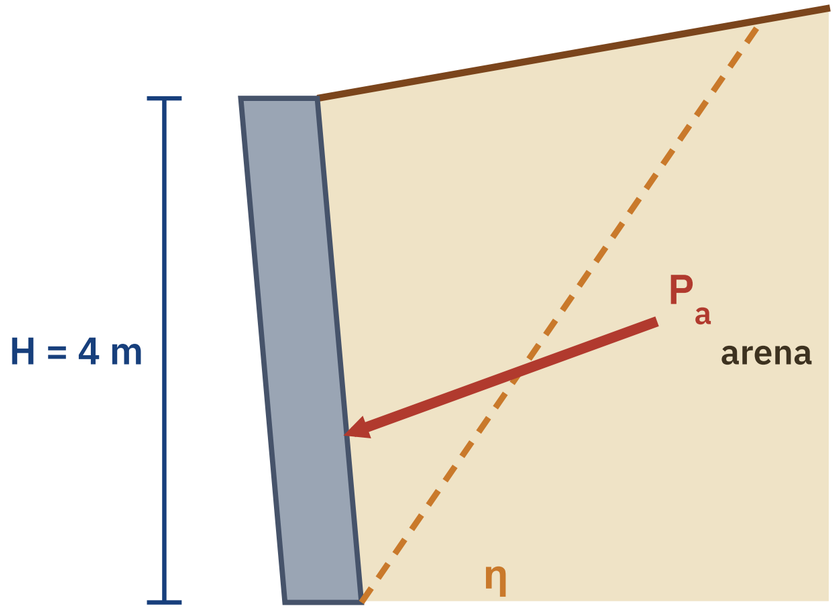
Presentación de clase de geotecnia · Empuje de tierras

Empuje de tierras de Coulomb

Clase: empuje activo y pasivo de Coulomb para una cuña de deslizamiento plana tras el muro, fricción muro-terreno, cara del muro inclinada y relleno en pendiente; sobrecarga, agua subterránea y relleno estratificado; ejemplo resuelto en cada tema.

- Cuña de prueba
- Fricción muro-terreno δ′
- Activo y pasivo
- Sobrecarga · agua · estrato
- Estrato cohesivo



Se basa en la página de teoría de GeoTerva · geoterva.com

Introducción

¿Qué aprenderemos en esta clase?

- La idea de Coulomb de la **cuña de prueba**: equilibrio de las tres fuerzas (W, F, P_a) y la cuña más desfavorable
- Cómo modifican los coeficientes **K_a y K_p** el ángulo de fricción muro-terreno (δ′), la inclinación del paramento del muro (θ) y la inclinación del relleno (α)
- Que la fuerza **activa** es la **máxima** de las cuñas y la fuerza **pasiva** es la **mínima** de las cuñas
- Hallar la posición de la fuerza (H/3), su dirección (δ′ respecto a la normal a la cara) y sus componentes horizontal y vertical
- **Sobrecarga** ($q_e = q \cos\theta / \cos(\theta - \alpha)$), **agua subterránea** y relleno estratificado
- Cuándo la solución de Coulomb es **insegura** en el caso pasivo

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

Las fuerzas se expresan por unidad de longitud de muro (kN/m); los ángulos en grados; θ es el ángulo del paramento del muro con la vertical y α es el ángulo del relleno con la horizontal.

Cuña plana de Coulomb

TEORÍA

Coulomb (1776) considera el suelo situado detrás del muro como una **cuña rígida** que desliza sobre un plano que pasa por el talón y, a diferencia de Rankine, tiene en cuenta el **rozamiento** entre el muro y el suelo. En un relleno sin cohesión, sobre la cuña de prueba actúan tres fuerzas:

W: peso de la cuña

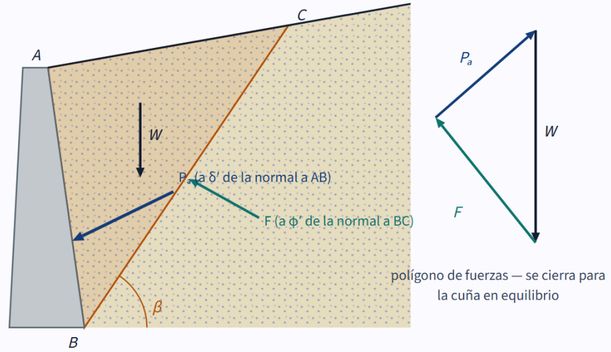
F: resultante sobre el plano de deslizamiento BC, inclinada φ′ respecto de la normal al plano

P_a: fuerza sobre el muro, inclinada δ′ respecto de la normal al paramento del muro

Si el plano forma un ángulo β con la horizontal, en el polígono de fuerzas se aplica el teorema del seno:

$$\frac{W}{\sin(90^\circ + \theta + \delta' - \beta + \varphi')} = \frac{P_a}{\sin(\beta - \varphi')}$$

$$P_a = \tfrac{1}{2}\gamma H^2 \, \frac{\cos(\theta-\beta)\cos(\theta-\alpha)\sin(\beta-\varphi')}{\cos^2\theta \, \sin(\beta-\alpha) \, \sin(90^\circ+\theta+\delta'-\beta+\varphi')}$$



Enunciado

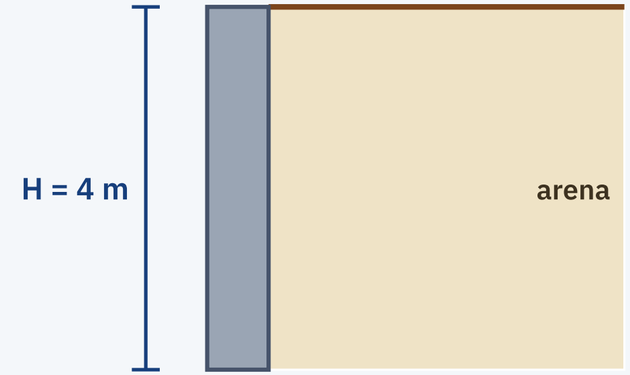
EJEMPLO

SE PIDE

$P_a(\beta)$ para los planos de prueba β = 45°, 60° y 75°; la fuerza **máxima** y su ángulo β.

