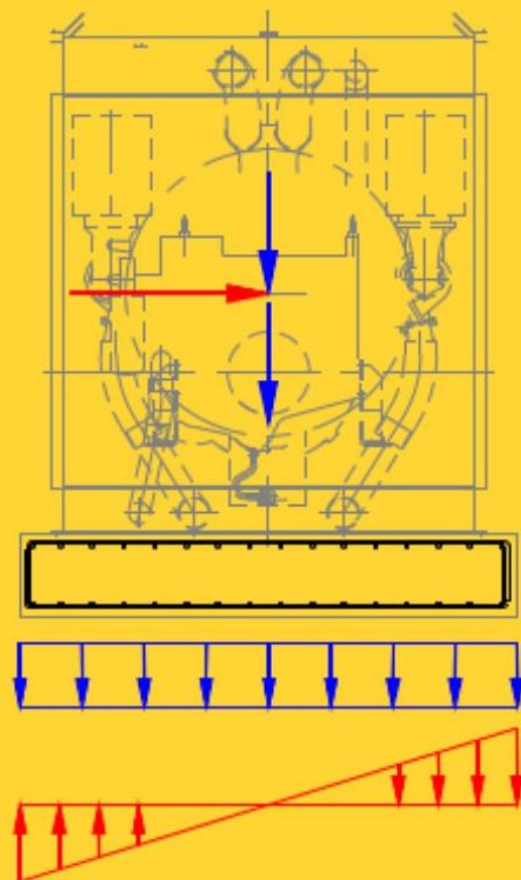


DISEÑO POR ESTABILIDAD DE LOSAS DE FUNDACIÓN PARA EQUIPOS PESADOS Y ROBUSTOS

**NCh
2369**

ENERO, 2023



NCh 2369 Of2003

Diseño sísmico de estructuras e
instalaciones industriales

ANGEL MANRIQUE

Ingeniero Civil Especialista en
Estructuras

INDICE

03

INTRODUCCIÓN

03

OBJETIVO

03

BASES PARA EL DISEÑO

04

CALIDAD DE LOS MATERIALES

04

GEOMETRÍA

04

**SOLICITACIONES ACTUANTES EN
CENTRO DE GRAVEDAD DEL EQUIPO**

05

ESTABILIDAD DE LA FUNDACION

07

SOLICITACIONES SOBRE LA FUNDACION

09

**CAPACIDAD RESISTENTE A FLEXIÓN DE
LA ZAPATA**

10

**CAPACIDAD RESISTENTE A CORTANTE
DE LA ZAPATA**

01 INTRODUCCIÓN

Para el diseño de estos equipos la NCh 2369 en su disposición 5.6 establece que las solicitaciones sísmicas se pueden diseñar mediante el método de análisis estático con un coeficiente sísmico horizontal de 0.7 A/g y de 0.5 A/g para la componente vertical con fuerzas aplicadas en el centro de gravedad del equipo.

Cabe destacar que esta disposición es aplicable para equipos cuyo periodo fundamental propio es menor o igual a 0.006 s, incluyendo el efecto del sistema de conexión a la fundación.

Se recomienda para este tipo de sistemas que el área de contacto de la fundación con el suelo de soporte sea del 100 % para todos los casos de carga. Esto con la finalidad de evitar deformaciones y giros excesivos en el equipo que pudiesen originar un incorrecto funcionamiento de este.

02 OBJETIVO

El presente documento está referido diseño de losas de fundación para soportar equipos pesados y robustos.

03 BASES PARA EL DISEÑO

Normas Nacionales

1. NCh 2369.Of2003 - Diseño Sísmico de Estructuras e Instalaciones Industriales.
2. NCh 1537.Of2009 - Diseño Estructural - Cargas Permanentes y Cargas de Uso.
3. NCh 3171.Of2010 - Diseño Estructural - Disposiciones Generales y Combinaciones de Carga.

