

Tema 5**CIMENTACIONES SUPERFICIALES ESPECIALES****1. ZAPATAS DE MEDIANERÍA****1.1. GENERALIDADES**

La necesidad de su uso aparece en cuanto se disponen soportes junto a las lindes de propiedad del terreno en que se va a construir el edificio. Las zapatas de medianería son de uso muy frecuente en la práctica.

Existen muy diferentes sistemas para solucionar el problema, que en definitiva es un soporte de medianería. En la figura 1 se indican las soluciones más frecuentes.

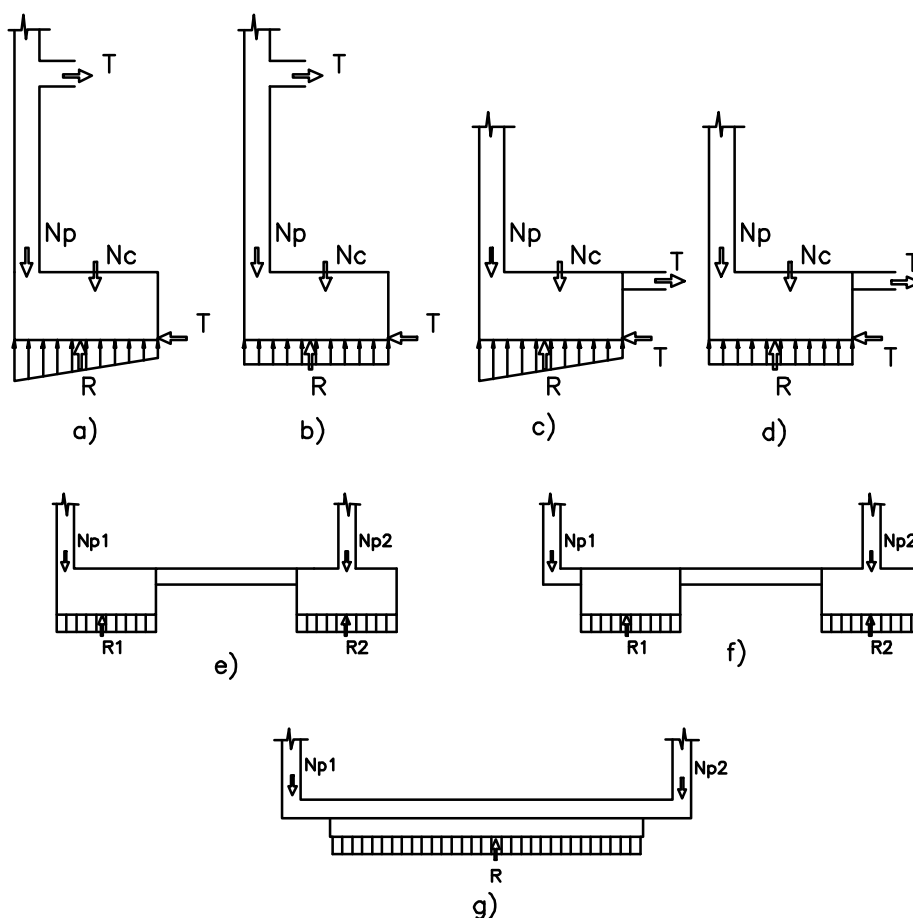


Figura 1: Soluciones más frecuentes para las zapatas de medianería.

En la solución a) se trata de un sistema en el que la resultante R es excéntrica respecto al cimiento, provocando por tanto un diagrama no uniforme de tensiones de respuesta del terreno. La diferencia de tensiones a lo largo del cimiento provoca, a través de asientos diferenciales de un borde al otro, el giro del cimiento. Como el soporte se supone elásticamente empotrado en el cimiento, sufre un giro igual y aparece un par de fuerzas T , una a nivel del forjado o vigas de techo y otra en la superficie de contacto entre zapata y terreno. El soporte ve incrementado su momento flector con motivo de la excentricidad del cimiento.

La solución b) corresponde a una simplificación de la a) en la que se supone que el par formado por las dos fuerzas T es capaz de centrar exactamente la resultante, con lo que la zapata recibe una respuesta uniforme del terreno.

La solución c) corresponde a la situación en que no existe techo y la respuesta T es proporcionada íntegramente por un tirante a nivel de cara superior de zapata. Sólo presenta posibilidades interesantes si el canto de la zapata es grande, lo cual en principio es antieconómico, aisladamente considerado.

En el caso d) se parte de nuevo de considerar la reacción R centrada por el par de fuerzas T .

La solución indicada por el caso e) consiste en disponer una viga centradora que une la zapata del soporte de fachada a la zapata de un soporte interior. Con ello se consigue centrar la reacción R_1 . (El soporte interior puede ser sustituido por cualquier tipo de contrapeso).

La solución f) representa una solución interesante en ciertos casos donde la carga se centra mediante la disposición de una zapata retranqueada de la fachada y una viga que sale en voladizo para recibir el soporte de medianería. (El soporte interior puede ser sustituido por cualquier tipo de contrapeso).

Finalmente, en la solución g) se dispone una viga sobre la que apoyan ambos soportes y, a su vez, esta viga se apoya sobre una zapata alargada en el sentido de la viga.

Las soluciones a) y b) producen incrementos de flexión importantes en el soporte de fachada. La c) y d) no los producen.

Las soluciones e), f) y g) no producen tampoco incrementos de flexión en los soportes (salvo los pequeñísimos que surgirían de un análisis de segundo orden), y son por ello las empleadas cuando se trata de soportes sometidos a grandes cargas.

1.2. ZAPATA EXCÉNTRICA CON VIGA CENTRADORA

El método consiste en enlazar la zapata de medianería a otra zapata interior mediante una viga que recibe el nombre de centradora porque, efectivamente, desempeña la misión de centrar la fuerza de reacción del suelo bajo la zapata de medianería.

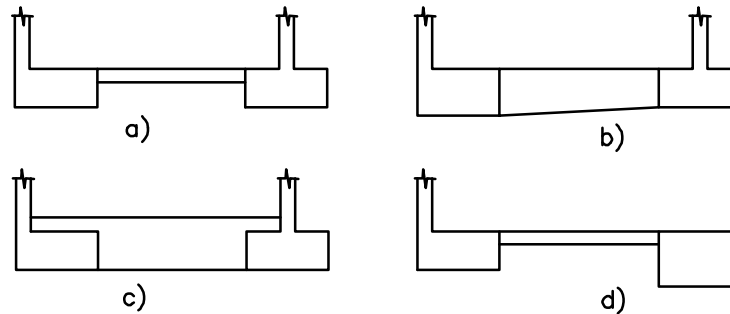


Figura 2: Zapata de medianería con viga centradora.

La solución más habitual es la indicada en a) con viga de sección constante. La b), aunque puede resultar necesaria en algún caso, presenta una ferralla más complicada, al tener estribos de canto variable. La c) es de hormigonado complicado y usualmente necesita hormigonar la viga en dos etapas, una hasta cara superior de zapatas y otra hasta el enrase definitivo, lo cual exigirá una comprobación adicional del esfuerzo rasante en la junta. En cualquiera de los dos casos la carga equilibrante del soporte interior puede ser sustituida por un macizo M (figura 2 d).

