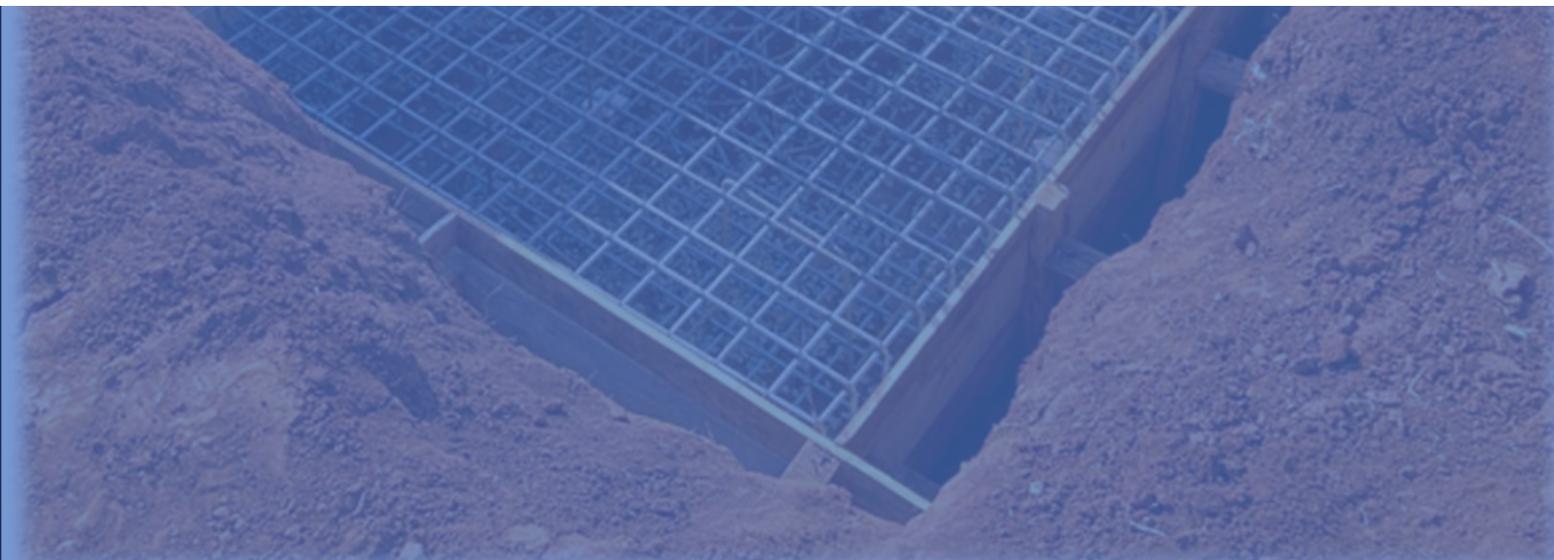




Cimentaciones



Ing. Rommy Rojas



Cimentación (definición)



- Elementos estructurales que transmiten y reparten la carga al terreno
- Directas y profundas
- Dependen del tipo de suelo, dimensiones del edificio y de la carga que van a soportar.

Tipos de cimentación

Directas

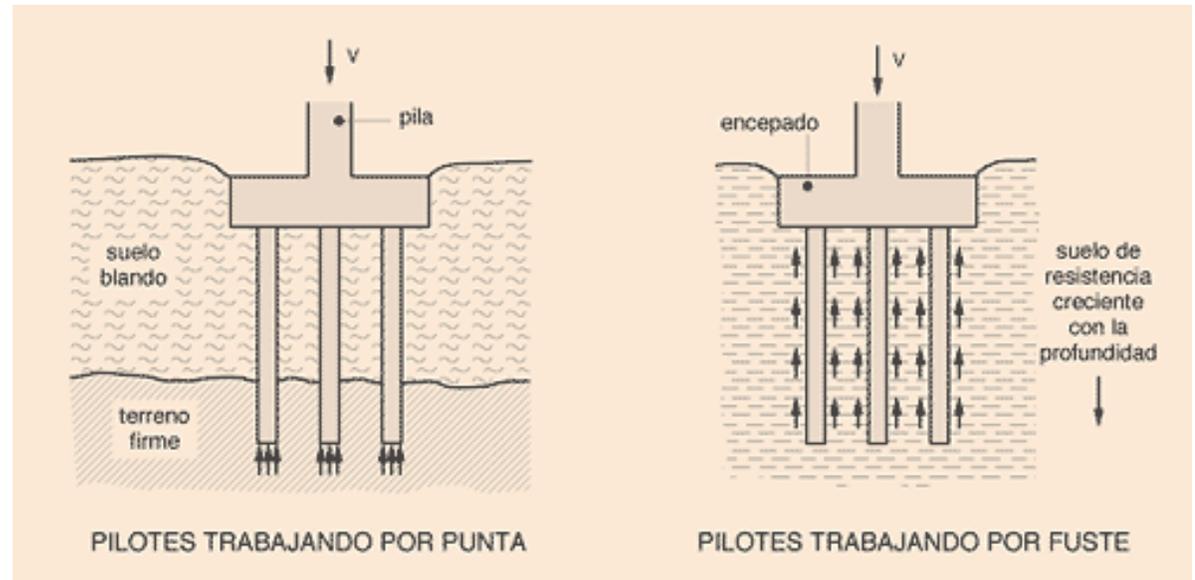
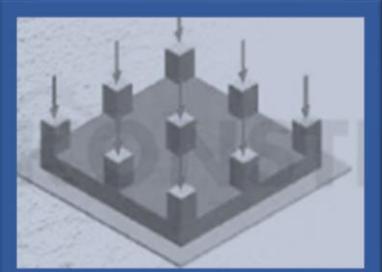
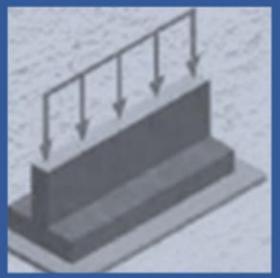
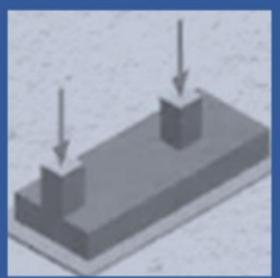
Zapatas aisladas

