

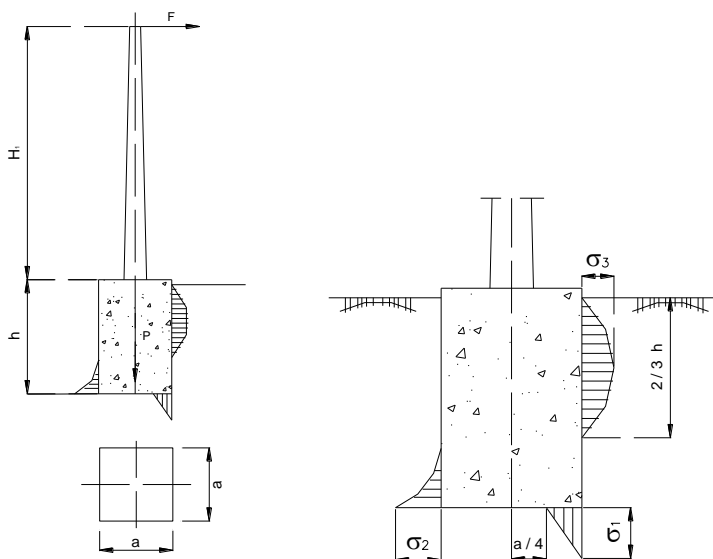
## **ANEXO B6**

### **TEORÍA DE CÁLCULO DE CIMENTACIONES**

## B6.1 TEORÍA DE CÁLCULO DE CIMENTACIONES

### B6.1.1 MÉTODO DE SULZBERGER

Figura B6.1. Cimentación



El momento estabilizador se calcula de la siguiente manera:

- Cimentaciones directamente empotradas ó monobloque cilíndricas

$$M_e = \frac{a \cdot h^3}{52,8} \cdot C_h \cdot \tan(\alpha) + c \cdot a \cdot P$$

siendo:

- $M_e$ : Momento estabilizador total (daN.m).  
 $a$ : Diámetro de la cimentación (m).  
 $h$ : Profundidad de la cimentación (m).  
 $C_h$ : Coeficiente de compresibilidad del terreno en las paredes laterales a  $h$  metros de profundidad (daN/m<sup>3</sup>).  
 $\alpha$ : Ángulo de rotación admisible (°).  
 $c$ : coeficiente en función de la tangente de  $\alpha$ . En los cálculos realizados en este proyecto, es decir, para  $\tan(\alpha) = 0,01$  el coeficiente  $c$  tendrá el valor 0,375.  
 $P$ : Esfuerzo vertical resultante en la que se incluye peso propio del poste, peso propio del macizo de hormigón y cargas verticales por conductores y retenidas (daN).

- Cimentaciones monobloque prismáticas

$$M_e = \frac{a \cdot h^3}{36} \cdot C_h \cdot \tan(\alpha) + P \cdot \left( \frac{a}{2} - \frac{\sqrt{2}}{3} \cdot \sqrt{\frac{P}{a \cdot C_k \cdot \tan(\alpha)}} \right)$$

donde:

- M<sub>e</sub>:** Momento estabilizador total (daN.m).  
**a:** Anchura del macizo en la dirección transversal del esfuerzo F (m).  
**h:** Profundidad del macizo (m).  
**C<sub>h</sub>:** Coeficiente de compresibilidad del terreno en las paredes laterales del macizo a h metros de profundidad (daN/m<sup>3</sup>).  
**α:** Ángulo de rotación admisible (°).  
**P:** Esfuerzo vertical resultante en el que se incluye peso propio del poste, peso propio del macizo de hormigón y cargas verticales por conductores y retenidas (daN).  
**C<sub>k</sub>:** Coeficiente de compresibilidad del terreno en el fondo del macizo a k metros de profundidad (daN/m<sup>3</sup>).