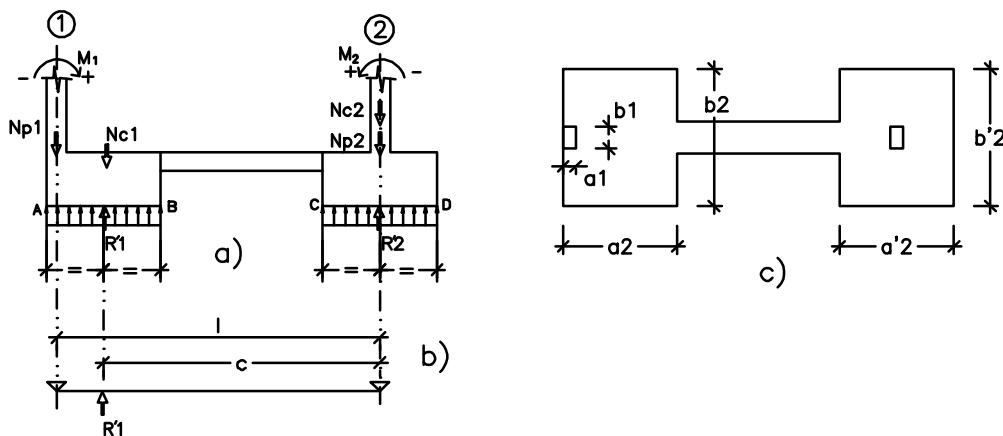


Figura 3: Esquema de cálculo de zapata de medianería con viga centradora.

El esquema de cálculo se indica en la figura 3. Dada la gran rigidez del conjunto zapatas-viga centradora frente a los soportes, los momentos adicionales producidos en éstos pueden despreciarse y el esquema estructural es el de la figura 3 b; es decir, el de una viga simplemente apoyada sometida a la carga R'_1 , a la que se aplican las condiciones de equilibrio:

$$N_{p1} + N_{c1} + N_{p2} + N_{c2} - R'_1 - R'_2 = 0$$

$$N_{p1} \cdot l - (R'_1 - N_{c1}) \cdot c + M_2 - M_1 = 0$$

La resolución del sistema planteado conduce a:

$$R'_1 = N_{p1} \cdot \frac{l}{c} + N_{c1} + \frac{M_2 - M_1}{c} \quad (1)$$

$$R'_2 = N_{p2} + N_{c2} - N_{p1} \cdot \left(\frac{l}{c} - 1 \right) - \left(\frac{M_2 - M_1}{c} \right) \quad (2)$$

La primera condición que debe cumplir la solución es que la viga centradora no levante el soporte 2, o lo que es lo mismo $R'_2 > 0$.

Presiones sobre el terreno

La presión σ'_{t1} en la zapata de medianería vale:

$$\sigma'_{t1} = \frac{R'_1}{a_2 \cdot b_2}$$

y en la zapata interior, descontando sólo la reacción de la viga centradora debida a la carga permanente del soporte 1 ($N_{g1} \cong 60\% \cdot N_{p1}$), con lo que, de acuerdo con la expresión (1), se tiene:

$$\sigma'_{t2} = \frac{N_{p2} + N_{c2} - N_{g1} \cdot \left(\frac{l}{c} - 1 \right) - \left(\frac{M_2 - M_1}{c} \right)}{a'_2 \cdot b'_2}$$

Debe verificarse:

$$\sigma'_{t1} \leq \sigma_{adm.terreno}$$

$$\sigma'_{t2} \leq \sigma_{adm.terreno}$$

Presiones para el cálculo estructural de la zapata

Para el cálculo de las zapatas y de la viga centradora no se consideran los pesos propios de zapatas y viga, con lo que se tiene:

De la expresión (1) haciendo $N_{c1}=0$

$$R'_1 = N_{p1} \cdot \frac{l}{c} + \frac{M_2 - M_1}{c}$$

$$\sigma_{t1} = \frac{N_{p1} \cdot \frac{l}{c} + \frac{M_2 - M_1}{c}}{a_2 \cdot b_2} \quad (3)$$

De la expresión (2) con $N_{c2}=0$

$$\sigma_{t2} = \frac{N_{p2} - N_{g1} \cdot \left(\frac{l}{c} - 1 \right) - \left(\frac{M_2 - M_1}{c} \right)}{a'_2 \cdot b'_2}$$

1.2.1. CALCULO DE LA VIGA CENTRADORA

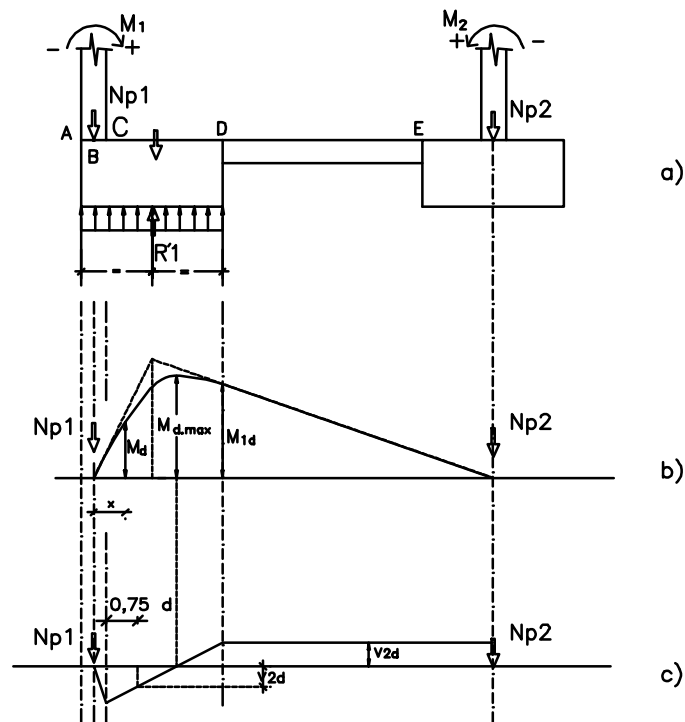


Figura 4: Esquema de cálculo de la viga centradora.

El esquema de cálculo de la viga centradora es el de la figura 4.

El momento máximo en la viga resulta:

$$M_{1d} = -\gamma_f \cdot \left[-R_1 \cdot \frac{a_2}{2} + N_{p1} \cdot \left(a_2 - \frac{a_1}{2} \right) \right]$$

es decir,

$$M_{1d} = -\gamma_f \cdot \frac{N_{p1}}{2} \cdot \left[a_2 \cdot \left(2 - \frac{l}{c} \right) - a_1 \right]^{(*)} \quad (4)$$

En el caso de que M_1 tenga el sentido - de la figura 4, al valor de M_{1d} hay que añadir:

$$\gamma_f \cdot M_1 \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot a_2 - a_1}{l} \right)$$

En caso de que el momento tenga sentido positivo se prescinde de su valor.

De cualquier modo, la influencia de M_2 es muy pequeña y se desprecia siempre.

El momento máximo absoluto se presenta en el interior de la zapata. De B a D, la ley de momentos flectores, siendo x la distancia al eje del soporte 1, es:

$$M_d = -\gamma_f \cdot N_{p1} \cdot \left[x - \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{a_1}{2} + x \right)^2 \cdot \frac{l}{a_2 \cdot c} \right] \quad (5)$$

Para calcular dónde se hace máxima la ley de momentos, se deriva la expresión anterior:

$$\frac{dM_d}{dx} = -\gamma_f \cdot N_{p1} \cdot \left[1 - \left(\frac{a_1}{2} + x \right) \cdot \frac{l}{a_2 \cdot c} \right]$$

y anulando la derivada:

$$x_{\text{máx}} = a_2 \cdot \frac{c}{l} - \frac{a_1}{2}$$

y sustituyendo este valor en la expresión (5):

(*) El signo - en los momentos indica tracciones en cara superior.

$$M_{d.m\acute{a}x} = -\gamma_f \cdot \frac{N_{p1}}{2} \cdot \left[a_2 \cdot \frac{c}{l} - a_1 \right] \quad (6)$$

Lo normal es **dimensionar la viga para el momento (4)**, ya que el (6) ocurre en el interior de la zapata y, al ser mucho mayor la sección de hormigón y por tanto mayor el canto útil, la condición crítica suele ser (4). Sólo con cuantías muy bajas en viga (lo que no es normal en vigas centradoras) puede ser crítico (6).