Datos

Muro	$H = 4$ **m, vertical (**$\theta = 0$**); superficie del relleno horizontal (**$\alpha = 0$**)**
Suelo	**arena seca:** $\gamma = 17\ \mathrm{kN/m^3},\ \varphi' = 32°$**; fricción del muro** $\delta' = 16° = \varphi'/2$



Solución

SOLUCIÓN

1 Muro vertical, relleno horizontal: θ = α = 0 ⇒ $P_a(\beta) = \tfrac{1}{2}\gamma H^2 \cdot \cos\beta \sin(\beta - \varphi') / [\sin\beta \cos(\beta - \varphi' - \delta')]$

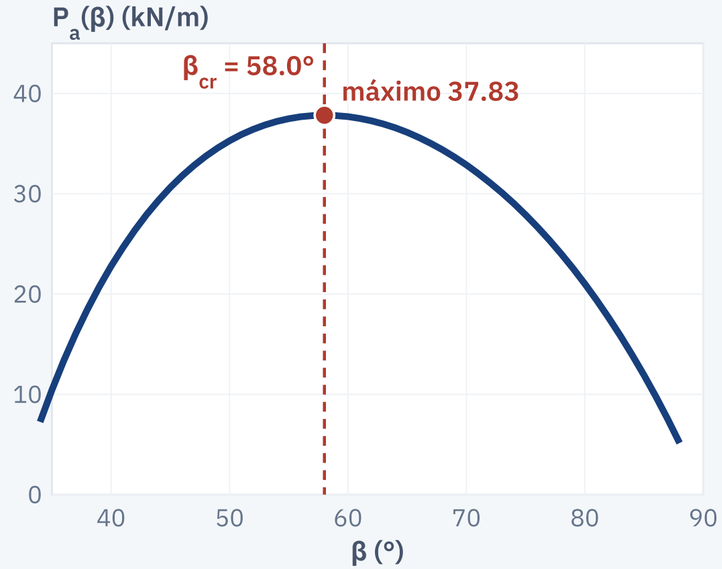
$$\beta = 45^\circ:\ P_a = \mathbf{30.64}\ \mathrm{kN/m} \qquad \beta = 60^\circ:\ P_a = \mathbf{37.69}\ \mathrm{kN/m}$$

$$\beta = 75^\circ:\ P_a = \mathbf{27.89}\ \mathrm{kN/m}$$

2 Cuña de prueba máxima ($dP_a/d\beta = 0$)

$$\beta_{cr} = \mathbf{58.0}^\circ \qquad P_{a,max} = \mathbf{37.83}\ \mathrm{kN/m}$$

La mayor de las cuñas de prueba, 37.83 kN/m (β = 58.0°), es el empuje activo de Coulomb; las cuñas más verticales o más tendidas requieren una fuerza menor. El muro solo ha de poder contener la cuña más desfavorable.



Comprobar la solución en GeoTerva ↗

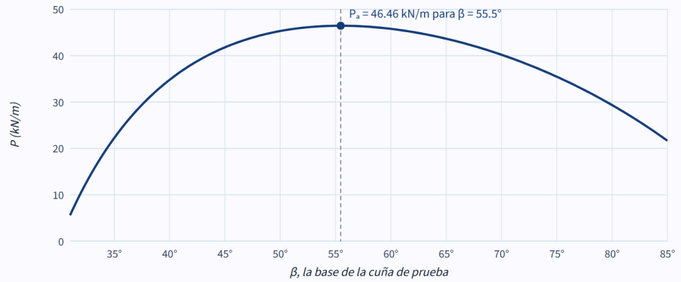
Coeficiente de empuje activo de Coulomb K_a

TEORÍA

Solo β era desconocido. La cuña más desfavorable que debe contener el muro es la de máximo $P_a(\beta)$ ($dP_a/d\beta = 0$); su solución:

$$K_a = \frac{\cos^2(\varphi' - \theta)}{\cos^2\theta\cos(\delta' + \theta)\left[1 + \sqrt{\dfrac{\sin(\delta' + \varphi')\sin(\varphi' - \alpha)}{\cos(\delta' + \theta)\cos(\theta - \alpha)}}\right]^2} \qquad P_a = \tfrac{1}{2}K_a\gamma H^2$$

φ′	δ′ = 0°	δ′ = 5°	δ′ = 10°	δ′ = 15°	δ′ = 20°	δ′ = 25°
28°	0.3610	0.3448	0.3330	0.3251	0.3203	0.3186
32°	0.3073	0.2945	0.2852	0.2791	0.2755	0.2745
36°	0.2596	0.2497	0.2426	0.2379	0.2354	0.2350
40°	0.2174	0.2098	0.2045	0.2011	0.1994	0.1995



La fuerza actúa a **H/3** por encima de la base, inclinada **δ′** respecto de la normal a la cara del muro; forma con la horizontal un ángulo θ + δ′.

Rankine para α = θ = δ′ = 0. El rozamiento muro-terreno **reduce** el empuje activo.

Enunciado

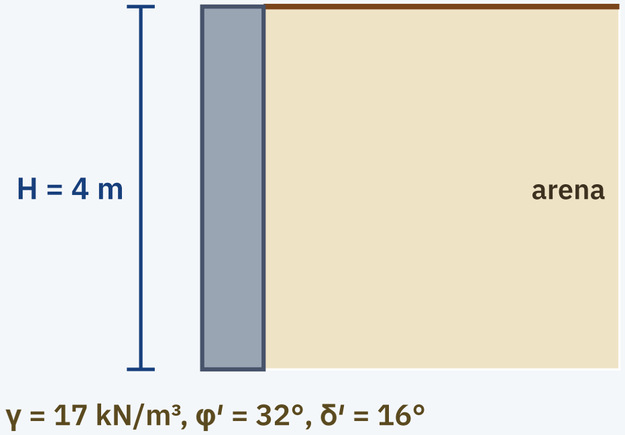
EJEMPLO

SE PIDE

K_a, **P_a**, altura de aplicación, componentes horizontal y vertical; comparación con Rankine.

