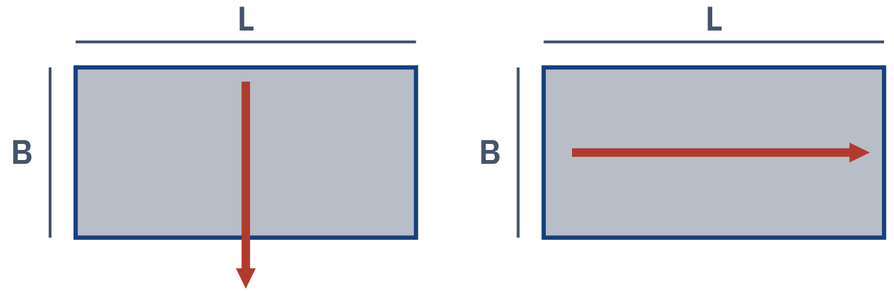
Presentación de clase de geotecnia · Cimentaciones

Ecuación de capacidad portante de Vesic

Clase: los coeficientes adoptados por Vesic y su aportación propia: el exponente de inclinación que tiene en cuenta la forma de la cimentación y la dirección de la carga, la inclinación de la base y la inclinación del terreno; ejemplo resuelto en cada tema.

- Exponente de inclinación m
- Carga inclinada
- Inclinación de la base
- Inclinación del terreno
- Coincidencia con Meyerhof
- Ejemplos resueltos



Introducción

¿Qué aprenderemos en esta clase?

- Distinguir qué coeficientes adopta la **ecuación de Vesic** y cuáles **le son propios**
- Calcular el **exponente m** de los coeficientes de inclinación según la relación B/L de la zapata y la dirección de la carga
- Hallar los **factores de inclinación** con las cargas reales h y v y comprobar los límites de deslizamiento
- Aplicar los factores de **inclinación de la base** y de **inclinación del terreno** (formas de Vesic); compararlos con los de Hansen
- Tratar la forma sin drenaje ($\varphi = 0$) y las situaciones con agua subterránea
- Ver que, sin inclinación de la carga, de la base ni del terreno, la ecuación se reduce a la **ecuación general de Meyerhof**

DESARROLLO DE LA CLASE

Cada tema se desarrolla en **tres pasos**:

1 · **Teoría**: ¿cuál es la regla y por qué es así?

2 · **Enunciado**: datos y se pide

3 · **Solución**: paso a paso, con números

Cimentación de ejemplo, el modelo con el que se abre el módulo: zapata cuadrada de 1.2 m × 1.2 m en arena, D_f = 1 m, nivel freático a 0.5 m, c = 0, φ' = 32°.

Coeficientes adoptados y propios

TEORÍA

La ecuación de Vesic tiene **la misma estructura** que la de Hansen: en cada término, corrección por forma, profundidad, inclinación de la carga, inclinación de la base e inclinación del terreno:

$$\begin{aligned} q_u = {} & c\, N_c\, F_{cs} F_{cd}\, i_c b_c g_c \\ & + q\, N_q\, F_{qs} F_{qd}\, i_q b_q g_q \\ & + \tfrac{1}{2} \gamma B\, N_\gamma\, F_{\gamma s} F_{\gamma d}\, i_\gamma b_\gamma g_\gamma \end{aligned}$$

Vesic **no dedujo de nuevo todo**: tomó tal cual los coeficientes de **forma de De Beer** y de **profundidad de Hansen**; N_γ es también su forma cerrada: $N_\gamma = 2(N_q + 1) \tan \varphi$.

Contribución propia: los factores de inclinación de la carga (cuyo exponente depende de la forma de la zapata y de la dirección de la carga) y los factores de inclinación de la base y del terreno.

Sin inclinación de la carga, inclinación de la base ni inclinación del terreno (valores predeterminados del módulo), i = b = g = 1 y la ecuación es **idéntica a la ecuación general de Meyerhof**.

ORIGEN DE LOS COEFICIENTES

Coeficiente	Fuente
N_c, N_q	Prandtl, Reissner
N_γ	Vesic
F_s (forma)	De Beer
F_d (profundidad)	Hansen
i (pendiente)	**Vesic**
b (inclinación de la base)	**Vesic**
g (inclinación del terreno)	**Vesic**

Enunciado

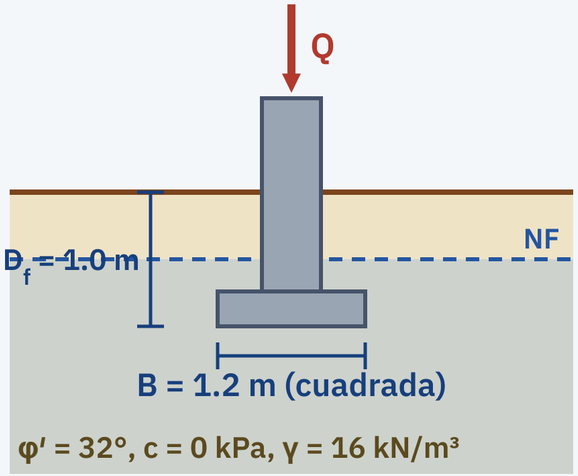
EJEMPLO

Datos

Cimentación	**cuadrada, B = L = 1.2 m, profundidad de cimentación D_f = 1.0 m**
Suelo	**arena:** $\varphi' = 32^\circ,\ c = 0$
Peso específico	$\gamma = 16\ \mathrm{kN/m^3}$ **(arriba),** $\gamma_{sat} = 19.5\ \mathrm{kN/m^3}$ **(por debajo del nivel freático)**
Carga	**vertical, centrada**

SE PIDE

Determinar los valores de **N_c, N_q, N_γ,** así como de **F_{cs}, F_{qs}, $F_{\gamma s}$** y **F_{qd}, F_{cd}.**



Solución

SOLUCIÓN

1 Factores de capacidad portante (φ′ = 32°, tan 32° = 0.6249)

$$N_q = e^{\pi \tan 32^\circ} \tan^2(61^\circ) = 23.18 \qquad N_c = \frac{23.18 - 1}{0.6249} = 35.49$$

$$N_\gamma = 2(23.18 + 1)(0.6249) = \mathbf{30.21}$$

2 Factores de forma (De Beer; B/L = 1)

$$F_{cs} = 1 + \frac{23.18}{35.49} = \mathbf{1.653} \qquad F_{qs} = 1 + \tan 32^\circ = \mathbf{1.625} \qquad F_{\gamma s} = 1 - 0.4 = \mathbf{0.600}$$

3 Factores de profundidad (Hansen; D_f/B = 1.0/1.2 = 0.833 ≤ 1)

$$F_{qd} = 1 + 2(0.6249)(0.2210)(0.833) = \mathbf{1.230} \qquad F_{cd} = F_{qd} - \frac{1 - F_{qd}}{N_c \tan \varphi} = \mathbf{1.241}$$

Idénticos a los coeficientes de la presentación de Meyerhof: Vesic no los modificó.

