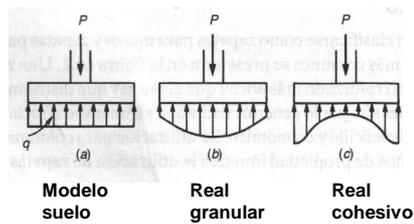
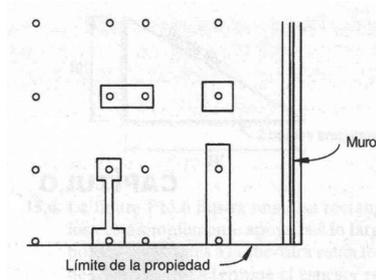


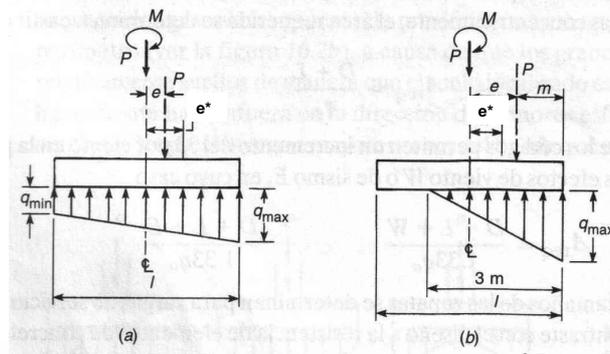
# Zapatas

- Zapatas profundas
  - Suelo superficial de baja calidad
  - Ej. pilotes
- Zapatas superficiales
  - Zapatas para muro
  - Zapatas para columnas
- Distribución de presiones de contacto
  - Distribución real vs. Modelo (carga axial concéntrica)



# Zapatas

- Distribución de presiones de contacto en zapata excéntrica
  - Se asume zapata rígida
  - Tensiones de tracción no pueden ser resistidas por el suelo



$$q_{\max} = \frac{P}{A} \pm \frac{Mc}{I}$$

$$q_{\min}$$

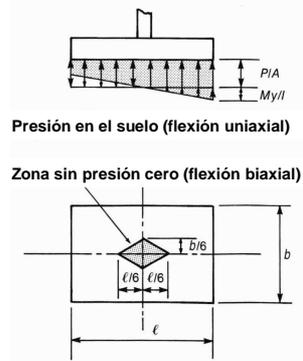
$$q_{\max} = \frac{2P}{3bm}$$



# Zapatas

- **Distribución de presiones de contacto en zapata excéntrica (flexión biaxial)**

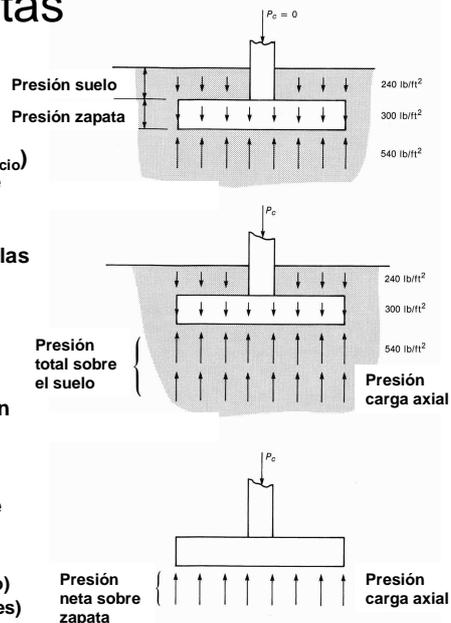
- Zona achurada (zapata rectangular) define posición de carga excéntrica que sólo produce compresión (mayor que cero)
- Zona de presión cero (por no tener capacidad a tracción) es posible, pero no deseable:
  - Puede promover volcamiento
  - No utiliza toda la zapata para resistir las fuerzas externas (compresión)



# Zapatas

- **Dimensionamiento de zapatas**

- **Suelo:**
  - No se debe sobrepasar la capacidad admisible ( $\sigma_{adm} \geq \sigma_{servicio}$ ) del suelo (considera factores de seguridad → usar cargas de servicio)
  - Capacidad admisible considera las cargas de la estructura y debe descontar las presiones bajo el nivel de suelo (dimensión de zapata desconocida)
- **Diseño zapata**
  - Considera la presión de reacción del suelo (flexión y corte)
  - La reacción del suelo sólo contempla las cargas de la estructura (acción y reacción de cargas bajo nivel suelo)
  - Altura sobre refuerzo inferior
    - $d \geq 150$  mm (zapata sobre suelo)
    - $d \geq 300$  mm (zapata sobre pilotes)



