



Anexo-16

Cálculo de Fundaciones



Tabla de Contenidos

1.	Cálculo de fundaciones	6
1.1.	Método de Sulzberger	6
1.1.1.	Coeficiente de compresibilidad	7
1.1.2.	Momento volcador.....	8
1.1.3.	Momentos estabilizantes.....	9
1.1.4.	Coeficiente de seguridad	10
1.1.5.	Formas usuales de fundaciones	11
1.2.	Cálculo de fundación para poste de suspension.....	11
1.2.1.	Dimensiones de fundación de hormigón de base cuadrada sin armadura	12
1.2.2.	Coeficiente de compresibilidad	12
1.2.3.	Momentos estabilizantes.....	13
1.2.4.	Momento de vuelco	14
1.2.5.	Coeficiente de seguridad	15
1.2.6.	Presion maxima de borde	15
1.2.7.	Presion vertical centrada.....	15
1.2.8.	Comprobación de las tensiones máximas verticales.....	16
1.3.	Cálculo de fundación para poste de retención simple.....	16
1.3.1.	Dimensiones de fundación de hormigón de base cuadrada sin armadura	17
1.3.2.	Coeficiente de compresibilidad	18
1.3.3.	Momentos estabilizantes.....	19
1.3.4.	Momento de vuelco	20
1.3.5.	Coeficiente de seguridad	21
1.3.6.	Presión máxima de borde	22
1.3.7.	Presión vertical centrada.....	22
1.3.8.	Comprobación de las tensiones máximas verticales.....	22
1.4.	Cálculo de fundación para poste terminal.....	22
1.4.1.	Dimensiones de fundación de hormigón de base cuadrada sin armadura	23
1.4.2.	Coeficiente de compresibilidad	24
1.4.3.	Momentos estabilizantes.....	24
1.4.4.	Momento de vuelco	26
1.4.5.	Coeficiente de seguridad	26
1.4.6.	Presion maxima de borde	27
1.4.7.	Presion vertical centrada.....	27



1.4.8. Comprobación de las tensiones máximas verticales..... 27



Lista de Tablas

Tabla 1. Características de los Suelos	8
Tabla 2. Fórmulas de Cálculo, Método de Sulzberger.....	10
Tabla 3. Coeficientes de seguridad para el Método de Sulzberger.....	10
Tabla 4. Coeficiente de Seguridad.....	15



Lista de Figuras

Ilustración 1. Momento volcador.....	9
Ilustración 2. Base a 45° respecto del tiro de la línea.....	13
Ilustración 3. Base a 45° respecto del tiro de la línea.....	19
Ilustración 4. Base a 45° respecto del tiro de la línea.....	25



1. Cálculo de fundaciones

Los soportes de hormigón armado se fijan al terreno mediante un macizo. Para su construcción se utiliza generalmente hormigón simple, cuando se trata de un macizo en el que no se prevean tensiones importantes, en caso contrario debe emplearse hormigón armado. Los métodos de cálculo más empleados son: el Método de Sulzberger y el Método de Pöhl.

1.1. Método de Sulzberger

Se emplea para implantación en terrenos normales, tanto para el caso de fundaciones de hormigón como para empotramiento directo, cuando las fundaciones tienen como dimensión preponderante la profundidad. En caso contrario es más apropiado emplear el método de Pöhl, que tiene en cuenta exclusivamente la reacción del fondo de la fundación como elemento estabilizante y por lo tanto se aplica a bloques de importantes dimensiones laterales con respecto a su altura.

Los postulados básicos, originados en resultados experimentales, se resumen a continuación:

- a) Para inclinaciones limitadas del macizo de la fundación, el terreno reacciona en forma elástica.
- b) Para los momentos volcadores más reducidos, la estructura y su fundación giran con respecto a un eje ubicado en el fondo de la fundación. La totalidad de la superficie del fondo está en contacto con el terreno, contribuyendo a la estabilización. Con un aumento de los esfuerzos volcadores, el conjunto gira sobre un eje que ya no está en el fondo, sino más arriba, a $1/3$ de la profundidad de empotramiento. En este caso el fondo de la fundación está parcialmente despegado del terreno y por lo tanto disminuye la



contribución a la estabilidad. También es menor el momento estabilizante de encastramiento o reacción de las paredes de la fundación, reduciéndose a 1/3 del valor que tendría, si el eje no se hubiese desplazado del fondo de la fundación.

c) Se considera un ángulo de inclinación máximo bajo la acción de los momentos volcadores, tal que $tg(\alpha) < 0.01$. Este valor se establece a fin de que no se alteren las condiciones de la línea (flecha del conductor, tiros). Tiene relación también con un comportamiento elástico del terreno.

1.1.1. Coeficiente de compresibilidad

La capacidad del terreno para reaccionar elásticamente a los esfuerzos que ejerce la fundación, queda expresada mediante el coeficiente de compresibilidad C , definido como la fuerza en daN que, aplicada sobre una superficie de 1 cm^2 , provoca el hundimiento de 1 cm . Este coeficiente se mide, por lo tanto, en daN/cm³. Ya que conocemos que el terreno se comporta elásticamente, podemos relacionar a C con la idea de un módulo de elasticidad.