Datos

Muro y terreno	**El muro del Ejemplo 1:** $H = 4$ **m,** $\theta = \alpha = 0$ **;** $\gamma = 17\ \mathrm{kN/m^3},\ \varphi' = 32°,\ \delta' = 16°$



Solución

SOLUCIÓN

1 Coeficiente (θ = α = 0)

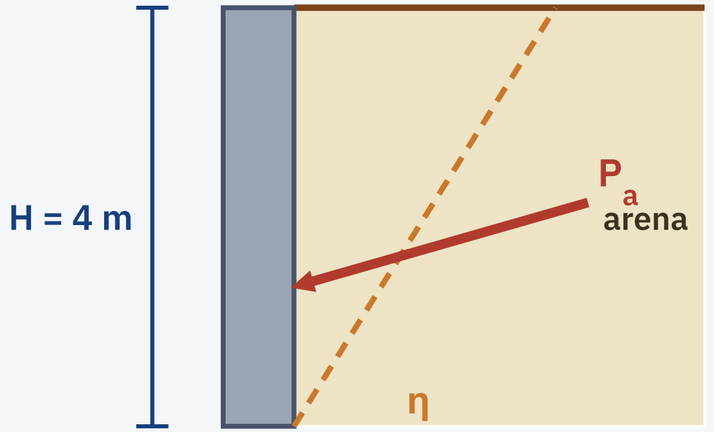
$$\sqrt{\frac{\sin 48^\circ \sin 32^\circ}{\cos 16^\circ}} = 0.6401$$

$$K_a = \frac{\cos^2 32^\circ}{\cos 16^\circ \,(1 + 0.6401)^2} = \frac{0.7192}{2.5856} = \mathbf{0.2782}$$

2 Fuerza, posición y componentes (δ′ = 16° respecto a la horizontal)

$$P_a = \tfrac{1}{2}(0.2782)(17)(4)^2 = \mathbf{37.83}\ \text{kN/m} \qquad \bar{z} = \tfrac{4}{3} = 1.33\ \text{m}$$

$$P_h = P_a \cos 16^\circ = 36.36 \qquad P_v = P_a \sin 16^\circ = 10.43\ \text{kN/m}$$



P_a = **37.83 kN/m**; igual que con la mayor de las cuñas de prueba (Ejemplo 1). Rankine (δ′ = 0, K_a = 0.3073) habría dado 41.79 kN/m: el rozamiento del muro redujo la fuerza un 9%.

Comprobar la solución en GeoTerva ↗

Enunciado

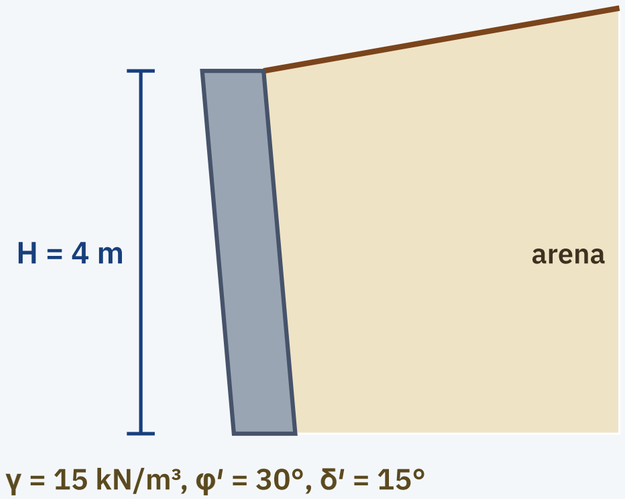
EJEMPLO

SE PIDE

K_a, P_a, su dirección y su posición; cuña crítica β. El módulo se abre con este muro.

Datos

Muro	$H = 4$ **m; cara inclinada** $\theta = 5^\circ$ **respecto de la vertical**
Relleno	**inclinación de la superficie** $\alpha = 10^\circ$**;** $\gamma = 15\ \mathrm{kN/m^3}$, $\varphi' = 30^\circ$
Fricción muro-terreno	$\delta' = 15^\circ$ **(**$\delta'/\varphi' = \frac{1}{2}$**)**



Solución (1/2)

SOLUCIÓN

1 Numerador y término de la raíz

$$\cos^2(30^\circ - 5^\circ) = 0.8214 \qquad \cos^2 5^\circ \cos(15^\circ + 5^\circ) = 0.9326$$

$$\sqrt{\frac{\sin 45^\circ \sin 20^\circ}{\cos 20^\circ \cos(-5^\circ)}} = \sqrt{0.2583} = 0.5083$$

2 Coeficiente

$$K_a = \frac{0.8214}{0.9326\,(1 + 0.5083)^2} = \mathbf{0.3872}$$

Solución (2/2)

SOLUCIÓN

3 Fuerza y posición

$$P_a = \tfrac{1}{2}\gamma H^2 K_a = \tfrac{1}{2}(15)(4)^2(0.3872) = \mathbf{46.46}\ \mathrm{kN/m}$$

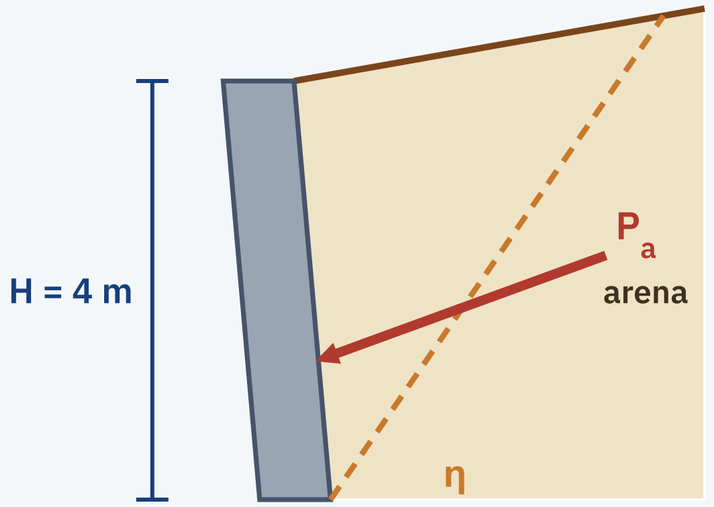
$$\bar{z} = \frac{H}{3} = \mathbf{1.33}\ \mathrm{m}$$

4 Dirección: δ′ = 15° respecto a la normal, θ + δ′ = 20° respecto a la horizontal

$$P_h = P_a \cos 20^\circ = 43.66\ \mathrm{kN/m}$$

$$P_v = P_a \sin 20^\circ = 15.89\ \mathrm{kN/m}$$

P_a = **46.46 kN/m**, a 1.33 m por encima de la base. La cuña crítica forma con la horizontal un ángulo **β ≈ 55.5°** (punto máximo de las cuñas de prueba).



