



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

| E.T.S. DE ARQUITECTURA

# DISEÑO, DIMENSIONAMIENTO Y CASOS PRÁCTICOS DE CIMENTACIONES SUPERFICIALES

SESIÓN 2  
2025-2026

Grado en Fundamentos de Arquitectura  
Área de Construcciones Arquitectónicas  
Asignatura de Estructura V

**Profesor:** Alejandro Morales-Ruiz      [alejandromoriz@uma.es](mailto:alejandromoriz@uma.es)

**Autoría:** Alejandro Morales-Ruiz, Carmen Díaz-López.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

## 01 Dimensionado en Planta

Criterios geométricos y verificación de tensiones.

## 02 Canto Máximo

Limitaciones por la capacidad portante del terreno.

## 03 Canto Mínimo

Verificación frente a cortante y punzonamiento.

## 04 Cálculo Estructural (i)

Aplicación de conceptos previos.

## 05 Cálculo Estructural (ii)

Carga excéntrica. Núcleo Central. Armaduras Necesarias.

### Objetivo de Aprendizaje:

El objetivo principal de los “**casos prácticos**” es dominar el procedimiento completo de cálculo para zapatas aisladas:

- Realizar el **dimensionado geométrico** óptimo de la planta y el canto.
- Comprender las diferencias entre **cimentaciones rígidas y flexibles** mediante distintas comprobaciones.
- Realizar el **dimensionado del armado** mediante comprobación del núcleo central.



# 01 Dimensionado en Planta

## Hipótesis y Formulación para Carga Vertical Centrada con Zapata Aislada

Para que la cimentación planteada "no falle" ante el sistema de cargas expuesto, se debe cumplir la siguiente condición:

### Condición de Verificación

$$\sigma_{\text{relleno}} + \sigma_{\text{peso-propio}} + \sigma_{\text{pilar}} \leq \sigma_{\text{admisible}}$$

**¡Ojo!** La suma de todas las tensiones que recibe el terreno, debe ser menor o igual a la tensión admisible del terreno.

Si, por el contrario, la tensión admisible del terreno fuera menor que la sumatoria de todas las presiones, el terreno no sería capaz de soportar las sollicitaciones por lo que la estructura llegaría a alcanzar los E.L.U. y E.L.S. y, por lo tanto, colapsaría.

### Definición de Tensiones:

Presión = Fuerza / Superficie

donde  $a \cdot b$  es el área de la zapata en planta

#### Presión del Pilar

$$\sigma_p = \frac{N_p}{a \cdot b}$$

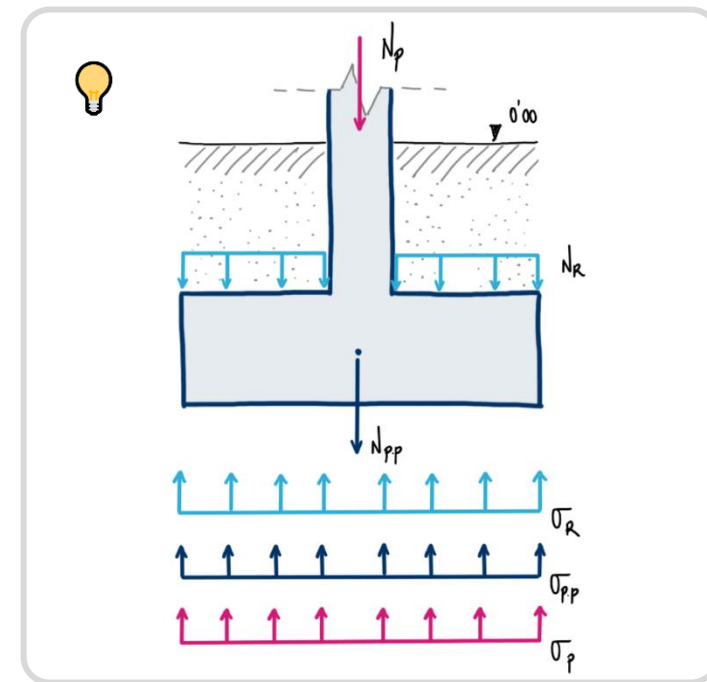
#### Presión Peso Propio

$$\sigma_{pp} = \frac{N_{pp}}{a \cdot b}$$

#### Presión del Relleno

$$\sigma_{rp} = \frac{N_{rp}}{a \cdot b}$$

Ante una zapata aislada con una carga vertical centrada (*tensión uniforme*), el sistema de fuerzas que va a interactuar es el siguiente:



Elaboración Propia



RAZONAMIENTO



¿Cómo se deduce la fórmula de dimensionado?

# 01 Dimensionado en Planta

Hipótesis y Formulación para Carga Vertical Centrada con Zapata Aislada

## Hipótesis Habituales

### Estimación de Cargas Adicionales



Salvo especificación contraria, se puede considerar que el axil del peso propio de la cimentación ( $N_{pp}$ ) y del relleno de tierras ( $N_r$ ) suman entre un 10-15% del axil del pilar.

$$N_{pp} + N_r = 0,10 \cdot N_p$$

### Geometría de la Zapata



A menos que se especifique lo contrario, se asume una zapata de planta cuadrada para optimizar la distribución de tensiones.

$$a = b \Rightarrow \text{Área} = a^2$$

## Deducción de la Fórmula de Dimensionado

1. Se parte de la condición de verificación geotécnica:

$$(N_p + N_{pp} + N_r) / (a \cdot b) \leq \sigma_{adm}$$

2. Se sustituye las hipótesis habituales:

$$(N_p + 0,10 \cdot N_p) / a^2 \leq \sigma_{adm}$$



Dimensión Mínima en Planta:

$$a \geq \sqrt{(1,1 \cdot N_p / \sigma_{adm})}$$



# 01 Dimensionado en Planta

Hipótesis y Formulación para Carga Vertical Centrada con Zapata Aislada

## Caso Práctico

### Datos de Partida:

- **Pilar:** 40cm x 40cm (*sección cuadrada*)
- **Carga ( $N_p$ ):** 110 T (*vertical centrada*)
- **Tensión Admisible ( $\sigma_{adm}$ ):**  
2 kg/cm<sup>2</sup> = 20 T/m<sup>2</sup>



### Hipótesis de Cálculo:

- Zapata aislada cuadrada ( $a=b$ )
- Peso propio + Relleno estimando un 10% de  $N_p$
- $N_{pp} + N_r = 0,10 N_p$

**P1** Planteamiento de la Condición:

$$a \geq \sqrt{(1,1 \cdot N_p / \sigma_{adm})}$$

**P2** Sustitución de Valores:

$$a \geq \sqrt{(1,1 \cdot 110 / 20)}$$

**P3** Resultado Matemático:

$$a \geq \sqrt{(6,05)} \approx 2,46 \text{ m}$$

**P4** Solución Constructiva:

Se redondea a una dimensión ejecutable fácilmente en obra (*múltiplo de 5 o 10 cm*).

$$a = 2,50 \text{ m}$$



RAZONAMIENTO



¿Cuál es la Condición para el Canto Máximo?

# 02 Canto Máximo para Carga Vertical Centrada

Carga Vertical Centrada y Limitaciones por Capacidad Portante del Terreno

El "canto máximo" está limitado por la capacidad resistente del terreno. A mayor canto ( $h$ ), mayor es el peso propio ( $N_{pp}$ ) de la zapata, lo que incrementa la presión transmitida al suelo.

Condición para el Canto Máximo

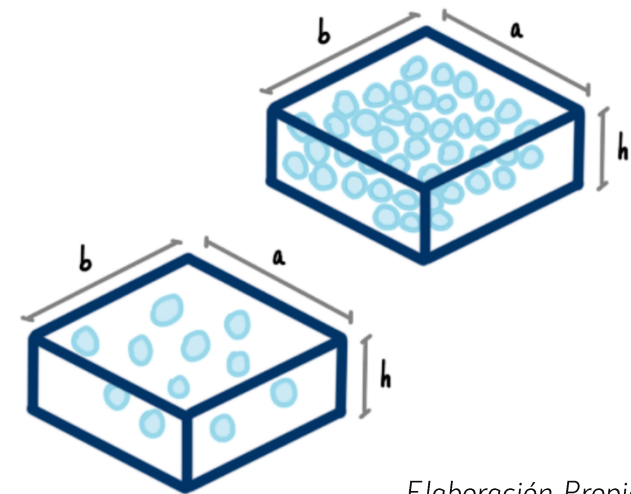
$$h \leq \frac{(\sigma_{adm} \cdot a^2) - N_p}{\gamma \cdot a^2}$$

**¡Ojo!** Como el canto máximo está condicionado por la capacidad resistente del terreno, **las cargas no se mayoran** (se trabaja en E.L.S.)

El objetivo es garantizar que la suma de tensiones no supere la tensión admisible:

$$(N_p + N_{pp}) / \text{Area} \leq \sigma_{adm}$$

La Densidad



Elaboración Propia

Deducción y Variables:

Relación Densidad

$$\gamma = \frac{N_{pp}}{a^2 \cdot h}$$

Sustitución  $N_{pp}$

$$N_{pp} = \gamma \cdot a^2 \cdot h$$

Densidad Hormigón

$$\gamma \approx 2,4 \text{ T/m}^3 \\ (24 \text{ kN/m}^3)$$



# 02 Canto Máximo para Carga Vertical Centrada

Carga Vertical Centrada y Limitaciones por Capacidad Portante del Terreno

## Caso Práctico

### Datos de Partida:

- **Planta Zapata:** 2,50m x 2,50m (*planta cuadrada; a=b*)
- **Carga (N<sub>p</sub>):** 110 T (*vertical centrada*)
- **Tensión Admisible (σ<sub>adm</sub>):**  
2 kg/cm<sup>2</sup> = 20 T/m<sup>2</sup>
- **Densidad (γ) =** 2,4 T/m<sup>3</sup>



### Anotación:

El canto máximo está limitado por lo que el terreno puede soportar considerando el peso propio real de la zapata.

**P1** Planteamiento de Ecuaciones:

- $N_{pp} = \gamma \cdot a^2 \cdot h$
- $(N_p + N_{pp}) / (a \cdot b) \leq \sigma_{adm}$

**P2** Sustitución y Despeje:

- $h \leq ( (\sigma_{adm} \cdot a^2) - N_p ) / ( \gamma \cdot a^2 )$

**P3** Sustitución de Valores:

- $h \leq ( (20 \cdot 2,50^2) - 110 ) / ( 2,4 \cdot 2,50^2 )$
- $h \leq ( 125 - 110 ) / 15$

**P4** Resultado del Canto Máximo:

Para no poner en riesgo la capacidad portante del terreno:

$$h \leq 1,00 \text{ m}$$



RAZONAMIENTO

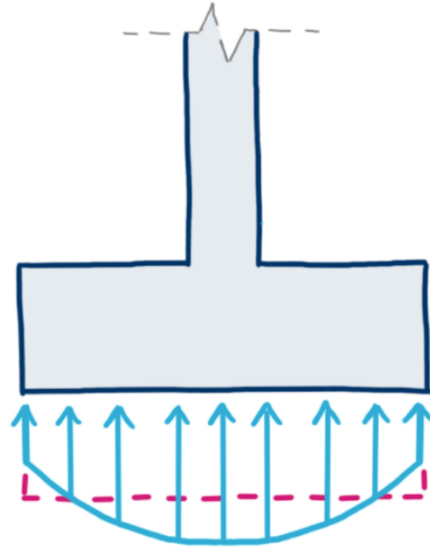


¿Zapata Rígida? ¿Zapata Flexible?

