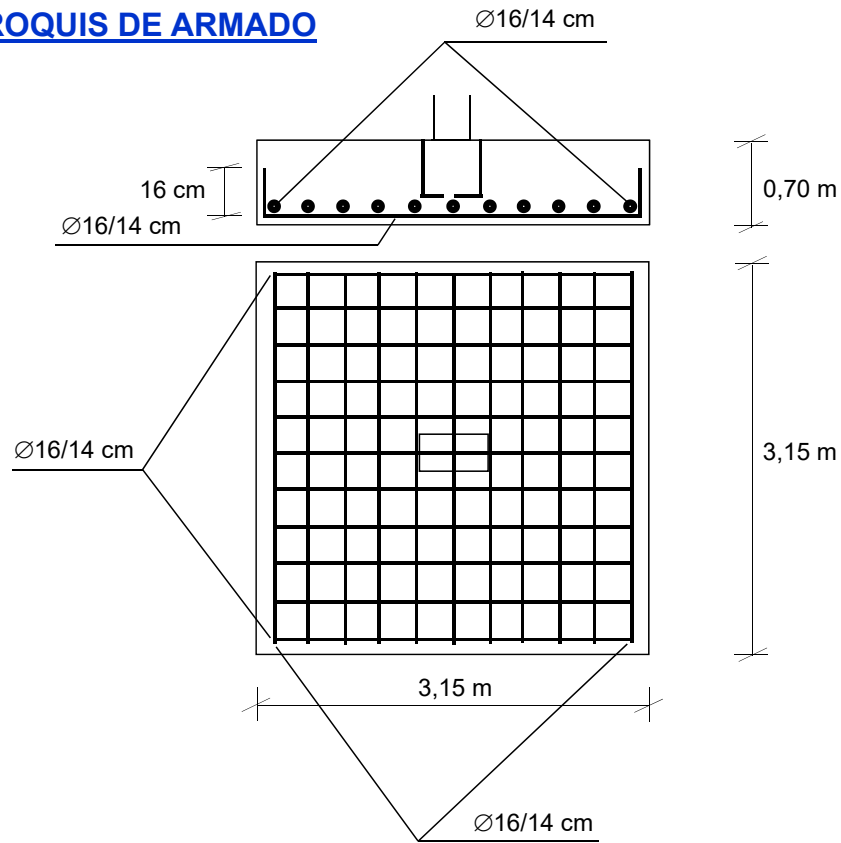
siendo: l_b longitud básica de anclaje para posición I
 $A_{s, \text{cálculo}}$ armadura estricta de cálculo
 $A_{s, \text{real}}$ armadura realmente dispuesta, y
 \varnothing diámetro de la barra.

Para hormigón HA-25, barras de diámetros $\varnothing 16$ y acero B 400 SD, la longitud básica de anclaje es $l_b = 32 \text{ cm}$

$$l_{b, \text{neto}} = l_b \frac{A_{s, \text{cálculo}}}{A_{s, \text{real}}} = 32 \frac{242}{1436} = 5,4 \text{ cm} \geq \begin{cases} 10\varnothing = 16 \text{ cm} \\ 15 \text{ cm} \\ \frac{1}{3} l_b = 11 \text{ cm} \end{cases} \Rightarrow 16 \text{ cm}$$

ZAPATA AISLADA RÍGIDA

* CROQUIS DE ARMADO



ENUNCIADO

En una nave industrial de 25 m de luz, se pretende diseñar las zapatas a las que llega un soporte IPE 360 de 7 m de altura con placa de base de $560 \times 370 \text{ mm}^2$, y un cerramiento compuesto por placas de hormigón de 12 cm de espesor. Las hipótesis adoptadas para el cálculo de esfuerzos arrojan los siguientes resultados para la sección de arranque del soporte:

- 1) *Dimensionamiento de la zapata según la presión admisible del terreno.*

Se combinan las acciones sin mayorar, es decir, en ELS:

N (kN)	M (kN m)	V (kN)
35,8	87,2	26,5

- 2) *Dimensionamiento de la zapata en hip. de levantamiento por el viento.*

Se combinan las acc. permanentes sin mayorar y el viento mayorado:

N (kN)	M (kN m)	V (kN)
-12,5	95,3	31,6

- 3) *Dimensionamiento de la armadura de la zapata.*

Se combinan las acciones mayoradas, es decir, en ELU:

N_d (kN)	M_d (kN m)	V_d (kN)
56,2	137,8	41,8

Datos:

- Presión admisible del terreno $\sigma_{adm} = 0,1 \text{ MPa}$
- Hormigón HA-25/B/20/IIa
- Acero de armaduras B 400 SD

17

A. TOMÁS – Área Ingeniería de la Construcción – Dpto. de Ingeniería Minera y Civil – UPCT

RESOLUCIÓN

Cálculos previos:

Hormigón $\rightarrow f_{cd} = 25/1,5 = 16,67 \text{ MPa}$

Acero $\rightarrow f_{yd} = 400/1,15 = 347,83 \text{ Mpa}$

Recubrim. geométrico $r_{nom} = r_{mín} + \Delta r = 20 + 10 = 30 \text{ mm}$ (Amb. IIa)

Recubrimiento mecánico $d' = 30 + 16 = 46 \text{ mm}$ (con barras $\varnothing 16$)

Nota: Aunque los valores numéricos se presenten en el desarrollo del problema con dos o tres decimales, internamente se ha estado operando con una precisión de hasta 15 dígitos.

DIMENSIONES DE LA ZAPATA

Primeramente hemos de obtener los esfuerzos a nivel de la cimentación:

- Esfuerzo axil: $N = N_{estr} + N_{zap} + N_{cerr} = N_{estr} + 25abh + 25 \cdot 0,12 \cdot 7a$ [kN]

siendo a, b dimensiones en planta de la zapata [m]

h canto de la zapata [m]

- Momento flector: $M = M_{estructura} + Vh$ [kN m]

18

A. TOMÁS – Área Ingeniería de la Construcción – Dpto. de Ingeniería Minera y Civil – UPCT

ZAPATA AISLADA FLEXIBLE

Como estos esfuerzos son función de las dimensiones de la zapata, el proceso de resolución es iterativo, por lo que resulta necesario ir probando distintas dimensiones hasta converger a una solución satisfactoria.

Después de iterar varias veces, obtenemos los siguientes resultados:

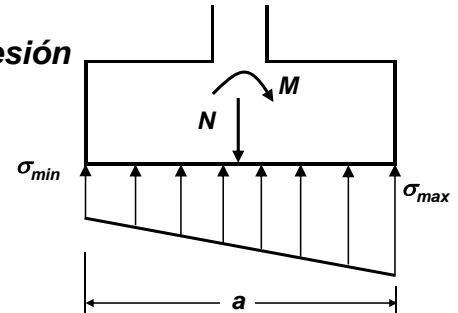
- **Toda la base comprimida (Caso $M/N \leq a/6$)**

Dimensionamiento de la zapata según la presión admisible del terreno:

Dimensiones $2,85 \times 2,85 \times 0,60 \text{ m}^3$

$M = 103,1 \text{ kN m}$; $N = 217,5 \text{ kN}$

$M/N = 0,47 < a/6 = 0,48 \text{ m}$



$$\sigma_{max} = \frac{N}{ab} + \frac{6M}{a^2b} = 0,053 \text{ MPa} < \sigma_{adm} = 0,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{min} = \frac{N}{ab} - \frac{6M}{a^2b} = 0,00 \geq 0$$

ZAPATA AISLADA FLEXIBLE

Dimensionamiento de la zapata en hipótesis de levantamiento por el viento:

Dimensiones $3,25 \times 3,25 \times 0,60 \text{ m}^3$

$M = 114,3 \text{ kN m}$; $N = 214,2 \text{ kN}$

$M/N = 0,53 < a/6 = 0,54 \text{ m}$

$$\sigma_{max} = \frac{N}{ab} + \frac{6M}{a^2b} = 0,040 \text{ MPa} < \sigma_{adm} = 0,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{min} = \frac{N}{ab} - \frac{6M}{a^2b} = 0,00 \geq 0$$