El comportamiento de los suelos hace que deba distinguirse:

C_t = Coeficiente de compresibilidad para las paredes de la fundación

(relacionado a las cargas horizontales aplicadas a las paredes).

C_b = Coeficiente de compresibilidad para el fondo de la fundación (para las cargas verticales en el fondo).

C_t y C_b pueden tener el mismo o distinto valor. Generalmente se acepta que

$C_t = 1 \dots 1.2 * C_b$ aunque en algunos casos particulares pueden diferir, como en el de los suelos arenosos.



En la teoría que desarrolla las fórmulas de cálculo, se acepta que el coeficiente de compresibilidad es variable linealmente con la profundidad, partiendo de 0 en la superficie. Generalmente las tablas dan valores típicos a 2 m de profundidad, por lo que se calcula por proporciones el valor a la profundidad real del fondo de la base, cifra que interviene en los cálculos.

TABLA Nº1 – Características de los suelos

Tipo	Naturaleza del terreno	Peso específico [Kg/m ³]	Presión admisible [Kg/Cm ²]	Índice de compresibilidad C (1) [Kg/Cm ²]	Ángulo de la tierra gravante β (2)		Coeficiente de la fricción terreno-fundación μ	
					Vegetable	Movible	Liso	Escabroso
A	Laguna, aguazal, Terreno pantanoso	650	Hasta 0.5	0.5 - 1.0	5°	3°	0.05	0.1
	Terrenos muy blandos						0.2	0.2
B	Arena fina húmeda	1700	Hasta 0.8	1 - 2	5°	3°	0.3	0.5
	Arcilla blanda						2 - 4	0.3
C	Arcilla medio dura seca	1700	Hasta 1.8	5 - 8	8°	6°	0.4	0.5
	Arcilla fina seca						6 - 9	0.5
D	Arcilla rígida	1700	Hasta 3.0	10	12°	10°	0.4	0.5
	Arena gruesa y pedregullo						11 - 13	0.4
E	Arcilla gruesa dura	1700	Hasta 4.0	13 - 16	15°	12°	0.4	0.5
F	Rígido pedregullo y canto rodado	1700	Hasta 5.0	13 - 16	20°	20°	0.4	0.5

Nota 1: El índice de compresibilidad corresponde a las paredes de la fundación, a una profundidad de 2 metros.
Nota 2: Para los tipos B a F y terrenos con buena cohesión se puede aumentar el ángulo de tierra gravante en 5°

Tabla 1. Características de los Suelos

1.1.2. Momento volcador

Los esfuerzos volcadores son las cargas horizontales (viento, tiro de los conductores) que actúan sobre la estructura. En los apoyos de hormigón armado, lo normal es contar con la carga total reducida a la cima del poste, valor que puede formarse como dato para realizar el cálculo del momento volcador.

Según sea la posición del eje de giro, resultará la distancia de aplicación de la fuerza que provoca el momento volcador. Para el caso más común en que la fundación trabaja parcialmente despegada del suelo, el momento volcador tiene por expresión:

$$M_v := T \cdot \left(h + \frac{2}{3} \cdot \delta \right)$$



Donde:

M_v = Momento volcador (daN*m)

T= Tiro total reducido a la cima (daN)

h= Altura libre del poste (m)

t= Profundidad del mascizo de fundacion (m)

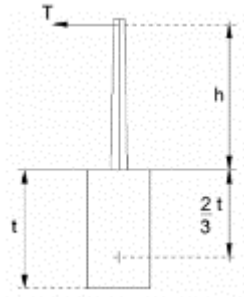


Ilustración 1. Momento volcador

1.1.3. Momentos estabilizantes

La fundación reacciona ante el momento volcador, presentando dos momentos estabilizantes: a) el originado por la reacción en las paredes, que incluye la fricción entre el hormigón y la tierra a lo largo de las paredes, llamado momento de encastramiento; y b) el momento de reacción de fondo provocado por las cargas verticales.

Para la determinación de los valores de los momentos estabilizantes se elaboran las fórmulas a partir de la distribución de la presión producida por la reacción del terreno ante el movimiento de la fundación, en torno al eje de giro del conjunto. Las fórmulas a utilizar se resumen en la siguiente tabla.



