

En el estudio o en la ejecución de las obras, se presentan a todo arquitecto problemas, grandes o pequeños, que tienen que resolver. Cada uno de ellos puede dar lugar a muchas soluciones diferentes, unas mejores que otras. Conocer en un problema determinado soluciones posibles ya empleadas, permite resolverlo en menos tiempo y con una visión crítica más clara sobre la bondad de la solución adoptada

Esta sección de temas técnicos que iniciamos expondrá soluciones de las cuestiones de todo tipo que puedan presentarse en la edificación con el objeto antes indicado. Quedan invitados todos los arquitectos a colaborar en ella, para dar a conocer a los demás aquello que sobre procedimientos constructivos, orientaciones sobre estructura, utilización de materiales, temas de economía, etc. etc., hayan estudiado y resuelto en el curso de su actuación profesional

DOS PROPUESTAS SOBRE LA CIMENTACION EN MEDIANERIAS

Arquitecto: Javier Lahuerta

Si un pilar soporta una carga vertical Q , y se transmite ésta al terreno por intermedio de una zapata de cimentación centrada con aquél, como es sabido en el área de contacto se producen tensiones cuyo reparto depende de la naturaleza del terreno, y del tamaño, forma y rigidez de la zapata. A título de ejemplo se representan en la figura 1 estas tensiones para zapatas circulares rígidas y elásticas en tres tipos de terreno.

En todos los terrenos reales la complejidad de la determinación del reparto de tensiones es muy grande, y para evitarla se suelen emplear como aproximación grossera las características del terreno ideal, aunque éste no existe; es decir se admite la hipótesis de tensiones proporcionales a las deformaciones. Con zapata rígida centrada de área A , la tensión es por tanto uniforme, y vale (fig. 2a):

$$\sigma_T = \frac{Q}{A}$$

En un pilar de medianería no es posible en muchos casos conseguir que la base de apoyo necesaria resulte centrada con su eje. Siguiendo la hipótesis anterior se

producen en el terreno de cimentación tensiones que ya no son uniformes, sino que siguen una ley lineal. Tratándose de una base rectangular ($A = bd$), con excentricidad e de la carga en dirección de la dimensión d , las

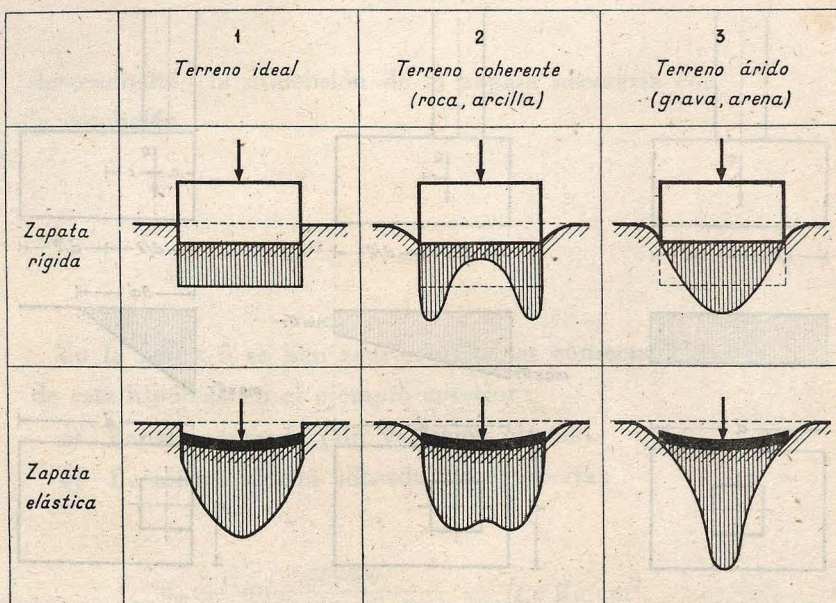


Figura 1. Tensiones en la superficie de asiento de zapatas circulares rígidas y elásticas, en cuyo centro reciben cargas aisladas, según el tipo de terreno.

tensiones máxima y mínima en el terreno, cuando e es menor o igual que $\frac{d}{6}$ (fig. 2b), son:

$$\max \sigma_T = \frac{Q}{bd} \left(1 + \frac{6e}{d}\right)$$

$$\min \sigma_T = \frac{Q}{bd} \left(1 - \frac{6e}{d}\right)$$

Si la excentricidad es mayor que este valor, se admite que la base deja de apoyar en parte, y las tensiones siguen una ley lineal en el resto, siendo su valor máximo

$$\max \sigma_T = \frac{2Q}{3ba}$$

llamando a la distancia de la carga al borde, $a = \frac{d}{2} - e$ (fig. 2c).