ZAPATA AISLADA FLEXIBLE

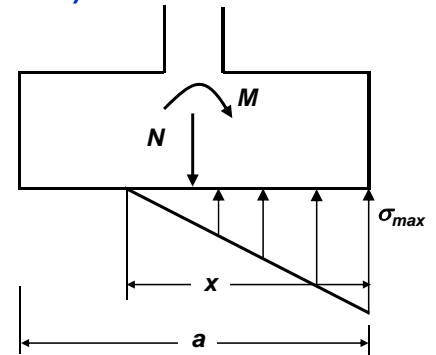
- Sólo parte de la base comprimida (Caso $M/N > a/6$)

Dimensionamiento de la zapata según la presión admisible del terreno:

Dimensiones $2,30 \times 2,30 \times 0,60 \text{ m}^3$

$M = 103,10 \text{ kN m}$; $N = 163,45 \text{ kN}$

$M/N = 0,63 > a/6 = 0,38 \text{ m}$



$$\sigma_{\max} = \frac{2N}{3b \left(\frac{a}{2} - \frac{M}{N} \right)} = 0,091 \text{ MPa} \leq \sigma_{adm} = 0,1 \text{ MPa}$$

$$x = \frac{2N}{\sigma_{\max} b} = 1,56 \text{ m} > \frac{2}{3} a = 1,53 \text{ m}$$

ZAPATA AISLADA FLEXIBLE

Dimensionamiento de la zapata en hip. de levantamiento por el viento:

Dimensiones $2,70 \times 2,70 \times 0,60 \text{ m}^3$

$M = 114,26 \text{ kN m}$; $N = 153,55 \text{ kN}$

$M/N = 0,74 > a/6 = 0,45 \text{ m}$

$$\sigma_{\max} = \frac{2N}{3b \left(\frac{a}{2} - \frac{M}{N} \right)} = 0,060 \text{ MPa} < \sigma_{adm} = 0,1 \text{ MPa}$$

$$x = \frac{2N}{\sigma_{\max} b} = 1,82 \text{ m} > \frac{2}{3} a = 1,80 \text{ m}$$

Para diseñar con distribución triangular de presiones, debe prestarse atención al caso de zapatas en el que sobre alguna zona de la cara superior actúe un peso (rellenos, soleras, etc.) superior a la reacción del terreno sobre esa zona, pues al presentar momentos de signo inverso a los analizados, necesitarían armadura en cara superior o verificar que las tracciones pueden resistirse con el hormigón. En general, las zapatas sometidas a momentos deben ser diseñadas para que las tensiones del terreno sobre ellas sean de compresión o nulas. En otro caso deben verificarse muy cuidadosamente los valores realmente posibles de las combinaciones de acciones. Así pues, bajo este criterio adoptamos el siguiente dimensionamiento:

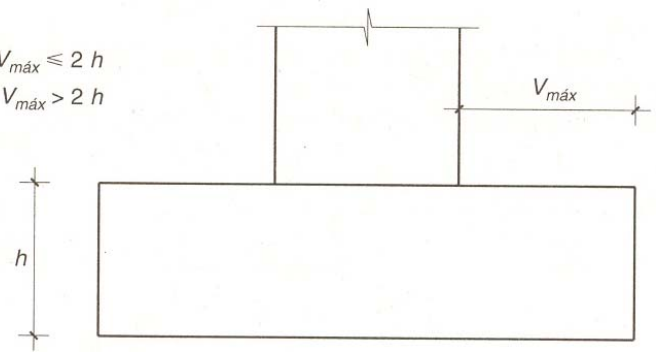
Dimensiones $3,25 \times 3,25 \times 0,60$ ($6,34 \text{ m}^3$)