Tabla N°2 - Fórmulas de cálculo, Método Sulzberger				
Forma de la base (vista en planta)	Momento de encastramiento		Momento de fondo	
	$t g \alpha$	M_s	$t g \alpha$	M_b
	$\frac{6 \cdot \mu \cdot G}{b \cdot t^2 \cdot C_t} < 0,01$	$\frac{b \cdot t^3}{36} \cdot C_t \cdot t g(\alpha)$	$\frac{2 \cdot G}{a^2 \cdot b \cdot C_b} < 0,01$	$G \cdot \left(\frac{a}{2} - 0,47 \cdot \sqrt{\frac{G}{b \cdot C_b \cdot t g(\alpha)}} \right)$
	$\frac{6 \cdot \mu \cdot G}{b \cdot t^2 \cdot C_t} > 0,01$	$\frac{b \cdot t^3}{12} \cdot C_t \cdot t g(\alpha)$	$\frac{2 \cdot G}{a^2 \cdot b \cdot C_b} > 0,01$	$\frac{b \cdot a^3}{12} \cdot C_b \cdot t g(\alpha)$
	$\frac{4,5 \cdot \mu \cdot G}{a \cdot t^2 \cdot C_t} < 0,01$	$\frac{1,414 \cdot a \cdot t^3}{36} \cdot C_t \cdot t g(\alpha)$	$\frac{1,414 \cdot G}{a^2 \cdot C_b} < 0,01$	$G \cdot \left(\frac{\sqrt{2} a}{2} - \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot G}{C_b \cdot t g(\alpha)}} \right)$
	$\frac{4,5 \cdot \mu \cdot G}{a \cdot t^2 \cdot C_t} > 0,01$	$\frac{1,414 \cdot a \cdot t^3}{12} \cdot C_t \cdot t g(\alpha)$	$\frac{1,414 \cdot G}{a^2 \cdot C_b} > 0,01$	$\frac{a^4}{12} \cdot C_b \cdot t g(\alpha)$
	$\frac{8,8 \cdot \mu \cdot G}{b \cdot t^2 \cdot C_t} > 0,01$	$\frac{d \cdot t^3}{52,8} \cdot C_t \cdot t g(\alpha)$	Esta forma se emplea cuando se empotra directamente el poste, sin fundación de hormigón. Por ser el diámetro reducido con respecto a la profundidad de empotramiento se desprecia el valor del momento de fondo.	
	$\frac{8,8 \cdot \mu \cdot G}{b \cdot t^2 \cdot C_t} < 0,01$	$\frac{d \cdot t^3}{17,6} \cdot C_t \cdot t g(\alpha)$		

Tabla 2. Fórmulas de Cálculo, Método de Sulzberger

1.1.4. Coeficiente de seguridad

El método de Sulzberger ofrece una aceptable precisión cuando la fundación reacciona predominantemente con sus paredes, o sea cuando $M_s > M_b$. Esto se tiene generalmente cuando la fundación tiene su mayor dimensión en el sentido de la profundidad y también cuando se trabaja sobre terrenos de capacidad portante (tensión admisible) no muy reducida. En estas condiciones se logra la estabilidad simplemente para $M_s + M_b = M_v$ o mayores valores de momento estabilizante.

En caso de fundaciones de dimensiones transversales relativamente grandes con respecto a la profundidad (lo que se hace necesario generalmente cuando la capacidad portante del terreno es baja), resulta $M_s < M_b$ y para garantizar la estabilidad en la fundación, es necesario aplicar un coeficiente de seguridad “s” de modo que:

$$M_s + M_b = s \cdot M_v$$

Tabla N°3 - Coeficiente de seguridad para el método de Sulzberger											
M_s / M_b	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
s	1.500	1.383	1.317	1.260	1.208	1.150	1.115	1.075	1.040	1.017	1.000

Tabla 3. Coeficientes de seguridad para el Método de Sulzberger



1.1.5. Formas usuales de fundaciones

Las fundaciones calculadas por el método de Sulzberger son monobloques, generalmente de forma prismática, con su base rectangular, cuando la estructura es un poste doble, y cuadrada para postes simples. Para este último caso, orientando una de las diagonales en el sentido del esfuerzo volcador, se logra una mayor resistencia.

Del análisis de la tabla de fórmulas se deduce que la profundidad de la fundación es la dimensión que más influye en el momento estabilizante y, por lo tanto, conviene profundizar la fundación antes que ensancharla.

1.2. Cálculo de fundación para poste de suspension

Es de aplicación el método de Sulzberger para implantación de postes en terrenos normales cuando las fundaciones tienen como dimensión preponderante la profundidad.

Datos del poste

$H := 15 \text{ m}$ longitud total del poste

$h := 13.5 \text{ m}$ altura libre del poste

$G_{gp} := 1489 \text{ kgf} \cdot 0.981 \frac{\text{daN}}{\text{kgf}} = 1460.71 \text{ daN}$ peso del poste

$d := 17 \text{ cm}$ diametro del poste en la cima

$D := 39 \text{ cm}$ diametro del poste en la base

$a := 100 \text{ m}$ vano del proyecto

$\gamma := 260 \frac{\text{kg}}{\text{km}}$ masa por unidad de longitud del conductor

$g := 3 \cdot \gamma \cdot a \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 77 \text{ daN}$ peso de los conductores



1.2.1. Dimensiones de fundación de hormigón de base cuadrada sin armadura

$t_1 := 1.5 \text{ m}$ empotramiento

$f := 0.25 \text{ m}$ distancia entre el fondo del agujero y el fondo de la base

$e_a := 0.25 \text{ m}$ distancia entre el agujero y el borde lateral

$e_b := 0.25 \text{ m}$ distancia entre el agujero y el borde lateral

$a_b := D + 10 \text{ cm} + 2 \cdot e_a = 0.99 \text{ m}$ ancho de la base

$b_b := D + 10 \text{ cm} + 2 \cdot e_b = 0.99 \text{ m}$ largo de la base

$t := t_1 + f = 1.75 \text{ m}$ profundidad de la base

Dimensiones mínimas para base de hormigón simple

<p>if $0.2 \text{ m} \leq \frac{t}{5} \wedge e_a \geq 0.15 \text{ m}$</p> <p> "Verifica dimensiones mínimas"</p> <p>else</p> <p> "No verifica dimensiones mínimas"</p>	<p>= "Verifica dimensiones mínimas"</p>
---	---

1.2.2. Coeficiente de compresibilidad

La capacidad del terreno para reaccionar elásticamente a los esfuerzos que ejerce la fundación, queda expresada mediante el coeficiente de compresibilidad.

