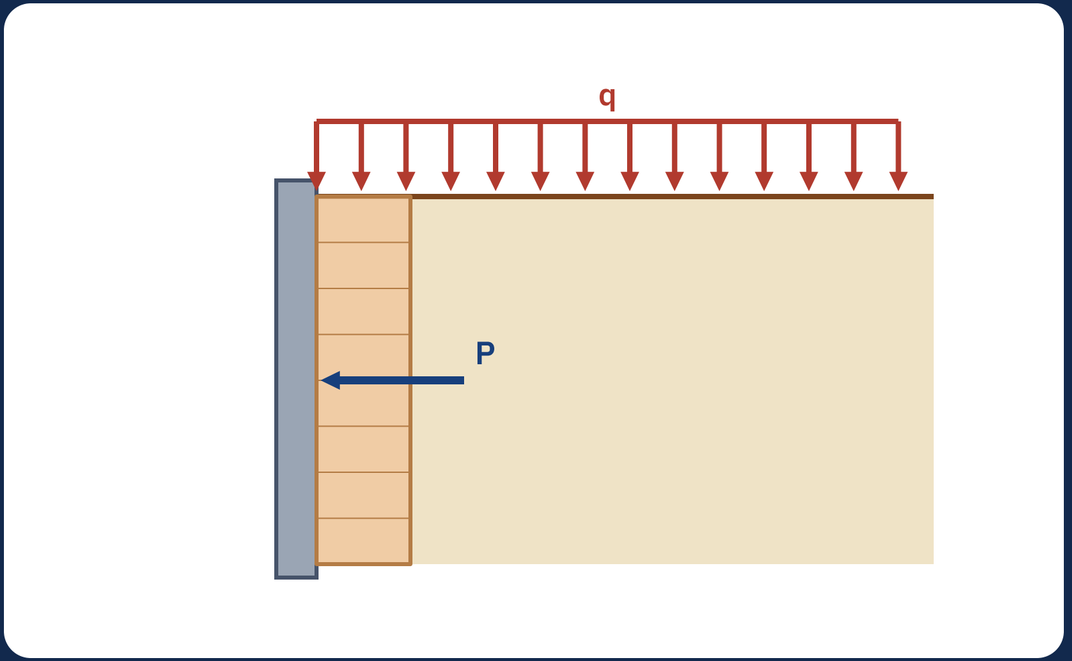
Presentación de clase de geotecnia · Sobrecargas

Sobrecarga uniforme

Clase: carga uniforme extendida sobre toda la superficie detrás del muro; presión lateral constante con la profundidad, resultante y línea de acción, ejemplos resueltos.

$\sigma_H = K \cdot q$ $K_0 \cdot K_a$ $P = K\,q\,H$ $z_R = H/2$

Diagrama rectangular



Introducción

¿Qué aprenderemos en esta clase?

- Cómo se traduce una carga q uniformemente repartida en **presión lateral** sobre el muro: $\sigma_H = K \cdot q$, igual en todas las profundidades
- La selección del **coeficiente K** según el comportamiento del muro: reposo (K_0, Jaky), activo (K_a, Rankine) o un valor introducido
- La **resultante** del diagrama rectangular P = K q H y su **línea de acción** z_R = H/2
- La variación de K_0 y K_a con φ′; el aumento lineal de P con q y H
- Comprender cómo se **añade** la sobrecarga al diagrama de presiones del terreno y cuál es su aportación

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 = 6 m, q = 10 kPa, φ′ = 30°. Las fuerzas se expresan por unidad de longitud de muro (kN/m); las presiones, en kPa.

