

ESTABILIDAD DE TALUDES



ESTABILIDAD DE TALUDES

INTRODUCCIÓN

Un desnivel natural o artificialmente creado mediante solución de talud implica que:

- El terreno soporta su propio peso y las acciones externas movilizándolo su resistencia interna
- Aunque pueden existir elementos trabajando a tracción o cortante, su cooperación en la estabilidad es una fracción relativamente pequeña

La estabilidad de un talud puede afectar:

- exclusivamente a una masa de terreno (suelo o roca)
- a un conjunto de terreno y elementos estructurales existentes (presencia en el talud, o en su entorno, de cimentaciones superficiales o profundas, o estructuras de contención como pantallas y muros)

Si en un talud se produce la rotura:

- Se genera un movimiento de una masa de terreno respecto a otra que se mantiene estable y sobre la cual la primera se apoya. Entre zona estable e inestable hay una franja de pequeño espesor, asimilable a una superficie, que las separa. Dichasuperficie se denomina de rotura o deslizamiento.
- En todos los puntos de la superficie de deslizamiento la tensión tangencial t que equilibra el peso propio y demás fuerzas existentes es igual a la máxima tensión tangencial que el terreno puede desarrollar t_{max} . Considerando los parámetros resistentes del terreno c (cohesión) y ϕ (ángulo de rozamiento), resulta:

$$\tau = \tau_{max} = c + \sigma \cdot \tan \phi$$

- donde σ es la tensión normal a la superficie de rotura en cada uno de sus puntos.

Tipos de movimiento

En suelos:

- Deslizamiento plano paralelo a la superficie del terreno en laderas naturales extensas, de pendiente uniforme, y espesor de suelo aproximadamente constante sobre sustrato rocoso
- Deslizamiento circular en suelos homogéneos (y por simplificación en heterogéneos) :círculos de pie (a), profundos (b), de talud (c) y de piel (d)
- Deslizamientos no circulares

Zona débil (sueloblando) o de contacto con roca

Tipos de movimiento (cont.)

- En rocas:
- Rotura circular en rocas muy blandas, o muy diaclasadas y trituradas.



- Deslizamiento plano a través de una discontinuidad
- Deslizamiento de cuña a través de dos o más discontinuidades
- Toppling vuelco de estratos

Causas de la inestabilidad

- Por cambio en las condiciones geométricas o de las acciones actuantes:
 - Excavaciones
 - Rellenos
 - Erosión de la zona inferior (oleaje, arrastre fluvial, etc.)
 - Cimentaciones de estructuras que no profundicen lo suficiente y apoyen sobre terreno potencialmente inestable
 - Elevación en el nivel freático (por cambios estacionales u otras causas)
 - Acciones sísmicas

Tipos de rotura plana:



Piano único de rotura aprofundando en el pie o en la cara del talud



Rotura paralela al talud

Rotura por un plano de discontinuidad y por un plano de rotura a pie del talud





























CARRETERA PALLATANGA-CUMANDA

SECTOR LOS SANTIAGOS



TERMINACIÓN DE LA ESTABILIZACION DE TALUDES DEL PASO LATERAL DE AMBATO





















ANTES

DESPUES



TERMINACIÓN DE LA ESTABILIZACION DE TALUDES DEL PASO LATERAL DE AMBATO



ABSCISA 8+800



ROCAS QUE CONFORMAN UN DEPOSITO FLUVIO GLACIAR

ABSCISA 6+000



ROCAS CONSTITUTIVAS DE UN DEPÓSITO GLACIAR LAHARÍTICO

ABSCISA 7+200





















CONGLOMERADO



SUELO EROSIONADO

ESTABILIZACION DEL CONTRATISTA ANTERIOR



AREAS DE RESANE



ANTES DEL LANZADO

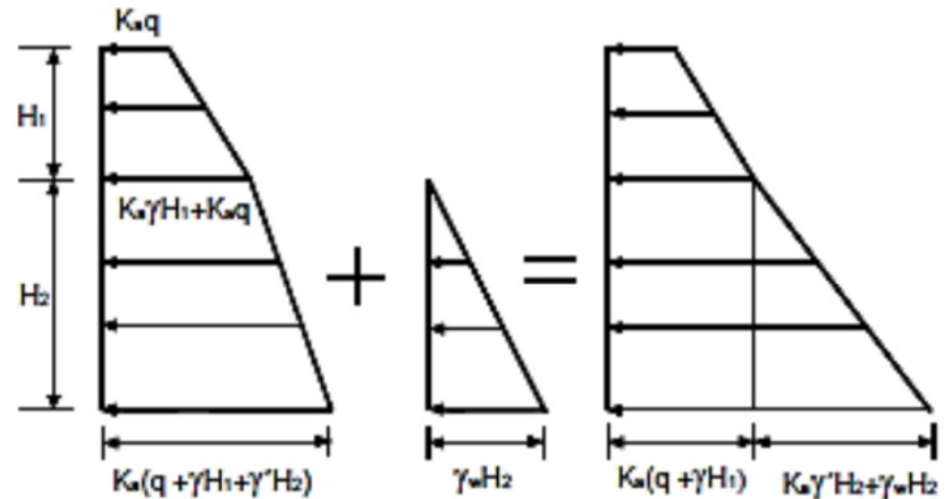
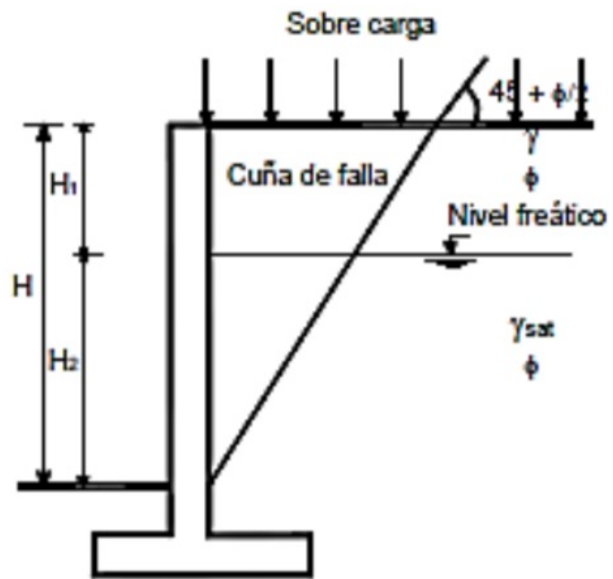




