

# Manual de Cimentaciones

## Zapatas

Gustavo Jaramillo Botero  
Ingeniero civil  
Especialista en estructuras

Edición de prueba  
Actualizada con la NSR-10

## Capítulo 1 Cimentaciones superficiales

### 1.1 Introducción

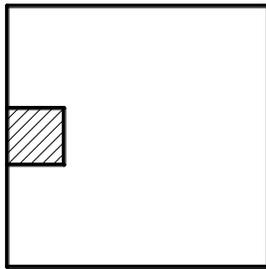
La cimentación recibe las cargas de la estructura y las traslada al suelo de soporte. La cimentación superficial consiste en zapatas y vigas de cimentación.

### 1.2 Zapatas

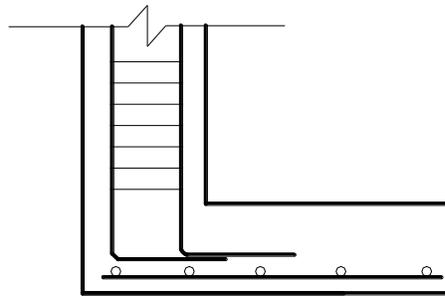
Las zapatas son el tipo de cimentación superficial más utilizado, debido a su economía y facilidad en la construcción. Las zapatas se pueden dividir en los siguientes tipos:

a) Zapata exterior: es aquella que soporta una columna excéntrica, es decir que la columna está a un costado de la zapata.

Este tipo de zapatas se presenta cuando la columna está en un lindero del lote.



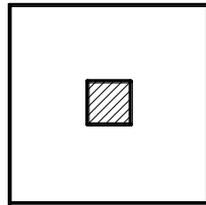
*Planta de zapata exterior*



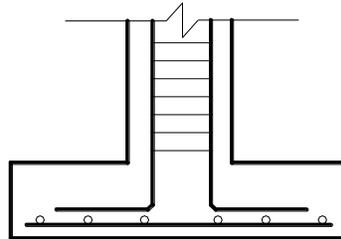
*Perfil de zapata exterior*

b) Zapata interior: Es aquella que soporta una columna céntrica, es decir, que la columna esta en el centro de la zapata.

Este tipo de zapatas se presenta en columnas interiores de una edificación.

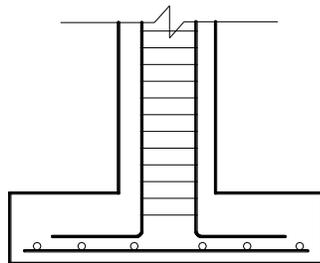


*Planta de zapata interior*



*Perfil de zapata interior*

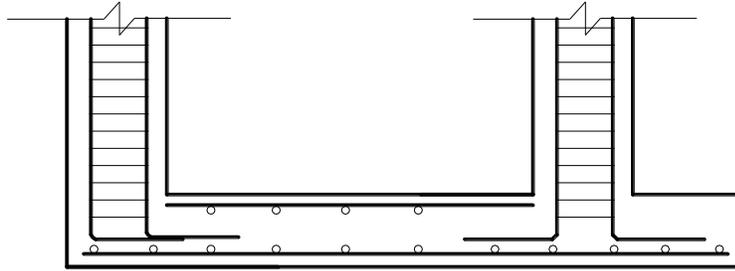
c) Zapata aislada: es aquella que no tiene viga de enlace, es decir, son aisladas del diafragma de cimentación. Estas zapatas no se permiten en un edificio aporcionado, su uso se restringe columnas aisladas en estructuras menores, tales como porterías, etc.



*Zapata aislada*

d) Zapata combinada: es aquella que soporta dos o más columnas. Se presenta cuando existen dos columnas muy cerca y una zapata se intersecta con la otra.

Este tipo de zapatas debe llevar refuerzo positivo y negativo, debido a los momentos que se presentan.



*Zapata combinada*

e) Zapata con viga de enlace: es aquella zapata que esta amarrada a toda la cimentación mediante una viga de enlace. La función de la viga de enlace es amarrar la cimentación para que trabaje como un diafragma y además, sirve de contrapeso para que la zapata no se levante, debido al peso de la columna.



*Dos zapatas unidas con viga de enlace*

Este es el sistema de cimentación recomendable para la mayoría de cimentaciones superficiales.

**Ejemplo 1.1**

Diseñar una zapata aislada para una columna que soporta una carga última de 40 toneladas.