Comprobar la solución en GeoTerva ↗

Enunciado

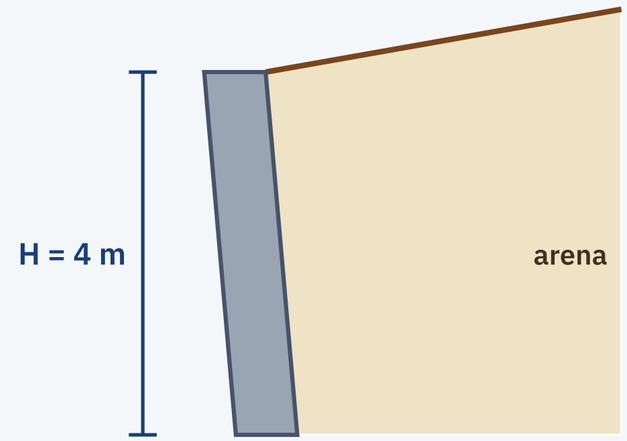
EJEMPLO

SE PIDE

K_a para cada δ′; ¿para qué δ′ resulta K_a **mínimo**? Intervalo recomendado de δ′/φ′.

Datos

Muro y relleno	**El muro del Ejemplo 3: $\theta = 5^\circ,\ \alpha = 10^\circ,\ \varphi' = 30^\circ$; para comparar, muro vertical, relleno horizontal ($\theta = \alpha = 0$)**
Variable	$\delta' = 0^\circ,\ 5^\circ,\ 10^\circ,\ 15^\circ,\ 20^\circ,\ 25^\circ,\ 30^\circ$



α = 10°, θ = 5°, φ′ = 30°

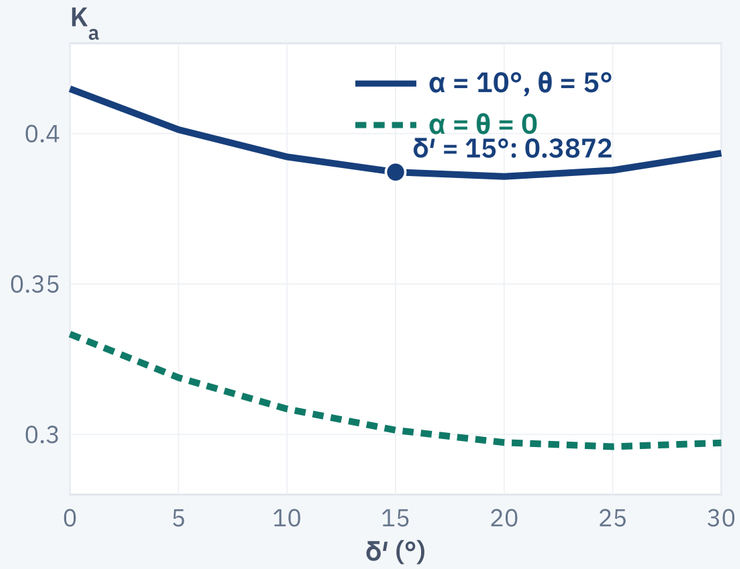
Solución

SOLUCIÓN

1 Siete valores de δ′ con la misma fórmula

δ′	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°
K_a (θ = 5°, α = 10°)	0.4149	0.4013	0.3923	0.3872	0.3857	0.3878	0.3935
K_a (θ = α = 0)	0.3333	0.3189	0.3085	0.3014	0.2973	0.2959	0.2972

Al aumentar δ′, K_a primero **disminuye** (de 0.415 con δ′ = 0 a 0.387 con 15°), alcanza su valor mínimo hacia δ′ ≈ 20–25° y vuelve a **aumentar**. En la práctica se adopta δ′ = (1/2 – 2/3)φ′; tomar δ′ = φ′ no queda del lado de la seguridad, pues depende de que el muro se deslice hacia abajo respecto del terreno.



Comprobar la solución en GeoTerva ↗

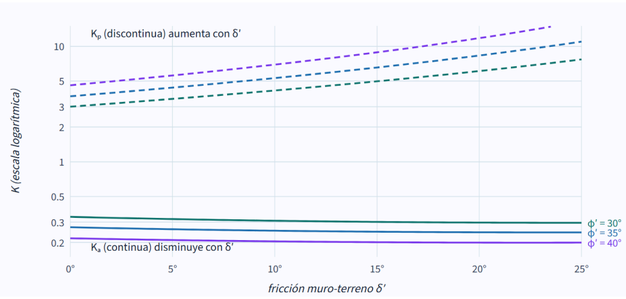
Coeficiente de empuje pasivo de Coulomb K_p

TEORÍA

Cuando el muro se empuja contra el terreno, la resultante y la fuerza del muro pasan al **otro lado** de las normales; el empuje pasivo es el **menor** de las cuñas de prueba:

$$K_p = \frac{\cos^2(\varphi' + \theta)}{\cos^2\theta\cos(\delta' - \theta)\left[1 - \sqrt{\dfrac{\sin(\varphi' + \delta')\sin(\varphi' + \alpha)}{\cos(\delta' - \theta)\cos(\alpha - \theta)}}\right]^2} \qquad P_p = \tfrac{1}{2}K_p\gamma H^2$$

φ′	δ′ = 0°	δ′ = 5°	δ′ = 10°	δ′ = 15°	δ′ = 20°
15°	1.698	1.901	2.131	2.403	2.735
20°	2.040	2.313	2.635	3.029	3.525
25°	2.464	2.833	3.285	3.855	4.597
30°	3.000	3.505	4.143	4.977	6.105
35°	3.690	4.391	5.309	6.555	8.324
40°	4.599	5.593	6.946	8.872	11.771



El rozamiento muro-terreno **aumenta rápidamente** la fuerza pasiva (φ′ = 30°: para δ′ = 0 → 20°, K_p 3.00 → 6.11).

Para δ′ grande, la cuña plana da una resistencia pasiva **superior a la real** (resultado inseguro): módulo de la espiral logarítmica.