Se recomienda por la mayoría de los autores que se calcule la base de apoyo en tal forma que

$$\max \sigma_T = \text{adm } \sigma_T;$$

la influencia de la excentricidad del pilar respecto a su base de apoyo en las tensiones en el terreno, o sea en definitiva en el tamaño de la base de apoyo, es pues grande, como más claramente vamos a ver en un ejemplo.

En un terreno, en el que se adopta como tensión admisible $\text{adm } \sigma_T = 4 \text{ Kg/cm}^2$, se asienta sin empotrar un pilar cuadrado de hormigón armado de 50 cm de lado, que recibe en su pie una carga $P = 100t$, yendo cimentado sobre una zapata centrada de hormigón en masa de 1,50 m de altura y planta cuadrada de 1,65 m de lado (fig. 3a). La tensión en el terreno será:

$$\begin{aligned} \text{Carga: } P &= 100t \\ G &= 1,50 \times 1,65 \times 1,65 \times 2,2 = 9t \\ Q &= 109t \end{aligned}$$

$$\text{Tensión: } \sigma_T = \frac{109000}{165 \times 165} = 4,0 \text{ Kg/cm}^2 (= \text{adm } \sigma_T)$$

Este mismo pilar adosado a una medianería, de cuya línea no se puede pasar, produciría en el terreno, con la misma zapata anterior (fig. 3b), la tensión siguiente:

$$\text{Carga: } Q = 109t$$

$$\text{Distancia: } a = \frac{25 \times 100 + 82,5 \times 9}{109} = 30 \text{ cm}$$

$$\text{Tensión: } \max \sigma_T = \frac{2 \times 109000}{3 \times 165 \times 30} = 14,7 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (inadmisible.)}$$

Para que la tensión máxima sea igual a la admisible, se necesita una zapata cuadrada que tenga 3,50 m de lado (fig. 3c).

$$\begin{aligned} \text{Carga: } P &= 100t \\ G &= 1,50 \times 3,50 \times 3,50 \times 2,2 = 40t \\ Q &= 140t \end{aligned}$$

$$\text{Distancia: } a = \frac{25 \times 100 + 175 \times 40}{140} = 68 \text{ cm}$$

$$\text{Tensión: } \max \sigma_T = \frac{2 \times 140000}{3 \times 350 \times 68} = 4,0 \text{ Kg/cm}^2 (= \text{adm } \sigma_T)$$

y aun prescindiendo de que esta zapata necesitaría armadura o mayor altura, su coste en relación con el de la zapata centrada es $\frac{40}{9} = 4,4$ veces mayor.

Resulta más económica la zapata haciéndola rectangular con su lado mayor en dirección de la medianería. Si la separación entre pilares es 4,60 m, dándole esta anchura necesita el otro lado de 2,30 m (fig. 3d).

$$\begin{aligned} \text{Carga: } P &= 100t \\ G &= 1,50 \times 4,60 \times 2,30 \times 2,2 = 35t \\ Q &= 135t \end{aligned}$$

$$\text{Distancia: } a = \frac{25 \times 100 + 115 \times 35}{135} = 48 \text{ cm}$$

$$\text{Tensión: } \max \sigma_T = \frac{2 \times 135000}{3 \times 460 \times 48} = 4,0 \text{ Kg/cm}^2 (= \text{adm } \sigma_T)$$

zapata que es $\frac{35}{9} = 3,9$ veces mayor que la centrada y $\frac{35}{40} = 0,88$ de la cuadrada anterior.

