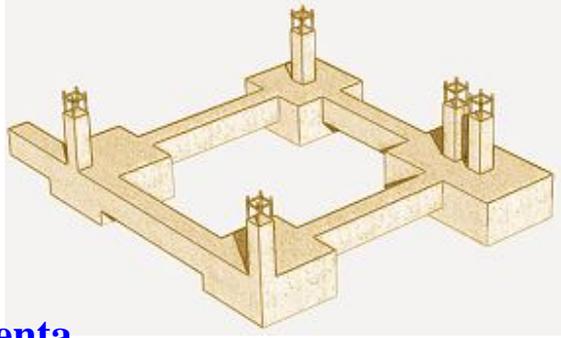


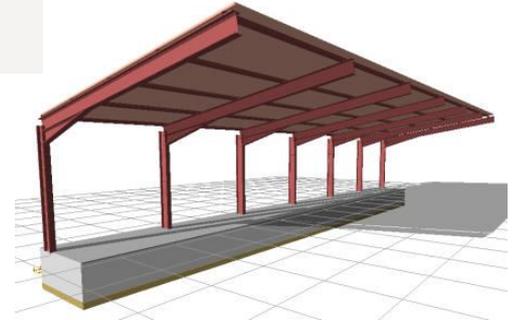


La zapata de medianería



Zapata medianera exenta

- Centro de presiones dentro del núcleo central.
- Centro de presiones fuera del núcleo central.



Zapata de medianería con tirante.

- Tirante superior.
- Tirante inferior.

Zapata de medianería con viga centradora

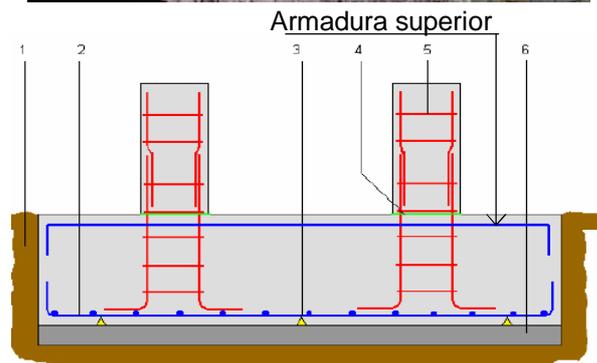
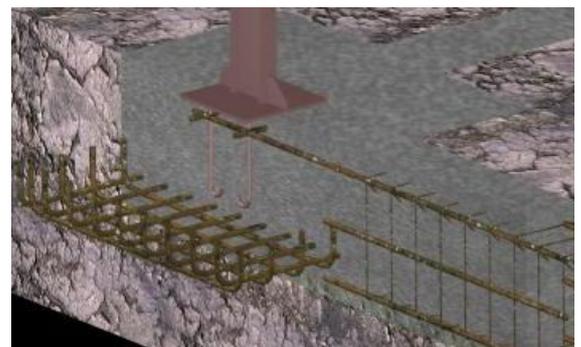
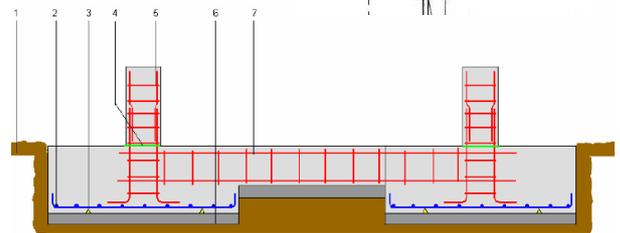
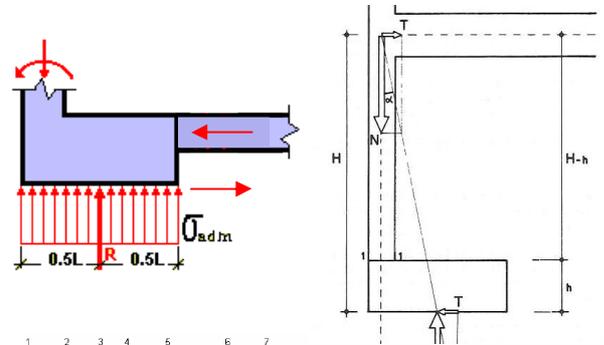
- Equilibrio.
- Proceso de cálculo por tanteos.
- Diagramas solicitaciones en la viga centradora.

Zapata de esquina

- Equilibrio
- Proceso de cálculo..

Zapata combinada para varios pilares

- Centro de presiones dentro del núcleo central.
- Centro de presiones fuera de núcleo central.
- Casos más frecuentes



1/ Zapata medianería exenta (excentricidad I)

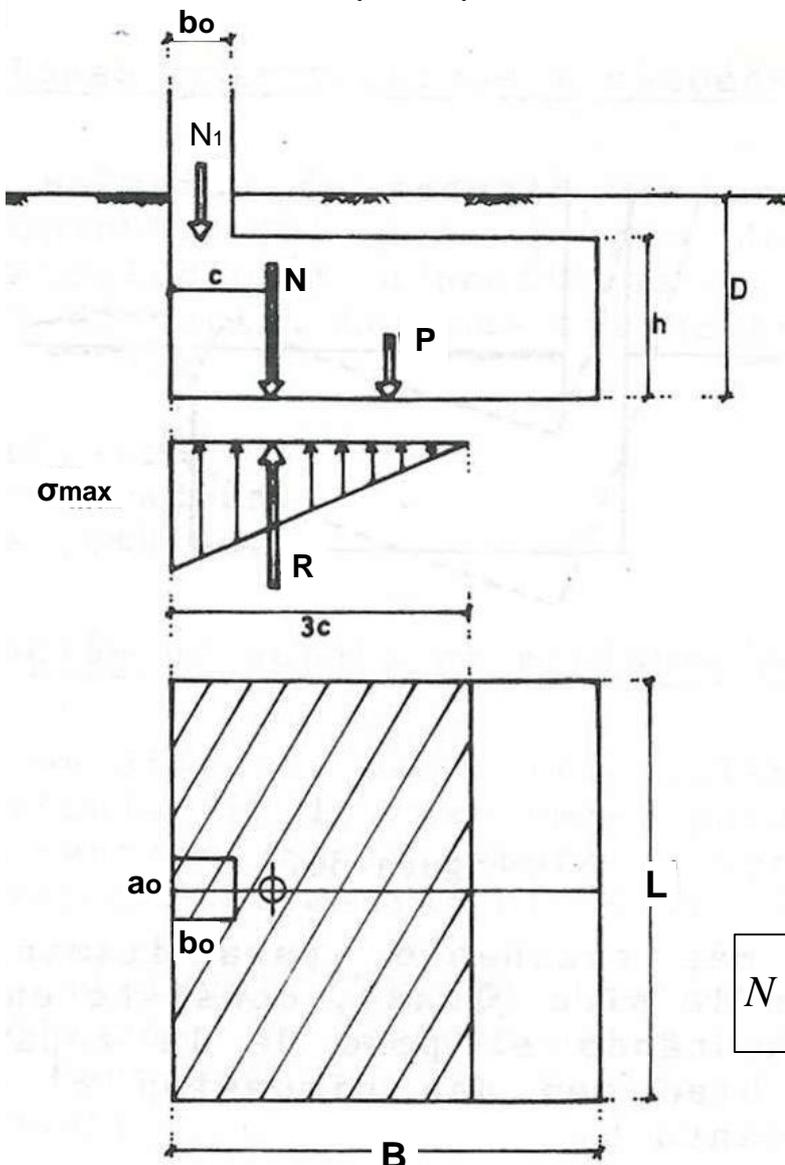
Cuando se disponen soportes en las lindes de un edificio con su medianero, surge la necesidad de emplear zapatas excéntricas, que se denominan zapatas de medianería.

La zapata medianera es pues, un caso particular de zapata aislada con carga excéntrica.

1/ Centro de presiones dentro del núcleo central: Si la carga sobre la zapata actúa con una pequeña excentricidad $e \leq B/6$ (quedando, pues, dentro del núcleo central) se emplean las fórmulas generales de la flexión compuesta.

$$\sigma_{\max} = \frac{N}{L * B} \left(1 + \frac{6e}{B} \right) \leq 1,25 \sigma_{adm}$$

2/ Centro de presione fuera del núcleo central $e > B/6$ el cálculo como zapata aislada se resuelve por el procedimiento de zapatas aisladas con carga excéntrica.



El equilibrio de momentos se consigue al ser **N** y **R** colineales.

El equilibrio de fuerzas verticales impone **N = R**

$$N = N_1 + P = R = \frac{1}{2} * 3c * L * \sigma_{\max}$$

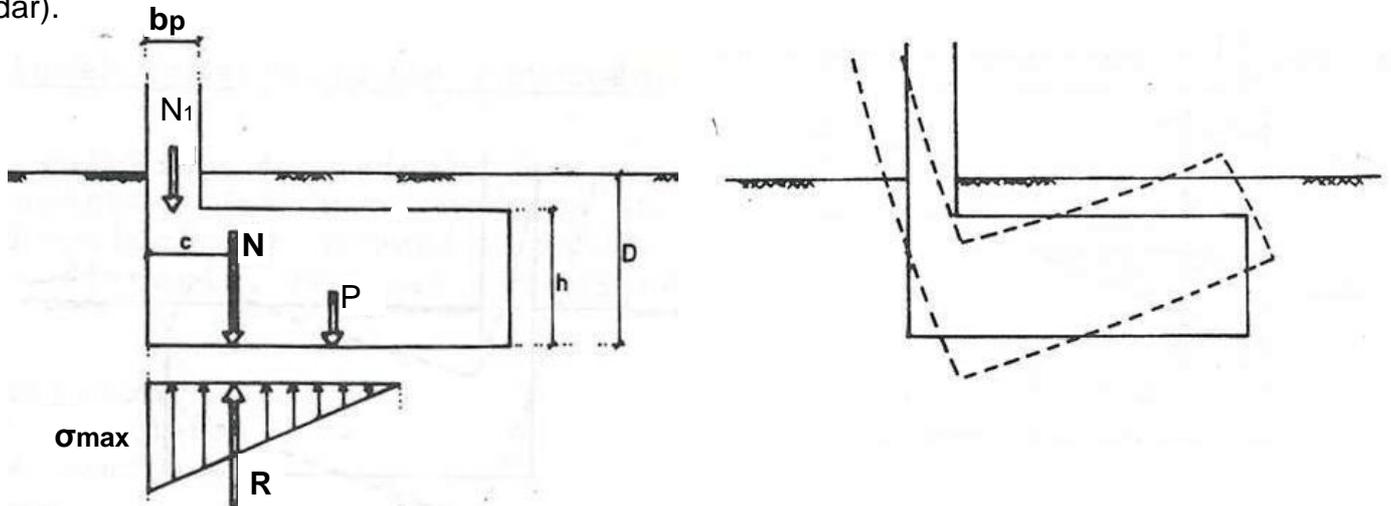
La distribución de tensiones es un diagrama de sección triangular y la tensión de pico: σ_{\max}

Zapata medianería exenta (excentricidad II)

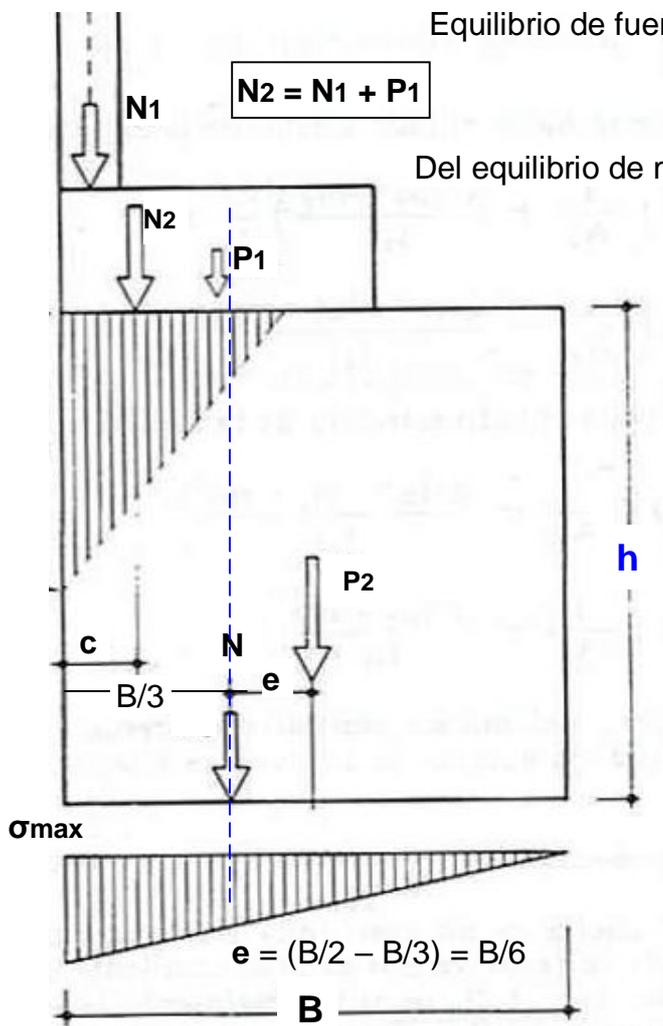
Despejando σ_{max} :
$$\sigma_{max} = \frac{2N}{3c * L} \leq 1,25\sigma_{adm}$$

El problema es que normalmente la tensión de pico supera con mucho la tensión admisible del terreno.

(además no es una buena solución por los posibles problemas de asientos y giros que se pueden dar).



Para centrar más la carga, se puede aumentar el peso de la zapata, bien aumentado su tamaño o disponiendo un dado de hormigón en masa bajo la zapata propiamente dicha con lo cual se aumenta considerablemente el peso.



Equilibrio de fuerzas verticales

$$N_2 = N_1 + P_1$$

$$N = N_2 + P_2 = N_1 + P_1 + P_2$$

Del equilibrio de momentos respecto de la acción de N , se obtiene h :

$$P_2 * e \geq N_2 * (a/3 - c)$$

$$(B * L * h * \gamma) * \left(\frac{B}{2} - \frac{B}{3}\right) \geq N_2 * \left(\frac{B}{3} - c\right)$$

$$(B * L * h * \gamma) * \left(\frac{B}{6}\right) \geq N_2 * \left(\frac{B}{3} - c\right)$$

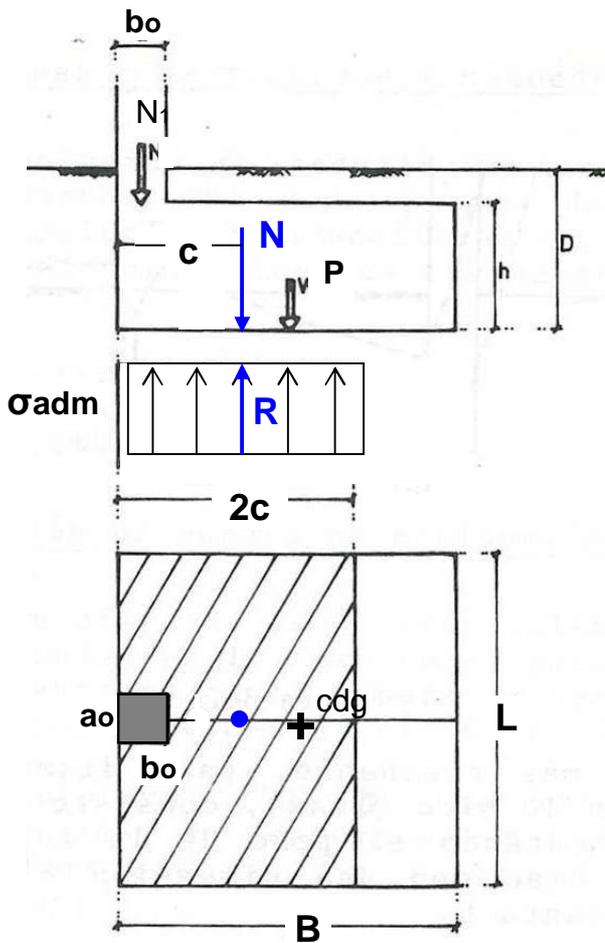
$$h \geq \frac{2N_2(B - 3c)}{B^2 * L * \gamma h}$$

Del equilibrio de fuerzas verticales:

$$\sigma_{max} = \frac{2(N_1 + P_1 + P_2)}{B * L} \leq 1,25\sigma_{adm}$$

Zapata medianería exenta (solución de Meyerhof) [CTE](#)