ZAPATA AISLADA FLEXIBLE

CLASIFICACIÓN DE LA ZAPATA

RÍGIDO $V_{m\acute{a}x} \leq 2h$
FLEXIBLE $V_{m\acute{a}x} > 2h$

$$\begin{aligned} \text{Vuelo} &= (3,25 - 0,36)/2 = \\ &= 1,45 \text{ m} > 2h = 1,20 \text{ m} \\ &\Rightarrow \text{Zapata FLEXIBLE} \end{aligned}$$



Fuente: EHE-08, 2011

DIMENSIONAMIENTO DE LA ARMADURA

* OBTENCIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE PRESIONES BAJO LA ZAPATA

Para dimensionar la armadura hemos de utilizar las combinaciones de acciones mayoradas, es decir, en Estados Límite Últimos (ELU), cuyos esfuerzos son los proporcionados en el enunciado:

$$N_d = 56,2 \text{ kN}$$

$$M_d = 137,8 \text{ kN m}$$

$$V_d = 41,8 \text{ kN}$$

23

A. TOMÁS – Área Ingeniería de la Construcción – Dpto. de Ingeniería Minera y Civil – UPCT

ZAPATA AISLADA FLEXIBLE

Esta vez, para la obtención de los esfuerzos a nivel de cimentación, sólo hemos de considerar las acciones transmitidas por la estructura, por lo que no tenemos en cuenta el peso propio de la zapata en el cálculo del esfuerzo axial, aunque sí el peso del cerramiento ($25 \cdot 0,12 \cdot 3,15 \cdot 7 = 66,2 \text{ kN}$) sin mayorar por ser efecto favorable.

Con estos nuevos esfuerzos de cálculo estamos en el caso $M/N > a/6$:

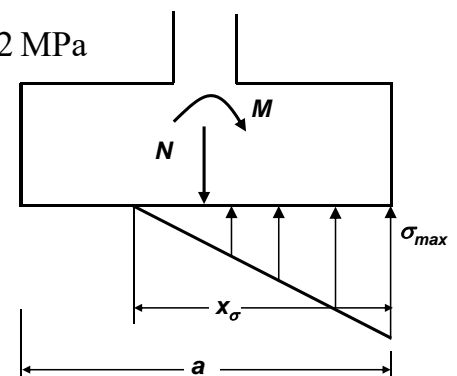
$$\text{Dimensiones } 3,25 \times 3,25 \times 0,60 \text{ m}^3$$

$$M = 162,9 \text{ kN m} ; N = 124,5 \text{ kN}$$

$$M/N = 1,31 > a/6 = 0,54 \text{ m}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{2N}{3b \left(\frac{a}{2} - \frac{M}{N} \right)} = 0,081 \text{ MPa} \leq 2\sigma_{adm} = 0,2 \text{ MPa}$$

$$x_{\sigma} = \frac{2N}{\sigma_{\max} b} = 0,95 \text{ m}$$



24

A. TOMÁS – Área Ingeniería de la Construcción – Dpto. de Ingeniería Minera y Civil – UPCT

ZAPATA AISLADA FLEXIBLE

* OBTENCIÓN DE LA ARMADURA DE FLEXIÓN (ANEJO 7 EHE-08)

En lo que sigue se va a tomar $b = 1$ m para trabajar por metro lineal.

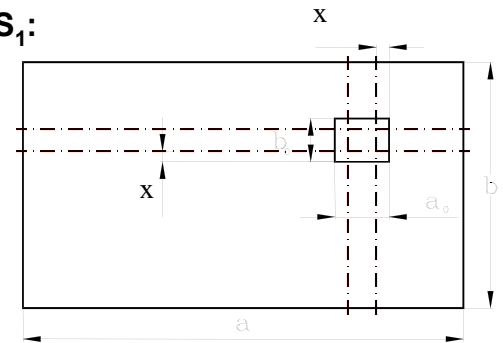
Determinación del momento en la sección S_1 :

$$l_d = l_i = \frac{a}{2} - e - \frac{a_0}{2} + x = 1,40 \text{ m}$$

siendo $a = 3,25$ m ; $e = 0$; $a_0 = 0,56$ m

$$x = ((0,56 - 0,36)/2) = 0,05 \text{ m}$$

$$\sigma_{\text{seccd}} = \sigma_{\text{max}} \frac{(x_{\sigma} - l_d)}{x_{\sigma}} = -0,04 \Rightarrow 0 \text{ MPa}$$