Nuestra opinión es que la determinación del área de apoyo, basándose en que la $\max \sigma_T$ calculada por el anterior procedimiento sea igual a la $\text{adm } \sigma_T$, da lugar a zapatas mayores de lo necesario, fundándonos en las dos razones siguientes:

a) No se adopta una tensión admisible en un terreno por el hecho de ser $\frac{1}{n}$ de la tensión en que se produce su rotura, sino por ser la tensión en la que los asientos no rebasan los límites permitidos (permitidos por las

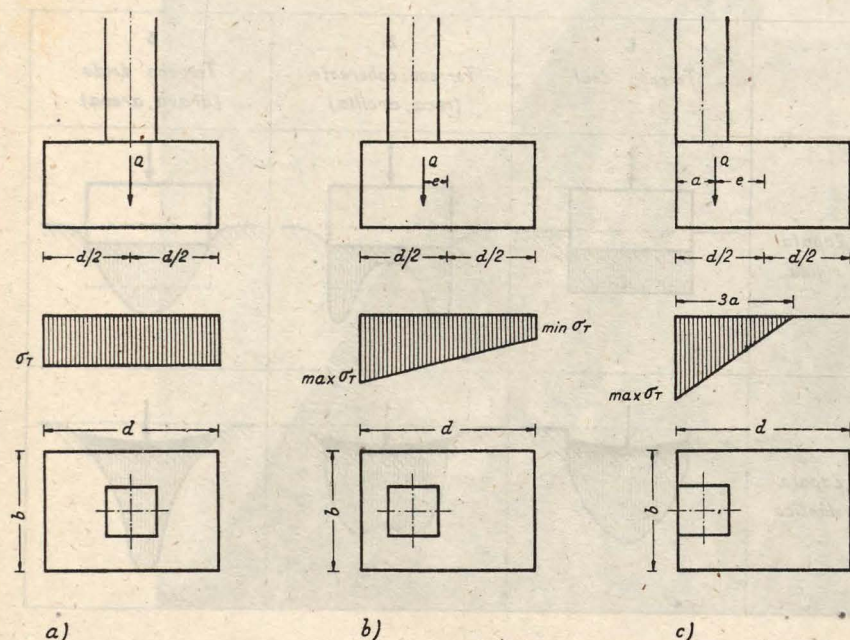


Figura 2. Tensiones en la superficie de asiento de zapatas rectangulares, calculadas con la hipótesis de tensiones proporcionales a las deformaciones.

