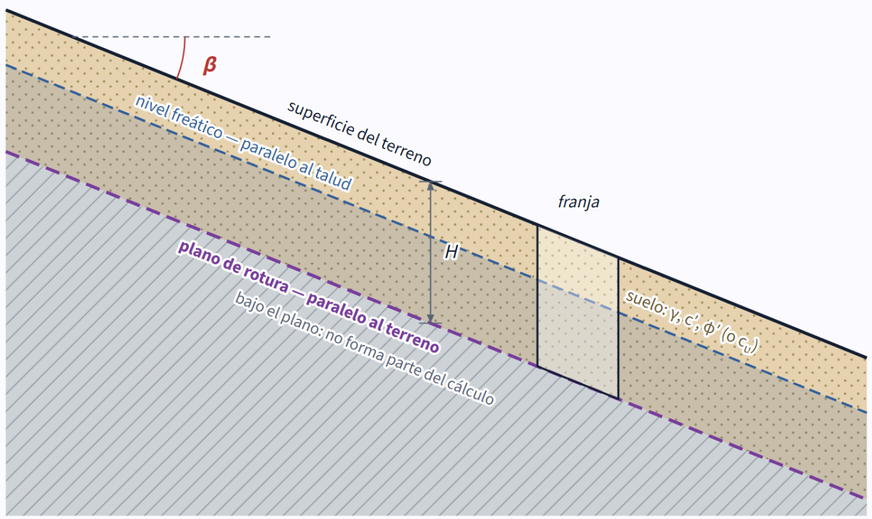
Presentación de clase de geotecnia · Estabilidad de taludes

Estabilidad de talud infinito

Clase: modelo del talud infinito (superficie de rotura paralela a la superficie); tensiones, factor de seguridad, arcilla sin drenaje, agua, coeficiente de fluencia en sismo, profundidad crítica y ángulo necesario; ejemplo resuelto en cada tema.



Talud infinito · Resistencia al corte y FS · Agua · sismo · Profundidad crítica · ángulo necesario · Resoluble a mano

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

Introducción

¿Qué aprenderemos en esta clase?

Por qué se utiliza el modelo de **talud infinito** en los deslizamientos superficiales: una capa delgada de suelo que desliza sobre un plano paralelo a la superficie

Las tensiones sobre un plano debidas a una sola **franja** ($\sigma = \sigma_v \cos^2\beta$, $\tau = \sigma_v \sin\beta \cos\beta$) y la relación **$\tau/\sigma = \tan\beta$**

Factor de seguridad según **Mohr–Coulomb**: $FS = c'/(\gamma H \cos^2\beta \tan\beta) + \tan\varphi'/\tan\beta$; profundidad crítica H_{cr}, profundidad necesaria H_{req}, ángulo necesario β_{req}

La **arcilla sin drenaje** (c_u, $\varphi = 0$) y el efecto del **agua**: nivel freático (filtración paralela al talud), relación de presión intersticial r_u

El factor de seguridad en un **sismo pseudoestático** y el **coeficiente de fluencia k_y** (la aceleración horizontal a la que la masa comienza a deslizar)

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

Talud de ejemplo: $\beta = 15°$, plano de deslizamiento a 6 m de profundidad vertical; suelo $\gamma = 17.8$ kN/m³ (saturado 19.5), $c' = 10$ kPa, $\varphi' = 20°$; inicialmente sin presión intersticial. Las tensiones se refieren a la unidad de área del plano paralelo a la superficie.

Una franja de la masa

TEORÍA

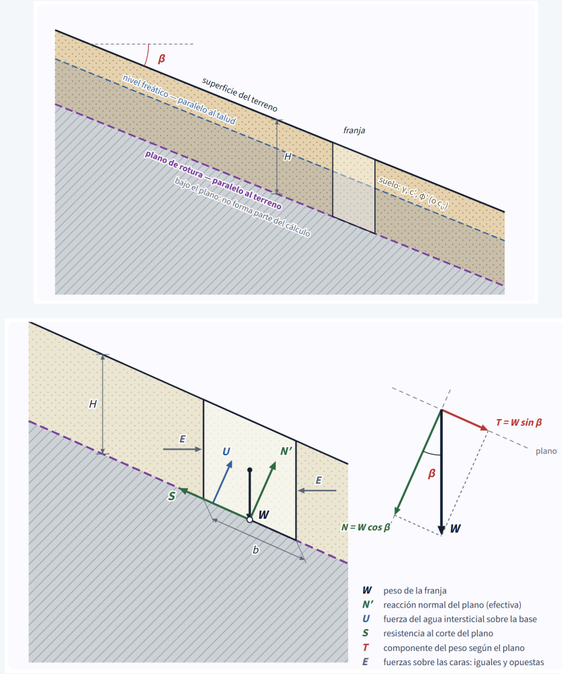
Muchos deslizamientos de talud son superficiales: una capa delgada de terreno desliza a lo largo de una superficie paralela a la del talud, a pocos metros de profundidad; el talud es tan largo que sus extremos apenas importan (un talud de desmonte o de terraplén tras una época húmeda, un talud natural de arcilla). El **talud infinito** es el modelo concebido para este caso: el plano de deslizamiento se encuentra en las mismas condiciones en todos sus puntos, por lo que una franja de la masa los representa a todos y su equilibrio se resuelve en unas pocas líneas.

