



POLITÉCNICA

CAMPUS DE
EXCELENCIA
INTERNACIONAL

“Ingeniamos el futuro”



E.T.S.E.M.

Escuela Técnica Superior de Edificación Madrid

1º DIMENSIONADO ZAPATAS.

- Tensión admisible “ σ adm.”
- Área equivalente: $B^* \times L^*$
- Distribución tensiones en zapata y terreno (cálculo geotécnico).

Acciones sobre las cimentaciones

- Dato: Acciones base del pilar: **V Hx Hy Mx My**
- Comprobación Geotécnica: Plano de apoyo cimentación

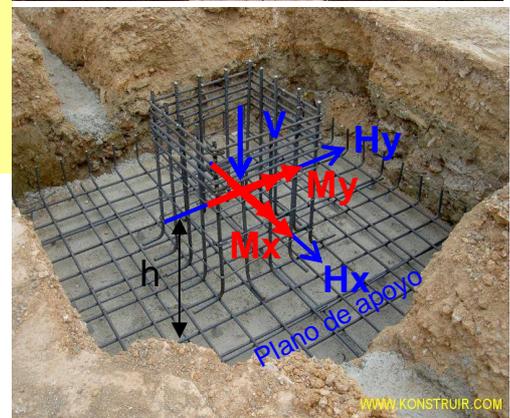
2º Comprobación de zapatas

- Teoría general de la flexión compuesta.
- Centro de presiones.
- Núcleo central de inercia.
- Tensión normal unitaria máxima.
- Caso de excentricidad única
- Fuerza con dirección arbitraria o fuera del núcleo central.

Centro de presiones en zonas: I - II - III

- Abacos de Plock y del M.M.M.

Comprobación al vuelco y deslizamiento



Tomás Cabrera (U.P.M.)

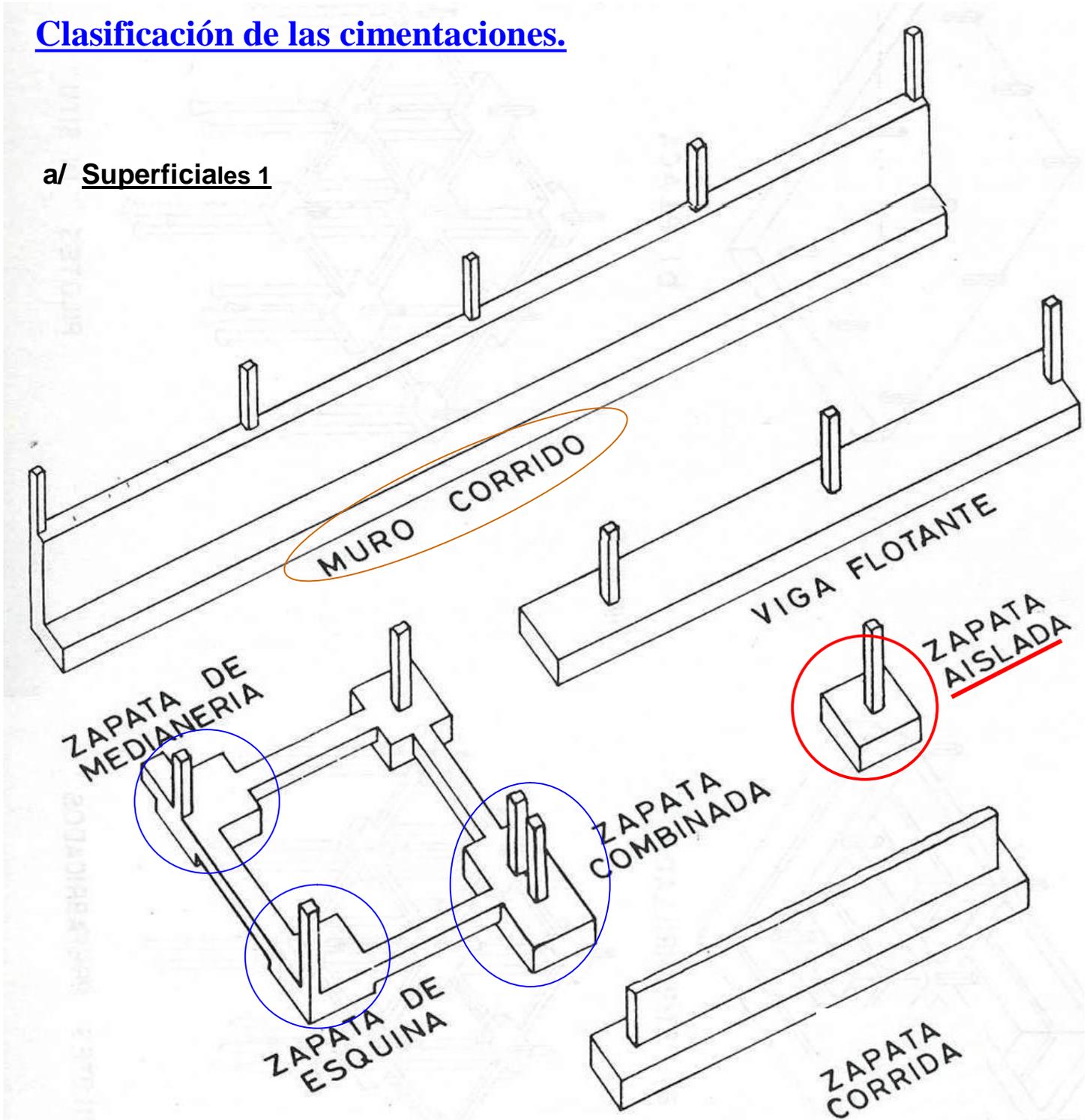
Introducción

La **CIMENTACIÓN** es aquella parte de la estructura encargada de transmitir las cargas al terreno.

(La interacción suelo-cimiento es muy importante para el cálculo de la cimentación y aquí nuestros conocimientos sobre el cálculo de las deformaciones del terreno son todavía escasos, utilizándose normalmente el coeficiente de balasto)

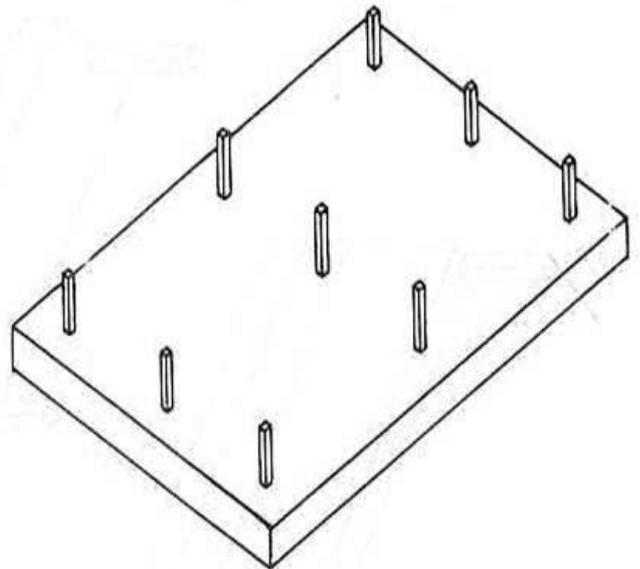
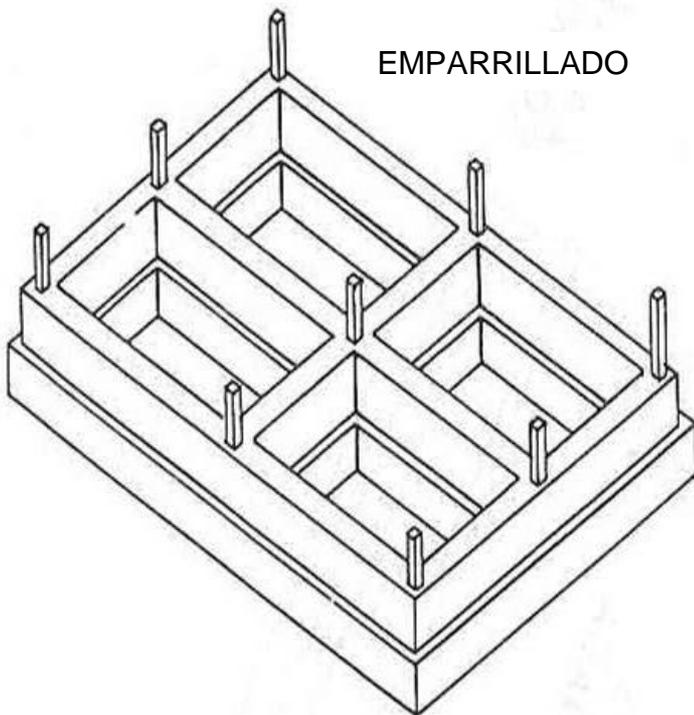
Clasificación de las cimentaciones.

a/ Superficiales 1

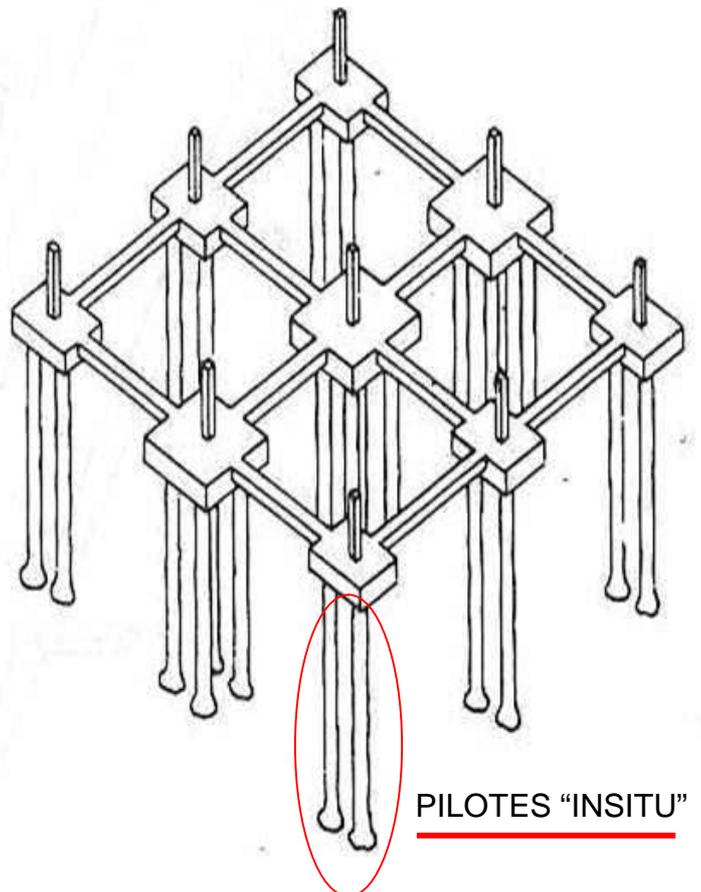
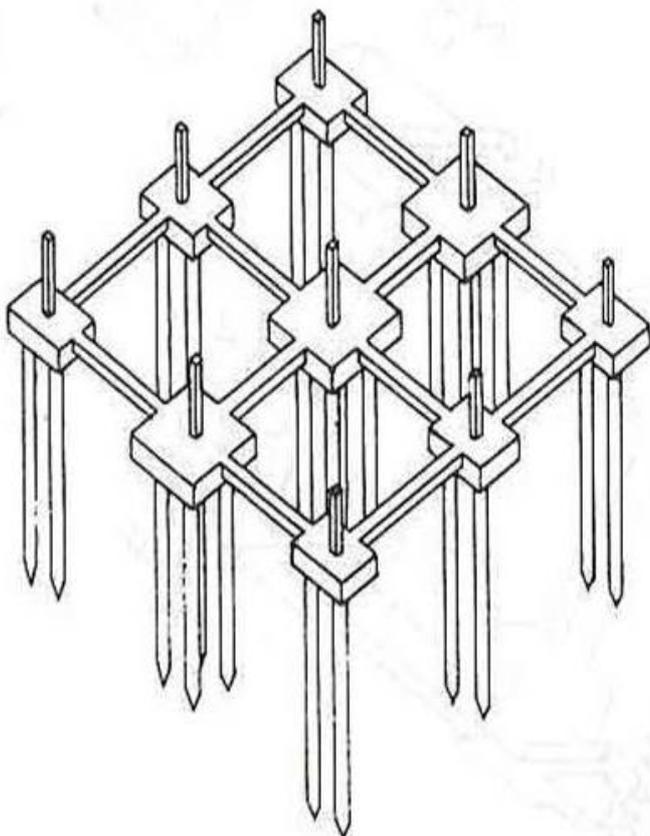