Los datos son:

Sección de la columna: 0,30 x 0,30 m

Altura de la columna: 4,0 m

Concreto:  $f'c = 3.000$  psi

Refuerzo:  $f_y = 60.000$  psi

Resistencia del suelo de soporte: 12 ton/m<sup>2</sup> (también llamado esfuerzo)

**Solucion:**

El peso total que le llega al suelo de soporte es:

$P_u = 40 \text{ ton} + \text{peso columna} + \text{peso zapata}$

El peso de la columna es:

$P_{\text{col}} = \text{densidad por volumen}$

$P_{\text{col}} = 2400 \text{ kg/m}^3 * (4,0 \text{ m} * 0,30 \text{ m} * 0,30 \text{ m}) = 864 \text{ kg}$

El peso de la zapata se asume del 10% de la columna:

$P_{\text{zap}} = 0,10 * 864 \text{ kg} = 86,4 \text{ kg}$

El peso total es:

$P_u = 40 \text{ ton} + 0,864 \text{ ton} + 0,0864 \text{ ton} = 40,95 \text{ ton}$

El área necesaria de la zapata es:

$$\text{Esfuerzo} = \frac{\text{Peso}}{\text{Área}}$$

Despejando el área se tiene:

$$\text{Área} = \frac{\text{Peso}}{\text{Esfuerzo}} = \frac{40,95 \text{ ton}}{12 \text{ ton/m}^2} = 3,41 \text{ m}^2$$

La zapata necesita una área mínima de 3,41 m<sup>2</sup>, es importante tener en cuenta que la resistencia del suelo ya tiene un factor de seguridad.

Si se quiere una zapata de sección cuadrada se obtiene sacando raíz cuadrada del área:

$$B = \sqrt{A} \quad \Rightarrow \quad B = \sqrt{3,41} \quad \Rightarrow \quad B = 1,85 \text{ m}$$

Por seguridad se recomienda ampliar un poco la sección transversal de la zapata.

Las dimensiones definitivas son: B= 1,90 m y H= 1,90 m

Se calcula la presión última del suelo con el área de la zapata:

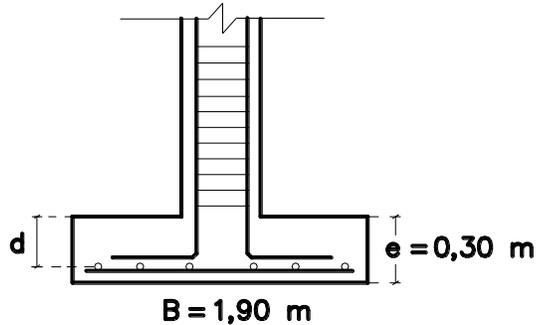
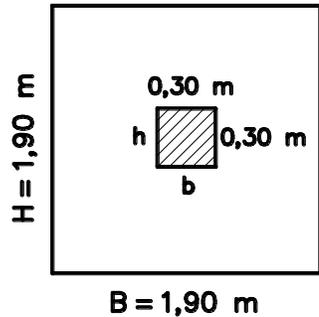
$$\text{Presión última del suelo: } \frac{\text{Carga total}}{\text{Área de la zapata}}$$

Se calcula la presión última del suelo con el área de la zapata:

$$\text{Presión última del suelo: } \frac{\text{Carga total}}{\text{Área de la zapata}}$$

$$\text{Presión última del suelo: } \frac{40,95 \text{ ton}}{1,90 \text{ m} * 1,90 \text{ m}} = 11,34 \text{ ton/m}^2$$

El espesor de la zapata se asume de 0,30 m y se chequea el punzonamiento;



Chequeo del punzonamiento:

Altura efectiva de la zapata:

$$d = h - \text{recubrimiento} \Rightarrow d = 30 \text{ cm} - 9,0 \text{ cm} \Rightarrow d = 21 \text{ cm}$$

El perímetro de la sección crítica (bo) es:

$$b_o = 2 * (h + d) + 2 * (b + d)$$

$$b_o = 2 * (30 \text{ cm} + 21 \text{ cm}) + 2 * (30 \text{ cm} + 21 \text{ cm}) \Rightarrow b_o = 204 \text{ cm}$$

El cortante crítico (Vu) es:

$$V_u = P_u - F_u * (h + d) * (b + d)$$

$$V_u = 40,95 \text{ ton} - 11,34 \text{ ton/m}^2 * (0,30 \text{ m} + 0,21 \text{ m}) * (0,30 \text{ m} + 0,21 \text{ m})$$

$$V_u = 38,0 \text{ ton}$$

Se revisa si la altura efectiva (d) es suficiente:

$$d \geq \frac{V_u}{1,1 \Phi \sqrt{f'_c} b_o}$$

$$21 \text{ cm} \geq \frac{38.000 \text{ kg}}{1,1 * 0,75 * \sqrt{210} * 204 \text{ cm}} \Rightarrow 21 \text{ cm} \geq 15,58 \text{ cm} \quad \underline{OK}$$

El espesor asumido es suficiente.