Dovela: longitud b a lo largo del plano de deslizamiento, 1 m de ancho a lo largo del talud; el plano se encuentra a una profundidad vertical H bajo la superficie; las caras laterales son verticales y **se anulan entre sí** (el talud es infinitamente largo y el suelo es el mismo en todas partes).

$$W = \gamma H b \cos\beta \qquad N = W\cos\beta \quad T = W\sin\beta$$

$$\sigma = \frac{N}{b} = \sigma_v \cos^2\beta \qquad \tau = \frac{T}{b} = \sigma_v \sin\beta\cos\beta \qquad \frac{\tau}{\sigma} = \tan\beta$$

En una franja cuyas caras laterales se han eliminado, las tensiones sobre el plano están inclinadas según el ángulo del talud: τ/σ = tan β. Si por encima del plano hay dos pesos específicos (nivel freático), resulta $\sigma_v = \gamma(H - h_w) + \gamma_{sat} h_w$; las ecuaciones siguen siendo las mismas.



Enunciado

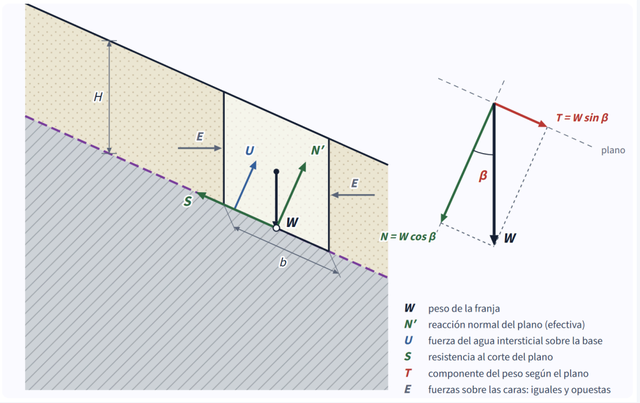
EJEMPLO

Datos

Talud	$\beta = 15°$; **plano de rotura vertical a** $H = 6$ **m de profundidad**
Suelo	$\gamma = 17.8$ **kN/m³; sin presión intersticial**

SE PIDE

Tensión vertical σ_V, tensión normal σ y tensión tangencial τ sobre el plano.



Solución

SOLUCIÓN

1 Tensión vertical

$$\sigma_v = \gamma H = 17.8 \times 6 = \mathbf{106.80}\ \text{kPa}$$

2 Tensión normal y tangencial al plano

$$\sigma = \sigma_v \cos^2\beta = 106.80 \times 0.93301 = \mathbf{99.65}\ \text{kPa}$$

$$\tau = \sigma_v \sin\beta\cos\beta = 106.80 \times 0.25000 = \mathbf{26.70}\ \text{kPa} \qquad \frac{\tau}{\sigma} = 0.2679 = \tan 15^\circ\ \checkmark$$

Sobre la unidad de área del plano actúan una tensión normal **σ = 99.65 kPa** y una tensión tangencial **τ = 26.70 kPa**; la relación τ/σ = 0.2679 = tan 15°, es decir, la tensión está inclinada igual que el talud.

Comprobar la solución en GeoTerva ↗

Mohr–Coulomb, solución cerrada, profundidad crítica

TEORÍA

El suelo en el plano soporta la resistencia al corte τ_f: en el análisis drenado, la resistencia de Mohr–Coulomb en función de la tensión normal efectiva ($\sigma' = \sigma - u$). El factor de seguridad es la relación entre la resistencia y la tensión: la cohesión y el rozamiento se reducen con el mismo factor hasta que la franja queda justo en equilibrio:

$$\tau_f = c' + \sigma' \tan\varphi' \qquad FS = \frac{\tau_f}{\tau} \qquad \sigma' = \sigma - u$$

Si no hay presión intersticial, $\sigma' = \sigma$ y de las tensiones resulta una **solución cerrada**:

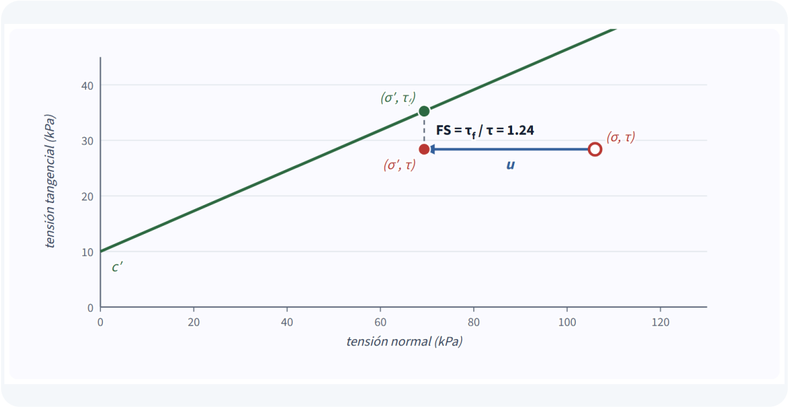
$$FS = \frac{c'}{\gamma H \cos^2\beta \, \tan\beta} + \frac{\tan\varphi'}{\tan\beta}$$

Suelo sin cohesión ($c' = 0$): $FS = \tan\varphi'/\tan\beta$; si el talud es más tendido que φ', es seguro a cualquier profundidad.

Suelo cohesivo: la cohesión sostiene el plano cercano a la superficie (FS grande); al aumentar la profundidad FS disminuye y queda reducido únicamente al rozamiento.