Normas Internacionales

1. ACI 318S 19 - Requisitos de reglamento para concreto estructural.

04 CALIDAD DE LOS MATERIALES

Esfuerzo del fluencia del acero de refuerzo NCh 204 Tabla 1 $f_y := 420 \text{ MPa}$

Resistencia a la compresión del Hormigón $f_c := 20 \text{ MPa}$

4.1 PARAMETROS DEL SUELO

Tensión vertical admisible $\sigma_s := 1.9 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$

Ángulo de fricción interna $\phi := 30 \text{ deg}$

Cohesión $c := 0 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$

4.2 PARAMETROS DEL HORMIGON

Peso unitario hormigón armado $\gamma_c := 2500 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$

4.3 PARAMETROS DEL ACERO DE REFUERZO

Peso unitario acero $\gamma_a := 7850 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$

05 GEOMETRÍA

5.1 LOSA DE FUNDACIÓN

Longitud de la zapata en X $B_x := 2500 \text{ mm}$

Longitud de la zapata en Y $B_y := 3000 \text{ mm}$

Altura de la zapata $H_z := 500 \text{ mm}$

Long. de la zarpa en X $b_{zx} := \frac{B_x}{2} = 125 \text{ cm}$

Long. de la zarpa en Y $b_{zy} := \frac{B_y}{2} = 150 \text{ cm}$

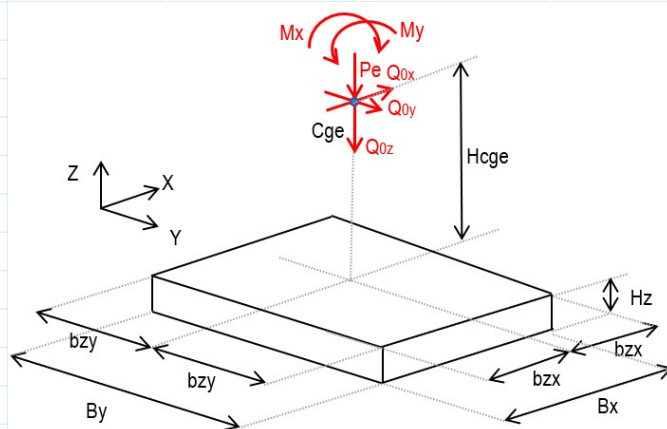


Figura 1. Geometría de la fundación

5.2 EQUIPO

Altura del centro de gravedad del equipo $H_{cge} := 2000 \text{ mm}$

06 SOLICITACIONES ACTUANTES EN CENTRO DE GRAVEDAD DEL EQUIPO

6.1 SOBRECARGA SÍSMICA

Acción sísmica Horizontal

Peso del equipo $P_e := 8000 \text{ kgf}$

Clasificación o categoría de la estructura Art. 4.3.1 NCh 2369 Of.2003 $C_{at} := C1$

Zona sísmica Fig. 5.1 y 5.2 NCh 2369 Of.2003 $Z_s := 2$

Aceleración efectiva máxima Tabla 5.2 NCh 2369 Of.2003 $A_0 = 0.3$

Coefficiente de importancia Art. 4.3.2 NCh 2369 Of.2003 $I = 1.2$

Coefficiente sísmico Art. 5.6 NCh 2369 Of.2003

$$C_{xy} := 0.7 \quad A_0 = 0.21$$

Esfuerzo de corte basal Art. 5.3.2 NCh 2369 Of.2003

$$Q_{0x} := C_{xy} \cdot I \cdot P_e = 2016 \text{ kgf}$$

$$Q_{0y} := C_{xy} \cdot I \cdot P_e = 2016 \text{ kgf}$$

Acción sísmica vertical

Coefficiente sísmico Art. 5.6 NCh 2369 Of.2003

$$C_z := 0.5 \quad A_0 = 0.15$$

Esfuerzo de corte basal Art. 5.5b NCh 2369 Of.2003

$$Q_{0z} := C_z \cdot I \cdot P_e = 1440 \text{ kgf}$$

Momento de volcamiento

Momento de volcamiento alrededor del eje X

$$M_x := Q_{0y} \cdot H_{cge} = 4032 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

Momento de volcamiento alrededor del eje Y

$$M_y := Q_{0x} \cdot H_{cge} = 4032 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