Clasificación de las cimentaciones

b/ Superficiales 2

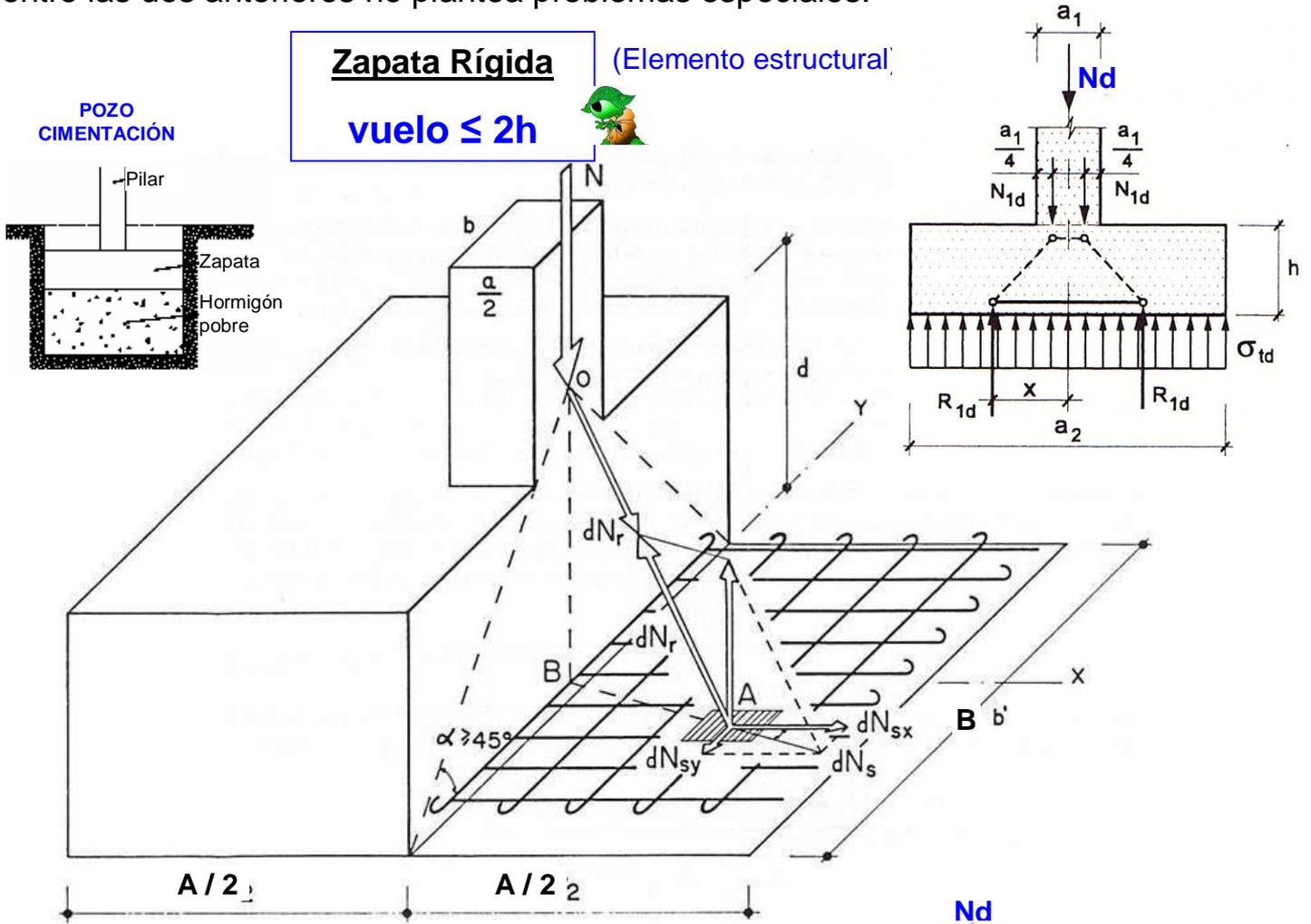


c/ Profundas



Concepto de rigidez estructural

Según las características del terreno, las cimentaciones pueden resolverse mediante zapatas o losas (cimentaciones superficiales), o mediante pilotes (cimentaciones profundas), la solución de pozos de cimentación puede considerarse como intermedia entre las dos anteriores no plantea problemas especiales.



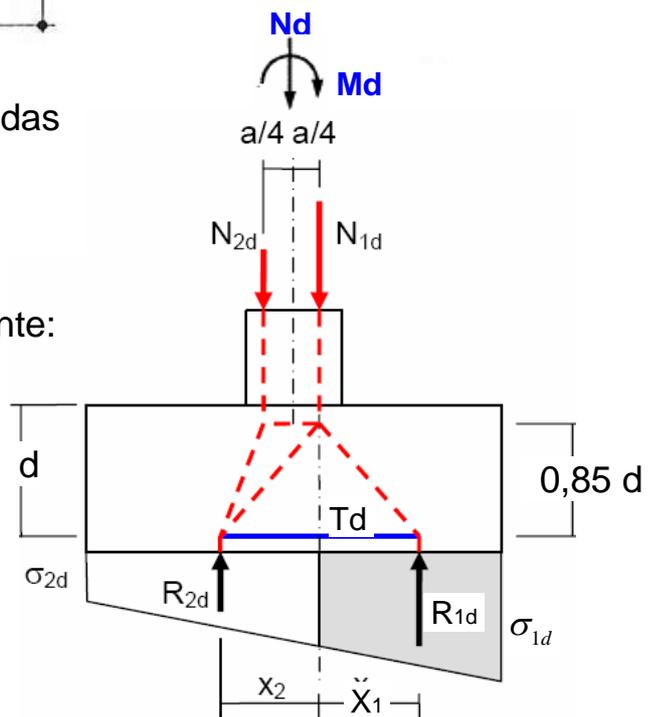
ZAPATA = cimentación directa en zonas aisladas

Son el tipo más frecuente de cimentación.

Se emplean cuando se verifica simultáneamente:

1º El terreno tiene en superficie una resistencia media o alta en relación con las cargas de la estructura.

2º El terreno suficientemente homogéneo como para que no sean de temer asientos diferenciales entre las distintas zapatas.

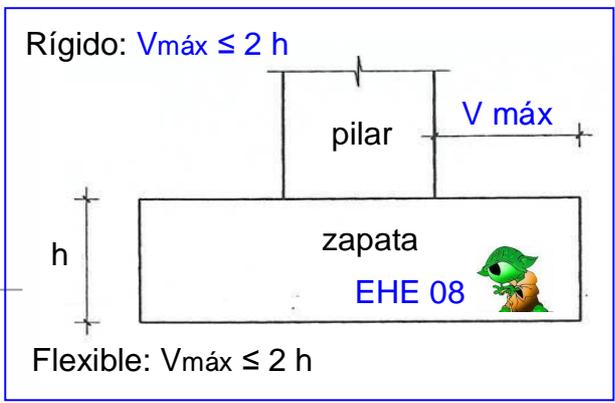
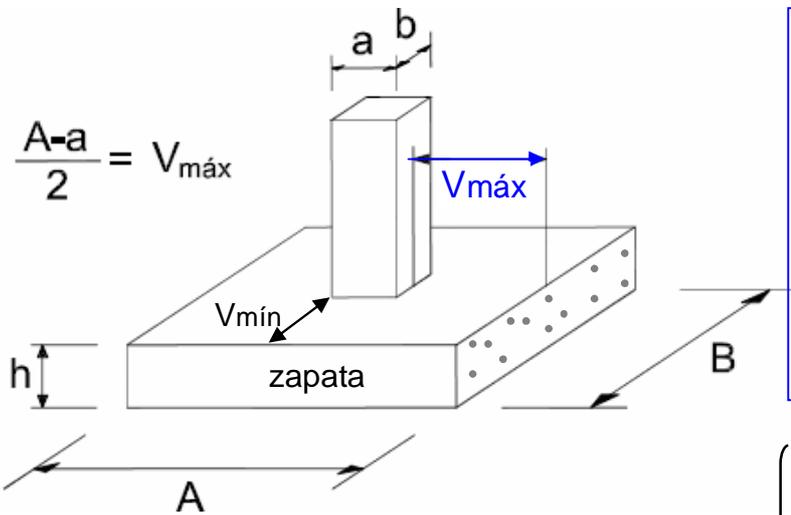


--- Compresión
— Tracción

Tomás Cabrera (U.P.M.)

Zapata rígida. Rigidez cimentación

Se definen como *zapatas rígidas* aquellas cuyo vuelo no - supera al doble del canto; y como *zapatas flexibles* aquellas cuyo vuelo supera al doble del canto



Rigidez cimentación directa CTE (anejo E)

Para zapata combinada

siendo

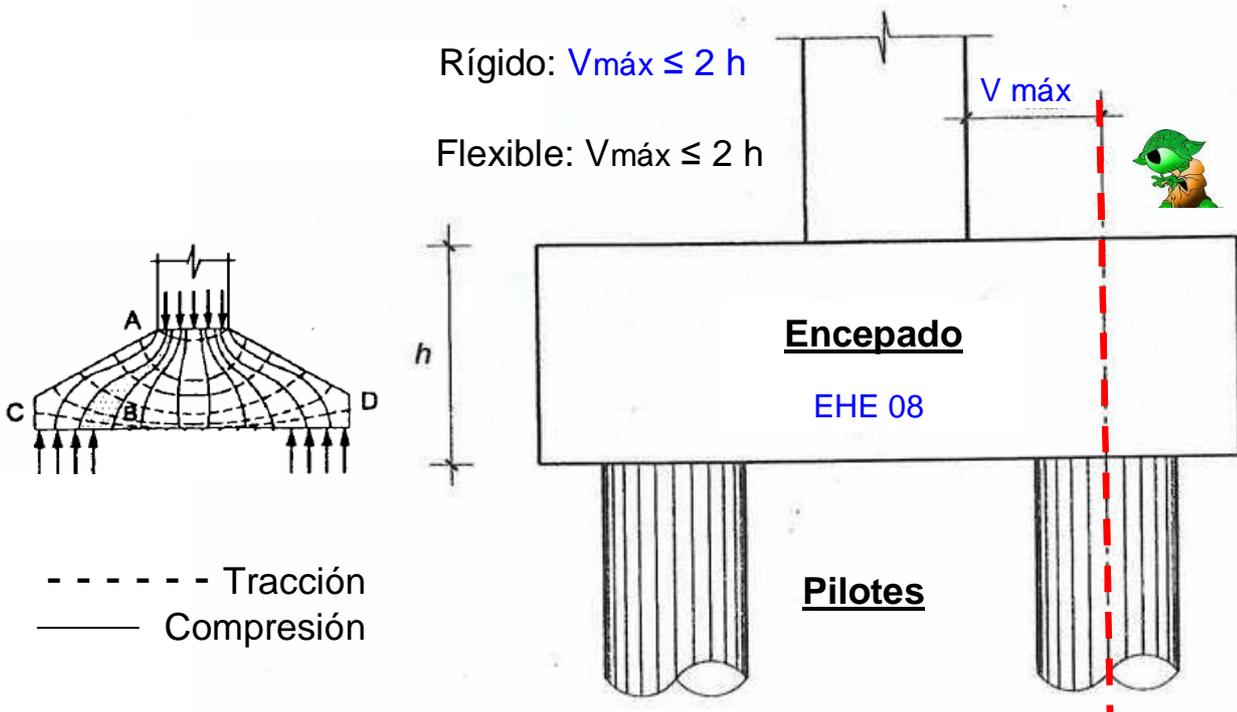
- v el vuelo de la zapata en una dirección cualquiera;
- E_c el módulo de deformación del material de la zapata (usualmente hormigón armado) representativo del tipo de carga y su duración;
- I_c el momento de inercia de la sección de la zapata perpendicular a la dirección del vuelo considerado respecto a la horizontal que pasa por su centro de gravedad;
- B el ancho de la zapata en dirección perpendicular al vuelo considerado.

ksB Coeficiente de balasto de Winkler 1875

$$\left\{ \begin{aligned} I_c &= B \cdot h^3 / 12 & E_j &= 8.500 \sqrt[3]{f_{cm,j}} \\ \frac{A-a}{2} = V_{máx} &\leq \frac{\pi}{4} \sqrt[4]{\frac{4 E_c I_c}{B k_{sB}}} \end{aligned} \right.$$

Encepados

Se definen como encepados rígidos aquellos cuyo vuelo no supera al doble del canto y como flexibles aquellos cuyo vuelo lo supera



Zapatas flexibles ($V \geq 2H$)

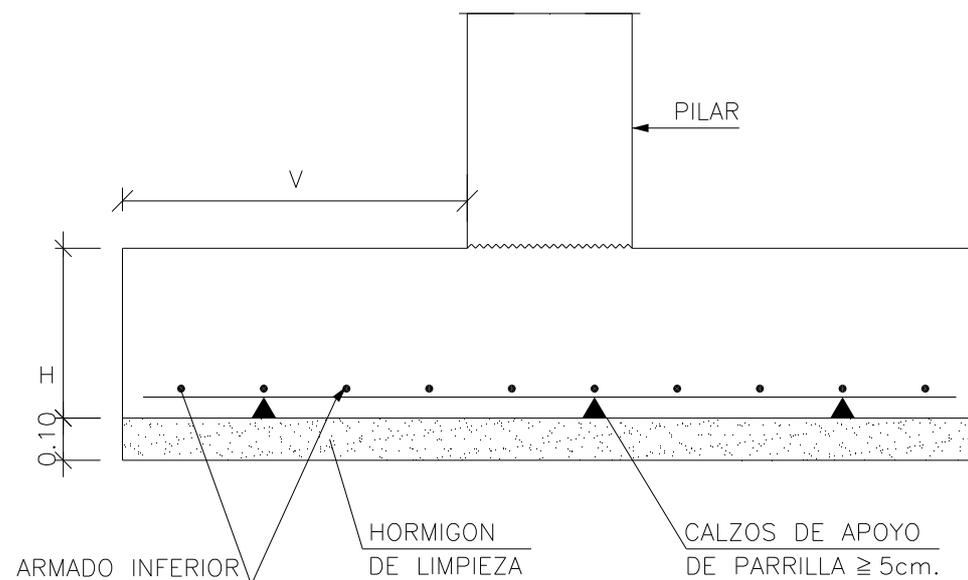


BARRAS SOLDADAS: Para zapatas flexibles ($V \geq 2H$)

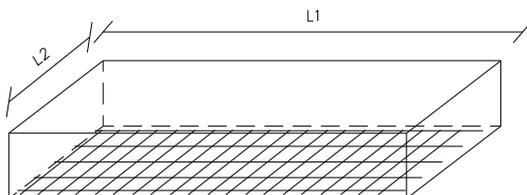
y también para zapatas Rígidas con relación $V/H > 1$