Si $\beta > \varphi'$, existen una **profundidad crítica**, con FS = 1, y una **profundidad necesaria**, con $FS = FS_{req}$; en suelo sin cohesión, β_{req}: $\tan\beta_{req} = \tan\varphi'/FS_{req}$:

$$H_{cr} = \frac{c'}{\gamma} \frac{1}{\cos^2\beta(\tan\beta - \tan\varphi')} \qquad H_{req} = \frac{c'}{\gamma \cos^2\beta \, (FS_{req} \tan\beta - \tan\varphi')}$$



Enunciado

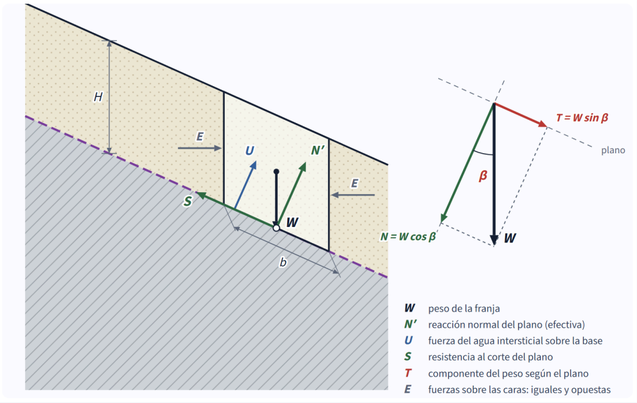
EJEMPLO

Datos

Talud y suelo	**Ejemplo 1:** $\beta = 15^\circ$, $H = 6$ **m,** $\gamma = 17.8$ **kN/m³;** $c' = 10$ **kPa,** $\varphi' = 20^\circ$**; sin presión intersticial**

SE PIDE

τ_f y **FS** del plano; verificación con la solución en forma cerrada.



Solución

SOLUCIÓN

1 Resistencia y factor de seguridad (con las tensiones del ejemplo 1)

$$\tau_f = c' + \sigma \tan \varphi' = 10 + 99.65 \times 0.36397 = \mathbf{46.27}\ \text{kPa}$$

$$FS = \frac{\tau_f}{\tau} = \frac{46.27}{26.70} = \mathbf{1.733}$$

2 Solución cerrada (comprobación)

$$FS = \frac{10}{17.8(6)(0.93301)(0.26795)} + \frac{0.36397}{0.26795} = 0.3745 + 1.3584 = \mathbf{1.7329}$$

El factor de seguridad es **1.733**. El término de cohesión vale 0.3745 y el término de rozamiento tan 20°/tan 15° = 1.3584: la suma da el mismo número. Como el talud (15°) es más tendido que el ángulo de rozamiento (20°), el rozamiento por sí solo lo sostiene; la cohesión aporta margen.

Comprobar la solución en GeoTerva ↗

Enunciado

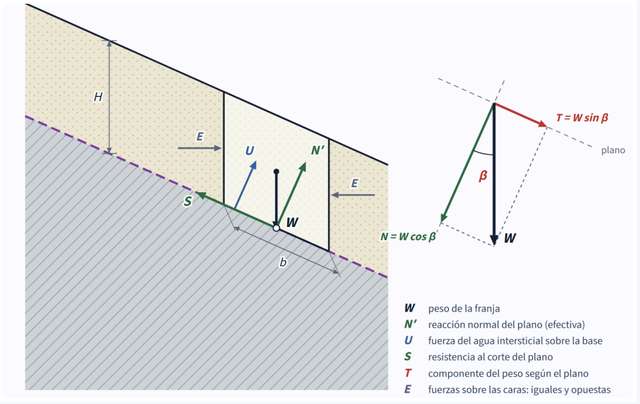
EJEMPLO

Datos

Suelo	**Suelo del Ejemplo 2 ($c' = 10$ kPa, $\varphi' = 20°$, $\gamma = 17.8$ kN/m³)**
Se pide	**factor de seguridad requerido $FS_{req} = 2.0$; además, la profundidad crítica para un talud más inclinado $\beta = 25°$**

SE PIDE

H_{req} (β = 15°); **β_{req}** (H = 6 m); **H_{cr}** para β = 25°.



Solución

SOLUCIÓN

1 Profundidad necesaria (β = 15°; FS_{req} = 2)

$$H_{req} = \frac{c'}{\gamma \cos^2\beta(FS_{req}\tan\beta - \tan\varphi')} = \frac{10}{17.8(0.93301)(2(0.26795) - 0.36397)} = \mathbf{3.50}\ \text{m}$$

2 Ángulo necesario (H = 6 m): raíz de la ecuación FS(β) = 2; profundidad crítica (β = 25°)

$$FS(\beta) = \frac{10}{106.8\cos^2\beta\tan\beta} + \frac{0.36397}{\tan\beta} = 2 \Rightarrow \beta_{req} = \mathbf{13.02}^\circ$$

$$H_{cr}(25^\circ) = \frac{10}{17.8(0.8214)(0.4663 - 0.3640)} = \mathbf{6.68}\ \text{m}$$

Para FS = 2, el plano puede estar como máximo a **3.50 m** de profundidad; a 6 m, para la misma seguridad el talud no debe ser más inclinado que **13.0°**. Como β = 25° > φ′, existe una profundidad crítica en la que FS desciende a 1: **6.68 m**. Para el talud actual (β < φ′) no existe profundidad crítica.