Fuente: Martí, Sánchez
y Tomás, 2006

La resultante de la distribución triangular es:

$$R_d = \frac{1}{2} \cdot 0,081 \cdot 0,95 \cdot 1000 = 38,29 \text{ kN/ml}$$

La distancia de la resultante a la sección S_1 :

$$D = (1,40 - 0,95) + \frac{2}{3} \cdot 0,95 = 1,08 \text{ m}$$

$$M_{fd} = R_d \cdot D = 41,31 \text{ mkN/ml}$$

25

A. TOMÁS – Área Ingeniería de la Construcción – Dpto. de Ingeniería Minera y Civil – UPCT

ZAPATA AISLADA FLEXIBLE

Para poder utilizar el anejo 7 de la EHE-08 debe cumplirse $d' \leq 0,20d$:

$$d' = 4,6 \text{ cm} \leq d/5 = 55,4/5 = 11,08 \text{ cm}$$

Definición de la variable U_0 utilizada en las fórmulas:

$$U_0 = f_{cd} b d = 9233 \text{ kN/ml}$$

Caso 1º: $M_d = 41,31 \leq 0,375 U_0 d = 1918 \text{ kN m/ml}$

La capacidad mecánica es:

$$U_{s1} = U_0 \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2M_d}{U_0 d}} \right) = 74,87 \text{ kN/ml}$$

La armadura de tracción resulta pues $A_s = U_{s1} / f_{yd} = 215 \text{ mm}^2/\text{ml}$

26

A. TOMÁS – Área Ingeniería de la Construcción – Dpto. de Ingeniería Minera y Civil – UPCT

* OBTENCIÓN DE LA ARMADURA MÍNIMA

- Cuantía mecánica mínima:

$$A_s \geq 0,04 A_c \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,04 \cdot 600 \cdot 1000 \cdot \frac{16,67}{347,83} = 1150 \text{ mm}^2 / \text{ml}$$

- Cuantía geométrica mínima:

En zapatas con acero B 400, es el 1^o/₁₀₀ de la sección bruta de hormigón

$$0,001 A_c = 0,001 \cdot 600 \cdot 1000 = 600 \text{ mm}^2 / \text{ml}$$

Por tanto, el mayor de los tres valores es 1150 mm²/ml

La separación entre barras en 1 m es:

$$Sep = \frac{100 \text{ cm}}{\text{n}^\circ \text{ barras}} \quad \text{n}^\circ \text{ barras} = \frac{A_s}{\pi \phi^2 / 4}$$

$$1150 \text{ mm}^2 / \text{ml} \Rightarrow \boxed{\phi 16 / 17 \text{ cm (1183 mm}^2 / \text{ml)}}$$

* COMPROBACIÓN DE CORTANTE

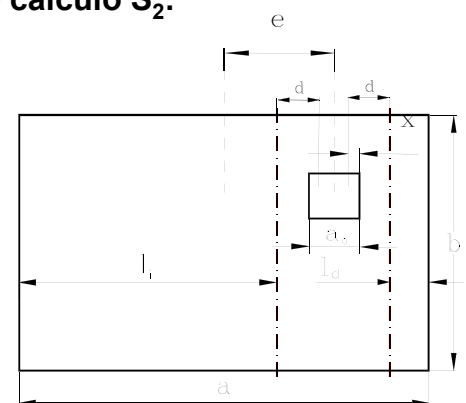
Determinación del cortante en la sección de cálculo S₂:

$$l_d = l_i = \frac{a}{2} - e - \frac{a_0}{2} + x - d = 0,84 \text{ m}$$

siendo $d = h - d' = 0,60 - 0,046 = 0,554 \text{ m}$

$$\sigma_{\text{seccd}} = \sigma_{\text{max}} \frac{(x_\sigma - l_d)}{x_\sigma} = 0,009 \text{ MPa}$$

$$V_{\text{seccd}} = \frac{\sigma_{\text{seccd}} + \sigma_d}{2} l_d b = 37,80 \text{ kN/ml}$$