07

ESTABILIDAD DE LA FUNDACION

7.1 PRESION DE CONTACTO

Peso de Fundación (Zapata)

$$P_f := (B_x \cdot B_y \cdot H_z) \cdot \gamma_c = 9375 \text{ kgf}$$

Excentricidad eje X

$$e_x := \frac{M_y}{P_f + P_e + Q_{0z}} = 21.43 \text{ cm}$$

Excentricidad eje Y

$$e_y := \frac{M_x}{P_f + P_e + Q_{0z}} = 21.43 \text{ cm}$$

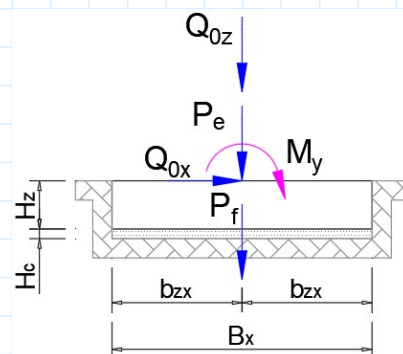


Figura 2. DCL Presión de contacto

Área de contacto de zapata

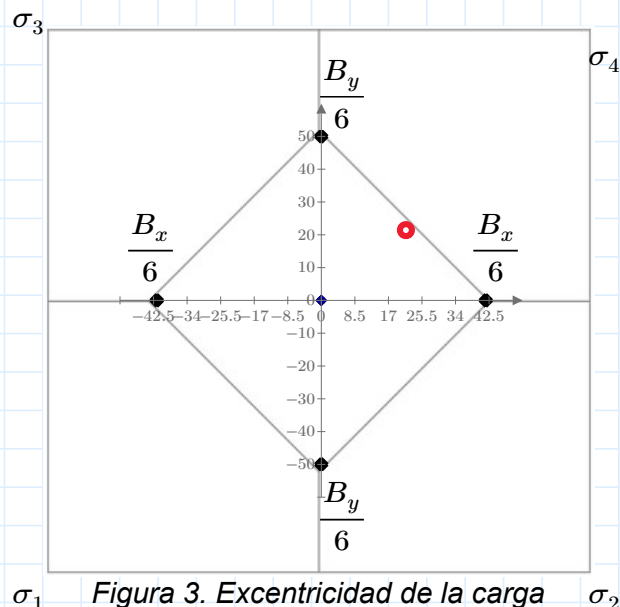


Figura 3. Excentricidad de la carga

$A_{cz} = \text{"ZAPATA 100\% COMPRIMIDA"}$

Excentricidad máxima en X $\frac{B_x}{6} = 41.667 \text{ cm}$

Excentricidad máxima en Y $\frac{B_y}{6} = 50 \text{ cm}$

7.2 PRESION DE CONTACTO EN LOSA DE FUNDACION

$$\sigma_1 := \frac{P_f + P_e + Q_{0z}}{B_x \cdot B_y} \left(1 - \frac{6 \cdot e_x}{B_x} - \frac{6 \cdot e_y}{B_y} \right) = 0.014 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_2 := \frac{P_f + P_e + Q_{0z}}{B_x \cdot B_y} \left(1 + \frac{6 \cdot e_x}{B_x} - \frac{6 \cdot e_y}{B_y} \right) = 0.272 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_3 := \frac{P_f + P_e + Q_{0z}}{B_x \cdot B_y} \left(1 - \frac{6 \cdot e_x}{B_x} + \frac{6 \cdot e_y}{B_y} \right) = 0.229 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_4 := \frac{P_f + P_e + Q_{0z}}{B_x \cdot B_y} \left(1 + \frac{6 \cdot e_x}{B_x} + \frac{6 \cdot e_y}{B_y} \right) = 0.487 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Presión de contacto máximo

$$\sigma_{cmax} := \max(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4) = 0.487 \frac{kgf}{cm^2}$$

Factor de seguridad de la presión de contacto máximo

$$FS_{pc} := \frac{\sigma_s}{\sigma_{cmax}} = 3.898 \quad FS = \text{"OK"}$$

7.3 VERIFICACION DE ESTABILIDAD AL VOLCAMIENTO

Punto de volcamiento o_x, o_y

Momento estabilizador en X

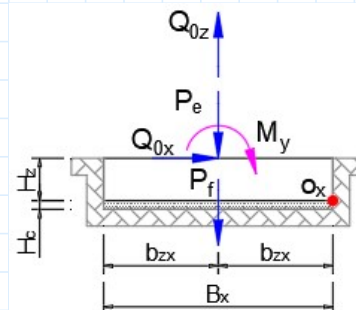
$$M_{ex} := (P_f + P_e - Q_{0z}) \cdot b_{zx} = 19918.8 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

Momento de volcamiento en X

$$M_{vx} := M_y + Q_{0x} \cdot H_z = 5040 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

Factor de seguridad al volcamiento en X $F_{sx} := \frac{M_{ex}}{M_{vx}} = 3.952$

if $F_{sx} \geq 1.5$ = "OK"
 || "OK"
 else
 || "FAIL"