Zapatas combinadas

Zapatas corridas

Losa de cimentación

Profundas



Zapatas aisladas

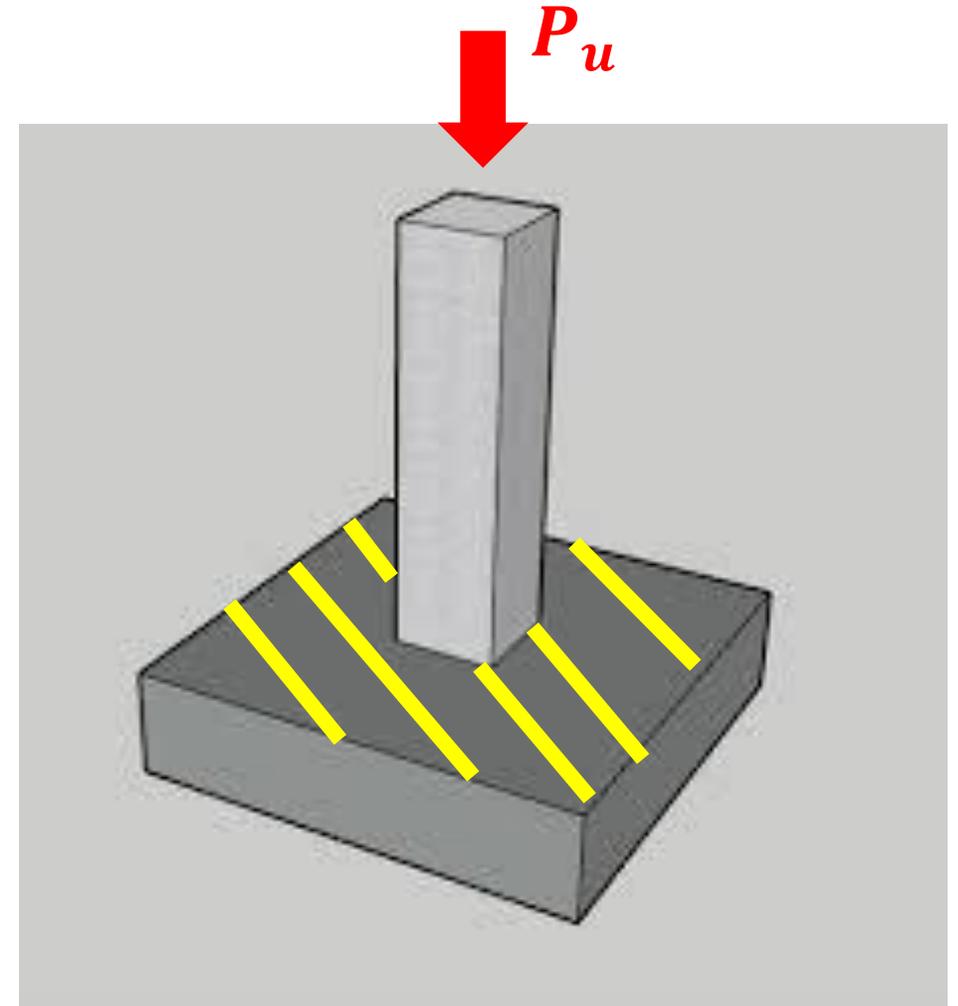
$$A_{zap} = \frac{P_u}{k * q_{adm}}$$

P_u , carga de servicio último

k , factor de reducción de capacidad portante

q_{adm} , capacidad portante

Capacidad portante (kg/cm^2)	Tipo de suelo	K
$q_{adm} > 3$	Suelo rígido	0,9
$1,2 > q_{adm} \geq 3$	Suelo intermedio	0,8
$1,2 \leq q_{adm}$	Suelo flexible	0,7