Chequeo por flexion:

La fuerza cortante ( $V_u$ ) en la sección crítica es:

$$V_u = F_u * B * (H/2 - h/2 - d)$$

$$V_u = 11,34 \text{ ton/m}^2 * 1,90 \text{ m} * (1,90/2 - 0,30/2 - 0,21) = 12,71 \text{ ton}$$

$$d = \frac{V_u}{0,53 * \Phi * \sqrt{f'_c} * B}$$

$$d = \frac{12.710 \text{ kg}}{0,53 * 0,75 * \sqrt{210} * 190} = 11,61 \text{ cm} < 21 \text{ cm} \quad \underline{OK}$$

El concreto absorbe todo el cortante, las dimensiones asumidas son adecuadas y se procede al diseño.

Diseño a flexion:

El momento último de la zapata es:

$$M_u = \frac{F_u * B * (H/2 - h/2)^2}{2}$$

$$M_u = \frac{11,34 * 1,90 * (1,90/2 - 0,30/2)^2}{2} = 6,89 \text{ ton-m} \Rightarrow M_u = 689 \text{ ton-cm}$$

El coeficiente para refuerzo a tracción ( $K$ ) es similar a una viga:

$$K = \frac{M_u}{B * d^2} = \frac{689 \text{ ton-cm}}{190 \text{ cm} * (21 \text{ cm})^2} = 0,0082 \text{ ton/cm}^2$$

Con el valor de  $K$  se busca la cuantía  $P$  en la tabla 5.9:

La cuantía correspondiente es la mínima, debido a que el valor de  $K$  está por debajo de ese valor.  $P = 0,0033$

El área de acero es:

$$A_s = P * b * d \Rightarrow A_s = 0,0033 * 190 \text{ cm} * 21 \text{ cm} \Rightarrow A_s = 13,17 \text{ cm}^2$$

El refuerzo a colocar es: 7 # 5 ( $A_s=14 \text{ cm}^2$ ) en cada dirección.

**Ejemplo 1.2**

Diseñar la viga de enlace de la cimentación de dos columnas para una estructura con un sistema estructural de pórticos.

Los datos son:

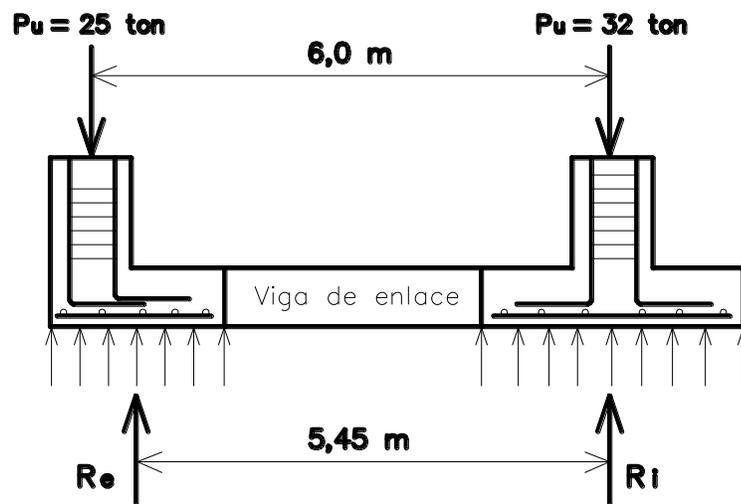
Sección de las columnas: 0,40 x 0,40 m

Altura de las columnas: 3,70 m

Concreto:  $f'c = 3.000$  psi

Refuerzo:  $f_y = 60.000$  psi

Resistencia del suelo de soporte:  $F_u = 13$  ton/m<sup>2</sup>

**Solucion:**

El peso total sobre la zapata 1 (Z-1) es:

$$P_t = P_u + \text{peso columna} + \text{peso zapata}$$

$$P_t = 25 \text{ ton} + 1,42 \text{ ton} + 0,14 \text{ ton} = 26,56 \text{ ton}$$