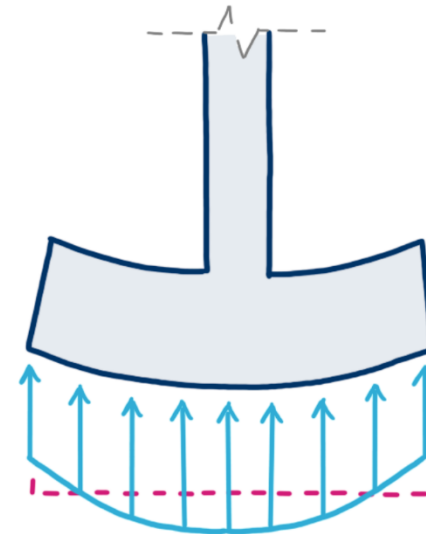
# A Clasificación Estructural

Criterio de Deformación del Cimiento respecto al Terreno

Zapata Rígida



Zapata Flexible



## Características:

- **Criterio:**  $Vuelo_{max} \leq 2 \cdot h$  (canto)
- **Coste:** Mayor coste.
- **Deformación:** La deformación es despreciable frente a la del terreno.
- **Comportamiento:** Mejor reparto de tensiones. Reparto homogéneo, lineal.
- **Comprobación:** No requiere comprobación a cortante ni punzonamiento.

VS

## Características:

- **Criterio:**  $Vuelo_{max} > 2 \cdot h$  (canto)
- **Coste:** Menos hormigón, menor coste.
- **Deformación:** Se deforman flectando bajo la carga, adaptándose al terreno.
- **Comportamiento:** Concentración de tensiones bajo el pilar.
- **Comprobación:** Se debe verificar el esfuerzo cortante y punzonamiento.



# 03 Canto Mínimo para Carga Vertical Centrada

Criterios Estructurales frente a la Capacidad Portante

A diferencia del canto máximo (*condicionado por el terreno*), el **canto mínimo** depende de la capacidad portante de la estructura (*hormigón*). Esta vez, el canto de la zapata se determina para resistir las tensiones internas sin colapsar.

## Condición para el Canto Mínimo

$$h \geq \max(d_{\text{cortante}}, d_{\text{punzonamiento}}) + r_{\text{nom}}$$

\*  $d$  = canto útil (*zona comprimida*) |  $r_{\text{nom}}$  = recubrimiento (CTE)

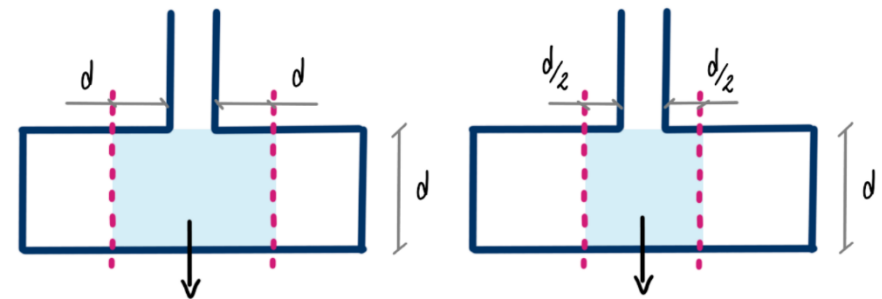
**¡Ojo!** Se trabaja con **cargas mayoradas** (*coeficiente de seguridad*) y se desprecia el axil correspondiente al peso propio del cimiento, así como el que corresponde al relleno del terreno por ser poco significativos.

## Casuística Importante:

- Si se proyecta con **canto máximo** (*zapata rígida*): Generalmente no requiere comprobación a cortante/punzonamiento (*el canto es sobrado*).
- Si se proyecta para **optimizar** (*zapata flexible*): Se debe calcular el canto mínimo que soporte Cortante y Punzonamiento.



## Proceso de Verificación Estructural



### Esfuerzo Cortante:

Riesgo de rotura en extremos. Sección crítica a distancia  $d$ .

### Punzonamiento:

Riesgo de perforación del pilar. Perímetro crítico a distancia  $d/2$ .

## Selección del Canto

El canto " $d$ " debe ser suficiente para resistir **ambos** esfuerzos.

Elaboración Propia



RAZONAMIENTO



¿Cuál es el valor del cortante al que está sometido el cimiento?

# 03 Canto Mínimo para Carga Vertical Centrada

Cortante. Conceptos y Definición de la Sección Crítica

## El Cortante

El valor del cortante es la resultante de las tensiones tangenciales que se producen en la sección crítica a cortante, como consecuencia de las tensiones que el terreno produce sobre la zapata.

## La Sección Crítica

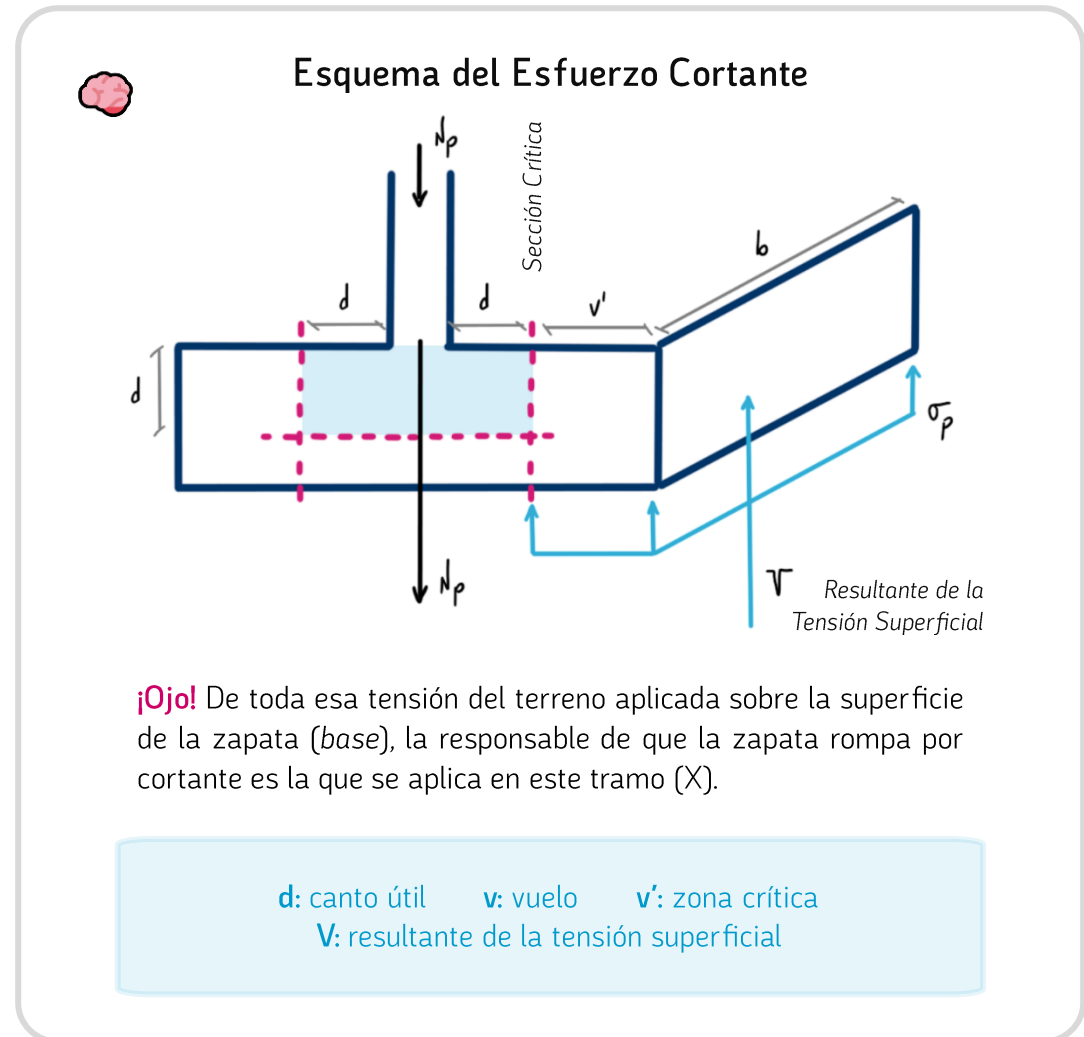
**¡Ojo!** La sección crítica se sitúa a una distancia "d" (**canto útil**) desde la cara del pilar. A partir de ese punto, hacia el exterior, la zapata es susceptible de fallar por cortante si el canto no es suficiente.

## Mecanismo de Fallo

Al entrar en carga, parte del borde de la zapata tiende a "elevarse" respecto al pilar, siendo esa zona del borde la que suele quedar tras la sección crítica a cortante.

- A la izquierda de la sección crítica hay un axil de compresión aplicado sobre el terreno.
- A la derecha, el canto de la zapata debe resistir esa resultante de tensiones tangenciales, la fuerza cortante.

**Mayor canto = Mayor rigidez = Mejor resistencia**

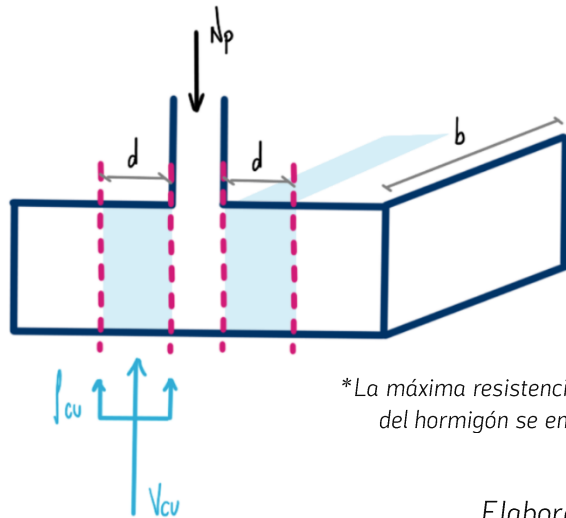


Elaboración Propia



# 03 Canto Mínimo para Carga Vertical Centrada

Cortante. Dimensionado y Comprobación



\*La máxima resistencia a compresión del hormigón se encuentra en esta sección.

Elaboración Propia

## Parámetros y Dimensiones del Cimiento

**d:** canto útil    **a':** dimensión del pilar    **v':** zona crítica  
**Np:** carga axial del pilar    **a,b:** dimensiones de la zapata

**¡Ojo!** En el caso de **zapata rectangular**, se debe calcular "Vcd" para el lado "a" y "b" ( $d_1, d_2$ ) y, posteriormente, elegir el canto más desfavorable.

Para evitar el fallo, el cortante de diseño (*actuante mayorado*) debe ser menor que la capacidad resistente de la sección de hormigón:

## Verificación a Cortante (E.L.U.)

1. Cortante de Diseño ( $V_{cd}$ ):

$$V_{cd} = \lambda \cdot (N_p/a) \cdot [((a-a')/2) - d]$$

$\lambda$  = Coeficiente de seguridad. Tabla 2.1. DB SE-C.