La distribución de momentos flectores se indica en la figura 4 b, y es lineal sobre la viga. La distribución de esfuerzos cortantes se indica en la figura 4 c, y es constante sobre la viga con valor:

$$V_{1d} = -\gamma_f \cdot (R_1 - N_{p1})$$

es decir,

$$V_{1d} = \gamma_f \cdot N_{p1} \cdot \left(\frac{l}{c} - 1 \right)$$

Es necesario prolongar los estribos $\frac{d}{2}$ en el interior de la zapata.

1.2.2. CALCULO DE LA ZAPATA DE MEDIANERIA

Cálculo a flexión

Dada la existencia de una viga de soporte a soporte, la zapata flexa exclusivamente en sentido perpendicular a la viga (figura 5) y su cálculo a flexión, fisuración, adherencia y anclaje es totalmente idéntico al cálculo de zapatas corridas, considerando el ancho b de la viga como el de un muro virtual que apoyase en la zapata.

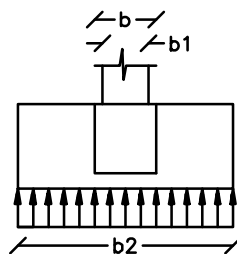


Figura 5: Cálculo a flexión de la zapata de medianería.

En el sentido de la medianería se calcula como una losa de vuelo m

$$m = v + 0.15 \cdot b$$

siendo v el vuelo físico de la zapata de medianería:

$$v = \frac{b_2 - b}{2}$$

El momento flector se calcula aplicando la tensión σ_{t1} , dada por la expresión (3), a la zona de zapata situada hacia fuera de la sección de referencia, y vale:

$$M_d = \gamma_f \cdot \sigma_{t1} \cdot a_2 \cdot \frac{m^2}{2}$$

En sentido paralelo a la viga, se debe cubrir un momento igual al 20% del anterior, lo que equivale a decir que la **armadura de reparto** será un **20%** de la armadura principal.

Cálculo a esfuerzo cortante

La comprobación a cortante en el sentido b_2 se hace también como en las zapatas corridas, con las correspondientes distinciones según que la zapata sea rígida o flexible en ese sentido.

Comprobación de las condiciones de anclaje

Se realiza igual que en las zapatas aisladas.

Comprobación a punzonamiento

La comprobación a punzonamiento en zapatas flexibles se realiza como se ha explicado en zapatas aisladas, con las siguientes variables:

$$V_{pd} = \gamma_f \cdot \sigma_t \cdot (a_2 \cdot b_2 - a_1 \cdot b_1 - 4 \cdot a_1 \cdot d - 2 \cdot b_1 \cdot d - 2 \cdot \pi \cdot d^2)$$

$$S_p = 2 \cdot \left(a_1 + \frac{b_1}{2} + \pi \cdot d \right) \cdot d$$

Armadura de espera

La armadura de espera necesita cercos con el mismo diámetro y separación que en el pilar, ya que las barras próximas a la cara de la zapata presentan sensiblemente el mismo riesgo de pandeo que las del soporte.

La longitud de la espera debe ser mayor o igual que la longitud de anclaje del diámetro considerado en prolongación recta.

La longitud de anclaje de la espera también deberá ser mayor o igual que la longitud de anclaje de la barra en prolongación recta.

Comprobación de las condiciones de fisuración

De acuerdo con la EHE, la comprobación a fisuración sólo es necesaria en piezas lineales, por lo que no rige para este tipo de zapatas.

No es aconsejable el empleo de diámetros superiores a 25 mm.

1.2.3. CALCULO DE LA ZAPATA INTERIOR

Corresponde al caso de zapata aislada.

Únicamente debe observarse que la presión de reacción del suelo, debida a la reacción ascendente provocada por la viga centradora, se reduce a:

$$\sigma_{t2} = \frac{N_{p2} - N_{g1} \cdot \left(\frac{l}{c} - 1 \right) - \left(\frac{M_2 - M_1}{c} \right)}{a'_2 \cdot b'_2}$$

2. ZAPATAS DE ESQUINA

2.1. GENERALIDADES

Este tipo de zapatas aparece en los edificios, bien en las esquinas en que concurren dos medianerías o también en las que concurre una medianería y una fachada en límite de vía pública (figura 6). Son, por tanto, de uso muy frecuente en construcción urbana y en cierto tipo de construcciones industriales.

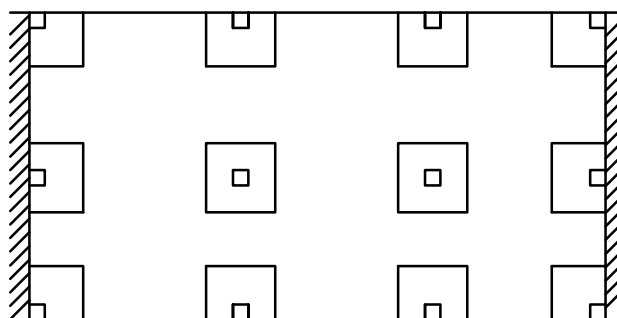


Figura 6: Zapatas de esquina en edificación.

Como en el caso de zapatas de medianería, existen varios tipos de solución, aunque en este punto se va a desarrollar únicamente aquella que consiste en una distribución uniforme de presiones, mediante la disposición de dos vigas centradoras.

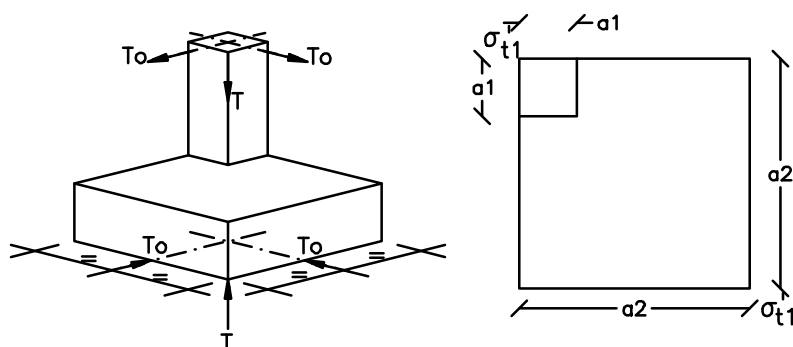


Figura 7: Esquema de zapata de esquina con distribución uniforme de presiones.

El planteamiento para soporte y zapata de forma cualquiera es idéntico al efectuado para zapatas de medianería, pero la resolución en zapatas de esquina presenta una complejidad muy grande si el soporte y la zapata no son cuadrados. Como en el caso de zapatas de esquina no existe ninguna razón preferente para hacerlas mayores en una dirección que en la otra, en lo que sigue se desarrollará el caso de zapata cuadrada.

2.2. ZAPATA DE ESQUINA CON DISTRIBUCION UNIFORME DE PRESIONES, CONSEGUIDA MEDIANTE DOS VIGAS CENTRADORAS

El esquema se indica en la figura 8. Llamemos N_{p1} , N_{p2} , N_{p3} a los esfuerzos axiales de los tres soportes, N_{c1} , N_{c2} y N_{c3} a los pesos de los tres cimientos, y R_1 , R_2 , las reacciones ascendentes producidas en los soportes 1 y 2 por la reacción R , centrada bajo el cimiento del soporte de esquina 3.

