

MASTER EN MECANICA DEL SUELO E INGENIERIA DE CIMENTACIONES

MODULO: Estabilidad de Taludes

ALUMNO: Pablo F. Sanz

FECHA: Mayo 1999

Estabilidad de Taludes. Problema No.1.

Se desea excavar un talud en un terreno horizontal homogéneo del que se conocen los siguientes parámetros:

$$\gamma_{ap} := 2 \cdot \frac{\text{ton}}{\text{m}^3} \quad c := 1 \cdot \frac{\text{ton}}{\text{m}^2} \quad \phi := 25 \cdot \text{deg}$$

a) Inclinación máxima que se le puede dar al talud si se desean excavar 10 m y tener un coeficiente de seguridad de 1.5.

$$H := 10 \cdot \text{m} \quad F := 1.5$$

$$c_{mob} := \frac{c}{F} \quad c_{mob} = 0.67 \text{ m}^{-2} \text{ ton}$$

$$\phi_{mob} := \text{atan}\left(\frac{\tan(\phi)}{F}\right) \quad \phi_{mob} = 17.3 \text{ deg}$$

$$N_{est} := \frac{c_{mob}}{\gamma_{ap} \cdot H} \quad N_{est} = 0.033$$

Utilizando el abaco de Taylor, con el N_{est} y el ϕ_{mob} , obtengo la inclinación del talud (β).

$$\beta := 29 \cdot \text{deg}$$

b) Si se hace una excavación vertical, calcular la profundidad de excavación a la que se produciría la rotura del talud.

$$\beta := 90 \cdot \text{deg}$$

$$\phi = 25 \text{ deg}$$

Con la pendiente del talud y el ángulo de fricción interna del suelo, obtengo el Número de Estabilidad, y con él, la altura para la cual se produce la rotura.

$$N_{est} := 0.166$$

$$H := \frac{c}{\gamma_{ap} \cdot N_{est}} \quad H = 3.01 \text{ m}$$

c) Excavado el talud segun se indica en a) se advierte que existe una filtracion de agua hacia la excavacion. Es posible que una filtracion adversa provoque la rotura del talud? Que inclinacion habria que haber dispuesto para evitarlo?.

Para verificar si existe la posibilidad que con una filtracion adversa se produzca la rotura, se utiliza el abaco No.5 de Hoek y Bray. Esta consideracion es la mas desfavorable.

Angulo del Talud: $\beta := 29 \cdot \text{deg}$ $H := 10 \cdot \text{m}$

Parametro Adimensional: $j := \frac{c}{\gamma_{ap} \cdot H \cdot \tan(\phi)}$ $j = 0.107$

Con estos dos parametros se entra al abaco, y se valoran la absiza y la ordenada correspondiente:

$X := 0.051$ $FS_x := \frac{c}{\gamma_{ap} \cdot H \cdot X}$ $FS_x = 0.98$

$Y := 0.49$ $FS_y := \frac{\tan(\phi)}{Y}$ $FS_y = 0.95$

Por error en la medicion en el grafico, los factores de seguridad no son iguales, se tomara el promedio:

$FS := \frac{FS_x + FS_y}{2}$ $FS = 0.97$

El factor de seguridad es menor que uno, por lo tanto habra que tender mas el talud. Se calculara el talud que hacel el factor de seguridad igual a uno.

$m = 1 \text{ m}$ $FS := 1$

$\frac{\tan(\phi)}{FS} = 0.466$ $\frac{c}{\gamma_{ap} \cdot H \cdot FS} = 0.05$

Angulo del Talud: $\beta := 27 \cdot \text{deg}$

Estabilidad de Taludes. Problema No.2.

En un terreno horizontal se excava una zanja vertical y cuando la excavacion alcanza los 4 m de profundidad se produce la rotura. El terreno no esta saturado y se sabe que $\gamma_{ap}=2 \text{ ton/m}^3$.

En este mismo terreno se excava una zanja con taludes inclinados 45 grados y se produce la rotura cuando la profundidad alcanzada es igual a 10 m.