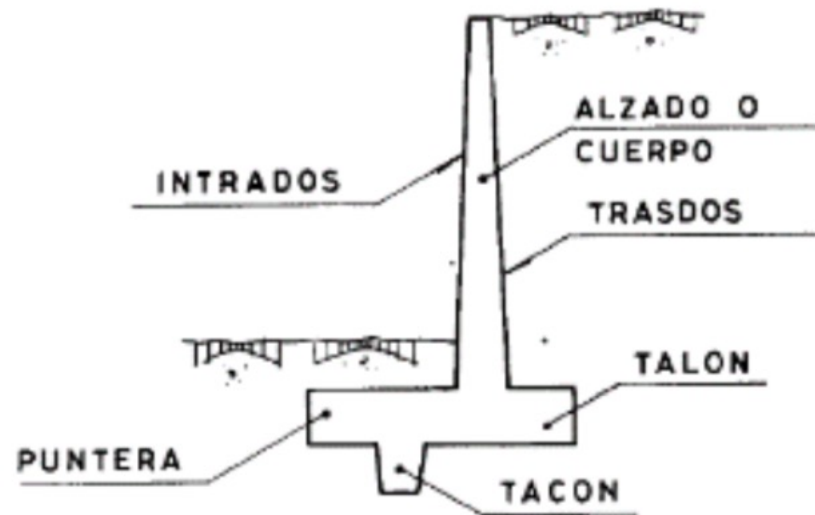


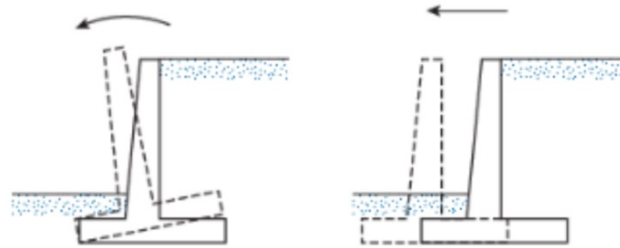


EMPUJE DE SUELOS SOBRE MUROS



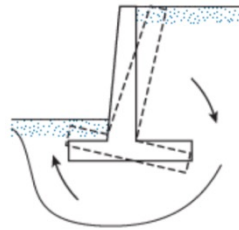
PARTES DE UN MURO



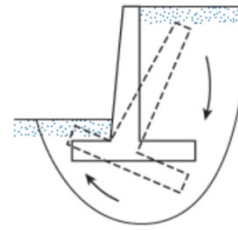


a)

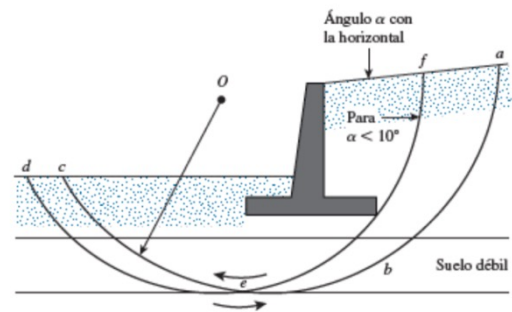
b)



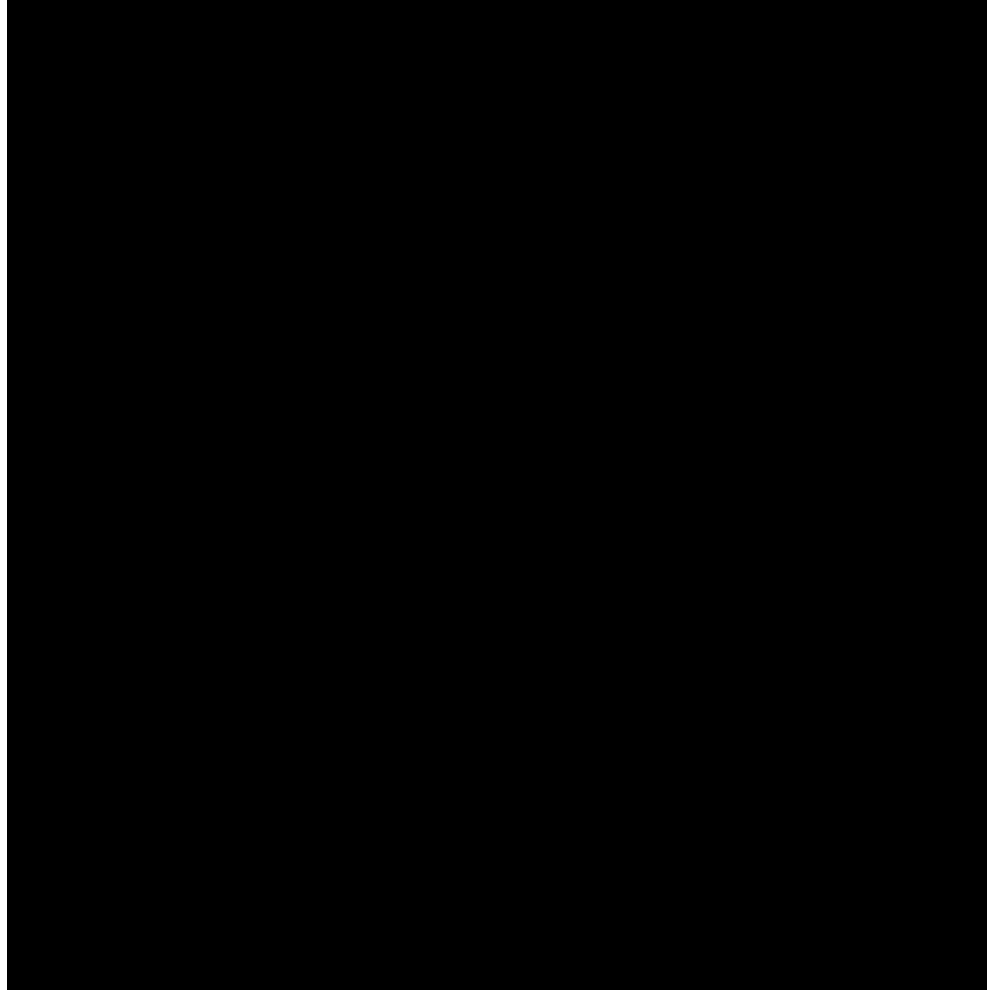
c)



d)