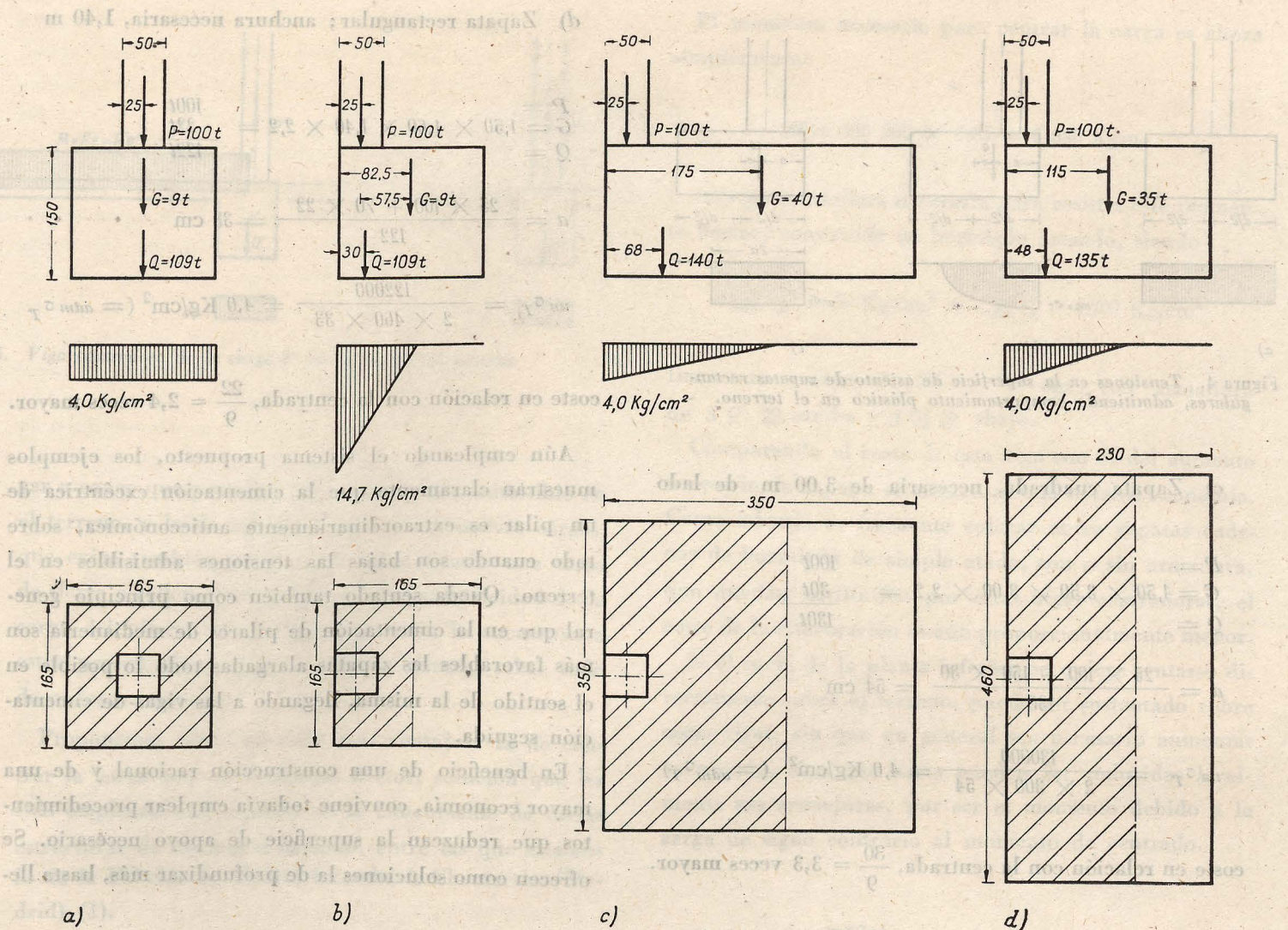


Figura 3. Zapata de cimentación de un pilar centrado y tres soluciones del de una medianería. Comparación de dimensiones y de tensiones calculadas con la hipótesis de tensiones proporcionales a las deformaciones.

tensiones a que dan lugar en la estructura, y por mantenimiento de las alturas proyectadas y enlace con otras construcciones), que varían según la clase de la construcción. Los asientos de un pilar con zapata centrada y otro con zapata descentrada no están en la relación de las respectivas tensiones σ_T y $\sigma_{T_{max}}$ calculadas antes, sino que el asiento de este último es menor. Por tanto, es razonable adoptar una tensión admisible mayor en este segundo caso o calcular según otro criterio.

b) En estados de tensión cercanos a la rotura, está muy lejos de la realidad la afirmación de que las tensiones en el terreno son proporcionales a sus deformaciones; éstas aumentan mucho más rápidamente que las tensiones, asemejándose el terreno más a un macizo plástico que a uno elástico, aun siendo su comportamiento real muy diferente a los dos. Esta plasticidad da lugar a una disminución de las tensiones en el extremo de la zapata más cercano a la carga (fig. 4b).

En el cálculo de cimientos con carga descentrada, en virtud de las dos razones anteriores podemos adoptar por tanto como simplificación, dentro de una aproximación también grosera pero más ajustada a la realidad

de los asientos, y solamente a efectos de determinación de dimensiones, la hipótesis de que la carga produce una tensión uniforme en un ancho $2a$ (fig. 4c) cuyo valor es:

$$\sigma_{T1} = \frac{Q}{2ba}$$

determinando la dimensión de la zapata necesaria con la condición

$$\sigma_{T1} = \sigma_{T_{adm}}$$

En la figura 5 se han representado las consecuencias de esta hipótesis en el ejemplo anterior:

- Zapata centrada (sin variación alguna).
- La misma zapata adosada a medianería:

$$\sigma_{T1} = \frac{109000}{12 \times 165 \times 30} = 11,0 \text{ Kg/cm}^2$$

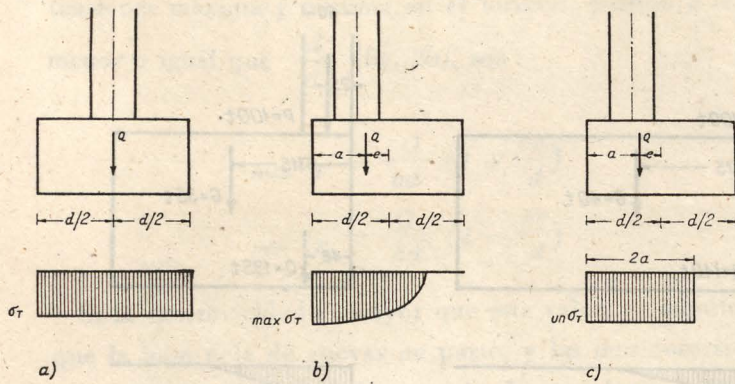


Figura 4. Tensiones en la superficie de asiento de zapatas rectangulares, admitiendo comportamiento plástico en el terreno.

c) Zapata cuadrada, necesaria de 3,00 m de lado

$$\begin{aligned} P &= 100t \\ G &= 1,50 \times 3,50 \times 3,00 \times 2,2 = 30t \\ Q &= 130t \end{aligned}$$

$$a = \frac{25 \times 100 + 150 \times 30}{130} = 54 \text{ cm}$$

$$un \sigma_T = \frac{130000}{2 \times 300 \times 54} = 4,0 \text{ Kg/cm}^2 (= adm \sigma_T)$$

coste en relación con la centrada, $\frac{30}{9} = 3,3$ veces mayor.

d) Zapata rectangular; anchura necesaria, 1,40 m

$$\begin{aligned} P &= 100t \\ G &= 1,50 \times 4,60 \times 1,40 \times 2,2 = 22t \\ Q &= 122t \end{aligned}$$

$$a = \frac{25 \times 100 + 70 \times 22}{122} = 33 \text{ cm}$$

$$un \sigma_T = \frac{122000}{2 \times 460 \times 33} = 4,0 \text{ Kg/cm}^2 (= adm \sigma_T)$$

coste en relación con la centrada, $\frac{22}{9} = 2,4$ veces mayor.

Aún empleando el sistema propuesto, los ejemplos muestran claramente que la cimentación excéntrica de un pilar es extraordinariamente antieconómica, sobre todo cuando son bajas las tensiones admisibles en el terreno. Queda sentado también como principio general que en la cimentación de pilares de medianería son más favorables las zapatas alargadas todo lo posible en el sentido de la misma, llegando a las vigas de cimentación seguida.

En beneficio de una construcción racional y de una mayor economía, conviene todavía emplear procedimientos que reduzcan la superficie de apoyo necesario. Se ofrecen como soluciones la de profundizar más, hasta lle-