Enunciado

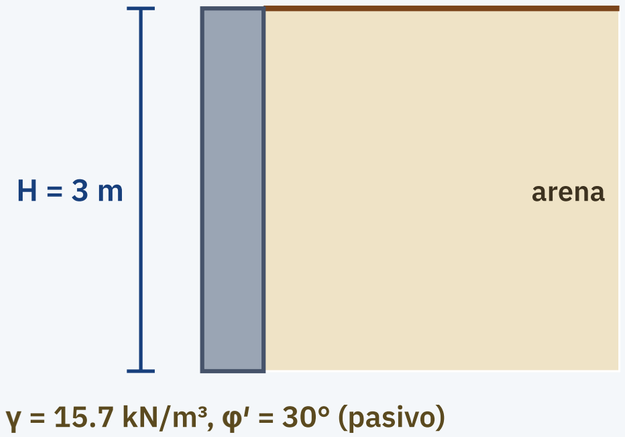
EJEMPLO

Datos

Muro	$H = 3$ **m, vertical; relleno horizontal**
Suelo	**arena seca:** $\gamma = 15.7\ \mathrm{kN/m^3},\ \varphi' = 30^\circ$
Fricción muro-terreno	$\delta' = 0^\circ,\ 10^\circ,\ 15^\circ,\ 20^\circ$

SE PIDE

Para cada δ′: **K_p**, **P_p** y sus componentes; para δ′ = 15°, comparación con soluciones de superficie curva (302–326 kN/m).

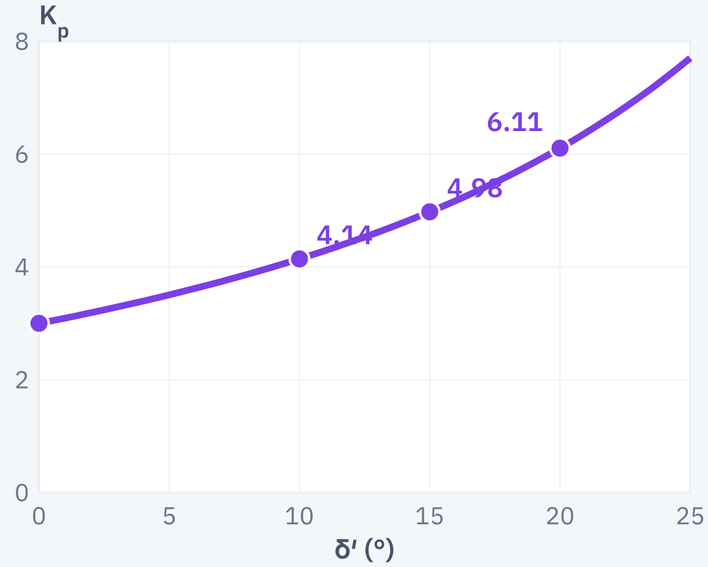


Solución

SOLUCIÓN

1 Fórmula de K_p; $P_p = \frac{1}{2}K_p\gamma H^2 = \frac{1}{2}K_p(15.7)(9) = 70.65\ K_p$

δ′	K_p	P_p (kN/m)	P_h	P_v	β (cuña crítica)
0°	3.000	212.0	212.0	0.0	30.0°
10°	4.143	292.7	288.3	50.8	23.4°
15°	4.977	351.6	339.6	91.0	20.7°
20°	6.105	431.3	405.3	147.5	18.1°



De δ′ = 0 a 20°, P_p pasa de 212.0 a 431.3 kN/m: se multiplica por **2.0**. Con δ′ = 15°, Coulomb da 351.6 kN/m; las soluciones de superficie curva se sitúan en el intervalo 302–326 kN/m, es decir, el empuje pasivo de cuña plana sobrestima en aproximadamente un **8 %** (inseguro).

Comprobar la solución en GeoTerva ↗

Extensión de la solución de Coulomb en el módulo

TEORÍA

La sobrecarga q (vertical, por unidad de área de la superficie inclinada) se suma al peso de cada cuña de prueba en la misma proporción que el suelo; la cuña crítica y K_a no cambian. La tensión equivalente por unidad de profundidad vertical:

$$q_e = q\,\frac{\cos\theta}{\cos(\theta-\alpha)} \qquad P_a = \tfrac{1}{2}K_a\gamma H^2 + K_a q_e H$$

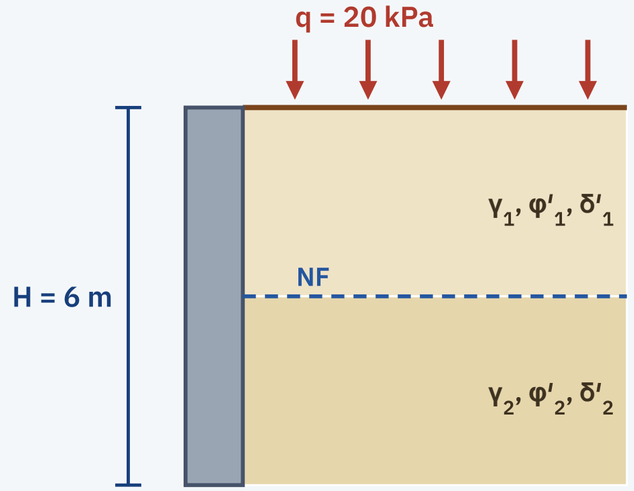
La primera parte se encuentra a H/3 por encima de la base, y la segunda a H/2. **En un relleno estratificado** (límites horizontales, espesores medidos verticalmente desde la coronación A del paramento del muro) cada estrato adopta su propio coeficiente K_i con su γ, φ′ y δ′:

$$\sigma'_v = q_e + \sum \gamma_i h_i \qquad \sigma' = K_i\,\sigma'_v\cos\theta$$

σ′ actúa sobre la unidad de longitud de la cara del muro, inclinada respecto de la normal el ángulo δ′ del estrato; en un límite donde K cambia, la presión presenta un salto.

Nivel freático (horizontal, z_w): por debajo, $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$; $u = \gamma_w(z - z_w)$ se añade **perpendicularmente** al muro. Las fuerzas se descomponen en componentes normal (N) y paralela (T) a la cara y se suman: $P = \sqrt{(N^2 + T^2)}$, $\beta = \tan^{-1}(T/N)$.