Se puede eliminar la patilla de anclaje sustituyéndola por soldadura

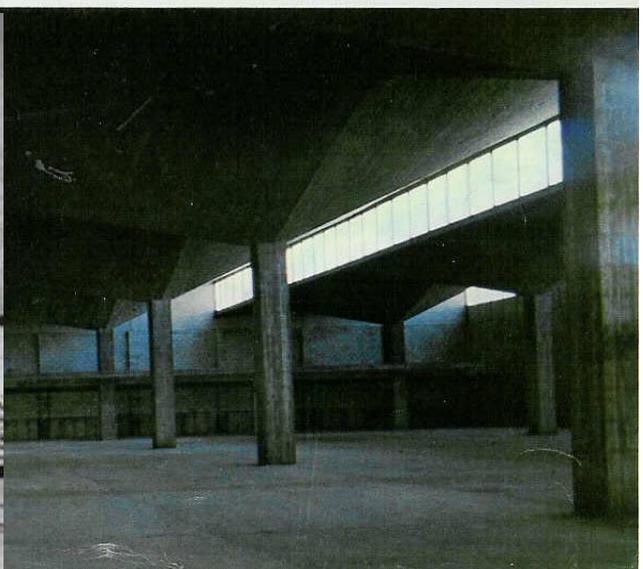
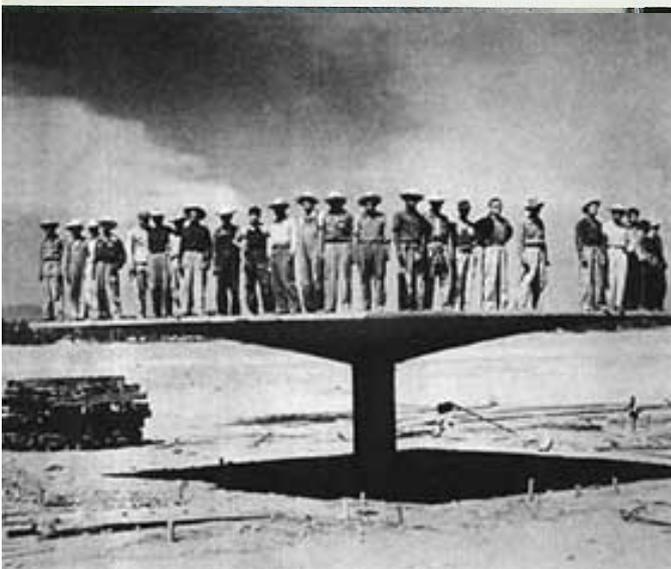
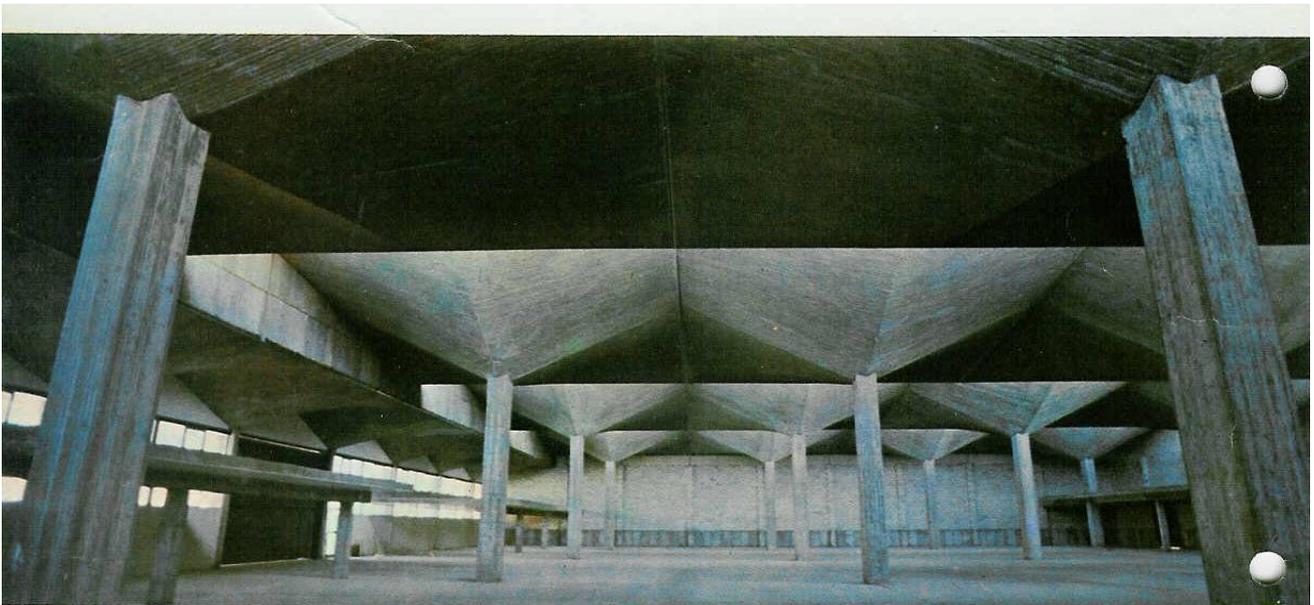
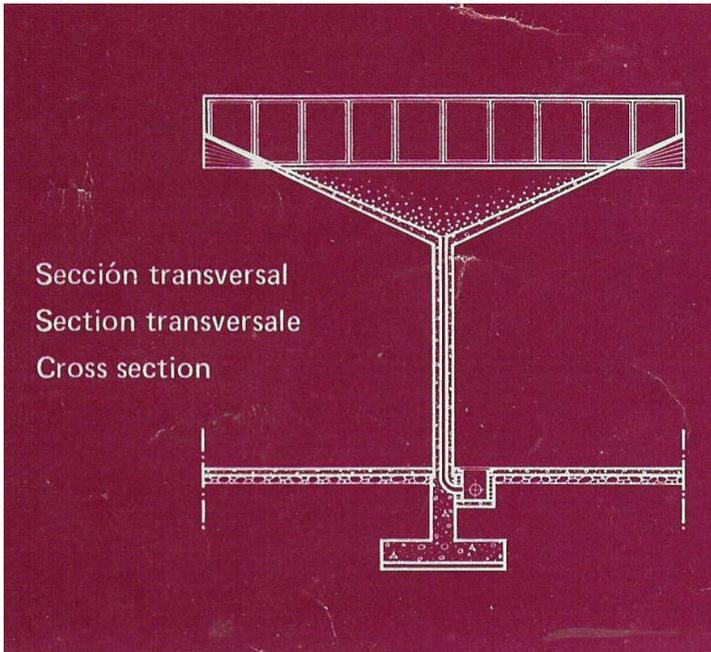
resistente en las cuatro barras perimetrales; hecho que se consigue armando la zapata con una parrilla electrosoldada.



Hay que comprobar en ambas direcciones si la zapata no es cuadrada.



Zapatas flexibles en paraboloides hiperbólicos



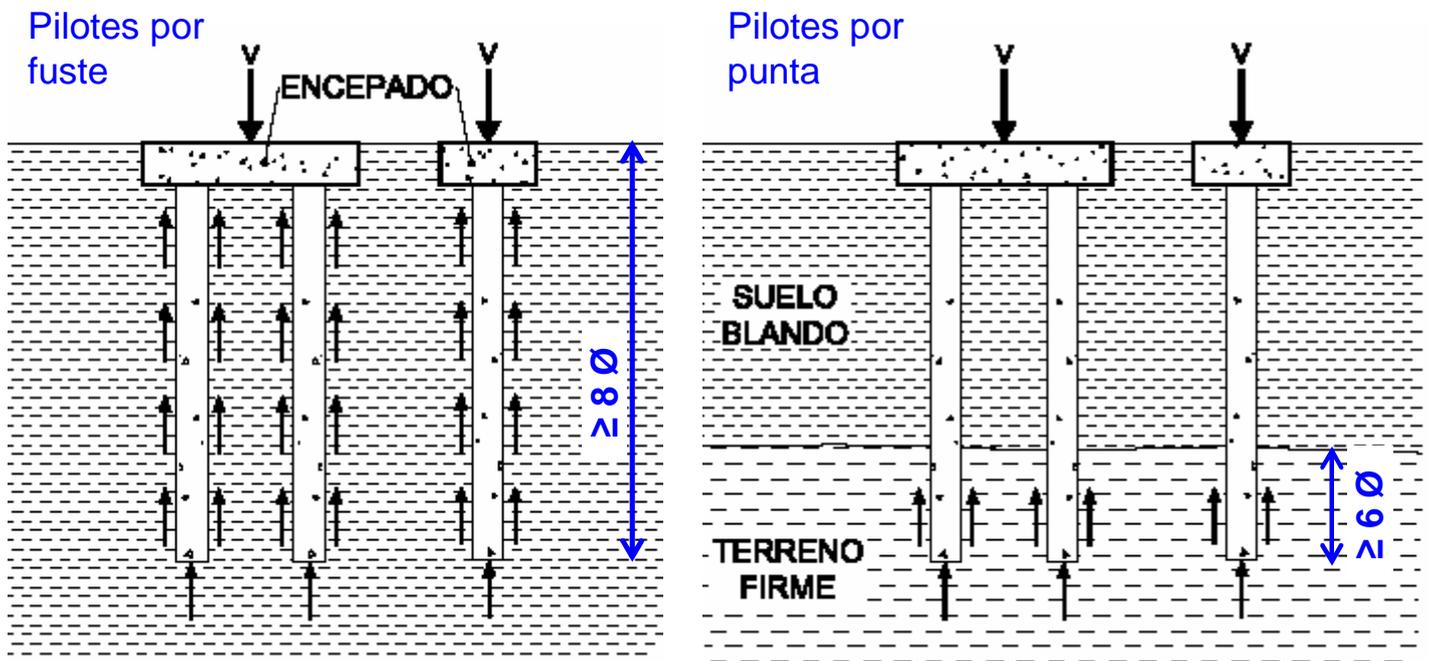
Losa de cimentación



Tomás Cabrera (U.P.M.)

Cimentaciones profundas

Los pilotes se emplean, en general, cuando el terreno resistente está a profundidades superiores a los 5 ó 6 m; cuando el terreno es poco consistente hasta una gran profundidad; cuando existe gran cantidad de agua en el terreno; y cuando deben resistirse acciones horizontales de cierta importancia.



5.1.1 Definiciones

C.T.E.

- 1 A efectos de este DB se considerará que una cimentación es profunda si su extremo inferior, en el terreno, está a una profundidad superior a 8 veces su diámetro o ancho.
- 2 Cuando la ejecución de una cimentación superficial no sea técnicamente viable, se debe contemplar la posibilidad de realizar una cimentación profunda.
- 3 Las cimentaciones profundas se pueden clasificar en los siguientes tipos:
 - a) pilote aislado: aquél que está a una distancia lo suficientemente alejada de otros pilotes como para que no tenga interacción geotécnica con ellos;
 - b) grupo de pilotes: son aquellos que por su proximidad interaccionan entre sí o están unidos mediante elementos estructurales lo suficientemente rígidos, como para que trabajen conjuntamente;
 - c) zonas pilotadas: son aquellas en las que los pilotes están dispuestos con el fin de reducir asentos o mejorar la seguridad frente a hundimiento de las cimentaciones. Suelen ser pilotes de escasa capacidad portante individual y estar regularmente espaciados o situados en puntos estratégicos;
 - d) micropilotes: son aquellos compuestos por una armadura metálica formada por tubos, barras o perfiles introducidos dentro de un taladro de pequeño diámetro, pudiendo estar o no inyectados con lechada de mortero a presión más o menos elevada. El cálculo de micropilotes inyectados no se contempla en el presente Documento Básico.

Cargas y tensiones sobre el terreno

Las cargas transmitidas por la estructura al terreno provocan en éste unas ciertas tensiones.

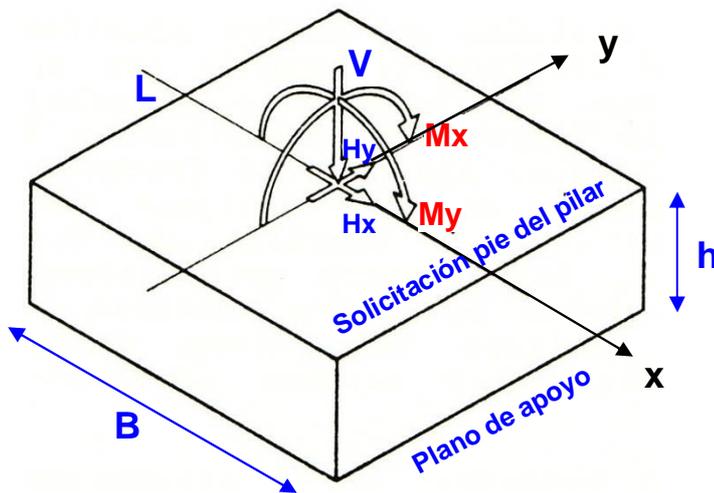
La evaluación de estas tensiones interesan desde dos puntos de vista:

a/ **CÁLCULO GEOTÉCNICO**: Es necesario comprobar que la tensión que actúa sobre el terreno es admisible (no provoca la rotura del terreno ni asiento intolerable). Estado Límite Último de hundimiento con seguridad pactada: 🌿

$$\sigma_{adm} = \sigma_{hundimiento} / 3 \quad \gamma_R = 3$$

b/ Cálculo estructural: Es necesario comprobar que los elementos de cimentación (en este caso zapatas) son capaces de soportar las reacciones del terreno sobre ellos.

a/ Para el cálculo geotécnico:



C.T.E.	}	N ahora V
		Vx ahora Hx
		Vy ahora Hy



Se trabaja en **ESTADO LÍMITE ÚLTIMO** (acciones sin mayorar como en teoría clásica)

Acciones características y comprobación en tensiones admisibles, considerando las acciones transmitidas por la estructura + el peso de la cimentación. 🌿

En cuanto al peso del suelo que descansa sobre la zapata, si es el caso, parece lógico prescindir de él, ya que el suelo de la base estaba en equilibrio con dicho peso (siempre que no se aumente con más terreno) antes de efectuar la excavación.