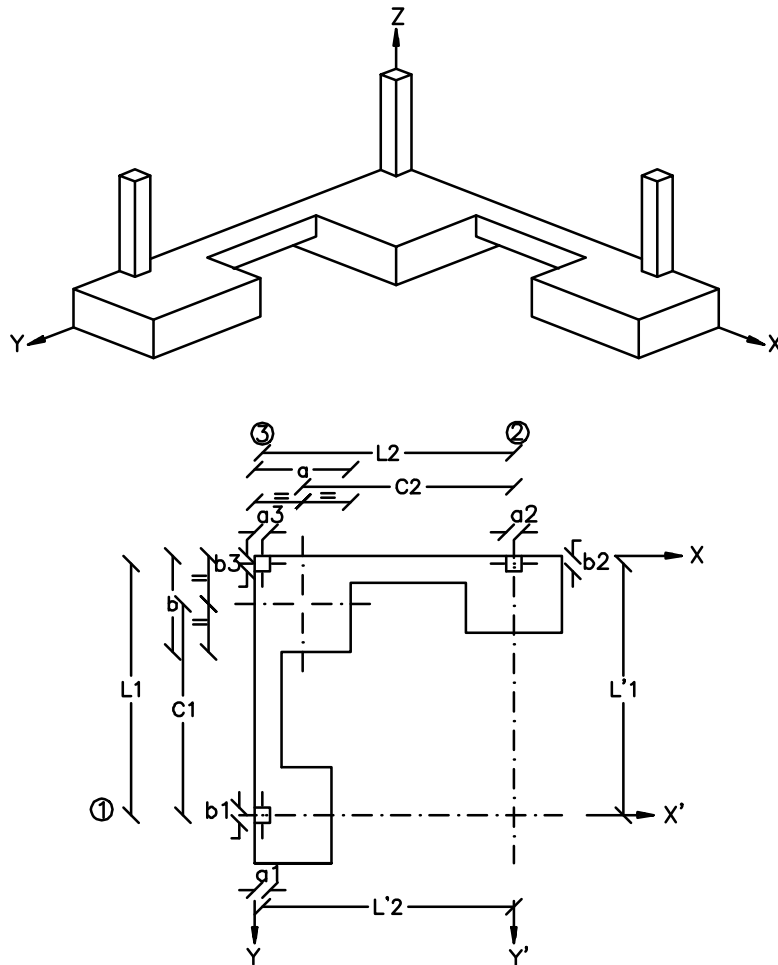


Figura 8: Esquema de zapata de esquina con dos vigas centradoras.

Si se aplican las ecuaciones de equilibrio al sistema de fuerzas formado por N_{p3} , N_{c3} , R_1 , R_2 y R , se tiene:

$$\begin{aligned} \sum Z = 0 & \quad N_{p3} + N_{c3} + R_1 + R_2 - R = 0 \\ \sum M'_y = 0 & \quad N_{p3} \cdot l_2 + N_{c3} \cdot c_2 + R_1 \cdot l'_2 - R \cdot c_2 = 0 \\ \sum M'_x = 0 & \quad -N_{p3} \cdot l_1 - N_{c3} \cdot c_1 - R_2 \cdot l'_1 + R \cdot c_1 = 0 \end{aligned}$$

Generalmente los soportes son de tamaños muy parecidos, por lo que puede suponerse que $l_1 = l'_1$, $l_2 = l'_2$, con lo que la resolución del sistema conduce a:

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

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

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

La presión bajo la zapata será:

$$\sigma'_t = \frac{R}{a \cdot b}$$

Para el cálculo estructural de la zapata, el valor de σ_t :

$$\sigma_t = \frac{R - N_{c3}}{a \cdot b}$$

Es necesario asegurarse que las fuerzas R_1 y R_2 no levanten los soportes. Se adopta la simplificación de que actuando en el soporte 3 la carga permanente más la sobrecarga no se produzca levantamiento en los soportes 1 y 2, actuando en ellos sólo sus cargas permanentes N_{g1} , N_{g2} , más el peso de sus cimientos, N_{c1} , N_{c2} . Es decir:

$$\begin{aligned} R_1 &\leq N_{g1} + N_{c1} \\ R_2 &\leq N_{g2} + N_{c2} \end{aligned}$$

Si no se disponen de otros datos, se puede suponer $N_{g1} \cong 60\% \cdot N_{p1}$ y $N_{g2} \cong 60\% \cdot N_{p2}$.

2.2.1. CALCULO DE LA VIGA CENTRADORA 3-2

La viga centradora 3-2 se representa en la figura 9, donde N_{p3-2} representa el esfuerzo axial actuante en el soporte 3 y asignado a la viga centradora 3-2. R_{3-2} tiene significado análogo.

Aplicando las ecuaciones de equilibrio:

$$N_{p3-2} + R_2 - R_{3-2} = 0$$

$$N_{p3-2} \cdot l_2 - R_{3-2} \cdot c_2 = 0$$

de donde:

$$R_{3-2} = R_2 \cdot \frac{l_2}{l_2 - c_2}$$

$$N_{p3-2} = R_2 \cdot \frac{c_2}{l_2 - c_2}$$

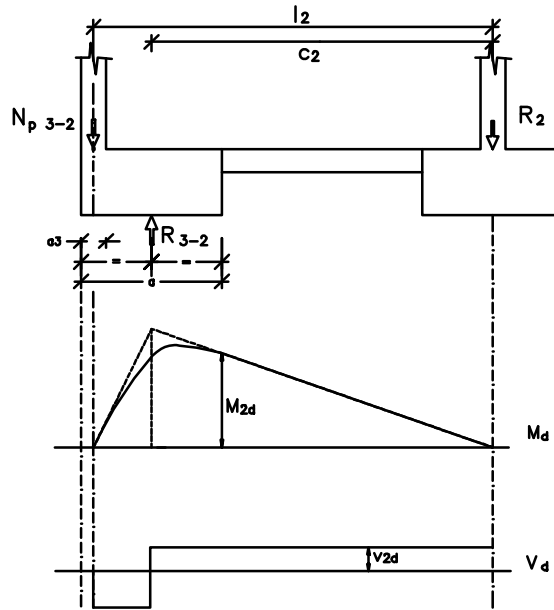


Figura 9: Viga centradora 3-2.

El diagrama de momentos flectores sobre la viga es linealmente variable, con valor máximo

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

y el esfuerzo cortante es constante a lo largo de la viga, con valor:

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

2.2.2. CALCULO DE LA VIGA CENTRADORA 3-1

Análogamente que en el caso anterior, para la viga 3-1, que se representa en la figura 10, se tiene:

$$R_{3-1} = R_1 \cdot \frac{l_1}{l_1 - c_1}$$

$$N_{p3-1} = R_1 \cdot \frac{c_1}{l_1 - c_1}$$

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

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

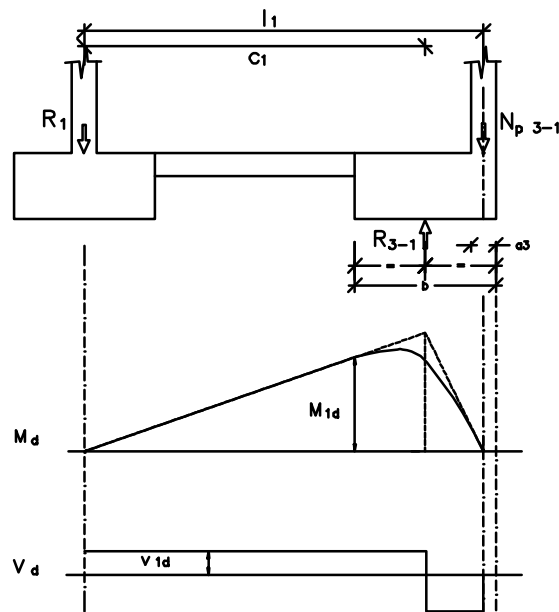


Figura 10: Viga centradora 3-1.

La armadura de las vigas se dispone y distribuye tanto en lo referente a flexión como a corte, en forma idéntica a lo que se expuso en 1.3.1. (Cálculo de la viga centradora de una viga de medianería).

2.2.3. CALCULO DE LA ZAPATA DE ESQUINA

La zapata constituye una placa gruesa empotrada en el soporte por una de sus esquinas, por lo que su funcionamiento es complejo.