RELLENO ESTRATIFICADO Y AGUA



Enunciado

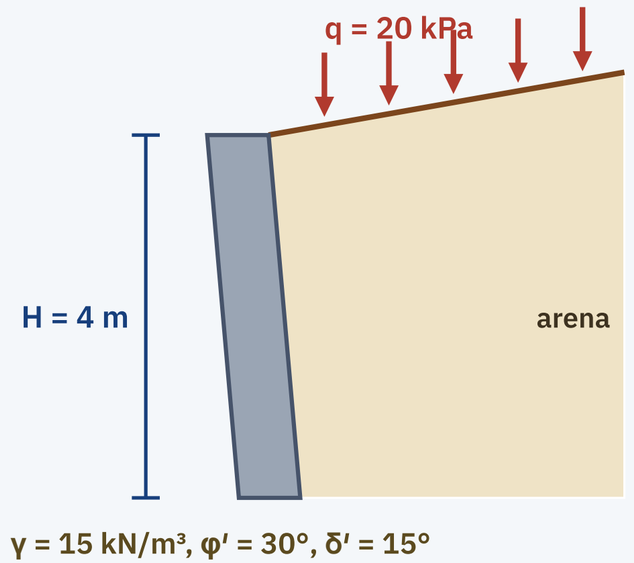
EJEMPLO

SE PIDE

q_e, P_a total y altura de aplicación; aporte de la sobrecarga.

Datos

Muro y terreno	**El muro del Ejemplo 3: $H = 4$ m, $\theta = 5°$, $\alpha = 10°$; $\gamma = 15\ \mathrm{kN/m^3}$, $\varphi' = 30°$, $\delta' = 15°$**
Sobrecarga	**carga uniforme de $q = 20$ kPa sobre la superficie inclinada (normal a la superficie)**



Solución

SOLUCIÓN

1 Tensión vertical equivalente

$$q_e = q\frac{\cos\theta}{\cos(\theta-\alpha)} = 20\frac{\cos 5^\circ}{\cos(-5^\circ)} = \mathbf{20.00}\ \text{kPa}$$

2 Fuerzas del terreno y de la sobrecarga (K_a = 0.3872)

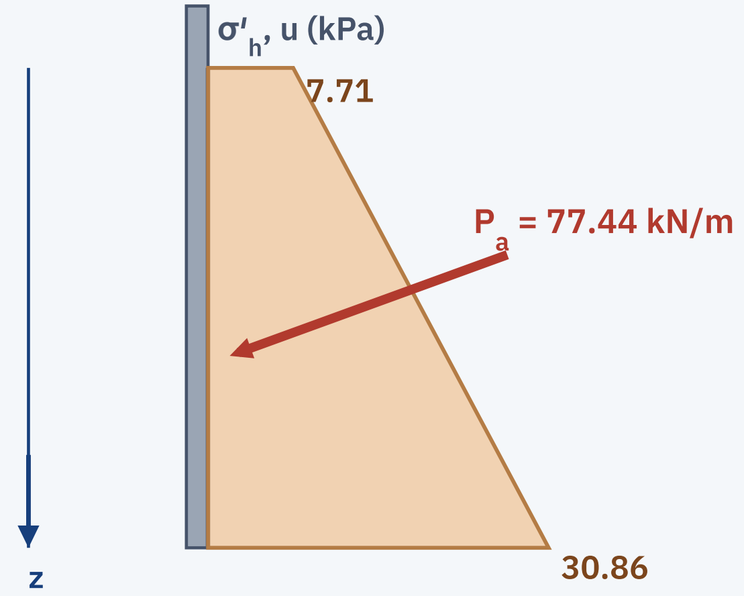
$$P_\gamma = \tfrac{1}{2}K_a\gamma H^2 = 46.46\ \text{kN/m}\ \ (H/3 = 1.33\ \text{m})$$

$$P_q = K_a q_e H = 0.3872(20)(4) = 30.97\ \text{kN/m}\ \ (H/2 = 2.00\ \text{m})$$

3 Total y posición

$$P_a = 46.46 + 30.97 = \mathbf{77.44}\ \text{kN/m}$$

$$\bar{z} = \frac{46.46(1.33) + 30.97(2.00)}{77.44} = \mathbf{1.60}\ \text{m}$$



La sobrecarga incrementó la fuerza un 67 % (P_a = 77.44 kN/m); el punto de aplicación subió de 1.33 m a **1.60 m**.

Comprobar la solución en GeoTerva ↗

Enunciado

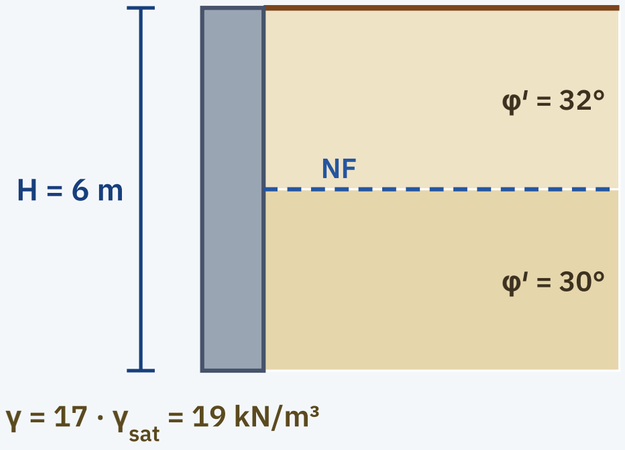
EJEMPLO

Datos

Muro	$H = 6$ **m, vertical; relleno horizontal; sin sobrecarga**
Estrato 1 (0–3 m)	$\gamma = 17\ \mathrm{kN/m^3},\ \varphi' = 32°,\ \delta' = 16°$
Estrato 2 (3–6 m)	$\gamma_{sat} = 19\ \mathrm{kN/m^3},\ \varphi' = 30°,\ \delta' = 15°$
Nivel freático	**A 3 m de profundidad**

SE PIDE

Presiones en cada estrato; fuerzas del terreno y del agua; **P**, β y altura de aplicación.