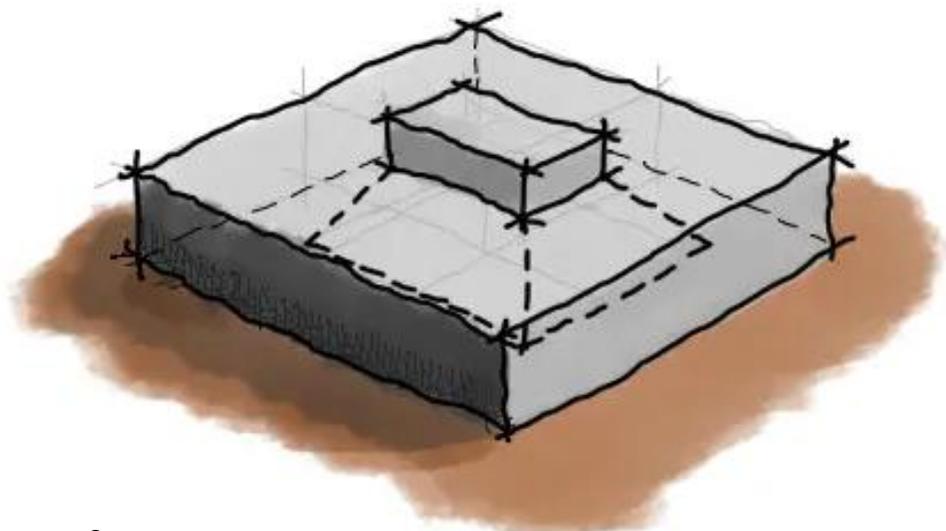


Zapatas aisladas

Verificación de fallas por efecto cortante

Cortante por punzonamiento

$$\phi v_c > v_u$$



v_c , esfuerzo cortante resistente

v_u , esfuerzo cortante solicitante

δ_U , esfuerzo del suelo hacia la zapata

V_U , fuerza cortante solicitante

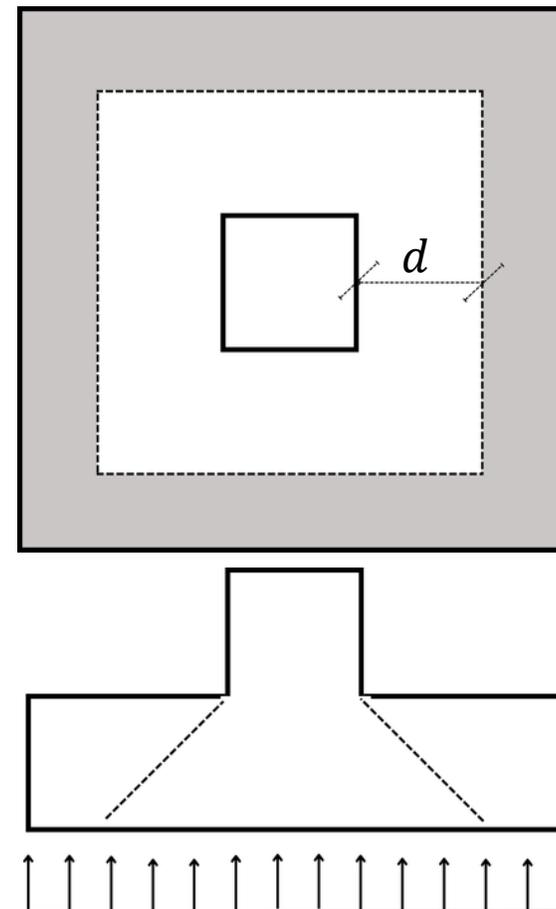
A_o , área crítica

b_o , perímetro de zona crítica

$$v_u = \frac{V_u}{d * b_o}$$

$$V_u = \delta_{U*} (A_{zap} - A_o)$$

$$\delta_U = \frac{Pu}{A_{zap}}$$



Zapatas aisladas

Verificación de fallas por efecto cortante

Cortante por punzonamiento

$$\phi v_c > v_u$$

Tabla 22.6.5.2 — Cálculo de v_c para cortante en dos direcciones

v_c	
El menor de (a), (b) y (c):	$v_c = 1.1\lambda\sqrt{f'_c}$ (a)
	$V_c = 0.53\left(1 + \frac{2}{\beta}\right)\lambda\sqrt{f'_c}$ (b)
	$V_c = 0.27\left(2 + \frac{\alpha_s d}{b_o}\right)\lambda\sqrt{f'_c}$ (c)

Nota: β es la relación del lado largo al lado corto de la sección de la columna, carga concentrada o área de reacción, y α_s está dada en 22.6.5.3.

22.6.5.3 El valor de α_s es 40 para columnas interiores, 30 para columnas de borde y 20 para columnas en esquina.

v_c =esfuerzo cortante resistente

d =altura efectiva

b_o =perímetro de zona crítica

Tabla 19.2.4.2 — Factor de modificación λ

Concreto	Composición de los agregados	λ
Todos livianos	Fino: ASTM C330M Grueso: ASTM C330M	0.75
Liviano, mezcla fina	Fino: Combinación de ASTM C330M y C33M Grueso: ASTM C330	0.75 a 0.85 ^[1]
Arena, liviana	Fino: ASTM C33M Grueso: ASTM C330M	0.85
Arena, liviana, Mezcla gruesa	Fino: ASTM C33M Grueso: Combinación de ASTM C330M y C33M	0.85 a 1.00 ^[2]
Peso normal	Fino: ASTM C33M Grueso: ASTM C33M	1.00

^[1]Se permite la interpolación lineal de 0.75 a 0.85 con base al volumen absoluto del agregado fino de peso normal como una fracción del volumen absoluto total de agregado fino.