2. Resistencia Elemento de Hormigón sin Armadura de Cortante ( $V_{cu}$ ):

$$V_{cu1} = [C_x d_c \cdot k \cdot (100 \rho_1 f_{ck})^{1/3}]$$

depende de la cuantía del armado.

$$V_{cu2} = (v_{\min} \cdot b_w d)$$

garantiza la resistencia mínima.

$$V_{cu} = V_{cu1} \geq V_{cu2} \rightarrow V_{cu} = \max(V_{cu1}, V_{cu2})$$



Condición de Seguridad:

$$V_{cd} \leq V_{cu}$$



RAZONAMIENTO



¿Cuál es la condición de verificación del punzonamiento?

# 03 Canto Mínimo para Carga Vertical Centrada

Punzonamiento. Verificación de Seguridad frente a la Rotura

El punzonamiento es la resultante de las tensiones tangenciales que se produce en cada una de las caras del "cubo" de rotura debido a los esfuerzos que sufre la zapata por las tensiones del terreno.

Condición de Verificación

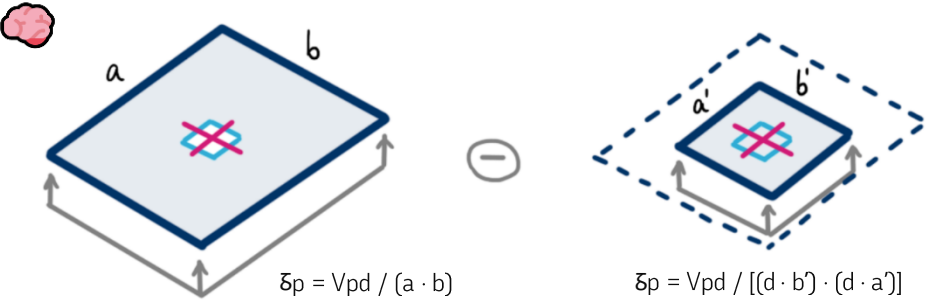
$$V_{pd} \leq V_{pu}$$

**$V_{pd}$  (diseño):** Punzonamiento que actúa sobre la zapata debido a las cargas mayoradas.

**$V_{pu}$  (último):** Punzonamiento máximo que es capaz de resistir el hormigón.

- $S_p$ , es la superficie del perímetro crítico.
- $\alpha$ , depende de la geometría del pilar. Si el pilar es cuadrado  $\alpha = 1$ .

**¡Ojo!** Si no cumple, una de las estrategias es aumentar el canto (d) o la sección del pilar para reducir la concentración de tensiones.



$s_p = V_{pd} / (a \cdot b)$        $s_p = V_{pd} / [(d \cdot b') \cdot (d \cdot a')]$

### Verificación a Punzonamiento (E.L.U.)

**$V_{pd}$  (diseño)**

$$V_{pd} = \lambda \cdot \frac{N_p}{a \cdot b} \cdot [(a \cdot b) - (d+b') \cdot (d+a')]$$

$\lambda$  = Coeficiente de seguridad. Tabla 2.1. DB SE-C.

**$V_{pu}$  (resistencia)**

- $V_{pu1} = F_{cu} \cdot [1 + (2/\alpha)] \cdot S_p$
- $V_{pu2} = \sqrt{f_{cd}} \cdot S_p$

*Se tomará el menor de los dos valores.*

Elaboración Propia



# 03 Canto Mínimo para Carga Vertical Centrada

Punzonamiento. Análisis de la Rotura. Parámetros

## Mecanismo de Punzonamiento

El pilar tiende a perforar la zapata, separando una pirámide truncada central del resto de la base debido a la reacción del terreno.

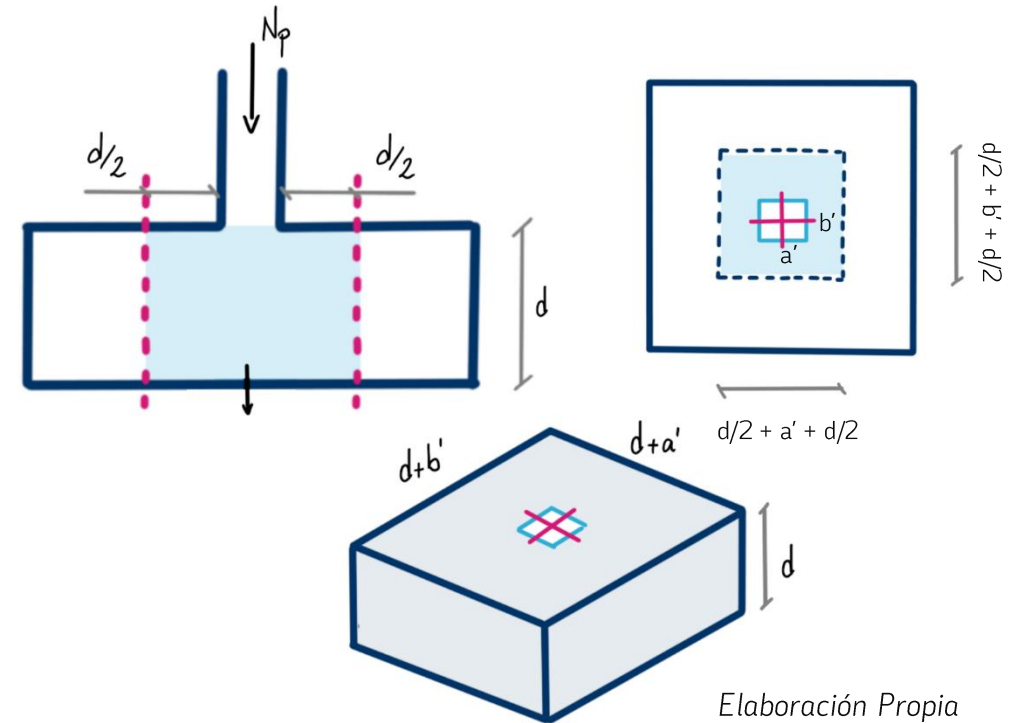
## El Cubo de Rotura

Se define por un perímetro crítico situado a una distancia  $d/2$  de las caras del pilar, donde se verifica que el hormigón resiste las tensiones tangenciales.



Para evitar la rotura por punzonamiento, se debe aumentar el canto "d" (incrementar la superficie resistente  $S_p$ ) o aumentar la sección del pilar (reducir la concentración de tensiones)

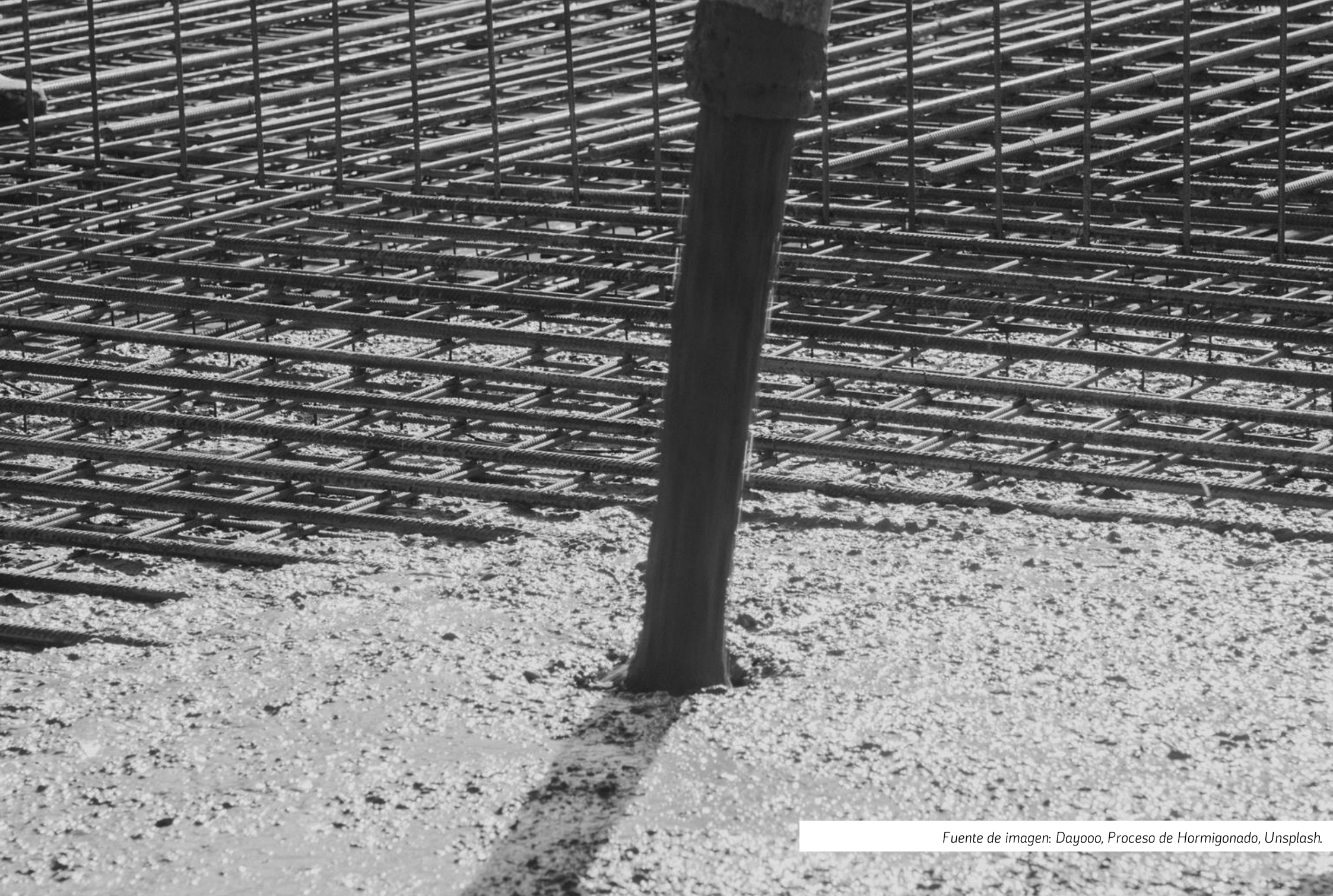
## Esquema del Cubo de Punzonamiento



$$S_p \text{ (superficie del perímetro crítico)} = 2d \cdot (2d + a' + b')$$

d: canto útil de la zapata       $d/2$ : distancia sección crítica





*Fuente de imagen: Dayooo, Proceso de Hormigonado, Unsplash.*



# 04 Cálculo Estructural (i)

Casística de Carga con Aplicación de Conceptos Previos

## Caso Práctico

### Datos de Partida:

- **Pilar:** 30cm x 30cm (*sección cuadrada*)
- **Carga ( $N_p$ ):** 800 kN (*vertical centrada*)
- **Tensión Admisible ( $\sigma_{adm}$ ):** 200 kN/m<sup>2</sup>
- **Materiales:**
  - Hormigón HA-25 (*densidad: 24 kN/m<sup>3</sup>*)
  - Acero B 500 S



### Hipótesis de Cálculo:

- Zapata aislada cuadrada ( $a=b$ )
- Peso propio + Relleno estimando un 10% de  $N_p$
- $N_{pp} + N_r = 0,10 N_p$

### P1 Resistencia de Cálculo del Hormigón ( $f_{cd}$ ):

$$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c = 25 / 1.50 = \mathbf{16.67 \text{ N/mm}^2}$$

### P2 Dimensionado en Planta (cargas sin mayorar):

$$a \geq \sqrt{(1,1 \cdot N_p / \sigma_{adm})}$$

Sustitución de Valores:

$$a \geq \sqrt{(1,1 \cdot 800 / 200)}$$

Resultado Matemático:

$$a \geq \sqrt{(4,40)} \approx 2,09 \text{ m}$$

Solución Constructiva:

Se redondea a una dimensión ejecutable fácilmente en obra (*múltiplo de 5 o 10 cm*).

$$\mathbf{a = 2,10 \text{ m}}$$



# 04 Cálculo Estructural (i)

Casística de Carga con Aplicación de Conceptos Previos

## Caso Práctico

### Resumen de Datos:

- **Planta Zapata:** 2,10 x 2,10 m (cuadrada)
- **Carga ( $N_p$ ):** 800 kN (vertical centrada)
- **Tensión Admisible ( $\sigma_{adm}$ ):** 200 kN/m<sup>2</sup>
- **Materiales:**
  - Hormigón HA-25 (densidad: 24 kN/m<sup>3</sup>)
  - Acero B 500 S



### Objetivos de esta Fase:

- Determinar el canto máximo (h)
- Clasificar la zapata (rígida/flexible)
- Verificar el canto mínimo por cortante (d)

### P3 Canto Máximo (geotécnico):

$$h \leq (\sigma_{adm} \cdot a^2 - N_p) / (\gamma \cdot a^2) = 0,77 \text{ m}$$

Se adopta **h = 0,75 m** para no sobrecargar el terreno.