Las presiones transmitidas por la cimentación al terreno (expresadas en daN/cm<sup>2</sup>) vendrán dadas por las siguientes expresiones:

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot C_k \cdot P \cdot \tan(\alpha)}{a}}$$

$$\sigma_3 = \frac{\tan(\alpha) \cdot C_h \cdot h}{3}$$

$$\sigma_2 = \frac{\sigma_3}{3}$$

## B6.2 CÁLCULO DEL SOLADO BASE

Se debe cumplir que:

$$\sigma_{adm} \geq \frac{P}{A_s}$$

siendo:

- σ<sub>adm</sub>:** Capacidad portante del terreno (daN/cm<sup>2</sup>)  
**P:** Peso total en la base del poste (daN).  
**A<sub>s</sub>:** Área del solado base (cm<sup>2</sup>).

### B6.3 CÁLCULO DEL PESO DE LA TIERRA GRAVANTE

Se denomina volumen de tierra gravante al tronco de cono que forma la cimentación con el volumen de tierra que tiende a moverse junto con el macizo de concreto. Para el caso de las cimentaciones prismáticas el peso de este volumen viene dado por la siguiente expresión:

$$G_t = \gamma_t \cdot \left[ \frac{h}{3} \cdot (b^2 + b \cdot \sqrt{s} + s) - h \cdot b^2 \right]$$

con:

$$s = [b + 2 \cdot h \cdot \tan(\beta)]^2$$

donde:

- $G_t$ : Peso de la tierra gravante (daN).
- $\gamma_t$ : Peso específico del terreno (daN/m<sup>3</sup>).
- $b$ : Anchura del macizo en la dirección transversal del esfuerzo  $F$  (m).
- $h$ : Profundidad del macizo (m).
- $\beta$ : Ángulo de tierra gravante (°)

### B6.4 CÁLCULO DEL PESO DE LA NAPA DE AGUA

Cuando la profundidad de la cimentación supere la napa de agua, se calculará la subpresión debida al peso del líquido desalojado. En el caso de cimentaciones prismáticas este peso se determinará por medio de la siguiente expresión:

$$G_a = \gamma_a \cdot \left[ \frac{(h-h_a)}{3} \cdot (b^2 + b \cdot \sqrt{s} + s) \right]$$

con:

$$s = [b + 2 \cdot (h-h_a) \cdot \tan(\beta)]^2$$

donde:

- $G_a$ : Peso de la napa de agua (daN).
- $\gamma_a$ : Peso específico del agua (daN/m<sup>3</sup>).
- $b$ : Anchura del macizo en la dirección transversal del esfuerzo  $F$  (m).
- $h$ : Profundidad del macizo (m).
- $h_a$ : Altura de la napa de agua (nivel freático) (m).
- $\beta$ : Ángulo de tierra gravante (°)

## B6.5 CÁLCULO DE CIMENTACIONES EN TERRENOS FLOJOS

Para el cálculo de cimentaciones en terrenos flojos con napa de agua, debe seguirse el siguiente procedimiento:

- a) Calcular el Momento de vuelco ( $M_v$ ):

Si se cumple que

$$\frac{6 \cdot \mu \cdot P}{a \cdot h^2 \cdot C_h} > 0,01$$

entonces

$$M_v = F \cdot (H_l + h)$$

de lo contrario

$$M_v = F \cdot \left( H_l + \frac{2}{3} \cdot h \right)$$

- b) Calcular el Momento estabilizador debido a las reacciones horizontales del terreno sobre las paredes del macizo ( $M_{eh}$ ):

Si se cumple que

$$\frac{6 \cdot \mu \cdot P}{a \cdot h^2 \cdot C_h} > 0,01$$

Entonces

$$M_{eh} = \frac{a \cdot h^3}{12} \cdot C_h \cdot \tan(\alpha)$$

en caso contrario

$$M_{eh} = \frac{a \cdot h^3}{36} \cdot C_h \cdot \tan(\alpha)$$

- c) Calcular el Momento estabilizador debido a las reacciones verticales del terreno sobre el fondo del macizo ( $M_{ev}$ ):

Si se cumple que

$$\frac{2 \cdot P}{a^3 \cdot C_k} > 0,01$$

entonces

$$M_{ev} = \frac{a^4}{12} \cdot C_k \cdot \tan(\alpha)$$

de lo contrario

$$M_{ev} = P \cdot \left( \frac{a}{2} - \frac{\sqrt{2}}{3} \cdot \sqrt{\frac{P}{a \cdot C_k \cdot \tan(\alpha)}} \right)$$