El area de la zapata 1 es:

$$A_1 = P_t / F_u = 26,56 \text{ ton} / 13 \text{ ton/m}^2 = 2,04 \text{ m}^2$$

Las dimensiones de la Zapata son:

$$B = 1,50 \text{ m}, H = 1,50 \text{ m}, \text{espesor} = 0,30 \text{ m}$$

El peso total sobre la zapata 2 (Z-2) es:

$$P_t = P_u + \text{peso columna} + \text{peso zapata}$$

$$P_t = 32 \text{ ton} + 1,42 \text{ ton} + 0,14 \text{ ton} = 33,56 \text{ ton}$$

El area de la zapata 2 es:

$$A_2 = P_t / F_u = 33,56 \text{ ton} / 13 \text{ ton/m}^2 = 2,58 \text{ m}^2$$

Las dimensiones de la Zapata son: B= 1,70 m, H=1,70 m, espesor= 0,30 m

Trazado de diagramas:

Para cargas mayoradas se tiene:

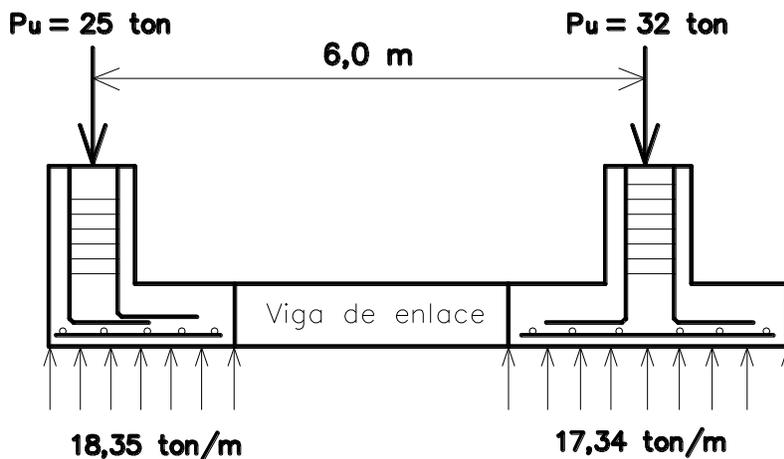
$$\sum M_{Ri} = 0 \quad \Leftrightarrow \quad 6 \text{ m} * 25 \text{ ton} - 5,45 \text{ m} * R_e = 0 \quad \Leftrightarrow \quad R_e = 27,52 \text{ ton}$$

$$\sum M_{Re} = 0 \quad \Leftrightarrow \quad 5,45 \text{ m} * R_i + 0,55 \text{ m} * 25 \text{ ton} - 5,45 \text{ m} * 32 \text{ ton} = 0$$