### P4 Clasificación Estructural ( $v = 0,90$ m):

$$v (0,90) \leq 2h (1,50)$$

Se clasifica como **Zapata Rígida** y, aunque no requiere comprobación alguna, se procederá a determinar el canto mínimo frente a cortante y punzonamiento.

### P5 Comprobación a Cortante ( $V_{cd} \leq V_{cu}$ ):

$$548 - 609,5 \cdot d \leq 1029 \cdot d$$

¡Ojo! Aplicar el coeficiente de **mayoración de cargas**.

### P6 Canto Mínimo frente a Cortante:

$$d \geq 0,35 \text{ m}$$

Despejando 'd' de la ecuación de cortante:  $d \geq 0,33$  m.



# 04 Cálculo Estructural (i)

Casística de Carga con Aplicación de Conceptos Previos

## Caso Práctico

### Resumen de Datos:

- **Planta Zapata:** 2,10 x 2,10 m (cuadrada)
- **Pilar:** 30 x 30 cm (cuadrado)
- **Canto por Cortante:**  $d \geq 0,30$  m
- **Materiales:**
  - Hormigón HA-25 (densidad:  $24 \text{ kN/m}^3$ )
  - Acero B 500 S



### Verificación Punzonamiento:

$$V_{pd} \leq V_{pu}$$

- $V_{pd}$ : Punzonamiento de diseño.
- $V_{pu}$ : Resistencia del hormigón

### P7 Acción de Punzonamiento de Diseño ( $V_{pd}$ ):

$$V_{pd} = \lambda \cdot [800 \text{ kN}/(2,10 \text{ m})^2] \cdot [(2,10 \text{ m})^2 - (d+0,30 \text{ m})^2]$$

$\lambda$  = coeficiente de mayoración de cargas (1,60).

### P8 Resistencia a Punzonamiento ( $V_{pu}$ ):

$$V_{pu} = 1291 \cdot S_p = 1291 \cdot [4d(d+0,30)]$$

Considerando perímetro crítico:

$$S_p = 2(d+a')d + 2(d+b')d$$

### P9 Igualación a Punzonamiento ( $V_{pd} = V_{pu}$ ):

$$5454,24 d^2 + 1723,34 d - 1253,80 = 0$$

$$d \geq 0,35 \text{ m}$$

### P10 Definición del Canto Total (h):

$$h = d + r_{\text{nom}} = 0,35 + 0,05 = 0,40 \text{ m}$$

Se elige el **más restrictivo** entre cortante (0,35 m) y punzonamiento (0,35 m), más recubrimiento (CTE).



# 04 Cálculo Estructural (i)

Casística de Carga con Aplicación de Conceptos Previos

## Caso Práctico\_Conclusiones

1\_

Dimensionado en Planta:

$$a \geq \sqrt{(1,1 \cdot N_p / \sigma_{adm})}$$

(cargas sin mayorar)

2\_

Canto Máximo:

$$h \leq (\sigma_{adm} \cdot a^2 - N_p) / (\gamma \cdot a^2)$$

(límite capacidad portante)

3\_

Cortante:

$$V_{cd} \leq V_{cu}$$

(cargas mayoradas)

4\_

Punzonamiento:

$$V_{pd} \leq V_{pu}$$

(perímetro crítico  $d/2$ )

### Criterios de Selección:

#### Canto Máximo vs Mínimo:

- El máximo evita el fallo del terreno (*zapata rígida*).
- El mínimo evita el fallo de la estructura (*cortante, punzonamiento*).

#### Clasificación Estructural:

- Si  $V_{max} \leq 2h$ : Zapata Rígida
- Si se usa canto máximo, no se requiere comprobar cortante.

#### Optimización:

- Si se reduce el canto ( $h < h_{m\acute{a}x}$ ), es obligatorio verificar cortante y punzonamiento, así como armar a tracción.

### Resultados del Caso Práctico:

#### Dimensiones en Planta:

- $a = b = 2,10$  m

#### Canto Máximo (Rígida):

- $h \leq 0,75$  m

#### Canto Mínimo (Cortante):

- $d \geq 0,35$  m

#### Canto Mínimo (Punzonamiento):

- $d \geq 0,35$  m



Solución Final Adoptada (con recubrimiento):

Canto Total (h)  $\approx 0,40$  m



# 04 Cálculo Estructural (i)

Consideraciones Prácticas de Diseño y Ejecución

## Criterios de Diseño

- ✓ **Canto Máximo:** Determinado por la capacidad portante del terreno (*evitar el fallo*).
- ✓ **Canto Mínimo:** Condicionado por la estructura (*cortante y punzonamiento*).
- ✓ **Armado Base:** Se suele trabajar con barras de  $\Phi 12$  o superiores.



**Zapatas Combinadas:** El procedimiento de cálculo es análogo al de aisladas.

## Dimensionado

- ✓ **Modulación:** Optar por dimensiones en planta que sean múltiples de 5-10 cm.
- ✓ **Recubrimiento:** Mínimo de 5 cm para proteger la armadura, especialmente la inferior (*tracción*).
- ✓ **Geometría:** Salvo restricciones, preferiblemente cuadrada.



**Ejecución del Canto Mínimo:** Se recomienda que sea de **40 cm** para optimizar el proceso en obra.

## Ejecución en Obra

- ✓ **Hormigón de Limpieza:** Base de nivelación de 10 cm de espesor.
- ✓ **Profundidad Firme:** Comúnmente a 1,50 m bajo rasante.
- ✓ **Firme Superficial:** Si el firme no alcanza 1,50 m bajo rasante, requiere menor excavación y, por lo tanto, es más favorable.



**Firme Profundo:** Si el firme se encuentra a **más de 1,50 m bajo rasante**, se puede optar por rellenar con hormigón ciclópeo hasta cota de cimentación.



## RAZONAMIENTO



¿A qué equivale una carga vertical aplicada con una excentricidad?

# 05 Cálculo Estructural (ii)

Carga excéntrica sobre la Cimentación. Comprobación del Núcleo Central. Armaduras Necesarias.

## Condiciones del Axil Centrado:

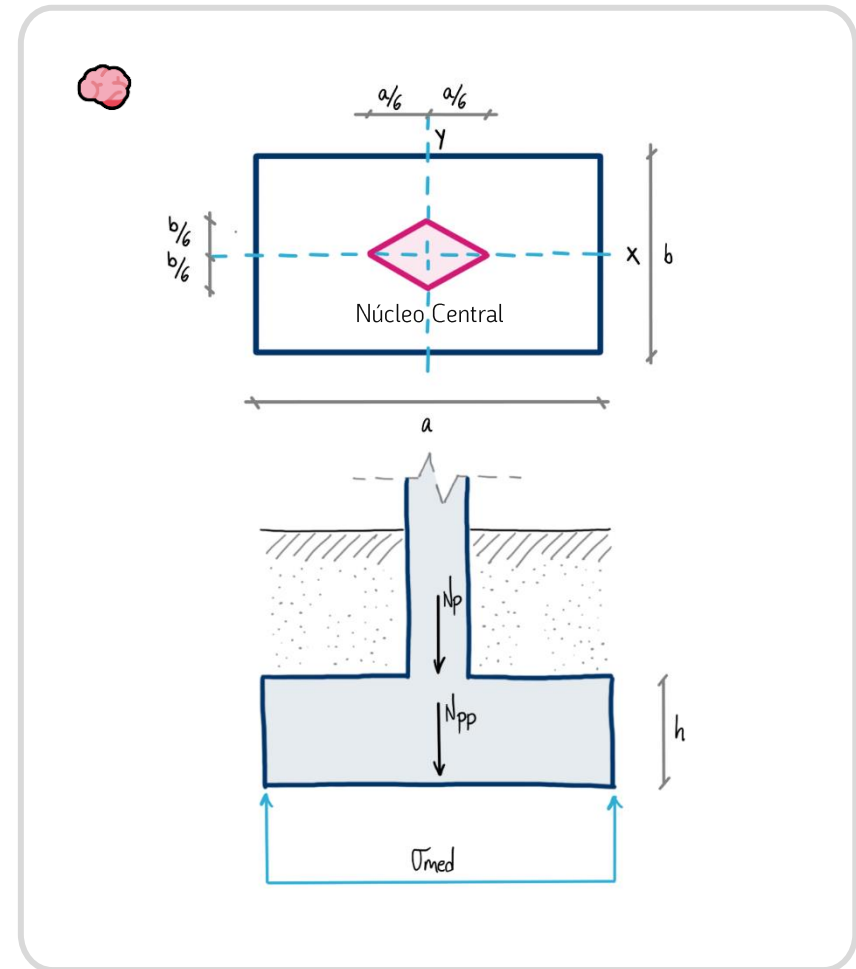
- ✓ No existen **momentos flectores** de desequilibrio transmitidos por el pilar.
- ✓ La resultante de las cargas ( $N_p + N_{pp}$ ) pasa exactamente por el **centro de gravedad** del cimiento.
- ✓ El valor de la excentricidad es nulo:  $e = M/N$ ;  $M = 0$ .

### Consideraciones de Cálculo:

$$\sigma = \sigma_{med} = N / a \cdot b \leq \sigma_{adm}$$

**¡Ojo!** La presión se distribuye de manera uniforme bajo toda la superficie de contacto. Por lo tanto, **la presión media coincide con la presión máxima.**

Axil Centrado: Resultante en el C.D.G.  
*Elaboración Propia*



# 05 Cálculo Estructural (ii)

Carga excéntrica sobre la Cimentación. Comprobación del Núcleo Central. Armaduras Necesarias.