Comprobar la solución en GeoTerva ↗

Exponente que recoge la forma de la cimentación y la dirección de la carga

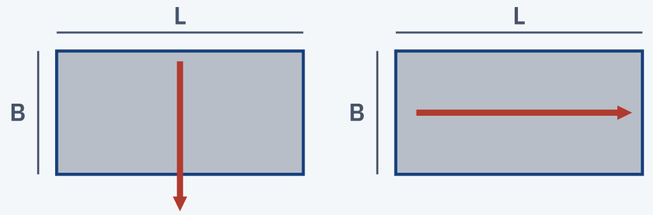
TEORÍA

En los factores de inclinación de Meyerhof el exponente es constante (2), y en los de Hansen también (5). El de Vesic depende de la **relación B/L** de la cimentación y de **a cuál de los lados es paralela** la carga horizontal:

$$m_B = \frac{2 + B/L}{1 + B/L} \quad (h \parallel B) \qquad m_L = \frac{2 + L/B}{1 + L/B} \quad (h \parallel L)$$

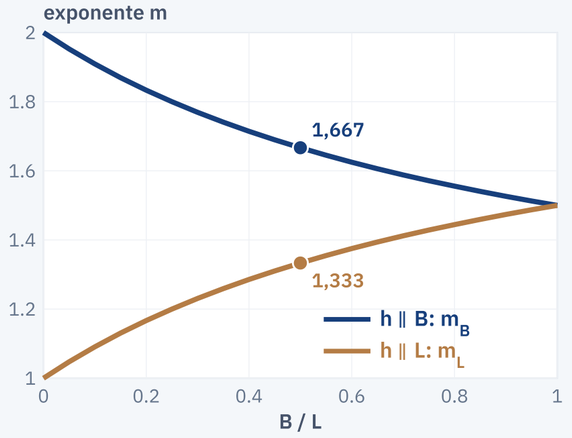
Zapata corrida (B/L → 0): **m_B = 2**, **m_L = 1**. En una zapata cuadrada las dos direcciones son iguales: m = 1.5.

Cuando la misma zapata rectangular se carga en dos direcciones, m es distinto: **con la carga paralela al lado corto el exponente es mayor** y los coeficientes disminuyen más rápido. Ninguno de los demás métodos de este apartado hace esta distinción.



carga paralela a B
m = m_B = 1,667

carga paralela a L
m = m_L = 1,333



Enunciado

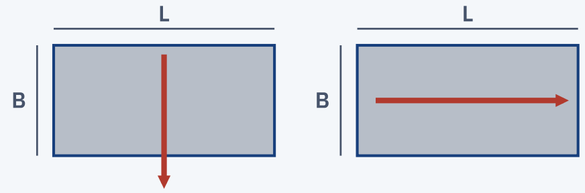
EJEMPLO

Datos

Cimentaciones	**(a) cuadrada 1.2 × 1.2 m · (b) corrida · (c) rectangular 1.2 × 2.4 m (B/L = 0.5)**
Carga	**componente horizontal paralela a B y paralela a L**

SE PIDE

Determinar el valor de **m** para cada cimentación y cada dirección.



carga paralela a B
$m = m_B = 1{,}667$

carga paralela a L
$m = m_L = 1{,}333$

Solución

SOLUCIÓN

1 (a) Cuadrada (B/L = 1) y (b) en franja (B/L → 0)

$$(\text{a}):\ m = \frac{2+1}{1+1} = \mathbf{1.500}\ \ (\text{en dos direcciones})$$

$$(\text{b}):\ m_B = \frac{2+0}{1+0} = \mathbf{2.000}, \quad m_L = \mathbf{1.000}$$

2 (c) Rectángulo de 1.2 × 2.4 m (B/L = 0.5; L/B = 2)

$$m_B = \frac{2+0.5}{1+0.5} = \mathbf{1.667} \qquad m_L = \frac{2+2}{1+2} = \mathbf{1.333}$$

En la misma zapata rectangular, si la carga es paralela al lado corto, m = 1.667, y si es paralela al lado largo, 1.333. Si la carga actúa en la dirección del lado corto, el factor de inclinación $(1 - x)^m$ disminuye más rápidamente: esta dirección es **más desfavorable**.

Comprobar la solución en GeoTerva ↗

Vesic: $(1 - h/(v + c \cot \varphi))^m$

TEORÍA

h = H/A y v = V/A, igual que en Hansen, son las presiones del **mismo caso de carga** (v = q_{apl}; cuando h > 0 se necesita q_{apl}):