Zapata medianera



Se Procede por tanteos: $P \approx 1/3 N_1$

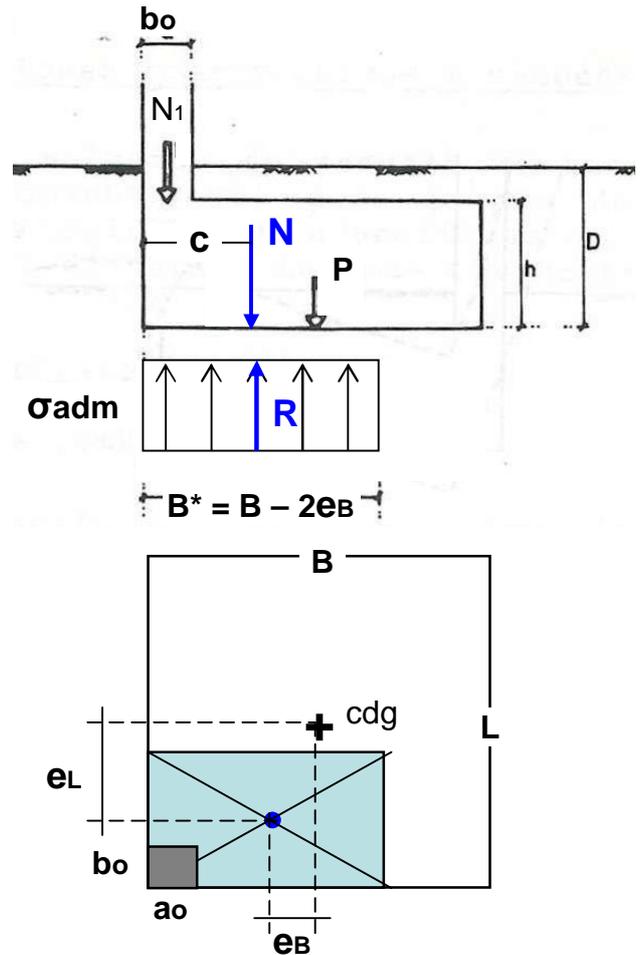
Sección cobaricéntrica

- a) Largo equivalente, $L^* = L$
- b) ancho equivalente, $B^* = 2c$

Tensión cobaricéntrica

$$\frac{N_1 + P}{2c^* L} = \frac{N}{L^* B^*} \leq \sigma_{adm}$$

Zapata esquina (biexcentrica)



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

Sección cobaricéntrica

- a) largo equivalente, $L^* = L - 2e_L$
- b) ancho equivalente, $B^* = B - 2e_B$

Tensión cobaricéntrica

$$\frac{N}{L^* B^*} \leq \sigma_{adm}$$

En la zapata con excentricidad única, conviene disminuir el valor de B en la zapata y aumentar L . (Se obtiene menor dimensión que con la zapata cuadrada)

Valores usuales en sustitución de $B = L$

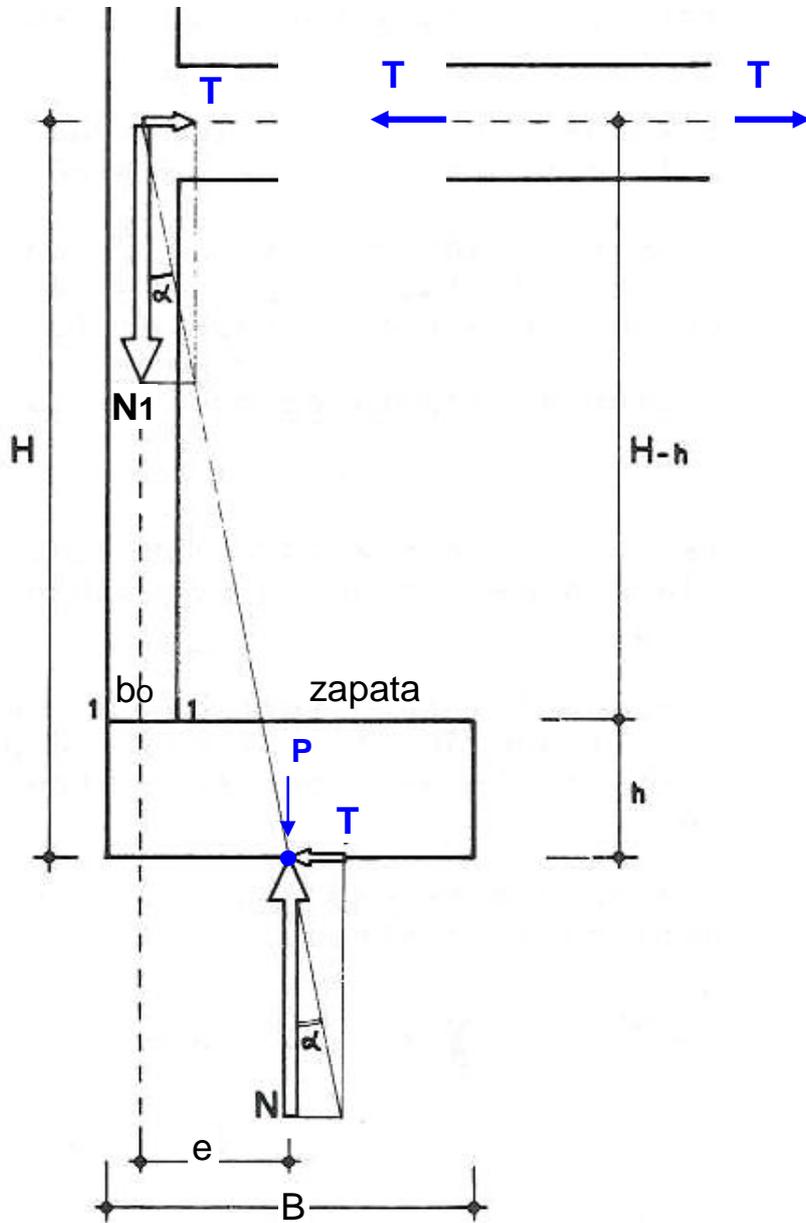
$$4L = 3B \quad (1,33) \quad 3L = 2B \quad (1,5) \quad 7L = 4B \quad (1,75) \quad 2L = B \quad (2)$$



2/ Zapata de medianería con tirante

Consiste en recurrir a la colaboración de la viga del forjado superior (cuando existe) que apoya sobre el pilar de medianería.

Si se compone la carga vertical $N_1 = N + P$ con la horizontal T , se puede hacer que la resultante pase por el centro de la zapata (distribución uniforme de tensiones),



Las incógnitas son P y T

Equilibrio fuerzas horizontales:

$$T \text{ tirante} = T \text{ cimentación}$$

Equilibrio fuerzas verticales:

$$N = N_1 + P$$

$$\sigma_{adm} = \frac{N}{B * L} = \frac{N_1 + P}{B * L}$$

Tanteando B y L , se obtiene P

Equilibrio momentos •

$$N_1 * e = T * H$$

$$\text{Entonces: } T = (N_1 * e) / H$$

La componente horizontal T en la base de la zapata tiene que ser absorbida por rozamiento.

$$(N_1 + P) \tan \delta' \geq 1,5T$$

Siendo δ' el valor minorado del ángulo de rozamiento interno del terreno δ' bajo la zapata. (CTE $\delta' = 3/4 \delta$)

La viga de forjado deberá dimensionarse con sus valores propios mas la tracción Td

El soporte debe dimensionarse (sección 1-1) para soportar además de sus propias acciones un momento adicional de valor: $\Delta M = T * (H-h)$

2/ Zapata de medianería con tirante en solera

Con objeto de disminuir el incremento de momento que sufre el pilar: $\Delta M = T * (H-h)$

Sólo podemos actuar disminuyendo T , ya que $H-h$ depende de la geometría.

$$T = (N - P) * e / H$$

Conviene adoptar:

1/ Valores pequeños para el ancho "B" de la zapata (disminuir e).

para compensar usamos valores iguales o mayores para el ancho b de la zapata.

por ejemplo:

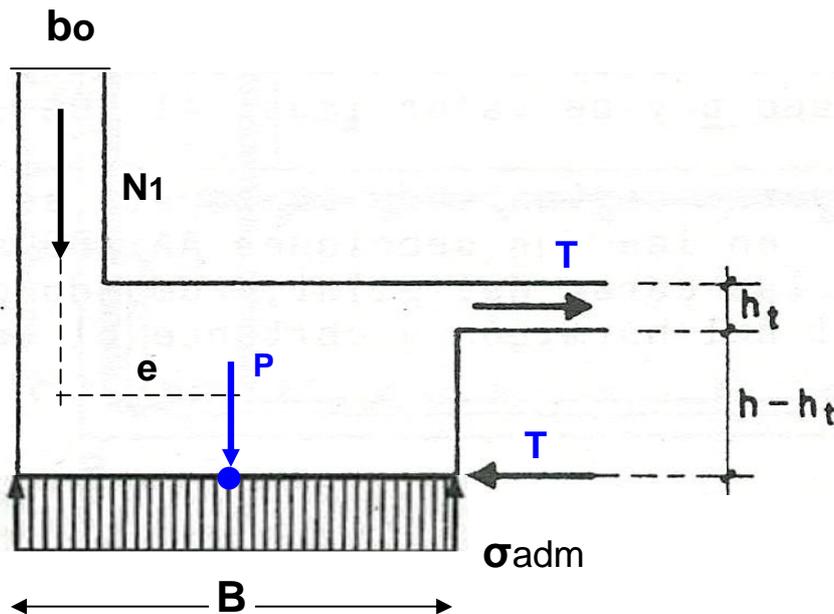
$$L = B \quad (1) \quad 4L = 3B \quad (1,33) \quad 3L = 2B \quad (1,5) \quad 7L = 4B \quad (1,75) \quad 2L = B \quad (2)$$

(valores recomendados por el programa Tricalc)

2/ Valores grandes para su canto h , (opcionalmente también aumentar el canto b_o del soporte).

Cuando no existe forjado superior, el tirante puede disponerse en la cara superior de la zapata.

Llamando h_t al espesor del tirante, el valor de T será en este caso:



$$\sigma_{adm} = \frac{N}{B * L} = \frac{N_1 + P}{B * L}$$

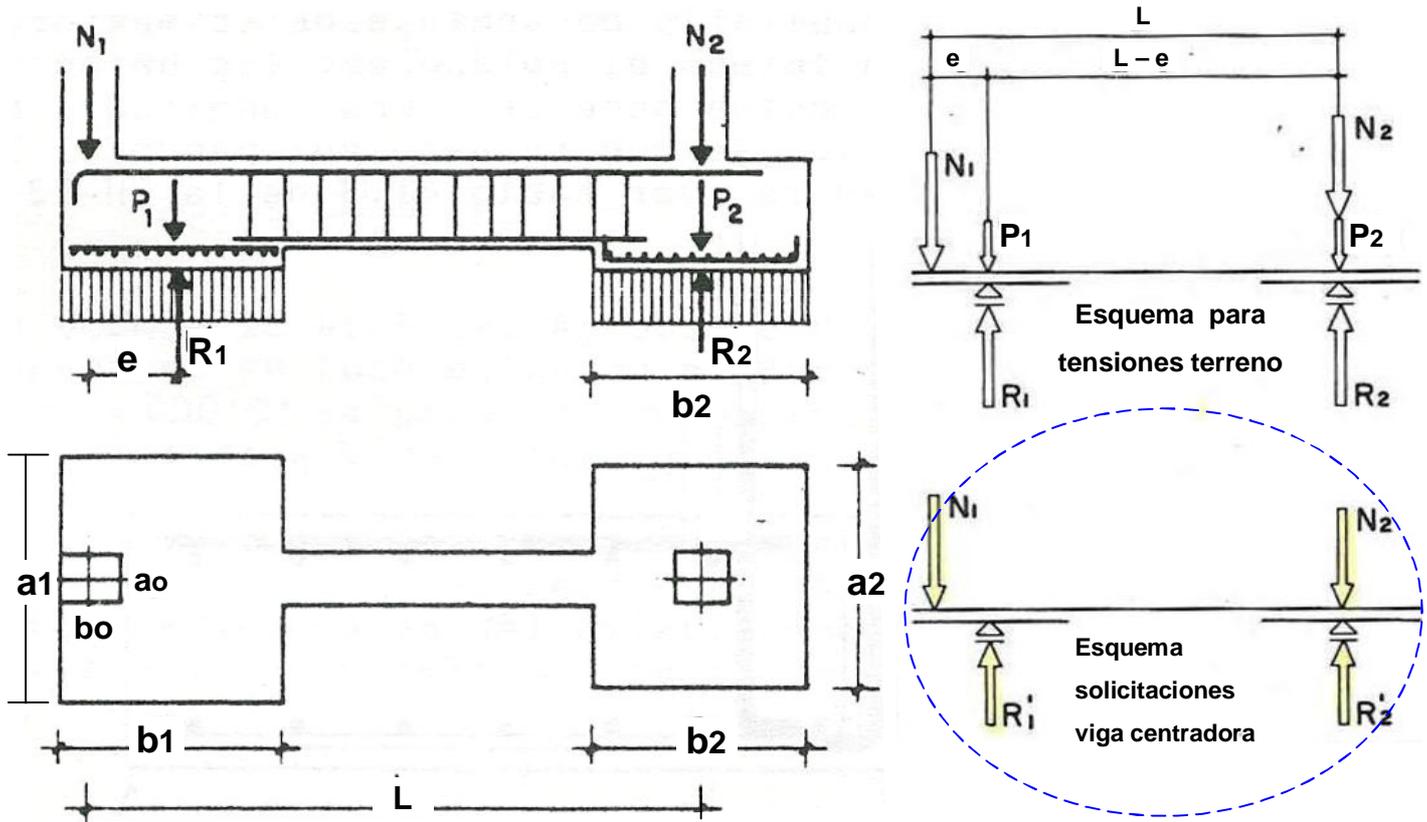
Equilibrio momentos •

$$T = (N_1) \left(\frac{e}{h - \frac{h_t}{2}} \right)$$

Finalmente recordar que todas las soluciones a base de tirante , exigen un giro previo de la zapata para que entre en carga el tirante, lo que significa un inconveniente de estos sistemas.

3/ Solución con viga centradora

Consiste en unir la zapata del soporte de fachada con la correspondiente al soporte inmediato interior, mediante una viga de gran rigidez que realiza la unión.



Como la rigidez de esta cimentación es muy grande respecto a las correspondientes a los soportes, puede admitirse que está apoyada en los mismos.

N1 y **N2** son las cargas de servicio transmitidas por los soportes.

P1 y **P2** los pesos propios de la cimentación. **L** = luz entre pilares.

Las reacciones del terreno **R1** y **R2**, se determinan mediante las ecuaciones de equilibrio:

Equilibrio de fuerzas verticales:

$$(N_1 + P_1) + (N_2 + P_2) = R_1 + R_2$$

Equilibrio de momentos en $\overline{N_2-R_2}$:

$$N_1 * L = (R_1 - P_1) * (L - e)$$

$$R_1 = \left(N_1 \frac{L}{L - e} \right) + P_1$$

$$R_2 = N_2 + P_2 - \left(N_1 \frac{e}{L - e} \right)$$



Para que el problema tenga solución es necesario que **R2 > 0** pues, en caso contrario, la viga centradora podría levantar el soporte interior.

Proceso de cálculo

El empleo de una viga centradora tiene la ventaja, sobre el empleo de un tirante, en que no produce momentos adicionales en los soportes, ni giros previos de la zapata medianera. Por ello, esta solución es más adecuada, sobre todo, en el caso de cargas importantes.

1/ Predimensionar las zapatas 1 y 2 como si las cargas **N1** y **N2** fuesen centradas.

Mayorando entre un 30 y un 40% **N1**, para tener en cuenta el peso de su zapata.

Mayorando entre un 5 y un 10% **N2**, para tener en cuenta el peso de su zapata.

$$a_1 * b_1 = \frac{1,3N_1}{\sigma_{adm}} \qquad a_2 * b_2 = \frac{1,1N_2}{\sigma_{adm}}$$

Como tenemos en la zapata 1 dos variables: **a** y **b** se deben escoger los valores así:

Aumentar **b** implica aumentar **e** y está limitado por la distancia **L**.