## Condiciones de la Flexión Compuesta:

- ✓ Bajo un estado de flexión compuesta, las tensiones en cada punto del cimiento, quedan definidas por la siguiente ecuación:

Tensiones en Cada Punto:

$$\sigma = (N_1 / a \cdot b) \pm (M_y x / I_y) \pm (M_x y / I_x)$$

- ✓ Por otro lado, el valor de las tensiones extremas viene dada por la siguiente expresión:

Tensiones Extremas:

$$\sigma_{\text{máx}} = (N_1 / a \cdot b) \pm (6 \cdot e_x \cdot N_1 / a^2 \cdot b) \pm (6 \cdot e_y \cdot N_1 / b^2 \cdot a)$$

donde:

- $e_x = M_y / N_1$        $e_y = M_x / N_1$

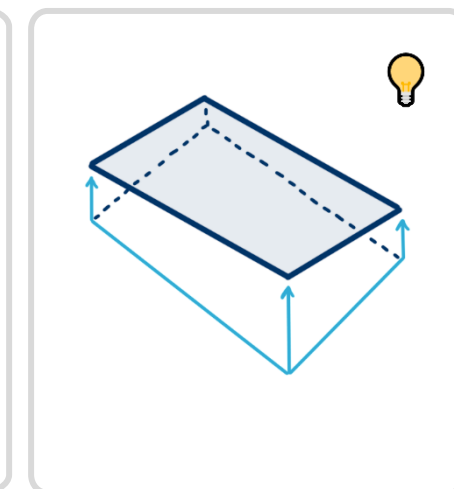
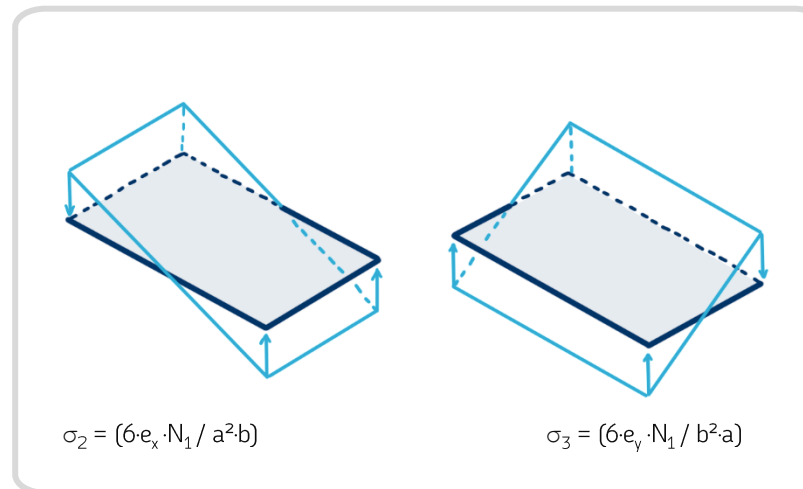
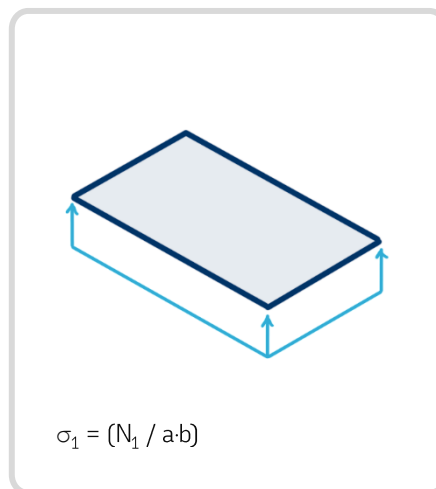
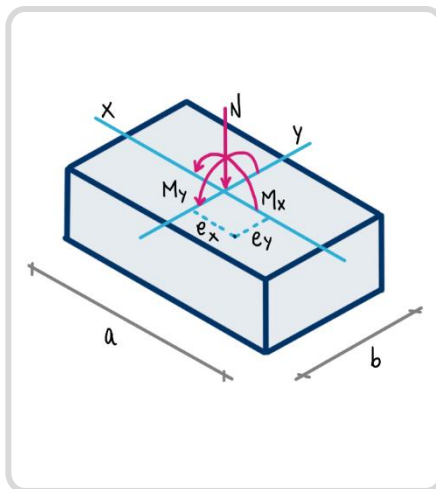
Representación del Estado de Flexión Compuesta

Elaboración Propia

- ✓ Se admite en los bordes un aumento del 25%, siempre que la presión en el centro de gravedad no supere la presión admisible:

$$\sigma_{\text{máx}} \leq 1,25 \sigma_{\text{adm}}$$

$$\sigma_{\text{cdg}} \leq \sigma_{\text{adm}}$$



# 05 Cálculo Estructural (ii)

Carga excéntrica sobre la Cimentación. Comprobación del Núcleo Central. Armaduras Necesarias.

## La Ecuación de la Flexión Compuesta

Si alguno de los valores de las tensiones extremas fuese negativo significaría que, entre el cimiento y el terreno, se producen tracciones que el terreno no es capaz de absorber, dando lugar a un **levantamiento del cimiento**.

Para evitar esta separación y **garantizar** que sea aplicable la ecuación de la flexión compuesta, la carga excéntrica debe quedar dentro del núcleo central, o lo que es lo mismo:

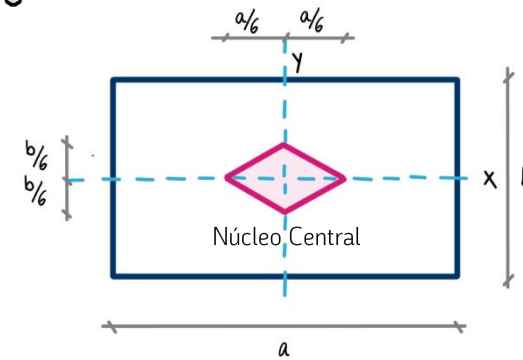
Verificación:



$$(6 \cdot e_x / a) + (6 \cdot e_y / b) \leq 1$$

\*los valores de las excentricidades son absolutos.

Así pues, en este caso toda el área del cimiento está **activo**.



Flexión Compuesta: Núcleo Central  
Elaboración Propia

**¡Ojo!** Si no se cumple el criterio de verificación,

$$(6 \cdot e_x / a) + (6 \cdot e_y / b) > 1$$

existirá una zona del cimiento inactivo y, por lo tanto, no es aplicable la ecuación de la flexión compuesta.



## RAZONAMIENTO



¿Cuántas distribuciones de presiones se van a distinguir en función de la excentricidad?

# 05 Cálculo Estructural (ii)

Carga excéntrica sobre la Cimentación. Comprobación del Núcleo Central. Armaduras Necesarias.

Excentricidad  $\leq a/6$  (Eje X):

✓ La resultante queda dentro del núcleo central:

Criterio de Verificación:

$$e_x = M_x / N_x \quad e_x \leq a/6$$

¡Ojo! Se debe comprobar la presión máxima y media sobre el terreno:

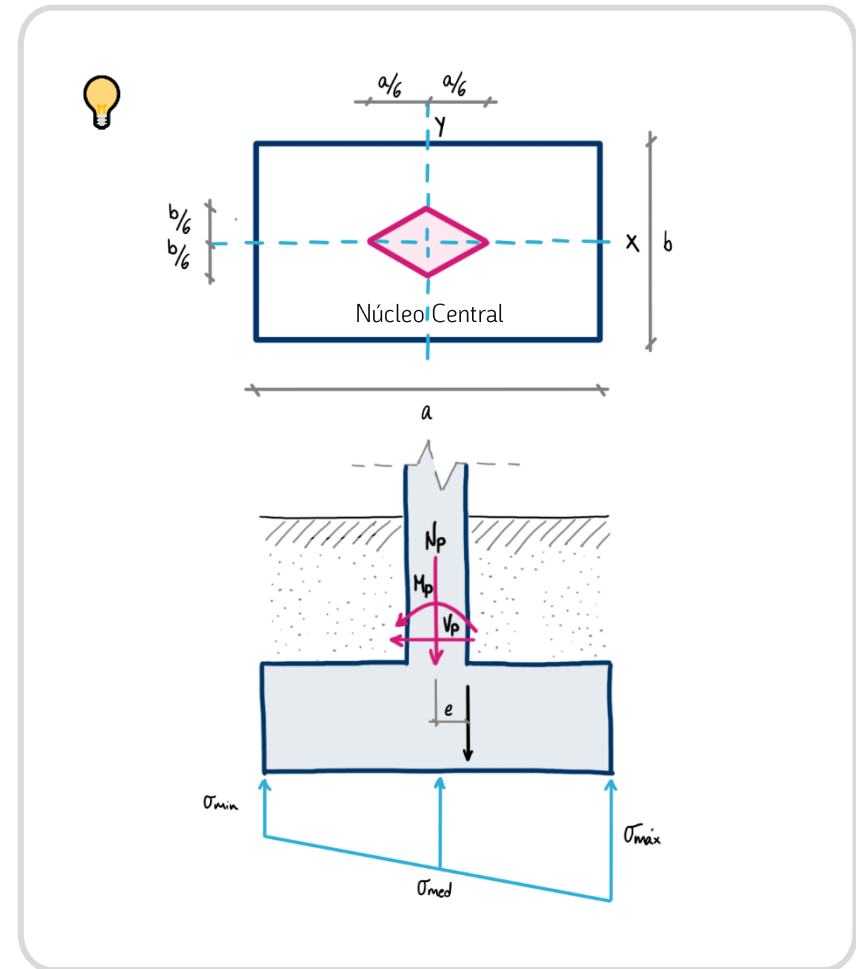
$$\sigma_{\text{máx}} \leq 1,25\sigma_{\text{adm}} \quad \sigma_{\text{med}} \leq \sigma_{\text{adm}}$$

Tensiones en Cada Punto:

$$\sigma = (N_1 / a \cdot b) \pm (M_y x / I_y) \pm (M_x y / I_x)$$

El valor de la presión máxima y mínima se define a partir de las siguientes ecuaciones:

$$\sigma_{\text{máx}} = (N_1 / a \cdot b) + (6 \cdot e_x \cdot N_1 / a^2 \cdot b) \quad \sigma_{\text{mín}} = (N_1 / a \cdot b) - (6 \cdot e_x \cdot N_1 / a^2 \cdot b)$$



Flexión Compuesta: Excentricidad Reducida  
Elaboración Propia



# 05 Cálculo Estructural (ii)

Carga excéntrica sobre la Cimentación. Comprobación del Núcleo Central. Armaduras Necesarias.

Excentricidad  $> a/6$  (Eje X):

✓ La resultante queda dentro del núcleo central:

Criterio de Verificación:

$$e_x = M_x / N_x \quad e_x > a/6$$

¡Ojo! A la hora de dimensionar el cimiento, para la casuística de excentricidad elevada, será necesario plantear el equilibrio, entre la carga axil y la resultante de presiones del terreno (*piramidal*).