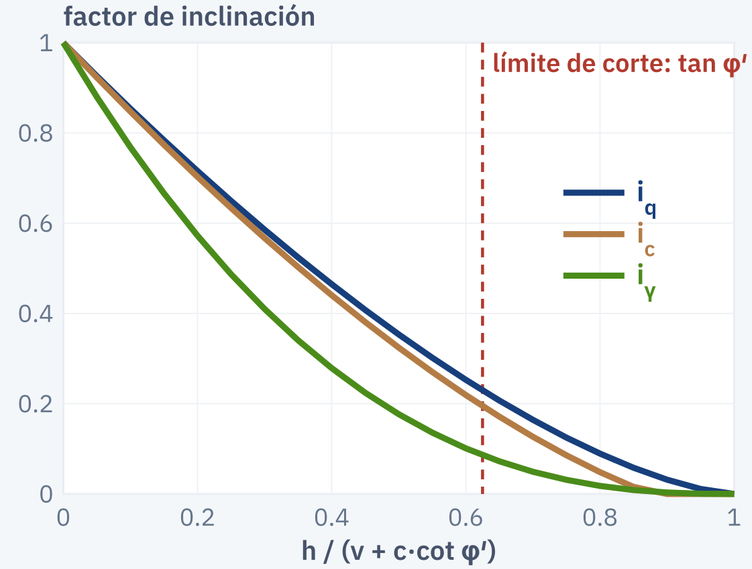
$$i_q = \left(1 - \frac{h}{v + c\cot\varphi}\right)^m \qquad i_\gamma = \left(1 - \frac{h}{v + c\cot\varphi}\right)^{m+1}$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1} \; (\geq 0)$$

$$\varphi = 0: \quad i_c = 1 - \frac{m\,h}{c\,N_c}, \qquad i_q = i_\gamma = 1$$

h > v tan φ + c: la base desliza; el módulo advierte (el deslizamiento se comprueba además por separado). **h ≥ v + c cot φ** (para φ = 0, **h ≥ c**): el módulo se detiene.

i_C no pasa a valores negativos, se mantiene en cero. En el gráfico, el límite de deslizamiento es la recta h/(v + c cot φ) = tan φ.



Enunciado

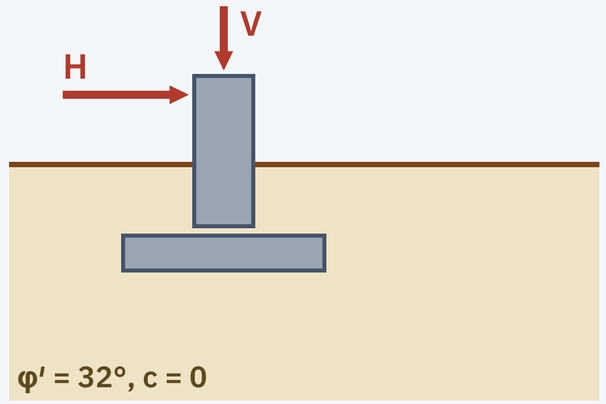
EJEMPLO

Datos

Cimentación, suelo	**cuadrada 1.2 × 1.2 m,** $\varphi' = 32^\circ,\ c = 0$ **(modelo del módulo);** $N_q = 23.18$
Caso de carga	$v = q_{apply} = 150\ \text{kPa},\ h = 30\ \text{kPa}$ **(ek: 60, 90, 120)**
Dirección de la carga	**zapata cuadrada: m = 1.5**

SE PIDE

Determinar los factores i_q, i_c, i_γ y comprobar el límite de deslizamiento.



Solución (1/2)

SOLUCIÓN

1 Relación (c = 0: v + c cot φ = v = 150 kPa)

$$x = \frac{h}{v + c\cot\varphi} = \frac{30}{150} = \mathbf{0.200} \qquad m = 1.5$$

2 Coeficientes

$$i_q = (1 - 0.2)^{1.5} = \mathbf{0.716} \qquad i_\gamma = (1 - 0.2)^{2.5} = \mathbf{0.572}$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1} = 0.716 - \frac{0.284}{22.18} = \mathbf{0.703}$$

3 Límite de deslizamiento

$$v\tan\varphi + c = 150(0.6249) = \mathbf{93.7}\ \text{kPa} \geq h = 30 \ \Rightarrow\ \text{sin deslizamiento}$$

$$(h \geq v = 150 \text{ es estable si})$$

Solución (2/2)

SOLUCIÓN

h (kPa)	h/(v + c cot φ)	i_c	i_q	i_γ	comprobación al deslizamiento
0	0.00	1.000	1.000	1.000	pasa
30	0.20	0.703	0.716	0.572	pasa
60	0.40	0.441	0.465	0.279	pasa
90	0.60	0.219	0.253	0.101	pasa
120	0.80	0.048	0.089	0.018	**advertencia: h > 93.7**

h = 30 kPa (el 20% de v) reduce el término de q en un **28%** y el término del peso propio en un **43%**. Como el exponente es m + 1, el **término del peso propio resulta siempre más afectado**. Si c = 5 kPa, se tendría v + c cot φ = 158.0 kPa e i_q = 0.729.

Comprobar la solución en GeoTerva ↗

Enunciado

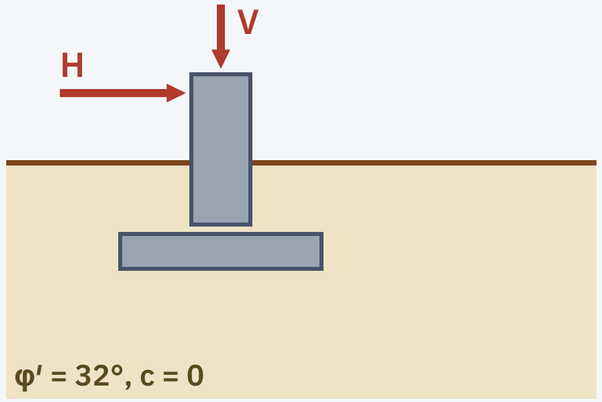
EJEMPLO

Datos

Cimentación, suelo	**cuadrada de 1.2 m,** $\varphi' = 32°,\ c = 0$
Caso de carga	$v = 150\ \text{kPa},\ h = 30\ \text{kPa}$**: con la vertical** $\beta = \tan^{-1}(30/150) = 11.31°$

SE PIDE

Determinar los valores de $\mathbf{i_q}$ e $\mathbf{i_\gamma}$ con los métodos de Meyerhof, Hansen y Vesic y compararlos.