Carga uniformemente distribuida que actúa sobre el muro

TEORÍA

Una carga uniforme **q** extendida sobre **toda la superficie del terreno** detrás del muro aumenta la tensión vertical en cada profundidad en q

El muro solo percibe una parte de esta: esa parte se determina mediante el coeficiente de empuje de tierras **K**

La presión añadida es **la misma** desde la coronación del muro hasta su base: el diagrama de presiones es un rectángulo

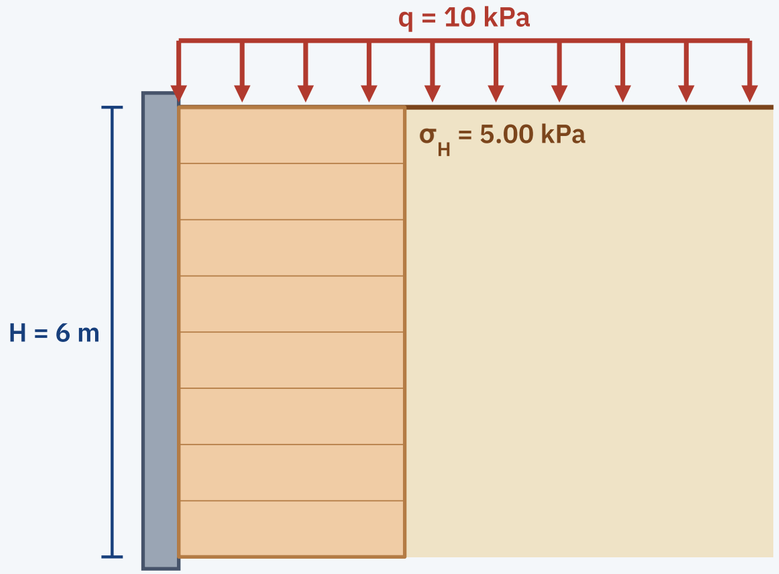
$$\sigma_H = K\, q$$

q — sobrecarga uniforme en la superficie del terreno retenido

φ′ — ángulo de rozamiento interno efectivo del terreno retenido

K — coeficiente de empuje de tierras (K_0, K_a o el introducido)

σ_H — presión lateral añadida, constante con la profundidad



El comportamiento del muro determina K

TEORÍA

Un muro **que no puede moverse** (apoyado) mantiene el suelo en estado de reposo: en suelo normalmente consolidado, el coeficiente por defecto es el de **Jaky**

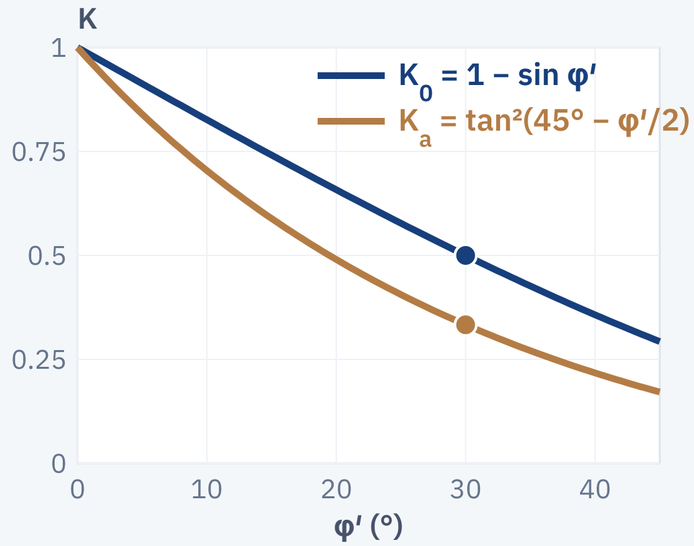
Un muro que **cede** moviliza el estado activo: para muro vertical y superficie horizontal se adopta el coeficiente de **Rankine**

Un coeficiente procedente de otra fuente (K_0 sobreconsolidado, K_a de Coulomb para un muro inclinado o rugoso) se **introduce directamente**

$$K_0 = 1 - \sin\varphi' \qquad \text{(al reposo, Jaky)}$$

$$K_a = \tan^2\left(45^\circ - \frac{\varphi'}{2}\right) \qquad \text{(activo, Rankine)}$$

K_0 y K_a – φ′



Variación de los dos coeficientes con el ángulo de fricción interna

TEORÍA

φ′ (°)	0	20	25	30	35	40
K_a	1.0000	0.4903	0.4059	0.3333	0.2710	0.2174
K_0	1.0000	0.6580	0.5774	0.5000	0.4264	0.3572