Aumentar **a** (profundidad) es más adecuado.

2/ Conocida la dimensión **b1** y siendo **b0** la dimensión del pilar nº 1 se calcula la excentricidad: **e = 1/2 (b1-b0)**

3/ Los valores de las reacciones serán:

$$R_1 = P_1 + N_1 \left(\frac{L}{L - e} \right)$$

$$R_2 = P_2 + N_2 - N_1 \left(\frac{e}{L - e} \right)$$

4/ Las tensiones del terreno (comprobación geotécnica) bajo cada zapata:

$$\sigma_1 = \frac{R_1}{a_1 * b_1} \leq \sigma_{adm} \qquad \sigma_2 = \frac{R_2}{a_2 * b_2} \leq \sigma_{adm}$$

*** Se utiliza sólo la carga permanente de **N1** ***



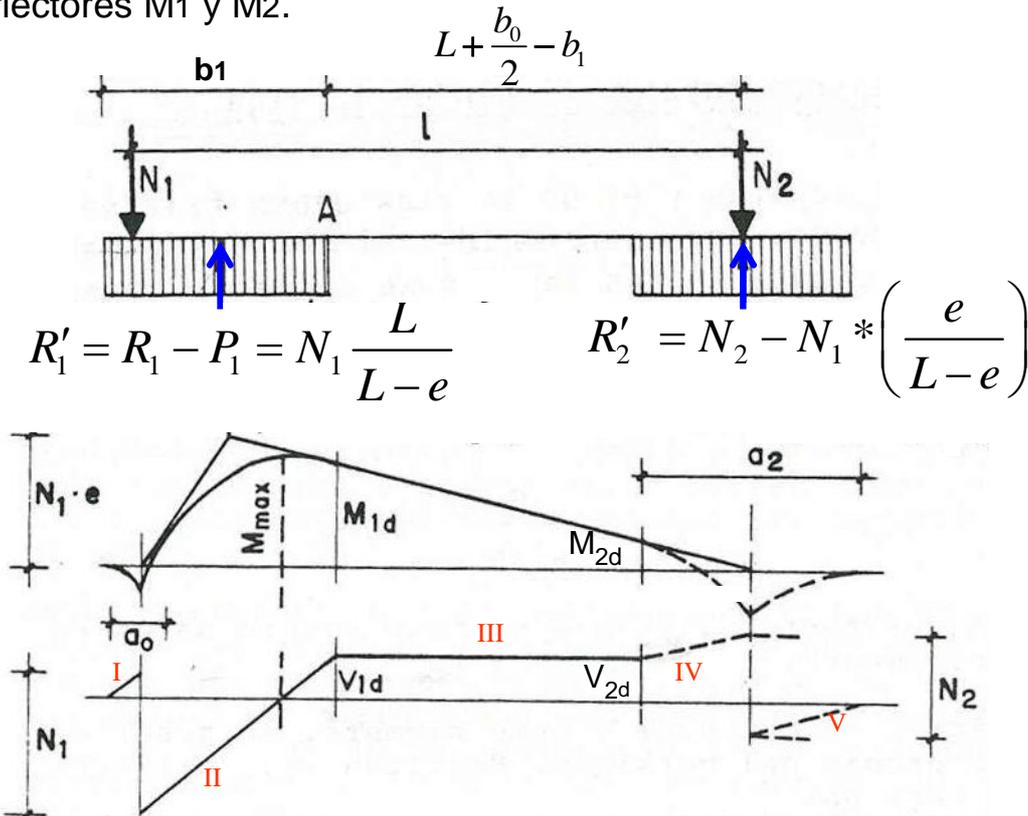
En caso de no ser **σ1** y **σ2** menores o iguales que la **σ adm**. Del terreno, se corrigen los cálculos desde el punto 2 aumentando la dimensiones necesarias

5/ Cálculo de la viga centradora. Se calculan los momentos flectores **M1d** y fuerzas cortantes **Vd1** en la viga. **CALCULO ESTRUCTURAL**, prescindiendo del peso de las zapatas. **N1** y **N2** estarán ahora mayorados (ver detalle en el ejemplo)

$$\sigma'_1 = \frac{R_1 - P_1}{a_1 * b_1} = \sigma_1 - (\gamma_h * h_1) \qquad \sigma'_2 = \frac{R_2 - P_2}{a_2 * b_2} = \sigma_2 - (\gamma_h * h_2)$$

Solicitación viga centradora

El cálculo de la viga centradora necesitan los cortantes $V_1 = V_2$ y los momentos flectores M_1 y M_2 .



$$R'_1 = R_1 - P_1 = N_1 \frac{L}{L-e} \quad R'_2 = N_2 - N_1 * \left(\frac{e}{L-e} \right)$$

$$V_{1d} = \gamma_f * V_1$$

$$M_{1d} = \gamma_f * M_1$$

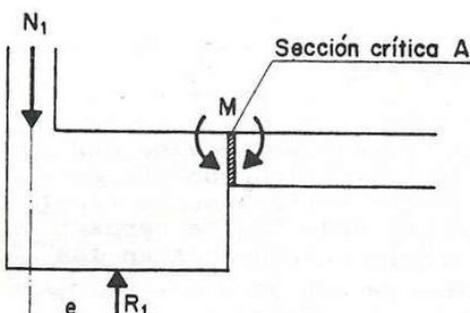
Ec Cortantes y Momentos flectores (por unidad de ancho b):

- I** $0 \leq x < b_0/2$ $V(x) = +\sigma'_1(x)$ $M(x) = +\sigma'_1 * (x^2/2) + C_0$
- II** $b_0/2 \leq x \leq b_1$ $V(x) = +\sigma'_1(x) - N_1$ $M(x) = +\sigma'_1(x^2/2) - N_1(x) + C_1$
- III** $b_1 \leq x \leq b_0/2 + L - b_2/2$ $V(x) = +R'_1 - N_1 = V_1 = V_2$ $M(x) = V_1(x - b_1) + C_2$
- IV** $b_0/2 + L - b_2/2 \leq x < b_0/2 + L$

$$V(x) = +R'_1 - N_1 + \sigma'_2[x - (b_0/2 + L - b_2/2)]$$

$$M(x) = +R'_1 * (x - b_1/2) - N_1 * (x - b_0/2) + \sigma'_2[x - (b_0/2 + L - b_2/2)] + C_3$$
- V** $b_0/2 + L \leq x \leq b_0/2 + L + b_2/2$ $V(x) = +R'_1 - N_1 + \sigma'_2[x - (b_0/2 + L - b_2/2)] - N_2$

$$M(x) = +R'_1 * (x - b_1/2) - N_1 * (x - b_0/2) + \sigma'_2[x - (b_0/2 + L - b_2/2)] - N_2 [x - (b_0/2 + L)] + C_4$$



Si $N_1 = R_1$ sería $M = N_1 \cdot e$.
Como $N_1 < R_1$ el valor de M decrece hacia la viga y es máximo en A.

$$V_1 = N_1 \left(\frac{L}{L-e} \right) - N_1$$

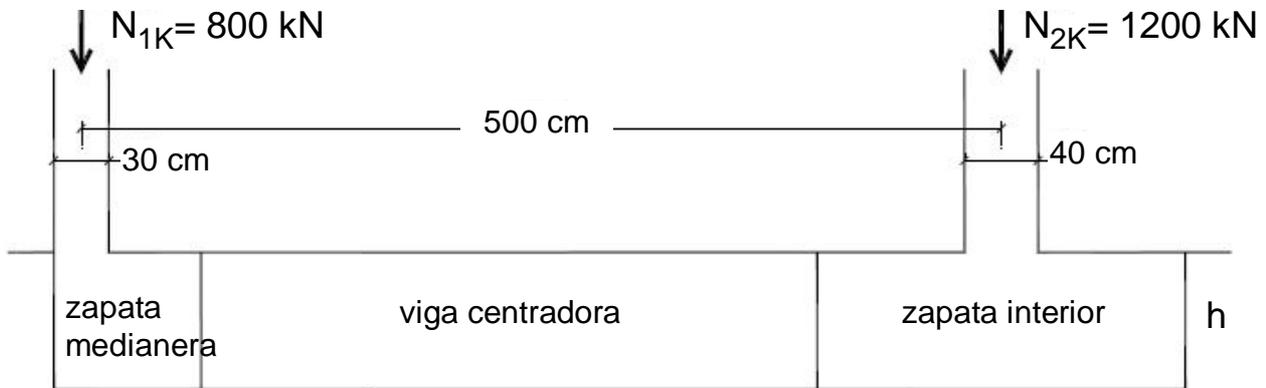
$$M_1 = N_1 \left(\frac{L}{L-e} \right) \frac{a_1}{2} - N_1 \left(a_1 - \frac{a_0}{2} \right)$$

Las zapatas se armarán considerando los valores ponderados de las solicitaciones debidas a la reacciones del terreno σ'_1 y σ'_2 .

Ejemplo n° 1 comprobación zapatas con viga centradora

Las zapatas rígidas de la figura croquizada están sometidas a los esfuerzos indicados que se dan en valor característico. Determinar sus dimensiones y las de la viga centradora de acuerdo con los siguientes datos:

Hormigón HA-25. Acero B 500S. Tensión admisible del suelo: $0,15 \text{ N/mm}^2$



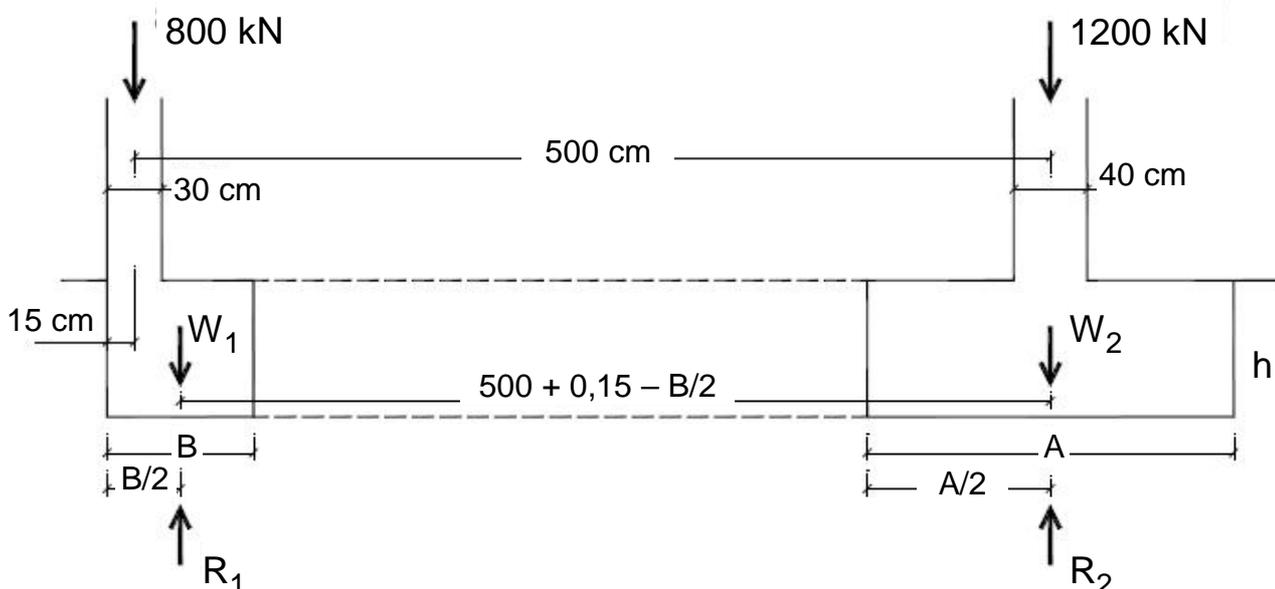
(En este caso no se conoce para N_{1K} y N_{2K} cuanto es acción permanente y cuanto es variable).

1º Cálculo Geotécnico.

Equilibrio de fuerzas verticales: $800 + W_1 + 1200 + W_2 = R_1 + R_2$

Equilibrio de momentos respecto de la línea de acción de N_{2K} :

$$(800 * 5,00) + W_1 * (5,00 + 0,15 - B/2) = R_1 * (5,00 + 0,15 - B/2)$$

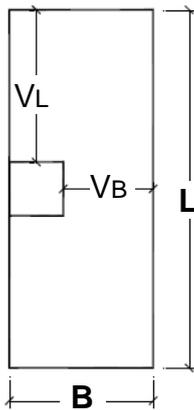


Como los pesos de las zapatas (W_1 y W_2) dependen de sus dimensiones (B , L y A) el sistema está indeterminado.

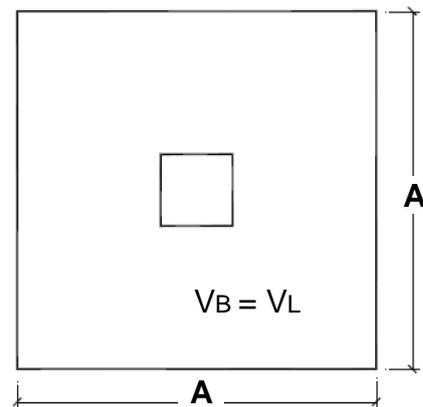
Se procederá a realizar un tanteo sin considerar el peso propio y asumiendo que la zapata excéntrica recibe una carga un 40% mayor que la que deposita el pilar sobre ella.

Ejemplo n° 1 comprobación zapatas con viga centradora

Zapata de medianería.



Zapata interior.



Zapata de medianería.

$$N_{1K} + W_1 / (B \times L) \leq \sigma_{adm} = 1,5 \text{ da N/cm}^2$$

$$1/10 * (800 * 1,40) * 10^3 / (B \times L) = 1,5 \text{ da N/cm}^2$$

$$\text{Si } L = 2 \times B \rightarrow V_B \approx V_L$$

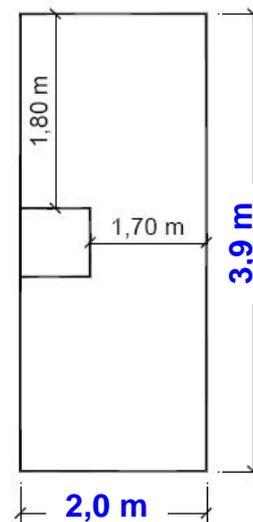
$$1/10 * (800 * 1,40) * 10^3 / (B \times 2B) = 1,5$$

$$\text{Luego } B = 193 \text{ cm } \text{ y } L = 386 \text{ cm}$$

Redondeando a módulo de 10 cm

$$B = 200 \text{ cm} \quad L = 390 \text{ cm}$$

El canto mínimo de la zapata será $h = 90 \text{ cm}$



La ecuación de equilibrio de momentos respecto de la vertical de N2K queda así:

$$(800 * 5,00) + [(2,00 * 3,90 * 0,90 * 25) * (5,00 + 0,15 - 1)] = R_1 * (5,00 + 0,15 - 1)$$

$R_1 = 1139,40 \text{ KN}$ que deberá cumplir: (OJO no confundir con R_1 de la viga centradora)

$$R_1 / (B \times L) \leq \sigma_{adm} \rightarrow 1/10 * (1139,40) * 10^3 / (200 \times 390) = 1,46 \text{ daN/cm}^2$$

Nótese que el equilibrio implica un aumento de $R_1 = 1139,4 = 800 + 175,5 + 163,9$

Zapata interior centrada

Se tantea la zapata centrada para una carga un 10% mayor de la prevista:

$$N_{2K} / A^2 \leq \sigma_{adm} \rightarrow 1/10 * (1200 * 1,10 * 10^3) / A^2 = 1,5 \text{ da N/cm}^2 \text{ obteniéndose:}$$

$$A = 297 \text{ cm} \rightarrow \text{se redondea a } 300 \text{ cm.}$$

(El canto mínimo para zapata rígida sería de 0,65 m. Se va a emplear el canto de 0,90 m para igualar el canto de las dos zapatas y la viga. En ancho de la viga no debe ser menor de 60 cm que es el ancho de cazo normal de una retroexcavadora).

