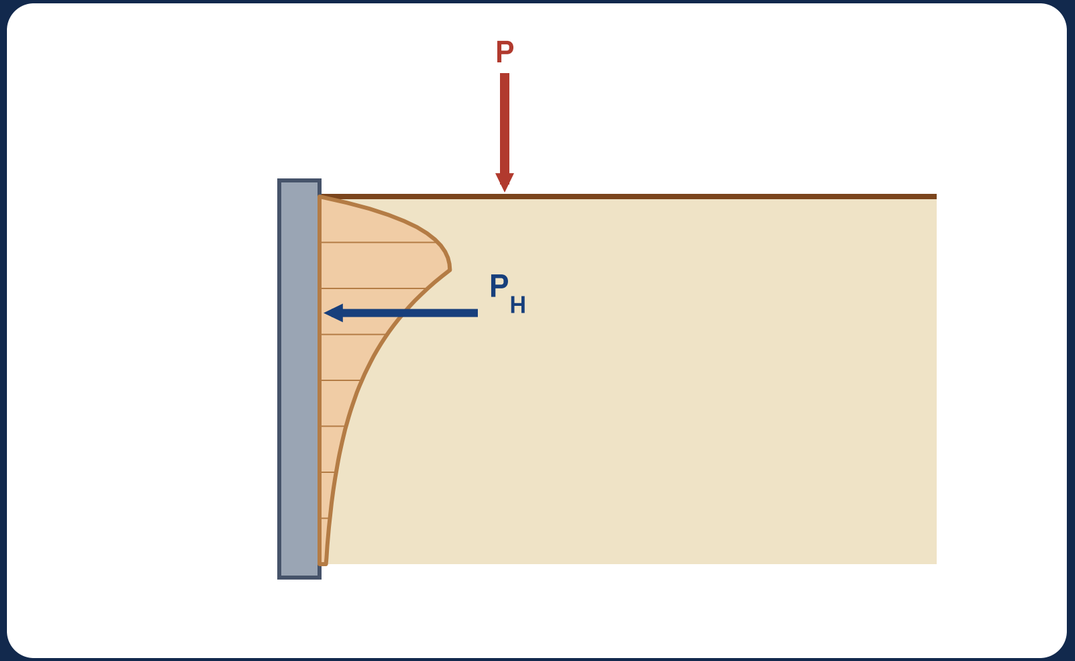
Presentación de clase de geotecnia · Sobrecargas

Sobrecarga lineal

Clase: presión lateral que una carga lineal paralela al muro produce sobre este; dos métodos, resultante y línea de acción, ejemplos resueltos.

- m = x/H · n = z/H
- Muro rígido elástico
- Ábaco de Terzaghi–NAVFAC
- I_0 · I_1
- P_H y z_R



Introducción

¿Qué aprenderemos en esta clase?

- La geometría **adimensional** de la carga lineal: distancia de la carga **m = x/H** y profundidad **n = z/H**
- La solución **elástica (muro rígido)**: el doble de la tensión del medio semiinfinito; la regla $\mathbf{x_{min} = 0.30\ m}$
- El **ábaco de Terzaghi–NAVFAC**: los casos m > 0.4 y m ≤ 0.4; la irrelevancia de la distancia dentro de 0.4H
- La resultante $\mathbf{P_H = P \cdot I_0}$ y la línea de acción $\mathbf{z_R = H \cdot I_1/I_0}$ mediante expresiones cerradas
- La comparación de los dos métodos según la distancia, la altura del muro y la carga

DESARROLLO DE LA CLASE

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

1 · **Teoría**: fórmula y su justificación

2 · **Enunciado**: datos y se pide

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

Muro de ejemplo: H = 25 m, carga lineal P = 100 kN/m a una distancia x = 5 m del muro. Las fuerzas se expresan por unidad de longitud de muro (kN/m).

Carga lineal sobre el muro

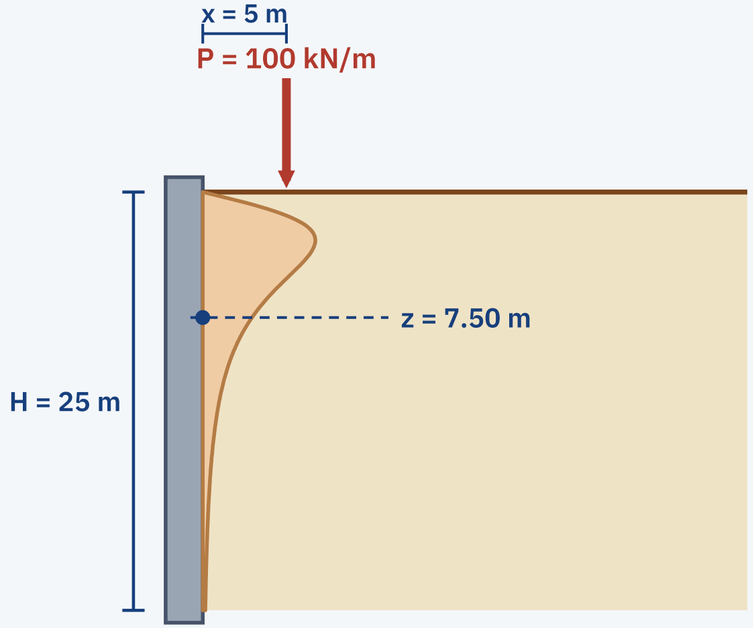
TEORÍA

Una carga lineal superficial **P** paralela al muro, dada como fuerza por unidad de longitud, se encuentra a una distancia horizontal **x** del muro