# Zapatas

- Zapata para muros con carga axial

- Momento máximo ocurre al centro del muro, pero la rigidez del muro limita la fisuración → Diseño en la cara del muro (sección 1-1)

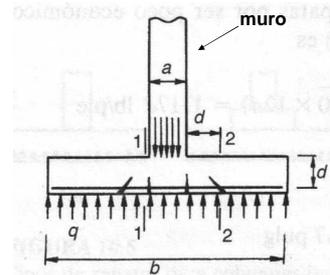
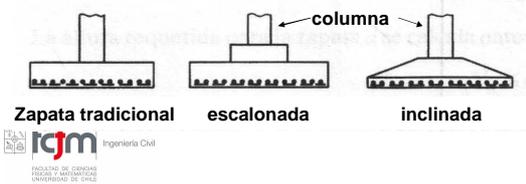
$$M_u = \frac{1}{8} q_u (b-a)^2 \quad (\text{por unidad de largo})$$

En muros de albañilería la rigidez podría ser menor generando máximos momentos en el centro del muro

- Corte máximo se considera a “d” de la cara del muro

$$V_u = q_u \left( \frac{b-a}{2} - d \right) \quad (\text{por unidad de largo})$$

- Zapata para columnas

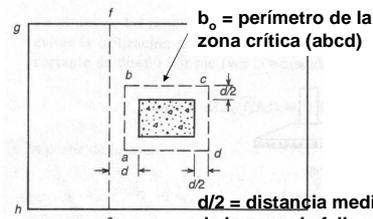
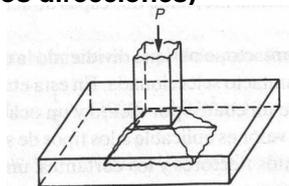


ICFM Ingeniería Civil  
FACULTAD DE CIENCIAS  
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
UNIVERSIDAD DE CHILE

# Zapatas

- Zapata para columnas

- La altura “d” de la zapata queda habitualmente controlada por corte (equivalente a vigas) o punzonamiento (corte en dos direcciones)



- No se requiere armadura de corte mínima

$$V_u \leq \phi V_c \quad (\text{notar que compara a } V_c \text{ y no } V_n)$$

- Capacidad de corte (equivalente a vigas)

- En sección ef de la figura
- Ecuación tradicional de corte (o versiones más sofisticadas)

$$V_c = 0.17 \sqrt{f'_c} b_{ef} d$$

$b_{ef} =$  ancho de la zapata (dist. ef a “d” de la columna)

ICFM Ingeniería Civil  
FACULTAD DE CIENCIAS  
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
UNIVERSIDAD DE CHILE

# Zapatas

- Zapata para columnas

- Capacidad de corte por punzonamiento

- Tiende a aumentar por compresión de la carga axial y los esfuerzos producidos por flexión en ambas direcciones de la zapata

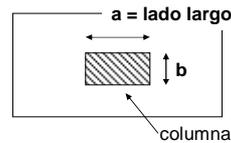
$$V_c = 0.33\sqrt{f'_c}b_o d$$

$b_o$  = perímetro de la zona crítica (abcd)

- En el caso de columnas con secciones transversales muy alargadas el aumento es menor

$$V_c = 0.17\left(1 + \frac{2}{\beta}\right)\sqrt{f'_c}b_o d$$

$\beta$  = relación de lados de la columna =  $\frac{a}{b}$



- En el caso  $b_o/d$  es grande el aumento es menor

$$V_c = 0.17\left(1 + \frac{\alpha_s d}{2b_o}\right)\sqrt{f'_c}b_o d$$

$\alpha_s = \begin{cases} 40 \\ 30 \\ 20 \end{cases}$

- La capacidad al corte por punzonamiento viene dada por el menor valor de las tres ecuaciones anteriores (S.11.12.2)



# Diseño

- Criterio de diseño

$$\phi S_n \geq S_u, S = \text{flexión, corte, etc.}$$

capacidad nominal minorada  $\geq$  demanda mayorada

$\phi$  : coeficiente de reducción de resistencia

	ACI 318-95	ACI 318-05
1. Tracción axial	0.9	0.9 controlada en tracción
2. Flexión	0.9	0.9 controlada en tracción
3. Compresión (columnas)		
- con estribos	0.7	0.65 controlada en compresión
- zunchadas (espiral)	0.75	0.7 controlada en compresión
- cargas axiales pequeñas	0.7 ó 0.75-0.9	
4. Corte y torsión	<b>0.85</b>	<b>0.75</b>
5. Aplastamiento hormigón	<b>0.7</b>	<b>0.65</b>