Momento estabilizador en Y

$$M_{ey} := (P_f + P_e - Q_{0z}) \cdot b_{zy} = 23902.5 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

Momento de volcamiento en Y

$$M_{vy} := M_x + Q_{0y} \cdot H_z = 5040 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

Factor de seguridad al volcamiento en Y

$$F_{sy} := \frac{M_{ey}}{M_{vy}} = 4.743$$

if $F_{sy} \geq 1.5$ = "OK"
 || "OK"
 else
 || "FAIL"

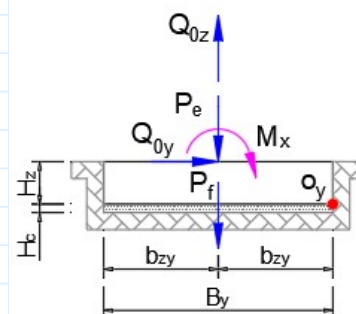


Figura 4. DCL Volcamiento

Momento estabilizador en X-Y $M_{exy} := (P_f + P_e - Q_{0z}) \cdot 0.5 \left(\sqrt{B_x^2 + B_y^2} \right) = 31114.1 \text{ kgf} \cdot \text{m}$

Momento de volcamiento en X-Y $M_{vxy} := \sqrt{M_x^2 + M_y^2} + \sqrt{Q_{0x}^2 + Q_{0y}^2} \cdot H_z = 7127.6 \text{ kgf} \cdot \text{m}$

Factor de seguridad al volcamiento en X-Y $F_{sxy} := \frac{M_{exy}}{M_{vxy}} = 4.365$

if $F_{sxy} \geq 1.5$ = "OK"
 || "OK"
 else
 || "FAIL"

7.4 VERIFICACION DE ESTABILIDAD AL DESLIZAMIENTO

Área en Compresión $A_c := B_x \cdot B_y = 75000 \text{ cm}^2$

Fuerza Deslizante $F_d := \sqrt{Q_{0x}^2 + Q_{0y}^2} = 2851.1 \text{ kgf}$

Factor de reducción de resistencia por fricción $\phi_f := 0.77$

Factor de reducción de resistencia por cohesión $\phi_c := 0.33$

Angulo de rozamiento terreno - zapata $\phi_d := \frac{2}{3} \cdot \phi = 20 \text{ deg}$

Fuerza resistente por fricción $F_{rf} := \phi_f \cdot (P_f + P_e - Q_{0z}) \cdot \tan(\phi_d) = 4465.9 \text{ kgf}$

Fuerza resistente por adherencia $F_{rc} := \phi_c \cdot A_c \cdot c = 0 \text{ kgf}$

Fuerza resistente $F_r := F_{rf} + F_{rc} = 4465.9 \text{ kgf}$

Factor de seguridad al deslizamiento $F_{sd} := \frac{F_r}{F_d} = 1.566$

if $F_{sd} \geq 1.5$ = "OK"
 || "OK"
 else
 || "FAIL"

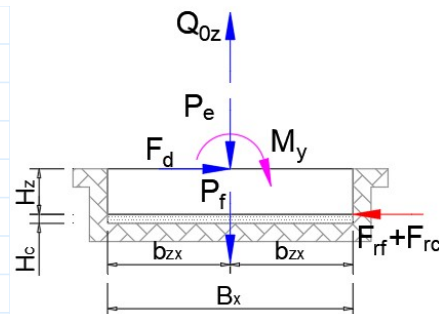


Figura 5. DCL Deslizamiento

08 SOLICITACIONES SOBRE LA FUNDACION

8.1 HIPOTESIS DE CÁLCULO NCh 3171 Of.2010

Capacidad resistente

- 1) 1.4D
- 5a) 1.2D + 1.4bEx + 0.3bEy + bEz
- 5b) 1.2D + 1.4bEy + 0.3bEx + bEz

D: Carga Permanente (Pe, Pf)
 E: Carga Sísmica NCh 2369 (Qox, Qoy, Qoz)

b = 1.1 Factor de amplificación de cargas sísmicas (Art. 4.5b NCh 2369 Of. 2003)

8.2 SOLICITACIONES SENTIDO X

Momento actuante máximo

Carga distribuida originada por las fuerzas verticales

$$\sigma_{px1} := \frac{1.4 (P_f + P_e)}{B_x} = 9730 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

$$\sigma_{px2} := \frac{1.2 (P_f + P_e) + 1.4 \cdot 1.1 Q_{0z}}{B_x} = 9227.04 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