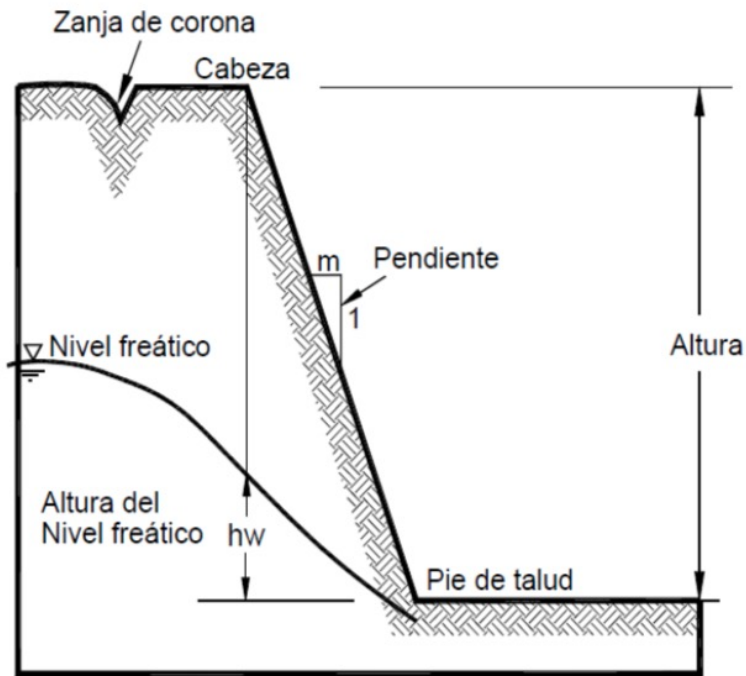
INTRODUCCION A LA ESTABILIDAD DE TALUDES



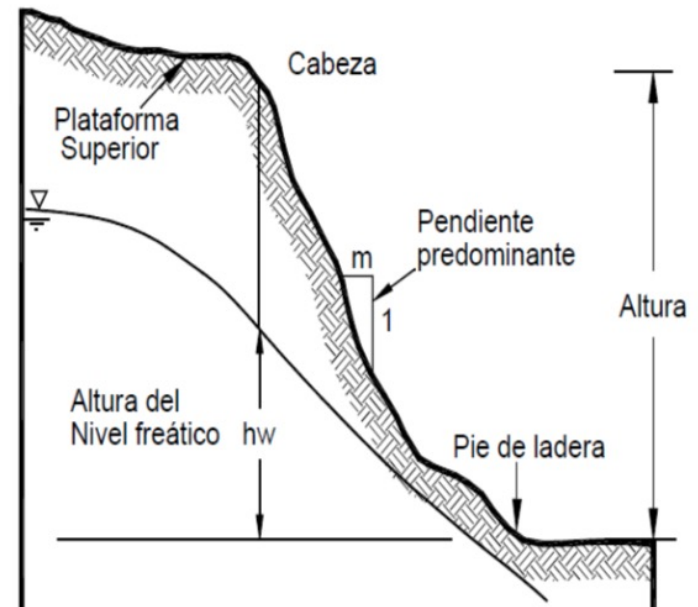


Superficie inclinada de una masa de suelo, producida naturalmente o por el hombre.

Diferencias apreciables entre una ladera y un talud:



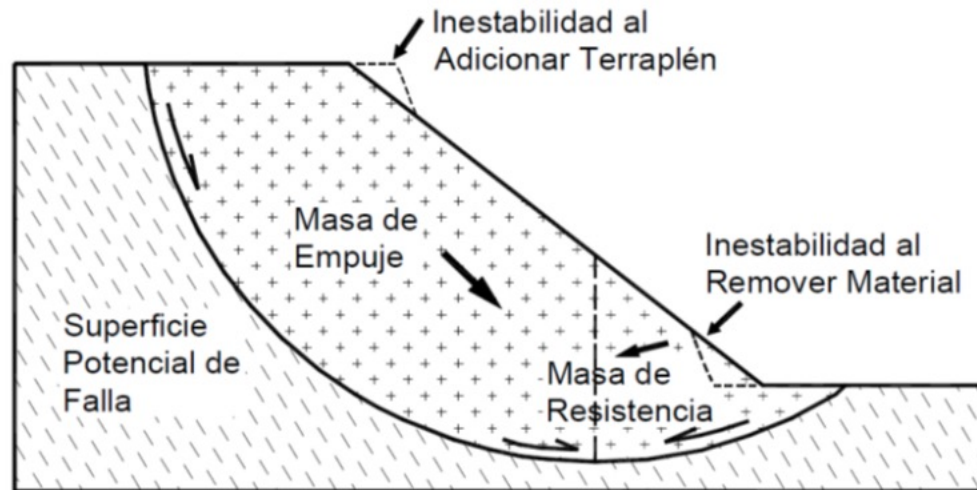
a) Talud artificial (corte o relleno)



Estabilidad

- Se define como la seguridad de una masa térrea ante un mecanismo de falla, que puede manifestarse como movimiento.
- La inclinación del talud está directamente relacionada con los costos de la obra.
- En ese sentido, se debe obtener una pendiente que corresponda a la menor cantidad de tierra movida de manera segura, en pocas palabras el talud con la mayor inclinación posible.

En un talud estable su ángulo máximo y su ángulo de fricción están directamente relacionados con el ángulo de fricción que corresponde a la resistencia máxima también se conoce que la relación de vacíos de arena y ϕ están estrechamente vinculados.