El coeficiente de compresibilidad es variable linealmente con la profundidad, partiendo de cero en la superficie. Las tablas dan valores típicos a 2 m de profundidad, por lo que se calcula por proporciones el valor a la profundidad real del fondo de la base, cifra que interviene en los cálculos.

$C_b := 5 \frac{\text{daN}}{\text{cm}^3} \cdot \frac{t}{2 \text{ m}} = 4.38 \frac{\text{daN}}{\text{cm}^3}$ coeficiente de compresibilidad para el fondo de

$C_t := 1.1 \cdot C_b = 4.81 \frac{\text{daN}}{\text{cm}^3}$ coeficiente de compresibilidad para las paredes



Generalmente se acepta que $C_t = 1 \dots 1.2 \cdot C_b$

$$\sigma := 2.2 \cdot \frac{daN}{cm^2}$$

1.2.3. Momentos estabilizantes

La fundación reacciona ante el momento volcador, presentando dos momentos estabilizantes: el originado por la reacción en las paredes, que incluye la fricción entre el hormigón y la tierra a lo largo de las paredes, llamado momento de encastramiento y el momento de reacción de fondo provocado por las cargas verticales.

Nos proponemos no sobrepasar una inclinación de la estructura tal que $tg(\alpha) \leq 0.01$. Es necesario determinar si para este valor de ángulo, la fundación trabaja haciendo contacto en su totalidad o está parcialmente despegada del terreno.

Se calcula previamente el ángulo a partir del cual comienza la fundación a despegarse del suelo.

$\mu := 0.5$ Coeficiente de la fricción terreno fundación

$$V_h := a_b \cdot b_b \cdot t - \frac{\pi \cdot (D + 10 \text{ cm})^2}{4} \cdot t_1 = 1.43 \text{ m}^3 \quad \text{volumen de hormigón de la base}$$

$$G := G_{gp} + g + 2200 \cdot \frac{daN}{m^3} \cdot V_h = 4688.32 \text{ daN} \quad \text{peso total}$$

Colocando la base a 45° respecto del tiro de la línea tenemos

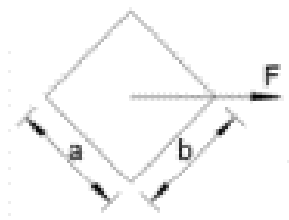


Ilustración 2. Base a 45° respecto del tiro de la línea



$$\alpha := \frac{4.5 \cdot \mu \cdot G}{a_b \cdot t^2 \cdot C_t}$$

$$\text{tng}\alpha_s := \tan(\alpha) = 0$$

$$M_s := \begin{cases} \text{if } \text{tng}\alpha_s < 0.01 \\ \left\| M_s \leftarrow \frac{1.414 \cdot a_b \cdot t^3}{36} \cdot C_t \cdot 0.01 \right. \\ \text{else} \\ \left\| M_s \leftarrow \frac{1.414 \cdot b_b \cdot t^3}{12} \cdot C_t \cdot 0.01 \right. \end{cases} = 10029.22 \text{ daN} \cdot \text{m}$$

Para calcular el momento de fondo, el ángulo a partir del cual la base comienza a despegarse del fondo de la fundación está determinado por:

$$\alpha := \frac{1.414 \cdot G}{a_b^3 \cdot C_b}$$

$$\text{tng}\alpha_b := \tan(\alpha) = 0.00156$$

$$M_b := \begin{cases} \text{if } \text{tng}\alpha_b < 0.01 \\ \left\| M_b \leftarrow G \cdot \left(\frac{\sqrt{2} \cdot a_b}{2} - \frac{1}{2} \cdot \sqrt[3]{\frac{3 \cdot G}{C_b \cdot 0.01}} \right) \right. \\ \text{else} \\ \left\| M_b \leftarrow \frac{a_b^4}{12} \cdot C_b \cdot 0.01 \right. \end{cases} = 1676.13 \text{ daN} \cdot \text{m}$$

1.2.4. Momento de vuelco

$$T_{1e} := 344 \text{ daN} \quad \text{ tiro maximo de las hipotesis de carga consideradas}$$

$$M_v := T_{1e} \cdot \left(h + \frac{2}{3} \cdot t \right) = 5045.33 \text{ daN} \cdot \text{m} \quad \text{ momento de vuelco}$$



1.2.5. Coeficiente de seguridad

El método de Sulzberger ofrece una aceptable precisión cuando la fundación reacciona predominantemente con sus paredes, o sea cuando $M_s/M_b > 1$. Esto se tiene generalmente cuando la fundación tiene su mayor dimensión en el sentido de la profundidad y también cuando se trabaja sobre terrenos de capacidad portante (tensión admisible) no muy reducida.