Comprobar la solución en GeoTerva ↗

Tensión total: c_u y $\varphi = 0$

TEORÍA

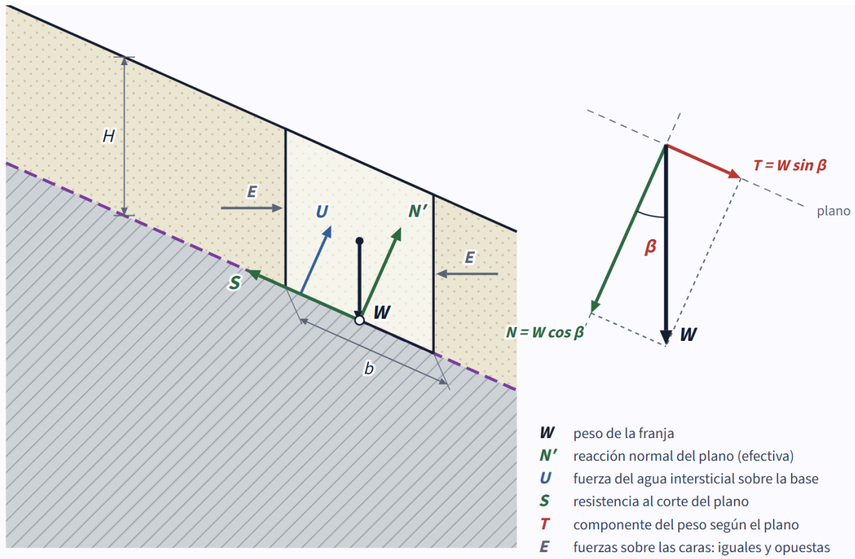
La arcilla saturada cargada o excavada con tal rapidez que no puede drenar (situación a corto plazo de una excavación en arcilla blanda) se resuelve en **tensiones totales** con c_u y $\varphi = 0$. La resistencia no depende de la tensión normal; no se introduce la presión intersticial:

$$FS = \frac{c_u}{\tau} = \frac{c_u}{\gamma H \sin\beta \cos\beta} = \frac{2c_u}{\gamma H \sin 2\beta}$$

$\tau = (\gamma H/2)\sin 2\beta$ es máxima en un talud de 45°; FS es **inversamente proporcional** a la profundidad: el FS de un plano al doble de profundidad es la mitad.

Una arcilla estable sin drenaje a corto plazo puede dejar de serlo una vez drenada: a largo plazo se realiza un **análisis drenado**, con las presiones intersticiales del nivel freático y los parámetros drenados c', φ'.

$H_{cr} = c_u/(\gamma \sin\beta \cos\beta)$; $H_{req} = c_u/(FS_{req}\, \gamma \sin\beta \cos\beta)$; $\sin 2\beta_{req} = 2c_u/(FS_{req}\, \gamma H)$.



Enunciado

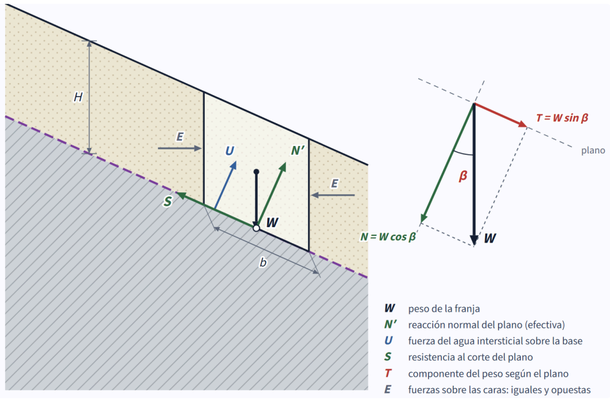
EJEMPLO

Datos

Talud	$\beta = 15^\circ$, $H = 6$ **m,** $\gamma = 17.8$ **kN/m³; arcilla sin drenaje** $c_u = 40$ **kPa** ($\varphi = 0$)
Se pide	$FS_{req} = 2.0$

SE PIDE

FS, H_{cr}, H_{req}, β_{req}.



Solución

SOLUCIÓN

1 Factor de seguridad y profundidad crítica

$$FS = \frac{c_u}{\gamma H \sin\beta \cos\beta} = \frac{40}{17.8(6)(0.2500)} = \frac{40}{26.70} = \mathbf{1.498}$$

$$H_{cr} = \frac{c_u}{\gamma \sin\beta \cos\beta} = \frac{40}{17.8(0.2500)} = \mathbf{8.99}\ \text{m}$$

2 Profundidad y ángulo necesarios (FS_{req} = 2)

$$H_{req} = \frac{c_u}{FS_{req}\,\gamma \sin\beta \cos\beta} = \frac{8.99}{2} = \mathbf{4.49}\ \text{m}$$

$$\sin 2\beta_{req} = \frac{2c_u}{FS_{req}\gamma H} = \frac{80}{2(106.8)} = 0.3745 \;\Rightarrow\; \beta_{req} = \mathbf{11.00}^\circ$$

Con c_u = 40 kPa, **FS = 1.50** (1.73 en el caso drenado). Para FS = 2 el talud puede tener como máximo **11.0°**; H_{cr} = 8.99 m.