En ese terreno se quiere construir una obra como la indicada en el croquis adjunto. Cual sera su coeficiente de seguridad frente a la estabilidad global?

$$\gamma_{ap} := 2 \cdot \text{ton} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$H1 := 4 \cdot \text{m} \quad \beta1 := 90 \cdot \text{deg}$$

$$H2 := 10 \cdot \text{m} \quad \beta2 := 45 \cdot \text{deg}$$

Utilizando el abaco de Taylor, se calcula para el talud dado, los pares de cohesion y friccion que generan la rotura del mismo (FS=1).

$$\phi := \begin{pmatrix} 0 \\ 5 \\ 10 \\ 15 \\ 20 \\ 25 \end{pmatrix} \cdot \text{deg} \quad \text{Nest1} := \begin{pmatrix} 0.260 \\ 0.240 \\ 0.219 \\ 0.199 \\ 0.182 \\ 0.167 \end{pmatrix} \quad \text{Nest2} := \begin{pmatrix} 0.170 \\ 0.137 \\ 0.109 \\ 0.084 \\ 0.063 \\ 0.046 \end{pmatrix}$$

$$i := 0..5$$

$$\tan\phi_i := \tan(\phi_i) \quad c1_i := \gamma_{ap} \cdot H1 \cdot \text{Nest1}_i \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{ton}} \quad c2_i := \gamma_{ap} \cdot H2 \cdot \text{Nest2}_i \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{ton}}$$

$$\tan\phi_i =$$

0
0.087
0.176
0.268
0.364
0.466

$$c1_i =$$

2.08
1.92
1.752
1.592
1.456
1.336

$$c2_i =$$

3.4
2.74
2.18
1.68
1.26
0.92

Se ajusta una curva cuadratica, (utilizando el metodo de los cuadrados minimos) a los puntos $c \cdot \tan(\phi)$.

$$F(x) := \begin{pmatrix} 1 \\ x \\ x^2 \end{pmatrix}$$

$$t1 := \text{linfit}(\tan\phi, c1, F)$$

$$t2 := \text{linfit}(\tan\phi, c2, F)$$

$$t1 = \begin{pmatrix} 2.086 \\ -2.095 \\ 1.026 \end{pmatrix}$$

$$t2 = \begin{pmatrix} 3.396 \\ -7.893 \\ 5.546 \end{pmatrix}$$

$$C1(x) := F(x) \cdot t1$$

$$C2(x) := F(x) \cdot t2$$

Se calcula la interseccion entre las dos curvas, y luego se obtienen los parametros de resistencia al corte.

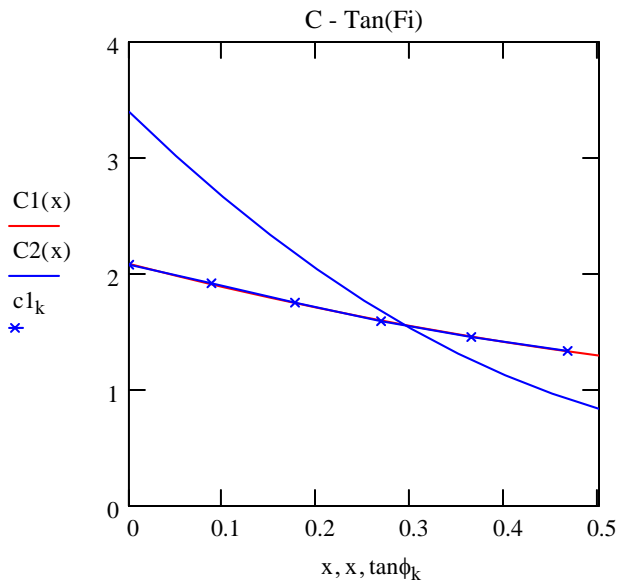
$$x := 0.2$$

$$\text{TAN}\phi := \text{root}(C1(x) - C2(x), x) \quad \text{TAN}\phi = 0.293 \quad \phi := \text{atan}(\text{TAN}\phi)$$

$$c := C1(\text{TAN}\phi) \cdot \text{ton} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$\text{Parametros de resistencia al corte:} \quad \phi = 16.3 \text{ deg} \quad c = 1.56 \text{ m}^{-2} \text{ ton}$$

$$x := 0, 0.05 \dots 0.5 \quad k := 0 \dots 5$$



Características del Talud a Verificar

$$\text{Pendiente:} \quad \tan\alpha := \frac{1}{2}$$

$$\text{Atura del Talud:} \quad h := 10 \cdot \text{m}$$

Cargas en el Coronamiento:

$$V := 50 \cdot \frac{\text{ton}}{\text{m}} \quad H := 20 \cdot \frac{\text{ton}}{\text{m}}$$

Posicion de las cargas (el pie del talud es el origen de coordenadas):

$$x_v := 23 \cdot \text{m} \quad y_h := h$$

Parametros geotecnicos:

$$\gamma_{ap} = 2 \text{ m}^{-3} \text{ ton} \quad c = 1.6 \text{ m}^{-2} \text{ ton} \quad \phi = 16 \text{ deg}$$