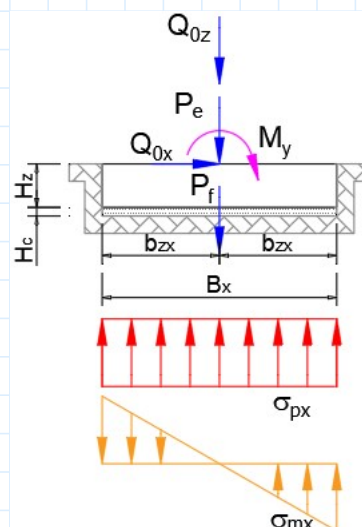


Figura 6. DCL Refuerzo X

Carga distribuida originada por el momento de volcamiento y cortante

$$\sigma_{mx} := \frac{3 \cdot 1.4 \cdot 1.1 \cdot (M_y + Q_{0x} \cdot H_z)}{2 B_x^2} = 1862.784 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

Momento actuante máximo $M_{actx} := \max\left(\frac{\sigma_{px1} \cdot b_{zx}^2}{2}, \frac{\sigma_{px2} \cdot b_{zx}^2}{2} + \frac{2 \sigma_{mx} \cdot b_{zx}^2}{6}\right)$

$$M_{actx} = 8178.825 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

Cortante actuante máximo

Recubrimiento llenado contra terreno $r_z := 7.5 \text{ cm}$

Altura útil de la sección transversal sentido X $d := H_z - r_z = 42.5 \text{ cm}$

Cortante actuante máximo $V_{actx} := \max\left(\sigma_{px1} \cdot (b_{zx} - d), \sigma_{px2} \cdot (b_{zx} - d) + \left(\frac{\sigma_{mx} \cdot d}{b_{zx}} + \sigma_{mx}\right) \cdot \frac{(b_{zx} - d)}{2}\right)$

$$V_{actx} = 8641.962 \text{ kgf}$$

8.3 SOLICITACIONES SENTIDO Y

Momento actuante máximo

Carga distribuida originada por las fuerzas verticales

$$\sigma_{py1} := \frac{1.4 (P_f + P_e)}{B_y} = 8108.333 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

$$\sigma_{py2} := \frac{1.2 (P_f + P_e) + 1.4 \cdot 1.1 Q_{0z}}{B_y} = 7689.2 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

Carga distribuida originada por el momento de volcamiento y cortante

$$\sigma_{my} := \frac{3 \cdot 1.4 \cdot 1.1 \cdot (M_x + Q_{0y} \cdot H_z)}{2 B_y^2} = 1293.6 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

Momento actuante máximo $M_{acty} := \max\left(\frac{\sigma_{py1} \cdot b_{zy}^2}{2}, \frac{\sigma_{py2} \cdot b_{zy}^2}{2} + \frac{2 \sigma_{my} \cdot b_{zy}^2}{6}\right)$

$$M_{acty} = 9620.55 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

Cortante actuante máximo

Cortante actuante máximo $V_{acty} := \max\left(\sigma_{py1} \cdot (b_{zy} - d), \sigma_{py2} \cdot (b_{zy} - d) + \left(\frac{\sigma_{my}}{b_{zy}} d + \sigma_{my}\right) \cdot \frac{(b_{zy} - d)}{2}\right)$