Al aumentar φ′, **ambos coeficientes disminuyen**: en un terreno más resistente, la parte que soporta el muro es menor

Para el mismo φ′, **$K_0 > K_a$**: un muro que no puede moverse recibe más carga que uno que cede

Para $\varphi' = 0$, $K_0 = K_a = 1$: la carga se transmite íntegramente al muro, como en un líquido

Resultante P = K q H, a media altura

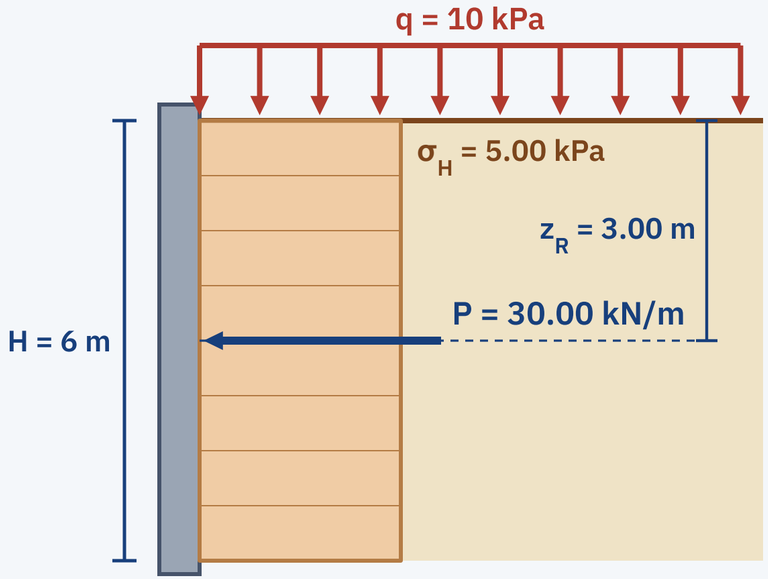
TEORÍA

El diagrama es un rectángulo: la **resultante por unidad de longitud** del muro es el área y la **línea de acción** pasa por el centro del rectángulo

La resultante actúa en el **punto medio** de la altura: a H/2 bajo la superficie del terreno (también a H/2 sobre la base)

Esta es solo la **componente de sobrecarga**: se suma a los diagramas de presión del terreno y del agua

$$P = \sigma_H \, H = K \, q \, H \qquad z_R = \frac{H}{2}$$



P — fuerza resultante por unidad de longitud de muro (kN/m)

z_R — profundidad de la resultante desde la superficie del terreno

Enunciado

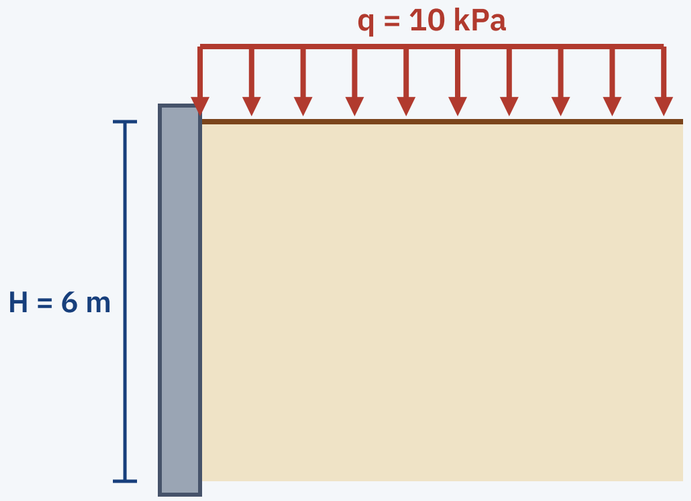
EJEMPLO

Datos

Muro	$H = 6.00$ **m, muro rígido (que no puede moverse)**
Carga	$q = 10.00$ **kPa en toda la superficie**
Suelo	$\varphi' = 30°$

SE PIDE

K, presión lateral añadida σ_H, resultante **P** y su profundidad z_R.