Comprobar la solución en GeoTerva ↗

Filtración paralela al talud; relación de presión intersticial r_u

TEORÍA

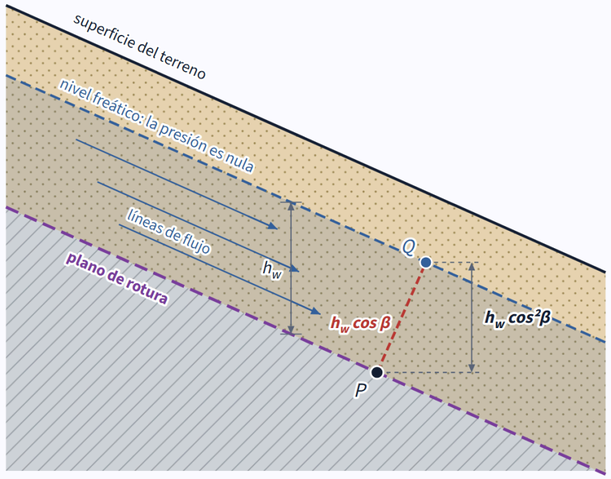
El agua resta resistencia al reducir la tensión efectiva mediante la presión intersticial u. Si el nivel freático está a una profundidad z_w bajo la superficie (vertical), el terreno situado encima tiene peso específico γ y el de debajo γ_{sat}; la altura de agua sobre el plano es $h_w = H - z_w$. Si el agua fluye paralelamente a la superficie, la línea equipotencial que pasa por el punto P es perpendicular al talud; la altura de presión es $h_w\cos^2\beta$:

$$u = \gamma_w h_w \cos^2\beta \qquad \sigma' = \sigma - u \qquad FS = \frac{c' + \sigma' \tan\varphi'}{\tau}$$

agua en la superficie: $FS = \dfrac{c'}{\gamma_{sat} H \cos^2\beta \tan\beta} + \dfrac{\gamma'}{\gamma_{sat}} \dfrac{\tan\varphi'}{\tan\beta}$ $\qquad r_u = \dfrac{u}{\gamma H}$: $FS = \dfrac{c'}{\gamma H \cos^2\beta \tan\beta} + \left(1 - \dfrac{r_u}{\cos^2\beta}\right) \dfrac{\tan\varphi'}{\tan\beta}$

En suelo sin cohesión con el agua en la superficie, FS = (γ′/γ_{sat}) tan φ′/tan β: como γ′/γ_{sat} ≈ ½, un talud de arena que en estado seco se mantiene cerca de φ′ exige, con filtración, un talud cuya tangente se reduce a la mitad.

Si la presión intersticial procede de un piezómetro o de una red de flujo, la proporción del peso del terreno se da como r_u. Si resulta σ′ ≤ 0 (el agua levanta el terreno del plano), la fricción se anula, solo permanece la cohesión y así se indica.



En la línea equipotencial
PQ la altura piezométrica es la mi
en P y en Q.

En Q la presión es nula,
por lo que la altura de presión en
es el ascenso de P a Q:

$u / \gamma_w = h_w \cos^2\beta$

Enunciado

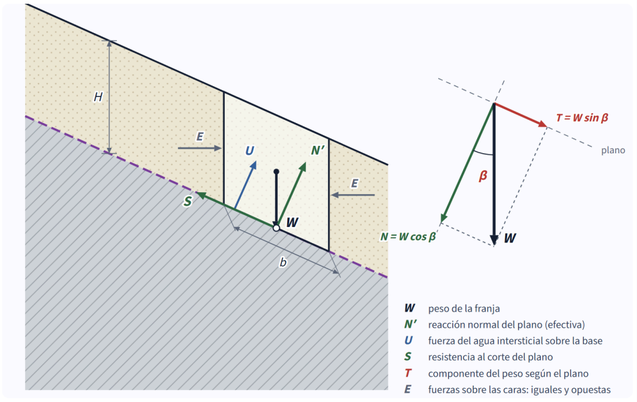
EJEMPLO

Datos

Talud y suelo	**El talud del Ejemplo 2; $\gamma = 17.8$ (seco), $\gamma_{sat} = 19.5$ kN/m³**
Condiciones del agua	**(a) nivel freático a $z_w = 2$ m, filtración paralela al talud; (b) agua en la superficie ($z_w = 0$); (c) $r_u = 0.25$**

SE PIDE

En cada caso **u**, **σ′**, **τ_f** y **FS**; comparación con el FS en seco.



Solución (1/2)

SOLUCIÓN

1 (a) Nivel freático a 2 m: $h_W = 6 - 2 = 4$ m

$$\sigma_v = 17.8(2) + 19.5(4) = 113.6 \text{ kPa}$$

$$\sigma = \sigma_v \cos^2\beta = 105.99 \text{ kPa} \quad \tau = \sigma_v \sin\beta\cos\beta = 28.40 \text{ kPa}$$

$$u = \gamma_w h_w \cos^2\beta = 9.81(4)(0.9330) = 36.61 \text{ kPa} \quad \sigma' = \sigma - u = 69.38 \text{ kPa}$$

$$FS = \frac{10 + 69.38(0.36397)}{28.40} = \frac{35.25}{28.40} = \mathbf{1.241}$$

Con el nivel freático a 2 m, FS desciende de 1.73 en el caso seco a **1.24**: el agua aumenta tanto el peso del terreno (σ_V) como la presión intersticial (36.6 kPa).