Ejemplo n° 1 comprobación zapatas con viga centradora

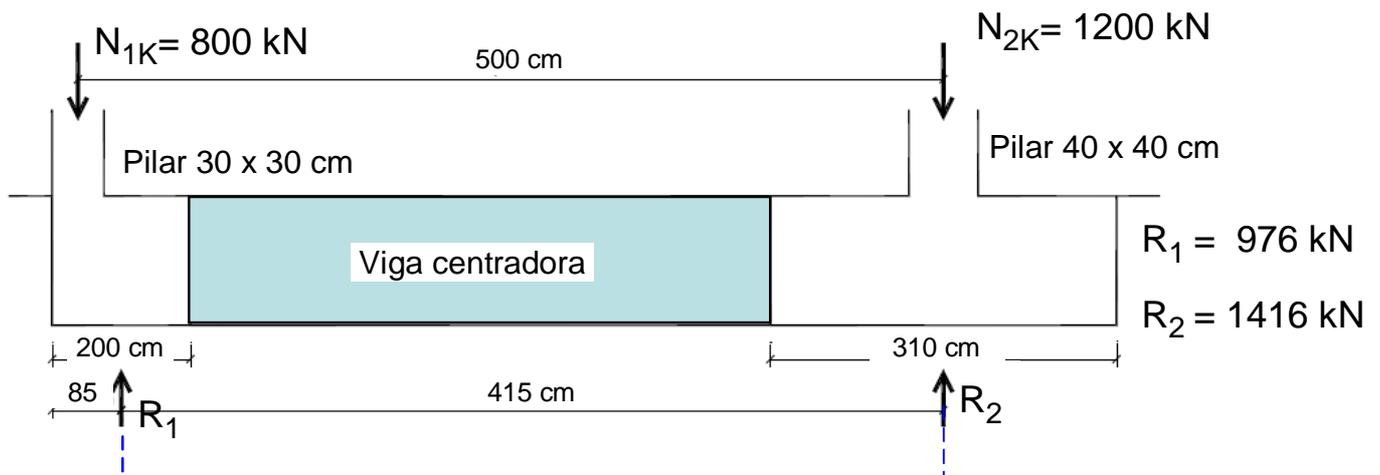
Comprobando la tensión vertical con el peso de la zapata interior. **Se calcula la zapata interior para el máximo axil: $N_{2K} + W_2$** (no se conoce carga permanente pilar n° 1)

$$1/10 \cdot (1200 + 3,00 \cdot 3,00 \cdot 0,90 \cdot 25) \cdot 10^3 / (300 \times 300) = 1,55 \text{ da N/cm}^2 > \sigma_{adm}$$

Es necesario aumentar el lado, probando con 3,10 x 3,10 x 0,90 m:

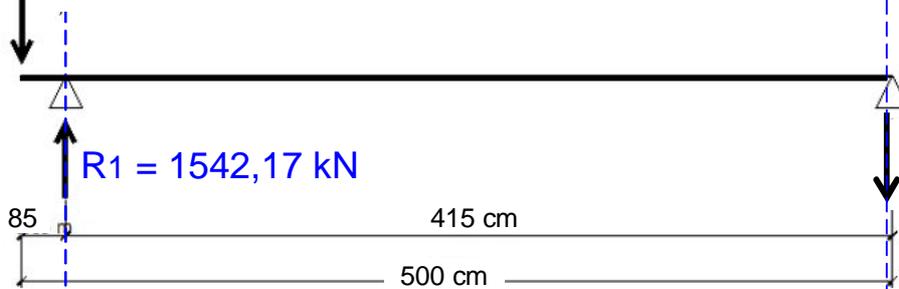
$$1/10 \cdot (1200 + 3,10 \cdot 3,10 \cdot 0,90 \cdot 25) \cdot 10^3 / (310 \times 310) = 1,47 \text{ da N/cm}^2 < \sigma_{adm}$$

El equilibrio implica disminución de $R_2 = 1252,3 = 1200 + 216,2 - 163,9$ (que no debe levantar el soporte interior (seguridad = $1416,2 / 163,9 = .8,64$))



2º Viga centradora (estructura) : Esquema de acciones mayoradas.

$$1,6 \cdot 800 \text{ kN} = 1280 \text{ kN}$$



Equilibrio:

$$R_1 + R_2 = 1280$$

$$1280 \times 5 = R_1 \times 4,15$$

Diagramas de sollicitaciones

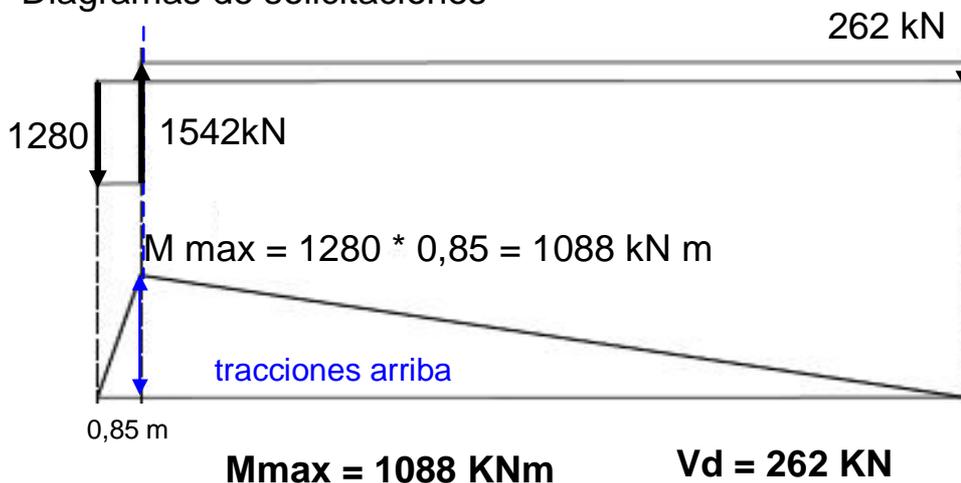


Diagrama de cortantes

V_x en (kN)

Diagrama de flectores

M_x en (kN m)

$$M_{max} = 1088 \text{ KNm}$$

$$V_d = 262 \text{ KN}$$

Ejemplo n° 2 comprobación zapatas con viga centradora

Un pilar de medianería de 40 cm x 40 cm en un edificio de viviendas soporta un axil característico de 1280 kN (820 de carga permanente y 460 de sobrecarga). Se desea arriostrar mediante una viga de 60 cm x 90 cm a un pilar interior de 40cm x 40 cm con axil característico de 2000 kN (1400 de carga permanente y 600 de variable). La tensión admisible del terreno es de 2,5 daN/cm².

1º/ Predimensionado de las zapatas:

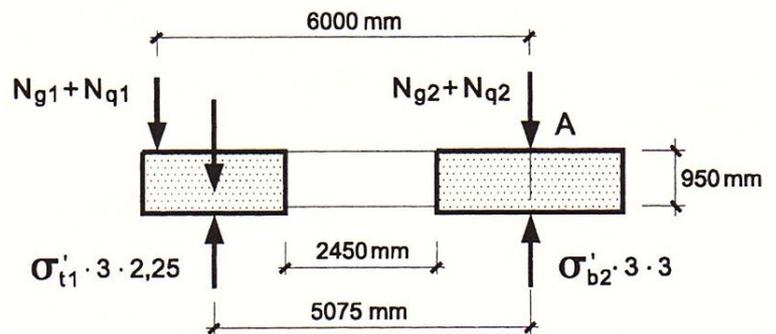
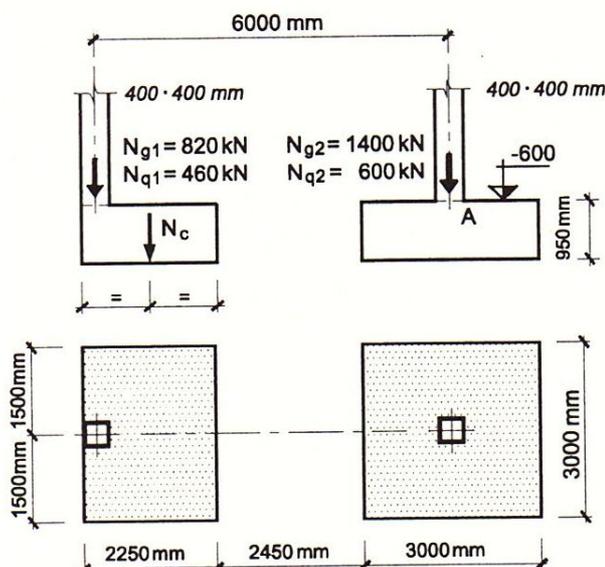
$$\text{Medianería: } \frac{4}{3} b_1 * b_1 = \frac{1,3 N_1}{\sigma_{adm}} \qquad \text{Interior } a_2 * a_2 = \frac{1,1 N_2}{\sigma_{adm}}$$

Medianería:

$$\frac{4}{3} b_1 * b_1 = \frac{1,3 * 1280 * 10^3}{0,25} \rightarrow b_1 = 2234 \text{ mm} \rightarrow \text{zapata: } 225 \text{ cm} * 300 \text{ cm}$$

Interior::

$$a_2 * a_2 = \frac{1,1 * 2000 * 10^3}{0,25} \rightarrow a_1 = 2996 \text{ mm} \rightarrow \text{zapata: } 300 \text{ cm} * 300 \text{ cm}$$



2º/ Excentricidad e:

$$1/2 * (b_1 - b_0) = 1/2 * (2,25 - 0,40) = 0,925 \text{ cm}$$

3ª/ Las reacciones:

$$R_1 = P_1 + N_1 \left(\frac{L}{L - e} \right)$$

$$R_2 = P_2 + N_2 - N_1 \left(\frac{e}{L - e} \right)$$

4/ Las tensiones del terreno (comprobación geotécnica) bajo cada zapata:

$$\sigma_1 = \frac{R_1}{a_1 * b_1} = \frac{(3 * 2,25 * 0,95 * 25 * 10^2) + (1280 * 10^2 * \frac{6,00}{5,075})}{300 * 225} = 2,48 \text{ kN} / \text{m}^2 \leq \sigma_{adm}$$

Ejemplo comprobación zapatas con viga centradora

4/ Las tensiones del terreno (comprobación geotécnica) bajo cada zapata:

$$\sigma_2 = \frac{R_2}{a_2 * a_2} = \frac{(3 * 3 * 0,95 * 25 * 10^2) + 2000 * 10^2 - (820 * 10^2 * \frac{0,925}{5,075})}{300 * 300}$$

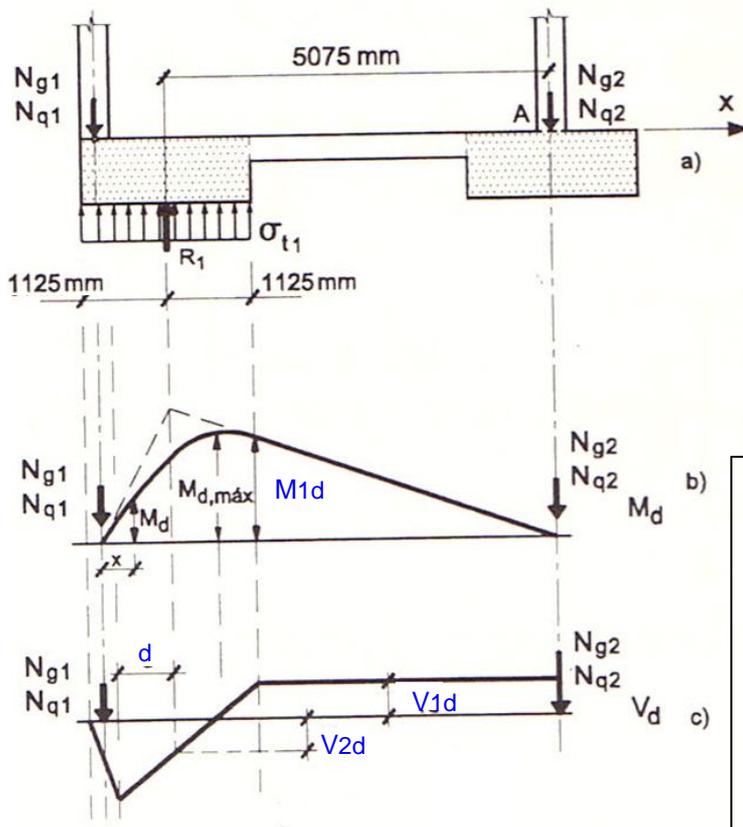
$$\sigma_2 = 2,29 \text{ daN/m}^2 < \sigma_{adm}$$

5/ Cálculo de la viga centradora. Se calculan los momentos flectores **M1d** y fuerzas cortantes **V1d** en la viga CALCULO ESTRUCTURAL, prescindiendo del peso de las zapatas.

Axil de cálculo:

$$N_{d1} = (1,35 * 820) + (1,5 * 460)$$

$$N_{d1} = 1107 + 690 = 1797 \text{ kN}$$



Presión terreno para cálculo estructural:
equilibrio momentos en el eje zapata interior.

$$\sigma_{t1d} = \frac{1797 * 6}{2,25 * 3 * 5,075} = 314,75 \text{ kN / m}^2$$

Presión terreno para la zapata interior:

Axil de cálculo:

$$N_{d2} = (1,35 * 1400) + (1,5 * 600) = 1890 + 900 = 2790 \text{ kN}$$

equilibrio momentos en el eje zapata medianera.

$$\sigma_{t2d} = \frac{(2790 * 5,075) - (1107 * 0,925)}{3 * 3 * 5,075} = 287,58 \text{ kN / m}^2$$

(OJO 1107 <-> sólo carga permanente, pilar nº1)

Flector en viga = cara de la zapata, **M1d**:

$$M_{1d} = -[1797 * (2,25 - 0,2)] + \left[314,75 * 2,25 * 3 * \frac{2,25}{2} \right] = -1293,75 \text{ kN * m}$$

$$\text{Cortante en viga: } V_{1d} = -1797 + [314,75 * 2,25 * 3] = -1797 + 2124,5 = +327,53 \text{ kN}$$

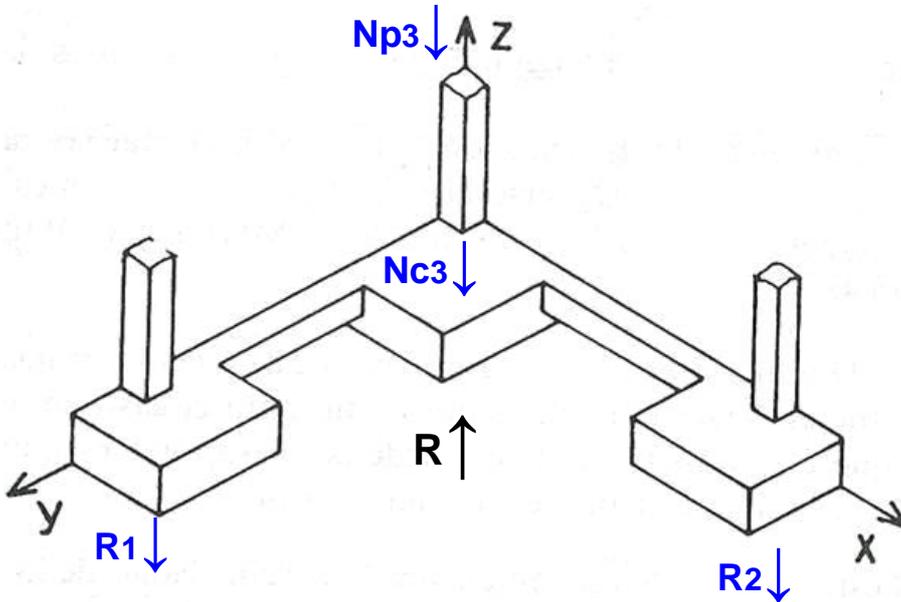
Cortante en la zapata, tomado a un canto mecánico "d" de la cara del pilar:

Con d = 0,90 m → canto pilar + canto mecánico: 0,40 + 0,9 = 1,30 m

$$V_{2d} = -1797 + (314,75 * 3 * 1,30) = -569,49 \text{ kN}$$

Zapata de esquina con viga centradora

En general, la mejor solución para resolver una zapata de esquina se consigue disponiendo **dos vigas centradoras** (una en cada dirección) que la unan a sus dos zapatas adyacentes. Las otras soluciones a base de tirantes, provocan flexión esviada en el pilar de esquina. Conviene añadir, no obstante, que cuando existen muros de sótano arriostrando el pilar de esquina el problema se minora considerablemente.