Cálculo a flexión

Se va a exponer un método simplificado de cálculo, basado en suponer dos vigas virtuales en voladizo, OA y OB, empotradas en el soporte y sobre estas vigas se considera apoyada una placa cuadrada de lado a_2 (figura 11), sometida a la ley de presiones σ_t del terreno.

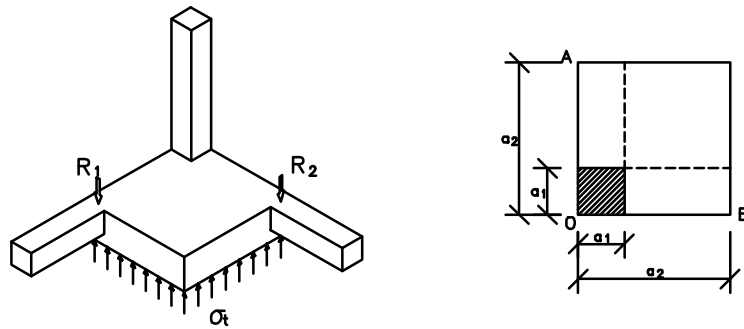


Figura 11: Zapata de esquina con las dos vigas virtuales.

Aparecen unos momentos máximos, uno en dirección de la diagonal que pasa por el soporte, que produce tracciones en la cara inferior, y otro en dirección ortogonal que produce tracciones en la cara superior. El valor de estos momentos es prácticamente coincidente, resultando, **por unidad de ancho**.

$$M = \frac{\sigma_t \cdot a_2^2}{4.8}; \quad M_d = \gamma_f \cdot M$$

La armadura de la placa se dispone en horquillas como se indica en la figura 12 a, con lo que se simplifica el anclaje en el extremo A. El anclaje en el extremo B se realiza de igual manera que en las zapatas aisladas (*).

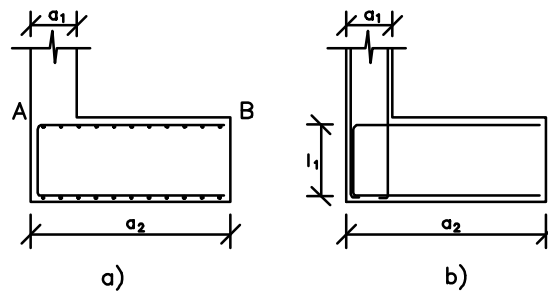


Figura 12: Disposición de la armadura de la placa.

Como la armadura de la placa se dispone en horquillas, la armadura es igual en ambas caras, con lo que:

$$u_1 = u_2 = \frac{M_d}{h - 2 \cdot d'}$$

(*) Se ha descrito en el apartado Comprobación de las condiciones de anclaje, del punto 1.2.2 Cálculo de la zapata de medianería.

Cálculo a esfuerzo cortante

Se realiza de la misma forma que en zapatas aisladas, con la distinción correspondiente según sea la zapata rígida o flexible.

El esfuerzo cortante debe comprobarse (figura 13) en las secciones de referencia correspondientes a ambas direcciones (A-A y B-B).

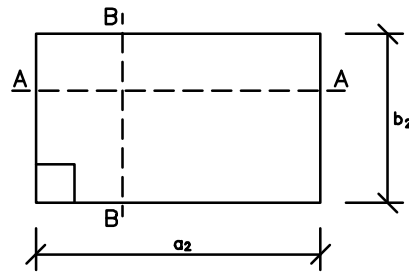


Figura 13: Comprobación a esfuerzo cortante.

El criterio de cálculo seguido es conservador, ya que se desprecian las reacciones R_1 y R_2 de las vigas sobre la zapata, que naturalmente reducen el esfuerzo cortante. No es posible un cálculo más ajustado, ya que no existe un método de cálculo disponible para estudiar el reparto de las fuerzas R_1 y R_2 hacia el interior de la zapata.

Armadura de espera

Igual que en zapatas de medianería (apartado 1.2.2).

Comprobación a fisuración

Se realiza igual que en el caso de zapatas aisladas.

2.2.4. CALCULO DE LAS ZAPATAS CONTIGUAS

Se calculan como zapatas aisladas con una tensión de:

$$\sigma_{t2} = \frac{N_{p2} + N_{c2} - R_2'}{a_2 \cdot b_2}$$

$$\sigma_{t1} = \frac{N_{p1} + N_{c1} - R_1'}{a_1 \cdot b_1}$$

Sustituyendo N_{p3} por N_{g3} y siendo $N_{g3} \cong 60\% \cdot N_{p3}$

$$R_2' = R_2$$

$$R_1' = R_1$$

3. ZAPATAS COMBINADAS

3.1. GENERALIDADES

Se entiende por zapata combinada la que cimenta dos soportes (*). En general, es una buena práctica dimensionar el cimiento de forma que el centro de gravedad de su superficie en planta coincida con el de las acciones. Esto puede conseguirse de varias formas (figura 14). Una de ellas consiste en construir la zapata de ancho constante, de forma que el centro de gravedad del rectángulo de la planta de la zapata coincida con el punto de paso de la resultante de las cargas de los dos soportes. Esta solución también se puede alcanzar con otras formas de planta, como por ejemplo la trapezoidal, pero tiene el inconveniente de complicar mucho la ferralla, al organizarla con barras de longitud variable, por lo que muy rara vez se recurre a esta solución.

Actualmente, por motivos económicos, se tiende a dar a las zapatas combinadas canto constante, aunque a veces, en casos concretos, se emplea la solución indicada en la figura 15 con sección en T invertida.

El caso más general es el de dos cargas con dos momentos (figura 16):

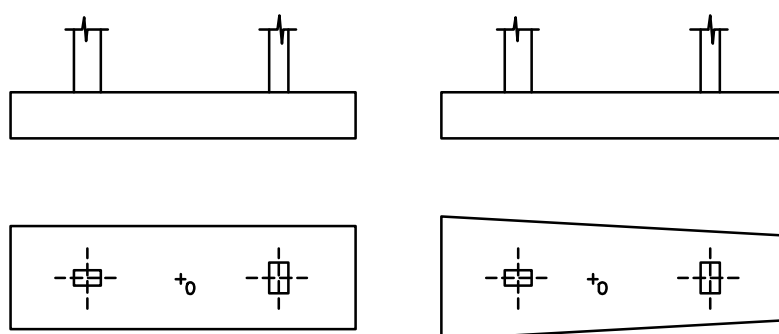


Figura 14: Zapatas combinadas.

(*) Se excluye el caso de soportes contiguos en juntas de dilatación al tratarse como soporte único.

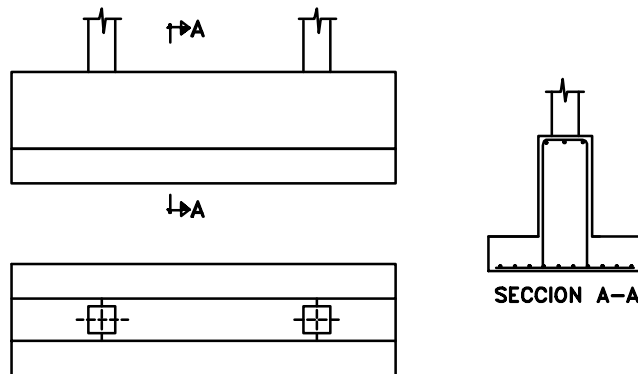


Figura 15: Zapatas combinadas de canto constante.

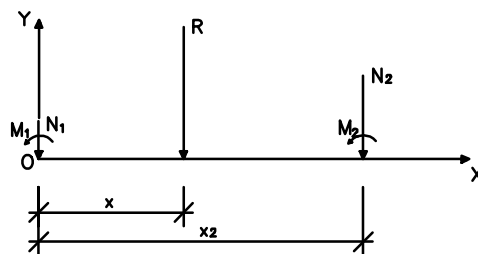


Figura 16: Caso más usual.