La presión lateral por sobrecarga depende de la distancia adimensional de la carga **m = x/H** y de la profundidad adimensional del muro **n = z/H**

El módulo ofrece dos métodos: la solución **elástica (muro rígido)** y el **ábaco de Terzaghi–NAVFAC**

$$m = \frac{x}{H}, \qquad n = \frac{z}{H}$$



P — carga lineal superficial por unidad de longitud, paralela al muro
x = mH — distancia horizontal desde el muro hasta la carga; **z = nH** — profundidad desde la superficie
σ_H, P_H, z_R — presión lateral, fuerza resultante, profundidad de la resultante desde la superficie

Muro rígido: el doble de la tensión elástica

TEORÍA

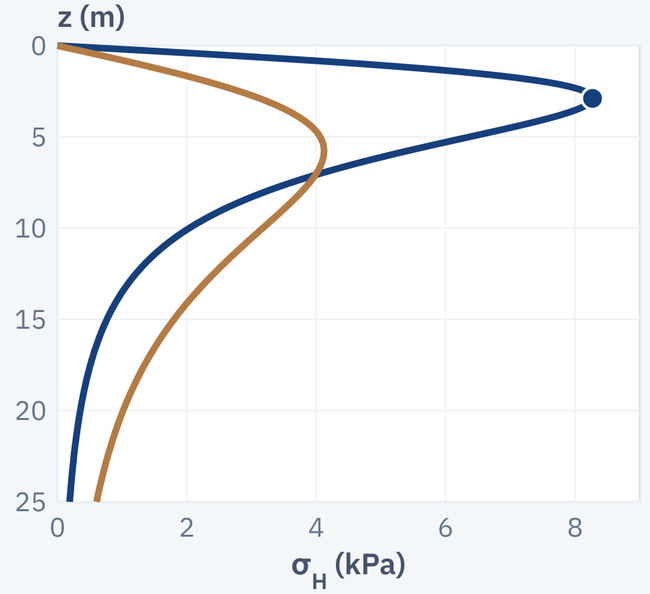
Es el **doble** de la tensión horizontal producida por una carga lineal en un semiespacio elástico (Flamant, Boussinesq): un muro que no se desplaza impide el movimiento del suelo en su cara

Es válida para cualquier distancia; la presión máxima se da a la profundidad **n = m/√3**

Una carga situada a menos de $\mathbf{x_{min} = 0.30\ m}$ se calcula a esa distancia: la presión máxima crece sin límite a medida que la carga se acerca al muro (la resultante permanece finita)

$$\sigma_H = \frac{4P}{\pi H} \cdot \frac{m^2 n}{(m^2 + n^2)^2}$$

Perfil elástico (m = 0.2)



Caso 1 (m ≤ 0.4) y Caso 2 (m > 0.4)

TEORÍA

Para **m > 0.4**, la **misma ecuación** que la solución elástica; para **m ≤ 0.4** el diagrama se **mantiene constante** en m = 0.4 (caso 1, que no contiene m)

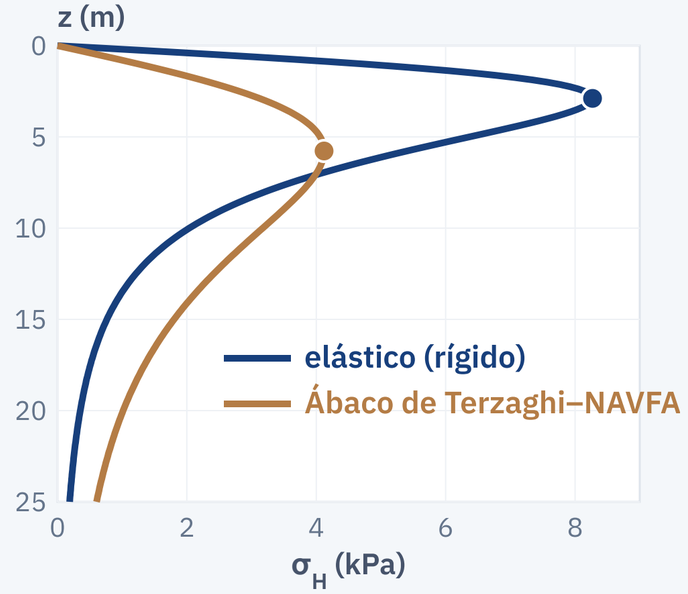
El coeficiente 0.203 es el valor redondeado de 4 × 0.16/π; por ello, **dentro de 0.4H la distancia no tiene efecto**