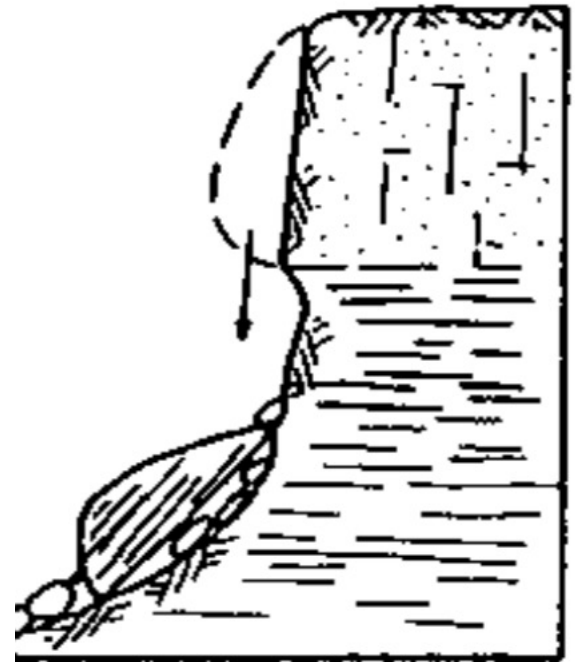


Cuando las fuerzas que se resisten al movimiento y las impulsoras llegan a igualarse la falla del talud es inminente.



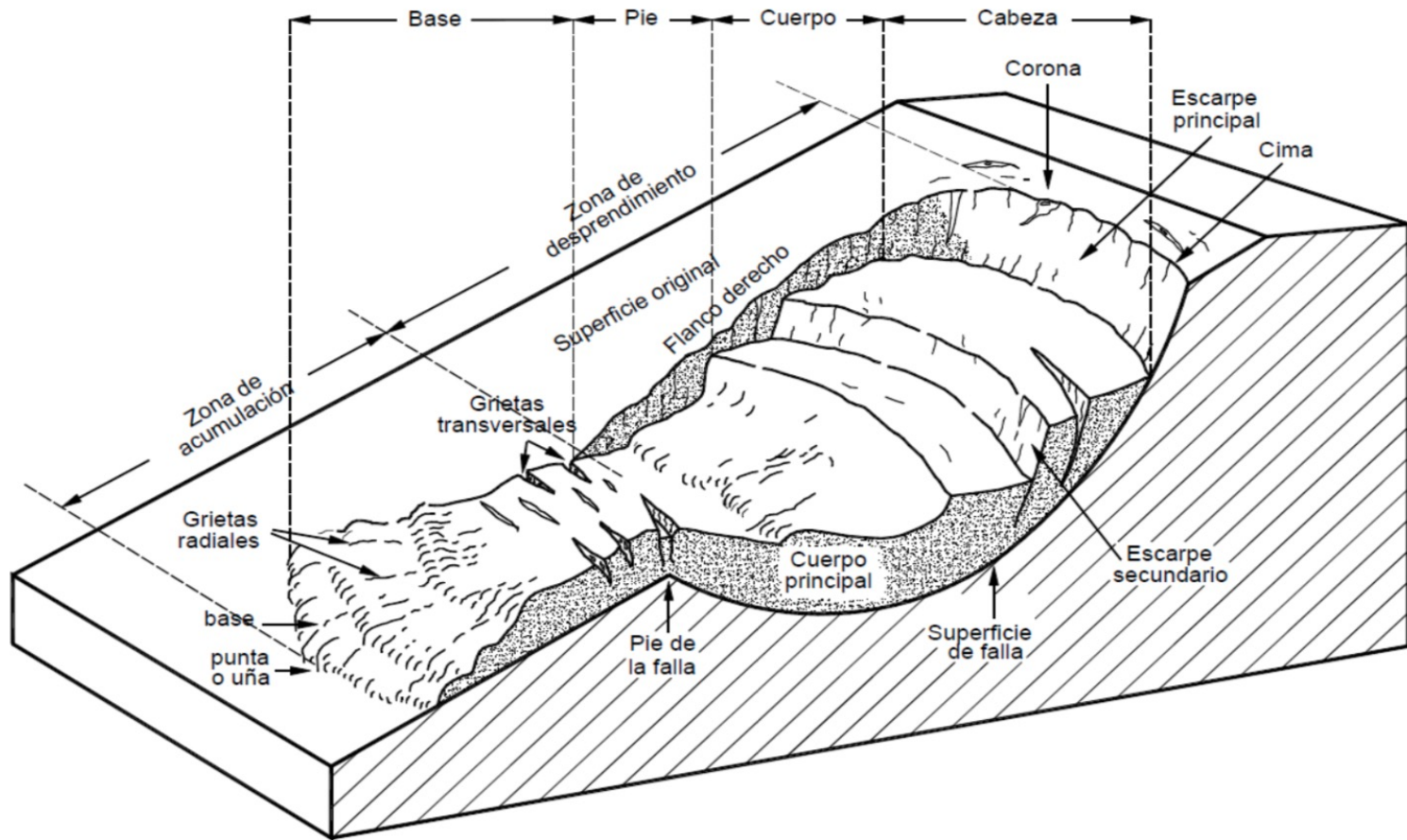
Son fenómenos geológicos causados principalmente por la inestabilidad del suelo que componen taludes y laderas, Por otro lado, se definen como todos aquellos movimientos ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras por efectos de la gravedad (Cruden, 1991).