$$V_{acty} = 9158.205 \text{ kgf}$$

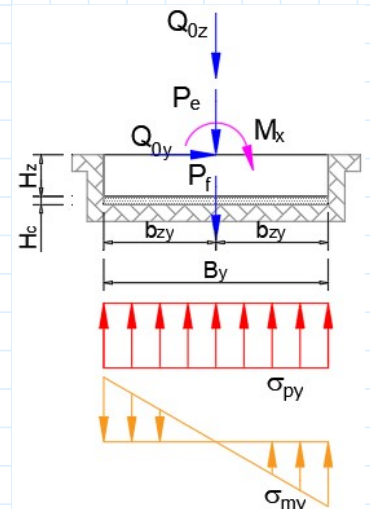


Figura 7. DCL Refuerzo Y

09 CAPACIDAD RESISTENTE A FLEXIÓN DE LA ZAPATA

9.1 ACERO DE REFUERZO LONGITUDINAL SENTIDO X

Factor de minoración Tabla 21.2.2 ACI318-19	$\phi_b := 0.9$
Diámetro de barra de refuerzo	$D_{bz} := 16 \text{ mm}$
Numero de barras de refuerzo	$N_{zy} := 16$
Recubrimiento llenado contra terreno	$r_z = 7.5 \text{ cm}$
Separación de barras de refuerzo	$S_{by} := \frac{B_y - 2 \cdot r_z}{N_{zy} - 1} = 19 \text{ cm}$
Acero de refuerzo mínimo Art. 8.6.1.1 ACI318-19	$A_{smin} := 0.0018 \cdot B_y \cdot H_z = 27 \text{ cm}^2$

Acero de refuerzo	$A_{sx} := \frac{B_y}{S_{by}} \cdot \frac{\pi \cdot D_{bz}^2}{4} = 31.747 \text{ cm}^2$	<div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; background-color: #f0f0f0;"> if $A_{sx} \geq A_{smin}$ = "OK" "OK" else "Aumentar As" </div>
-------------------	---	--

Altura útil de la sección transversal sentido X	$d_x := H_z - r_z - \frac{D_{bz}}{2} = 41.7 \text{ cm}$
Profundidad equivalente del bloque comprimido	$a := \frac{A_{sx} \cdot f_y}{0.85 \cdot f_c \cdot B_y} = 2.614 \text{ cm}$
Momento resistente sentido X	$M_{rx} := \phi_b \cdot A_{sx} \cdot f_y \cdot \left(d_x - \frac{a}{2} \right) = 49427.9 \text{ (kgf} \cdot \text{m)}$
Factor de Utilización a flexión sentido X	$F_{ufx} := \frac{M_{actx}}{M_{rx}} = 16.5\%$ <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; background-color: #f0f0f0;"> if $F_{ufx} \leq 1$ = "OK" "OK" else "FAIL" </div>

9.2 ACERO DE REFUERZO LONGITUDINAL SENTIDO Y

Factor de minoración Tabla 21.2.2 ACI318-19	$\phi_b = 0.9$
Diámetro de barra de refuerzo	$D_{bz} = 16 \text{ mm}$
Numero de barras de refuerzo	$N_{zx} := 13$
Recubrimiento llenado contra terreno	$r_z = 7.5 \text{ cm}$
Separación de barras de refuerzo	$S_{bx} := \frac{B_x - 2 \cdot r_z}{N_{zx} - 1} = 19.583 \text{ cm}$
Acero de refuerzo mínimo Art. 8.6.1.1 ACI318-19	$A_{smin} := 0.0018 \cdot B_x \cdot H_z = 22.5 \text{ cm}^2$

Acero de refuerzo	$A_{sy} := \frac{B_x}{S_{bx}} \cdot \frac{\pi \cdot D_{bz}^2}{4} = 25.667 \text{ cm}^2$	if $A_{sy} \geq A_{smin}$ "OK" else "Aumentar As"	= "OK"
Altura útil de la sección transversal sentido Y	$d_y := H_z - r_z - \frac{3}{2} \cdot D_{bz} = 40.1 \text{ cm}$		
Profundidad equivalente del bloque comprimido	$a := \frac{A_{sy} \cdot f_y}{0.85 \cdot f_c \cdot B_x} = 2.537 \text{ cm}$		
Momento resistente sentido Y	$M_{ry} := \phi_b \cdot A_{sy} \cdot f_y \cdot \left(d_y - \frac{a}{2} \right) = 38418.6 \text{ (kgf} \cdot \text{m)}$		
Factor de Utilización a flexión sentido Y	$F_{ufy} := \frac{M_{acty}}{M_{ry}} = 25\%$	if $F_{ufy} \leq 1$ "OK" else "FAIL"	= "OK"

10 CAPACIDAD RESISTENTE A CORTANTE DE LA ZAPATA

10.1 CORTANTE SIMPLE SENTIDO X

Cortante resistente del Hormigón

Factor de minoración
Tabla 21.2.1 ACI318-19

$$\phi_v := 0.75$$

Cortante resistente del hormigón
Tabla 22.5.5.1 ACI318-19
 $A_v < A_{v,min}$

$$V_{rx1} := \phi_v \cdot 0.66 \cdot 0.0018^{\frac{1}{3}} \cdot B_y \cdot d_x \cdot \sqrt{f_c \cdot MPa} = 34351.7 \text{ kgf}$$

$$V_{rmax} := \phi_v \cdot 0.42 \cdot B_y \cdot d_x \cdot \sqrt{f_c \cdot MPa} = 179705.8 \text{ kgf}$$

$$V_{rx} := \min(V_{rx1}, V_{rmax}) = 34351.7 \text{ kgf}$$

Factor de Utilización cortante X

$$F_{uvx} := \frac{V_{actx}}{V_{rx}} = 25.2\%$$

if $F_{uvx} \leq 1$
|| "OK"
else
|| "FAIL"