En caso de fundaciones de dimensiones transversales relativamente grandes con respecto a la profundidad (lo que se hace necesario generalmente cuando la capacidad portante del terreno es baja, resulta $M_s/M_b > 1$ y para garantizar la M_s/M_b estabilidad en la fundación, es necesario aplicar un coeficiente de seguridad que vale entre 1 y 1.5 y que depende de la relación M_s/M_b . Si el coeficiente de seguridad vale.

M_s/M_b	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
s	1.500	1.383	1.317	1.26	1.208	1.150	1.115	1.075	1.040	1.017	1.000

Tabla 4. Coeficiente de Seguridad

Si $\frac{M_s}{M_b} = 5.98$ entonces $s := 1$

$$\left. \begin{array}{l} \text{if } M_s + M_b \geq s \cdot M_v \\ \quad \parallel \text{ "Verifica estabilidad" } \\ \text{else} \\ \quad \parallel \text{ "No verifica estabilidad" } \end{array} \right\} = \text{"Verifica estabilidad"}$$

1.2.6. Presion maxima de borde

$$q_b := \sqrt[3]{3 \cdot G \cdot C_b^2 \cdot \text{tng} \alpha_s^2} = 0.5201 \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2}$$

1.2.7. Presion vertical centrada

$$q_m := \frac{G}{a_b^2} = 0.4783509 \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2} \quad \varphi_c := 0.5$$



1.2.8. Comprobación de las tensiones máximas verticales

En el centro

$$t := \begin{cases} \text{if } q_m < \varphi_c \cdot \sigma \\ \quad \parallel \text{ "Verifica" } \\ \text{else} \\ \quad \parallel \text{ "No verifica" } \end{cases} \quad \Bigg| \quad t = \text{ "Verifica" }$$

En el borde

$$g := \begin{cases} \text{if } q_b < 1.3 \cdot \varphi_c \cdot \sigma \\ \quad \parallel \text{ "Verifica" } \\ \text{else} \\ \quad \parallel \text{ "No verifica" } \end{cases} \quad \Bigg| \quad g = \text{ "Verifica" }$$

Nota:

$$C_b := 5 \frac{\text{daN}}{\text{cm}^3} \cdot \frac{0.1}{2 \text{ m}}$$

Se utilizó:

$$C_t := C_b \cdot 1.1$$

$$\mu := 0.5$$

Corresponde realizar un estudio de suelos para el cálculo de fundaciones.

1.3. Cálculo de fundación para poste de retención simple

Es de aplicación el método de Sulzberger para implantación de postes en terrenos normales cuando las fundaciones tienen como dimensión preponderante la profundidad.



Datos del poste

$H := 12 \text{ m}$ longitud total del poste

$h := H \cdot 0.865 = 10.38 \text{ m}$ altura libre del poste

$G_{gp} := 2350 \text{ daN}$ peso del poste

$d := 26 \text{ cm}$ diametro del poste en la cima

$D := d + 0.015 \cdot h = 41.57 \text{ cm}$ diametro del poste en la base (conicidad 1.5 cm/m)

$a := 71 \text{ m}$ vano del proyecto

$\gamma := 140 \frac{\text{kg}}{\text{km}} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1.37 \frac{\text{kg}}{\text{s}^2}$ peso por unidad de longitud

$g := \gamma \cdot a = 9.75 \text{ daN}$ peso de los conductores

$G_M := 154 \text{ daN}$ peso de la mensula

1.3.1. Dimensiones de fundación de hormigón de base cuadrada sin armadura

Debido a la resistencia propia del hormigón existen dimensiones mínimas y máximas para la fundación sin armadura, en caso de no cumplir con estas se debe utilizar hormigón armado. Para este caso se usó un poste un poco más largo de lo necesario a fin de que verifiquen las condiciones para hormigón simple.

$t_1 := 0.135 \cdot H = 1.62 \text{ m}$ Empotramiento

$f := 0.3 \text{ m}$ Distancia entre el fondo del agujero y el fondo de la base



$e_a := 0.2 \text{ m}$ Distancia entre el agujero y el borde lateral

$e_b := 0.2 \text{ m}$ Distancia entre el agujero y el borde lateral

$a_b := D + 10 \text{ cm} + 2 \cdot e_a = 0.92 \text{ m}$ Ancho de la base

$b_b := D + 10 \text{ cm} + 2 \cdot e_b = 0.92 \text{ m}$ Largo de la base

$t := t_1 + f = 1.92 \text{ m}$ Profundidad de la base

```

if 0.2 m ≤ f <  $\frac{t}{5}$  ∧ ea ≥ 0.15 m ∧ eb ≥ 0.15 m = "Verifica dimensiones mínimas"
|| "Verifica dimensiones mínimas"
else
|| "No verifica dimensiones mínimas"

```

1.3.2. Coeficiente de compresibilidad

La capacidad del terreno para reaccionar elásticamente a los esfuerzos que ejerce la fundación, queda expresada mediante el coeficiente de compresibilidad.

El coeficiente de compresibilidad es variable linealmente con la profundidad, partiendo de cero en la superficie. Las tablas dan valores típicos a 2 m de profundidad, por lo que se calcula por proporciones el valor a la profundidad real del fondo de la base, cifra que interviene en los cálculos.