- Tipos de movimientos en masa:
- - Caída
- - Volcamiento
- - Deslizamiento
- - Propagación lateral
- - Deslizamiento complejo

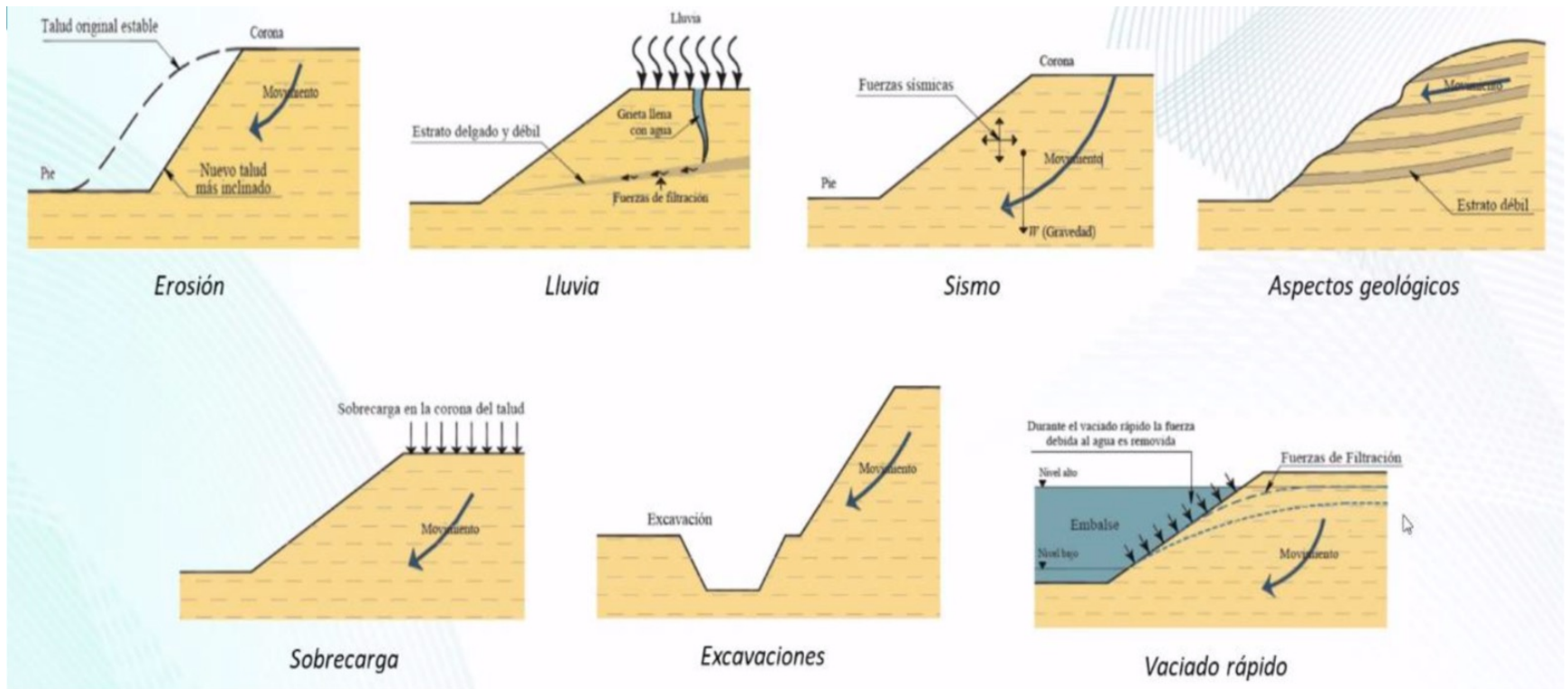


Movimientos en masa

Partes de un deslizamiento

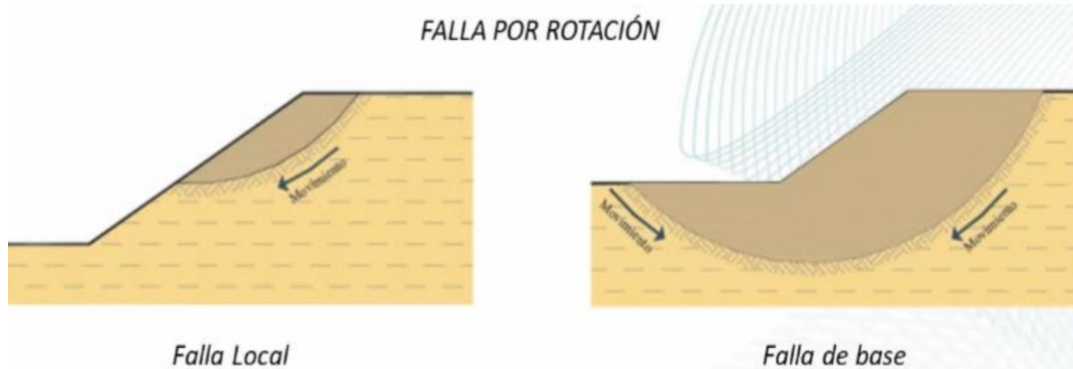


Factores que mas influyen en la estabilidad de taludes



Mecanismos de falla más comunes en taludes

- a) Falla por deslizamiento superficial
- b) Falla por rotación
- c) Falla por traslación
- d) Falla por flujo
 - a) Lentos
 - b) Rápidos
- e) Falla por licuación



Factor de Seguridad

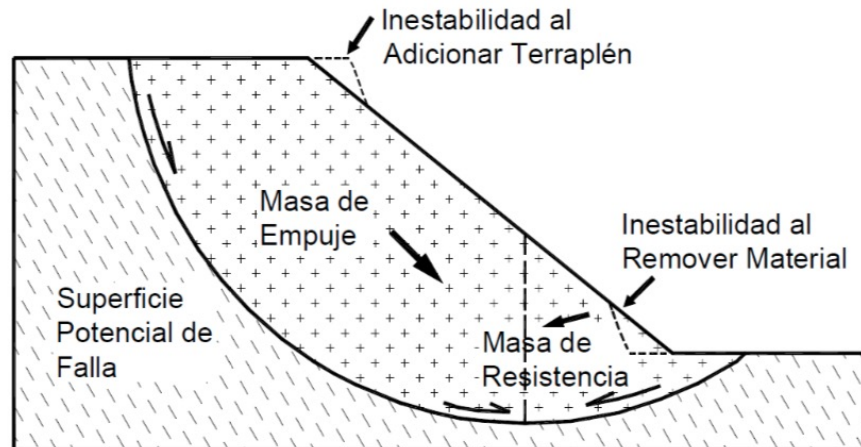
Definición

$$F.S. = \frac{\Sigma (\text{Fuerzas que se oponen al deslizamiento})}{\Sigma (\text{Fuerzas que inducen al deslizamiento})}$$

$$F.S. = \frac{\text{Resistencia al Cizallamiento en la superficie rotura } (\zeta)}{\text{Tensión Cizallante movilizada en superficie rotura } (\zeta_{mb})}$$