Para un modelo dado, m es constante; n varía con la profundidad

$$\sigma_H = \frac{P}{H} \cdot \frac{0.203\, n}{(0.16 + n^2)^2} \qquad m \leq 0.4 \text{ (Caso 1)}$$

$$\sigma_H = \frac{4P}{\pi H} \cdot \frac{m^2\, n}{(m^2 + n^2)^2} \qquad m > 0.4 \text{ (Caso 2)}$$

Perfil de los dos métodos (m = 0.2)



Área, primer momento e I_0, I_1

TEORÍA

En ambos métodos, la **resultante es el área del diagrama** y su profundidad desde la superficie es el **punto en el que se equilibra el primer momento**; al escribir σ_H como función de n, la carga y la altura salen de la integral

Elástica y expresiones cerradas del ábaco para **m > 0.4**; resultante del ábaco ≈ 0.64P/(1 + m²). Ábaco con **m ≤ 0.4**: I_0 = 0.5469 (el valor 0.55P del ábaco)

$$P_H = \int_0^H \sigma_H \, dz = P \, I_0 \qquad z_R = \frac{\int_0^H z \, \sigma_H \, dz}{P_H} = H \, \frac{I_1}{I_0}$$

$$I_0 = \frac{2/\pi}{1+m^2} \qquad I_1 = \frac{2}{\pi}\left[m \tan^{-1}\frac{1}{m} - \frac{m^2}{1+m^2}\right]$$

$$I_0 = 0.1015\left(\tfrac{1}{0.16} - \tfrac{1}{1.16}\right) = 0.5469 \qquad I_1 = 0.203\left[\frac{\tan^{-1} 2.5}{0.8} - \frac{1}{2.32}\right] \; (m \le 0.4)$$

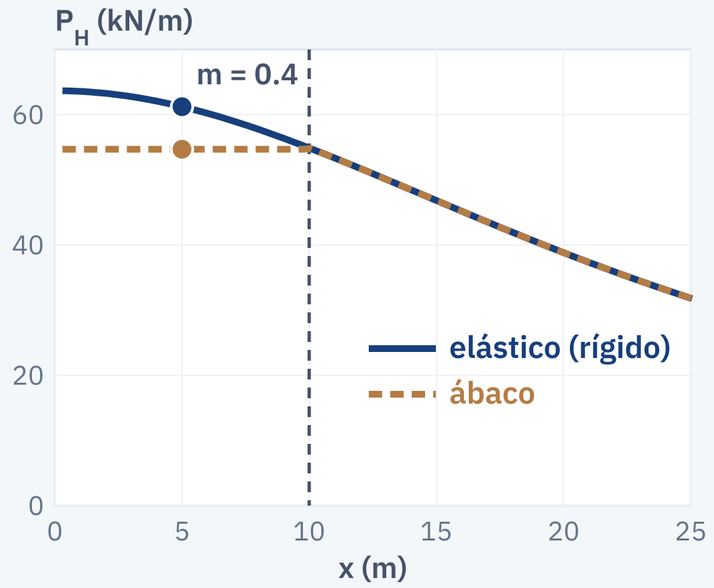
Resultante y línea de acción, con la distancia de la carga

TEORÍA

x (m)	m	P_H elástico	z_R elástico	ábaco de P_H	ábaco de z_R	Situación
0.50	0.020	63.64	0.77	54.69	9.81	Caso 1
1.00	0.040	63.56	1.49	54.69	9.81	Caso 1
2.00	0.080	63.26	2.84	54.69	9.81	Caso 1
5.00	0.200	61.21	6.14	54.69	9.81	Caso 1
8.00	0.320	57.75	8.56	54.69	9.81	Caso 1
10.00	0.400	54.88	9.81	54.69	9.81	Caso 1
12.50	0.500	50.93	11.05	50.93	11.05	Caso 2
15.00	0.600	46.81	12.02	46.81	12.02	Caso 2
25.00	1.000	31.83	14.27	31.83	14.27	Caso 2

m ≤ 0.4: el ábaco da los mismos P_H y z_R; la solución elástica aumenta P_H al acercarse la carga y eleva z_R

m > 0.4: los dos métodos dan el mismo resultado



Enunciado

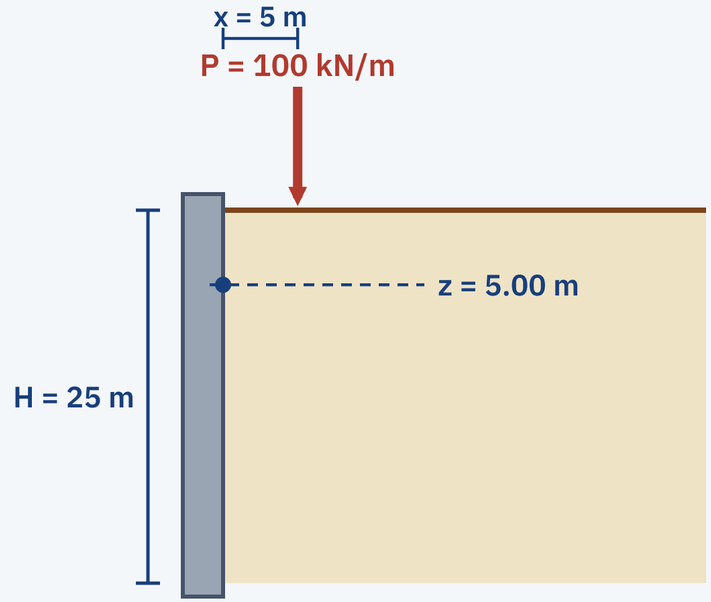
EJEMPLO

SE PIDE

m, **n** y σ_H: primero la solución elástica (muro rígido) y después el ábaco de Terzaghi–NAVFAC.