Solución

SOLUCIÓN

1 Meyerhof (con el ángulo β), Hansen (x = h/v = 0.2) y Vesic (m = 1.5)

$$\text{Meyerhof}: F_{;qi} = \left(1 - \frac{11.31}{90}\right)^2 = \mathbf{0.764}, \quad F_{\gamma i} = \left(1 - \frac{11.31}{32}\right)^2 = \mathbf{0.418}$$

$$\text{Hansen}: i_{;q} = (1 - 0.5x)^5 = \mathbf{0.590}, \quad i_\gamma = (1 - 0.7x)^5 = \mathbf{0.470}$$

$$\text{Vesic}: i_{;q} = (1 - 0.2)^{1.5} = \mathbf{0.716}, \quad i_\gamma = (1 - 0.2)^{2.5} = \mathbf{0.572}$$

	i_q	i_γ
Meyerhof	0.764	0.418
Hansen	0.590	0.470
Vesic	**0.716**	**0.572**

Cada factor debe emplearse junto con su propio N_γ y sus factores de forma. El valor de i_q de Vesic es próximo al de Meyerhof, y su i_γ es el más alto de los tres.

Comprobar la solución en GeoTerva ↗

Coeficientes propios de Vesic

TEORÍA

Vesic (1975) propuso también coeficientes propios para la inclinación de la base y la inclinación del terreno. Para φ > 0, el coeficiente de cohesión se deduce del coeficiente de sobrecarga (η y ω en el exponente, en radianes):

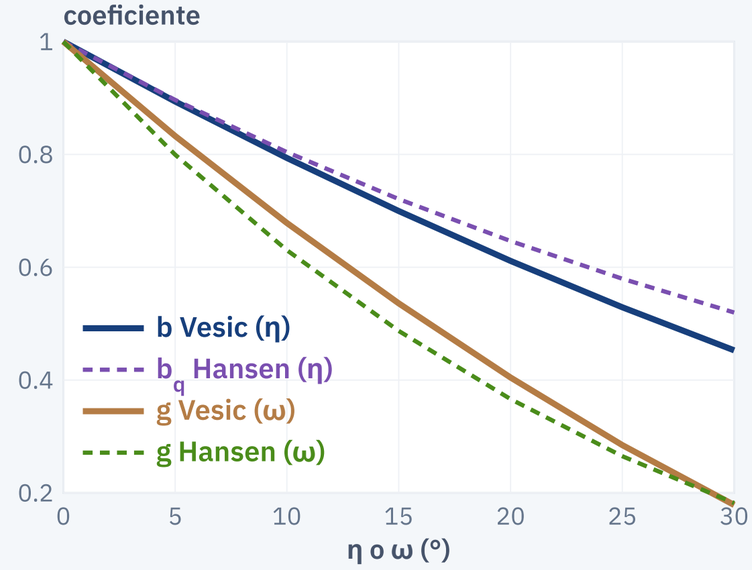
$$b_q = b_\gamma = (1 - \eta \tan\varphi)^2 \qquad g_q = g_\gamma = (1 - \tan\omega)^2$$

$$\varphi > 0: \quad b_c = b_q - \frac{1 - b_q}{N_q - 1} \qquad g_c = g_q - \frac{1 - g_q}{N_q - 1}$$

$$\varphi = 0: \quad b_c = 1 - \frac{2\eta}{\pi + 2} \quad g_c = 1 - \frac{2\omega}{\pi + 2} \quad b_q = b_\gamma = 1$$

Los coeficientes b_q, b_γ de Hansen son exponenciales ($e^{-2\eta \tan\varphi}$) y $g_q = (1 - 0.5 \tan\omega)^5$; para ángulos pequeños son próximos y se separan al aumentar ω (gráfico).

Si ω > φ, el talud no está en equilibrio por sí mismo: el módulo se detiene. η y ω se introducen como máximo hasta 45° ($(1 - \tan\omega)^2$ se anula allí).



Enunciado

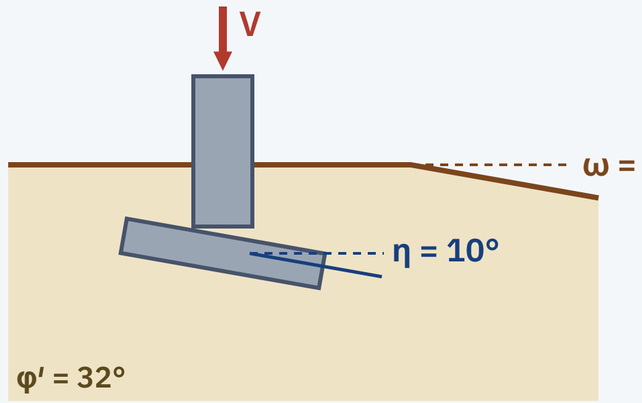
EJEMPLO

Datos

Suelo	$\varphi' = 32^\circ,\ \tan\varphi = 0.6249,\ N_q = 23.18$
Inclinación de la base	**η = 10° (0.1745 rad)**
Inclinación del terreno	**ω = 10°**
Comparación	**Coeficientes de Hansen**

SE PIDE

Hallar los valores de b_c, b_q, b_γ y g_c, g_q, g_γ de Vesic; compararlos con los de Hansen; escribir las formas para φ = 0.



Solución (1/2)

SOLUCIÓN

1 Inclinación de la base η = 10° (Vesic)

$$b_q = b_\gamma = (1 - 0.1745 \cdot 0.6249)^2 = \mathbf{0.7938} \qquad b_c = 0.7938 - \frac{1 - 0.7938}{23.18 - 1} = \mathbf{0.7845}$$

2 Pendiente del terreno ω = 10° (tan 10° = 0.1763)

$$g_q = g_\gamma = (1 - 0.1763)^2 = \mathbf{0.6784} \qquad g_c = 0.6784 - \frac{1 - 0.6784}{23.18 - 1} = \mathbf{0.6639}$$

3 Formas con φ = 0 (para 10°)

$$b_c = 1 - \frac{2(0.1745)}{\pi + 2} = \mathbf{0.932} \qquad g_c = 1 - \frac{2(0.1745)}{\pi + 2} = \mathbf{0.932} \qquad b_q = b_\gamma = 1$$

Solución (2/2)

SOLUCIÓN

	b_c	b_q	b_γ	g_c	$g_q = g_\gamma$
Vesic	0.784	0.794	0.794	0.664	0.678
Hansen	0.932	0.804	0.745	0.932	0.630

b_q y g_q son **próximos** en los dos métodos (0.794 y 0.804; 0.678 y 0.630), pero **los factores de cohesión difieren mucho**: los valores b_c y g_c de Vesic se derivan del factor de sobrecarga (0.784 y 0.664), mientras que los de Hansen son 1 – ángulo/147° (0.932). En arena con c = 0 esta diferencia no afecta al resultado.