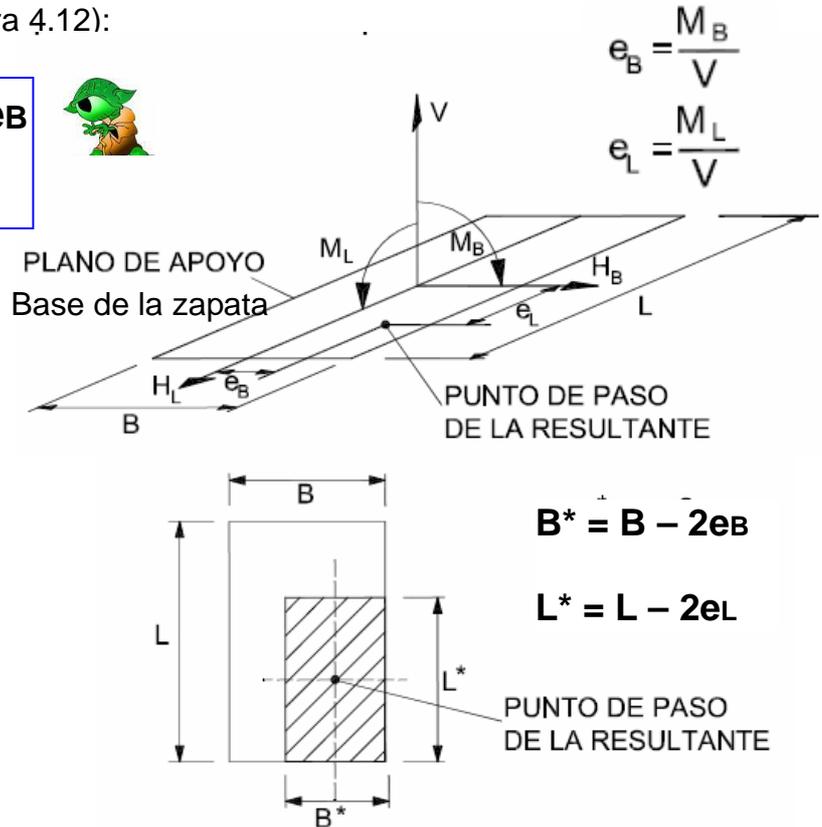
Área equivalente de un cimiento C.T.E. (Meyerhof 1953)

1/ El área equivalente de un cimiento es la máxima sección cobaricéntrica con la componente vertical de la resultante de la sollicitación en la base del cimiento.

2/ Cuando para cualquier situación de dimensionado exista excentricidad de la resultante de las acciones respecto al centro geométrico del cimiento, se deben realizar las comprobaciones pertinentes de los estados últimos de hundimiento, adoptando un cimiento equivalente de las siguientes dimensiones (véase Figura 4.12):

a) ancho equivalente, $B^* = B - 2 \cdot e_B$

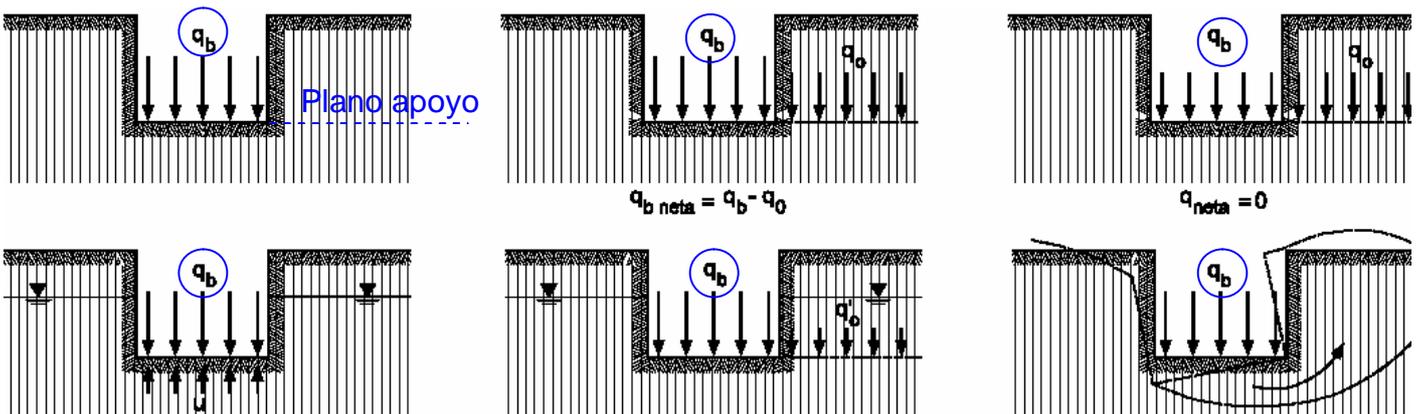
b) largo equivalente, $L^* = L - 2 \cdot e_L$



Siendo:

e_B y e_L las excentricidades según las dos direcciones ortogonales de la zapata, supuesta de sección rectangular en planta (véase Figura 4.12).

Figura 4.12. Definición de zapata equivalente para la comprobación de E.LU.



3/ Los cimientos no rectangulares podrán asimilarse a otros similares conservando la misma superficie y el mismo momento de inercia respecto al eje del momento resultante.

4/ Calculadas esas dimensiones equivalentes se obtendrá el valor de la presión total bruta media, definida por: $q_b = V / (B^* \times L^*)$

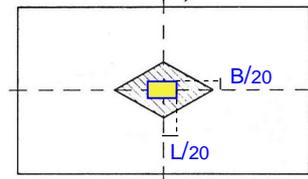
Siendo: V la componente vertical de la resultante de las acciones en la base del cimiento, incluyendo el peso de éste y de aquello que gravite libremente sobre él.

Área equivalente de un cimiento (C.T.E. DB SE-C)

5/ En zapatas rectangulares se podrá tomar como sección equivalente la sección real si la excentricidad de la resultante es menor de **1/20** del lado respectivo.

6/ Cuando la cimentación incluya elementos estructurales destinados a centrar la resultante de las acciones sobre aquella (vigas centradoras, tirantes, contribución de forjados, etc.), el área equivalente de la cimentación podrá ser la definida por sus dimensiones reales en planta.

7/ También habrá de determinarse, para cada situación de dimensionado, el ángulo δ que mide la desviación de la resultante de las acciones con respecto a la vertical, así como sus componentes según dos direcciones ortogonales:



$\tan \delta = H/V$ Siendo:

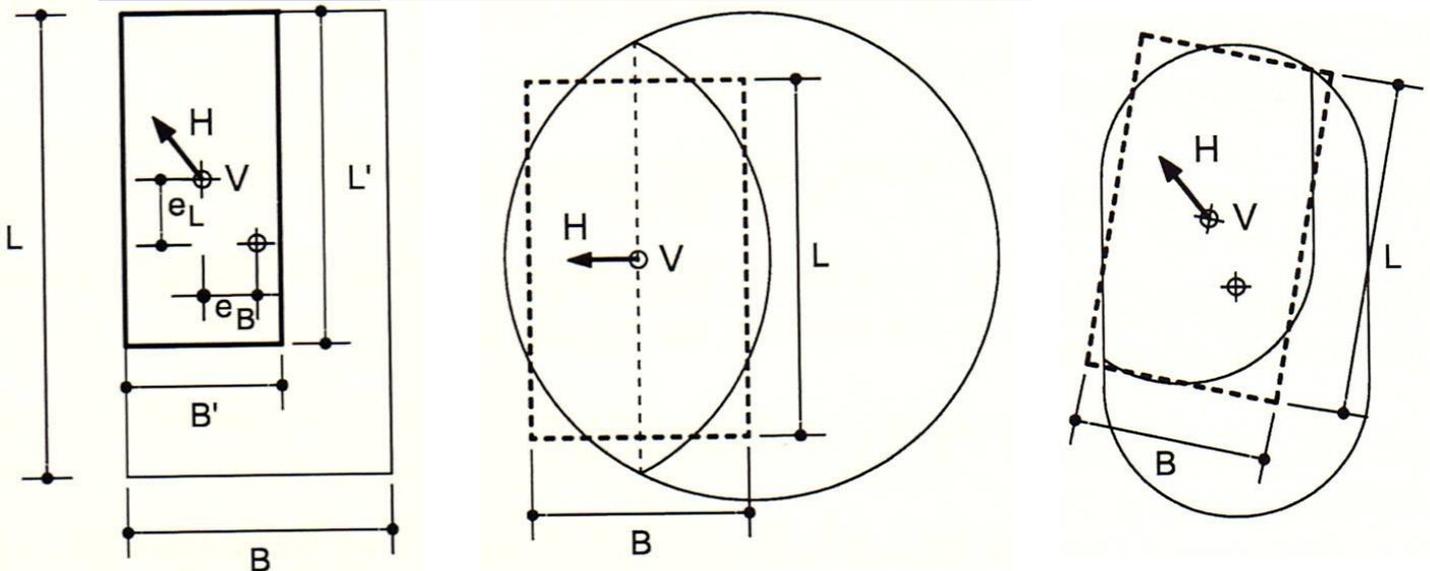
$\tan \delta_B = HB/V$ **H** la componente horizontal de la resultante de las acciones

$\tan \delta_L = HL/V$ **HB, HL** las componentes de **H** en dos direcciones ortogonales (habitualmente paralelas a los ejes o direcciones principales de la cimentación)

8/ Normalmente, el plano de cimentación será horizontal. Si ese plano tuviese una ligera inclinación, el concepto vertical y horizontal podrán cambiarse por normal y tangencial al plano de cimentación y seguir aplicando las reglas indicadas. Las inclinaciones superiores al: 3(H) : 1(V) requerirán técnicas de análisis específicas que exceden el alcance de este DB.

Ejemplos de áreas ficticias a considerar en zapatas con carga excéntrica. [J. Brinch Hansen 1961](#)

$B^*/2 + e_B = B/2 \quad \rightarrow \quad B^* = B - 2e_B \quad \rightarrow \quad L^* = L - 2e_L$



Se debe a Brinch Hansen la expresión general de la presión de hundimiento de un suelo :

$$q_h = c_K N_c d_c s_c i_c t_c + q_{0K} N_q d_q s_q i_q t_q + \frac{1}{2} B^* \gamma_K N_\gamma d_\gamma s_\gamma i_\gamma t_\gamma$$

q_h la presión vertical de hundimiento o resistencia característica del terreno R_k ;

q_{0K} la presión vertical característica alrededor del cimiento al nivel de su base;

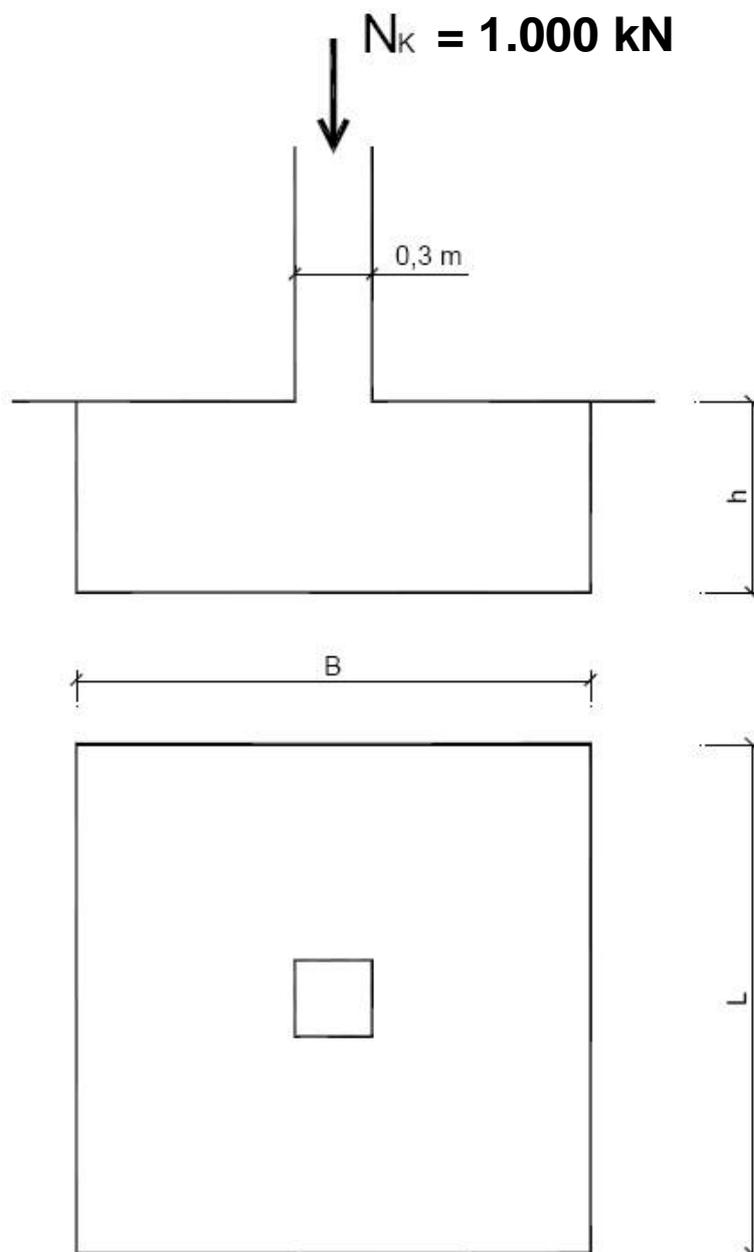
Ejemplo n° 1 aplicación del método área equivalente

La zapata de la figura está sometida a los esfuerzos indicados que se dan en valor característico (sin mayorar).