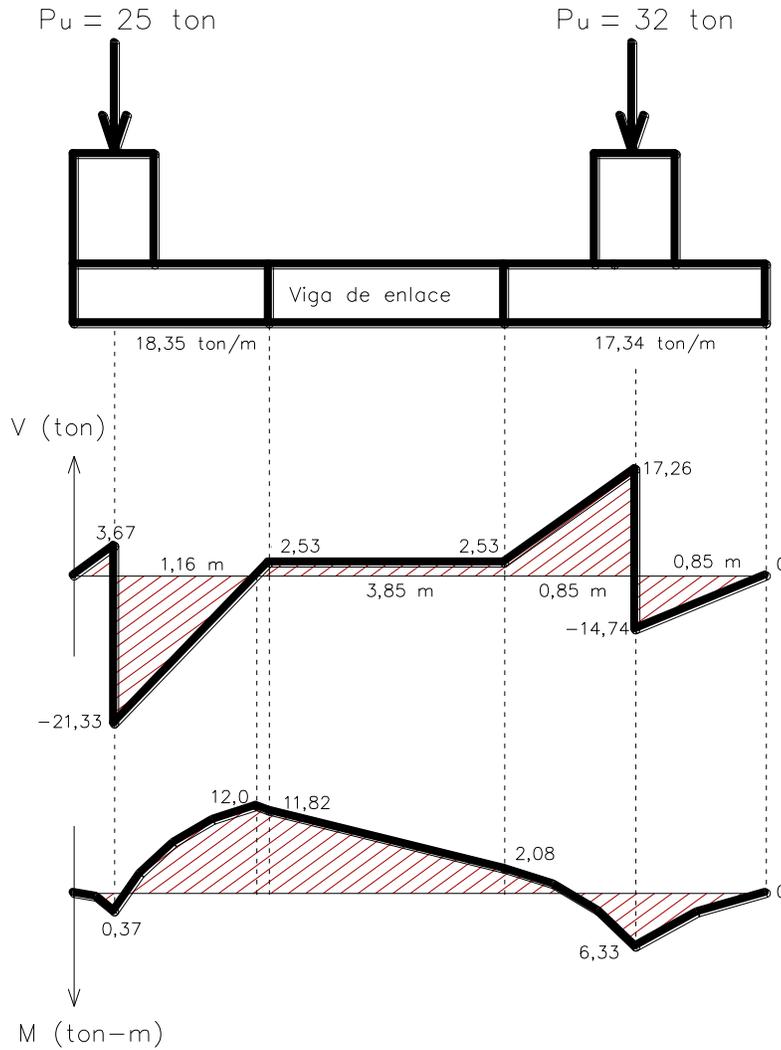
$$R_i = 29,48 \text{ ton}$$

$$W_e = 27,52 \text{ ton} / 1,50 \text{ m} = 18,35 \text{ ton/m}$$

$$W_i = 29,48 \text{ ton} / 1,70 \text{ m} = 17,34 \text{ ton/m}$$



Los diagramas de cortante y de momento que se forman en la viga de enlace son los siguientes:



El digrama de momento flector se puede girar y colocar el eje positivo hacia abajo, ya que es costumbre de muchos autores hacer esta modificación. La ventaja de girar el eje es que se visualiza mas fácilmente la instalaion del acero de refuerzo, ya que el acero positivo se coloca por debajo y el negativo se coloca por encima.

Diseño de la viga de enlace:

Se asumen las dimensiones de la viga:

$$b = 0,40 \text{ m} \quad h = 0,40 \text{ m} \quad \text{y} \quad d = 0,31 \text{ m}$$

Refuerzo negativo sobre la zapata externa:

$$M_u = 12 \text{ ton} \cdot \text{m} = 1200 \text{ ton} \cdot \text{cm}$$

$$K = \frac{M_u}{b \cdot d^2} \quad \Rightarrow \quad K = \frac{1200 \text{ ton} \cdot \text{cm}}{40 \text{ cm} \cdot (31 \text{ cm})^2} \quad \Rightarrow \quad K = 0,0312 \text{ ton/cm}^2$$

En la tabla 5.9 se encuentra la cuantía ( $P$ ):

$$P = 0,0094$$

El area de acero es:

$$A_s = P \cdot b \cdot d \quad \Rightarrow \quad A_s = 0,0094 \cdot 40 \text{ cm} \cdot 31 \text{ cm} \quad \Rightarrow \quad A_s = 11,65 \text{ cm}^2$$

Colocar 4 # 6 (  $A_s = 11,36 \text{ cm}^2$  )

Refuerzo positivo sobre la zapata externa:

Se colocara el minimo: 2 # 5 (  $A_s = 4,0 \text{ cm}^2$  )

Refuerzo negativo sobre la zapata interna:

$$M_u = 2,08 \text{ ton} \cdot \text{m} = 208 \text{ ton} \cdot \text{cm}$$

$$K = \frac{M_u}{b \cdot d^2} \quad \Rightarrow \quad K = \frac{208 \text{ ton} \cdot \text{cm}}{40 \text{ cm} \cdot (31 \text{ cm})^2} \quad \Rightarrow \quad K = 0,0054 \text{ ton/cm}^2$$

En la tabla 5.9 se encuentra la cuantía ( $P$ ):

$$P = 0,0033 \text{ (cuantía mínima)}$$

El area de acero es:

$$A_s = P \cdot b \cdot d \quad \Rightarrow \quad A_s = 0,0033 \cdot 40 \text{ cm} \cdot 31 \text{ cm} \quad \Rightarrow \quad A_s = 4,09 \text{ cm}^2$$

Colocar 2 # 5 (  $A_s = 4,0 \text{ cm}^2$  )

Refuerzo positivo sobre la zapata interna:

$M_u = 6,33 \text{ ton}\cdot\text{m} = 633 \text{ ton}\cdot\text{cm}$

$$K = \frac{M_u}{b \cdot d^2} \Rightarrow K = \frac{633 \text{ ton}\cdot\text{cm}}{40 \text{ cm} \cdot (31 \text{ cm})^2} \Rightarrow K = 0,0164 \text{ ton}/\text{cm}^2$$

En la tabla 5.9 se encuentra la cuantía ( $P$ ):