Solución

SOLUCIÓN

1 Coeficiente: el muro no puede desplazarse, estado al reposo (Jaky)

$$K_0 = 1 - \sin\varphi' = 1 - \sin 30^\circ = 1 - 0.5 = \mathbf{0.5000}$$

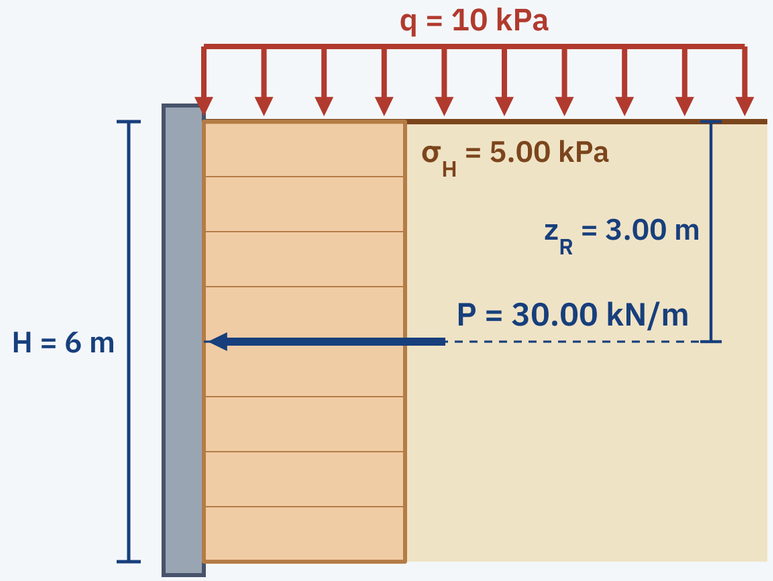
2 Presión lateral añadida: la misma a cualquier profundidad

$$\sigma_H = K\,q = 0.5000 \times 10.00 = \mathbf{5.00}\ \mathrm{kPa}$$

3 Resultante y línea de acción

$$P = \sigma_H\,H = 5.00 \times 6.00 = \mathbf{30.00}\ \mathrm{kN/m}$$

$$z_R = \frac{H}{2} = \frac{6.00}{2} = \mathbf{3.00}\ \mathrm{m}$$



El muro recibe una presión lateral de **5.00 kPa** en toda su altura; la resultante es de **30.00 kN/m** y se sitúa **3.00 m** por debajo de la superficie del terreno (3.00 m por encima de la base).

Comprobar la solución en GeoTerva ↗

Enunciado

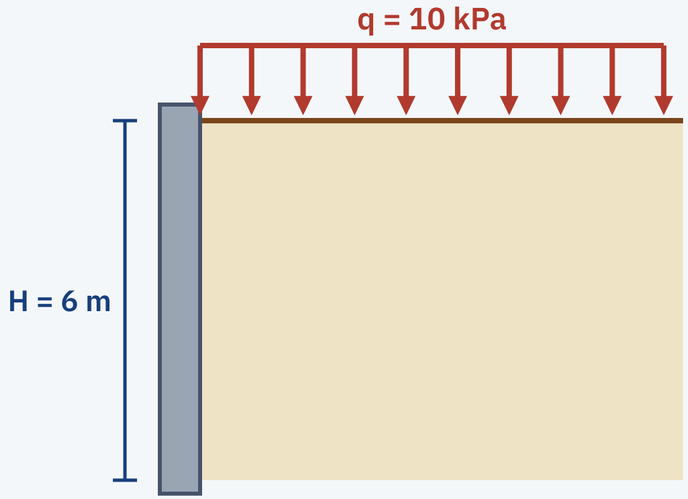
EJEMPLO

Datos

Muro y carga	**el mismo muro: $H = 6.00$ m, $q = 10.00$ kPa, $\varphi' = 30°$**
Diferencia	**el muro se deforma lo suficiente para movilizar el estado activo (muro vertical, superficie horizontal)**

SE PIDE

K_a, σ_H, P, z_R; comparación con el caso de empuje al reposo.