Igualmente, debe comprobarse que:

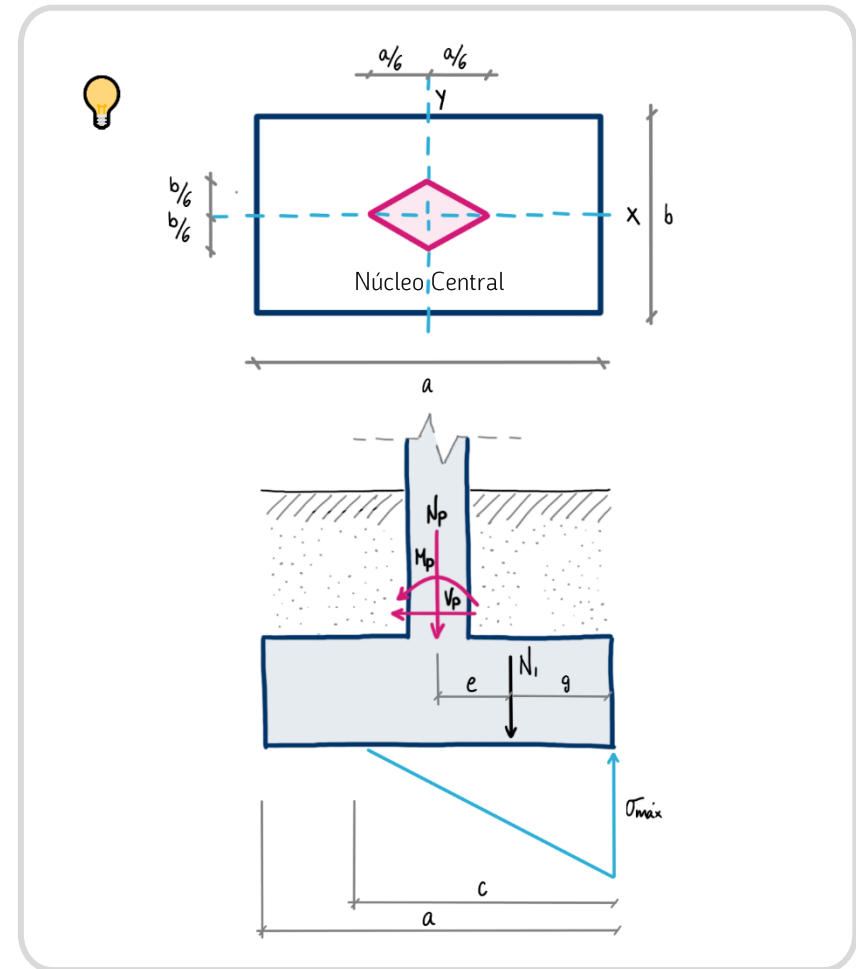
$$\sigma_{\text{máx}} \leq 1,25\sigma_{\text{adm}} \quad \sigma_{\text{med}} \leq \sigma_{\text{adm}}$$

El valor de la presión máxima se define a partir de la siguiente ecuación:

$$\sigma_{\text{máx}} = (N_1 / a \cdot b) + (6 \cdot e_x \cdot N_1 / a^2 \cdot b)$$

donde:

$$N = (\sigma_{\text{máx}} \cdot C / 2) \cdot b \quad g = (C / 3) = (a / 2) - e_x \quad C = (3a / 2) - 3e_x$$



Flexión Compuesta: Excentricidad Elevada  
Elaboración Propia



# 05 Cálculo Estructural (ii)

Carga excéntrica sobre la Cimentación. Comprobación del Núcleo Central. Armaduras Necesarias.

## Excentricidad (Ejes X Y):

- ✓ Cuando la resultante de las acciones sea excéntrica respecto al centro geométrico del cimiento, **debe adoptarse un cimiento equivalente** (CTE DB SE-C).

### Condición Geométrica:

$$a' = a - (2 \cdot e_a)$$

$$b' = b - (2 \cdot e_b)$$

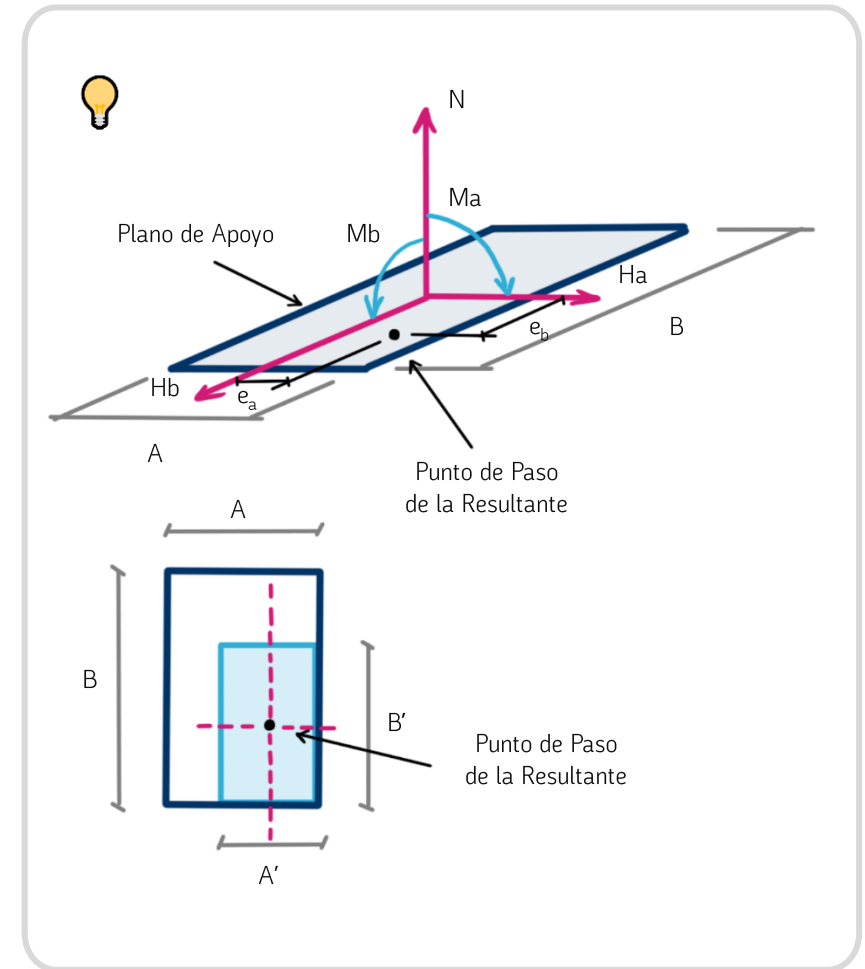
donde:

- $e_a = M_a / N$        $e_b = M_b / N$

siendo ambas las excentricidades de los momentos  $M_a$  (en el eje X) y  $M_b$  (en el eje Y)

### Verificación:

$$\sigma = N / a' \cdot b' \leq \sigma_{adm}$$



Área Equivalente de un Cimiento  
Elaboración Propia



# 05 Cálculo Estructural (ii)

Carga excéntrica sobre la Cimentación. Comprobación del Núcleo Central. Armaduras Necesarias.

## Excentricidad (Ejes X Y):

- ✓ Según el CTE DB SE-C, en zapatas **rectangulares** se podrá tomar como sección equivalente la sección real si la excentricidad de la resultante es **menor de 1/20 del lado** respectivo.

Condición Geométrica:

$$a \cdot b = a' \cdot b'$$

donde:

- $e_a = M_a / N$        $e_b = M_b / N$

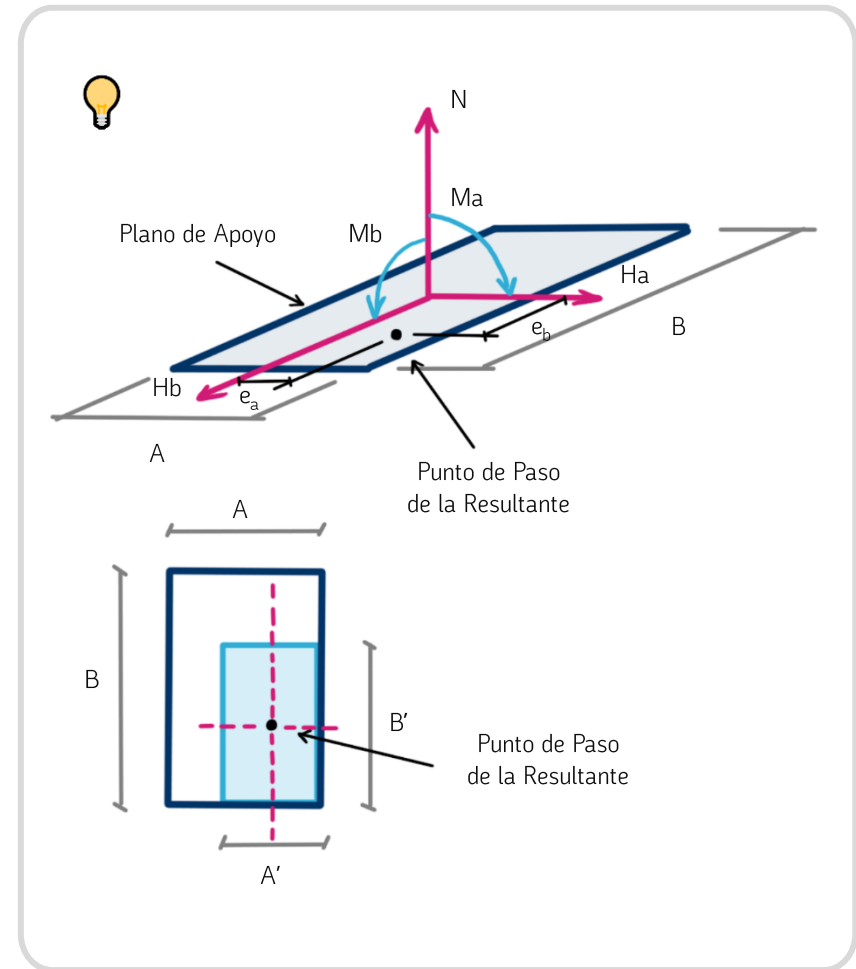
siendo ambas las excentricidades de los momentos  $M_a$  (en el eje X) y  $M_b$  (en el eje Y)

$$e_x \leq a/20$$

$$e_y \leq b/20$$

Verificación:

$$\sigma = N / a \cdot b \leq \sigma_{adm}$$



Área Equivalente de un Cimiento  
Elaboración Propia



# 05 Cálculo Estructural (ii)

Carga excéntrica sobre la Cimentación. Comprobación del Núcleo Central. Armaduras Necesarias.

## Caso Práctico

### Datos de Partida:

- **Carga ( $N_p$ ):** 800 kN (*vertical centrado*)
- **Momento ( $M_x$ ):** 60 kNm (*eje X*)
- **Lado Zapata:** 220 cm (*sección cuadrada*)
- **Canto Zapata:** 60cm
- **Tensión Admisible ( $\sigma_{adm}$ ):** 200 kN/m<sup>2</sup>
- **Materiales:**
  - Hormigón HA-25 (*densidad: 24 kN/m<sup>3</sup>*)
  - Acero B 400 SD



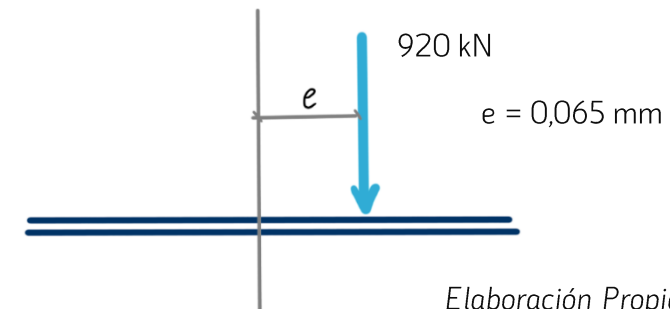
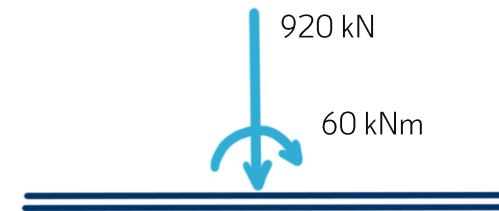
### Hipótesis de Cálculo:

- Zapata aislada cuadrada ( $a=b$ )
- Peso propio + Relleno estimando un 15% de  $N_p$
- $N_{pp} + N_r = 0,15 N_p$

### P1 Comprobación del Núcleo Central:

$$(6 \cdot e_x / a) \leq 1 \rightarrow (6 \cdot 0,065 / 2,20) = 0,17 \leq 1$$

No se da lugar al levantamiento del cimiento (*todo el terreno sometido a compresión*) y, por lo tanto, es aplicable la ecuación de la flexión compuesta.