Determinar las dimensiones de una zapata cuadrada rígida de acuerdo con los siguientes datos:

Tensión admisible del suelo: $200 \text{ kN/m}^2 = 2 \text{ da N/cm}^2$

Hormigón HA-25. Acero B 500 S



Ejemplo n° 1 aplicación del método área equivalente

Axil característico (sin mayorar): **Nk = 1.000 kN**

Aplicando: $Nk / (B \times L) \leq \sigma_{adm} \rightarrow 1000 / (B \times L) = 200 \text{ kN/m}^2$

entonces:

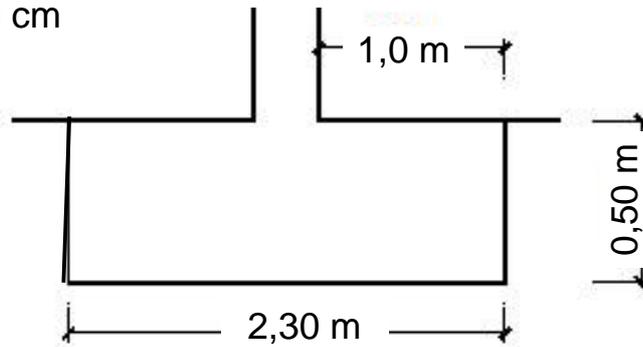
Zapata cuadrada: $B = L \rightarrow B = L = 2,24 \text{ m}$

Redondeando al múltiplo de 10 cm $\rightarrow B = L = 2,30 \text{ m}$ (módulo 10 cm)



Vuelo = 115 – 15 = 100 cm

$h \geq \text{vuelo} / 2 = 50 \text{ cm}$



El peso propio de la zapara es: $P_p = 2,30^2 \times 25 \times 0,50 = 66,13 \text{ KN}$

Comprobación de tensiones verticales incluyendo el peso propio:



$\sigma_t = (1000 + 66,13) / 2,3^2 = \underline{202 \text{ kN/m}^2} > \sigma_{adm}$

$\sigma_t = 2,02 \text{ daN/cm}^2 > \sigma_{adm}$

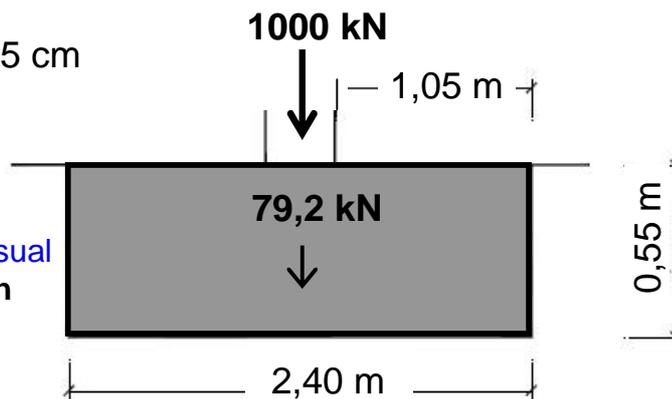
Es necesario en consecuencia aumentar las dimensiones de la zapata. Probando con 2,40 x 2,40 x 0,55 m.

Vuelo = 120 – 15 = 105 cm

$h \geq \text{vuelo}/2 = 55 \text{ cm}$

(módulo 5 cm.)

en ese caso, también es usual el módulo de 10 cm. para h



El peso propio de la zapara es: $P_p = 2,40^2 \times 0,55 \times 25 = 79,2 \text{ KN}$

Comprobación de tensiones incluyendo el peso propio:

$\sigma_t = (1000 + 79,20) / 2,4^2 = 187,36 \text{ N/mm}^2 \leq \sigma_{adm} \rightarrow \text{OK}$

En este caso. $B^* = B \rightarrow$ ancho equivalente = ancho real

$L^* = L \rightarrow$ largo equivalente = largo real

Zapata cuadrada
2,40 x 2,40 x 0,55m

Ejemplo n° 2 aplicación del método área equivalente

La zapata rígida de la figura está sometida a los esfuerzos indicados que se dan en valor característico (sin mayorar).

Con los siguientes datos:

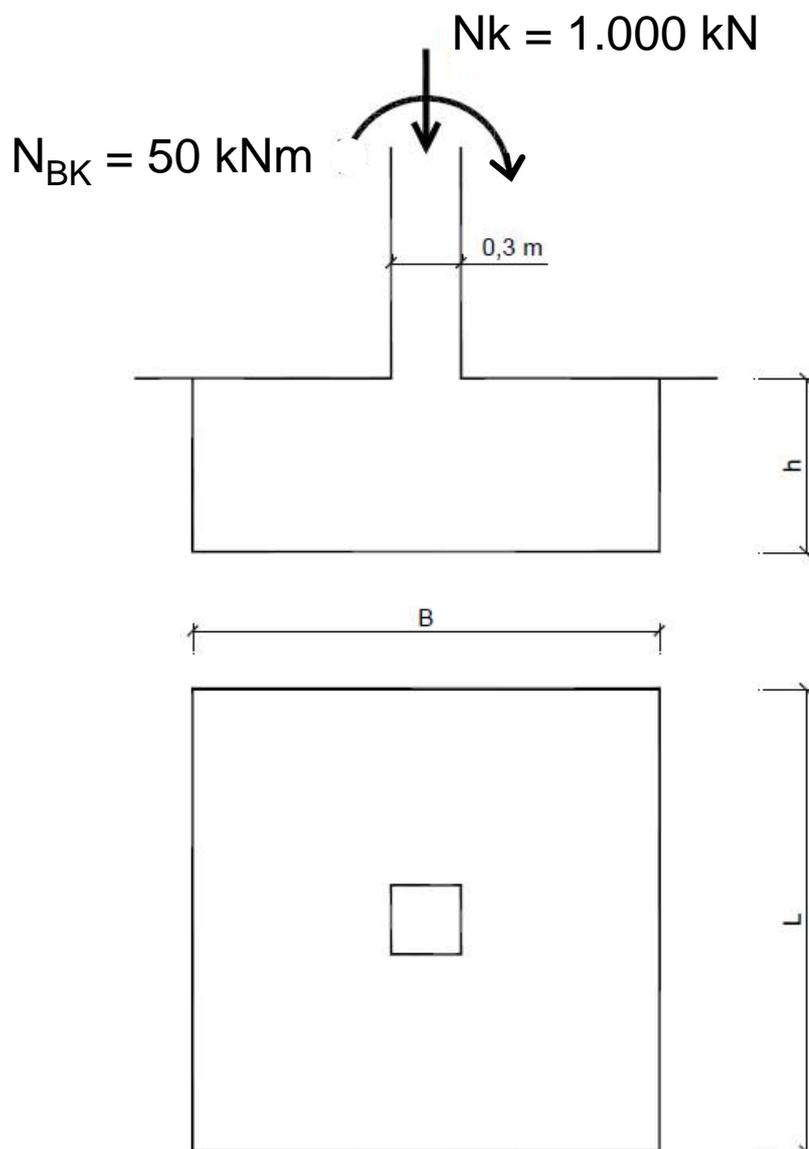
Tensión admisible del suelo: $200 \text{ kN/m}^2 = 2 \text{ da N/cm}^2$

Hormigón HA-25. Acero B 500 S

Determinar las dimensiones de una zapata rígida en los siguientes casos:

a/ Zapata rectangular conforme al momento M_{BK}

b/ Zapata cuadrada.



Ejemplo nº 2 aplicación del método área equivalente

Si, $h = 55 \text{ mm}$ y $\gamma_{\text{hor}} = 25 \text{ KN/m}^3$ entonces:

$$[1000 / (2,4 * 2,4)] + [(25 * 0,55)] = 187,36 \text{ kN/m}^2 < \sigma_{\text{adm}} = 200$$

Importante: para el cálculo de la tensión admisible, asientos y en otras fórmulas de CTE se usa B^* y/o L^* . En este caso: $B^* = 2,40 \text{ m}$ y $L^* = 2,40 \text{ m}$

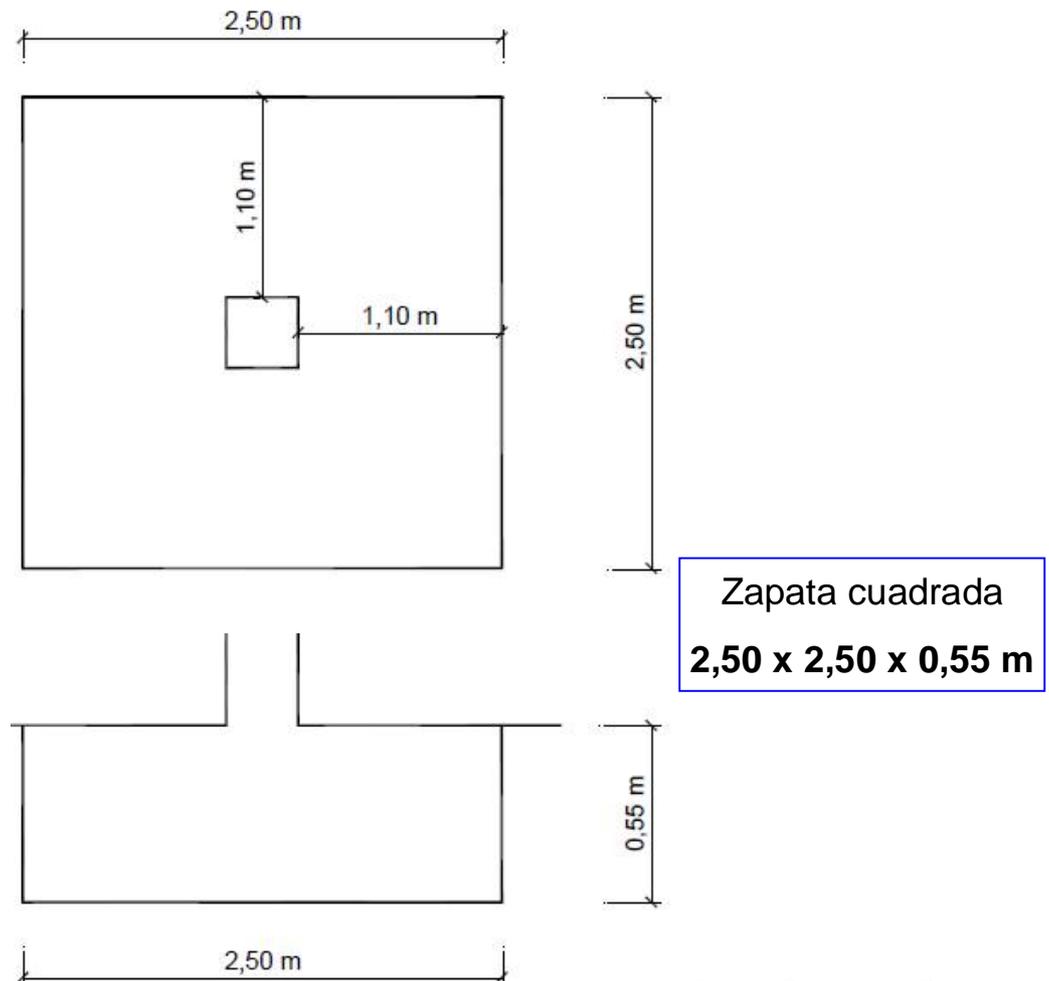
El valor y sentido de e_B depende de M_B , que puede variar en magnitud y sentido \pm (por ejemplo si el momento proviene de la acción del viento, hay que cubrir la hipótesis de presión y también la de succión) por lo que la zapata debe tener unas dimensiones que abarquen estas posiciones del área equivalente.

a/ las dimensiones de una zapata rectangular serán.

$$B = B^* + 2 \times e_B = 240 + (2 * 5) = 250 \text{ cm} = 2,50 \text{ m}$$
$$L = L^* + 2 \times e_L = 240 + (2 * 0) = 240 \text{ cm} = 2,40 \text{ m}$$


Zapata rectangular
2,50 x 2,40 x 0,55 m

b/ No parece razonable, en este caso, que la diferencia entre los dos lados de la zapata sea de sólo 10 cm, luego la zapata podría quedar finalmente dimensionada así: 2,50 x 2,50 x 0,55 m.



Ejemplo n° 3 aplicación del método área equivalente

La zapata rígida de la figura está sometida a los esfuerzos indicados en la tabla adjunta que se dan en valor característico (sin mayorar).