Comprobar la solución en GeoTerva ↗

Combinación de la ecuación y comprobación

TEORÍA

Aunque las seis correcciones puedan intimidar, **en el caso ordinario todas valen 1**: con los valores por defecto del módulo (h = 0, η = 0, ω = 0), i = b = g = 1 y la ecuación es idéntica a la ecuación general de Meyerhof. q_u es la presión vertical en la rotura; el módulo mantiene separadas la presión bruta y la neta:

$$q_{u,net} = q_u - q \qquad q_{all,g} = \frac{q_u}{FS} \qquad q_{all,n} = \frac{q_{u,net}}{FS}$$

La presión aplicada q_{apl} es la **presión bruta vertical en la base** para el mismo caso de carga (V/A). La cimentación cumple en las siguientes condiciones:

$$q_{apply} \leq q_{all,g} \qquad FS_{\text{real}} = \frac{q_u}{q_{apply}} \qquad q_{apply} - q \leq q_{all,n}$$

Carga vertical admisible $Q_{all} = q_{all,g} \cdot A$. Si h > 0, debe introducirse q_{apl}.

¿CUÁNDO VALE 1 EL COEFICIENTE?

Coeficiente	caso en que vale 1
F_s	zapata corrida (B/L = 0)
F_d	D_f = 0 (base en la superficie)
i	h = 0 (carga vertical)
b	η = 0 (base horizontal)
g	ω = 0 (terreno horizontal)

Los coeficientes no cambian; cambian q y γ

TEORÍA

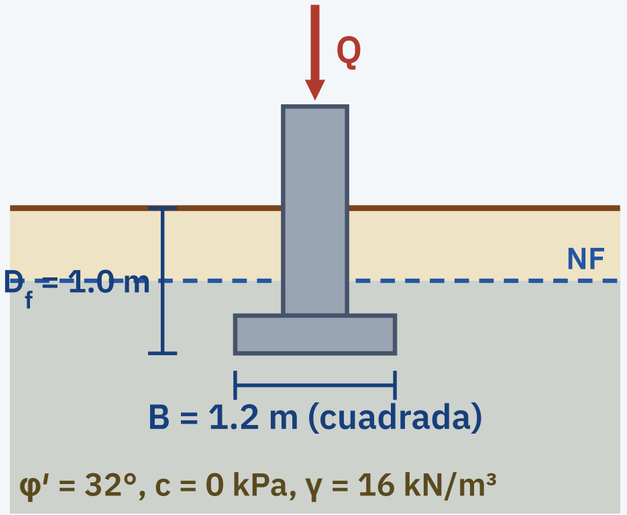
El nivel freático se trata con **los mismos dos casos** que en los demás módulos de este apartado. Por debajo del nivel freático, el peso específico efectivo es $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$ ($\gamma_w = 9.81$). D_w es la profundidad del nivel freático desde la superficie:

$$\text{I } (D_w \leq D_f):\ q = \gamma D_w + \gamma'(D_f - D_w),\ \ \gamma \to \gamma' \text{ (tercer término)}$$

$$\text{III } (D_f < D_w \leq D_f + B):\ q = \gamma D_f,\ \ \bar{\gamma} = \frac{1}{B}\left[\gamma D + \gamma'(B - D)\right],\ D = D_w - D_f$$

Cuando $D_w = D_f$, se toma $q = \gamma D_f$ y se emplea γ' en el tercer término.

El agua situada a más de una anchura B por debajo de la base es **ineficaz**. El agua interviene únicamente a través de **q y γ**; F, i, b, g permanecen iguales.



Enunciado

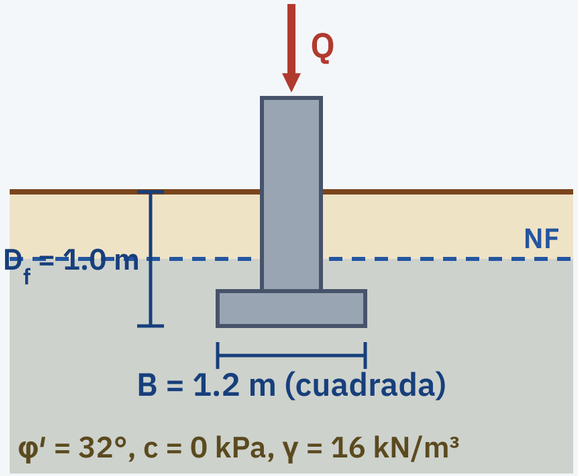
EJEMPLO

Datos

Cimentación	**cuadrada, B = L = 1.2 m, profundidad de cimentación D_f = 1.0 m**
Suelo	**arena:** $\varphi' = 32^\circ,\ c = 0$
Peso específico	$\gamma = 16\ \mathrm{kN/m^3}$ **(arriba),** $\gamma_{sat} = 19.5\ \mathrm{kN/m^3}$ **(por debajo del nivel freático)**
Agua subterránea	**D_W = 0.5 m (caso I)**
Carga	**vertical, centrada**
Seguridad	**FS = 3**

SE PIDE

q_u, q_{all} bruta y neta y la carga admisible **Q_{all}**; después q_u para c = 5 kPa.