# 05 Cálculo Estructural (ii)

Carga excéntrica sobre la Cimentación. Comprobación del Núcleo Central. Armaduras Necesarias.

## P2 Ley de Tensiones en el Terreno (Opción 01):

- $\sigma_1 = N / a \cdot b = 920 \text{ kN} / (2,20 \text{ m})^2 = 190,10 \text{ kN/m}^2$
- $\sigma_2 = M \cdot y / I = 60 \text{ kNm} \cdot 1,10 \text{ m} / 1/12 \cdot b \cdot h^3 = 33,81 \text{ kN/m}^2$

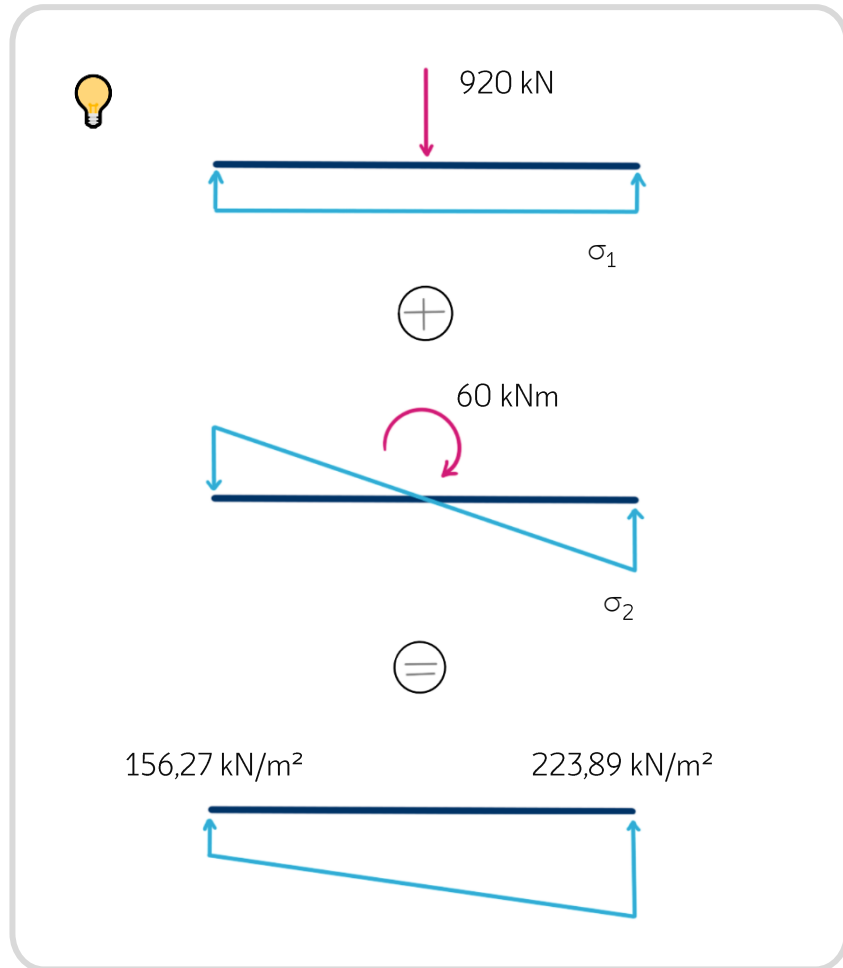
donde:

- $\sigma$ : tensión normal       $M$ : momento flector
- $y$ : distancia al eje neutro       $I$ : momento de inercia

## P2 Ley de Tensiones en el Terreno (Opción 02):

- $\sigma_{\text{máx}} = (N_1 / a \cdot b) + (6 \cdot e_x \cdot N_1 / a^2 \cdot b) = 223,89 \text{ kN/m}^2 \leq 1,25 \sigma_{\text{adm}}$
- $\sigma_{\text{med}} = (N_1 / a \cdot b) = 190,10 \text{ kN/m}^2 \leq \sigma_{\text{adm}}$
- $\sigma_{\text{min}} = (N_1 / a \cdot b) - (6 \cdot e_x \cdot N_1 / a^2 \cdot b) = 156,27 \text{ kN/m}^2$

## Caso Práctico



Flexión Compuesta: Excentricidad Reducida  
Elaboración Propia



# 05 Cálculo Estructural (ii)

Carga excéntrica sobre la Cimentación. Comprobación del Núcleo Central. Armaduras Necesarias.

## P2 Ley de Tensiones en el Terreno (Opción 01):

- $\sigma_1 = N / a \cdot b = 920 \text{ kN} / (2,20 \text{ m})^2 = 190,10 \text{ kN/m}^2$
- $\sigma_2 = M \cdot y / I = 60 \text{ kNm} \cdot 1,10 \text{ m} / 1/12 \cdot b \cdot h^3 = 33,81 \text{ kN/m}^2$

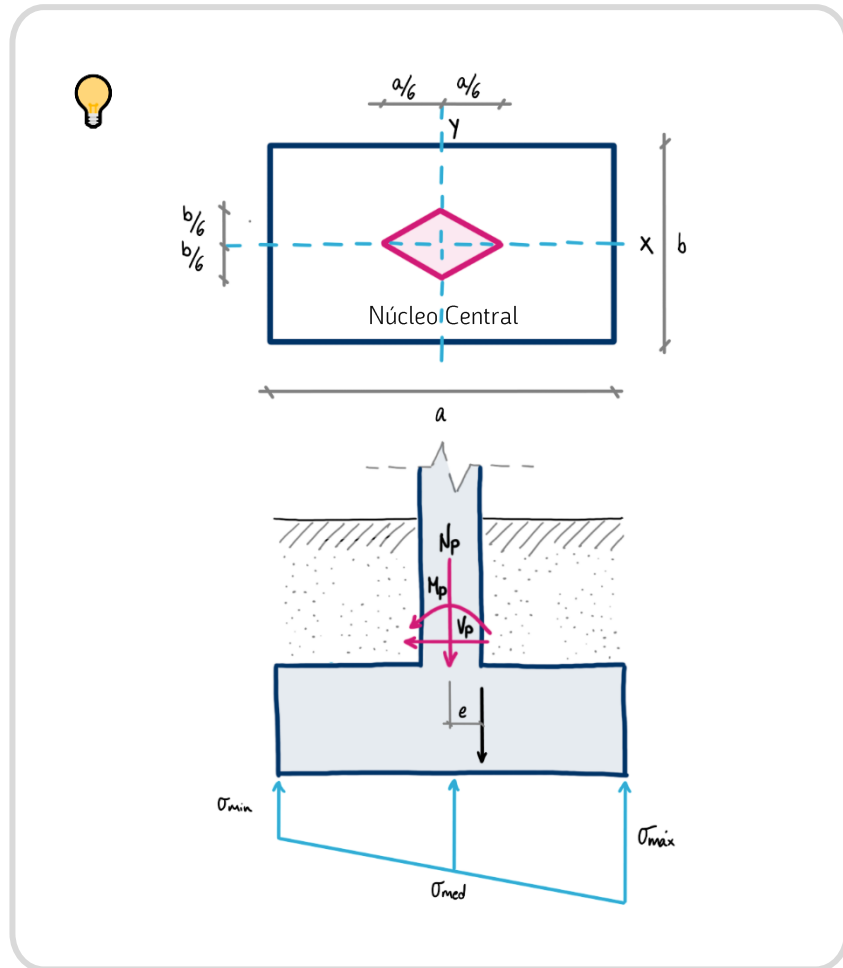
donde:

- $\sigma$ : tensión normal       $M$ : momento flector
- $y$ : distancia al eje neutro       $I$ : momento de inercia

## P2 Ley de Tensiones en el Terreno (Opción 02):

- $\sigma_{\text{máx}} = (N_1 / a \cdot b) + (6 \cdot e_x \cdot N_1 / a^2 \cdot b) = 223,89 \text{ kN/m}^2 \leq 1,25 \sigma_{\text{adm}}$
- $\sigma_{\text{med}} = (N_1 / a \cdot b) = 190,10 \text{ kN/m}^2 \leq \sigma_{\text{adm}}$
- $\sigma_{\text{mín}} = (N_1 / a \cdot b) - (6 \cdot e_x \cdot N_1 / a^2 \cdot b) = 156,27 \text{ kN/m}^2$

## Caso Práctico



Flexión Compuesta: Excentricidad Reducida  
Elaboración Propia

# 05 Cálculo Estructural (ii)

Carga excéntrica sobre la Cimentación. Comprobación del Núcleo Central. Armaduras Necesarias.

## P3 Dimensionamiento del Armado (sección referencia):

$$M_d = \lambda \cdot [(\sigma_1 \cdot \text{área} \cdot d_1) + (\sigma_2 \cdot \text{área} \cdot d_2)]$$

donde:

- $\sigma$ : tensión normal     $d$ : distancia sección referencia
- $\lambda$ : coeficiente de mayoración de cargas

$$\begin{aligned} M_d &= 1,50 \cdot [(190,10 \cdot (1,10 \cdot 2,20) \cdot 0,55) + \\ &(33,81 \cdot (\frac{1}{2} \cdot 1,10 \cdot 2,20) \cdot (\frac{2}{3} \cdot 1,10))] \\ &= \mathbf{424,50 \text{ kNm}} \end{aligned}$$

## La Sección Resistente:



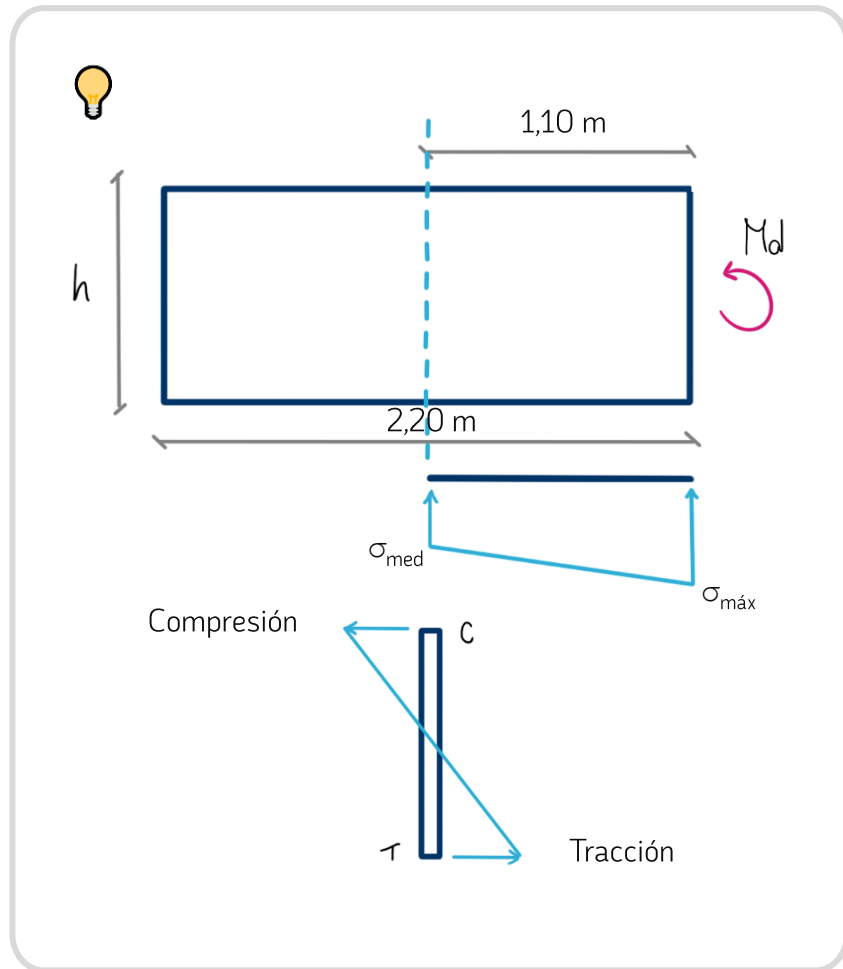
La sección resistente está solicitada únicamente por un **momento flector** (*flexión simple*).