Con los siguientes datos:

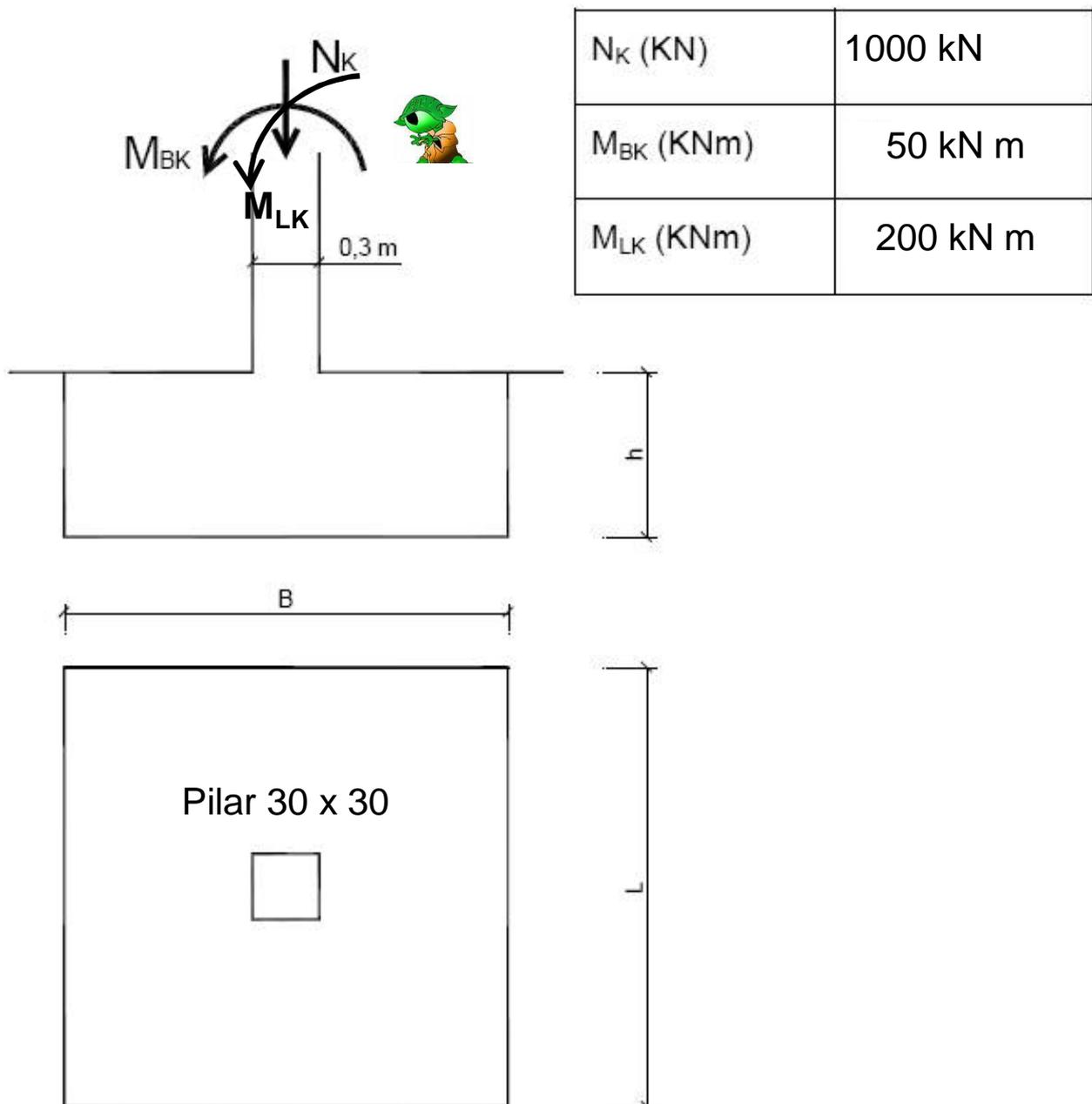
Tensión admisible del suelo: $200 \text{ kN/m}^2 = 2 \text{ da N/cm}^2$

Hormigón HA-25. Acero B 500 S

Determinar las dimensiones de una zapata rígida en los siguientes casos:

a/ Zapata rectangular conforme los momento M_{BK} y M_{LK}

b/ Zapata cuadrada.



Ejemplo n° 3 aplicación del método área equivalente

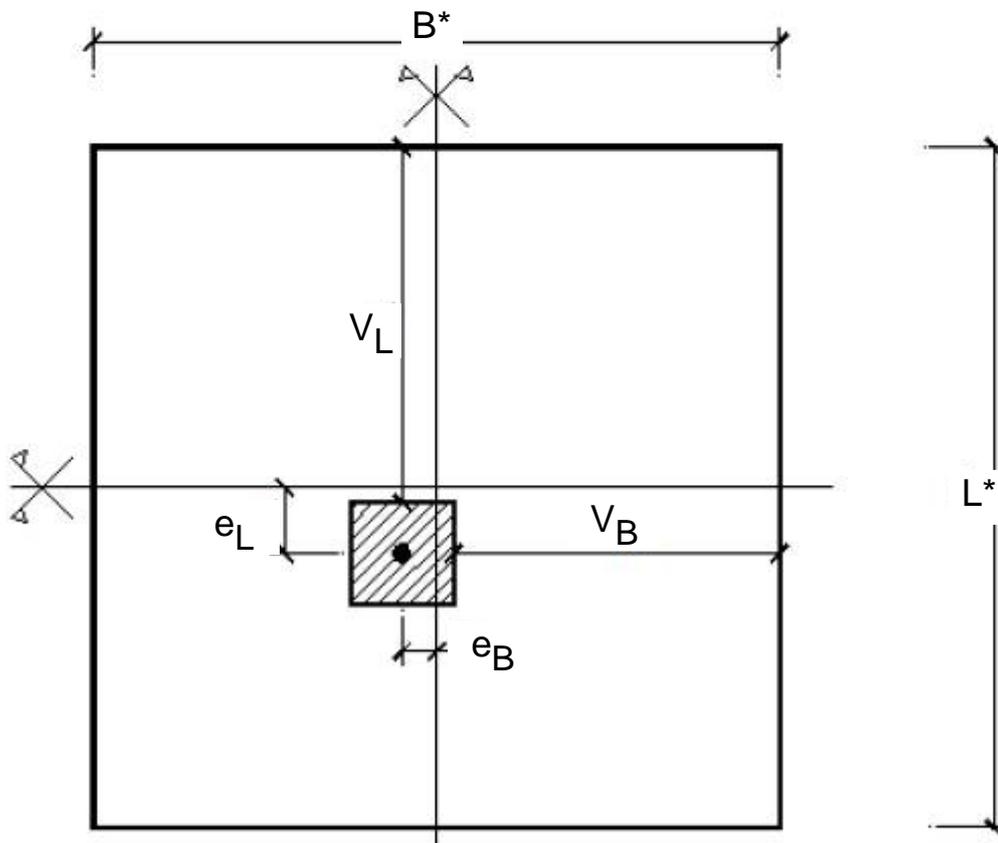
Partiendo de $N_k = 1.000 \text{ KN}$, $M_{BK} = 50 \text{ KNm}$ y $M_{LK} = 200 \text{ KNm}$ se obtienen respectivamente:

$$e_B = 50 / 1000 = 0,05 \text{ m}$$

$$e_L = 200 / 1000 = 0,20 \text{ m}$$

$$NK / (B^* \times L^*) \leq \sigma_{adm} \rightarrow (1000) / (B^* \times L^*) = 200 \text{ kN/m}^2 \text{ entonces:}$$

$$\text{Si } B^* = L^* \rightarrow B^* = L^* = 2,24 \text{ m} \text{ Entonces:}$$



Los vuelos para calcular el canto de una zapata rígida son.

$$V_B = (B^* / 2) - 15 \text{ (cm)} + e_B \quad V_L = (L^* / 2) - 15 \text{ (cm)} + e_L$$

Si consideramos $B^* = L^* = 240 \text{ cm}$ para tantear incluyendo el peso propio:

$$V_B = (240 / 2) - 15 + 5 = 110 \text{ cm}$$

$$V_L = (240 / 2) - 15 + 20 = 125 \text{ cm} \rightarrow \mathbf{h \geq 65 \text{ cm.}} \text{ (módulo 5 cm)}$$

Ejemplo n° 3 aplicación del método área equivalente

Luego el canto mínimo para zapata rígida es 65 cm (módulo de 5 cm), entonces:

$$(N_k / (B^* \times L^*) + (\gamma_{hor} * h) \leq \sigma_{adm}$$

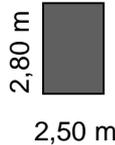
$$(1000 / 2,4^2) + (25 * 0,65) = 190 \text{ kN/m}^2 \leq \sigma_{adm}$$

Importante: para el cálculo de la tensión admisible, asientos y en otras fórmulas de CTE se usa B^* y/o L^* . En este caso: $B^* = 2,40 \text{ m}$ y $L^* = 2,40 \text{ m}$

a/ Las dimensiones totales de la zapata rectangular serán:

$$B = B^* + 2 * e_B = 240 + (2 * 5) = 250 \text{ cm}$$

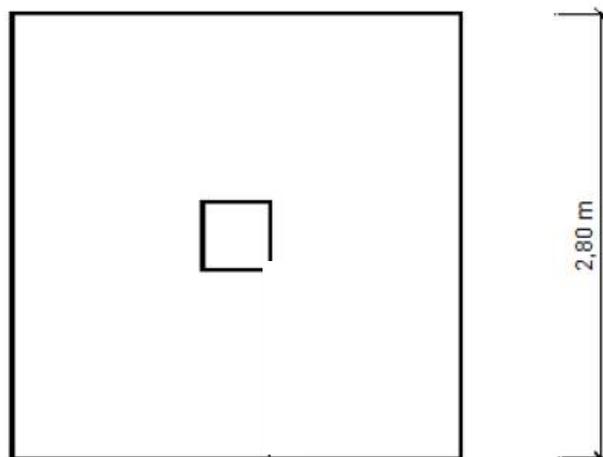
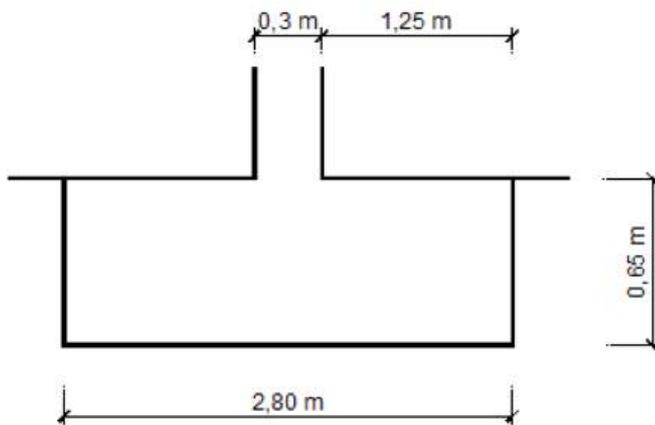
$$L = L^* + 2 * e_L = 240 + (2 * 20) = 280 \text{ cm}$$



Zapata rectangular

2,50 x 2,80 x 0,65 m

b/ Quedaría a criterio del proyectista definir una zapata rectangular de 2,50 m x 2,80 m con canto 0,65 m o una cuadrada de 2,80 m x 2,80 m con canto 0,65 m:



Zapata cuadrada

2,80 x 2,80 x 0,65 m

Ejemplos utilización del área equivalente y del ancho equivalente

4.3.1.3 Área equivalente de un cimiento.

4/ Calculadas esas dimensiones equivalentes se obtendrá el valor de la presión total bruta media, definida por: $q_b = V / (B^* \times L^*)$

Siendo: V la componente vertical de la resultante de las acciones en la base del cimiento, incluyendo el peso de éste y de aquello que gravite libremente sobre él.

4.3.2 determinación de la presión de hundimiento mediante métodos analíticos.

$$q_h = (c_K * N_c) * d_c * s_c * i_c * t_c + (q_{0K} * N_q) * d_q * s_q * i_q * t_q + \left(\frac{1}{2} \gamma_K * B^* * N_\gamma \right) * d_\gamma * s_\gamma * i_\gamma * t_\gamma$$

4.3.3 Método simplificado para la determinación de la presión vertical admisible de servicio en suelos granulares

A efectos de este DB, cuando la superficie del terreno sea marcadamente horizontal (pendiente inferior al 10%), la inclinación con la vertical de la resultante de las acciones sea menor del 10% y se admita la producción de asientos de hasta 25 mm, la presión vertical admisible de servicio podrá evaluarse mediante las siguientes expresiones basadas en el golpeo N_{SPT} obtenido en el ensayo SPT.

a) Para $B^* < 1,2$ m

B^* = ancho equivalente en m

$$q_{adm} = 12 N_{SPT} \left(1 + \frac{D}{3B^*} \right) \left(\frac{S_t}{25} \right) \text{ kN/m}^2 \quad (4.9)$$

b) Para $B^* \geq 1,2$ m:

$$q_d = 8 N_{SPT} \left[1 + \frac{D}{3B^*} \right] \left(\frac{S_t}{25} \right) \left(\frac{B^* + 0,3}{B^*} \right)^2 \text{ kN/m}^2 \quad (4.10)$$

siendo

S_t El asiento total admisible, en mm.

N_{SPT} el valor medio de los resultados, obtenidos en una zona de influencia de la cimentación comprendida entre un plano situado a una distancia $0,5B^*$ por encima de su base y otro situado a una distancia mínima $2B^*$ por debajo de la misma;

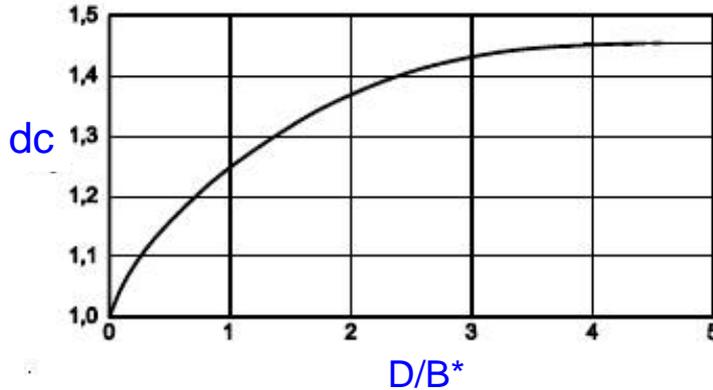
D la profundidad definida en el Anejo F

El valor de $\left[1 + \frac{D}{3B^*} \right]$ a introducir en las ecuaciones será menor o igual a 1,3.

Ejemplos utilización del área equivalente y del ancho equivalente

F.1.1.1 Coeficiente correctores o de influencia en cimentaciones directas.