Estableciendo el equilibrio con la resultante R, se tiene:

$$N_1 + N_2 = R$$

$$M_1 + M_2 - N_2 \cdot x_2 = -R \cdot x$$

de donde:

$$R = N_1 + N_2$$

$$x = \frac{N_2 \cdot x_2 - M_1 - M_2}{N_1 + N_2}$$

con lo que queda definida la magnitud y posición de la resultante.

Si es posible, el cimiento, generalmente rectangular, se dispone concéntrico con R, con lo cual se tiene la ventaja de que las presiones sobre el suelo, si el cimiento va a ser rígido, pueden considerarse uniformes.

Si la coincidencia del centro de gravedad en planta del cimiento con el punto de paso de la resultante no puede conseguirse la distribución de tensiones es trapecial. En ese caso a partir del valor de R y de su excentricidad e respecto al centro de gravedad de la planta de la zapata, se aplica:

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{N_1 + N_2 + N_c}{L \cdot b} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot e}{L} \right)$$

$$\sigma_{\text{mín}} = \frac{N_1 + N_2 + N_c}{L \cdot b} \cdot \left(1 - \frac{6 \cdot e}{L} \right)$$

debiéndose cumplir:

$$\sigma_{\text{máx}} \leq 1.25 \cdot \sigma_{\text{adm.terreno}}$$

$$\frac{\sigma_{\text{máx}} + \sigma_{\text{mín}}}{2} \leq \sigma_{\text{adm.terreno}}$$

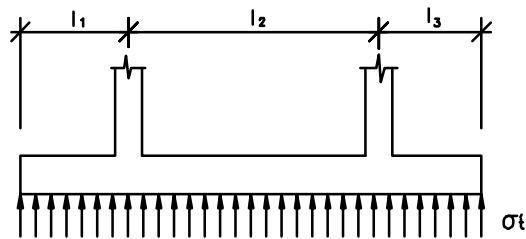


Figura 17: Zapata combinada rígida.

Una vez dimensionado el cimiento, de acuerdo con la presión admisible, el valor de R y su peso propio, debe calcularse su sección para que **la pieza pueda ser considerada como rígida**. Para ello debe cumplirse que la sección del cimiento por un plano vertical que pase por los ejes de los soportes debe ser tal que (figura 17):

$$l_2 < 1.75 \cdot \sqrt[4]{\frac{4 \cdot E \cdot I}{K \cdot b}}$$

$$l_1 < 0.88 \cdot \sqrt[4]{\frac{4 \cdot E \cdot I}{K \cdot b}}$$

$$l_3 < 0.88 \cdot \sqrt[4]{\frac{4 \cdot E \cdot I}{K \cdot b}}$$

K : Coeficiente de balasto.

Si las tres relaciones anteriores no se cumplen, el cimiento debe ser calculado como flexible.

La hipótesis de rigidez del cimiento debe ser verificada siempre, salvo que resulte evidente. No debe olvidarse que si dicha hipótesis no resulta cierta, las presiones bajo las zonas próximas a los soportes (figura 18) serán mayores que lo previsto y menores en las

zonas alejadas. Desde el punto de vista estructural del cimiento es favorable, pues al acercar las cargas a los soportes, se reducirán tanto los esfuerzos cortantes como los momentos flectores. Sin embargo, es desfavorable desde el punto de vista del suelo, ya que las presiones máximas sobre éste serán mayores de lo previsto.

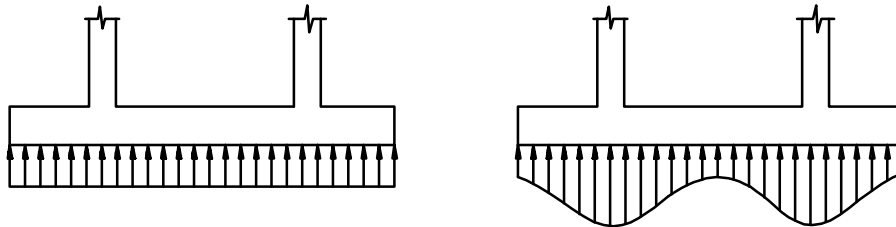


Figura 18: Rigidez del cimiento.

Cálculo a flexión longitudinal

Se calcula como una viga simplemente apoyada con dos voladizos.

La armadura resultante se distribuye uniformemente en todo el ancho del cimiento. Usualmente se corre de lado a lado, aunque por supuesto puede interrumpirse parte de la armadura en la cara superior o en la inferior, respetando las reglas generales de anclaje.

Las comprobaciones de fisuración, adherencia y anclaje se realizan de acuerdo con la teoría general de vigas.

Cálculo a flexión transversal

El tema no es tratado en ninguna Instrucción.

Si la pieza es de sección rectangular, una solución práctica (figura 19) es considerar unos voladizos virtuales AA'BB' y CC'DD' en cada soporte con ancho el del soporte más dos cantos y considerar concentrada en su superficie toda la reacción del suelo correspondiente a ese soporte.

El voladizo se arma a flexión tomando como luz la distancia desde su extremo a la cara del soporte y la armadura se comprueba a fisuración, adherencia y anclaje como en las zapatas corridas.

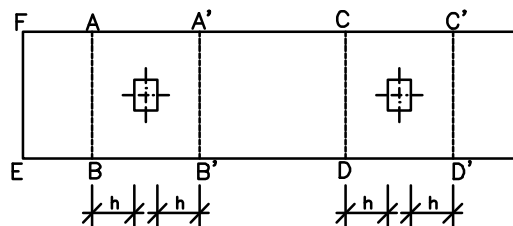


Figura 19: Cálculo a flexión transversal.

En las zonas centrales y en las de voladizo, es decir, en las del tipo A'CDB' y ABEF, se dispone como armadura la que cubre un momento igual al 20% del longitudinal correspondiente.

Obsérvese que el método parte de considerar sólo los voladizos como resistentes en sentido transversal, despreciando la resistencia transversal en las zonas restantes.

A primera vista puede resultar extraño que si se ha aceptado para la flexión longitudinal la hipótesis de rigidez infinita del cimiento en comparación con la del terreno, no se acepte la misma hipótesis para la flexión transversal. La razón se aprecia en la figura 20 a, en la que se representa una zapata combinada de sección rectangular.

Si se acepta la hipótesis de reparto rígido para la flexión transversal, como la armadura de flexión longitudinal no está situada en la línea de soportes sino uniformemente repartida en el ancho de la zapata, la escasa armadura transversal en la zona del soporte no es capaz de encauzar hacia éste las cargas (camino 1→2 y 1→3 en la figura 20 a). De ahí el método anteriormente adoptado que asegura adecuadamente la transmisión.

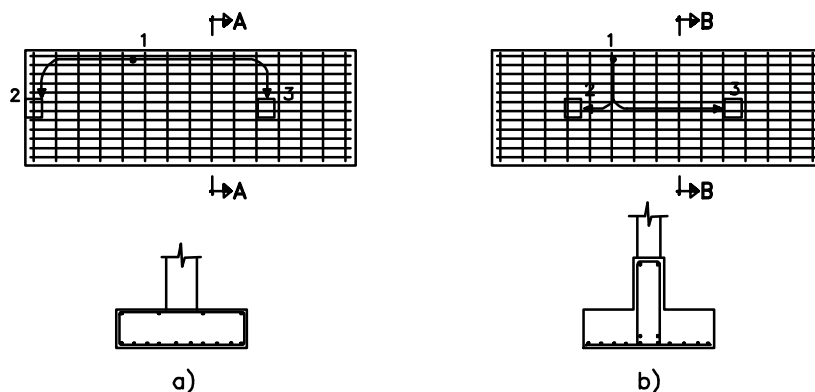


Figura 20: Armadura transversal en la zona del soporte.