$F.S. \leq 1$ Inestable

$F.S. > 1.1$ Estable

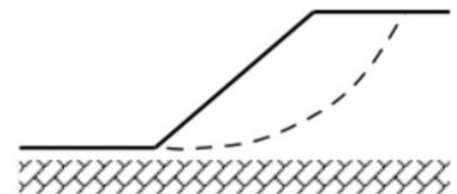
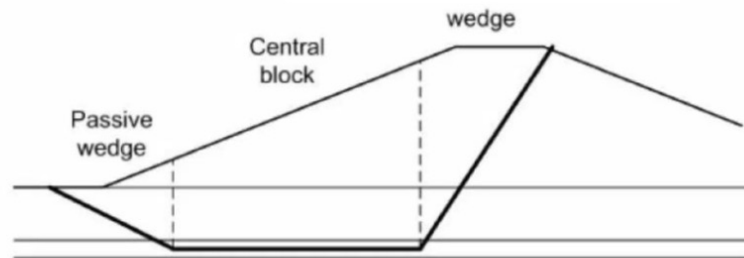
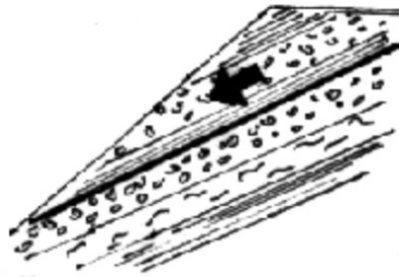


Investigación De Deslizamientos

- Fotografías e imágenes
- Investigación Básica, Geológica Y Geotécnica
- Planos Topográficos
- Mapas Geológicos
- Mapas Agrícolas y de suelos
- Investigación Preliminar del Sitio
- Visita de reconocimiento
- Reconocimientos aéreos

Caracterización de los movimientos Fallas relacionadas con la estabilidad de taludes artificiales

- Falla rotacional
- Falla traslacional
- Falla con superficies compuestas
- Fallas múltiples



The largest landslide in modern U.S. history (in terms of volume) was most likely one that occurred just last year in Bingham Canyon outside of Salt Lake City, Utah on April 10, 2013. It had a slide mass of 55 million cubic meters



Clasificación de Los Métodos de Análisis de Estabilidad

Se estableció la clasificación de los métodos de cálculo en dos grupos:

- a) Métodos tensodeformacionales, que consideran análisis estático y las tensiones - deformaciones del talud
- b) Métodos de equilibrio límite los cuales se basan en las leyes de la estática, suponiendo que la resistencia al cortante es igual en toda la superficie de rotura.

El análisis con métodos de equilibrio límite se puede realizar con diferente grado de exactitud, evaluando la masa inestable como un único bloque en toda su longitud (métodos exactos) o imponiéndose condiciones iniciales para su resolución (métodos no exactos).

METODOS EXACTOS

Son aplicables a materiales homogéneos donde las leyes de la estática dan una solución exacta de la estabilidad del talud por su geometría sencilla como por ejemplo rotura planar o de cuña; en cambio para la resolución de métodos no exactos, se requieren simplificaciones o hipótesis iniciales pues las ecuaciones estáticas son insuficientes.

Dentro de los métodos no exactos se pueden distinguir los métodos de estabilidad global (consideran la rotura del suelo como un todo) y los métodos de dovelas (dividen la masa deslizante en franjas verticales) (IGME, 1986).

SUB CLASIFICACIÓN:

Existe una última sub-clasificación de los métodos de dovelas:

Métodos aproximados, no cumplen todas las leyes de la estática como Fellenius, Janbú y Bishop simplificado, y métodos precisos, cumplen todas las ecuaciones de la estática como Morgenstern-Price, Spencer y Bishop riguroso (IGME, 1986).

Metodologías utilizadas en la modelación de taludes. Fuente: Suárez Díaz, 2011.