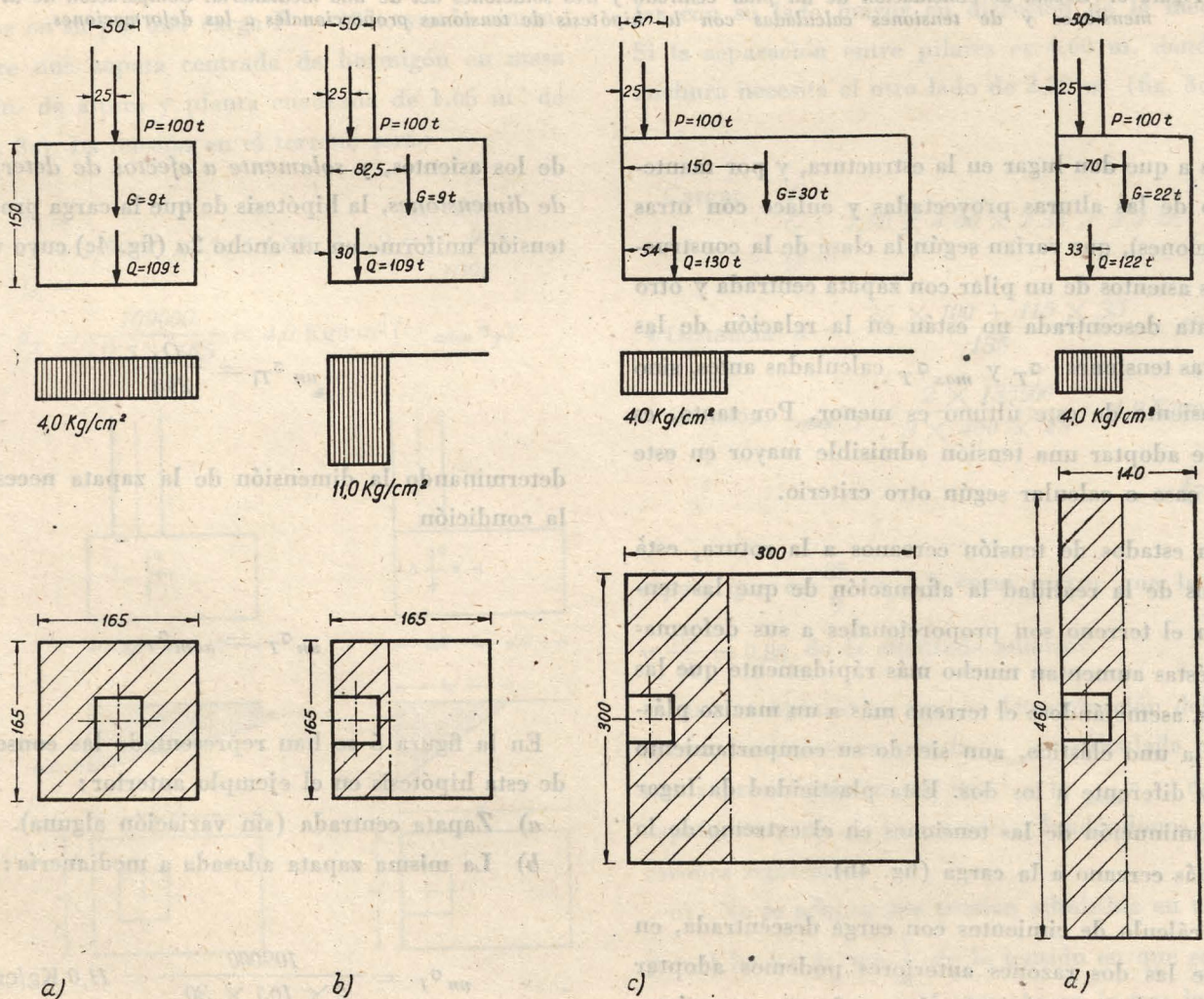


Figura 5. Zapata de cimentación de un pilar centrado y tres soluciones del de una medianería. Comparación de dimensiones y de tensiones calculadas con la hipótesis de distribución uniforme en un ancho. (Comparar con los valores de la figura 3.)

El momento necesario para centrar la carga es ahora simplemente:

$$M = 100\,000 \times 0,05 = 5\,000 \text{ Kgm.}$$

La viga centradora necesaria para resistir este momento flector, construída en hormigón armado, siendo

$$\text{adm} \sigma_H = 50 \text{ Kg/cm}^2 \text{ y } \text{adm} \sigma_A = 1.200 \text{ Kg/cm}^2$$

tiene una sección de $20 \times 40 \text{ cm}^2$, con armadura de 3 $\varnothing 22$ arriba y 3 $\varnothing 22$ abajo.

Comparando el coste de esta viga con el del aumento necesario de zapata, se encuentra una notable economía. Como además es frecuente colocar entre zapatas cadenas de hormigón de simple atado, con o sin armadura, que quedan sustituidas por estas vigas centradoras, el coste de la cimentación es aún proporcionalmente menor.

Si el suelo de la planta inferior no quiere sentarse directamente sobre el terreno, puede ser sustentado sobre estas vigas, sin que en general sea necesario aumentar su sección, sino que hasta pueden ser reducidas localmente sus armaduras, por ser el momento debido a la carga de signo contrario al momento de centrado.