En cambio, si se emplea zapata de sección en T invertida, el encauzamiento está asegurado (camino 1→2 y 1→3 en la figura 20 b) y la armadura transversal debe repartirse uniformemente a lo largo de la zapata.

Los estribos de la flexión longitudinal a cortante pueden ser utilizados simultáneamente como armadura en flexión transversal.

Cálculo a esfuerzo cortante

La comprobación a esfuerzo cortante se calcula como una pieza lineal (figura 21), comprobando el cortante en las secciones de referencia situadas a $0.75 \cdot d$ de la cara del soporte.

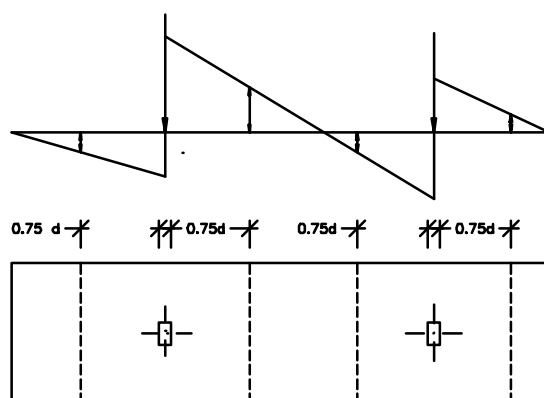


Figura 21: Comprobación a esfuerzo cortante.

Como resistencia virtual a corte se toma $f_{cv} = 0.5 \cdot \sqrt{f_{cd}}$. En este tipo de cimientos, si son necesarios estribos, su disposición conviene se ajuste a los esquemas a) o b) (figura 22) si la cota indicada supera la longitud de solape l_b .

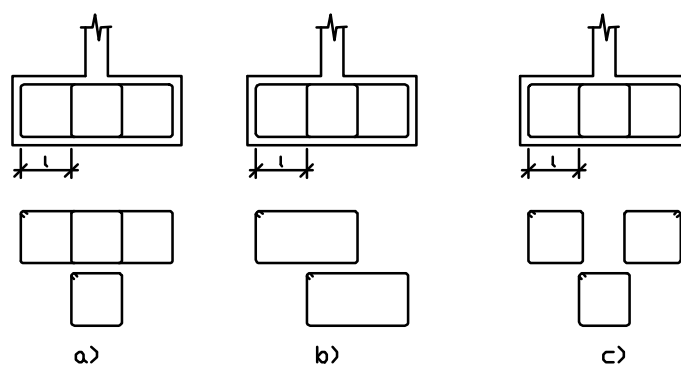


Figura 22: Posibles disposiciones de los estribos.

En ambos casos, las ramas horizontales de los estribos son útiles como armadura de flexión transversal, cosa que no ocurre en la solución c).

La separación máxima l entre ramas verticales de estribos, medida en sentido transversal, no conviene que sobrepase los 50 cm.

Cálculo a punzonamiento

Se comprueba como zapata aislada o de medianería si algún pilar es de borde.

Comprobación a fisuración

Se comprueba como zapata aislada o de medianería si algún pilar es de borde.

Anclaje, solape y esperas de armaduras

Se comprueba como zapata aislada o de medianería si algún pilar es de borde.

4. VIGAS DE ATADO ENTRE ZAPATAS

Siempre es conveniente establecer un cierto atado entre zapatas que impida sus desplazamientos horizontales.

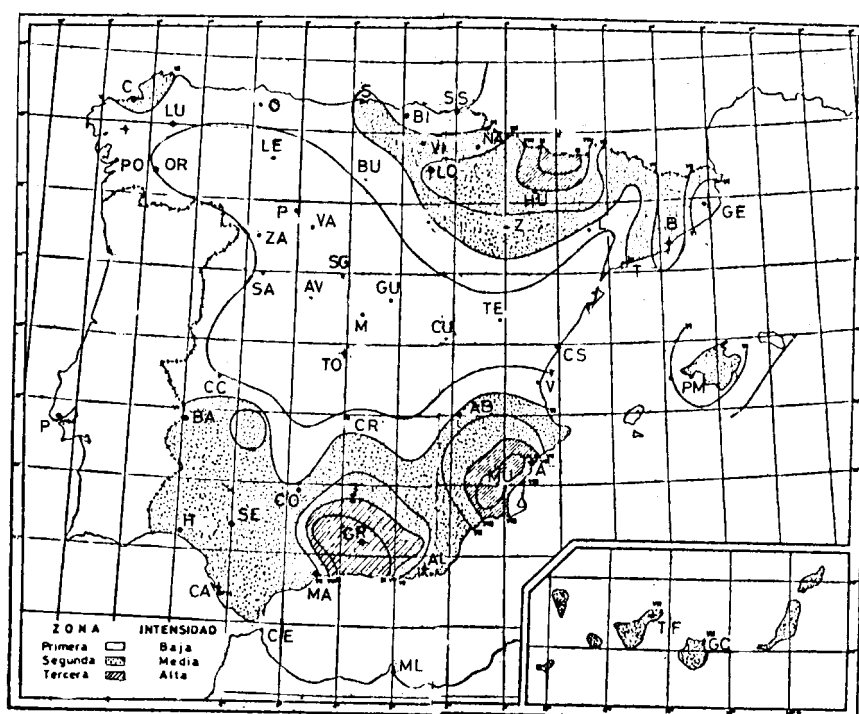


Figura 23: Zonas sísmicas.

Si la estructura está cimentada en **zonas sísmicas segunda y tercera** (figura 23) el atado es **obligatorio** y afecta a todas las zapatas de acuerdo con la Norma Sismorresistente NCSR-02. En la **zona primera** no es **necesario** el atado.

Si la cimentación está en zona sísmica primera es suficiente con que cada zapata quede atada en un solo sentido en cada una de las dos direcciones principales, tal como se indica en la figura 24. Las zapatas perimetrales deben atarse siempre en los dos sentidos a lo largo de las fachadas. En naves, al no ser obligado el atado, basta atar las zapatas en el sentido principal (cerramientos) si el criterio del proyectista así lo estima, según la importancia de la nave y las cargas transmitidas al terreno.

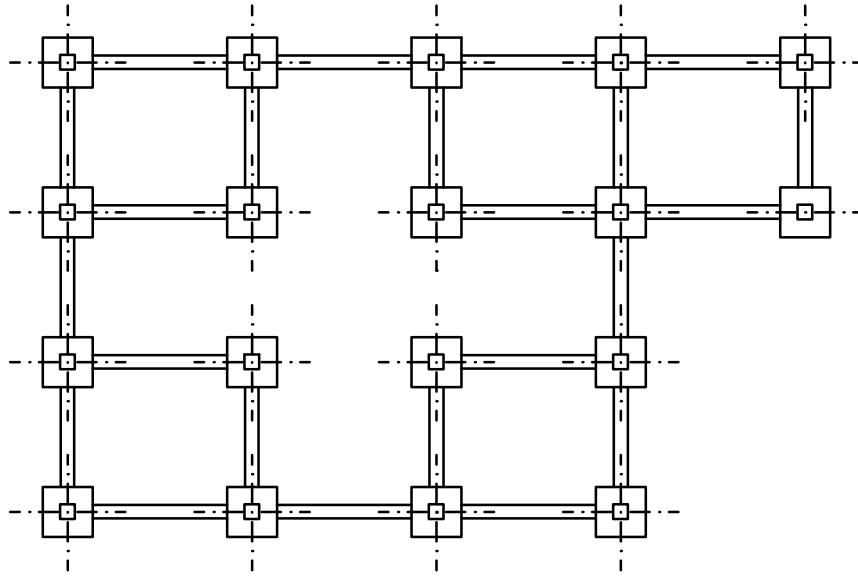


Figura 24: Atado de zapatas en zona sísmica primera.