Solución (1/2)

SOLUCIÓN

1 Coeficiente: estado activo (Rankine)

$$K_a = \tan^2\left(45^\circ - \frac{\varphi'}{2}\right) = \tan^2 30^\circ = 0.5774^2 = \mathbf{0.3333}$$

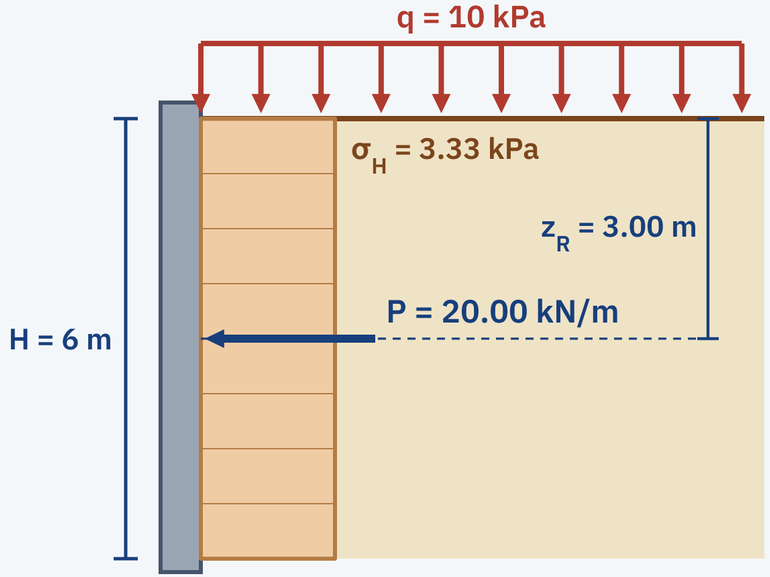
2 Presión lateral adicional

$$\sigma_H = K_a\, q = 0.3333 \times 10.00 = \mathbf{3.33}\ \mathrm{kPa}$$

3 Resultante y línea de acción

$$P = \sigma_H\, H = 3.333 \times 6.00 = \mathbf{20.00}\ \mathrm{kN/m}$$

$$z_R = \frac{H}{2} = \mathbf{3.00}\ \mathrm{m}$$



En el estado activo la presión es de **3.333 kPa** y la resultante de **20.00 kN/m**; la línea de acción está a la misma altura (z_R = 3.00 m).

Solución (2/2)

SOLUCIÓN

Situación	K	σ_H (kPa)	P (kN/m)	z_R (m)
Al reposo (K_0)	0.5000	5.00	30.00	3.00
Activo (K_a)	0.3333	3.33	20.00	3.00
Relación K_a / K_0	**0.6667**	**0.6667**	**0.6667**	1

Para $\varphi' = 30°$, $K_a / K_0 = 2/3$: un muro que se deforma recibe **dos tercios** de la presión de sobrecarga que recibe un muro que no puede moverse. En ambos casos el diagrama es rectangular y la resultante actúa a media altura.

El único fundamento de esta elección es si el muro se mueve realmente o no: un muro apoyado o anclado no alcanza el estado activo, y se toma K_0.

Comprobar la solución en GeoTerva ↗

Enunciado

EJEMPLO

Datos

Muro y carga	$H = 6.00$ **m,** $q = 10.00$ **kPa**
Suelo	$\varphi' = 0°,\ 20°,\ 25°,\ 30°,\ 35°,\ 40°$

SE PIDE

Para cada φ′: **K_0**, **K_a**, **σ_H** y **P** (para dos casos); comprobación a mano para φ′ = 40°.