Sean:

N_{p1} N_{p2} N_{p3}

Los axiles de los soportes:

N_{c1} N_{c2} N_{c3}

Los pesos de las zapatas:

R_1 R_2

Las reacciones del terreno descendentes, esto implica, fuerzas ascendentes en los pilares 1 y 2

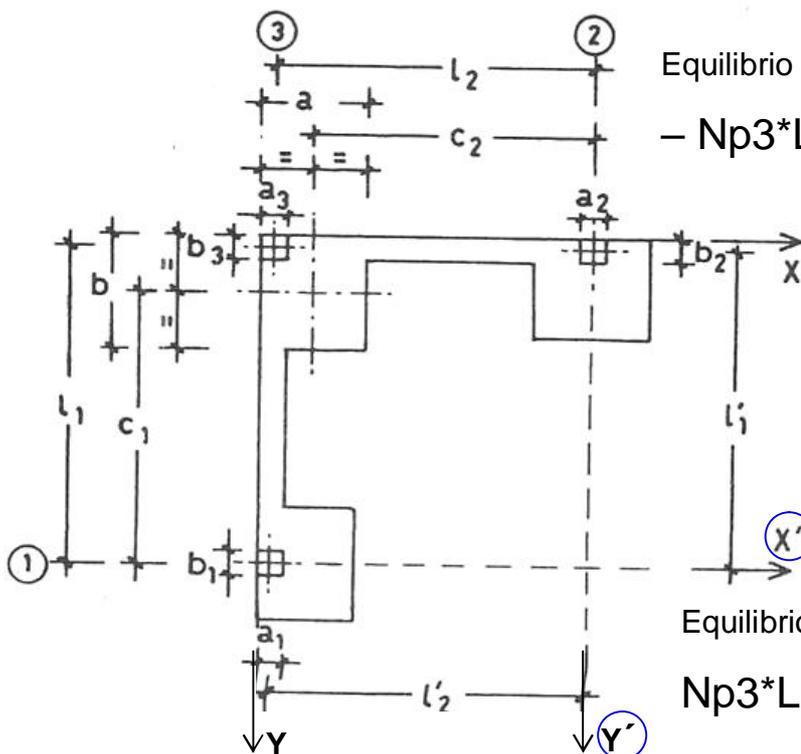
R , la reacción centrada bajo la zapata de esquina 3

Aplicamos las ecuaciones de equilibrio al sistema formado por las fuerzas: N_{p3} N_{c3} R_1 R_2 R

En las que R R_1 R_2 son las incógnitas.

Las ecuaciones de equilibrio de momentos se realizan sobre los ejes X' Y'

Equilibrio fuerzas verticales: $N_{p3} + N_{c3} + R_1 + R_2 - R = 0$

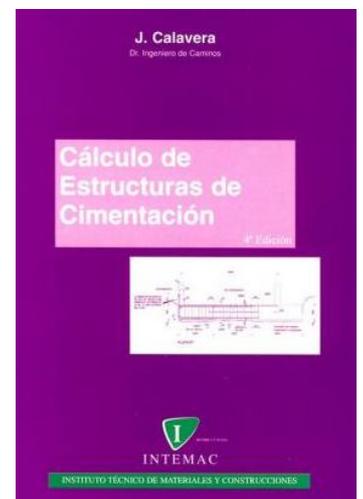


Equilibrio de momentos eje X'

$$- N_{p3} * L_1 - N_{c3} * c_1 - R_2 * L'_1 + R * c_1 = 0$$

Equilibrio de momentos Y'

$$N_{p3} * L_2 + N_{c3} * c_2 + R_1 * L'_2 - R * c_2 = 0$$



Zapata esquina (resolución sistema)

Sistema que resuelto conduce a:

$$R_1 = N_{p3} \frac{l_2(l'_1 - c_1) + c_2(l_1 - l'_1)}{l'_1 c_2 + l'_2 c_1 - l'_1 l'_2}$$

$$R_2 = N_{p3} \frac{l_1(l'_2 - c_2) + c_1(l_2 - l'_2)}{l'_1 c_2 + l'_2 c_1 - l'_1 l'_2}$$

$$R = N_{c3} + N_{p3} \frac{l_1 l'_2 + l_2 l'_1 - l'_1 l'_2}{l'_1 c_2 + l'_2 c_1 - l'_1 l'_2}$$

Si los soportes son de tamaño parecido, puede suponerse $L_1 = L'_1$ y $L_2 = L'_2$ con lo que las expresiones anteriores se simplifican y transforman en:

$$R_1 = N_{p3} \frac{l_2(l_1 - c_1)}{l_1 c_2 + l_2 c_1 - l_1 l_2}$$

$$R_2 = N_{p3} \frac{l_1(l_2 - c_2)}{l_1 c_2 + l_2 c_1 - l_1 l_2}$$

$$R = N_{c3} + N_{p3} \frac{l_1 l_2}{l_1 c_2 + l_2 c_1 - l_1 l_2}$$

* La presión bajo la zapata (cálculo geotécnico) es $\sigma = R/(a*b) \leq \sigma_{adm}$

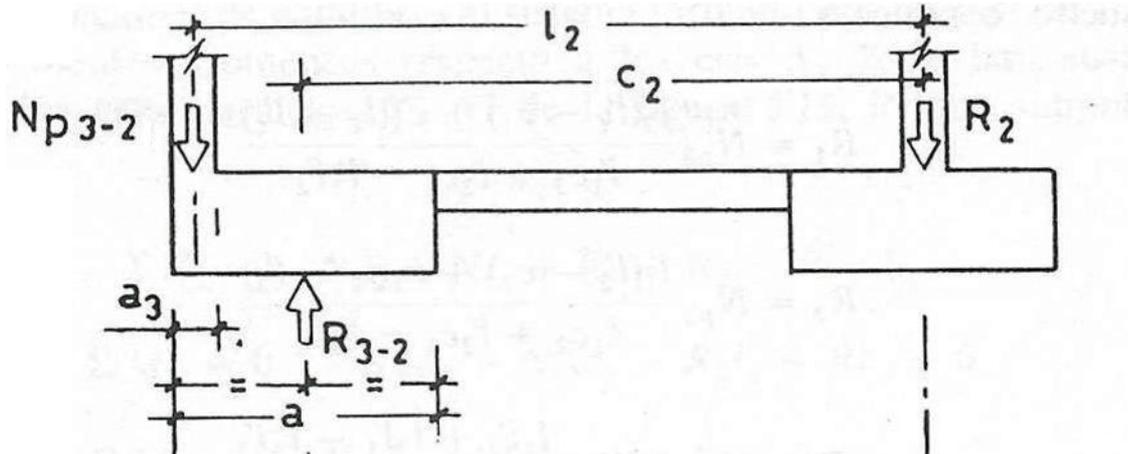
** Para el cálculo estructural de la zapata: $\sigma^* = (R - N_{c3})/(a*b)$

*** Por último asegurarse que las fuerzas **R1** y **R2** no levantan los soportes, actuando en ellos sólo sus cargas permanentes **Ng1 Ng2** mas el peso de sus zapatas **Nc1** y **Nc2** es decir:

$$R_1 \leq Ng_1 + N_{c1}$$

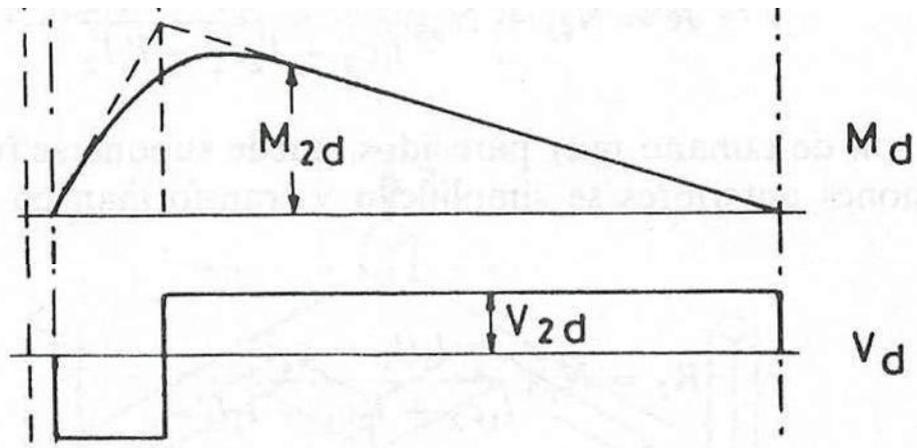
$$R_2 \leq Ng_2 + N_{c2}$$

Zapata esquina (viga centradora 3-2)



$$N_{p3} = N_{p3-1} + N_{p3-2}$$

$$R_{c3} = R_{c3-1} + R_{c3-2}$$



Aplicando las ecuaciones de equilibrio:

$$\begin{cases} N_{p3-2} + R_2 = R_{3-2} \\ N_{p3-2} * L_2 - R_{3-2} * c_2 = 0 \end{cases}$$

De donde:

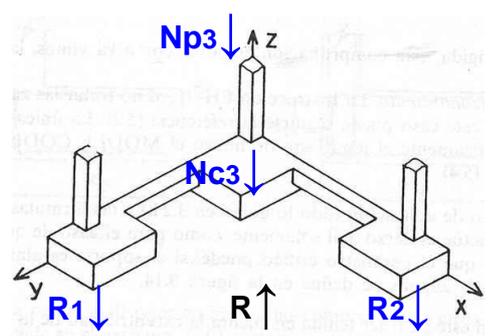
$$N_{p3-2} = R_2 \frac{c_2}{L_2 - c_2} \quad R_{3-2} = R_2 \frac{L_2}{L_2 - c_2}$$

El diagrama de momentos flectores es lineal en la viga, con valor máximo:

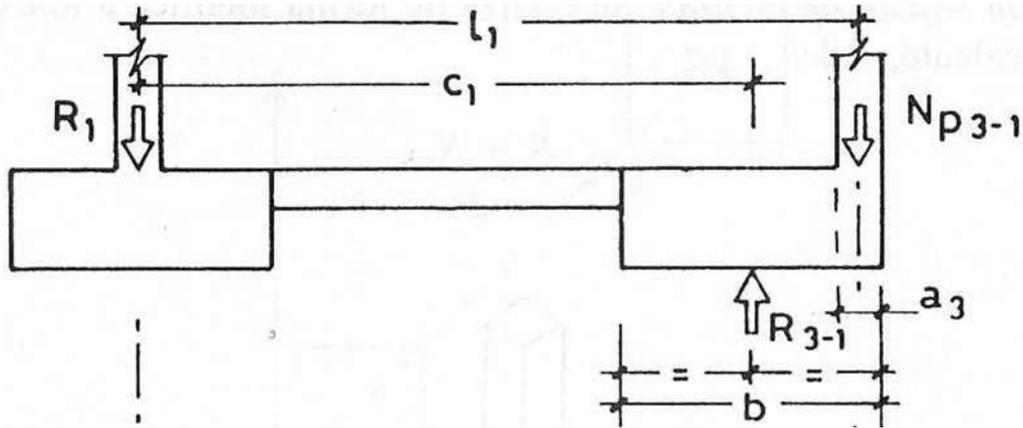
$$M_{2d} = \gamma_f * R_2 \left(c_2 - \frac{a}{2} \right)$$

El cortante es constante a lo largo de la viga de valor:

$$V_{2d} = \gamma_f * R_2$$

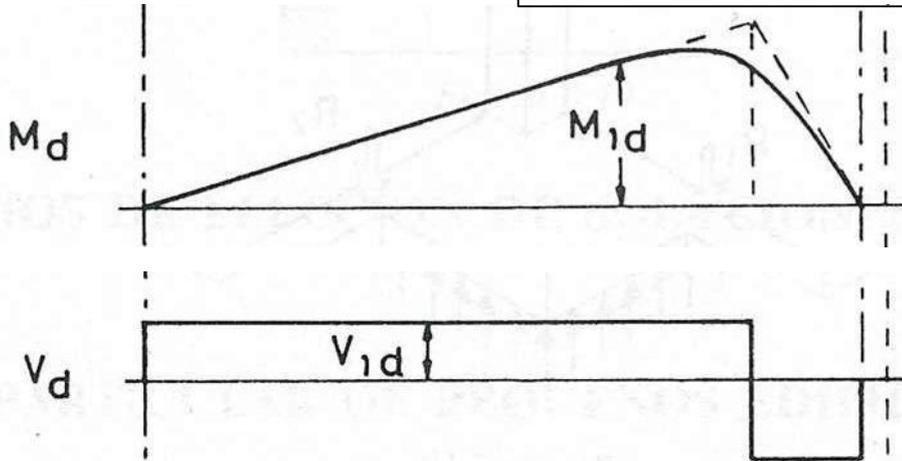


Zapata esquina (viga centradora 3-1)



$$R_{c3} = R_{c3-1} + R_{c3-2}$$

$$N_{p3} = N_{p3-1} + N_{p3-2}$$



Aplicando las ecuaciones de equilibrio:

$$\left\{ \begin{array}{l} N_{p3-1} + R_1 = R_{3-1} \\ N_{p3-1} * L_1 - R_{3-1} * c_1 = 0 \end{array} \right.$$

De donde: $R_{3-1} = R_1 \frac{L_1}{L_1 - c_1}$

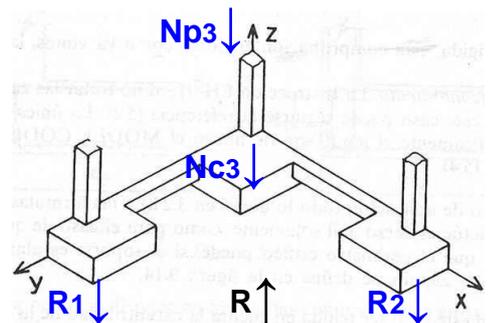
$$N_{p3-1} = R_1 \frac{c_1}{L_1 - c_1}$$

El diagrama de momentos flectores es lineal en la viga, con valor máximo:

$$M_{1d} = \gamma_f * R_1 \left(c_1 - \frac{b}{2} \right)$$

El cortante es constante a lo largo de la viga de valor:

$$V_{1d} = \gamma_f * R_1$$



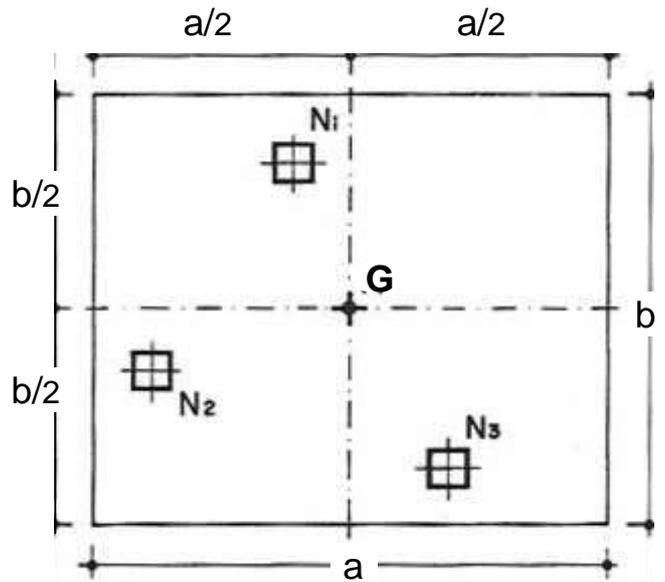
Zapatas combinadas

La zapata combinada o solución de zapata común y única para dos o más pilares próximos, se utiliza frecuentemente, los casos más frecuentes son:

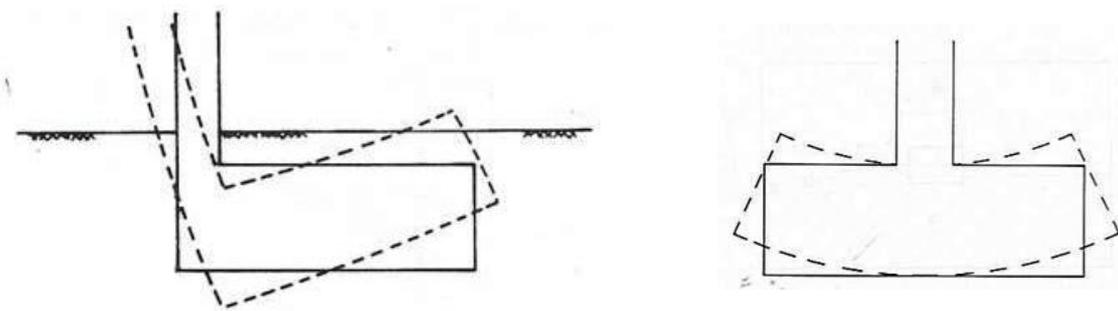
a/ Superposición de zapatas proyectadas

inicialmente como individuales. Debido a:

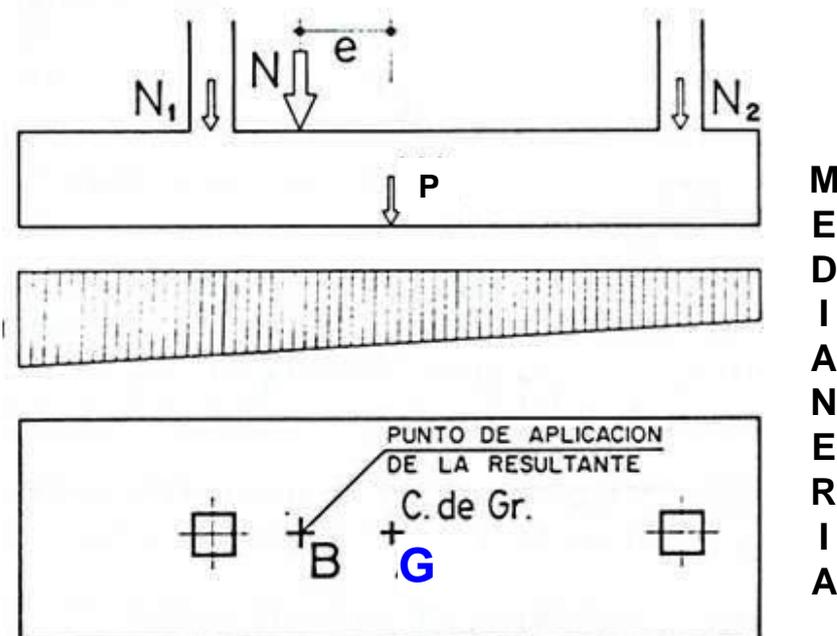
- Pilares muy próximos..
- Combinación fuerte de axil y momento flector.
- Baja resistencia del terreno.



b/ Asientos diferenciales y/o distorsiones angulares importantes en zapatas aisladas de pilares próximos. La zapata única entre para los dos o más pilares homogeniza los asientos.



c/ Zapata de medianería, podemos recurrir a proyectar una zapata común para el pilar de medianería y otro u otros contiguos situados en alineaciones interiores, consiguiendo de esta manera centrar la carga del pilar medianero.