10.2 CORTANTE SIMPLE SENTIDO Y

Cortante resistente del Hormigón

Factor de minoración al corte
Tabla 21.2.1 ACI318-19

$$\phi_v = 0.75$$

Cortante resistente del hormigón
Tabla 22.5.5.1 ACI318-19
 $A_v < A_{v,min}$

$$V_{ry1} := \phi_v \cdot 0.66 \cdot 0.0018^{\frac{1}{3}} \cdot B_x \cdot d_y \cdot \sqrt{f_c \cdot MPa} = 27528 \text{ kgf}$$

$$V_{rmax} := \phi_v \cdot 0.42 \cdot B_x \cdot d_y \cdot \sqrt{f_c \cdot MPa} = 144008.9 \text{ kgf}$$

$$V_{ry} := \min(V_{ry1}, V_{rmax}) = 27528 \text{ kgf}$$

Factor de Utilización cortante Y

$$F_{uvy} := \frac{V_{acty}}{V_{ry}} = 33.3\%$$

if $F_{uvy} \leq 1$	= "OK"
"OK"	
else	
"FAIL"	

10.3 CORTANTE POR PUNZONAMIENTO

Altura útil de la sección $d_v := H_z - r_z - D_{bz} = 40.9 \text{ cm}$

Cortante actuante $V_{pa} := \frac{\max(1.4 (P_f + P_e), 1.2 (P_f + P_e) + 1.4 \cdot 1.1 Q_{0z}) \cdot (B_x \cdot B_y - d_v^2)}{B_x \cdot B_y}$

$$V_{pa} = 23782.452 \text{ kgf}$$

Perímetro de punzonamiento mínimo $b_0 := 2 \cdot (d_v) + 2 \cdot (d_v) = 163.6 \text{ cm}$

Factor de modificación por efecto de tamaño $\lambda_{sz} := \min\left(1, \sqrt{\frac{2}{1 + 0.004 \cdot \frac{d_v}{\text{cm}} \cdot 10}}\right) = 0.871$

Relación del lado largo al lado corto $\beta := \frac{\max(B_x, B_y)}{\min(B_x, B_y)} = 1.2$

Cortante resistente del hormigón $V_{rp1} := \phi_v \cdot b_0 \cdot d_v \cdot 0.33 \cdot \lambda_{sz} \sqrt{f_c \cdot MPa} = 65783.7 \text{ kgf}$
 Tabla 22.6.5.2. ACI318-19

$$V_{rp2} := \phi_v \cdot b_0 \cdot d_v \cdot 0.17 \cdot \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \cdot \lambda_{sz} \sqrt{f_c \cdot MPa} = 90369.6 \text{ kgf}$$

$$V_{rp3} := \phi_v \cdot b_0 \cdot d_v \cdot 0.083 \cdot \left(2 + \frac{40 \cdot d_v}{b_0}\right) \cdot \lambda_{sz} \sqrt{f_c \cdot MPa} = 198547.2 \text{ kgf}$$

$$V_{rp} := \min(V_{rp1}, V_{rp2}, V_{rp3}) = 65783.7 \text{ kgf}$$

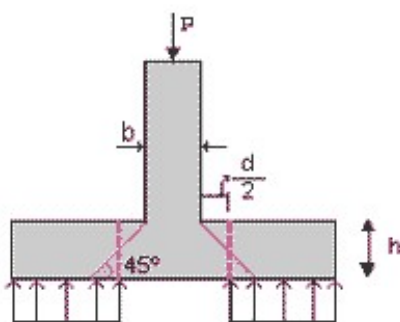


Figura 8. Factor de Utilización para el punzonamiento

$$F_{up} := \frac{V_{pa}}{V_{rp}} = 36.2\%$$

if $F_{up} \leq 1$	= "OK"
"OK"	
else	
"FAIL"	