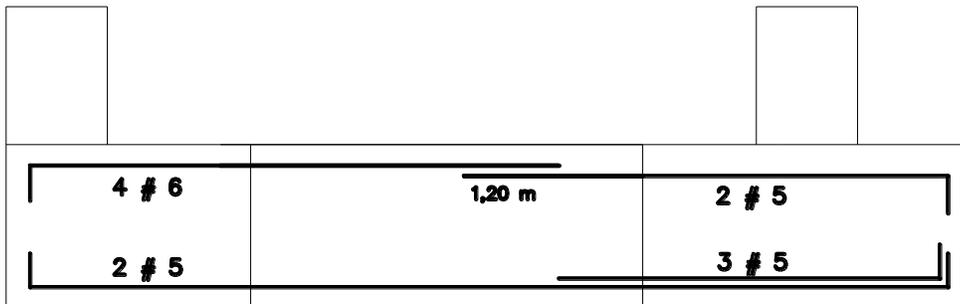
$P = 0,0046$

El area de acero es:

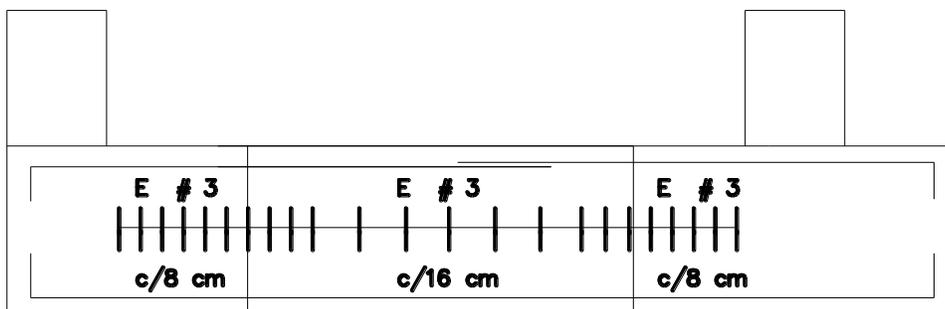
$$A_s = P \cdot b \cdot d \Rightarrow A_s = 0,0046 \cdot 40 \text{ cm} \cdot 31 \text{ cm} \Rightarrow A_s = 5,70 \text{ cm}^2$$

Colocar 3 # 5 ( $A_s = 6,0 \text{ cm}^2$ )

El refuerzo longitudinal de la viga de enlace se muestra en la siguiente figura:



Los estribos de la viga de enlace se muestran en la siguiente figura:



## EJERCICIOS PROPUESTOS

**1.1** Diseñar una zapata aislada para una columna que soporta una carga última de 24 toneladas.

Los datos son:

Seccion de la columna: 0,30 x 0,30 m  
Altura de la columna: 3,50 m  
Concreto:  $f'c= 3.000$  psi  
Refuerzo:  $f_y= 60.000$  psi  
Resistencia del suelo de soporte: 11 ton/m<sup>2</sup>

Respuesta:

B= 1,60 m H=1,60 m e=0,30 m

**1.2** Diseñar una zapata aislada para una columna que soporta una carga última de 74 toneladas.

Los datos son:

Seccion de la columna: 0,40 x 0,40 m  
Altura de la columna: 3,20 m  
Concreto:  $f'c= 3.000$  psi  
Refuerzo:  $f_y= 60.000$  psi  
Resistencia del suelo de soporte: 12 ton/m<sup>2</sup>

Respuesta:

B= 2,60 m H=2,60 m e=0,40 m

**1.3** Diseñar una zapata aislada para una columna que soporta una carga última de 120 toneladas.

Los datos son:

Seccion de la columna: 0,50 x 0,50 m  
Altura de la columna: 3,70 m  
Concreto:  $f'c= 3.000$  psi  
Refuerzo:  $f_y= 60.000$  psi  
Resistencia del suelo de soporte: 13 ton/m<sup>2</sup>

Respuesta:

B= 3,20 m H=3,20 m e=0,40 m

## Bibliografía

Guía para el cálculo de estructuras. Simesa.

NILSON, Arhur H. Diseño de estructuras de concreto. 12 edición. Mc Graw Hill. 1999

Norma Sismoresistente del 2010 (NSR-10)

ROCHEL, A. Roberto. Hormigón reforzado. Universidad EAFIT. 1998.

SEGURA, F. Jorge. Estructuras de concreto. Universidad Nacional de Colombia. 1999.