Datos

Muro y carga	$H = 25.00$ **m; carga lineal** $P = 100.0$ **kN/m,** $x = 5.00$ **m**
Profundidad	$z = 5.00$ **m**



Solución (1/2)

SOLUCIÓN

1 Relaciones

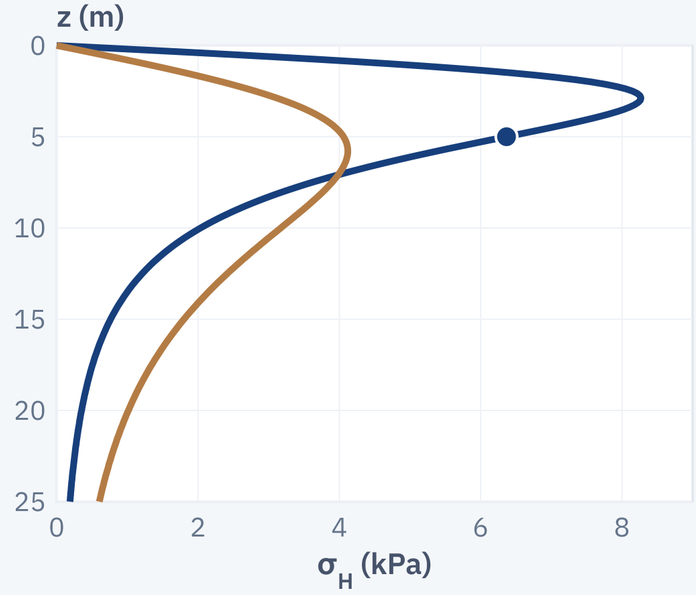
$$m = \frac{x}{H} = \frac{5}{25} = \mathbf{0.20} \qquad n = \frac{z}{H} = \frac{5}{25} = \mathbf{0.20}$$

2 Presión elástica (muro rígido)

$$\sigma_H = \frac{4 \times 100}{\pi \times 25}\left[\frac{0.20^2 \times 0.20}{(0.20^2 + 0.20^2)^2}\right]$$

$$\sigma_H = 5.0930 \times 1.25 = \mathbf{6.37}\ \text{kPa}$$

En z = 5 m, la solución elástica da **6.37 kPa**. Esta profundidad está por debajo de la presión máxima (8.27 kPa, z = 2.89 m); el perfil se atenúa rápidamente con la profundidad.



Solución (2/2)

SOLUCIÓN

3 Selección del caso

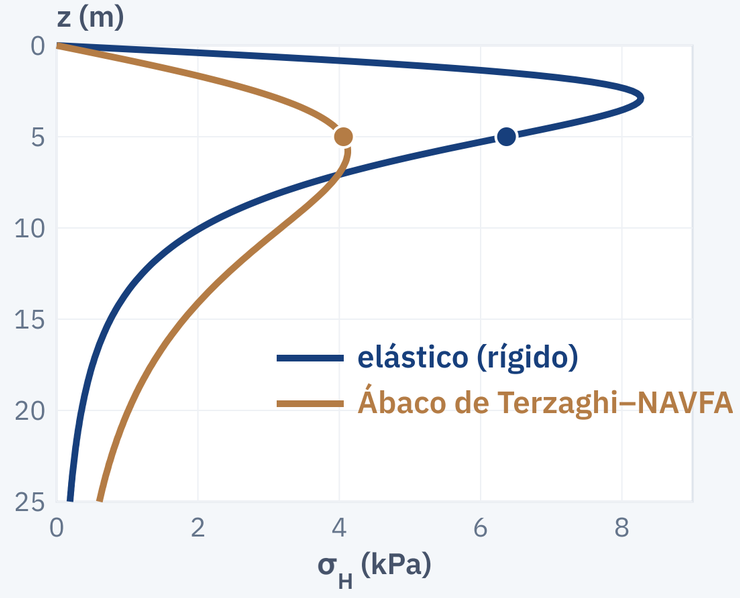
$$m = 0.20 \leq 0.4 \;\Rightarrow\; \text{Caso 1 (diagrama } m = 0.4 \text{fijo)}$$

4 Presión del ábaco

$$\sigma_H = \frac{100}{25}\left[\frac{0.203 \times 0.20}{(0.16 + 0.20^2)^2}\right]$$

$$\sigma_H = 4.00 \times 1.015 = \mathbf{4.06}\ \text{kPa}$$

El ábaco da **4.06 kPa** y la solución elástica **6.37 kPa**: a esta profundidad, el valor del ábaco es el 64% del valor elástico. El ábaco dispersa la presión en profundidad cuando la carga está próxima.