S.9.3.2



## Zapatas para columnas

- **Conexión a zapata**

- **Capacidad al aplastamiento**

- Tiende a aumentar por efecto de confinamiento (compresión) dado por el hormigón adyacente al área cargada

$$P_n = 0.85 f'_c A_1 \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 0.85 f'_c A_1 \cdot 2$$

- **Diseño**

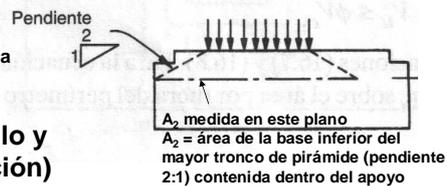
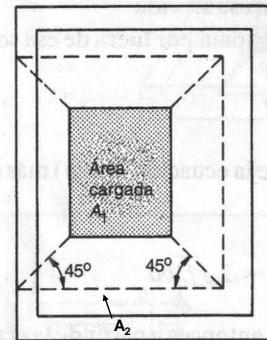
$$P_u \leq \phi P_n \quad \phi = \begin{cases} 0.7 & \text{ACI 318-95} \\ 0.65 & \text{ACI 318-05} \end{cases}$$

- **Refuerzo interfaz (columna-zapata)**

$$A_s = 0.005 A_g$$

$A_g$  = área de la columna  
 $A_s$  = área de refuerzo

- **Chequear largos de desarrollo y traslape (compresión y tracción)**



## Zapatas para columnas

- **Refuerzo en flexión**

- Diseño en la cara de columna de hormigón
  - Diseño en la mitad de los bordes de la placa base y columna de acero
  - **Cuantía mínima de flexión**

- **Temperatura y retracción de fraguado (S.7.12)**

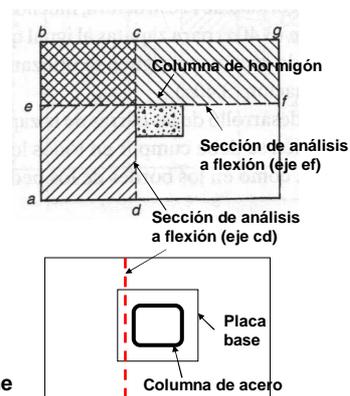
$$\rho_{\min} = \begin{cases} 0.0020, & \text{si } f_y = 280 \text{ o } 350 \text{ MPa} \\ 0.0018, & \text{si } f_y = 420 \text{ MPa} \end{cases}$$

En términos del área bruta:  $\rho = A_s / bh$

- Aunque para zapatas de espesor uniforme (S.10.5.4) no se requiere cumplir con la cuantía mínima tradicional de flexión ( $1.4f_y$ ), algunos consideran (Nilson, 1999) adecuado usarla

- **Espaciamiento (S.10.5.4)**

$$s \leq \begin{cases} 3h, & h = \text{espesor de la zapata} \\ 450 \text{ mm} \end{cases}$$

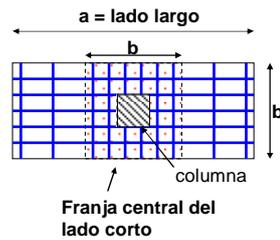


# Zapatas para columnas

- **Refuerzo en flexión**
  - Zapata cuadrada
    - Armadura distribuida (uniforme)
    - Usar “d” promedio para determinar  $M_n$
  - Zapata rectangular
    - Armadura distribuida (uniforme) en lado largo
    - Armadura concentrada en zona central (zona de mayor curvatura) del lado corto ( $A_s = A_{\text{central}} + A_{\text{lateral}}$ )

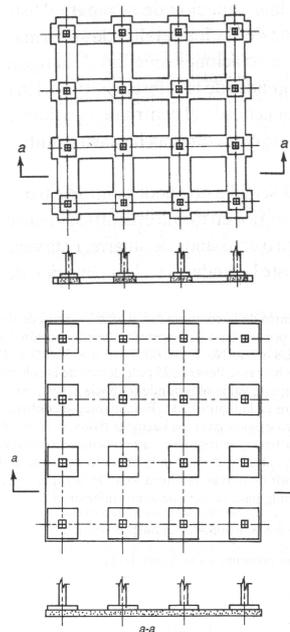
$$A_{\text{central}} = \frac{2}{\beta_1 + 1} A_s$$

$A_{\text{central}}$  = armadura de la franja central de ancho b  
 $A_s$  = armadura total de flexión  
 $\beta_1 = \frac{a}{b} \geq 1$