$C_b := 5 \frac{\text{daN}}{\text{cm}^3} \cdot \frac{t}{2 \text{ m}} = 4.8 \frac{\text{daN}}{\text{cm}^3}$ coeficiente de compresibilidad para el fondo de la fundación

$C_t := 1.1 \cdot C_b = 5.28 \frac{\text{daN}}{\text{cm}^3}$ coeficiente de compresibilidad para las paredes de la fundación

Generalmente se acepta que $C_t = 1 \dots 1,2 \cdot C_b$



1.3.3. Momentos estabilizantes

La fundación reacciona ante el momento volcador, presentando dos momentos estabilizantes: el originado por la reacción en las paredes, que incluye la fricción entre el hormigón y la tierra a lo largo de las paredes, llamado momento de encastramiento y el momento de reacción de fondo provocado por las cargas verticales.

Nos proponemos no sobrepasar una inclinación de la estructura tal que $\text{tg}(\alpha) \leq 0.01$. Es necesario determinar si para este valor de ángulo, la fundación trabaja haciendo contacto en su totalidad o está parcialmente despegada del terreno.

Se calcula previamente el ángulo a partir del cual comienza la fundación a despegarse del suelo.

$\mu := 0.5$ coeficiente de la fricción terreno fundación

$$V_h := a_b \cdot b_b \cdot t - \frac{\pi \cdot (D + 10 \text{ cm})^2}{4} \cdot t_1 = 1.27 \text{ m}^3 \quad \text{volumen de hormigón de la base}$$

$$G := G_{gp} + G_M + g + 2200 \cdot \frac{\text{daN}}{\text{m}^3} \cdot V_h = 5311.18 \text{ daN} \quad \text{Peso total}$$

Colocando la base a 45° respecto del tiro de la línea tenemos

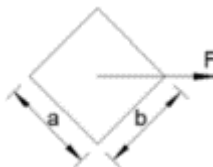


Ilustración 3. Base a 45° respecto del tiro de la línea

$$\alpha := \frac{4.5 \cdot \mu \cdot G}{a_b \cdot t^2 \cdot C_t}$$

$$\text{tng} \alpha_s := \tan(\alpha) = 0$$



$$M_s := \begin{cases} \text{if } \text{tng}\alpha_s < 0.01 \\ \left\| M_s \leftarrow \frac{1.414 \cdot a_b \cdot t^3}{36} \cdot C_t \cdot 0.01 \right. \\ \text{else} \\ \left\| M_s \leftarrow \frac{1.414 \cdot b_b \cdot t^3}{12} \cdot C_t \cdot 0.01 \right. \end{cases} = 13441.19 \text{ daN}\cdot\text{m}$$

Para calcular el momento de fondo, el ángulo a partir del cual la base comienza a despegarse del fondo de la fundación está determinado por:

$$\alpha := \frac{1.414 \cdot G}{a_b^3 \cdot C_b}$$

$$\text{tng}\alpha_b := \tan(\alpha) = 0.00204$$

$$M_b := \begin{cases} \text{if } \text{tng}\alpha_b < 0.01 \\ \left\| M_b \leftarrow G \cdot \left(\frac{\sqrt{2} \cdot a_b}{2} - \frac{1}{2} \cdot \sqrt[3]{\frac{3 \cdot G}{C_b \cdot 0.01}} \right) \right. \\ \text{else} \\ \left\| M_b \leftarrow \frac{a_b^4}{12} \cdot C_b \cdot 0.01 \right. \end{cases} = 1600.25 \text{ daN}\cdot\text{m}$$

1.3.4. Momento de vuelco

$T_{1e} := 1833 \text{ daN}$ tiro máximo de las hipótesis de carga consideradas

$$M_v := T_{1e} \cdot \left(h + \frac{2}{3} \cdot t \right) = 15041.4 \text{ daN}\cdot\text{m}$$

momento de vuelco



1.3.5. Coeficiente de seguridad

El método de Sulzberger ofrece una aceptable precisión cuando la fundación reacciona predominantemente con sus paredes, o sea cuando $M_s > M_b$. Esto $M_s > M_b$ tiene generalmente cuando la fundación tiene su mayor dimensión en el sentido de la profundidad y también cuando se trabaja sobre terrenos de capacidad portante (tensión admisible) no muy reducida.

En caso de fundaciones de dimensiones transversales relativamente grandes con respecto a la profundidad (lo que se hace necesario generalmente cuando la capacidad portante del terreno es baja, resulta $M_s < M_b$ y para garantizar $M_s > M_b$ estabilidad en la fundación, es necesario aplicar un coeficiente de seguridad que vale entre 1 y 1.5 y que depende de la relación M_s / M_b . Si $M_s > M_b$ el coeficiente de seguridad vale 1.

$$\frac{M_s}{M_b} = 8.4$$

$$s := \begin{cases} \frac{M_s}{M_b} < 1 & = 1 \\ \parallel 1.5 \\ \text{else} \\ \parallel 1 \end{cases} \quad \text{coeficiente de seguridad}$$

$$\begin{cases} \text{if } M_s + M_b \geq s \cdot M_v \\ \parallel \text{“Verifica estabilidad”} \\ \text{else} \\ \parallel \text{“No verifica estabilidad”} \end{cases} = \text{“Verifica estabilidad”}$$