M
E
D
I
A
N
E
R
I
A

Dimensionado zapatas combinadas

El cálculo de la zapata común a dos o más pilares se aborda de manera sencilla mediante una zapata rígida (para admitir una ley lineal de tensiones en su base).

El procedimiento consiste en determinar el punto de aplicación de la resultante de las solicitaciones transmitidas por los pilares (centro de presiones).

Queda entonces el problema reducido a proyectar una zapata cuyas dimensiones garanticen que las tensiones transmitidas al terreno son admisibles.

Ejemplo: zapata para tres pilares de axiles: **N₁ N₂ N₃** .

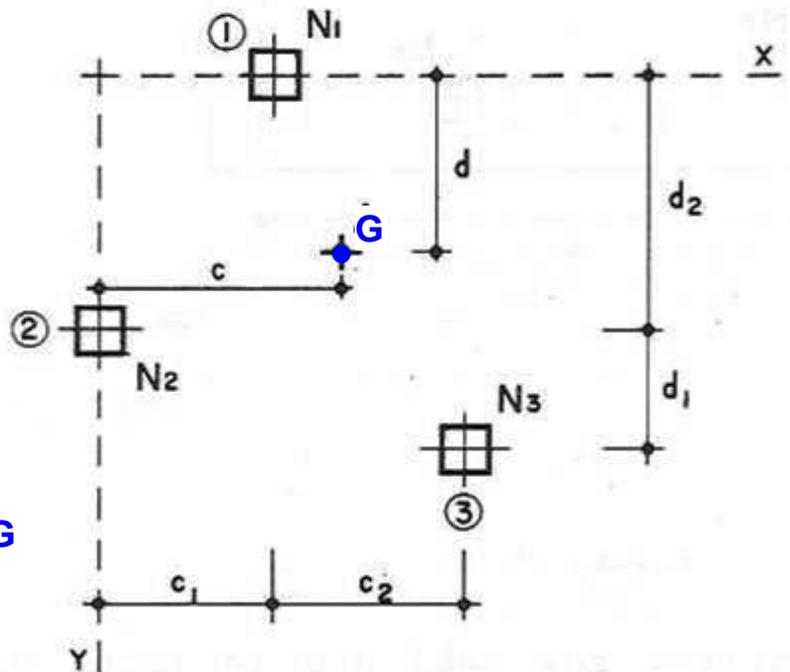
En el caso de la figura la resultante **N = N₁ + N₂ + N₃** estará situada en un punto **G**. Para determinar el punto G basta con tomar momentos respecto a dos ejes X e Y.

$$\Sigma M_x:$$

$$N_2 \cdot d_2 + N_3 \cdot (d_1 + d_2) = N \cdot d$$

$$\Sigma M_y:$$

$$N_1 \cdot c_1 + N_3 \cdot (c_1 + c_2) = N \cdot c$$

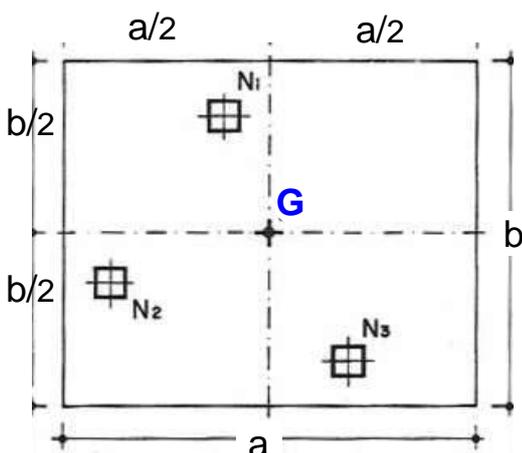


Donde c y d son las coordenadas, respecto a los ejes X Y del punto **G**

- **Centro de presiones**

Conocida la posición de la resultante, se proyecta la zapata necesaria.

El caso más sencillo es disponer una zapata cuadrada, rectangular o de forma cualquiera, cuyo centro de gravedad coincida con el punto de aplicación de la resultante (centro de presiones), es decir, una zapata con carga centrada y por tanto con distribución uniforme de tensiones.



$$\sigma = \frac{N_1 + N_2 + N_3}{a \cdot b} + \gamma_h \cdot h \leq \sigma_{adm.}$$

Dimensionado zapatas combinadas, caso general

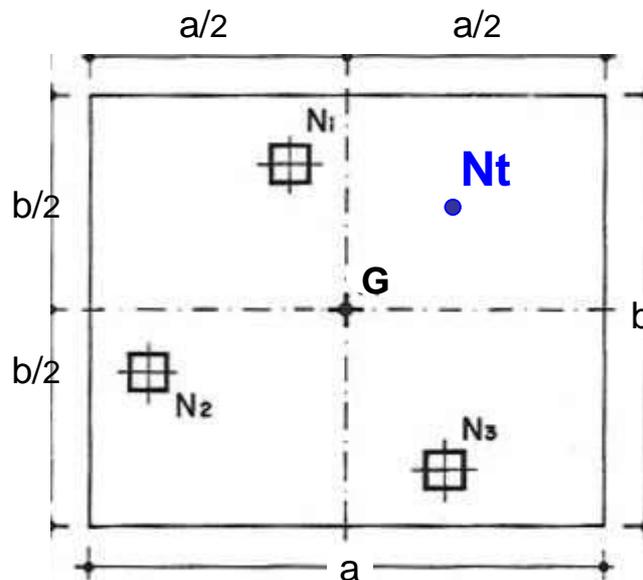
En el caso general, cuyo centro de gravedad no coincide con el punto de aplicación de la resultante.

Hay dos casos posibles:

1/ la resultante se encuentra situada dentro del núcleo central de inercia de la zapata:

Se aplican la fórmulas generales de la flexión compuesta. $\sigma_{\min} \geq 0$

$$\sigma_{\max} = \frac{N}{a \cdot b} \left(1 + \frac{6ex}{a} + \frac{6ey}{b} \right) \leq 1,25\sigma_{adm}.$$



● Centro de presiones

Losa de cimentación = zapata combinada de todos los pilares

2/ La resultante se encuentra fuera del núcleo central de inercia de la zapata:

Se hace necesario en este caso, de manera teórica, plantear el equilibrio de fuerzas y de momentos entre las acciones y la <<cuña>> de tensiones en la zapata.

A nivel práctico en cambio conviene evitar estos diseños en los que la resultante total de las acciones:

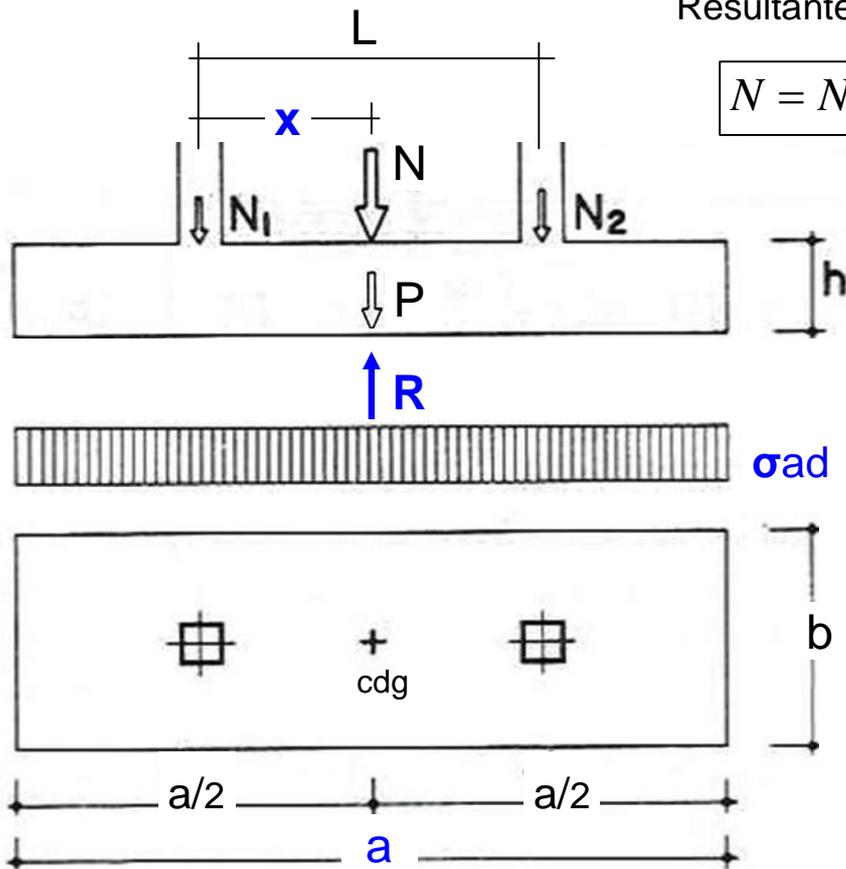
$N_t = N_1 + N_2 + N_3 + \dots + (\gamma h \cdot h)$ esté fuera del núcleo central de inercia.

Si la resultante total de acciones llega a estar fuera del núcleo central se producen despegues del terreno con el consiguiente trabajo en ménsula de la zapata, necesitando armadura de tracción en su cara superior.

Situación que además se vuelve mucho más importante si en la zona de despegue está situado alguno de los pilares. (especialmente en las losas de cimentación)

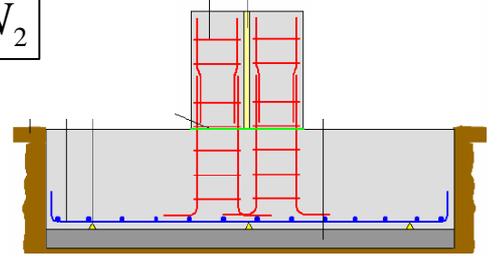
Casos más frecuentes en zapatas combinadas ($B^* = B$)

1/ Zapata rectangular centrada:



Resultante acciones verticales de estructura

$$N = N_1 + N_2$$



Posición de N

Tomando momentos sobre la línea de acción de uno de los pilares, por ejemplo N_1 :

$$N * x = N_2 * L$$

$$x = N_2 * L / N$$

Equilibrio de fuerzas $R = N + P$

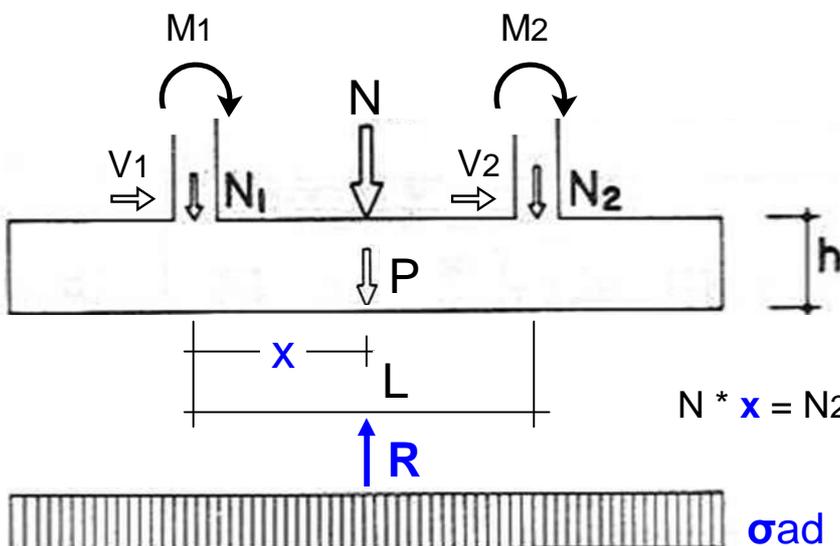
Equilibrio de momentos: R y $N + P$ colineales

$$\frac{N_1 + N_2}{a * b} + \gamma_h * h \leq \sigma ad$$

Fijando "h" para zapata rígida junto con una de las dimensiones, por ejemplo a entonces b :

$$b = \frac{N_1 + N_2}{a(\sigma adm - \gamma_h * h)}$$

La solución para el caso más general con flector y cortante:



Resultante de acciones verticales

$$N = N_1 + N_2$$

Posición de N

$$N * x = N_2 * L \pm M_1 \pm M_2 \pm V_1 * h \pm V_2 * h$$

Zapatas combinadas

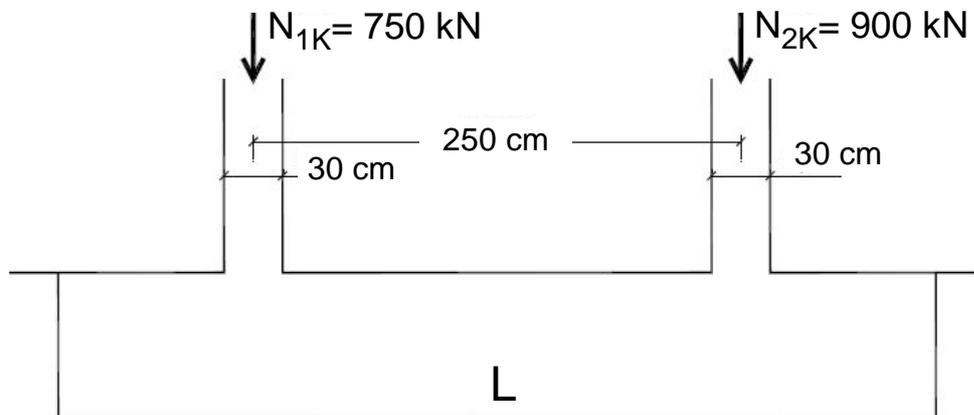


Ejercicio n° 1 zapatas combinadas

La zapata combinada rígida está sometida a los esfuerzos indicados en la figura croquizada adjunta.

Determinar sus dimensiones de acuerdo con los siguientes datos.