Comprobar la solución en GeoTerva ↗

Enunciado

EJEMPLO

Datos

Muro y carga	$H = 25.00$ **m,** $P = 100.0$ **kN/m,** $x = 5.00$ **m** $(m = 0.20)$
Profundidades	$z = 0$ **–** 25 **m, cada** 2.5 **m**

SE PIDE

Perfil de σ_H (dos métodos); **presión máxima** y su profundidad.

Solución (1/2)

SOLUCIÓN

z (m)	n = z/H	σ_H elástica (kPa)	σ_H del ábaco (kPa)
0.00	0.00	0.000	0.000
2.50	0.10	8.149	2.810
5.00	**0.20**	**6.366**	**4.060**
7.50	0.30	3.616	3.898
10.00	0.40	2.037	3.172
12.50	0.50	1.211	2.415
15.00	0.60	0.764	1.802
17.50	0.70	0.508	1.345
20.00	0.80	0.352	1.015
22.50	0.90	0.254	0.777
25.00	1.00	0.188	0.603

La presión elástica alcanza su valor máximo inmediatamente por debajo de la superficie y disminuye con la profundidad; el ábaco da un perfil más regular y su pico se sitúa a mayor profundidad. La fila z = 5.00 m es el Ejemplo 1.

Solución (2/2)

SOLUCIÓN

1 Elástico: pico n = m/√3

$$n = \frac{m}{\sqrt{3}} = \frac{0.20}{1.7321} = 0.11547 \;\Rightarrow\; z = nH = \mathbf{2.887}\ \text{m}$$

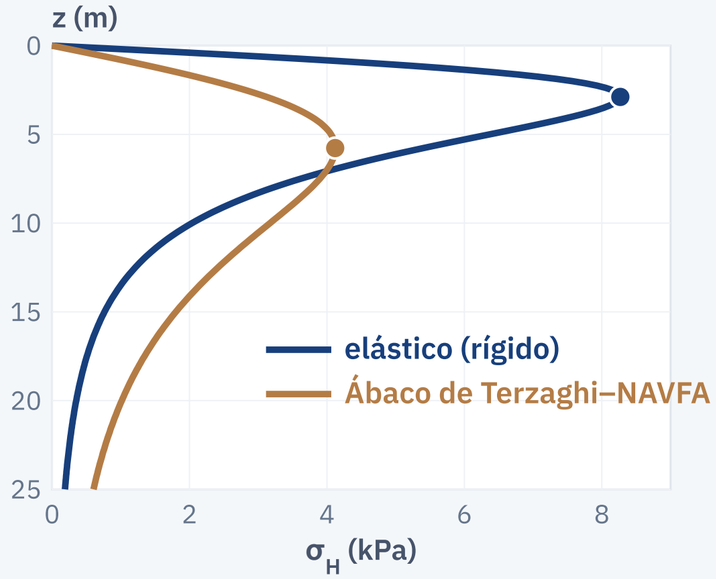
$$\sigma_{H,max} = \frac{9P}{4\sqrt{3}\,\pi\,x} = \frac{9 \times 100}{4(1.7321)\pi(5)} = \mathbf{8.270}\ \text{kPa}$$

2 Ábaco (caso 1): máximo en n = 0.4/√3

$$n = \frac{0.4}{\sqrt{3}} = 0.23094 \;\Rightarrow\; z = \mathbf{5.774}\ \text{m}$$

$$\sigma_{H,max} = 4\left[\frac{0.203 \times 0.23094}{(0.16 + 0.05333)^2}\right] = \mathbf{4.120}\ \text{kPa}$$

Pico elástico de **8.27 kPa** (z = 2.89 m), pico del ábaco de **4.12 kPa** (z = 5.77 m): la solución elástica se concentra en la parte superior del muro, mientras que el ábaco da un pico más profundo y de la mitad de magnitud.