F.1.1.1.1 influencia de la resistencia al corte del terreno situado sobre la base de cimentación.



$$d_q = 1 + 2 \frac{N_q}{N_c} (1 - \sin \phi_k)^2 \arctan \frac{D}{B^*}; \text{ para } \phi_k = 0 : d_q = 1$$

F.1.1.1.2 Influencia de la forma de la cimentación (coeficientes s).

1 El efecto de la forma del cimiento se podrá tener en cuenta mediante los factores de corrección que a continuación se indican:

a) coeficiente corrector del factor N_c :

$s_c = 1,20$ para zapata circular

$$s_c = 1 + 0,2 \frac{B^*}{L^*} \text{ para zapata rectangular} \quad (F.3)$$

b) coeficiente corrector del factor N_q :

$s_q = 1,20$ para zapata circular

$$s_q = 1 + 1,5 \cdot \text{tg} \phi_k \frac{B^*}{L^*} \text{ para zapata rectangular} \quad (F.4)$$

c) coeficiente corrector del factor N_γ :

$s_\gamma = 0,6$ para zapata circular

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \frac{B^*}{L^*} \text{ para zapata rectangular} \quad (F.5)$$

F.1.1.1.3 Influencia de la inclinación de la resultante de las acciones sobre la cimentación (coeficientes i)

1 Los coeficientes a aplicar por efecto de la existencia de componentes horizontales de cargas sobre la zapata se podrán obtener de las siguientes expresiones:

a) coeficiente corrector del factor N_c :

$$i_c = \frac{i_q \cdot N_q - 1}{N_q - 1}; \text{ para } \phi_k = 0 : i_c = 0,5 \left(1 + \sqrt{1 - \frac{H}{B^* \cdot L^* \cdot c_k}} \right) \quad (F.6)$$

b) coeficiente corrector del factor N_q :

$$i_q = (1 - 0,7 \cdot \text{tg} \delta_B)^3 \cdot (1 - \text{tg} \delta_L) \quad (F.7)$$

c) coeficiente corrector del factor N_γ :

Ejemplos utilización del área equivalente y del ancho equivalente

Guía de cimentaciones en obras de carretera

4.8.4. CÁLCULO BASADO EN ENSAYOS DE CAMPO (TERRENOS GRANULARES)

El análisis de algunos cientos de casos de cimentaciones de diverso tipo sobre arenas, iniciado por Burland y Burbidge¹², permite recomendar la siguiente expresión para el cálculo de asientos en terrenos granulares:

$$s_c = z \cdot \frac{1,7}{N^{1,4}} \cdot \left(\frac{1,25L^*}{L^* + 0,25B^*} \right)^2 \cdot \frac{p}{p_o} \cdot f_s$$

Donde:

$$z = L_o \left(\frac{B^*}{L_o} \right)^{0,75} \quad L_o = \text{Longitud de referencia que se tomará igual a 1 m, } (L_o = 1 \text{ m}).$$

Por tanto queda. $Z = (B^*)^{0,75}$. En CTE se utiliza $B^{0,7}$ (Un solo decimal)

p = Presión de cálculo, determinada como se indica a continuación.

p_o = Presión de referencia. Se tomará igual a 1 MPa.

En CTE se utiliza q se denomina $q'b$

$$\left(\frac{1,25L^*}{L^* + 0,25B^*} \right)^2 \quad \text{En CTE se denomina como } f_s$$

$$\frac{1,7}{N^{1,4}} \quad \text{En CTE se denomina como } I_c$$

- f_s = Factor que tiene en cuenta el espesor de la capa de arena considerada en el cálculo, y que tiene por objeto minorar el valor del asiento obtenido con el cálculo, cuando exista un estrato rígido e indeformable por encima de la profundidad de referencia, z , calculada previamente.

Alcanza los siguientes valores:

$$\begin{aligned} - \text{ Si } z \leq H_s \quad f_s &= 1 & - \text{ Si } z > H_s \quad f_s &= \frac{H_s}{z} \left(2 - \frac{H_s}{z} \right) \end{aligned}$$

En CTE se denomina como f_i

Asientos en suelos granulares I

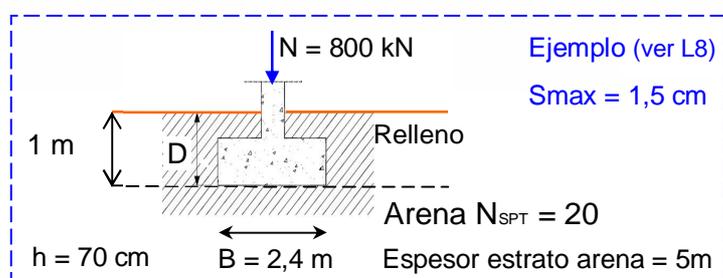
F.1.2.2 Suelos granulares con una proporción en peso de partículas de más de 20 mm inferior al 30%

1 Si bien para estimar el asiento de una cimentación directa en un terreno de estas características podrán utilizarse correlaciones que permiten determinar el módulo de deformación del terreno en función de los resultados obtenidos en ensayos de penetración estática o dinámica realizados "in situ", se puede utilizar la expresión (F.19) de Burland y Burbidge, basada directamente en los resultados obtenidos en el ensayo SPT o deducidos de ensayos de penetración a través de correlaciones debidamente contrastadas.

$$S_i = f_1 \cdot f_s \cdot q'_b \cdot B^{0.7} \cdot I_c \quad (F.19)$$

$$S_i = f_1 * f_s * q'_b * B^{0,7} * I_c$$

siendo



S_i el asiento medio al final de la construcción, en mm.

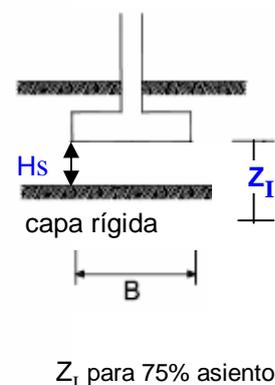
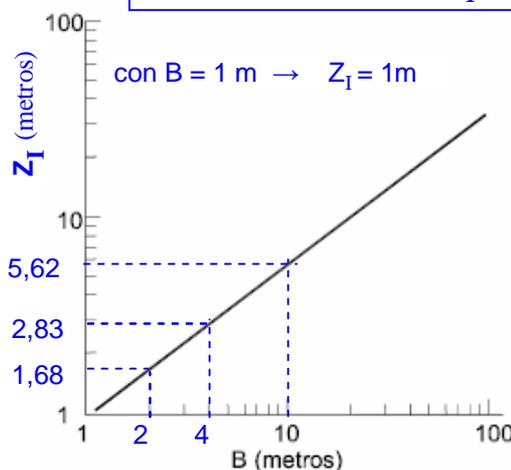
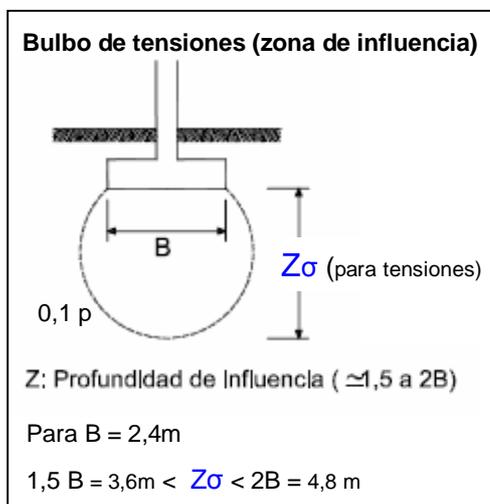
q'_b la presión efectiva bruta aplicada en la base de cimentación (en kN/m²). Ver nota 2

B el ancho de la zapata o losa (en m).

I_c el índice de compresibilidad, definido en el párrafo 3 de este apartado en función del valor medio de golpeo N_{SPT} del ensayo SPT en una zona de influencia (Z_I) bajo la zapata o losa, cuya profundidad viene determinada en función del ancho de la cimentación, tal y como se indica en la Figura F.4.

Zona de influencia deformaciones

Ecuación figura F.4: $Z_I = (B)^{0,75}$



En el ejemplo: con B = 2,4 m → $Z_I = 1,93m$ → $H_s \geq Z_I$

Figura F.4. Zona de influencia Z_I en función del ancho (B) de la cimentación.

f₁ es un factor de corrección que permite considerar la existencia de una capa rígida por debajo de la zapata a una profundidad H_s, (H_s < Z_I), donde Z_I es la profundidad de influencia bajo la zapata, dentro de la cual se produce el 75% del asiento, definida en la Figura F.4, su valor viene dado por:

$$f_1 = \frac{H_s}{Z_I} \left[2 - \frac{H_s}{Z_I} \right]$$

f₁ = factor reductor asiento

Si se cimenta sobre la capa rígida → **f₁ = 0** (no hay asiento)

con H_s ≥ Z_I → **f₁ = 1**

con H_s = 0,5 Z_I → **f₁ = 0,75**

(F.21)

Asientos en suelos granulares II

f_s un coeficiente dependiente de las dimensiones de la cimentación directa, supuesta ésta rectangular. Su valor viene dado por:

$$f_s = \left(\frac{1,25 \cdot \frac{L}{B}}{\frac{L}{B} + 0,25} \right)^2 \quad \text{para zapata cuadrada } f_s = 1 \quad (F.20)$$

$$L = 2B \rightarrow f_s = 1,23$$

$$L = 3B \rightarrow f_s = 1,33$$

donde

L es el largo de la zapata o losa (en m)

- 2 Cuando el terreno se encuentre sobreconsolidado o cuando la cimentación se sitúe en el fondo de una excavación cuya máxima presión efectiva vertical en el fondo haya sido (σ'_{v0}), el valor de (q'_b) a introducir en la ecuación del asiento será:

$$q'_b - \frac{2}{3} \sigma'_{v0} \quad \text{cuando } \sigma'_{v0} < q'_b \quad (F.22)$$

Nota 2

$$\frac{q'_b}{3} \quad \text{cuando } \sigma'_{v0} \geq q'_b \quad (F.23)$$

- 3 El índice de compresibilidad se podrá obtener de la expresión:

$$I_c = \frac{1,71}{N_{med}^{1,4}} \quad N_{med}: \text{Dato del Estudio Geotécnico (tiene que estar previsto)} \quad (F.24)$$

siendo

N_{med} la media aritmética de los golpes N_{SPT} a lo largo de la zona de influencia Z_i .

El índice I_c determinado según la expresión (F.24) representa la media obtenida del estudio estadístico de más de 200 casos reales. Los índices aproximados correspondientes a la media \pm una desviación standard son:

$$I_c^+ = \frac{3,0}{N_{med}^{1,4}} \quad Si = f_i * f_s * q'_b * B^{0,7} * I_c \quad (F.25)$$

$$Si = 1 * 1 * \left(\frac{800}{2,4 * 2,4} + 25 * 0,7 \right) * (2,4^{0,7}) * \left(\frac{1,71}{20^{1,4}} \right) = 7,5mm \quad (CTE)$$

$$I_c^- = \frac{0,94}{N_{med}^{1,4}} \quad Si = 1 * 1 * \left(\frac{800}{2,4 * 2,4} + 25 * 0,7 \right) * (2,4^{0,75}) * \left(\frac{1,71}{20^{1,4}} \right) = 7,8mm \quad (GCOC) \quad (F.26)$$

- 4 Como reglas complementarias se deben observar las siguientes:

- el método no se considera aplicable para valores $N_{SPT} < 7$ debiéndose en dicho caso realizar un estudio especializado no contemplado en este DB;
- el golpeo N_{SPT} no se corrige por el efecto de la profundidad;
- en el caso de que el terreno esté compuesto por arenas finas y arenas limosas bajo el nivel freático, se puede emplear la corrección de Terzaghi para $N_{SPT} > 15$:

$$N_{SPT} \text{ (corregido)} = 15 + 0,5(N_{SPT} \text{ (medido)} - 15) \quad (F.27)$$