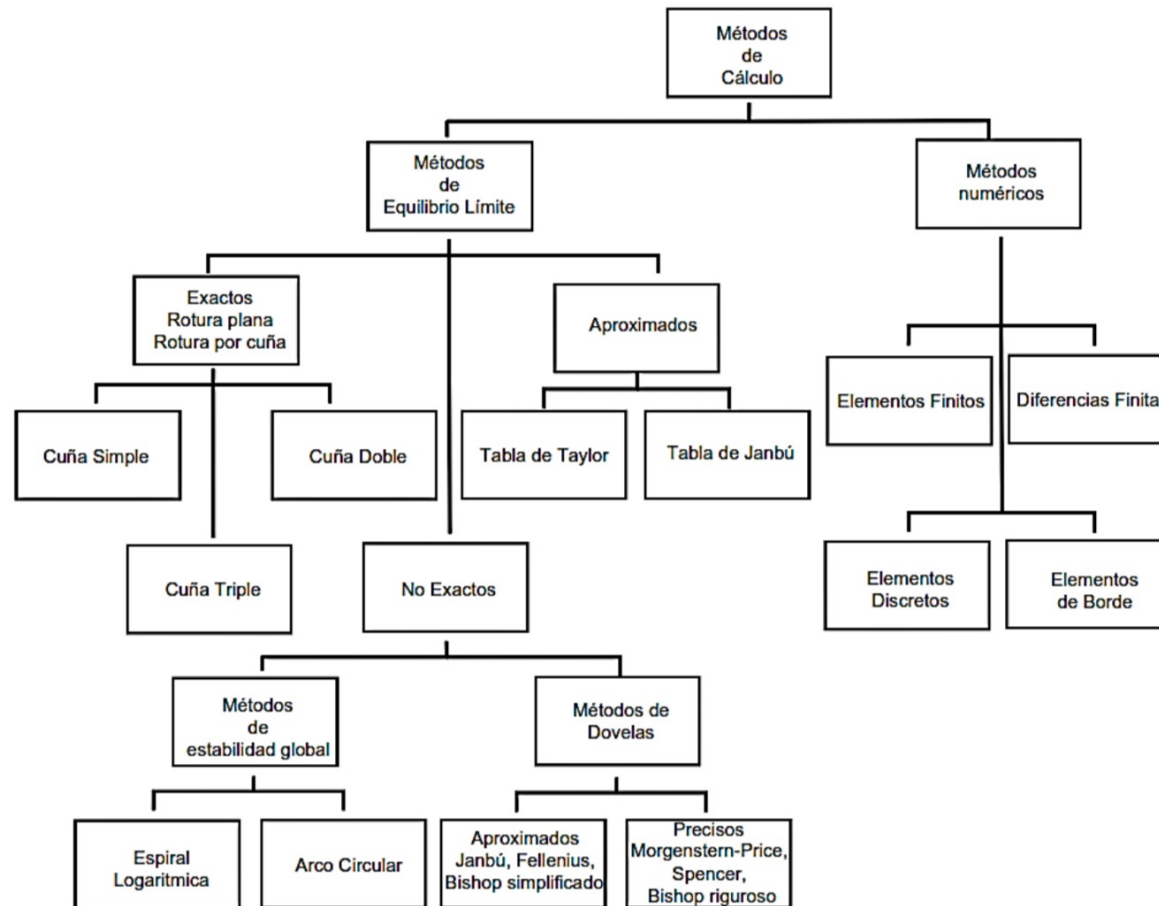
Método	Parámetros Utilizados	Ventajas	Limitaciones
Límite de equilibrio	Topografía del talud, estratigrafía, ángulo de fricción, cohesión, peso unitario, niveles freáticos y cargas externas.	Existe una gran cantidad de paquetes de software. Se obtiene un número de factor de seguridad. Analiza superficies curvas, rectas, cuñas, inclinaciones, etc. Análisis en dos y tres dimensiones con muchos materiales, refuerzos y condiciones de nivel de agua.	Genera un número único de factor de seguridad sin tener en cuenta el mecanismo de inestabilidad. El resultado difiere de acuerdo con el método que se utilice. No incluye análisis de las deformaciones.
Esfuerzo-deformación continuos	Geometría del talud, propiedades de los materiales, propiedades elásticas, elasto-plásticas y de "creep". Niveles freáticos, resistencia.	Permite simular procesos de deformación. Permite determinar la deformación del talud y el proceso de falla. Existen programas para trabajar en dos y tres dimensiones. Se puede incluir análisis dinámico y análisis de "creep".	Es complejo y no lineal. Comúnmente no se tiene conocimiento de los valores reales a utilizar en la modelación. Se presentan varios grados de libertad. No permite modelar roca muy fracturada.
Discontinuos Esfuerzo-deformación elementos discretos	Geometría del talud, propiedades del material, rigidez, discontinuidades resistencia y niveles freáticos.	Permite analizar la deformación y el movimiento relativo de bloques.	Existe poca información disponible sobre las propiedades de las juntas. Se presentan problemas de escala, especialmente en los taludes en roca.

Metodologías utilizadas en la modelación de taludes. Fuente: Suárez Díaz, 2011.

Método	Parámetros Utilizados	Ventajas	Limitaciones
Cinemáticos estereográficos para taludes en roca	Geometría y características de las discontinuidades. Resistencia a las discontinuidades.	Es relativamente fácil de utilizar. Permite la identificación y análisis de bloques críticos, utilizando teoría de bloques. Pueden combinarse con técnicas estadísticas.	Útiles para el diseño preliminar. Se requiere criterio de ingeniería para determinar cuáles son las discontinuidades críticas. Evalúa las juntas.
Dinámica de caídos de roca	Geometría del talud, tamaño y forma de los bloques y coeficiente de restitución.	Permite analizar la dinámica de los bloques y existen programas en dos y tres dimensiones.	Existe muy poca experiencia de su uso en los países tropicales.
Dinámica de flujos	Relieve del terreno. Concentración de sedimentos, viscosidad y propiedades de la mezcla suelo-agua.	Se puede predecir el comportamiento, velocidades, distancia de recorrido y sedimentación de los flujos.	Se requiere calibrar los modelos para los materiales de cada región. Los resultados varían de acuerdo con el modelo utilizado.

Clasificación de métodos de cálculo de estabilidad de taludes.

Fuente: Suárez Díaz, 2011.



Métodos de equilibrio límite (LEM)

Estos métodos suponen un estado de deformación plana y un factor importante es la forma de la superficie de falla.

Todos ellos se basan en el equilibrio de un cuerpo rígido, constituido por el talud y por una superficie de deslizamiento de cualquier forma (línea recta, arco circular, espiral logarítmica).

Con tal equilibrio se calculan las tensiones de corte (τ) y se comparan con la resistencia disponible (τ_f) calculada según el criterio de rotura de Coulomb:

De tal comparación deriva la primera indicación de estabilidad,
con el coeficiente de seguridad:

$$F = \tau_f / \tau$$

$$\tau = c' + (\sigma - \mu) \tan \phi'$$

Dónde:

τ = Esfuerzo de resistencia al corte

c' = Cohesión o cementación efectiva

σ = Esfuerzo normal total

μ = Presión del agua intersticial o de poros

Métodos de equilibrio límite (LEM)

Entre los métodos del equilibrio último hay algunos que consideran el equilibrio global del cuerpo rígido (Culman) mientras que otros, por falta de homogeneidad, dividen el cuerpo en rebanadas y consideran el equilibrio de cada una (Fellenius, Bishop, Janbú, etc.).