Solución (1/2)

SOLUCIÓN

1 Coeficientes (Ejemplo 1: φ′ = 32°; B/L = 1; D_f/B = 0.833; h = η = ω = 0)

$$N_q = 23.18,\ N_\gamma = 30.21 \qquad F_{qs} = 1.625,\ F_{\gamma s} = 0.6,\ F_{qd} = 1.230 \qquad i = b = g = 1$$

2 Caso I: q = 16(0.5) + (19.5 – 9.81)(0.5); γ′ = 9.69 kN/m³ (en el tercer término)

$$q = \mathbf{12.845}\ \mathrm{kPa} \qquad \gamma' = \mathbf{9.69}\ \mathrm{kN/m^3}$$

Solución (2/2)

SOLUCIÓN

3 Capacidad portante (c = 0: sin término de cohesión)

$$q_u = (12.845)(23.18)(1.625)(1.230) + \tfrac{1}{2}(9.69)(1.2)(30.21)(0.6)$$
$$= 595.1 + 105.4 = \mathbf{700.46}\ \text{kPa}$$

4 Presión admisible y carga (A = 1.2² = 1.44 m²)

$$q_{all,g} = \frac{700.46}{3} = \mathbf{233.49}\ \text{kPa} \qquad q_{all,n} = \frac{700.46 - 12.845}{3} = 229.20\ \text{kPa}$$

$$Q_{all} = 233.49(1.44) = \mathbf{336.2}\ \text{kN}$$

q_u = **700.46 kPa**, obtenido con los mismos datos (β = 0) mediante la ecuación general de Meyerhof: las dos ecuaciones son **exactamente iguales**. Si fuera c = 5 kPa, el término de cohesión añadiría 363.9 kPa y resultaría q_u = 1,064.3 kPa.

Comprobar la solución en GeoTerva ↗

Enunciado

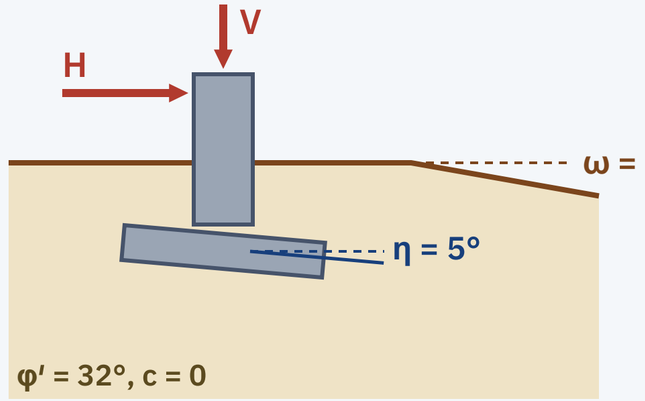
EJEMPLO

Datos

Cimentación	**cuadrada, B = L = 1.2 m, profundidad de cimentación D_f = 1.0 m**
Suelo	**arena:** $\varphi' = 32^\circ,\ c = 0$
Peso específico	$\gamma = 16\ \mathrm{kN/m^3}$ **(arriba),** $\gamma_{sat} = 19.5\ \mathrm{kN/m^3}$ **(por debajo del nivel freático)**
Agua subterránea	**D_w = 0.5 m**
Caso de carga	$v = q_{apply} = 90\ \mathrm{kPa},\ h = 18\ \mathrm{kPa}$ **(h ∥ B)**
Base, suelo	**η = 5°, ω = 10°**
Seguridad	**FS = 3**

SE PIDE

Determinar q_u y q_{all}; comprobar si la cimentación cumple para q_{apl} = 90 kPa y comprobar el deslizamiento.



Solución (1/3)

SOLUCIÓN

1 Coeficientes de inclinación (x = h/v = 18/90 = 0.2; m = 1.5)

$$i_q = (1 - 0.2)^{1.5} = \mathbf{0.716} \qquad i_\gamma = (1 - 0.2)^{2.5} = \mathbf{0.572} \qquad i_c = 0.703$$

2 Factores de inclinación de la base y del terreno (η = 5° = 0.0873 rad; ω = 10°)

$$b_q = b_\gamma = (1 - 0.0873 \cdot 0.6249)^2 = \mathbf{0.894} \qquad b_c = 0.889$$

$$g_q = g_\gamma = (1 - \tan 10^\circ)^2 = \mathbf{0.678} \qquad g_c = 0.664$$

Solución (2/3)

SOLUCIÓN

3 Tres términos (c = 0; coeficientes F como en el Ejemplo 6)

$$q\text{ término} = (12.845)(23.18)(1.625)(1.230)(0.716)(0.894)(0.678) = 258.2$$

$$\gamma\text{ término} = \tfrac{1}{2}(9.69)(1.2)(30.21)(0.6)(0.572)(0.894)(0.678) = 36.6$$

4 Capacidad portante y presión admisible

$$q_u = 258.2 + 36.6 = \mathbf{294.8}\ \text{kPa} \qquad q_{all,g} = \frac{294.8}{3} = \mathbf{98.3}\ \text{kPa}$$

Solución (3/3)

SOLUCIÓN

5 Comprobación (q_{apl} = 90 kPa)

$$q_{apply} = 90 \leq q_{all,g} = 98.3 \;\Rightarrow\; \textbf{válido}$$

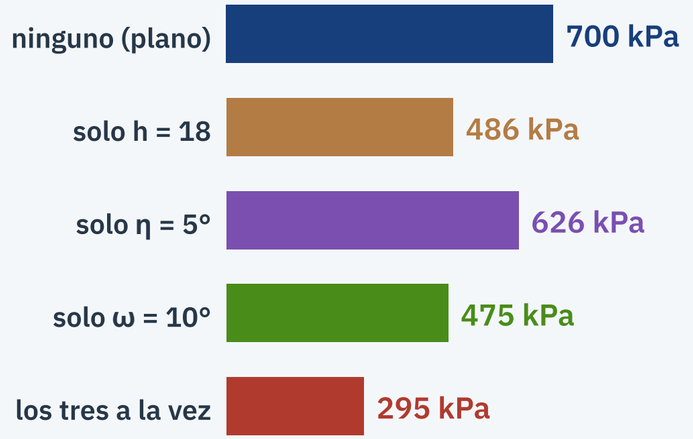
$$FS_{\text{real}} = \frac{294.8}{90} = \mathbf{3.28} \geq 3$$

$$q_{apply} - q = 77.2 \leq q_{all,n} = 94.0 \;\Rightarrow\; \textbf{válido}$$

6 Límite de deslizamiento

$$h = 18 \leq v \tan\varphi = 56.2\ \text{kPa} \;\Rightarrow\; \text{sin deslizamiento}$$

En el modelo horizontal, q_u, de 700 kPa, desciende a **295 kPa** (una reducción del 58%) en esta situación de carga. Por separado: inclinación del terreno −32%, carga horizontal −31%, inclinación de la base −11%. La cimentación cumple en las tres condiciones (FS = 3.28).