Comprobar la solución en GeoTerva ↗

Enunciado

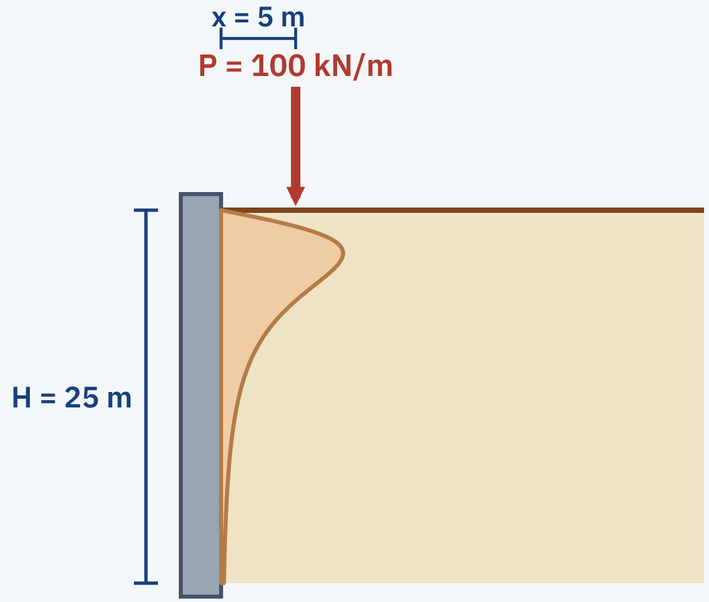
EJEMPLO

SE PIDE

$\mathbf{I_0}$, $\mathbf{I_1}$, resultante $\mathbf{P_H}$, $\mathbf{z_R}$ y su altura sobre la base (para los dos métodos).

Datos

Muro y carga	$H = 25.00$ **m,** $P = 100.0$ **kN/m,** $x = 5.00$ **m**
Métodos	**elástico (muro rígido) y ábaco de Terzaghi–NAVFAC**



Solución (1/2)

SOLUCIÓN

1 I_0 (área)

$$I_0 = \frac{2/\pi}{1+m^2} = \frac{0.63662}{1+0.20^2} = \mathbf{0.61213}$$

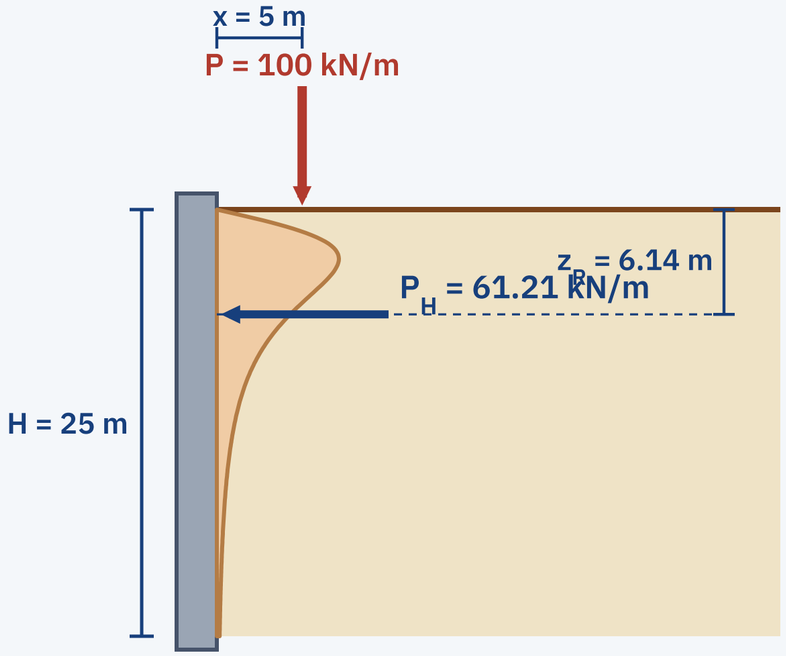
2 I_1 (momento): $(2/\pi)[m \tan^{-1}(1/m) - m^2/(1+m^2)]$

$$I_1 = 0.63662\,[0.20(1.37340) - 0.03846] = \mathbf{0.15038}$$

3 Resultante y línea de acción

$$P_H = P\,I_0 = 100 \times 0.61213 = \mathbf{61.21}\ \mathrm{kN/m}$$

$$z_R = H\frac{I_1}{I_0} = 25 \times \frac{0.15038}{0.61213} = \mathbf{6.14}\ \mathrm{m}$$



Elástico: **P_H = 61.21 kN/m**, a **6.14 m** bajo la superficie (a 18.86 m sobre la base).

Solución (2/2)

SOLUCIÓN

4 I_0 e I_1 (m ≤ 0.4, Caso 1)

$$I_0 = 0.1015\left(\frac{1}{0.16} - \frac{1}{1.16}\right) = \mathbf{0.5469}$$

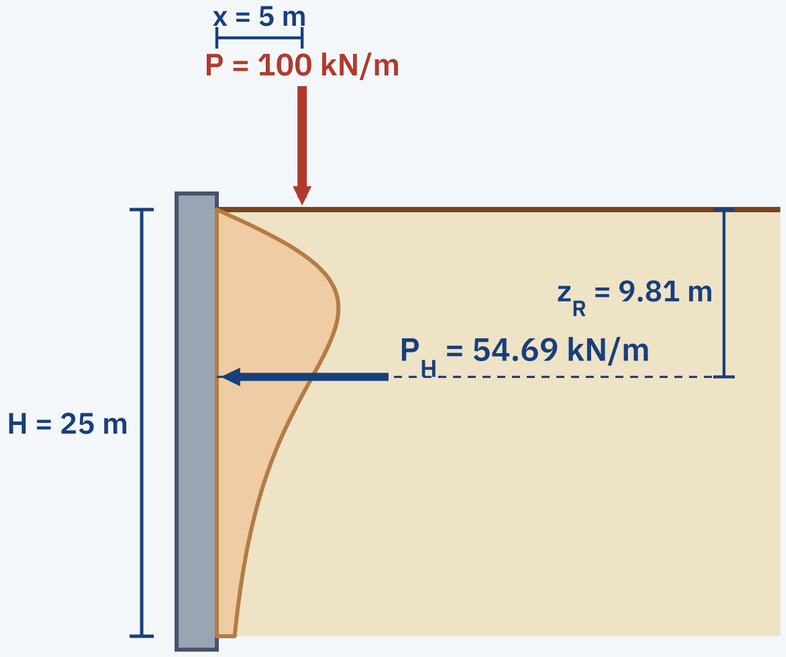
$$I_1 = 0.203\left[\frac{\tan^{-1} 2.5}{0.8} - \frac{1}{2.32}\right]$$