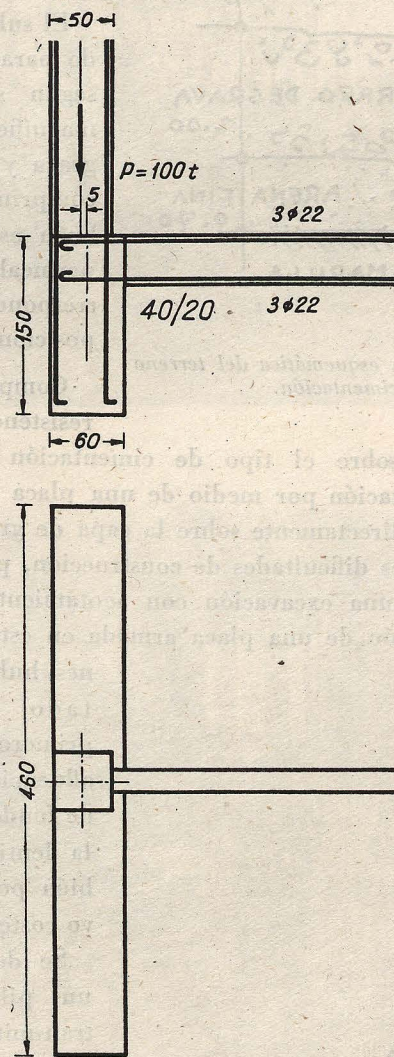


Figura 7. Zapata de cimentación de un pilar con viga centradora. (Comparar con los valores de figuras 3 y 5.)

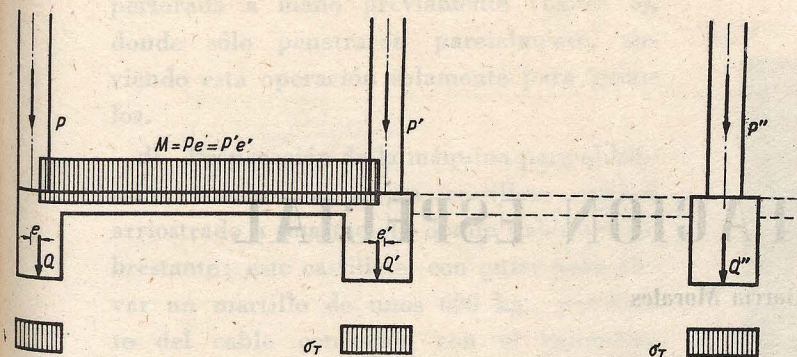


Figura 6. Viga centradora de la carga P del pilar de medianería.

gar a capas que permitan elevar la tensión admisible en el terreno, y la de centrar la carga con nuevas cargas, que exige también profundizar para colocar una masa de tierra o relleno que contrapesa la excentricidad de la carga del pilar. Aún un ligero examen le encuentra a estos procedimientos graves inconvenientes, sobre todo de orden económico.

Proponemos como solución más ventajosa la de centrar la carga con un momento flector, solución que ha sido empleada por el autor en la cimentación de varias estructuras de hormigón armado, entre las que citamos la de la Fábrica de Medias Chamberí, Chamartín (Madrid) (1).

Constructivamente este momento flector se puede introducir construyendo en dirección de la excentricidad una viga rígidamente unida al cimiento, que denominaremos *centradora*, desde el pie del pilar en cuestión hasta el de enfrente, la base del cual se puede colocar descentrada lo suficiente para que se produzca un momento flector igual a M de sentido contrario (fig. 6).

Cuando se trata de un edificio en nave simétrica, con solamente pilares periféricos, el descentramiento de las zapatas en los pilares opuestos de cada medianería es el mismo ya de por sí, siendo entonces perfectamente indicado colocar esta viga centradora de cargas.

En el caso del ejemplo, manteniendo zapata cuadrada (figuras 3b y 5b), el momento flector necesario para centrar la carga es

$$M = 100\,000 \times 0,575 = 57\,500 \text{ Kgm.}$$

Pero esta zapata puede hacerse rectangular, con un lado de 4,60 m, es decir, convertirse en una viga de cimentación, con o sin armadura según los casos, necesitando entonces una anchura de 0,60 m (fig. 7):

$$\sigma_T = \frac{109\,000}{460 \times 60} = 4,0 \text{ Kg/cm}^2 (= \text{adm} \sigma_T)$$

(1) Proyectada y dirigida en colaboración con el Arquitecto D. Javier de Oyarzábal.