- d) Calcular el Coeficiente de seguridad al vuelco ( $C_s$ ):

$$C_s = \frac{M_e}{M_v} = \frac{M_{eh} + M_{ev}}{M_v}$$

En las expresiones anteriores:

- F: Fuerza horizontal (daN)  
 H<sub>i</sub>: Altura sobre el terreno del punto de aplicación de F (m)  
 a: Anchura del macizo en la dirección transversal de F (m).  
 h: Profundidad del macizo (m).  
 C<sub>h</sub>: Coeficiente de compresibilidad del terreno en las paredes laterales del macizo a h metros de profundidad (daN/m<sup>3</sup>).  
 C<sub>k</sub>: Coeficiente de compresibilidad del terreno en el fondo del macizo a k metros de profundidad (daN/m<sup>3</sup>).  
 α: Ángulo de rotación admisible (°).  
 P: Esfuerzo vertical resultante en el que se incluye peso propio del poste, peso propio del macizo de hormigón, cargas verticales por conductores y retenidas, además del peso de la tierra gravante (G<sub>t</sub>) y el peso de la napa de agua (G<sub>a</sub>) (daN).  
 μ: Coeficiente de fricción entre el terreno y el hormigón

## B6.6 CARACTERÍSTICAS DE LOS TERRENOS

Cuando no se disponga información sobre las características reales del terreno se utilizarán los valores de la tabla B7.1

**Tabla B6.1**

Características de los terrenos					
Terreno	$\sigma_{adm}$ (daN/cm <sup>2</sup> )	$C_{h=2} - C_{k=2}$ (daN/cm <sup>3</sup> )	$\beta$ (°)	$\mu$ (°)	$\gamma$ (daN/cm <sup>3</sup> )
Arcilla dura	4	10 – 10	10°-12°	0,4 – 0,5	1400
Arcilla semidura	2	6 – 8	6°-8°	0,4 – 0,5	1400
Arcilla blanda	1	4 – 5	3°-5°	0,05 – 0,1	1400
Tierra vegetal (compactado)	2,5	8 – 12	6°-8°	0,4 – 0,5	1400
Gravera arenosa (compactado)	4 ÷ 8	8 – 20	6°-8°	0,4 – 0,5	1400
Arenoso grueso (compactado)	2 ÷ 4	8 – 20	6°-8°	0,4 – 0,5	1400
Arenoso fino (compactado)	1,5 ÷ 3	8 – 20	6°-8°	0,4 – 0,5	1400
Gravera arenosa (sin compactar)	3 ÷ 5	8 – 12	6°-8°	0,4 – 0,5	1400
Arenoso grueso (sin compactar)	2 ÷ 3	8 – 12	6°-8°	0,4 – 0,5	1400
Arenoso fino (sin compactar)	1 ÷ 1,5	8 – 12	6°-8°	0,4 – 0,5	1400

Los coeficientes de compresibilidad ( $C_h$  y  $C_k$ ) se dan a 2 metros de profundidad. Para éstos últimos, se admite una cierta linealidad con la profundidad, siguiendo la siguiente expresión:

$$C_{h=x}(C_{k=x}) = \frac{C_{h=2}(C_{k=2}) \cdot x}{2}$$

siendo:

- $C_{h=x}$ : Coeficiente de compresibilidad del terreno en las paredes laterales del macizo a x metros de profundidad (daN/m<sup>3</sup>).
- $C_{k=x}$ : Coeficiente de compresibilidad del terreno en el fondo del macizo a x metros de profundidad (daN/m<sup>3</sup>).
- $C_{h=2}$ : Coeficiente de compresibilidad del terreno en las paredes laterales del macizo a 2 metros de profundidad (daN/m<sup>3</sup>).
- $C_{k=2}$ : Coeficiente de compresibilidad del terreno en el fondo del macizo a 2 metros de profundidad (daN/m<sup>3</sup>).
- x: Profundidad de la cimentación ó del macizo (m).