Fuente: Martí, Sánchez y Tomás, 2006

El esfuerzo cortante último que soporta la sección es:

$$V_{u2} = [(0,18/\gamma_c) \xi (100\rho_1 f_{cv})^{1/3}]bd \geq [(0,075/\gamma_c) \xi^{3/2} f_{cv}^{1/2}]bd = 280,53 \text{ kN/ml}$$

siendo:

$$\xi = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1,60 \leq 2 \quad d \text{ en mm;}$$

$$f_{cv} = f_{ck} \leq 60 \text{ MPa}$$

ρ_1 cuantía geométrica armadura longitudinal traccionada:

$$\rho_1 = \frac{A_s}{bd} = \frac{1150}{1000 \cdot 554} = 0,0021 \leq 0,02$$

Luego se satisface la comprobación de cortante:

$$V_d = 37,80 < V_{u2} = 280,53 \text{ kN/ml} \quad \checkmark$$

Si no se cumple la desigualdad, puede disponerse armaduras transversales de acuerdo con la teoría general de esfuerzo cortante en piezas lineales, artículo 44° de la EHE-08. Normalmente es una solución antieconómica y es preferible un aumento de canto, si es posible.

* COMPROBACIÓN DE PUNZONAMIENTO

En este caso no tiene sentido físico el fenómeno de punzonamiento, al no existir tensiones bajo la zapata en todo el perímetro crítico. No obstante, procederemos, sólo a modo de ejemplo, a realizar la comprobación con un esfuerzo ficticio de punzonamiento de cálculo F_{sd} igual a la reacción del soporte (sin restar la reacción neta): $F_{sd} = 124,5 \text{ kN}$

Lo multiplicaremos por un coeficiente β que tiene en cuenta los efectos de excentricidad de la carga, tomando el valor 1,00 en el caso de no existir momentos transferidos entre el soporte y la zapata; y en el caso de existir dichos momentos, 1,15 en soportes interiores, 1,40 en soportes de borde y 1,50 en soportes de esquina. De este modo se obtiene el esfuerzo efectivo de punzonamiento $F_{sd,ef}$:

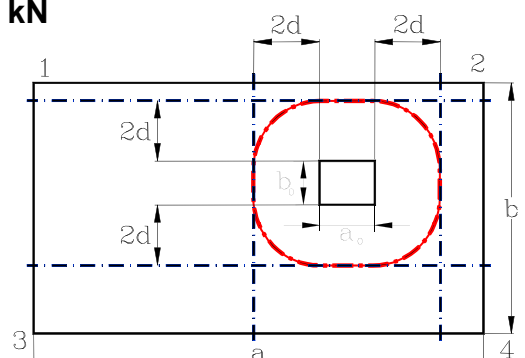
$$F_{sd,ef} = \beta F_{sd} = 1,15 \cdot 124,5 = 143,2 \text{ kN}$$

La superficie crítica sobre la

que actúa $F_{sd,ef}$ es: $Sup = u_1 d$

siendo u_1 perímetro crítico:

$$u_1 = 2(a_0 + b_0 + 2\pi d) = 8,82 \text{ m}$$



ZAPATA AISLADA FLEXIBLE

$$Sup = u_1 d = 2(a_0 + b_0 + 2\pi d)d = 4,89 \text{ m}^2 \quad \text{con} \quad b_0 = 0,37 \text{ m}$$