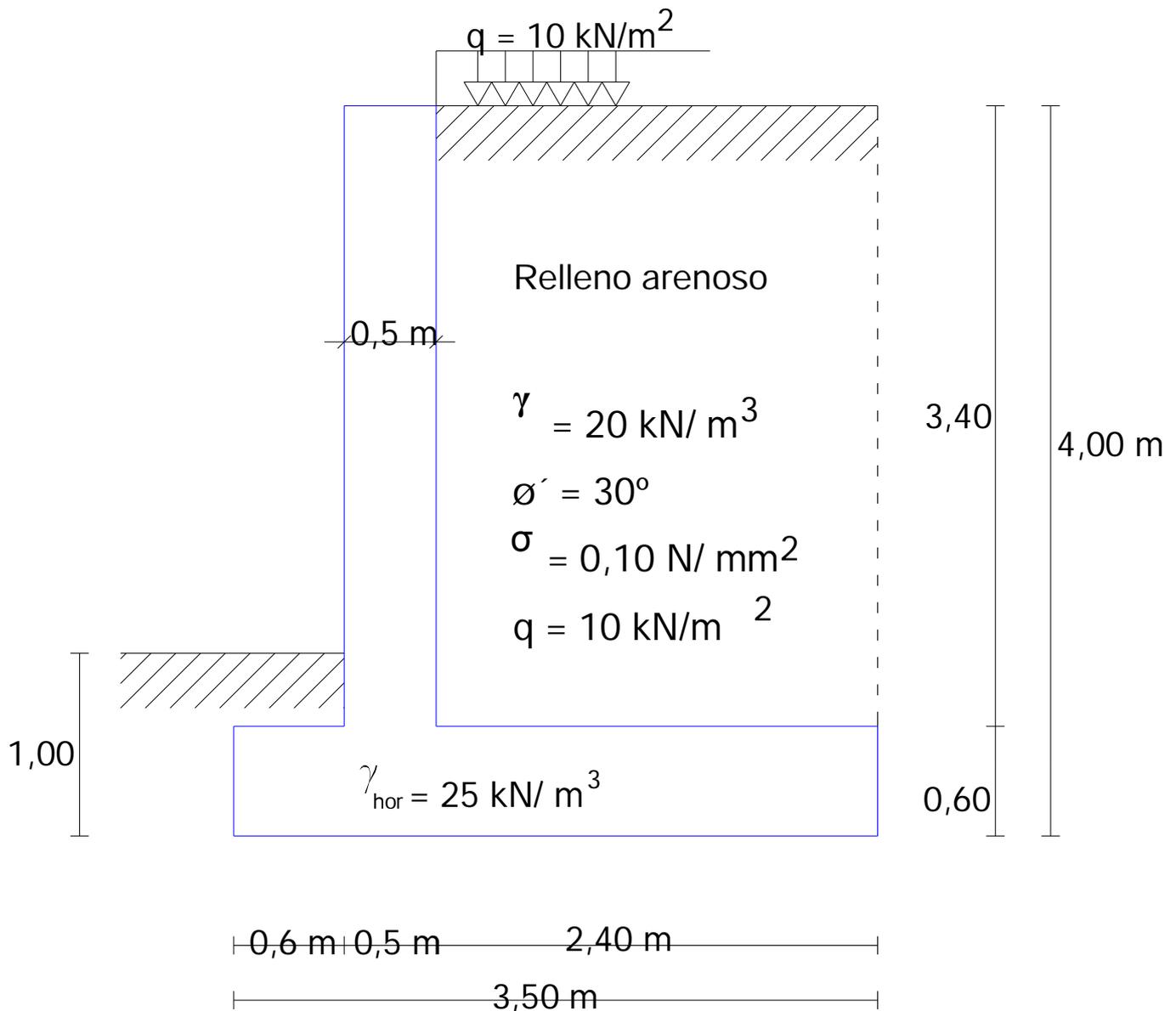
4.8.5.1 Precisión del cálculo de los asientos (GCOC)

Los cálculos de asientos, realizados con los procedimientos descritos en este apartado 4.8, serán siempre imprecisos.

Generalmente habrá que suponer que el asiento real puede estar comprendido entre la mitad y el doble del calculado.

Ejercicio nº4: muro de contención

Ejercicio de peritación.



Ø terreno por debajo del plano cimentación = relleno trasdós = 30°

Determinar

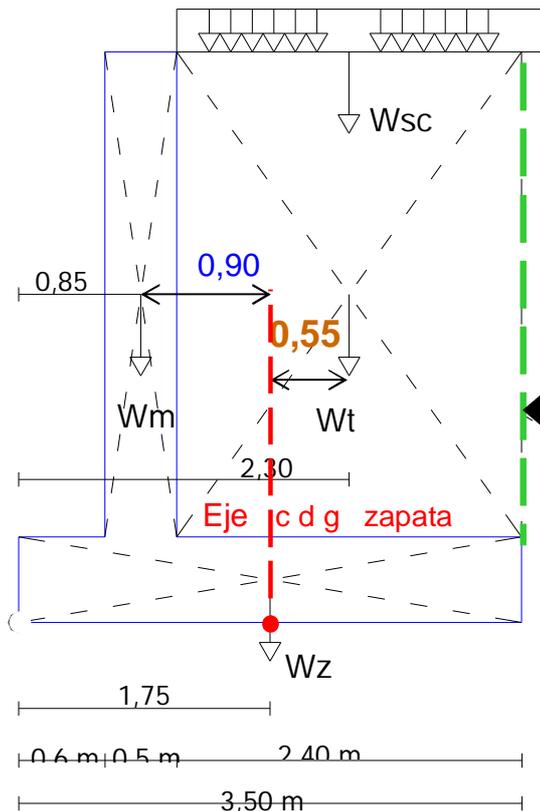
1º Seguridad al hundimiento.

$$\sigma_{adm} = 0,10 \text{ N/mm}^2 = 100 \text{ kN/m}^2 \rightarrow \sigma h \geq 3 * 100 = 300 \text{ kN/m}^2$$

Seguridad al hundimiento C.T.E..

$$\gamma_R = \frac{\sigma h}{\sigma_{BRUTA}} = \frac{300}{\sigma_{BRUTA}} \geq 3 \text{ (CTE)}$$

Comprobación al hundimiento (equilibrio fuerzas verticales)



Hipótesis primera

$$W_m = 3,4 * 0,5 * 1,00 * 25 = 42,5 \text{ kN}$$

$$W_t = 3,4 * 2,4 * 1,00 * 20 = 163,2 \text{ kN}$$

$$W_z = 0,6 * 3,5 * 1,00 * 25 = 52,5 \text{ kN}$$

$$\underline{\hspace{10em}} \quad 258,2 \text{ kN}$$

$$E_h = 66,66 \text{ kN}$$

$$e_h = 1,46 \text{ m}$$

Hipótesis segunda: se añade la sobrecarga

$$W_{sq} = 10 * 2,40 * 1,00 = 24 \text{ kN}$$

$$\Sigma = N = 282,2 \text{ kN}$$

SITUACIONES PERMANENTES O TRANSITORIAS

Hipótesis 1ª/ Situación permanente (la sobrecarga "q" no actúa)

$$\text{Momento antihorario} = (W_m * e_m) + (E_h * e_h)$$

Terreno y eje c.d.g. zapata: ●

$$(42,5 * 0,90) + (66,66 * 1,46) = 38,25 + 97,32 = 135,57 \text{ kN*m}$$

$$\text{Momento horario} = (W_t * e_t) \quad (162,32 * 0,55) = 89,28 \text{ kN*m}$$

$$\Sigma \text{ Momentos (c.d.g.)} = 135,57 - 89,28 = 46,29 \text{ kN*m}$$

$$\text{Excentricidad: } e = 46,29 / 258,2 = 0,18 \text{ m} \rightarrow B^* = B - 2e = 3,5 - 0,36 = 3,14 \text{ m}$$

Tensión bruta de trabajo del terreno bajo la cimentación: σ_b :

$$\sigma_b = 258,2 / (3,14 * 1) = 82,23 \text{ kN/m}^2 \leq \sigma_{adm} = 100 \text{ kN/m}^2$$

Hipótesis 2ª/ Situación transitoria (la sobrecarga si actúa)

$$\text{Momento horario} = (W_t * e_t) + (W_s * e_s)$$

(EXAMEN) 🦋

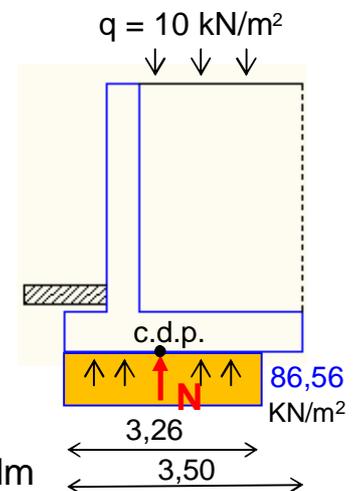
$$(162,32 * 0,55) + (24 * 0,55) = 89,28 + 13,20 = 102,48 \text{ kN*m}$$

$$\Sigma \text{ Momentos} = 135,57 - 102,48 = 33,09 \text{ kN*m}$$

$$\text{Excentricidad: } e = 33,09 / 282,2 = 0,117 \text{ m}$$

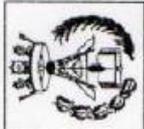
$$B^* = B - 2e = 3,5 - 0,235 = 3,265 \text{ m}$$

$$\text{Tensión de trabajo: } \sigma_b = 282,2 / (3,26 * 1) = 86,56 \text{ kN/m}^2 \leq \sigma_{adm}$$



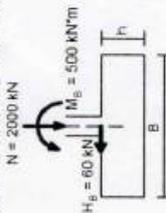
$$\text{Seguridad hundimiento: } \gamma_R = \frac{\sigma_h}{\sigma_{BRUTA}} = \frac{300}{86,56} = 3,5 \geq 3 \text{ (CTE)}$$

¡OK! 🦋



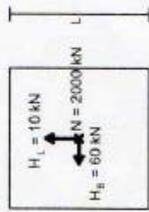
Apellidos: _____ Nombre: _____ D.N.I.: _____ G

Se pretende cimentar un edificio mediante zapatas aisladas rígidas.



Hipótesis de carga: sollicitación base pilar

$N = 2000 \text{ kN}$	$H_L = 10 \text{ kN}$
$H_B = 60 \text{ kN}$	$M_L = 80 \text{ kN} \cdot \text{m}$
$M_B = 500 \text{ kN} \cdot \text{m}$	



Planta: fuerzas



Planta: momentos

Datos proyecto:

pilar: 50x50 $\rho_{\text{hormigón}} = 25 \text{ kN/m}^3$

Datos estudio geotécnico:

tensión admisible terreno: $\sigma_{\text{adm}} = 2 \text{ daN/cm}^2$
firme arenoso: $N_{\text{spt}} = 20$ y gran espesor
 $K_{\text{SP-30}} = 160 \text{ MN/m}^3$ $V' = 0.2$
 $E_{\text{arena}} = 300 \text{ MN/m}^2$

Se pide:

Parte 1ª. Preparación dimensionado zapata aislada rígida

- 1/ Calcular conforme CTE el ancho equivalente ($B^* = L^*$) para la sollicitación N. (módulo 10 cm)
- 2/ Calcular el canto mínimo "h" para que sea rígida conforme EHE. (módulo 10 cm)
- 3/ Comprobar la tensión de trabajo en la base, con inclusión del peso propio. ($\sigma_1 \leq \sigma_{\text{adm}}$)

con el canto calculado. ¿Cuál es la dimensión máxima que podrá tener una zapata rígida?

- 4/ Calcular las excentricidad: e_B para la combinación: N + MB (total)
- 5/ Calcular las excentricidad: e_L para la combinación: N + ML (total)
- 6/ Dimensionar de la zapata: B x L x h a partir de las excentricidades.
- 6/ Comprobar el canto de la zapata para que siga siendo rígida.
- 7/ Recalculos necesarios (si procede).

Parte 2ª. Con los resultados de la primera parte. Solución propuesta:

- 8/ Dimensión final zapata rectangular: B x L x h para la hipótesis de carga del enunciado. (módulo 10 cm)
- 9/ Dimensión final zapata cuadrada: B x B x h para la hipótesis de carga del enunciado. (módulo 10 cm)

Tiempo para este ejercicio 40 minutos. Puntuación = 10 PUNTOS. Para aprobar es necesario alcanzar 5 puntos. Los errores conceptuales se puntuarán negativamente.

1/ $A = \frac{2000}{200} = 10 \text{ m}^2 \rightarrow B^* = \sqrt{A} = 3,16 \text{ m} \rightarrow B^* = 3,20 \text{ m}$

2/ $h \geq \left(\frac{3,20}{2} - 0,25 \right) / 2 = 0,675 \text{ m} \rightarrow h = 70 \text{ cm}$

3/ $\frac{2000}{3,2^2} + 25 \cdot 0,7 = 195,31 + 17,50 = 212,81 \text{ kN/m}^2 > 200 \text{ N/A VISIBLE}$

con $B^* = 3,30 \text{ m} \rightarrow h \geq \left(\frac{3,3}{2} - 0,25 \right) / 2 = 0,70 \text{ m}$

$\frac{2000}{3,3^2} + 25 \cdot 0,7 = 183,66 + 17,50 = 201,16 > 200 \text{ N/A VISIBLE}$

con $B^* = 3,40 \text{ m} \rightarrow h \geq \left(\frac{3,4}{2} - 0,25 \right) / 2 = 0,73 \text{ m} \rightarrow h = 80 \text{ cm}$

$\frac{2000}{3,4^2} + 25 \cdot 0,8 = 173,01 + 20 = 193,01 \text{ kN/m}^2 < 200 \rightarrow \text{VISIBLE, con } h = 80 \text{ cm, } \delta_{\text{max}} = 3,7 \text{ cm}$

4/ $M_{BT} = 500 + 60 \cdot 0,8 = 548 \text{ kN} \cdot \text{m} \rightarrow e_B = 548 / 2000 = 0,274 \text{ m}$

$B = B^* + 2e_B = 3,40 + 0,548 = 3,948 \text{ m} \sim 4 \text{ m} > 3,70 \rightarrow h \geq \left(\frac{4}{2} - 0,25 \right) / 2 = 0,875 \text{ m} \sim 0,9 \text{ m}$

$h = 0,90 \text{ m} \rightarrow M_{BT} = 500 + 60 \cdot 0,9 = 554 \text{ kN} \cdot \text{m} \rightarrow e_B = 554 / 2000 = 0,277 \text{ m}$

$B = B^* + 2e_B = 3,40 + 0,554 = 3,954 \text{ m} \sim 4 \text{ m} \rightarrow \text{OK}$

$\frac{2000}{3,9^2} + 25 \cdot 0,9 = 173,01 + 22,50 = 195,51 \text{ kN/m}^2 < 200 \text{ OK}$

$M_{LT} = 80 + 10 \cdot 0,9 = 89 \text{ kN} \cdot \text{m} \rightarrow e_L = 89 / 2000 = 0,045 \text{ m}$

$L = L^* + 2e_L = 3,40 + 0,089 = 3,489 \text{ m} \sim 3,50 \text{ m} \rightarrow \text{OK}$

PARTE 2ª

8/ $B \times L \times h < 7 \text{ m} \times 3,50 \text{ m} \times 0,90 \text{ m}$

9/ $B \times B \times h < 7 \text{ m} \times 7 \text{ m} \times 0,90 \text{ m}$