Solución (2/2)

SOLUCIÓN

2 Resumen de las tres condiciones de agua (mismas ecuaciones)

Situación	σ_v (kPa)	σ (kPa)	τ (kPa)	u (kPa)	σ' (kPa)	τ_f (kPa)	FS
Seco	106.8	99.65	26.70	0.00	99.65	46.27	**1.733**
(a) z_w = 2 m	113.6	105.99	28.40	36.61	69.38	35.25	**1.241**
(b) agua en la superficie	117.0	109.16	29.25	54.92	54.25	29.74	**1.017**
(c) r_u = 0.25	106.8	99.65	26.70	26.70	72.95	36.55	**1.369**

Con el agua en la superficie, FS = **1.02**, casi en el valor límite; para r_u = 0.25 resulta **1.37**. Un talud con holgada seguridad en estado seco no tiene margen alguno en estado húmedo: junto al resultado, el módulo muestra el FS en seco y con agua en la superficie.

Comprobar la solución en GeoTerva ↗

Fuerza horizontal y vertical; coeficiente de plastificación k_y

TEORÍA

La sacudida se sustituye por una aceleración constante (una fracción de g) aplicada a la masa situada sobre el plano. Además de su peso W, la dovela soporta una fuerza horizontal **$k_h W$** hacia abajo del talud y una fuerza vertical **$k_v W$** hacia arriba o hacia abajo; k_h y k_v son los coeficientes del ingeniero (el módulo no los toma de ninguna norma). Por unidad de área $W/A = \sigma_v \cos\beta$:

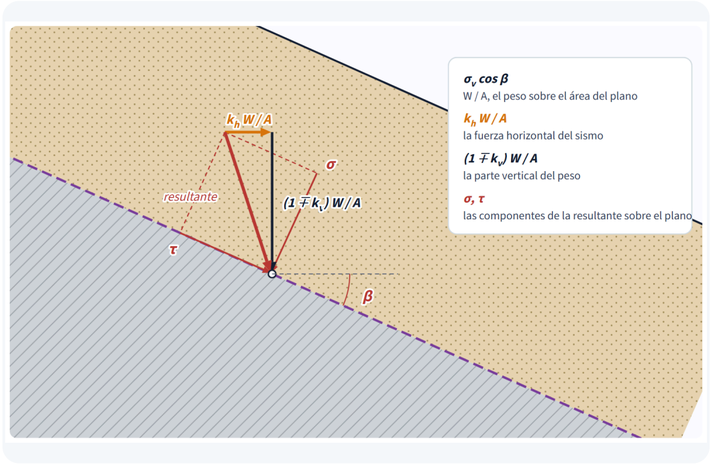
$$\sigma = \sigma_v \cos\beta\,[(1 \mp k_v)\cos\beta - k_h \sin\beta] \qquad \tau = \sigma_v \cos\beta\,[(1 \mp k_v)\sin\beta + k_h \cos\beta]$$

La presión intersticial es el valor estático (no se añade el efecto de la sacudida): $\sigma' = \sigma - u$; $FS_{eq} = \tau_f/\tau$ con los nuevos σ y τ. La fuerza horizontal reduce la tensión normal y aumenta la tensión tangencial.

Se prueban los dos sentidos de la fuerza vertical y se adopta el que da el **menor FS**: en suelo con rozamiento suele ser el ascendente (aligera la masa y reduce la tensión normal); en arcilla con tensiones totales, como c_u no depende de la tensión normal, es el sentido descendente, que aumenta la tensión tangencial.

Coeficiente de fluencia k_y: el coeficiente horizontal que hace $FS_{eq} = 1$. Seco, sin cohesión, $k_v = 0$: $k_y = \tan(\varphi' - \beta)$; en los demás casos se obtiene aumentando k_h desde cero. Una sacudida que no supere $k_y g$ no pone en movimiento la masa; una que la supere, sí (cuánto se desplaza es objeto del análisis del bloque deslizante, que no está en el módulo).

$$k_y = \frac{\tan\varphi' - \tan\beta}{1 + \tan\varphi' \tan\beta} = \tan(\varphi' - \beta)$$



Enunciado

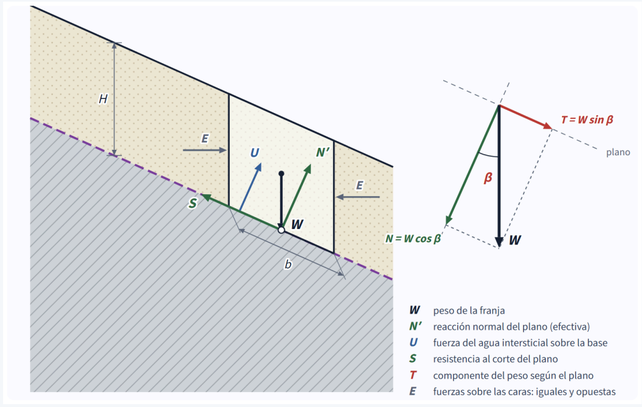
EJEMPLO

Datos

Talud y suelo	**Talud seco del ejemplo 2 ($c' = 10$ kPa, $\varphi' = 20°$, $\beta = 15°$, $H = 6$ m)**
Sismo	**$k_h = 0.15$, $k_v = 0.05$ (se prueban dos direcciones); además, para arena seca $\varphi' = 32°$, $\beta = 25°$**

SE PIDE

σ, **τ**, **FS_{eq}** (dirección crítica); tabla FS(k_h) y **k_y**; k_y en arena seca.