Comprobar la solución en GeoTerva ↗

φ = 0: formas propias de los coeficientes de cohesión

TEORÍA

Para φ = 0, N_c = 5.14, N_q = 1, N_γ = 0; el término del peso propio desaparece y el término de sobrecarga queda únicamente q g_q. En este módulo el término de cohesión permanece **multiplicativo** (a diferencia de la forma aditiva de Hansen):

$$q_u = c\,N_c\,F_{cs}F_{cd}\,i_c\,b_c\,g_c + q\,g_q$$

Las formas con φ = 0 de los coeficientes de cohesión figuran en la tabla: para la inclinación de la carga, **$i_c = 1 - m\,h/(c\,N_c)$**; para la inclinación de la base y del terreno, **1 − 2·ángulo/(π + 2)** (ángulo en radianes).

Si **h ≥ c**, la base desliza y el módulo se detiene. Para φ = 0, $F_{cs} = 1 + (B/L)/5.14\ (N_q/N_c = 1/5.14)$ y $F_{cd} = 1 + 0.4\ k$.

CASOS DE φ = 0

Coeficiente	Valor
N_c	5.14
F_{cs}	1 + (B/L)/5.14
F_{cd}	1 + 0.4 k
i_c	1 − m h/(c N_c)
b_c	1 − 2η/(π + 2)
g_c	1 − 2ω/(π + 2)
g_q	(1 − tan ω)²

Enunciado

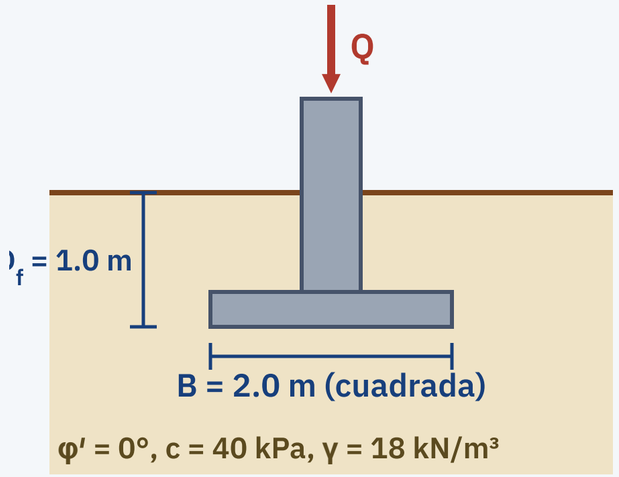
EJEMPLO

Datos

Cimentación	**cuadrada B = L = 2 m, D_f = 1 m**
Suelo	**arcilla:** $\varphi = 0,\ c_u = 40\ \mathrm{kPa},\ \gamma = 18\ \mathrm{kN/m^3}$**; sin nivel freático**
Casos	**(a) carga vertical · (b)** $v = 100,\ h = 10\ \mathrm{kPa}$ **· (c)** $h = 10$ **y** $\eta = \omega = 10^\circ$

SE PIDE

Determinar el valor de $\mathbf{q_u}$ para cada caso.



Solución (1/2)

SOLUCIÓN

1. (a) Carga vertical: $F_{cs} = 1 + 1/5.14$; $F_{cd} = 1 + 0.4(0.5)$; q = 18 kPa

$$q_u = 40(5.14)(1.195)(1.200) + 18 = 294.72 + 18 = \mathbf{312.72}\ \text{kPa}$$

2. (b) h = 10 kPa, c = 40 (m = 1.5)

$$i_c = 1 - \frac{1.5(10)}{40(5.14)} = \mathbf{0.927} \Rightarrow q_u = 273.22 + 18 = \mathbf{291.22}\ \text{kPa}$$

Solución (2/2)

SOLUCIÓN

3 (c) h = 10, η = ω = 10°: $b_c = g_c = 1 - 2(0.1745)/(\pi + 2) = 0.932$; $g_q = (1 - \tan 10°)^2$

$$q_u = 40(5.14)(1.195)(1.200)(0.927)(0.932)(0.932) + 18(0.678) = 237.4 + 12.2 = \mathbf{249.6}\ \text{kPa}$$

Situación	$c\, N_c F_{cs} F_{cd} \cdot (i\, b\, g)$	$q\, g_q$	q_u (kPa)
(a) vertical	294.7	18.0	**312.7**
(b) h = 10	273.2	18.0	**291.2**
(c) h, η, ω	237.4	12.2	**249.6**

Solo h = 10 kPa reduce la capacidad portante un 7%; junto con h, la inclinación de la base y del terreno la reducen un 20%. La forma aditiva de Hansen da 305.84 kPa para el mismo caso vertical (presentación de Hansen): los dos métodos coinciden con una diferencia inferior al 2%.

Comprobar la solución en GeoTerva ↗

Enunciado

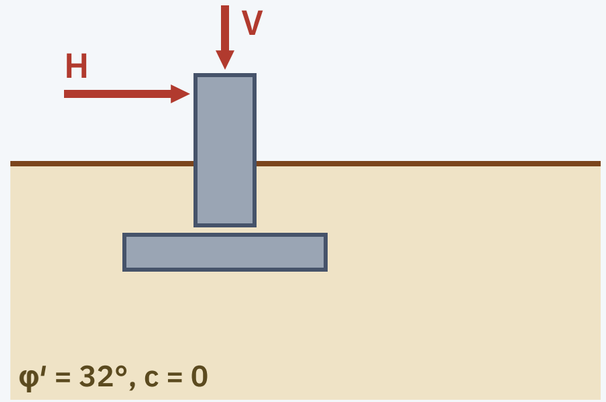
EJEMPLO

Datos

Cimentación	**cuadrada, B = L = 1.2 m, profundidad de cimentación D_f = 1.0 m**
Suelo	**arena:** $\varphi' = 32°,\ c = 0$
Peso específico	$\gamma = 16\ \mathrm{kN/m^3}$ **(arriba),** $\gamma_{sat} = 19.5\ \mathrm{kN/m^3}$ **(por debajo del nivel freático)**
Agua subterránea	**D_w = 0.5 m**
Caso de carga	$v = 150\ \mathrm{kPa},\ h = 30\ \mathrm{kPa}$**;** $\beta = 11.31°$ **para Meyerhof**

SE PIDE

Comparar término a término los valores de q_u de las dos ecuaciones para la carga vertical y para esta carga inclinada.