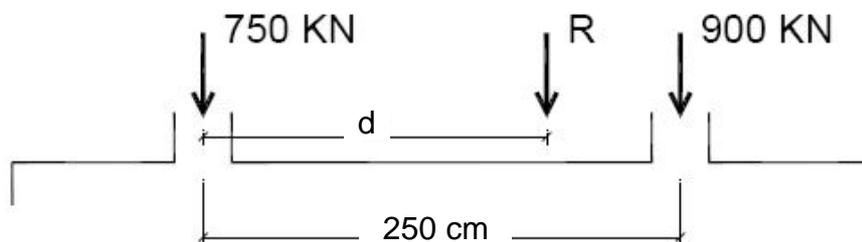
HA-25 B 500S Tensión admisible del suelo: $0,15 \text{ N/cm}^2 = 1,5 \text{ daN/cm}^2$.



Solución:

Equilibrio de fuerzas verticales: $750 + 900 = R$

Equilibrio de momentos respecto de la línea de acción de N_{1K} : $900 * 2,50 = R * d$



Solución del sistema:

$$R = 1650 \text{ kN}$$

$$d = 1,40 \text{ m}$$

Tanteando la superficie aproximada de la zapata combinada sin contar peso propio

$R / A \leq \sigma_{adm} \rightarrow 1650 * 10^3 / A = 1,5 \text{ da N/cm}^2$ entonces:

$$A = 1650 * 10^3 / 1,5 = 110.000 \text{ cm}^2 = 11 \text{ m}^2$$

Cualquier área de 11 m^2 centrada en el punto de aplicación de R reparte una tensión igual a la admisible.

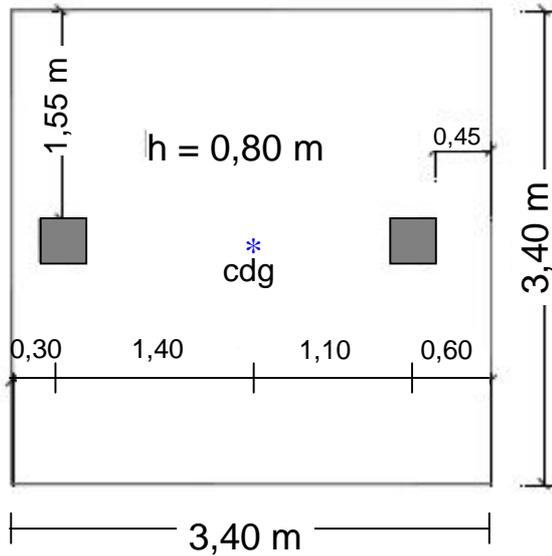
Habrá que definir una en la que el vuelo en las dos direcciones sea semejante, de manera que el canto necesario para asegurar la rigidez sea el menor posible. Como ha de considerarse el peso propio de la zapata, se redondea al alza las dimensiones calculadas.

Ejercicio nº 1 zapatas combinadas

Soluciones propuestas:

1ª/ Zapata cuadrada:

$$3,40 \times 3,40 = 11,56 \text{ m}^2$$

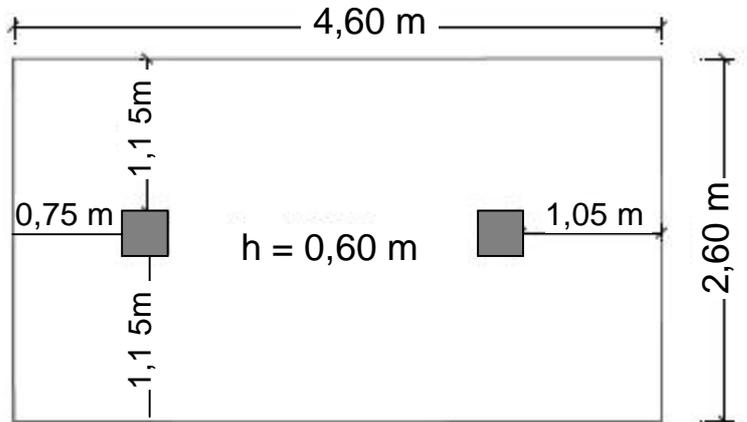


$$h \geq 1,55 / 2 = 0,75 \text{ m}$$

2ª/ Zapata rectangular

(proporciones 1,75 B x B) :

$$2,60 \times 4,60 = 11,96 \text{ m}^2$$



armado abajo

armado arriba entre pilares

armado abajo

Diagrama de m. flectores con tracciones arriba entre pilares

Comprobación incluyendo el peso propio ($\sigma_{adm} = 1,5 \text{ da N/cm}^2$) :

Zapata cuadrada: con zapata cuadrada de $3,40 \times 3,40 \times 0,80 \text{ m}$

$$[1/10 \cdot (1650) \cdot 10^3 / (340)^2] + [1/10 \cdot (25 \cdot 10^{-3}) \cdot 75] = 1,43 + 0,20 = 1,63 \text{ daN/cm}^2 > \sigma_{adm}$$

Con zapata cuadrada de $3,50 \times 3,50 \times 0,8 \text{ m}$:

$$[1/10 \cdot (1650) \cdot 10^3 / (350)^2] + [1/10 \cdot (25 \cdot 10^{-3}) \cdot 80] = 1,35 + 0,20 = 1,55 \text{ daN/cm}^2 > \sigma_{adm}$$

Con zapata cuadrada de **$3,60 \times 3,60 \times 0,85 \text{ m}$** :

$$[1/10 \cdot (1650) \cdot 10^3 / (360)^2] + [1/10 \cdot (25 \cdot 10^{-3}) \cdot 85] = 1,27 + 0,21 = 1,48 \text{ daN/cm}^2$$

Zapata rectangular: de **$4,60 \times 2,60 \times 0,60 \text{ m}$** :

$$[1/10 \cdot (1650) \cdot 10^3 / (460 \cdot 260)] + [1/10 \cdot (25 \cdot 10^{-3}) \cdot 60] = 1,38 + 0,15 = 1,53 \text{ daN/cm}^2$$

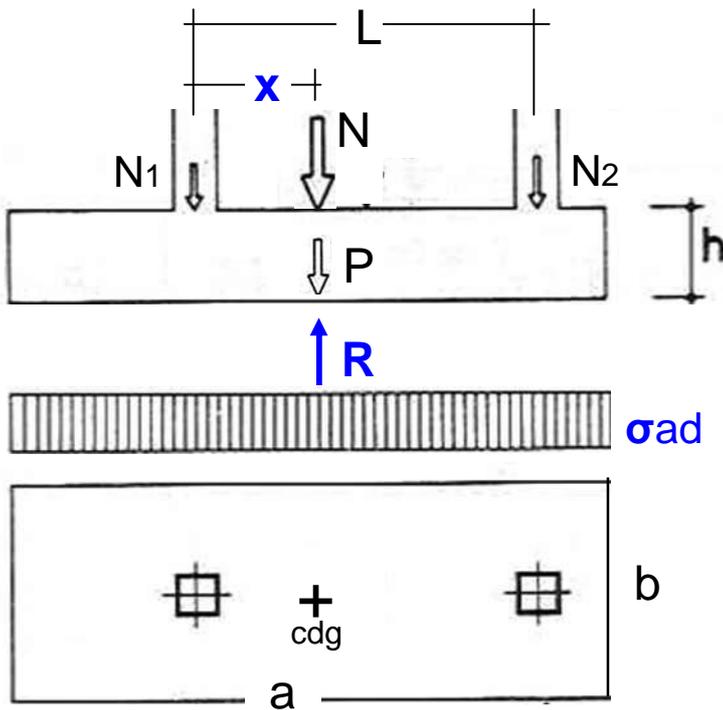
(que con una cifra decimal resulta OK)

Otra solución consistiría en igualar los vuelos de la zapata izquierdo y derecho a $1,05 \text{ m}$ para que la zapata quedará simétrica teniendo entonces las dimensiones de: $4,90 \times 2,60 \times 0,60$

Casos más frecuentes en zapatas combinadas

2/ Zapata rectangular descentrada (medianería):

Solución con tensión constante en el terreno: $\sigma \leq \sigma_{ad}$



M
E
D
I
A
N
E
R
I
A

Equilibrio fuerzas verticales

$$N = N_1 + N_2 \quad R = N + P$$

$$\frac{N}{a * b} + \gamma_h * h \leq \sigma_{ad}$$

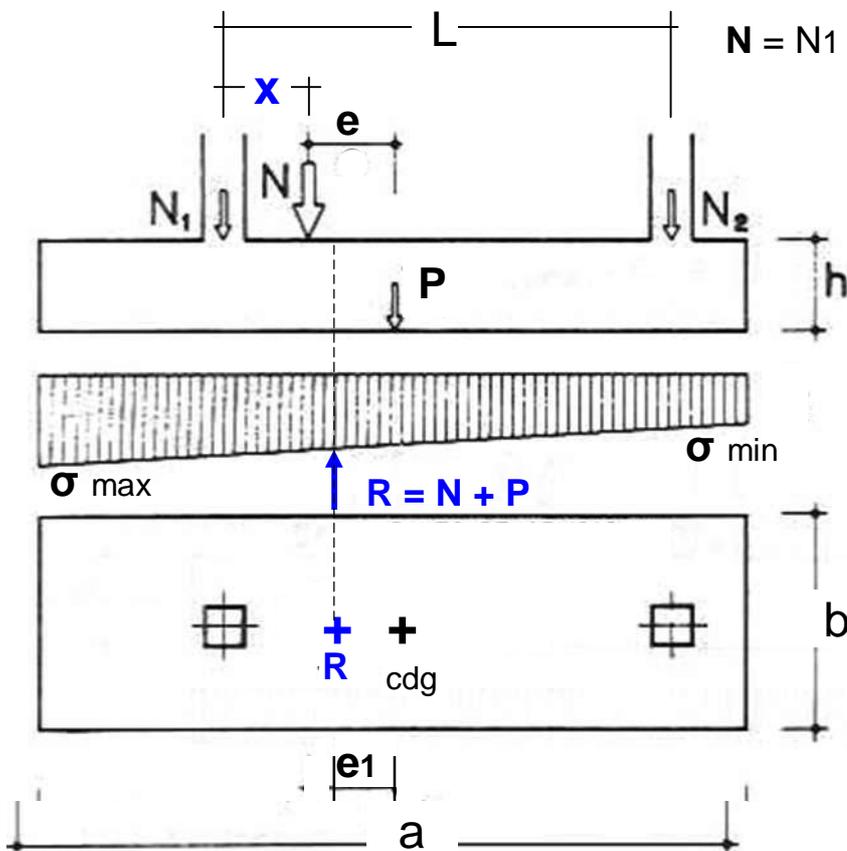
Posición de N

$$N * x = N_2 * L$$

En este caso el valor de a está determinado. Fijando el canto "h", entonces b:

$$b = \frac{N_1 + N_2}{a(\sigma_{adm} - \gamma_h * h)}$$

Solución con tensión no constante en el terreno: $\sigma_{max} \leq 1,25 \sigma_{ad}$ $\sigma_{cdg} \leq \sigma_{ad}$



M
E
D
I
A
N
E
R
I
A

$$N = N_1 + N_2 \quad R = N + P \quad N * x = N_2 * L$$

Equilibrio de momentos en la línea de acción de P

$$e_1 = \frac{N}{N + P} * e$$

Se procede por tanteos hasta que:

$$\text{con } e_1 \leq \frac{a}{6}$$

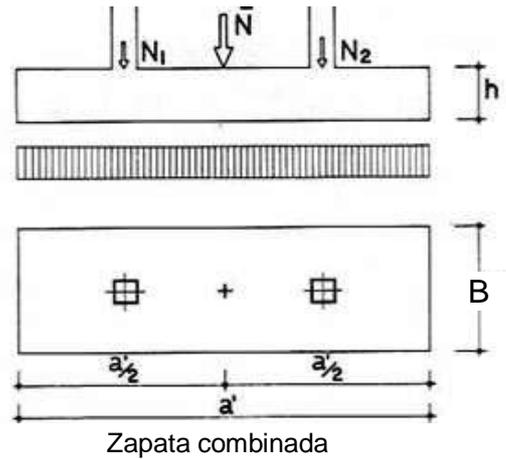
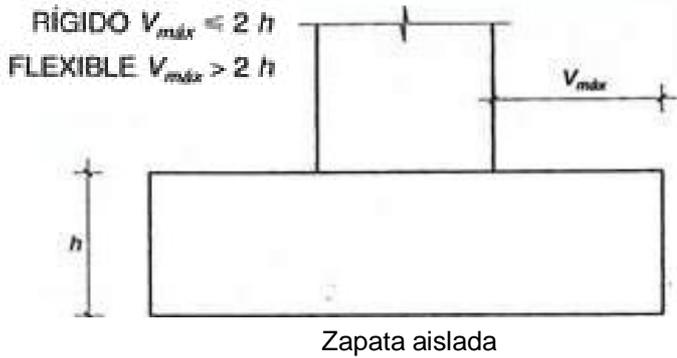
$$\sigma_{min} = \frac{N + P}{a * b} \left(1 - \frac{6e_1}{a} \right) \geq 0$$

$$\sigma_{max} = \frac{N + P}{a * b} \left(1 + \frac{6e_1}{a} \right) \leq 1,25 \sigma_{adm}.$$

Con estas expresiones se deducen las dimensiones a y b , bien fijando una proporción entre ellas o a partir de un determinado valor para una de las dos. (La zapata que se obtiene es de menor dimensión longitudinal.)

Cimentación rígida en zapatas combinadas

Las zapatas combinadas además de cumplir la regla general para zapatas rígidas:
 $V_{máx} \leq 2h$



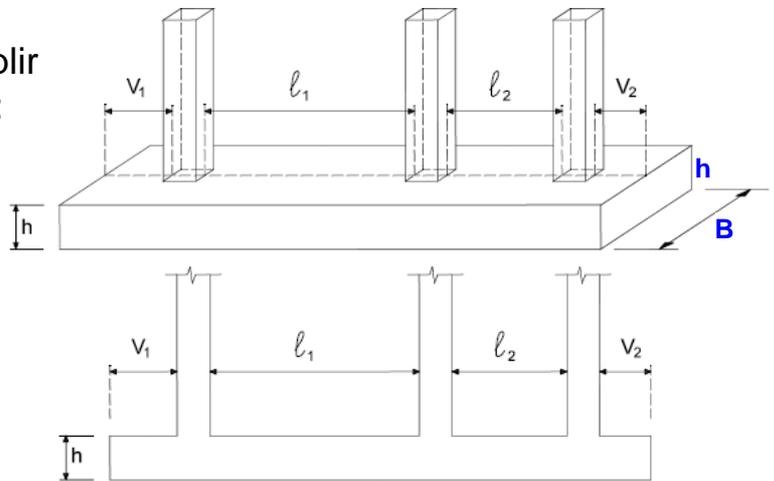
Es necesario cumplir otras relaciones para que se verifique la hipótesis de cimiento rígido (reparto tensional lineal o uniforme en el terreno).

Condiciones de rigidez que deben cumplir las dimensiones: vuelos, ancho y canto:

Vanos:
$$L \leq \frac{\pi}{2} * \sqrt[4]{\frac{4 * E * I}{K * B}}$$

Vuelos:
$$V \leq \frac{\pi}{4} * \sqrt[4]{\frac{4 * E * I}{K * B}}$$

Siendo la unidad elástica:
$$\alpha = \sqrt[4]{\frac{4 * E * I}{K * B}}$$



Si no cumple la cimentación se considera geotécnicamente como flexible

E es el modulo de deformación longitudinal del hormigón $E_j (N / mm^2) = 8500 * \sqrt[3]{fcm_j}$
J. Calvera recomienda $E(N / mm^2) = 20000$

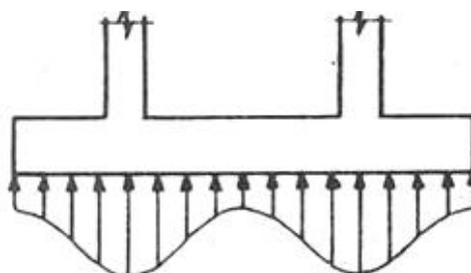
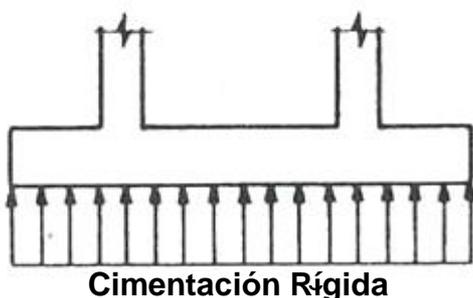
I es el momento de inercia de la sección bruta: $B * h^3 / 12$ de la sección ortogonal al vuelo

K es el coeficiente de balasto adaptado a las dimensiones de la zapata, (a partir de **K30** en MN/m³)

arcilla
$$K_{s_{BL}} = \frac{0,3}{B} K_{30} * \left(1 + \frac{B}{2L}\right)$$

arena
$$K_{s_{BL}} = \left(\frac{B * 0,3}{2B}\right)^2 K_{30} * \left(1 + \frac{B}{2L}\right)$$

B = ancho zapata en m



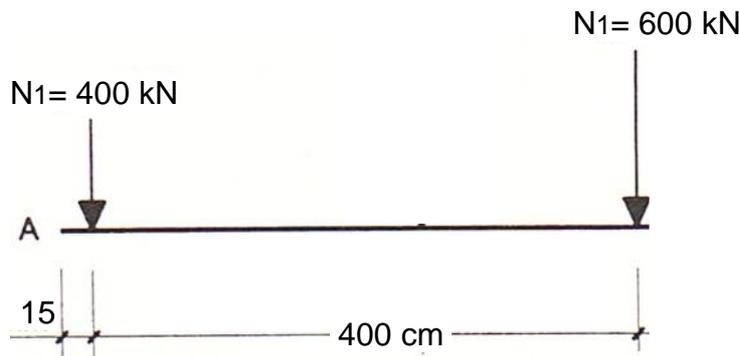
Ejemplo nº 2 diseño zapata combinada medianería

Diseñar la zapata combinada de medianería para dos pilares de un edificio.