Definicion de la superficie del terreno:
(mediante una funcion partida) $b := 10 \cdot \text{m}$

$$f := h \cdot \tan\alpha^{-1} + b$$

$$x_t := \begin{pmatrix} -b \\ 0 \cdot \text{m} \\ h \cdot \tan\alpha^{-1} - 1 \\ f \end{pmatrix} \quad y_t := \begin{pmatrix} 0 \cdot \text{m} \\ 0 \cdot \text{m} \\ h \\ h \end{pmatrix} \quad t(x) := \text{linterp}(x_t, y_t, x)$$

$$\text{Abcisa final del ciruclo de rotura:} \quad x_f := 24 \cdot \text{m}$$

s(x): cuerda que uno los puntos de interseccion del circulo con la superficie del terreno
 p(x): recta que define el lugar geometrico de todos los centros de los circulos que pasan por los dos puntos prefijados; pie del talud y borde derecho de la zapata. Esta recta es perpendicular a la cuerda anterior, y pasa por su punto medio.

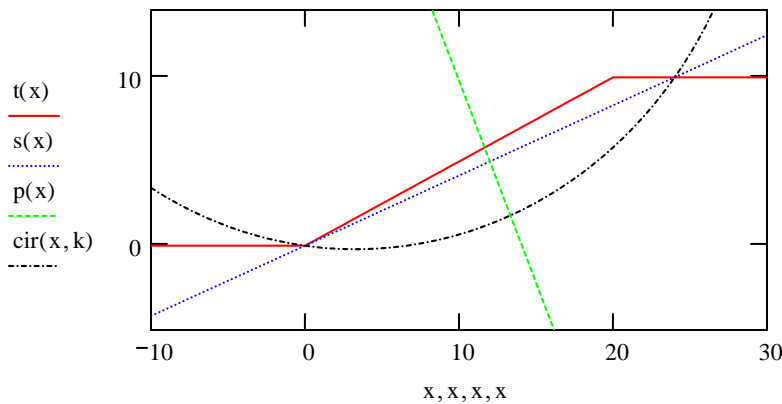
$$s(x) := \frac{h}{x_f} \cdot x \quad bb := \frac{1}{2} \cdot \left(h + \frac{x_f^2}{h} \right) \quad mm := -\frac{x_f}{h} \quad p(x) := mm \cdot x + bb$$

Radio del circulo de rotura (es funcion de las coordenadas del centro: $R(X_o) := \sqrt{X_o^2 + p(X_o)^2}$
 X_o-Y_o: coordenadas del centro

Definicion del circulo de rotura: $cir(x, X_o) := -\sqrt{R(X_o)^2 - (x - X_o)^2} + p(X_o)$

Valor de prueba arbitrario: $k := 3.3 \cdot m$

Rango para graficar: $x := -b, -b \cdot 0.95 .. f$



Calculo del Area y de la coordenada horizontal del centro de gravedad del volumen que desliza:

$$A(X_o) := \int_{0:m}^{x_f} t(x) - cir(x, X_o) dx \quad A(k) = 81 m^2$$

$$S(X_o) := \int_{0:m}^{x_f} (t(x) - cir(x, X_o)) \cdot x dx \quad S(k) = 1.1 \times 10^3 m^3$$

$$X_g(X_o) := \frac{S(X_o)}{A(X_o)} \quad X_g(k) = 13.1 m$$

Peso del volumen deslizante: $W(X_o) := A(X_o) \cdot \gamma_{ap} \quad W(k) = 162 m^{-1} ton$

Fuerzas de Cohesion: $C_h(co) := co \cdot x_f \quad C_h(c) = 37.5 m^{-1} ton$

$$C_v(co) := co \cdot h \quad C_v(c) = 15.6 m^{-1} ton$$

Longitud de la Cuerda: $L_{cue} := \sqrt{x_f^2 + h^2}$ $L_{cue} = 26 \text{ m}$

Longitud del Arco: $L_{arc}(X_o) := \text{asin}\left(\frac{L_{cue}}{2 \cdot R(X_o)}\right) \cdot 2 \cdot R(X_o)$
 $L_{arc}(k) = 27.2 \text{ m}$

Momento de la Fuerza de Cohesion:
(momentos respecto al centro del circulo de rotura) $M_c(X_o, co) := co \cdot L_{arc}(X_o) \cdot R(X_o)$
 $M_c(k, c) = 1.11 \times 10^3 \text{ ton}$

Para calcular el coeficiente de seguridad del talud se utiliza el metodo del circulo de rozamiento.