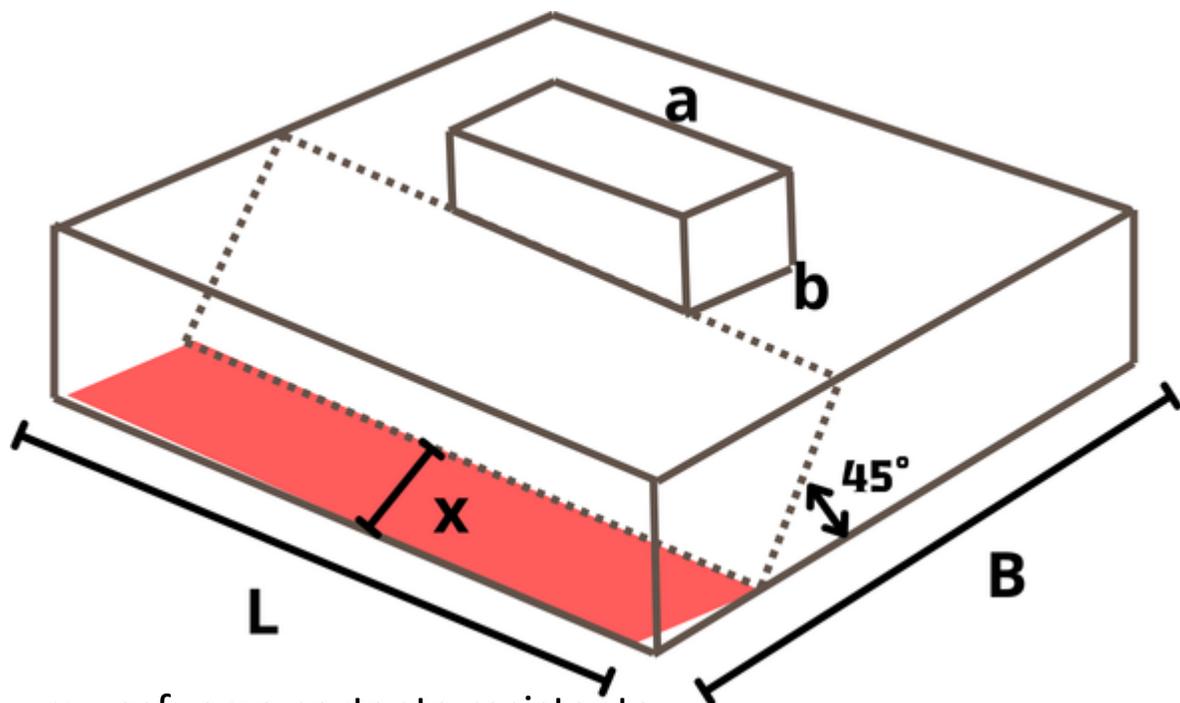
^[2]Se permite la interpolación lineal de 0.80 a 1.00 con base al volumen absoluto del agregado grueso de peso normal como una fracción del volumen absoluto total de agregado grueso.

Zapatas aisladas

Verificación de fallas por efecto cortante

Cortante unidireccional

$$\phi v_c > v_u$$



v_c , esfuerzo cortante resistente

v_u , esfuerzo cortante solicitante

δ_U , esfuerzo del suelo hacia la zapata

V_U , fuerza cortante solicitante

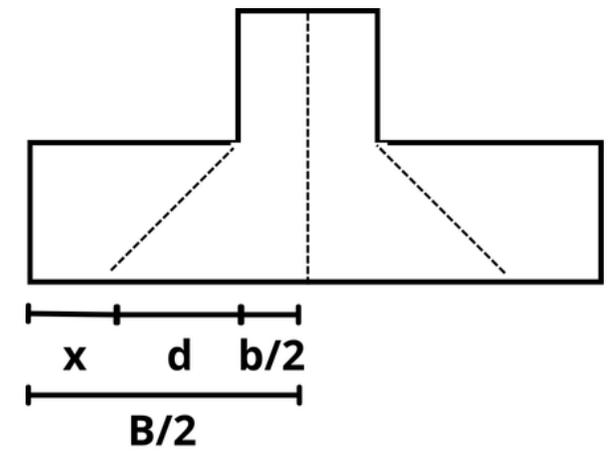
$$V_c = \phi * 0,53 * \sqrt{f'c} \rightarrow \text{ACI318 14, 8.6.2.3}$$

$$v_u = \frac{V_u}{L * d}$$

$$V_u = \delta_U * L * x$$

$$\delta_U = \frac{Pu}{A_{zap}}$$

$$x = \frac{B}{2} - \frac{b}{2} - d$$



Caso de estudio

Ejercicio #1: Calcular las dimensiones de la zapata, verificar cortante por punzonamiento y por cortante unidireccional y finalmente la disposición de aceros principales.