• En **zona sísmica primera**, para edificación, es suficiente que la pieza de atado sea capaz de transmitir, en tracción o en compresión, un esfuerzo axial igual al 5% de la carga axial de cálculo del pilar más cargado de los dos que une.

La pieza, para que no requiera comprobación a pandeo, deberá tener una esbeltez menor de 35.

La viga se considera empotrada en las zapatas que une. Llamando A_s a la sección de armado de la pieza, f_{yd} el límite elástico de cálculo del acero y N_d el esfuerzo axial del soporte más cargado, debe cumplir:

$$A_s \geq \frac{0.05 \cdot N_d}{f_{yd}} \quad A_s \geq 0.15 \cdot a \cdot b \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}}$$

$$a \geq \frac{1}{20} \quad b \geq \frac{1}{20}$$

Es conveniente establecer unos requisitos mínimos (figura 25) en cuanto a las dimensiones de la pieza de atado, dictados por razones constructivas.

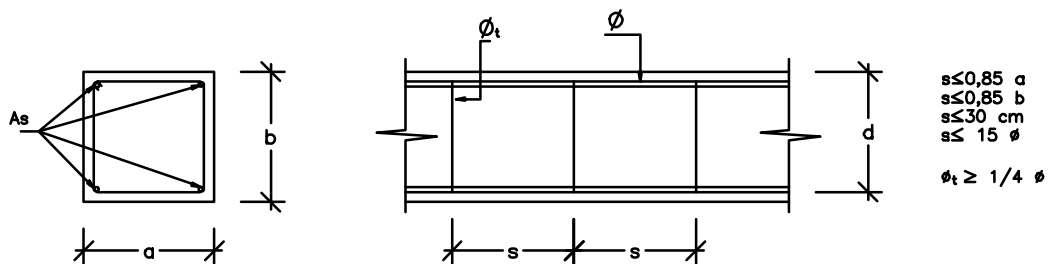


Figura 25: Dimensiones mínimas de la pieza de atado.

Si la pieza se encofra las dimensiones mínimas pueden ser 25x25 cm. Si la pieza se hormigona sobre el terreno, el mínimo del ancho a viene condicionado por posibilidades físicas de excavación y de refino de taludes y debe ser $b \geq 40$ cm. Los recubrimientos en estos casos no deben ser inferiores a 3 cm. Las condiciones de separación de estribos se indican en la figura 25.

Si la pieza se hormigona sobre el terreno debe disponerse una capa de hormigón de limpieza y excavarse el terreno con las mismas precauciones que la zapata (figura 26).

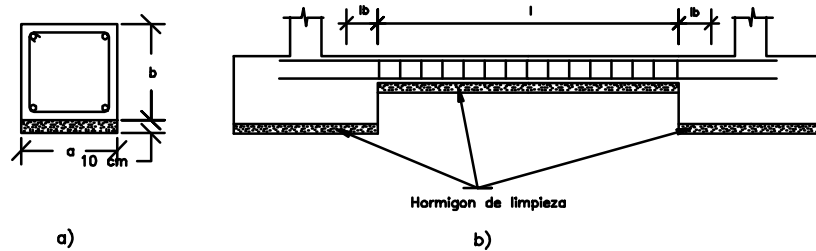


Figura 26: Viga de atado.

La armadura longitudinal de la pieza debe anclarse en ambas zapatas una longitud igual a su longitud de anclaje en posición II (figura 26 b) a partir del eje del soporte, o solapada con la pieza del vano adyacente.

- Si la cimentación está en **zona segunda o tercera**, la Norma Sismorresistente NCSR-02 establece que las piezas de atado deben formar una retícula general, con lo que la figura 27 se transforma en la figura 27.

Dicha Norma establece también que las piezas de atado deben soportar un esfuerzo axial de compresión o tracción, de valor igual al 10% de la carga que recibe la zapata más cargada de las dos que une. Con ello las condiciones de dimensionamiento se convierten en:

$$A_s \geq \frac{0.10 \cdot N_d}{f_{yd}} \quad A_s \geq 0.15 \cdot a \cdot b \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}}$$

$$a \geq \frac{1}{20} \quad b \geq \frac{1}{20}$$

El ancho mínimo se recomienda 40 cm., así como el empleo de secciones cuadradas.

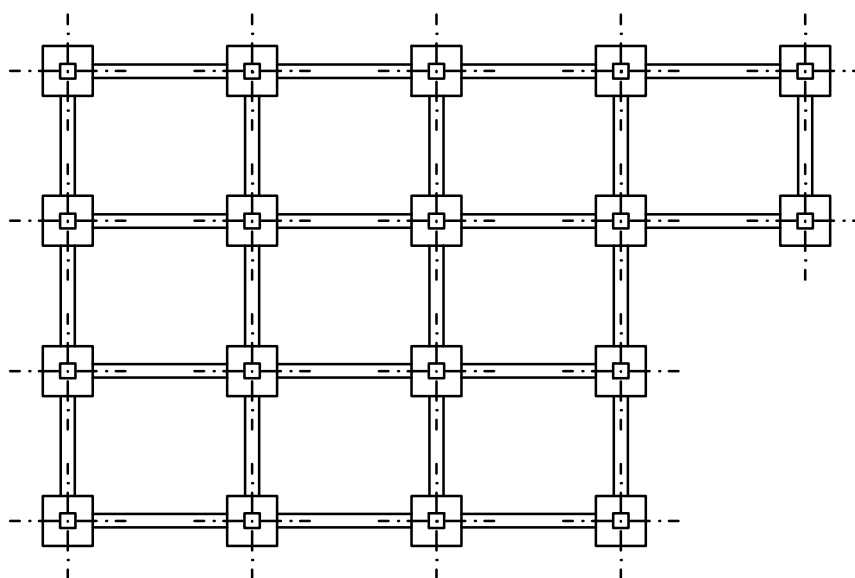


Figura 27: Atado de zapatas en zonas sísmicas segunda y tercera.

5. RECOMENDACIONES GENERALES PARA TODAS LAS ZAPATAS

- Disponer bajo la zapata 10 cm de hormigón de limpieza.
- Salvo grandes zapatas, es conveniente disponer de canto constante.
- Preparar bien la junta de hormigonado pilar-zapata.
- Canto mínimo en borde de zapata 25 cm.
- Profundidad mínima de cimentación: 1 m.
- Separación entre armaduras: $10 \text{ cm} \leq S \leq 30 \text{ cm}$
- Se recomienda emplear $\phi \geq 12$ para armadura principal.
- Recubrimientos mínimos: 5 cm o 7 cm si se está en contacto directo con el terreno.
- Cuantía geométrica mínima en cada dirección: $\rho \geq 0.0015 \cdot \frac{4100}{f_{yk}}$

6. COEFICIENTE DE BALASTO.

$$K = \frac{\Delta \text{Tensión en el terreno (kg / cm}^2\text{)}}{\text{Descenso del terreno por la carga (cm)}} = \text{kg / cm}^3$$

K depende de:

- Las dimensiones del cimiento
- La presión de ensayo.
- La velocidad de aplicación de la carga.
- El carácter noval o repetitivo de las cargas.
- La humedad del suelo.
- etc.

Si no se dispone de otros datos se puede adoptar:

- Suelos gravosos y arenosos

$$K = 2.2 \cdot \delta \cdot \left(\frac{b + 30}{2 \cdot b} \right)^2$$

- Suelos limosos y arcillosos

$$K = 2.2 \cdot \delta \cdot \frac{n + 0.5}{1.5 \cdot n} \cdot \frac{30}{b}$$

siendo b el ancho de la zapata (en cm.) y n la relación entre el largo y el ancho de la zapata.

Tabla 1	
Tipo de suelo	δ
Suelos gravosos	10-15
Suelos arenosos	6-10
Suelos limosos (Plasticidad media)	4-6
Suelos arcillosos (Plasticidad alta)	1.5-4