Solución (1/2)

SOLUCIÓN

φ′ (°)	K_0	K_a	σ_H al reposo (kPa)	σ_H activa (kPa)	P al reposo (kN/m)	P activo (kN/m)
0	1.0000	1.0000	10.00	10.00	60.00	60.00
20	0.6580	0.4903	6.58	4.90	39.48	29.42
25	0.5774	0.4059	5.77	4.06	34.64	24.35
30	**0.5000**	**0.3333**	**5.00**	**3.33**	**30.00**	**20.00**
35	0.4264	0.2710	4.26	2.71	25.59	16.26
40	0.3572	0.2174	3.57	2.17	21.43	13.05

La fila φ′ = 30° corresponde a los Ejemplos 1 y 2. Al aumentar φ′ disminuye la resultante: en reposo, de 60.00 kN/m (φ′ = 0°) a 21.43 kN/m (φ′ = 40°); en el caso activo, a 13.05 kN/m.

Solución (2/2)

SOLUCIÓN

1 Coeficientes

$$K_0 = 1 - \sin 40^\circ = 1 - 0.6428 = \mathbf{0.3572}$$

$$K_a = \tan^2(45^\circ - 20^\circ) = \tan^2 25^\circ = 0.4663^2 = \mathbf{0.2174}$$

2 Presión

$$\sigma_{H,0} = 0.3572 \times 10.00 = \mathbf{3.57}\ \mathrm{kPa}$$

$$\sigma_{H,a} = 0.2174 \times 10.00 = \mathbf{2.17}\ \mathrm{kPa}$$

3 Resultante (z_R = 3.00 m, en ambos casos)

$$P_0 = 3.572 \times 6.00 = \mathbf{21.43} \qquad P_a = 2.174 \times 6.00 = \mathbf{13.05}\ \mathrm{kN/m}$$

La fila de φ′ = 40° de la tabla también se obtiene a mano: **21.43** y **13.05 kN/m**.

Comprobar la solución en GeoTerva ↗

Enunciado

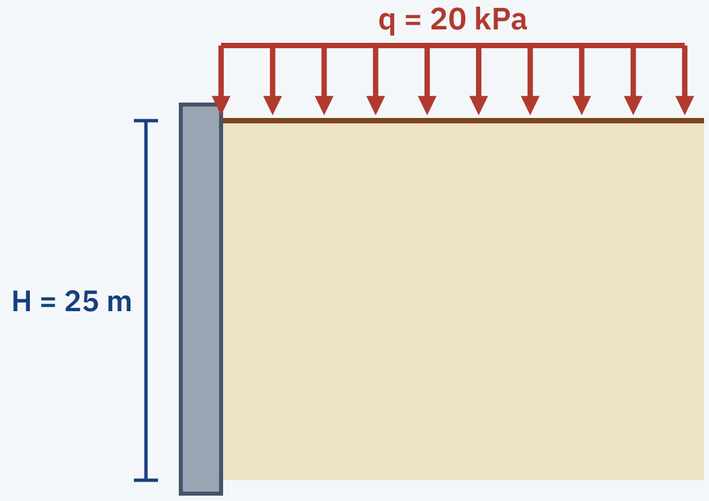
EJEMPLO

Datos

Muro	$H = 25.00$ **m**
Carga	$q = 20.00$ **kPa en toda la superficie**
Coeficiente	$K = 0.30$ **obtenido de otra fuente (no se usa φ′)**

SE PIDE

σ_H, P, z_R y variación de la presión con la profundidad.