$$I_1 = 0.203\,[1.48786 - 0.43103] = \mathbf{0.21454}$$

5 Resultante y línea de acción

$$P_H = 100 \times 0.5469 = \mathbf{54.69}\ \mathrm{kN/m}$$

$$z_R = 25 \times \frac{0.21454}{0.5469} = \mathbf{9.81}\ \mathrm{m}$$



Ábaco: **P_H = 54.69 kN/m**, **z_R = 9.81 m**. Respecto de la solución elástica, la resultante es un 10.7% menor y la línea de acción está 3.67 m más abajo.

Comprobar la solución en GeoTerva ↗

Enunciado

EJEMPLO

Datos

Muro y carga	$H = 25.00$ **m,** $P = 100.0$ **kN/m**
Distancias	$x = 0.5;\ 1;\ 2;\ 5;\ 8;\ 10;\ 12.5;\ 15;\ 25$ **m**

SE PIDE

P_H y **z_R** para los dos métodos; comprobación a mano para **x = 12.5 m**.

Solución (1/2)

SOLUCIÓN

x (m)	m	P_H elástico (kN/m)	z_R elástico (m)	P_H por ábaco (kN/m)	z_R ábaco (m)	Situación
0.50	0.020	63.64	0.77	54.69	9.81	Caso 1
1.00	0.040	63.56	1.49	54.69	9.81	Caso 1
2.00	0.080	63.26	2.84	54.69	9.81	Caso 1
5.00	**0.200**	**61.21**	**6.14**	**54.69**	**9.81**	**Caso 1**
8.00	0.320	57.75	8.56	54.69	9.81	Caso 1
10.00	0.400	54.88	9.81	54.69	9.81	Caso 1
12.50	0.500	50.93	11.05	50.93	11.05	Caso 2
15.00	0.600	46.81	12.02	46.81	12.02	Caso 2
25.00	1.000	31.83	14.27	31.83	14.27	Caso 2

x ≤ 10 m (m ≤ 0.4): el ábaco da 54.69 kN/m y 9.81 m, la distancia no influye; la resultante elástica disminuye lentamente al alejarse la carga (63.64 → 54.88 kN/m) y su línea de actuación se profundiza. **m > 0.4**: los dos métodos coinciden.

Solución (2/2)

SOLUCIÓN

1 Relación y estado

$$m = \frac{12.5}{25} = \mathbf{0.50} > 0.4 \;\Rightarrow\; \text{ábaco, Caso 2: la misma ecuación que la solución elástica}$$

2 I_0 e I_1

$$I_0 = \frac{2/\pi}{1 + 0.50^2} = \frac{0.63662}{1.25} = \mathbf{0.50930}$$

$$I_1 = 0.63662\,[0.50(1.10715) - 0.2] = \mathbf{0.22509}$$

3 Resultante y línea de acción

$$P_H = 100 \times 0.50930 = \mathbf{50.93}\ \text{kN/m} \qquad z_R = 25 \times \frac{0.22509}{0.50930} = \mathbf{11.05}\ \text{m}$$

Para x = 12.5 m ambos métodos dan **50.93 kN/m** y **11.05 m**.

Comprobar la solución en GeoTerva ↗

Enunciado

EJEMPLO

Datos

Muro y carga	$H = 25.00$ **m,** $P = 100.0$ **kN/m**
Carga adyacente	$x = 0.05;\ 0.1;\ 0.2;\ 0.3;\ 0.5;\ 1$ **m**
Límite	**ábaco:** $x = 9.99;\ 10;\ 10.01$ **m (**$0.4H = 10$ **m)**

SE PIDE

Efecto de la regla de $\mathbf{x_{min}}$; presión máxima elástica; comportamiento del ábaco en el límite m = 0.4.

Solución (1/2)

SOLUCIÓN

x (m)	x de cálculo (m)	P_H elástico (kN/m)	z_R elástico (m)	$\sigma_{H,max}$ elástica (kPa)	z (m)	P_H por ábaco (kN/m)
0.05	**0.30**	63.65	0.46	137.8	0.17	54.69
0.10	**0.30**	63.65	0.46	137.8	0.17	54.69
0.20	**0.30**	63.65	0.46	137.8	0.17	54.69
0.30	0.30	63.65	0.46	137.8	0.17	54.69
0.50	0.50	63.64	0.77	82.7	0.29	54.69
1.00	1.00	63.56	1.49	41.3	0.58	54.69

Una carga con **x < 0.30 m** se calcula en 0.30 m: la resultante, la línea de acción y la presión máxima son iguales a los valores en 0.30 m; a esta distancia el pico elástico sube hasta **137.8 kPa** (z = 0.17 m). El ábaco da 54.69 kN/m a cualquier distancia.