Solución (1/2)

SOLUCIÓN

Carga vertical	Vesic	Meyerhof
término en q	595.1	595.1
término en γ	105.4	105.4
q_u (kPa)	**700.46**	**700.46**

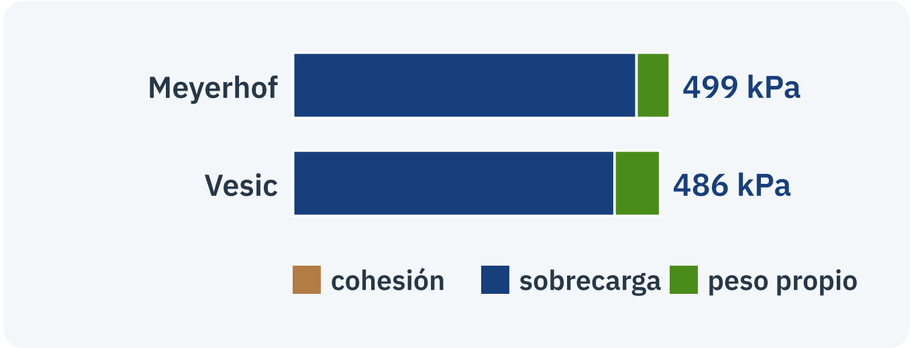
Sin inclinación de la carga, de la base ni del terreno, la ecuación de Vesic es **idéntica** a la ecuación general de Meyerhof (700.46 kPa): la divergencia de Vesic empieza solo en los casos con inclinación. Esta es la vía de verificación propia del módulo.

Solución (2/2)

SOLUCIÓN

Carga inclinada	Vesic (m = 1.5)	Meyerhof (β = 11.31°)
i_q / F_{qi}	0.716	0.764
i_γ / $F_{\gamma i}$	0.572	0.418
término en q	425.8	454.9
término en γ	60.3	44.1
q_u (kPa)	**486.1**	**499.0**

Con carga inclinada la diferencia es pequeña: **2.6%** (Vesic da un valor menor). El $F_{\gamma i}$ de Meyerhof reduce más y su F_{qi} menos; como el término de q predomina, los resultados son próximos.



Comprobar la solución en GeoTerva ↗

Resumen

Puntos clave

La **ecuación de Vesic** tiene la misma estructura que la de Hansen; adopta tal cual los factores de **forma de De Beer** y de **profundidad de Hansen**, y $N_\gamma = 2(N_q + 1)\tan\varphi$

Su aportación propia: el exponente de inclinación m y los factores de inclinación de la base b y del terreno g

Inclinación: $i_q = (1 - h/(v + c\cot\varphi))^m$, $i_\gamma = (\ldots)^{m+1}$; $m = (2 + B/L)/(1 + B/L)$ $(h \parallel B)$ o $(2 + L/B)/(1 + L/B)$ $(h \parallel L)$; en zapata corrida $m_B = 2$, $m_L = 1$

Inclinación de la base $b_q = b_\gamma = (1 - \eta\tan\varphi)^2$; **inclinación del terreno** $g_q = g_\gamma = (1 - \tan\omega)^2$; para $\varphi > 0$, b_c y g_c se obtienen del factor de sobrecarga, y para $\varphi = 0$, $1 - 2\cdot$ángulo$/(\pi + 2)$

Límites: $h > v\tan\varphi + c$, advertencia de deslizamiento; $h \geq v + c\cot\varphi$ (con $\varphi = 0$, $h \geq c$), el módulo se detiene; $\omega > \varphi$, el módulo se detiene

Con $i = b = g = 1$, la ecuación es la **ecuación general de Meyerhof**; el **nivel freático** solo modifica q y γ

Comprobación: $q_{apl} \leq q_{all,g}$, FS_{real} y neto; los coeficientes de cada método se utilizan junto con su propio N_γ

Referencias bibliográficas

La ecuación completa de capacidad portante de Vesic —el exponente de inclinación que depende de B/L y sus propios factores de inclinación de la base— sigue a Vesic, A.S., «Analysis of Ultimate Loads of Shallow Foundations», Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, 1973, tal como se recoge de forma coherente en las referencias geotécnicas habituales (junto con la ecuación de Hansen, muy afín; véase el módulo de Hansen de esta sección). La expresión cerrada de N_γ utilizada en toda esta sección es la de Vesic, tal como se expone en Das, B.M., Principles of Geotechnical Engineering, 9th ed., Cengage Learning, 2018 (Capítulo 16); los factores de profundidad son los de Hansen, tal como se recogen en Das, B.M., Principles of Foundation Engineering, 8th ed., Cengage Learning, 2016 (Tabla 4.3). En el texto de esta página, «la fuente» es el primero de estos dos libros y «la segunda fuente» el segundo.

NOTA

Todos los ejemplos numéricos se han obtenido con la propia biblioteca de cálculo del módulo; el módulo da los mismos valores.

GeoTerva

Cálculos geotécnicos en línea

De la teoría a la práctica

Calcular paso a paso en GeoTerva la cimentación de ejemplo de esta presentación: el módulo se abre con este modelo.

Abrir el módulo →

Página de teoría →

Abrir en el teléfono
Los módulos de prueba no requieren registro.

Si desea utilizarlas en sus clases: info@geoterva.com