Calculo de la resultante de fuerzas y momentos debido al peso, a las cargas exteriores y a la cohesion:

Resultante Horizontal: $RH(co) := C_h(co) - H$ $RH(c) = 17.5 \text{ m}^{-1} \text{ ton}$

Resultante Vertical: $RV(X_o, co) := W(X_o) + V - C_v(co)$ $RV(k, c) = 196.4 \text{ m}^{-1} \text{ ton}$

Resultante: $R\phi(X_o, co) := \sqrt{RH(co)^2 + RV(X_o, co)^2}$ $R\phi(k, c) = 197.1 \text{ m}^{-1} \text{ ton}$

Momento Resultante:

$$M\phi(X_o, co) := W(X_o) \cdot (X_g(X_o) - X_o) + V \cdot (x_v - X_o) + H \cdot (p(X_o) - y_h) - M_c(X_o, co)$$

$$M\phi(k, c) = 1.8 \times 10^3 \text{ ton}$$

Distancia desde la fuerza de friccion al centro del circulo: $d\phi(X_o, co) := \frac{M\phi(X_o, co)}{R\phi(X_o, co)}$

$$d\phi(k, c) = 9 \text{ m}$$

Tangente de la friccion necesaria: $\tan\phi_o(X_o, co) := \tan\left(\text{asin}\left(\frac{d\phi(X_o, co)}{R(X_o)}\right)\right)$

Relacion $\tan(\phi)/$ cohesion de los parametros de resistencia al corte: $R_{tc} := \frac{\tan(\phi)}{c \cdot \text{m}^2 \cdot \text{ton}^{-1}}$ $R_{tc} = 0.188$

Relacion $\tan(\phi^*)/c^*$ de los parametros de resistencia al corte que hacen que el F.S.=1:
(esta funcion depende de la cohesion adoptada y del circulo de falla)

$$MM(X_o, co) := \frac{\tan\phi_o(X_o, co)}{c \cdot \text{m}^2 \cdot \text{ton}^{-1}}$$

$$MM(k, c) = 0.236$$

Calculo de la c^* que se ubica sobre la recta de pendiente "Rtc": $co := c$

$$Co(X_o) := \text{root}(MM(X_o, co) - R_{tc}, co)$$

$$Co(k) = 1.8 \text{ m}^{-2} \text{ ton}$$

Factor de Seguridad (c/c^*): $F(X_o) := \frac{c}{Co(X_o)}$

Derivada del Factor de Seguridad (c/c^*) respecto a la ubicacion del ciruclo de falla:

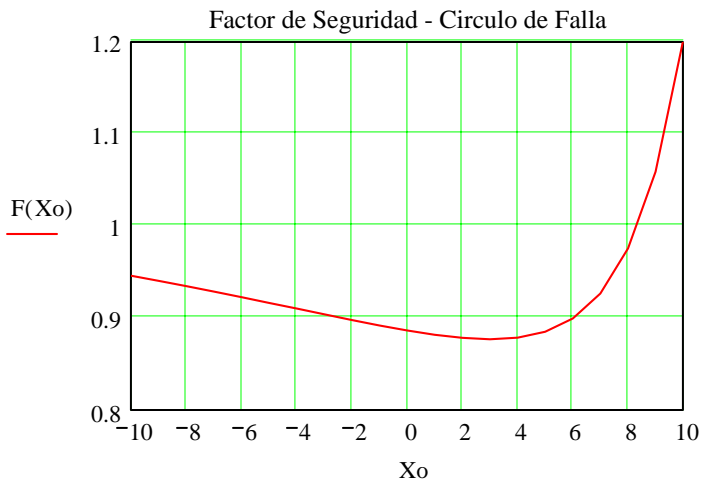
$$dF(X_0) := \frac{d}{dX_0} F(X_0)$$

Coordenada "x" del circulo con menor F.S.:

$$X_0 := 5\text{-m} \quad X_{\min} := \text{root}(dF(X_0), X_0) \quad X_{\min} = 3.3\text{ m}$$