Solución (2/2)

SOLUCIÓN

1 0.203 y 4 × 0.16/π

$$\frac{4 \times 0.16}{\pi} = 0.2037 \approx 0.203 \Rightarrow \frac{I_0(m = 0.4^+)}{I_0(\text{Caso 1})} = \frac{0.63662/1.16}{0.5469} = \mathbf{1.0033}$$

2 Resultante del ábaco a ambos lados del límite

x (m)	m	Situación	P_H por ábaco (kN/m)	z_R ábaco (m)
9.99	0.3996	Caso 1	54.6875	9.8074
10.00	0.4000	Caso 1	54.6875	9.8074
10.01	0.4004	Caso 2	54.8659	9.8130

Debido al redondeo, la resultante salta aproximadamente un **0.33%** al superar el límite m = 0.4 (54.69 → 54.87 kN/m); la línea de acción pasa de 9.807 → 9.813 m. El salto es pequeño; se conserva el coeficiente publicado del ábaco.

Comprobar la solución en GeoTerva ↗

Enunciado

EJEMPLO

Datos

Carga	$P = 100.0$ **kN/m,** $x = 5.00$ **m**
Altura	$H = 5,\ 10,\ 25,\ 50,\ 100$ **m**
Intensidad de la carga	$P = 50,\ 100,\ 200$ **kN/m** ($H = 25$ **m**)

SE PIDE

$\mathbf{P_H}$ y $\mathbf{z_R}$ para ambos métodos; efecto de P y H.

Solución

SOLUCIÓN

H (m)	m	P_H elástico	z_R elástico	ábaco de P_H	ábaco de z_R	Situación
5	1.000	31.83	2.85	31.83	2.85	Caso 2
10	0.500	50.93	4.42	50.93	4.42	Caso 2
25	0.200	61.21	6.14	54.69	9.81	Caso 1
50	0.100	63.03	6.93	54.69	19.61	Caso 1
100	0.050	63.50	7.37	54.69	39.23	Caso 1

En un muro alto m disminuye: P_H elástico se aproxima a 0.64P; P_H del ábaco no cambia (0.5469P), mientras que z_R crece con H.

P (kN/m)	P_H elástico	ábaco de P_H	z_R elástico	ábaco de z_R
50	30.61	27.34	6.14	9.81
100	61.21	54.69	6.14	9.81
200	122.43	109.38	6.14	9.81

Con **P** la resultante aumenta **linealmente**; z_R es independiente de P (elástico · ábaco).

Comprobar la solución en GeoTerva ↗

Resumen

Puntos clave

m = x/H, **n = z/H**; elástico (muro rígido): $\boldsymbol{\sigma_H = (4P/\pi H)\, m^2 n/(m^2 + n^2)^2}$, máximo en n = m/√3; $\boldsymbol{x_{min} = 0.30\ m}$

Ábaco: para m > 0.4 la misma ecuación; para **m ≤ 0.4**, $\sigma_H = (P/H)\ 0.203\ n/(0.16 + n^2)^2$, sin efecto de la distancia

Ejemplo (H = 25 m, x = 5 m, P = 100 kN/m): a z = 5 m, 6.37 kPa con la solución elástica y 4.06 kPa con el ábaco; presión máxima de 8.27 kPa (z = 2.89 m) y de 4.12 kPa (z = 5.77 m)

Resultante $P_H = P \cdot I_0$, $\boldsymbol{z_R = H \cdot I_1/I_0}$: elástico, 61.21 kN/m y 6.14 m; ábaco, 54.69 kN/m y 9.81 m

Comparación: más allá de 0.4H los dos métodos coinciden; dentro de ese límite, la carga resultante elástica aumenta al acercarse la carga, mientras que el ábaco permanece constante

Referencias bibliográficas

Das, B.M. (2016). Principles of Foundation Engineering, 8th ed. Cengage Learning; esta página se basa en esta obra.

Terzaghi, K. (1954). Anchored bulkheads. Transactions of the ASCE, 119, 1243–1280.

NAVFAC DM-7.02 (1986). Foundations and Earth Structures. Naval Facilities Engineering Command.

NOTA

Todos los ejemplos numéricos se han obtenido con el propio motor de cálculo del módulo; el módulo da los mismos valores. El muro inicial del módulo es H = 25 m, x = 5 m y P = 100 kN/m (método elástico).

GeoTerva

Cálculos geotécnicos en línea

De la teoría a la práctica

Introducir en GeoTerva el muro propio, la intensidad y la distancia de la carga lineal; el módulo proporciona conjuntamente el perfil de presiones, la resultante y la línea de acción con dos métodos, la solución paso a paso y el informe.

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