Por tanto la tensión tangencial nominal de cálculo en perímetro crítico es:

$$\tau_{sd} = F_{sd,ef} / Sup = 0,029 \text{ MPa}$$

La tensión máxima resistente en el perímetro crítico τ_{rd} es:

$$\tau_{rd} = (0,18/\gamma_c) \xi (100\rho_l f_{cv})^{1/3} \geq (0,075/\gamma_c) \xi^{3/2} f_{cv}^{1/2} = 0,506 \text{ MPa}$$

siendo ρ_l Cuantía geométrica de la armad. longitudinal traccionada

Como tenemos igual armadura en las dos direcciones,

$$\text{resulta } \rho_l = \rho_x = \rho_y = 0,0021$$

$$\rho_l = \sqrt{\rho_x \rho_y}$$

Luego se satisface la comprobación de cortante:

$$\tau_{sd} = 0,029 < \tau_{rd} = 0,506 \text{ MPa} \quad \checkmark$$

Si no se cumple la desigualdad, puede disponerse armadura de punzonamiento de acuerdo con el estado límite de punzonamiento (art. 46° EHE-08). Normalmente para este tipo de zapatas es antieconómico el armado de punzonamiento, siendo el aumento del canto siempre preferible. Si el perímetro crítico fuese exterior a la zapata en parte, la comprobación a punzonamiento no es necesaria, ya que no se produciría rotura por punzonamiento sino por cortante.

ZAPATA AISLADA FLEXIBLE

La armadura deberá estar anclada según el más desfavorable de los dos criterios siguientes:

- La armadura estará anclada desde una sección S_3 situada a un canto útil d de la sección de referencia S_1 , es decir, la longitud neta de anclaje ($l_{b,neta}$) se llevará a partir de ese punto de tal modo que no podrá adoptar valores inferiores al mayor de los tres siguientes:

$$l_{b,neta} = l_b \frac{A_{s,cálculo}}{A_{s,real}} \geq \begin{cases} 10\varnothing \\ 15 \text{ cm} \\ \frac{1}{3} l_b \end{cases}$$

siendo:

- l_b longitud básica de anclaje correspondiente a posición I
- $A_{s,cálculo}$ armadura estricta de cálculo
- $A_{s,real}$ armadura realmente dispuesta, y
- \varnothing diámetro de la barra.

Para hormigón HA-25, barras de diámetros $\varnothing 16$ y acero B 400 SD, la longitud básica de anclaje es $l_b = 32 \text{ cm}$

$$l_{b,neta} = l_b \frac{A_{s,cálculo}}{A_{s,real}} = 32 \frac{215}{1183} = 5,8 \text{ cm} \geq \begin{cases} 10\varnothing = 16 \text{ cm} \\ 15 \text{ cm} \\ \frac{1}{3} l_b = 11 \text{ cm} \end{cases} \Rightarrow 16 \text{ cm}$$

ZAPATA AISLADA FLEXIBLE

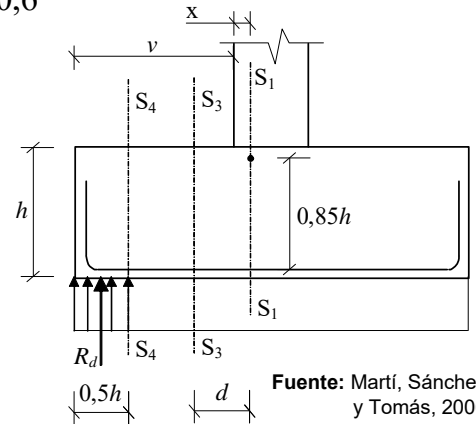
- La armadura se anclará a partir de la sección S_4 para una fuerza:

$$T_d = R_d \frac{v + x - 0,25h}{0,85h} = 20,40 \frac{1,35 + 0,05 - 0,25 \cdot 0,6}{0,85 \cdot 0,6} = 50 \text{ kN/ml}$$

con:

$$R_d = \left(\frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\text{secc},S_4}}{2} \right) 0,5hb =$$

$$= \left(\frac{0,81 + 0,55}{2} \right) 0,5 \cdot 60 \cdot 100 = 20,40 \text{ kN/ml}$$