El pilar medianero es de 30 x 30 cm, con carga característica de 400 kN (240 kN de carga permanente y 160 kN de sobrecarga), el otro pilar de 40 x 40 cm cargado con 600 kN (360 kN de carga permanente y 240 kN de sobrecarga).

La distancia entre ejes de pilares es 400 cm. El hormigón de los pilares y de la zapata es de resistencia $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$. Acero B 400. La tensión admisible sobre el terreno es $\sigma_{adm} = 1 \text{ da N/cm}^2$ y el módulo de balasto en placa de 30 cm x 30 cm: $K_{30} = 70 \text{ MN/m}^3 = 70 \text{ N/cm}^3$. (ver tabla D.29 de CTE).

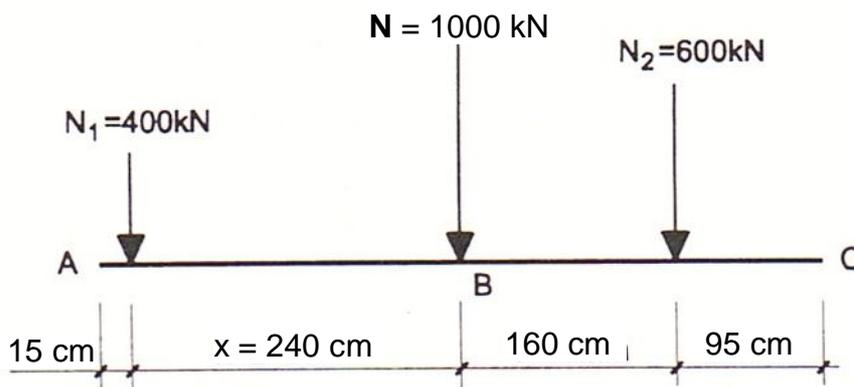
Tómese $E = 20.000 \text{ N/mm}^2$.



Centro de gravedad de la zapata combinada: tomando momentos respecto de N_1 .

$$x = \frac{600 * 400}{600 + 400} = 240 \text{ cm}$$

que es la posición del cdg de la zapata (B) y punto de paso de la resultante de acciones $\mathbf{N} = 1000 \text{ kN}$



Canto EHE 08:
 $V_{max} \leq 2h$
 $95 - 20 = 2h$
 $h_1 = 37,5 \approx 40 \text{ cm}$

Como el extremo A es borde del pilar y $AB = BC$

$$BC = 240 + 15 = 255 \text{ cm} \quad \rightarrow \quad AC = 510 \text{ cm}$$

Siendo B el ancho de la zapata y h su canto, se ha de cumplir (B y h en cm)

$$\sigma_{adm} = 1 \text{ da N/cm}^2 \geq \left[\frac{1000 * 10^2}{510 * B} \right] + 25 * 10^{-4} * h$$

Ejemplo diseño zapata combinada rígida CTE

Predimensionado de la zapata combinada, aproximadamente peso zapata 10% N:

$$\frac{1,1 * 1000 * 10^2}{510 * B} \cong 1 \text{ daN} / \text{cm}^2 \rightarrow B = 215,69 \text{ cm} \langle \rangle 220 \text{ cm}$$

Canto EHE 08:
 $V_{\max} \leq 2h$
 $110 - 15 = 2h$
 $h_2 = 47,5 \approx \mathbf{50 \text{ cm}}$

Para que el cimiento sea rígido $\langle \rangle$ reparto uniforme de tensiones ha de verificarse:

Vano: $L_1 \leq \frac{\pi}{2} * \sqrt[4]{\frac{4 * E * I}{K * B}}$

Vuelos: $V \leq \frac{\pi}{4} * \sqrt[4]{\frac{4 * E * I}{K * B}}$

$$365 \leq \frac{\pi}{2} * \sqrt[4]{\frac{4 * \mathcal{B} * h^3 * 2 * 10^6}{12 * K_c * \mathcal{B}}}$$

$$v \leq \frac{\pi}{4} * \sqrt[4]{\frac{4 * \mathcal{B} * h^3 * 2 * 10^6}{12 * K_c * \mathcal{B}}}$$

La más restrictiva es en este caso la correspondiente al vano.

Coefficiente balasto de la zapata: 510 cm x 220 cm (CTE)

Para zapata cuadrada de ancho B:
 a) Para terrenos cohesivos:
 $k_{sB} = k_{sp30} \frac{0,3}{B}$
 b) Para terrenos granulares:
 $k_{sB} = k_{sp30} \left(\frac{B + 0,3}{2B} \right)^2$

Para zapata rectangular de ancho B, en cualquier tipo de terreno:

$$\rightarrow k_{sBL} = k_{sB} \left(1 + \frac{B}{2L} \right)$$

CTE (tabla D..29) $K_{sp30} = 70 \text{ MN/m}^3$
 $\langle \rangle$ grava arenosa floja

$$K_{sB} = K_{sp30} * \left(\frac{B + 0,3}{2B} \right)^2 = 70 * \left(\frac{2,2 + 0,3}{2 * 2,2} \right)^2 = 22,598 \text{ MN} / \text{m}^3$$

$$K_{sBL} = K_{sB} * \left(1 + \frac{B}{2L} \right) = 22,6 * \left(1 + \frac{2,2}{2 * 5,1} \right) = 27,475 \text{ MN} / \text{m}^3$$

$$E_c = 20000 \text{ MN} / \text{m}^2 = 2 * 10^6 \text{ N} / \text{cm}^2$$

Canto, cimentación rígida: $3,65 \leq \frac{\pi}{2} * \sqrt[4]{\frac{4 * h^3 * 2 * 10^4}{12 * 27,475}} \rightarrow h = 0,49 \text{ cm} \langle \rangle \mathbf{50 \text{ cm}}$

Cálculo de B definitivo (comprobación de tensión en el terreno).

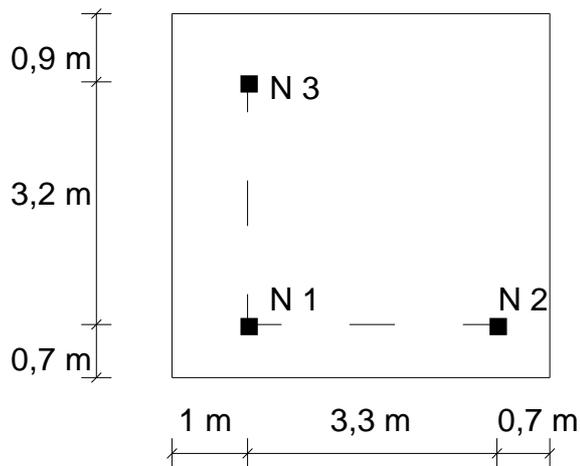
$$\sigma_{adm} = 1 \text{ daN} / \text{cm}^2 \geq \left[\frac{1000 * 10^2}{510 * B} \right] + 25 * 10^{-4} * 50 \rightarrow B = 224,08 \langle \rangle \mathbf{225 \text{ cm}}$$

Que cumple EHE 08: $112,5 - 15 = 2h$ $h_3 = 48,8 \approx \mathbf{50 \text{ cm}}$ Tomás Cabrera (U.P.M.) 29



Relación con otras asignaturas (ejercicio nº1 peritación)

Examen Oficina Técnica, febrero 2008 (plan 93 Arquitecto Técnico)



Armadura de zapata

Cara	Dirección 1-2	Dirección 1-3
Sup.	Ø 12/25 cm	Ø 12/25 cm
Inf.	Ø12/ 15 cm	Ø 12/ 20 cm

Canto losa cimentación = 80 cm.

Sección de los tres pilares 40 cm x 40 cm.

Armadura esperas pilares = 8 Ø 20

Materiales:

HA-25 / P20 / Ila, control estadístico.

Acero B-500-S, control normal.

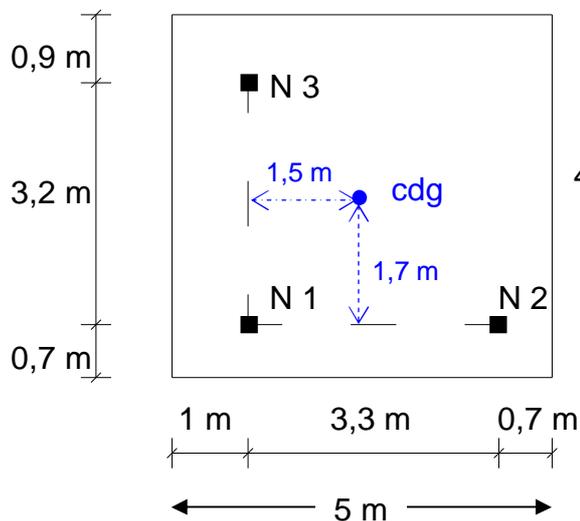
σ_{adm} bruta del terreno = 0,20 MPa

La zapata combinada para 3 pilares representada en el croquis recibe las siguientes cargas:

$N_1 = 700$ kN $N_2 = 1100$ kN $N_3 = 1250$ kN, siendo despreciables los momentos y esfuerzos cortantes en los pilares.

Se pide

1º Peritar la validez de las dimensiones de la zapata comparando la tensión " σ " producida bajo el cimiento con la σ admisible del terreno (no se considera el peso de las tierras). (3 puntos).



Suma de fuerzas verticales:

$$N_1 + N_2 + N_3 = 700 + 1100 + 1250 = 3050 \text{ kN}$$

Peso de la zapata:

$$P = 4,5 * 4,8 * 25 \text{ kN/m}^3 = 480 \text{ kN}$$

$$\text{Total} = 3530 \text{ kN}$$

Distancia "dx" al eje vertical de puntos:

$$dx = \frac{N_2 * dx_2 + P * dx_{cdg}}{N_1 + N_2 + N_3 + P} = \frac{1100 * 3,30 + 480 * 1,5}{3530} = 1,23m$$

Medida efectiva placa en X: $(1,23 + 1) * 2 = 4,46 \text{ m} (< 5)$

Distancia "dy" al eje horizontal de puntos:

$$dy = \frac{N_3 * dy_3 + P * dy_{cdg}}{N_1 + N_2 + N_3 + P} = \frac{1250 * 3,30 + 480 * 1,7}{3530} = 1,36m$$

Medida efectiva placa en Y: $(1,36 + 0,7) * 2 = 4,13 \text{ m} (< 4,8)$

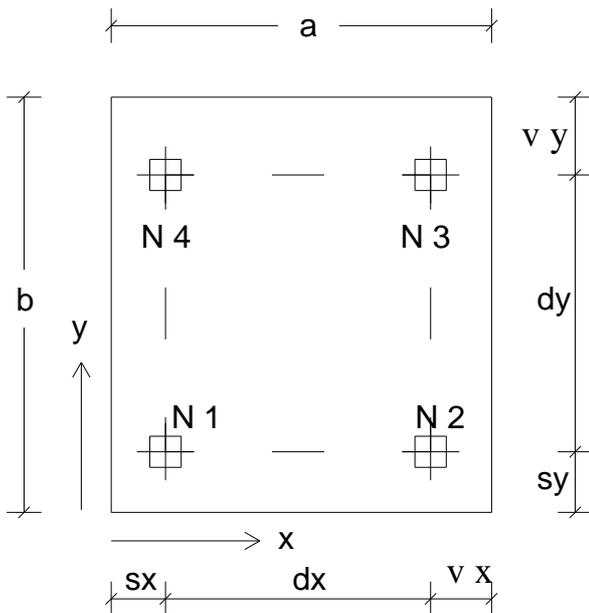
Peritación: Comprobación de la tensión en el terreno:

$$\sigma_b = \frac{\sum Ni}{a * b} + \gamma * h = \frac{3050}{4,46 * 4,13} + 25 * 0,8 = 165,58 + 20 = 185,58 \text{ kN / m}^2$$

$$1,85 \text{ daN / cm}^2 < \sigma_{adm} = 2 \text{ daN / cm}^2$$

Relación con otras asignaturas (ejercicio nº 2 proyecto)

Examen Oficina Técnica, junio 2011 (plan 93 Arquitecto Técnico)



La figura representa la zapata combinada de 4 pilares de un edificio.

Sabiendo que el canto de la zapata es de 0,70 m .

Que las reacciones verticales características de los 4 pilares en la combinación de máxima carga son:

Cargas (kN)	N1	N2	N3	N4
Permanentes	344	654	950	480
Sobrecargas	240,8	457,8	665	336

Siendo todos los pilares de 0,40 m x 0,40 m. Se pide:

1º Determinar la dimensiones: v_x y v_y para que la presión sobre el terreno sea uniforme y constante en el toda el área de la zapata. (3 puntos)

2º Sabiendo que la tensión admisible del terreno es 0,2 M Pa, peritar si las dimensiones obtenidas en el punto anterior son válidas. (1 punto)

Datos complementarios:

Dimensiones: $s_x = 0,40\text{m}$. $dx = 2,80\text{ m}$. $s_y = 0,45\text{ m}$. $dy = 3,65\text{ m}$.

Altura de tierras sobre la zapata: 0,80 m. Peso específico de las tierras sobre zapata = 20 kN/m³

1º Suma de fuerzas verticales:

$$N1 = 344 + 240,8 = 584,8 \text{ kN}$$

$$N2 = 654 + 457,8 = 1111,8 \text{ kN}$$

$$N3 = 950 + 665 = 1615 \text{ kN}$$

$$N4 = 480 + 336 = 816 \text{ kN}$$

$$\underline{2428 + 1699,6 = 4127,6 \text{ kN}}$$

Distancia "Xg" al eje vertical en el borde izquierdo zapata:

$$X_g = \frac{\sum_1^n Ni * dxi}{\sum_1^n Ni}$$

$$X_g = \frac{(584,8 + 816) * 0,40 + (1111,8 + 1615) * 3,2}{4127,6} = 2,25\text{m}$$

$$2,25 * 2 = 4,50 \text{ m} = a \rightarrow v_x = 4,50 - 3,20 = 1,30\text{m}$$

Distancia "Yg" al eje horizontal en el borde izquierdo zapata:

$$Y_g = \frac{\sum_1^n Ni * dyi}{\sum_1^n Ni}$$

$$Y_g = \frac{(584,8 + 1111,8) * 0,45 + (1615 + 816) * 4,1}{4127,6} = 2,60\text{m}$$

$$2,60 * 2 = 5,20 \text{ m} = b$$

$$v_y = 5,20 - 4,10 = 0,90 \text{ m}$$

2º Peritación: Comprobación de la tensión en el terreno:

$$\sigma_b = \frac{\sum Ni}{a * b} + (\gamma_1 * h_1) + (\gamma_2 * h_2) = \frac{4127,6}{4,50 * 5,20} + 20 * 0,8 + 25 * 0,7 = 209,89 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$2,09 \text{ daN} / \text{cm}^2 \approx \sigma_{adm} = 2 \text{ daN} / \text{cm}^2 \quad \sigma_{neta} = 2,09 - (20 * 1,5) = 179,89 \text{ kN} / \text{cm}^2$$