Datos

$$CM = 22,5Tn$$

$$CV = 10Tn$$

$$q_{adm} = 25 Tn/m^2$$

Columna de 35cm x 35cm

h=30cm

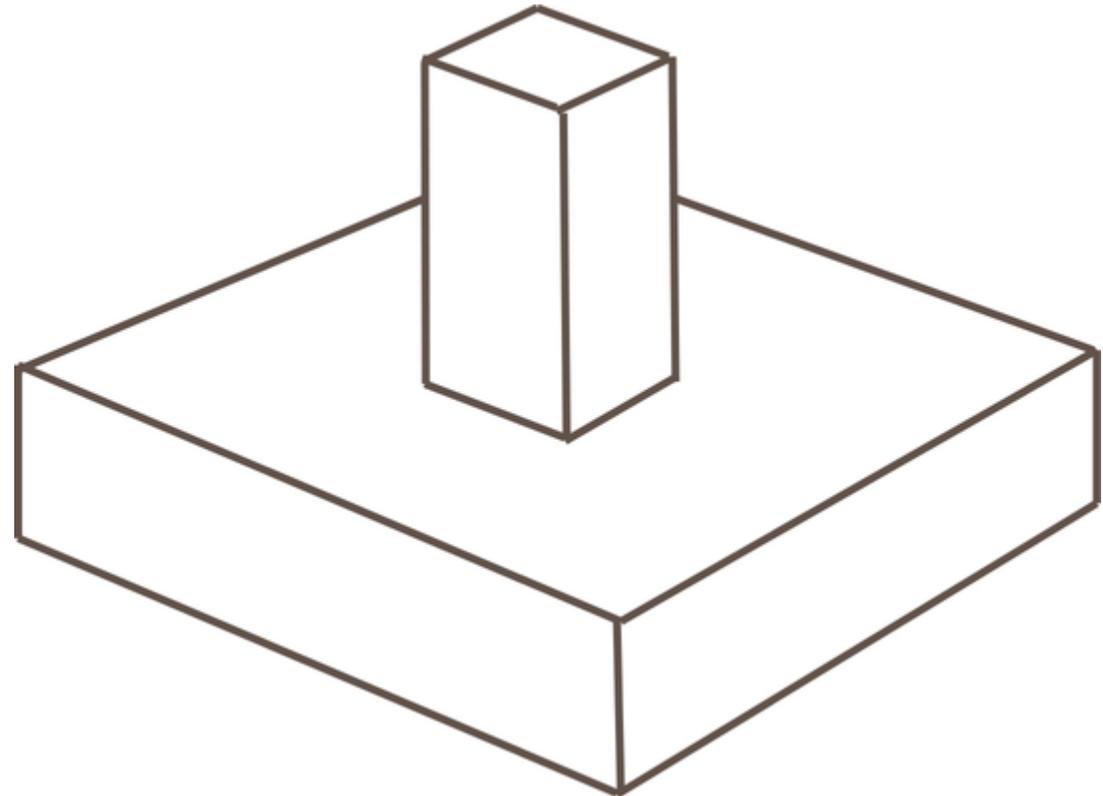
R=7,5cm

Concreto de peso normal

Columna de esquina

$$f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$$



Caso de estudio

1. Cálculo de la **carga de servicio**

$$P_u = CM + CV = 22,5Tn + 10Tn = 32,5Tn$$

2. Determinación del **factor k**

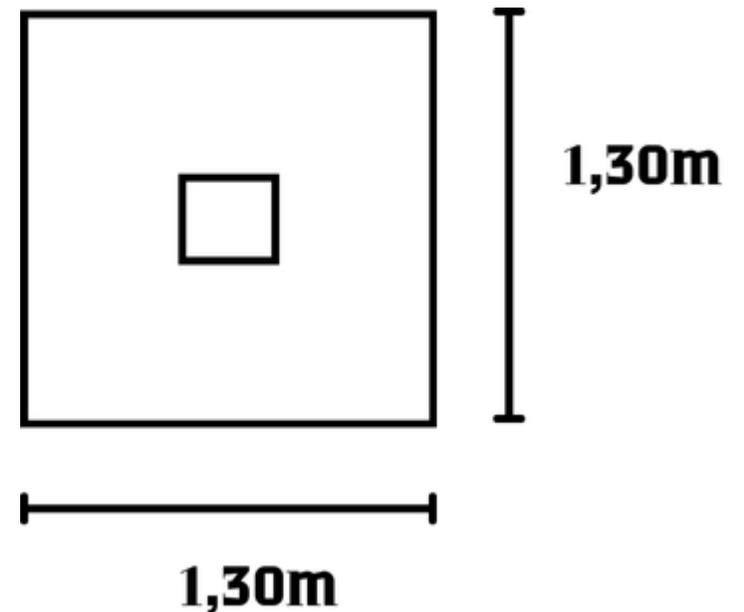
$$q_{adm} = 25 Tn/m^2 \rightarrow \text{suelo intermedio} \rightarrow k = 0,8$$

3. Cálculo del **área de la zapata**

$$A_{zap} = \frac{P_u}{k * q_{adm}} = \frac{32,5Tn}{0,8 * 25 Tn/m^2} = 1,63m^2$$

4. Cálculo del **lado de la zapata cuadrada**

$$L = \sqrt{A_{zap}} = \sqrt{1,63m^2} = 1,27m \rightarrow 1,30m$$



Caso de estudio

Verificación por punzonamiento

$$\phi v_c > v_u$$

5. Cálculo de v_c (esfuerzo cortante resistente)

5.1 Factor λ

Tabla 19.2.4.2 — Factor de modificación λ

Concreto	Composición de los agregados	λ
Todos livianos	Fino: ASTM C330M Grueso: ASTM C330M	0.75
Liviano, mezcla fina	Fino: Combinación de ASTM C330M y C33M Grueso: ASTM C330	0.75 a 0.85 ^[1]
Arena, liviana	Fino: ASTM C33M Grueso: ASTM C330M	0.85
Arena, liviana, Mezcla gruesa	Fino: ASTM C33M Grueso: Combinación de ASTM C330M y C33M	0.85 a 1.00 ^[2]
Peso normal	Fino: ASTM C33M Grueso: ASTM C33M	1.00

^[1]Se permite la interpolación lineal de 0.75 a 0.85 con base al volumen absoluto del agregado fino de peso normal como una fracción del volumen absoluto total de agregado fino.

^[2]Se permite la interpolación lineal de 0.80 a 1.00 con base al volumen absoluto del agregado grueso de peso normal como una fracción del volumen absoluto total de agregado grueso.