Solución (1/2)

SOLUCIÓN

1 Dirección crítica: fuerza vertical hacia arriba (k_v = +0.05 reduce el peso)

$$\sigma = \sigma_v \cos\beta\,[0.95\cos\beta - 0.15\sin\beta] = 103.16\,[0.8788] = 90.66\ \text{kPa}$$

$$\tau = \sigma_v \cos\beta\,[0.95\sin\beta + 0.15\cos\beta] = 103.16\,[0.3908] = 40.31\ \text{kPa}$$

$$FS_{eq} = \frac{10 + 90.66(0.36397)}{40.31} = \frac{43.00}{40.31} = \mathbf{1.067} \qquad (k_v \text{ abajo: } 1.085)$$

La fuerza vertical ascendente es la que rige: FS_{eq} = **1.067** (1.085 hacia abajo).

Solución (2/2)

SOLUCIÓN

2 FS(k_h) y coeficiente de fluencia (donde FS = 1)

k_h	σ (kPa)	τ (kPa)	τ_f (kPa)	FS_{eq}
0.00	94.66	25.36	44.45	**1.753**
0.05	93.33	30.35	43.97	**1.449**
0.10	91.99	35.33	43.48	**1.231**
0.15	90.66	40.31	43.00	**1.067**
0.1746	90.00	42.76	42.76	**1.000**
0.20	89.32	45.29	42.51	**0.939**

El sismo reduce FS de 1.73 a **1.07** (la fuerza vertical ascendente es determinante). **k_y = 0.175**: si k_h lo supera, la masa comienza a deslizar. En arena seca ($\varphi' = 32°$, $\beta = 25°$), $k_y = \tan 7° = 0.1228$.

Comprobar la solución en GeoTerva ↗

FS; H_{req}, β_{req}, H_{cr}

TEORÍA

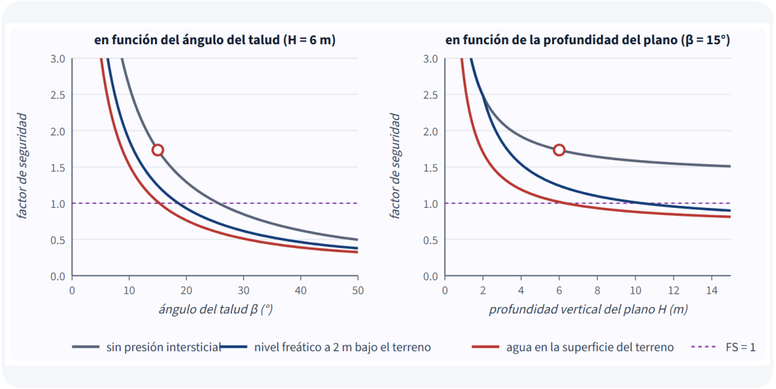
FS en función de la pendiente: FS disminuye de forma regular con β; la separación entre las curvas muestra cuánto del margen se lleva el agua; el ángulo en el que la curva corta FS_{req} es β_{req}.

FS frente a la profundidad: la curva del suelo cohesivo desciende desde un valor elevado en la superficie hasta el nivel determinado por el rozamiento; el punto en que corta FS = 1 es la profundidad crítica. El nivel freático deja una marca en la profundidad en que el agua alcanza por primera vez el plano; por encima se sigue la curva seca.

FS frente al agua: aumenta al profundizar el nivel freático y disminuye al crecer r_u; muestra hasta qué punto un talud drenado depende de una presión intersticial difícil de conocer.

En el caso sísmico cada gráfico lleva una segunda línea (naranja); el quinto gráfico, de FS frente a k_h, da k_y en el punto donde corta FS = 1.

La pestaña Resultados proporciona, además de FS y de su comparación con el valor requerido: **H_{req}** (la primera profundidad a la que FS desciende hasta FS_{req}; «sin límite» si no desciende), **β_{req}** (el ángulo más empinado, aumentándolo desde la horizontal, con el que aún se cumple FS_{req}), **H_{cr}**, los dos extremos del agua (sin presión intersticial / agua en la superficie) y, en sismo, FS_{eq} y k_y.



Enunciado

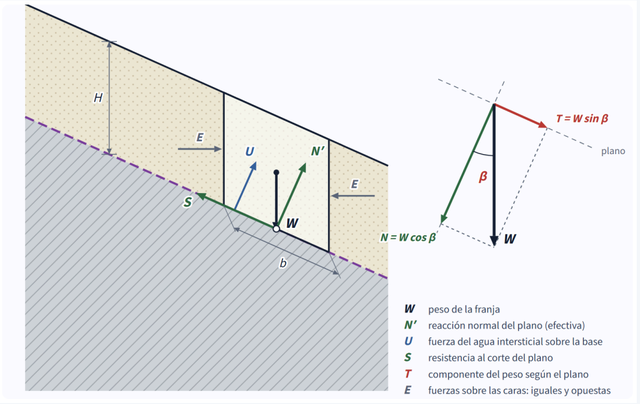
EJEMPLO

Datos

Suelo	**Suelo del ejemplo 2 ($c' = 10$ kPa, $\varphi' = 20°$, $\gamma = 17.8$, $\gamma_{sat} = 19.5$ kN/m³)**
Tabla	**Valores de FS para $\beta = 10,\ 15,\ 20,\ 25,\ 30°$ y $H = 2,\ 4,\ 6,\ 8$ m en seco y con el nivel freático a $z_w = 2$ m (mediante solución en forma cerrada)**

SE PIDE

Tabla de $FS_{seco}(\beta, H)$; para el nivel freático a H = 6 m; ¿a partir de qué ángulo FS < 1?