1.3.6. Presión máxima de borde

$$q_b := \sqrt[3]{3 \cdot G \cdot C_b^2 \cdot \text{tng} \alpha_s^2} = 0.5485 \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2}$$

1.3.7. Presión vertical centrada

$$q_m := \frac{G}{a_b^2} = 0.633409 \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2}$$

$$\varphi_c := 0.5$$

1.3.8. Comprobación de las tensiones máximas verticales

En el centro

$$t := \begin{cases} \text{if } q_m < \varphi_c \cdot \sigma \\ \quad \parallel \text{ "Verifica" } \\ \text{else} \\ \quad \parallel \text{ "No verifica" } \end{cases} \quad t = \text{ "Verifica" }$$

En el borde

$$g := \begin{cases} \text{if } q_b < 1.3 \cdot \varphi_c \cdot \sigma \\ \quad \parallel \text{ "Verifica" } \\ \text{else} \\ \quad \parallel \text{ "No verifica" } \end{cases} \quad g = \text{ "Verifica" }$$

1.4. Cálculo de fundación para poste terminal

Es de aplicación el método de Sulzberger para implantación de postes en terrenos normales cuando las fundaciones tienen como dimensión preponderante la profundidad.



Datos del poste

$H := 11 \text{ m}$ longitud total del poste

$h := H \cdot 0.865 = 9.52 \text{ m}$ altura libre del poste

$G_{gp} := 2350 \text{ daN}$ peso del poste

$d := 32 \text{ cm}$ diametro del poste en la cima

$D := d + 0.015 \cdot h = 46.27 \text{ cm}$ diametro del poste en la base (conicidad 1.5 cm/m)

$a := 71 \text{ m}$ vano del proyecto

$\gamma := 140 \frac{\text{kg}}{\text{km}} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1.37 \frac{\text{kg}}{\text{s}^2}$ peso por unidad de longitud

$g := \gamma \cdot a = 9.75 \text{ daN}$ peso de los conductores

$G_M := 154 \text{ daN}$ peso de la mensula

1.4.1. Dimensiones de fundación de hormigón de base cuadrada sin armadura

Debido a la resistencia propia del hormigón existen dimensiones mínimas y máximas para la fundación sin armadura, en caso de no cumplir con estas se debe utilizar hormigón armado. Para este caso se usó un poste un poco más largo de lo necesario a fin de que verifiquen las condiciones para hormigón simple.

$t_1 := H - h = 1.49 \text{ m}$ Empotramiento

$f := 0.3 \text{ m}$ Distancia entre el fondo del agujero y el fondo de la base

$e_a := 0.4 \text{ m}$ Distancia entre el agujero y el borde lateral

$e_b := 0.4 \text{ m}$ Distancia entre el agujero y el borde lateral

$a_b := D + 10 \text{ cm} + 2 \cdot e_a = 1.36 \text{ m}$ Ancho de la base

$b_b := D + 10 \text{ cm} + 2 \cdot e_b = 1.36 \text{ m}$ Largo de la base

$t := t_1 + f = 1.79 \text{ m}$ Profundidad de la base



Dimensiones mínimas para base de hormigón simple

$$\text{if } 0.2 \text{ m} \leq f < \frac{t}{5} \wedge e_a \geq 0.15 \text{ m} \wedge e_b \geq 0.15 \text{ m} \mid = \text{"Verifica dimensiones mínimas"}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{"Verifica dimensiones mínimas"} \\ \text{else} \\ \text{"No verifica dimensiones mínimas"} \end{array} \right.$$

1.4.2. Coeficiente de compresibilidad

La capacidad del terreno para reaccionar elásticamente a los esfuerzos que ejerce la fundación, queda expresada mediante el coeficiente de compresibilidad.

El coeficiente de compresibilidad es variable linealmente con la profundidad, partiendo de cero en la superficie. Las tablas dan valores típicos a 2 m de profundidad, por lo que se calcula por proporciones el valor a la profundidad real del fondo de la base, cifra que interviene en los cálculos.

$$C_b := 5 \frac{daN}{cm^3} \cdot \frac{t}{2 \text{ m}} = 4.46 \frac{daN}{cm^3} \text{ coeficiente de compresibilidad para el fondo de la fundación}$$

$$C_t := 1.1 \cdot C_b = 4.91 \frac{daN}{cm^3}$$

coeficiente de compresibilidad para las paredes de la fundación

Generalmente se acepta que $C_t = 1 \dots 1,2 \cdot C_b$

1.4.3. Momentos estabilizantes

La fundación reacciona ante el momento volcador, presentando dos momentos estabilizantes: el originado por la reacción en las paredes, que incluye la fricción entre el hormigón y la tierra a lo largo de las paredes, llamado momento de encastramiento y el momento de reacción de fondo provocado por las cargas verticales.



Nos proponemos no sobrepasar una inclinación de la estructura tal que $\text{tg}(\alpha) \leq 0.01$. Es necesario determinar si para este valor de ángulo, la fundación trabaja haciendo contacto en su totalidad o está parcialmente despegada del terreno.

Se calcula previamente el ángulo a partir del cual comienza la fundación a despegarse del suelo.