Solución (1/2)

SOLUCIÓN

1 Coeficientes

$$K_1(32^\circ, 16^\circ) = \mathbf{0.2782} \qquad K_2(30^\circ, 15^\circ) = \mathbf{0.3014}$$

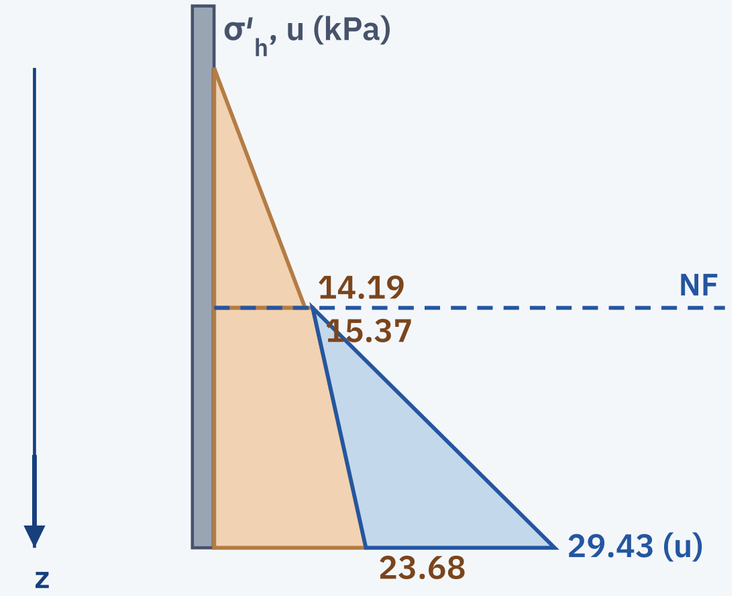
2 Tensiones: $\sigma'_v(3) = 17(3) = 51$; $\sigma'_v(6) = 51 + 3(19 - 9.81) = 78.57$ kPa

$$p_1 = 0.2782(51) = \mathbf{14.19}\ \text{kPa (arriba)}$$

$$p_2 = 0.3014(51) = \mathbf{15.37}\ \text{kPa (abajo)}$$

$$p(6) = 0.3014(78.57) = \mathbf{23.68}\ \text{kPa}$$

$$u(6) = 9.81(3) = \mathbf{29.43}\ \text{kPa}$$



Solución (2/2)

SOLUCIÓN

3 Empujes del terreno (actúan sobre la cara, cada estrato con su propio ángulo δ′): triángulo · rectángulo · triángulo

$$P_s = \tfrac{1}{2}(3)(14.19) + 3(15.37) + \tfrac{1}{2}(3)(8.31) = 21.28 + 46.12 + 12.47 = 79.86\ \text{kN/m}$$

$$P_w = \tfrac{1}{2}(29.43)(3) = 44.14\ \text{kN/m}\ (\text{perpendicular al muro})$$

4 Componentes, resultante y posición

$$N = N_s + N_w = 77.04 + 44.14 = 121.18 \qquad T = 21.03\ \text{kN/m}$$

$$P = \sqrt{N^2 + T^2} = \mathbf{123.00}\ \text{kN/m} \qquad \beta = \tan^{-1}\frac{T}{N} = 9.84^\circ \qquad \bar{z} = \mathbf{1.69}\ \text{m}$$

La resultante es **123.00 kN/m** (suelo 79.86 + agua 44.14), a 1.69 m por encima de la base. La fuerza del agua equivale al 55% de la del suelo; en el límite entre estratos, p salta de 14.19 a 15.37 kPa (K cambia).

Comprobar la solución en GeoTerva ↗

Enunciado

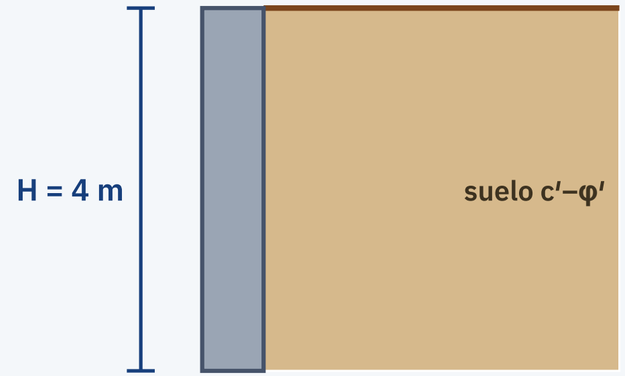
EJEMPLO

SE PIDE

K_a, profundidad de tracción z_0, **P_a** con y sin grieta; comparación con Rankine.

Datos

Muro	$H = 4$ **m, vertical; relleno horizontal**
Suelo	**c′–φ′:** $\gamma = 18\ \mathrm{kN/m^3},\ \varphi' = 25^\circ,\ c' = 10$ **kPa;** $\delta' = 12.5^\circ = \varphi'/2$



Solución (1/2)

SOLUCIÓN

1 Coeficiente de Coulomb y término de cohesión (se desprecia la adhesión)

$$K_a(25^\circ, 12.5^\circ) = \mathbf{0.3674} \qquad \sigma' = K_a \sigma'_v - 2c'\sqrt{K_a}$$

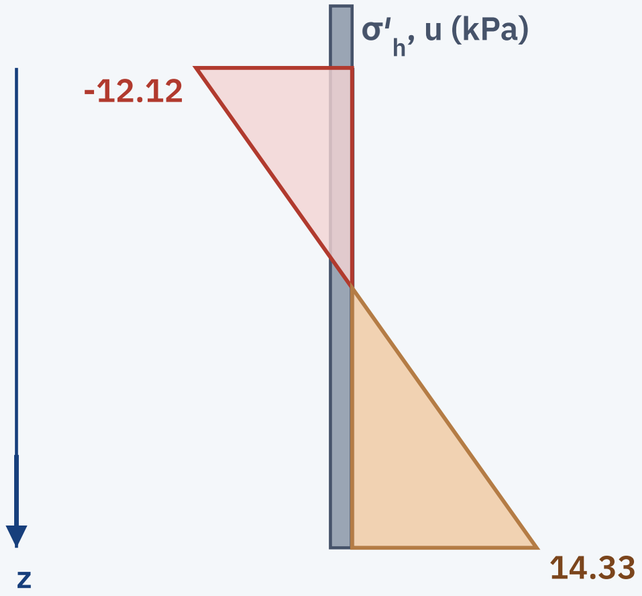
$$2c'\sqrt{K_a} = 2(10)(0.6061) = 12.12 \text{ kPa}$$