Solución

SOLUCIÓN

1 Presión: el K introducido se multiplica directamente

$$\sigma_H = K\,q = 0.30 \times 20.00 = \mathbf{6.00}\ \mathrm{kPa}$$

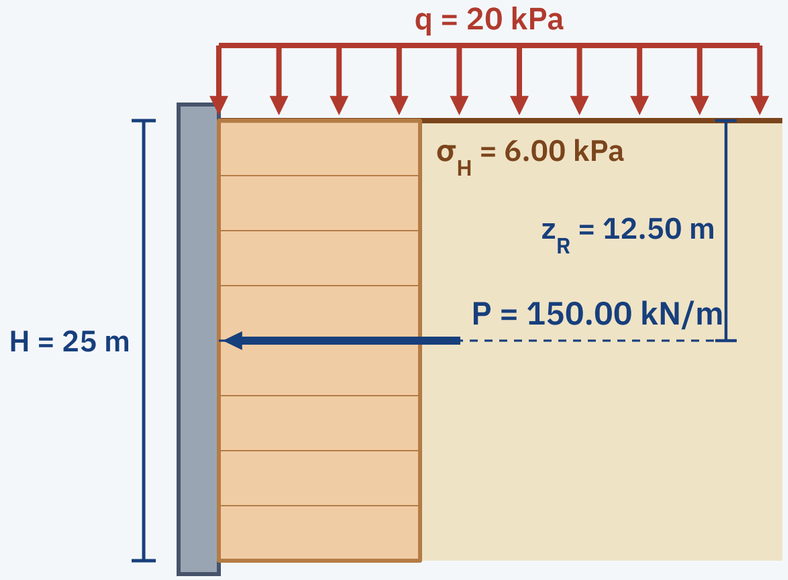
2 Resultante y línea de acción

$$P = \sigma_H\,H = 6.00 \times 25.00 = \mathbf{150.00}\ \mathrm{kN/m}$$

$$z_R = \frac{H}{2} = \frac{25.00}{2} = \mathbf{12.50}\ \mathrm{m}$$

3 Variación de la presión con la profundidad

z (m)	0.0	5.0	10.0	15.0	20.0	25.0
σ_H (kPa)	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00



La presión es de **6.00 kPa a cualquier profundidad**; la resultante es de **150.00 kN/m**, a 12.50 m por debajo de la superficie del terreno.

Comprobar la solución en GeoTerva ↗

Enunciado

EJEMPLO

Datos

Muro y terreno	$\varphi' = 30^\circ$**; estado al reposo y estado activo**
Variable 1	$q = 0,\ 5,\ 10,\ 20,\ 30,\ 50$ **kPa (**$H = 6.00$ **m)**
Variable 2	$H = 2,\ 4,\ 6,\ 8,\ 10$ **m (**$q = 10.00$ **kPa)**

SE PIDE

Variación de la resultante con **q** y **H**; presión y línea de acción.

Solución

SOLUCIÓN

q (kPa)	σ_H al reposo (kPa)	P al reposo (kN/m)	P activo (kN/m)
0	0.00	**0.00**	**0.00**
5	2.50	**15.00**	**10.00**
10	5.00	**30.00**	**20.00**
20	10.00	**60.00**	**40.00**
30	15.00	**90.00**	**60.00**
50	25.00	**150.00**	**100.00**

Cuando **q** se duplica, P también se duplica; para q = 0 no hay sobrecarga.

H (m)	σ_H al reposo (kPa)	P al reposo (kN/m)	P activo (kN/m)	z_R (m)
2	5.00	**10.00**	**6.67**	1.00
4	5.00	**20.00**	**13.33**	2.00
6	5.00	**30.00**	**20.00**	3.00
8	5.00	**40.00**	**26.67**	4.00
10	5.00	**50.00**	**33.33**	5.00

Al aumentar **H**, P crece linealmente; la presión permanece igual y la resultante desciende hasta la profundidad H/2.

P = K q H: es directamente proporcional al **producto** de q y H; el efecto de K es un factor aparte (activo / reposo = 2/3, en todas las filas).

Comprobar la solución en GeoTerva ↗

Enunciado

EJEMPLO

Datos

Muro	$H = 6.00$ **m,** $\gamma = 18.0$ **kN/m³,** $\varphi' = 30°$ **(relleno seco)**
Sobrecarga	$q = 10.00$ **kPa en toda la superficie**
Casos	**al reposo (K_0) y activo (K_a)**

SE PIDE

La resultante del triángulo de presiones del terreno, la resultante de la sobrecarga, la **fuerza total** y la altura de la fuerza total sobre la base; la contribución de la sobrecarga.