$\mu := 0.5$ Coeficiente de la fricción terreno fundación

$$V_h := a_b \cdot b_b \cdot t - \frac{\pi \cdot (D + 10 \text{ cm})^2}{4} \cdot t_1 = 3 \text{ m}^3 \quad \begin{array}{l} \text{volumen de hormigón} \\ \text{de la base} \end{array}$$

$$G := G_{gp} + G_M + g + 2200 \cdot \frac{\text{daN}}{\text{m}^3} \cdot V_h = 8994 \text{ daN} \quad \text{Peso total}$$

Colocando la base a 45° respecto del tiro de la línea tenemos

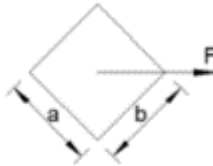


Ilustración 4. Base a 45° respecto del tiro de la línea

$$\alpha := \frac{4.5 \cdot \mu \cdot G}{a_b \cdot t^2 \cdot C_t}$$

$$\text{tng}\alpha_s := \tan(\alpha) = 0$$

$$M_s := \begin{cases} \text{if } \text{tng}\alpha_s < 0.01 \\ \left\| M_s \leftarrow \frac{1.414 \cdot a_b \cdot t^3}{36} \cdot C_t \cdot 0.01 \right. \\ \text{else} \\ \left\| M_s \leftarrow \frac{1.414 \cdot b_b \cdot t^3}{12} \cdot C_t \cdot 0.01 \right. \end{cases} = 14943.1 \text{ daN} \cdot \text{m}$$



Para calcular el momento de fondo, el ángulo a partir del cual la base comienza a despegarse del fondo de la fundación está determinado por:

$$\alpha := \frac{1.414 \cdot G}{a_b^3 \cdot C_b}$$

$$\text{tng}\alpha_b := \tan(\alpha) = 0.001126$$

$$M_b := \begin{cases} \text{if } \text{tng}\alpha_b < 0.01 \\ \left\| M_b \leftarrow G \cdot \left(\frac{\sqrt{2} \cdot a_b}{2} - \frac{1}{2} \cdot \sqrt[3]{\frac{3 \cdot G}{C_b \cdot 0.01}} \right) \right. \\ \text{else} \\ \left\| M_b \leftarrow \frac{a_b^4}{12} \cdot C_b \cdot 0.01 \right. \end{cases} = 4864 \text{ daN} \cdot \text{m}$$

1.4.4. Momento de vuelco

$T_{1a} := 2262 \text{ daN}$ tiro maximo de las hipotesis de carga consideradas

$$M_v := T_{1a} \cdot \left(h + \frac{2}{3} \cdot t \right) = 19269 \text{ daN} \cdot \text{m}$$

momento de vuelco

1.4.5. Coeficiente de seguridad

El método de Sulzberger ofrece una aceptable precisión cuando la fundación reacciona predominantemente con sus paredes, o sea cuando $M_s > M_b$. Esto se cumple generalmente cuando la fundación tiene su mayor dimensión en el sentido de la profundidad y también cuando se trabaja sobre terrenos de capacidad portante (tensión admisible) no muy reducida.

En caso de fundaciones de dimensiones transversales relativamente grandes con respecto a la profundidad (lo que se hace necesario generalmente cuando la capacidad



portante del terreno es baja, resulta $<$ y para garantizar la M_s M_b estabilidad en la fundación, es necesario aplicar un coeficiente de seguridad que vale entre 1 y 1.5 y que depende de la relación $\frac{M_s}{M_b}$. Si $\frac{M_s}{M_b} > 1$ el M_s M_b M_s M_b coeficiente de seguridad vale 1.

$$\frac{M_s}{M_b} = 3.07$$

$$s := \begin{cases} \frac{M_s}{M_b} < 1 & = 1 \\ 1.5 \\ \text{else} \\ 1 \end{cases} \quad \text{Coeficiente de seguridad}$$

$$\begin{cases} M_s + M_b \geq s \cdot M_v \\ \text{"Verifica estabilidad"} \\ \text{else} \\ \text{"No verifica estabilidad"} \end{cases} = \text{"Verifica estabilidad"}$$

1.4.6. Presion maxima de borde

$$q_b := \sqrt[3]{3 \cdot G \cdot C_b^2 \cdot \text{tng} \alpha_s^2} = 0.7853 \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2}$$

1.4.7. Presion vertical centrada

$$q_m := \frac{G}{a_b^2} = 0.484311 \frac{\text{daN}}{\text{cm}^2}$$

$$\varphi_c := 0.5$$

1.4.8. Comprobación de las tensiones máximas verticales

En el centro


$$t := \begin{cases} \text{if } q_m < \varphi_c \cdot \sigma \\ \quad \parallel \text{“Verifica”} \\ \text{else} \\ \quad \parallel \text{“No verifica”} \end{cases}$$

$t = \text{“Verifica”}$

En el borde

$$g := \begin{cases} \text{if } q_b < 1.3 \cdot \varphi_c \cdot \sigma \\ \quad \parallel \text{“Verifica”} \\ \text{else} \\ \quad \parallel \text{“No verifica”} \end{cases}$$

$g = \text{“Verifica”}$