5.2 Cálculo β

$$\beta = \frac{a}{b} = \frac{35}{35} = 1$$

5.3 Factor α_s

22.6.5.3 El valor de α_s es 40 para columnas interiores, 30 para columnas de borde y 20 para columnas en esquina.

5.4 Cálculo de distancia d

$$d = h - r = 30\text{cm} - 7,5\text{cm} = 22,5\text{cm}$$

Caso de estudio

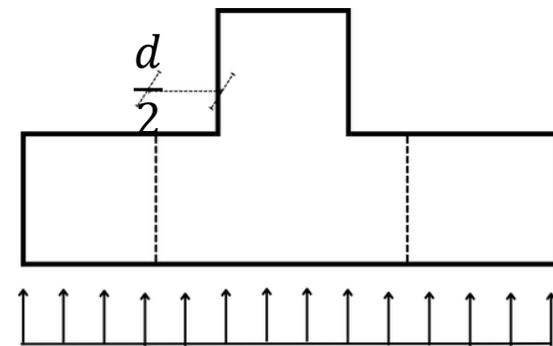
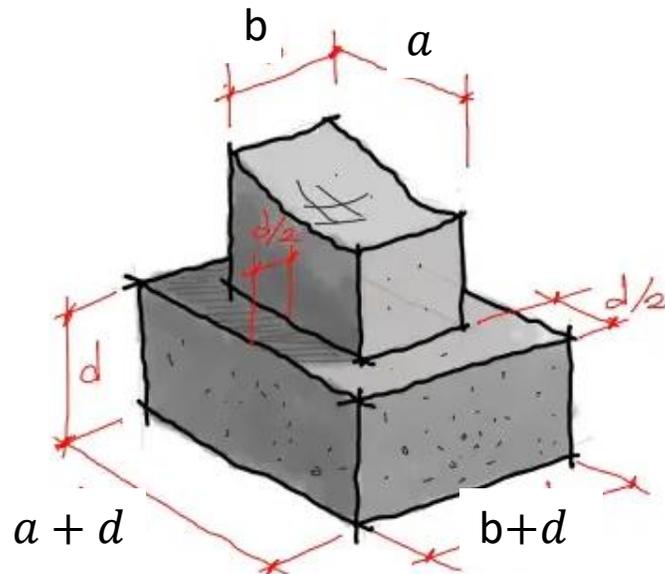
Verificación por punzonamiento

$$\phi v_c > v_u$$

5. Cálculo de v_c (esfuerzo cortante resistente)

5.5 Cálculo de b_0 (perímetro de zona crítica)

$$b_0 = 2(a + d) + 2(b + d) = 2(35 + 22,5) + 2(35 + 22,5)$$
$$b_0 = 230\text{cm} = 2,30\text{m}$$



Caso de estudio

Verificación por punzonamiento

$$\phi v_c > v_u$$

$$\begin{aligned}\lambda &= 1 \\ \beta &= 1 \\ \alpha_s &= 20 \\ d &= 22,5 \text{ cm} \\ b_o &= 230 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$v_c = 1,1 * \lambda * \sqrt{f'_c} = 1,1 * 1 * \sqrt{210} = 15,94 \text{ kg/cm}^2$$

$$v_c = 0,53 * \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) * \lambda * \sqrt{f'_c} = 0,53 * \left(1 + \frac{2}{1}\right) * 1 * \sqrt{210} = 23,04 \text{ kg/cm}^2$$

$$v_c = 0,27 * \left(2 + \frac{\alpha_s d}{b_o}\right) * \lambda * \sqrt{f'_c} = 0,27 * \left(2 + \frac{20 * 22,5}{230}\right) * 1 * \sqrt{210} = 15,48 \text{ kg/cm}^2$$

Tabla 22.6.5.2 — Cálculo de v_c para cortante en dos direcciones

	v_c	
<u>El menor de (a), (b) y (c):</u>	$v_c = 1.1\lambda\sqrt{f'_c}$	(a)
	$V_c = 0.53\left(1 + \frac{2}{\beta}\right)\lambda\sqrt{f'_c}$	(b)
	$V_c = 0.27\left(2 + \frac{\alpha_s d}{b_o}\right)\lambda\sqrt{f'_c}$	(c)

Nota: β es la relación del lado largo al lado corto de la sección de la columna, carga concentrada o área de reacción, y α_s está dada en 22.6.5.3.