Solución (1/2)

SOLUCIÓN

1 Empuje de tierras (diagrama triangular), caso al reposo

$$P_z = \tfrac{1}{2} K_0 \gamma H^2 = \tfrac{1}{2}(0.500)(18.0)(6.00)^2 = \mathbf{162.00}\ \mathrm{kN/m} \quad (\text{desde la base } 2.00\ \mathrm{m})$$

2 Componente de sobrecarga (Ejemplo 1)

$$P_q = K_0\, q\, H = 0.500 \times 10.00 \times 6.00 = \mathbf{30.00}\ \mathrm{kN/m} \quad (\text{desde la base } 3.00\ \mathrm{m})$$

3 Total y línea de acción (momento en la base)

$$P = 162.00 + 30.00 = \mathbf{192.00}\ \mathrm{kN/m}$$

$$L = \frac{162.00(2.00) + 30.00(3.00)}{192.00} = \frac{414.00}{192.00} = \mathbf{2.156}\ \mathrm{m}$$

Al reposo, el total es **192.00 kN/m** y actúa **2.156 m** por encima de la base; la parte de la sobrecarga es 30.00 kN/m (15.6 %).

Solución (2/2)

SOLUCIÓN

1 Los mismos pasos para el caso activo (K_a = 0.3333)

$$P_z = \tfrac{1}{2}(0.3333)(18.0)(6.00)^2 = \mathbf{108.00}\ \mathrm{kN/m}$$

$$P_q = 0.3333(10.00)(6.00) = \mathbf{20.00}\ \mathrm{kN/m}$$

$$L = \frac{108.00(2.00) + 20.00(3.00)}{128.00} = \mathbf{2.156}\ \mathrm{m}$$

Situación	K	P_{suelo} (kN/m)	$P_{sobrecarga}$ (kN/m)	P total (kN/m)	Aportación de la sobrecarga	L (m, desde la base)
Al reposo	0.5000	162.00	30.00	**192.00**	%15.62	2.156
Activo	0.3333	108.00	20.00	**128.00**	%15.62	2.156

Como K es factor en ambos términos, **la participación de la sobrecarga y su línea de acción son independientes de K**: participación 2q / (γH + 2q) = 15.62%, L = 2.156 m. Solo la fuerza total se escala con K.

Comprobar la solución en GeoTerva ↗

Resumen

Puntos clave

$\sigma_H = K \cdot q$: una carga uniforme extendida sobre toda la superficie añade al muro la presión lateral **idéntica a cualquier profundidad**; el diagrama es rectangular

K según el comportamiento del muro: al reposo **$K_0 = 1 - \sin \varphi'$** (Jaky), activo **$K_a = \tan^2(45° - \varphi'/2)$** (Rankine) o el valor introducido; para $\varphi' = 30°$, 0.5000 y 0.3333

$P = K\,q\,H$ y **$z_R = H/2$**: en el muro inicial (H = 6 m, q = 10 kPa), en reposo σ_H = 5.00 kPa, P = 30.00 kN/m; en el caso activo, 3.33 kPa y 20.00 kN/m

Lineal: P es proporcional a q y a H; $K_a / K_0 = 2/3$ ($\varphi' = 30°$)

Suma: la componente de la sobrecarga se añade a los diagramas de presión del terreno y del agua; la parte correspondiente a la sobrecarga es $2q / (\gamma H + 2q)$ y la línea de acción es independiente de K

Referencias bibliográficas

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

Jaky, J. (1944). The coefficient of earth pressure at rest. Journal of the Society of Hungarian Architects and Engineers, 7, 355–358.

Rankine, W.M.J. (1857). On the stability of loose earth. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 147, 9–27.

NOTA

Todos los ejemplos numéricos se han generado con el propio motor de cálculo del módulo; el módulo da los mismos valores. El muro con el que se abre el módulo es H = 6 m, q = 10 kPa, φ′ = 30° (al reposo) y su segundo ejemplo es H = 25 m, q = 20 kPa, K = 0.30.

GeoTerva

Cálculos geotécnicos en línea

De la teoría a la práctica

Introducir en GeoTerva el muro propio, la sobrecarga y el coeficiente elegido; el módulo proporciona conjuntamente los valores de K, σ_H, P y z_R, el diagrama de presiones, 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