Solución

SOLUCIÓN

1 FS = c′/(γH cos²β tan β) + tan φ′/tan β (seco); con nivel freático, a partir de las tensiones (negrita: FS < 1)

β (°)	H = 2 m	H = 4 m	H = 6 m	H = 8 m	H = 6, agua z_w = 2 m
10	3.707	2.885	2.612	2.475	1.866
15	2.482	1.920	1.733	1.639	1.241
20	1.874	1.437	1.291	1.219	**0.928**
25	1.514	1.147	1.025	**0.964**	**0.741**
30	1.279	**0.955**	**0.847**	**0.793**	**0.616**

El FS disminuye regularmente con el ángulo y disminuye con la profundidad (aporte de la cohesión). A partir de β = 20° y H = 8 m incluso el talud seco se aproxima al límite; un nivel freático a z_w = 2 m, con H = 6 m, reduce el FS **por debajo de 1** a partir de 20° (0.62 a 30°). Por ello se buscan β_{req} y H_{req}.

Comprobar la solución en GeoTerva ↗

Qué supone el modelo

TEORÍA

Modelo: talud infinito: terreno plano, superficie de rotura paralela a él a una profundidad vertical H; los extremos de la masa no intervienen; las condiciones son las mismas en todos los puntos; bidimensional, 1 m a lo largo del talud.

Terreno: un solo terreno por encima del plano (resistencia y peso específico dados); en este modelo no se contemplan estratos, terreno que varíe a lo largo del talud o con la profundidad, ni resistencia creciente con la profundidad; para el contacto con un estrato débil pueden usarse las propiedades de ese estrato, o bien el módulo Estabilidad de taludes.

Agua: un nivel freático con flujo paralelo al talud ($u = \gamma_w h_w \cos^2\beta$) o r_u; la presión intersticial no se calcula a partir de la lluvia ni de la permeabilidad. **Resistencia**: Mohr–Coulomb en tensiones efectivas o c_u; si $\sigma' \leq 0$, la fricción es nula. No se considera la resistencia residual, la rotura progresiva ni el efecto de las raíces.

Sismo: solo pseudoestático; la sacudida no añade presión intersticial; no se analizan la amplificación, la duración, la presión intersticial residual del suelo saturado suelto ni el desplazamiento permanente; los coeficientes los fija el ingeniero.

No se contemplan: sobrecarga, grieta de tracción, refuerzo, muro de pie. El FS es el valor para un único plano a una única profundidad; no se busca un plano más débil no paralelo a la superficie. Si el talud es corto en relación con la profundidad o el terreno o el agua varían a lo largo del talud, los extremos son importantes: se emplea el módulo Estabilidad de taludes.

Resumen

Puntos clave

Franja: $\sigma = \sigma_v \cos^2\beta$, $\tau = \sigma_v \sin\beta \cos\beta$, $\tau/\sigma = \tan\beta$ (en el ejemplo $\sigma = 99.65$, $\tau = 26.70$ kPa)

FS = $(c' + \sigma' \tan\varphi')/\tau = c'/(\gamma H \cos^2\beta \tan\beta) + \tan\varphi'/\tan\beta$ = **1,733**; $H_{req} = 3.50$ m ($FS_{req} = 2$), $\beta_{req} = 13.0°$; si $\beta > \varphi'$, H_{cr}

Arcilla sin drenaje: $FS = c_u/(\gamma H \sin\beta \cos\beta) = 1.50$; inversamente proporcional a la profundidad

Agua: $u = \gamma_w h_w \cos^2\beta$; FS 1.73 → 1.24 ($z_w = 2$ m) → 1.02 (en la superficie); $r_u = 0.25$ → 1.37

Sismo: $k_h W$ horizontal y $k_v W$ vertical; se adopta el sentido crítico (hacia arriba); FS 1.73 → 1.07; **$k_y = 0.175$**; $\tan(\varphi' - \beta)$ en suelo seco sin cohesión

Límite: un solo plano, talud infinito; si los extremos o los estratos son relevantes, se utiliza Estabilidad de taludes (dovelas)

Referencias bibliográficas

Das, B.M. (2018). Principles of Geotechnical Engineering, 9th ed. Cengage Learning, Boston. Capítulo 15, Slope Stability: el talud infinito en los apartados 15.2–15.4.

Skempton, A.W. and DeLory, F.A. (1957). Stability of natural slopes in London Clay. Proceedings of the 4th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, London, 2, 378–381.

Bishop, A.W. and Morgenstern, N.R. (1960). Stability coefficients for earth slopes. Géotechnique, 10(4), 129–150.

Duncan, J.M., Wright, S.G. and Brandon, T.L. (2014). Soil Strength and Slope Stability, 2nd ed. Wiley, Hoboken.

Newmark, N.M. (1965). Effects of earthquakes on dams and embankments. Géotechnique, 15(2), 139–160.

NOTA

Todos los ejemplos numéricos se han obtenido con el propio motor de cálculo del módulo; el módulo da los mismos valores. El ejemplo resuelto de la página del módulo es también este talud (β = 15°, H = 6 m, γ = 17.8, c′ = 10 kPa, φ′ = 20°).

GeoTerva

Cálculos geotécnicos en línea

De la teoría a la práctica

Introducir en GeoTerva el ángulo del propio talud, la profundidad del plano, la resistencia del terreno (drenada o sin drenaje), el agua y los coeficientes sísmicos; el módulo da conjuntamente las tensiones, el factor de seguridad, la profundidad crítica y la requerida, el ángulo requerido, el coeficiente de fluencia y los gráficos.

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