Por lo tanto, se considera que el bloque de compresión/fuerza total de compresión (C) es igual a la fuerza total de tracción (T).

Se considera:

$$C = T$$

## Caso Práctico



Sección de Referencia  
Elaboración Propia



# 05 Cálculo Estructural (ii)

Carga excéntrica sobre la Cimentación. Comprobación del Núcleo Central. Armaduras Necesarias.

## P4 Dimensionamiento del Armado (sección resistente):

Bloque de Compresión:

$$C = b \cdot x \cdot f_{cd}$$

Fuerza de Compresión:

$$T = A_s \cdot f_{yd}$$

donde:

- $f_{cd}$ : tensión de cálculo del hormigón
- $\gamma_c$ : coeficiente parcial de seguridad (1,50)
- $f_{yd}$ : tensión de cálculo del acero
- $\gamma_s$ : coeficiente parcial de seguridad (1,15)

**¡Ojo!** De toda la sección del cimiento, las armaduras son las que trabajan a tracción, por ello, el canto útil estimado es:

$$h' = h - \text{recubrimiento} = 0,60 - 0,05 = 0,55\text{m}$$

Verificación del Momento Flector:



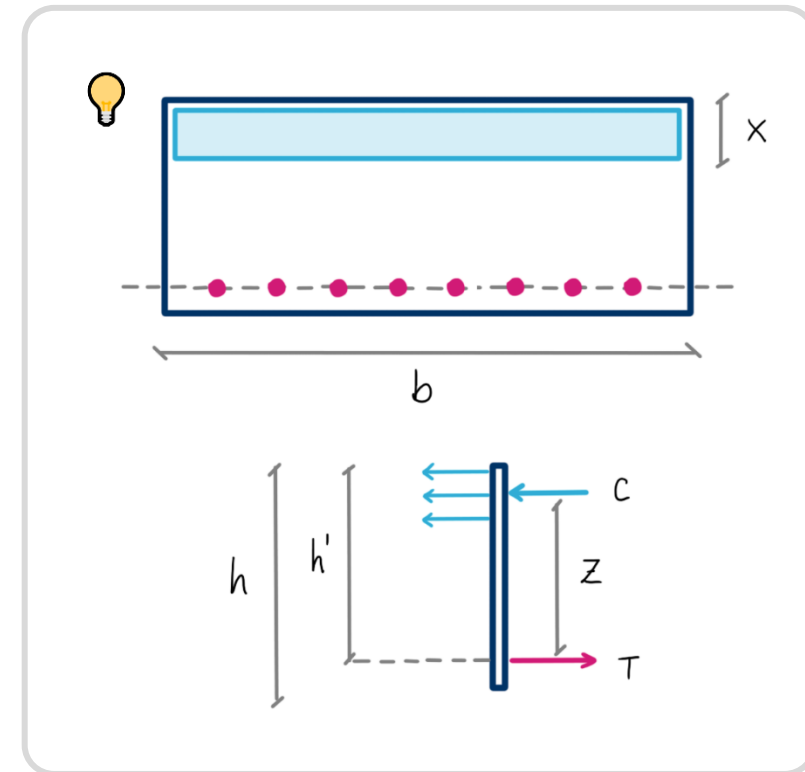
$$M_d \leq M_u \rightarrow M_d = M_u$$

$$M_d = M_u = T \cdot z = T \cdot \left(h' - \frac{x}{2}\right)$$

donde:

- $M_d$ : Momento Flector de Diseño
- $M_u$ : Momento Flector Último Resistente

## Caso Práctico



Sección Resistente  
Elaboración Propia



# 05 Cálculo Estructural (ii)

Carga excéntrica sobre la Cimentación. Comprobación del Núcleo Central. Armaduras Necesarias.

## Caso Práctico

### Datos de Partida:

- Carga ( $N_p$ ): 800 kN (vertical centrado)
- Momento ( $M_x$ ): 60 kNm (eje X)
- Lado Zapata: 220 cm (sección cuadrada)
- Canto Zapata: 60cm
- Tensión Admisible ( $\sigma_{adm}$ ): 200 kN/m<sup>2</sup>
- Materiales:
  - Hormigón HA-25 (densidad: 24 kN/m<sup>3</sup>)
  - Acero B 400 SD



### Resultado:

- Armado y Separación (Diseño):  
**12Φ16 / cada 19cm**
- Armado y Separación (Ejecución):  
**Φ16 / cada 20cm**

**P5** Dimensionamiento del Armado (área de acero necesaria):

•  $C = T$

$$\frac{25}{1,50} \cdot 2200 \cdot x = A_s \cdot \frac{400}{1,15}$$

•  $M_d = M_u$

$$424,50 \cdot 10^6 = A_s \cdot \frac{400}{1,15} \cdot \left(550 - \frac{x}{2}\right)$$

**P6** Dimensionamiento del Armado ( $n^\circ$  barras):

•  $x = 21,50 \text{ mm}$        $A_s = 2263 \text{ mm}^2$

¡Ojo! Por criterio de diseño, se opta por barras del  $\Phi 16$ mm.

- $N^\circ \text{barras} = A_s / \pi \cdot r^2$
- $N^\circ \text{barras} \approx \mathbf{12 \text{ barras}}$

**P7** Dimensionamiento del Armado (separación):

- $S = L - (2 \cdot \text{recubrimiento}) / (n^\circ \text{barras} - 1)$
- Separación = **19 cm**



# REFERENCIAS

1. Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado. (2021). *Real Decreto 470/2021, de 29 de junio, por el que se aprueba el Código Estructural*. Boletín Oficial del Estado.
2. Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado. (2024). *Corrección de errores del Real Decreto 470/2021, de 29 de junio, por el que se aprueba el Código Estructural*. Boletín Oficial del Estado.
3. AENOR. (2021). *UNE-EN 206:2013+A2:2021. Hormigón. Especificaciones, prestaciones, producción y conformidad*. AENOR.
4. AENOR. (2022). *UNE-EN 206:2013+A2:2021/1M:2022. Hormigón. Especificaciones, prestaciones, producción y conformidad. Complemento nacional a la UNE-EN 206:2013+A2:2021*. AENOR.
5. AENOR. (2013). *UNE-EN 13670:2013. Ejecución de estructuras de hormigón (versión corregida en 2015)*. AENOR.
6. AENOR. (2009). *UNE-EN 12620:2003+A1:2009. Áridos para hormigón*. AENOR.
7. AENOR. (2003). *UNE-EN 13139:2003. Áridos para morteros*. AENOR.
8. AENOR. (2013). *UNE-EN 1992-1-1:2013. Eurocódigo 2: Proyecto de estructuras de hormigón. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificación (versión corregida en 2020)*. AENOR.
9. Dirección General de Carreteras. (2023). *Guía para las especificaciones técnicas del hormigón*. Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible.
10. Dirección General de Carreteras. (2023). *Guía para la determinación de recubrimientos en estructuras de hormigón*. Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible.
11. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2026). *II Plan de Acción de Economía Circular 2024–2026*. MITECO.
12. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2026). *Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (PEMAR) 2025–2035*. Boletín Oficial del Estado.
13. International Energy Agency. (2023). *Cement*. IEA.



# REFERENCIAS

14. Global Cement and Concrete Association. (2021). *Concrete Future: The GCCA 2050 cement and concrete industry roadmap for net zero concrete*. GCCA.
15. Marmier, A. (2023). *Decarbonisation options for the cement industry*. Publications Office of the European Union.
16. Ortiz, J. M. R., Gesta, J. S., & Mazo, C. O. (1993). *Curso aplicado de cimentaciones*.
17. Piqueras, V. Y. (2019, enero 9). Concepto y clasificación de las cimentaciones. El blog de Víctor Yepes. <https://victoryepes.blogs.upv.es/2019/01/09/concepto-y-clasificacion-de-las-cimentaciones/>
18. Rojas, A. L., Chavarría, S. L., Elizondo, M. M., Rivas, R. S., & Montemayor, O. M. F. (2020). An analytical model for the design of corner combined footings. *Revista de La Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de La Construcción*, 10(3), 317-335.
19. Caballero, J. G. (s. f.). *DISEÑO Y CÁLCULO DE ESTRUCTURAS DE CIMENTACIÓN Y CONTENCIÓN*.
20. Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado. (2021). *Real Decreto 470/2021, de 29 de junio, por el que se aprueba el Código Estructural*. Boletín Oficial del Estado. <https://www.boe.es/boe/dias/2021/08/10/pdfs/BOE-A-2021-13681.pdf>
21. Lombardi, T. (2009). *PCII PROCESOS CONSTRUCTIVOS*.
22. Piqueras, V. Y. (2019, marzo 29). La zapata aislada. *El blog de Víctor Yepes*. <https://victoryepes.blogs.upv.es/2019/03/29/la-zapata-aislada/>
23. Piqueras, V. Y. (2022, enero 10). Zapatas de medianería y de esquina. *El blog de Víctor Yepes*. <https://victoryepes.webs.upv.es/2022/01/10/zapatas-de-medianeria-y-de-esquina/>
24. Zapata de medianería archivos. (2025, julio 21). *El blog de Víctor Yepes*. <https://victoryepes.blogs.upv.es/tag/zapata-de-medianeria/>
25. Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado. (2008). *Real Decreto 1247/2008, de 18 de julio, por el que se aprueba la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08)*. Boletín Oficial del Estado. <https://www.boe.es/boe/dias/2008/08/22/pdfs/A35176-35219.pdf>
26. Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado. (2008). *Corrección de errores del Real Decreto 1247/2008, de 18 de julio, por el que se aprueba la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08)*. Boletín Oficial del Estado. <https://www.boe.es/boe/dias/2008/12/24/pdfs/A51902-51902.pdf>
27. Ministerio de Vivienda. (2006). *Documento Básico SE-C: Seguridad estructural. Cimientos*. Código Técnico de la Edificación. <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/SE/DBSE-C.pdf>





UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA

| E.T.S. DE ARQUITECTURA

# DISEÑO, DIMENSIONAMIENTO Y CASOS PRÁCTICOS DE CIMENTACIONES SUPERFICIALES

SESIÓN 2  
2025-2026

Grado en Fundamentos de Arquitectura  
Área de Construcciones Arquitectónicas  
Asignatura de Estructura V

© Alejandro Morales-Ruiz y Carmen Díaz-López, 2026. Universidad de Málaga.  
Material docente para uso académico.

Cítese como:

- Morales-Ruiz, A. y Díaz-López, C., (2026). *Diseño, Dimensionamiento y Casos Prácticos de Cimentaciones Superficiales*. Estructura V. Universidad de Málaga.

Las imágenes y materiales de terceros conservan sus respectivas licencias.

Licencia: CC BY, CC BY-NC.