2 En la parte superior, en la base y a la profundidad de tracción

$$\sigma'(0) = -\mathbf{12.12} \text{ kPa (tracción)}$$

$$\sigma'(4) = 0.3674(18)(4) - 12.12 = \mathbf{14.33} \text{ kPa}$$

$$z_0 = \frac{2c'}{\gamma\sqrt{K_a}} = \frac{20}{18(0.6061)} = \mathbf{1.83} \text{ m}$$



Solución (2/2)

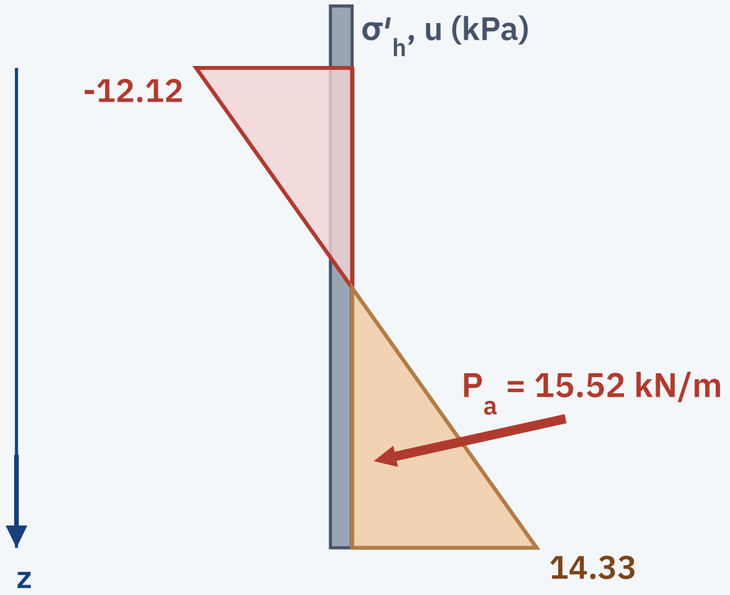
SOLUCIÓN

3 Fuerza con grieta (solo el triángulo positivo)

$$P_a = \tfrac{1}{2}(14.33)(4 - 1.83) = \mathbf{15.52}\ \mathrm{kN/m} \qquad \bar{z} = 0.72\ \mathrm{m}$$

$$\text{sin grieta: } P_a = 4.41\ \mathrm{kN/m}$$

Con grieta, P_a = **15.52 kN/m**; sin grieta (incluida la zona negativa), 4.41 kN/m: si se contabiliza la zona de tracción, la fuerza resulta mucho menor de lo que es. Rankine (δ′ = 0) habría dado 18.59 kN/m.



Comprobar la solución en GeoTerva ↗

Alcance de la solución de Coulomb

TEORÍA

La superficie de rotura es plana. En el caso activo es una buena aproximación de la superficie real; en el pasivo, para δ′ grandes se aparta de la superficie curva y la resistencia resulta **mayor de la real** (precaución para $\delta' > \varphi'/3$; módulo de espiral logarítmica).

La **fricción muro-terreno** δ′ es un dato de entrada: depende del material del muro y del movimiento del terreno respecto del muro; valores aproximados: $\delta' = (1/2 – 2/3)\varphi'$ (hormigón–arena).

Estrato cohesivo: el término de cohesión se toma en la forma de Rankine, con el valor K de Coulomb del estrato; se desprecia la adherencia muro-terreno; la zona de tracción se excluye mediante una grieta.

La **solución estratificada** es la extensión de ingeniería del módulo (en la literatura no existe una solución de Coulomb estratificada de forma cerrada); para un solo estrato se reduce a la solución cerrada y, con $\delta' = 0$ y relleno horizontal, a Rankine.

La acción **sísmica** se encuentra en el módulo de Mononobe–Okabe; Coulomb es la solución estática.

Resumen

Puntos clave

Cuña: W, F (inclinada φ' respecto de su normal), P (inclinada δ' respecto de su normal); $P_a(\beta)$ mediante el teorema del seno; **activo = cuña máxima**, **pasivo = cuña mínima**

K_a $= \cos^2(\varphi' - \theta) / \{\cos^2\theta \cos(\delta' + \theta)[1 + \sqrt{(\ldots)}]^2\}$; la fuerza actúa a H/3 desde la base, con inclinación $\theta + \delta'$ respecto a la horizontal; para $\delta' = 0$ y geometría plana, Rankine

La fricción muro-terreno reduce el empuje activo (hasta $\delta' \approx 2\varphi'/3$) y aumenta rápidamente el pasivo; en el caso pasivo, con δ' grande, la cuña plana es insegura

Sobrecarga $q_e = q \cos\theta / \cos(\theta - \alpha)$: $P = \tfrac{1}{2}K\gamma H^2 (H/3) + K\, q_e\, H\, (H/2)$

Estratificado + agua: $\sigma' = K_i \sigma'_v \cos\theta$, salto en el límite entre estratos; u normal al muro; $P = \sqrt{(N^2 + T^2)}$, $\beta = \tan^{-1}(T/N)$

Estrato cohesivo: $\sigma' = K\sigma'_v - 2c'\sqrt{K}$; la zona negativa en la grieta de tracción se descarta

Referencias bibliográficas

Das, B.M. (2018). Principles of Geotechnical Engineering, 9th ed. Cengage Learning.

Coulomb, C.A. (1776). Essai sur une application des règles de Maximis et Minimis à quelques problèmes de statique relatifs à l'architecture. Mémoires de Mathématique et de Physique, Académie Royale des Sciences, Paris, 7, 343–382.

Das, B.M. (2016). Principles of Foundation Engineering, 8th ed. Cengage Learning — una sobrecarga sobre un relleno del trasdós inclinado.

NOTA

Todos los ejemplos numéricos se han obtenido con el propio motor de cálculo del módulo; el módulo da los mismos valores. El módulo se abre con el muro del Ejemplo 3 (θ = 5°, α = 10°, δ′ = 15°).

GeoTerva

Cálculos geotécnicos en línea

De la teoría a la práctica

Introducir en GeoTerva la inclinación del propio muro, la inclinación del relleno, el rozamiento, los estratos, la sobrecarga y el agua subterránea; el módulo proporciona conjuntamente la fuerza, su dirección y su altura de aplicación.

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