Caso de estudio

Verificación por punzonamiento

$$\phi v_c > v_u$$

6. Cálculo de v_u (esfuerzo solicitante por punzonamiento)

6.1 Cálculo de δ_U (esfuerzo de suelo hacia la zapata)

$$\delta_U = \frac{Pu}{A_{zap}} = \frac{32,5Tn}{1,69m^2} = 19,23 Tn/m^2$$

6.2 Cálculo de área de zona crítica

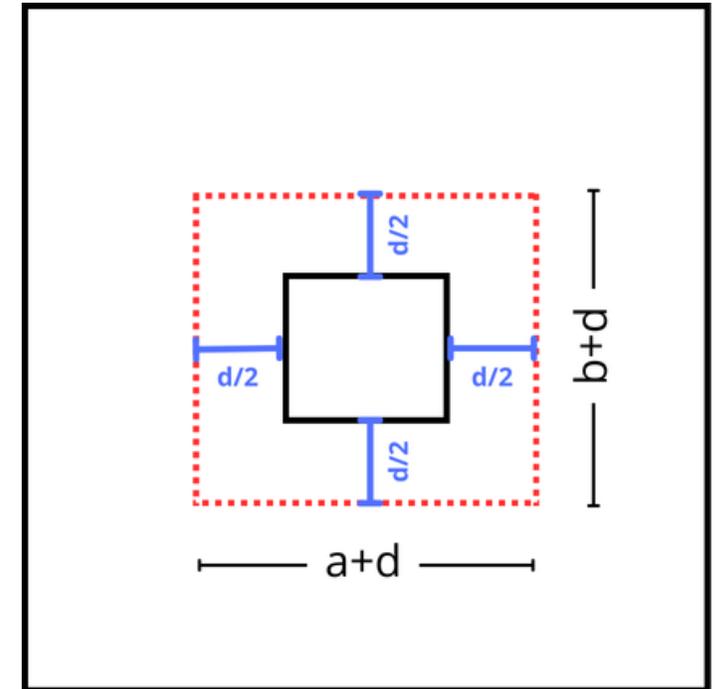
$$A_o = (a + d) * (b + d) = (35 + 22,5) * (35 + 22,5) = 3306,25cm^2$$

6.3 Cálculo de área de la fuerza cortante solicitante V_u

$$V_u = \delta_{U*} (A_{zap} - A_o) = 19,23 Tn/m^2 * (1,69m^2 - 0,33m^2) = 26,14Tn$$

6.4 Cálculo de esfuerzo de cortante por punzonamiento

$$v_u = \frac{V_u}{d * b_o} = \frac{26140kg}{22,5cm * 230cm} = 5,05 \frac{kg}{cm^2}$$



$$0,75v_c > v_u$$

$$0,75 * 15,48 > 5,05$$

$$11,61 > 5,05$$

Verificación OK

Caso de estudio

Verificación por cortante unidireccional x

$$\phi v_c > v_u$$

7. Cálculo de v_c (esfuerzo resistente)

$$v_c = \phi * 0,53 * \sqrt{f'c} = 0,75 * 0,53 * \sqrt{210} = 5,76 \text{ kg/cm}^2$$

8. Cálculo de v_u (esfuerzo solicitante)

8.1 Cálculo de x

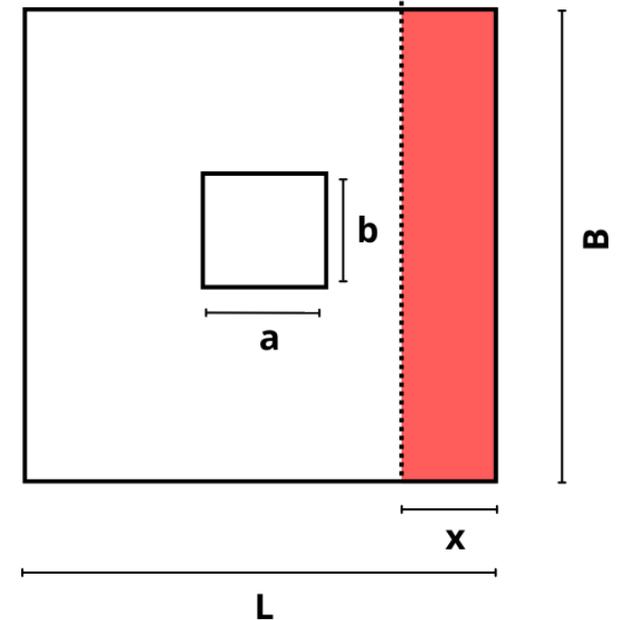
$$x = \frac{L}{2} - \frac{a}{2} - d = \frac{1,30m}{2} - \frac{0,35m}{2} - 0,225m = 0,25m$$

8.2 Cálculo de V_u (fuerza cortante solicitante sobre el voladizo)

$$V_u = \delta_U * B * x = 19,23 \text{ Tn/m}^2 * 1,30m * 0,25m = 6,25 \text{ Tn}$$

8.3 Cálculo de esfuerzo solicitante por cortante unidireccional

$$v_u = \frac{V_u}{B * d} = \frac{6250 \text{ kg}}{130 \text{ cm} * 22,5 \text{ cm}} = 2,14 \text{ kg/cm}^2$$



$$\phi v_c > v_u$$

$$5,76 > 2,14$$

Verificación OK

Caso de estudio

9. Cálculo de acero

9.1 Cálculo del esfuerzo suelo-zapata

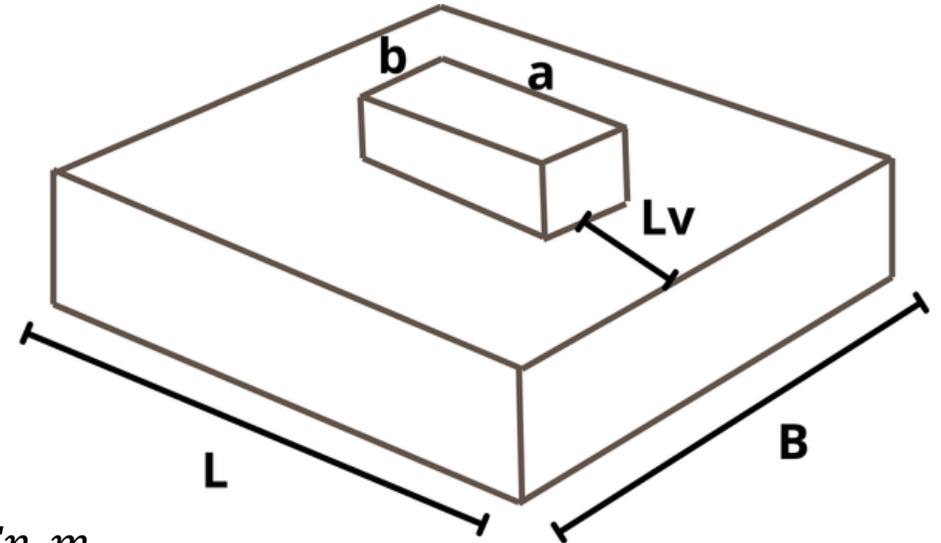
$$q_u = \frac{Pu}{L * B} = \frac{32,5Tn}{1,3m * 1,30m} = 19,23 Tn/m^2$$