# Zapatas

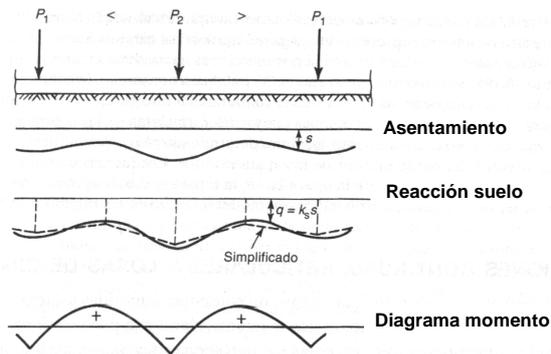
- **Zapatas combinadas**
  - Zapata superficial de más de una columna o muro
    - Ej.: fundación reticular, losa de fundación
    - Aumenta la capacidad a carga axial y mejora ostensiblemente la capacidad a flexión
    - Aumenta la rigidez del sistema de fundación, disminuyendo asentamientos diferenciales que pueden afectar la integridad de la estructura
    - Las losas de fundación pueden estudiarse como losas apoyadas en columnas con carga distribuida (losa sin vigas)



# Zapatas

- Zapatas combinadas

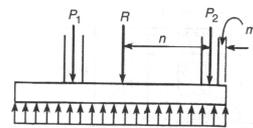
- Zapata superficial de más de una columna o muro
  - En caso de gran distancia entre columnas o baja rigidez de la fundación el supuesto de deformaciones uniformes en el suelo puede no ser adecuado (elementos finitos, viga en fundación elástica, etc.)



# Zapatas Combinadas

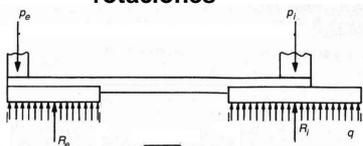
- Zapatas para 2 columnas

- Se recomienda coincidir el centro de área de la zapata con la carga resultante para minimizar inclinaciones (presión uniforme)
- Es común también conectar zapatas por medio de vigas para disminuir sus rotaciones

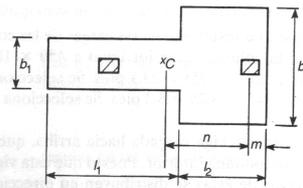
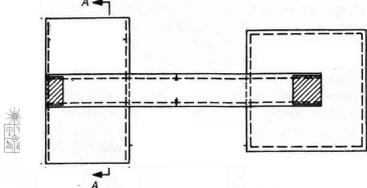


$$l = 2(m+n)$$

$$b = \frac{R}{q_e l}$$



Sección A-A



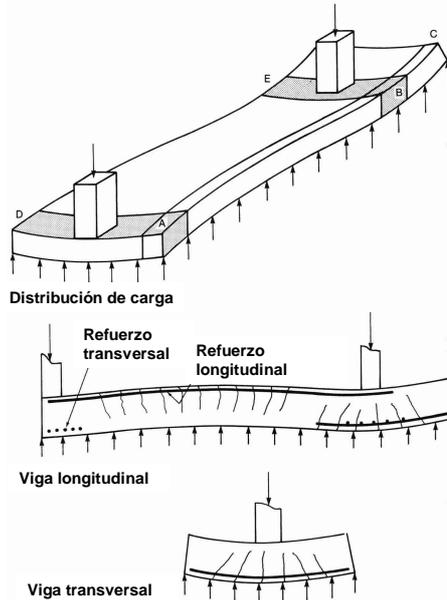
$$b_1 = \frac{R}{q_e} \left[ \frac{2(n+m) - l_2}{l_1(l_1 + l_2)} \right]$$

$$b_2 = \frac{R}{l_2 q_e} - \frac{l_1 b_1}{l_2}$$

$$l_1 b_1 + l_2 b_2 = \frac{R}{q_e}$$

# Zapatas Combinadas

- Zapatas para 2 columnas
  - Eje longitudinal:
    - Carga uniforme genera máximo refuerzo longitudinal
    - Diseño a flexión
    - Diseño al corte directo
    - Diseño al corte por punzonamiento
      - "A continuación"
  - Eje transversal:
    - Carga uniforme, pero concentrada bajo columnas (área tributaria con perímetro a  $\sim d/2$  de la columna) genera máximo refuerzo transversal (a diferencia de distribuirlo en toda la fundación)



# Zapatas Combinadas

- Eje longitudinal:
  - Diseño al corte (punzonamiento)
    - Flexión excéntrica (carga columna vs reacción del terreno) respecto del centro de corte de la sección crítica puede introducir tensiones de corte por torsión en el análisis de punzonamiento