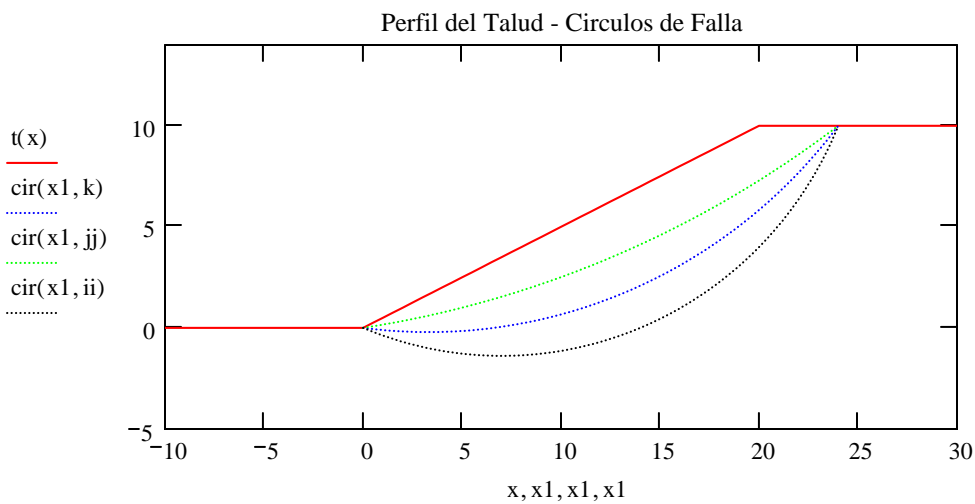
Factor de Seguridad Minimo: $F(X_{\min}) = 0.877$

$$X_0 := -10\text{-m}, -9\text{-m}.. 10\text{-m}$$

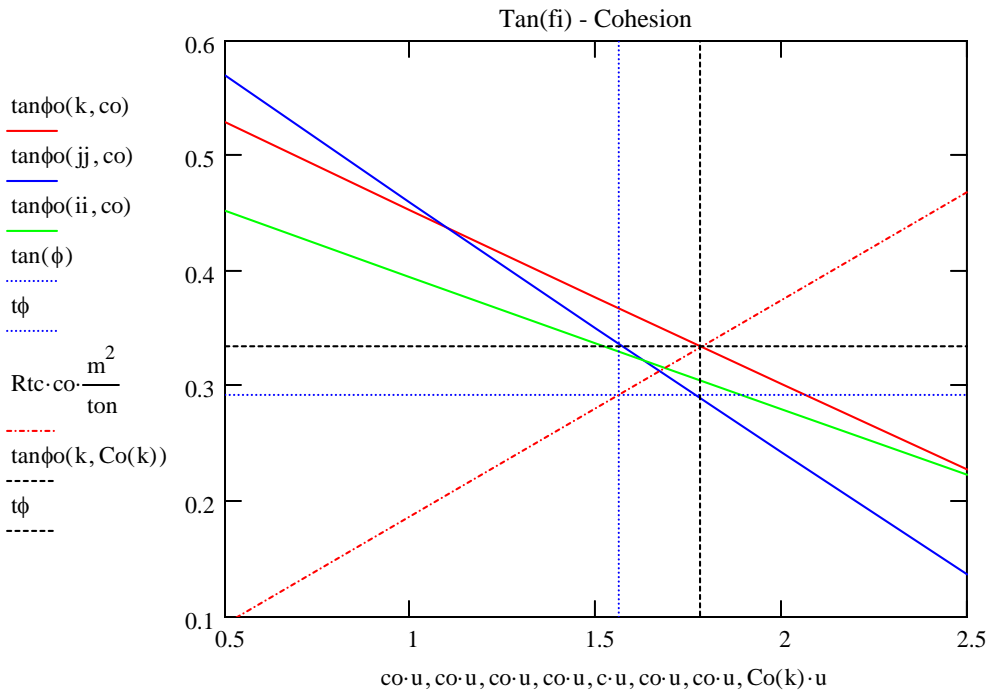


Rango para graficar: $x := -b, -b \cdot 0.95 .. f$ $x_1 := 0\text{-m}, 0.1\text{-m} .. x_f$

Coordenada "x" de tres circulos: $jj := -8\text{-m}$ $k = 3.3\text{ m}$ $ii := 7\text{-m}$
 (el circulo intermedio corresponde al menor factor de seguridad)



Rango para graficar: $c_0 := 0.5 \cdot \text{ton} \cdot \text{m}^{-2}, 1 \cdot \text{ton} \cdot \text{m}^{-2} .. 2.5 \cdot \text{ton} \cdot \text{m}^{-2}$ $t\phi := 0, 0.2 .. 1$ $u := (\text{ton} \cdot \text{m}^{-2})^{-1}$



Parametros de Resistencia al Corte necesarios para que F.S.=1: $Co(k) = 1.8 \text{ m}^{-2} \text{ ton}$
 $\text{atan}(\tan\phi(k, Co(k))) = 18.5 \text{ deg}$

Este archivo realizado con el programa MATHCAD, sirve para evaluar la estabilidad de taludes con el metodo del circulo de rozamiento.