9.2 Cálculo de momentos para uno de los lados

$$M_u = \frac{q_u * Lv^2 * B}{2} = \frac{19,23 * (1,30 - 0,35)^2 * 1,30}{2} = 11,28Tn.m$$

9.3 Carga por unidad de área

$$K_U = \frac{M_u}{B * d^2} = \frac{11,28}{1,3 * 0,225} = 0,001714 Tn/m^2 = 17,14 kg/cm^2$$



Caso de estudio

9. Cálculo de acero

9.4 Cálculo de cuantía

$$\rho = \frac{0,85 * f'c}{fy} * \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 * K_U}{0,85 * f'c * \phi}} \right] = 0,00481$$

9.5 Cálculo de cuantía balanceada, cuantía máxima y posterior verificación

$$\rho_b = \beta_1 * 0,85 * \frac{f'c}{fy} * \left(\frac{6000}{6000 + fy} \right) = 0,0213$$

$$\rho_{max} = 0,75\rho_b = 0,75 * 0,0213 = 0,0159$$

$$\rho < \rho_{max}$$

No se necesita acero a compresión

9.6 Cálculo de cuantía mínima, verificación y acero a trabajar

$$\rho_{min} = 0,7 * \frac{\sqrt{f'c}}{fy} = 0,7 * \frac{\sqrt{210}}{4200} = 0,0024$$

$$\rho > \rho_{min}$$

Se estará utilizando el acero calculado con la cuantía calculada

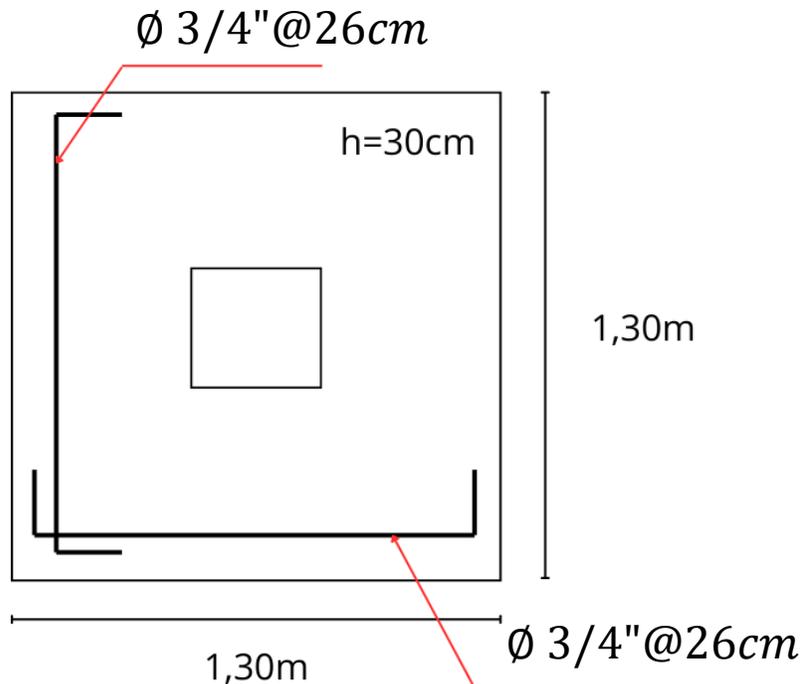
$$As = \rho * B * d = 0,00481 * 130 * 22,5 = 14,06cm^2$$

Caso de estudio

9. Cálculo de acero

9.7. Disponer el acero

$$A_s = 14,06\text{cm}^2 \rightarrow 5 \text{ } \phi \text{ } 3/4'' @ 26\text{cm}$$



N° Barras	Área de Barras de Acero Corrugado (cm^2)								
	Diámetro de las Barras								
	6 mm	1/4"	8 mm	3/8"	12 mm	1/2"	5/8"	3/4"	1"
1	0.28	0.32	0.50	0.71	1.13	1.27	1.98	2.85	5.07
2	0.57	0.63	1.01	1.43	2.26	2.53	3.96	5.70	10.13
3	0.85	0.95	1.51	2.14	3.39	3.80	5.94	8.55	15.20
4	1.13	1.27	2.01	2.85	4.52	5.07	7.92	11.40	20.27
5	1.41	1.58	2.51	3.56	5.65	6.33	9.90	14.25	25.34
6	1.70	1.90	3.02	4.28	6.79	7.60	11.88	17.10	30.40
7	1.98	2.22	3.52	4.99	7.92	8.87	13.86	19.95	35.47
8	2.26	2.53	4.02	5.70	9.05	10.13	15.83	22.80	40.54
9	2.54	2.85	4.52	6.41	10.18	11.40	17.81	25.65	45.60
10	2.83	3.17	5.03	7.13	11.31	12.67	19.79	28.50	50.67
11	3.11	3.48	5.53	7.84	12.44	13.93	21.77	31.35	55.74
12	3.39	3.80	6.03	8.55	13.57	15.20	23.75	34.20	60.80