Fuente: Martí, Sánchez y Tomás, 2006

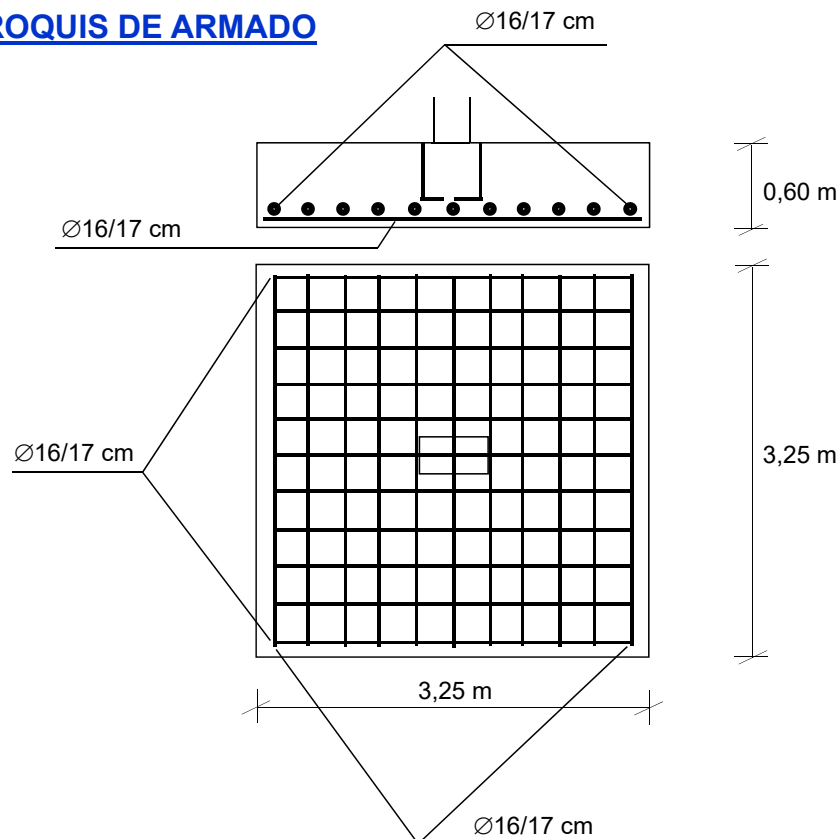
es decir, una longitud de anclaje:

$$l_{b,\text{neta}} = l_b \frac{T_d}{A_{s,\text{real}} f_{yd}} = 32 \frac{50000}{1183 \cdot 347,83} = 3,9 \text{ cm}$$

En ninguno de los dos casos, la longitud que hay que anclar la armadura alcanzaría el borde de la zapata. Por lo tanto el anclaje podrá ser en prolongación recta hasta el borde.

ZAPATA AISLADA FLEXIBLE

* **CROQUIS DE ARMADO**



ZAPATAS

La zapata de la figura se fabrica con hormigón HA-25/B/20/IIa y acero B 400 SD. El recubrimiento mecánico es 5 cm. La densidad del relleno de tierras es 18 kN/m^3 . La tensión admisible del terreno es de $0,3 \text{ MPa}$. Los esfuerzos son los que se indican:

Esfuerzo	Valor característico	Valor de cálculo
N (kN)	800	1000
M (kN m)	600	960
V (kN)	100	160
Peso relleno (kN)	$4 \times 3 \times 0,5 \times 18$	$1,50 \times (4 \times 3 \times 0,5 \times 18)$
Peso zapata (kN)	$4 \times 3 \times 1 \times 25$	$1,35 \times (4 \times 3 \times 1 \times 25)$

Se pide:

1. Distribución de presiones sobre el terreno y comprobaciones geotécnicas.
2. Armado de la zapata.
3. Obtener la dimensión a mínima, dejando b fija, cumpliendo con la condición de no despegue.
4. Obtener la dimensión a mínima, dejando b fija, permitiendo que parte de la base de la zapata pueda despegar en una longitud máxima de valor $a/3$.

Nota: En los apartados 3 y 4 se iterará con valores de a múltiplos de 10 cm.