Principales consideraciones en los métodos de Equilibrio límite

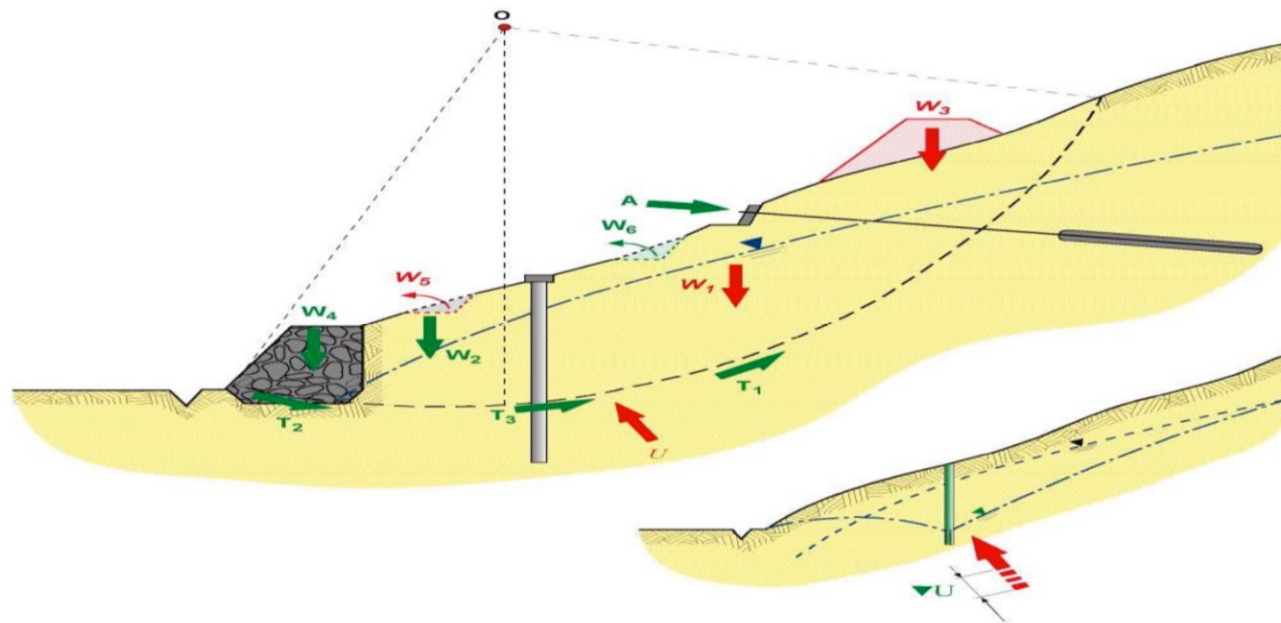
Se asume una geometría de superficie de falla, a lo largo de la cual se supone que sería el deslizamiento más probable a evitar con un correcto diseño.

El factor de seguridad es constante a lo largo de la superficie de falla.

Si la falla ocurriese, los esfuerzos de cortante serían iguales en todos los puntos a todo lo largo de la superficie esperada.

Se asume un gran número de superficies de falla para encontrar la superficie de falla con el valor mínimo de factor de seguridad, la cual se denomina “superficie crítica de falla”.

Esta superficie crítica de falla es la superficie más probable para que se produzca el deslizamiento; no obstante, pueden existir otras superficies de falla con factores de seguridad ligeramente mayores, los cuales también se requiere tener en cuenta para el análisis.



ESTABILIZADORES

- T_1 : Resistencia al corte del terreno.
- W_2 : Pesos que originan "momento estabilizador".
- W_4 : Pesos que aumentan el "momento estabilizador".
- W_6 : Excavaciones que reducen el "momento volcador".
- T_2 : Aumento local de resistencia al corte (mejor material).
- T_3, A : Fuerzas estabilizadoras externas.
- ∇U : Reducción de la presión de agua.

DESESTABILIZADORES

- W_1, W_3 : Pesos que originan "momento volcador".
- U : Presión de agua.
- W_5 : Excavación que reduce el "momento estabilizador".

Formas de la superficie de falla

Se pueden estudiar superficies planas, circulares, logarítmicas, parabólicas y combinaciones de éstas.

Con el avance de la tecnología, se han desarrollado algunos modelos más complejos, los cuales consideran superficies de falla con forma no geométrica.

Análisis de superficies planas

Principalmente en macizos rocosos o cuando aparecen discontinuidades planas en el suelo del talud, se acostumbra realizar el análisis de falla planar.

Esta técnica asume el deslizamiento traslacional de un cuerpo rígido a lo largo de un plano o a lo largo de la intersección de dos planos, como el caso de la falla en cuña.

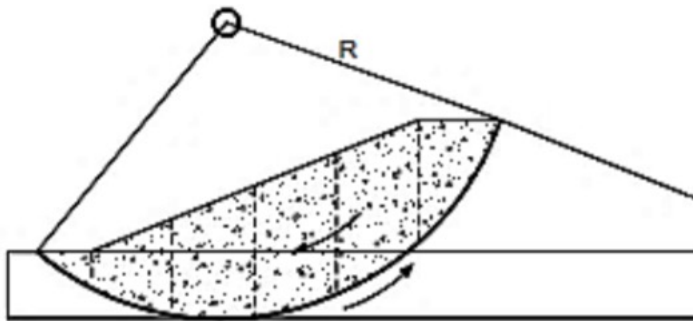
Análisis de superficies curvas

En los suelos o rocas blandas, las superficies de falla a deslizamiento, tienden a tener una superficie curva.

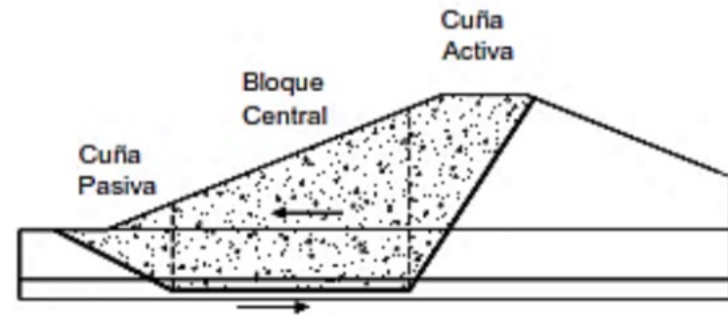
A estas superficies se les conoce como “círculos de falla o superficies de falla rotacionales”.

En los análisis de estabilidad, se debe determinar la localización de la superficie crítica de falla y el factor de seguridad a lo largo de esta superficie.

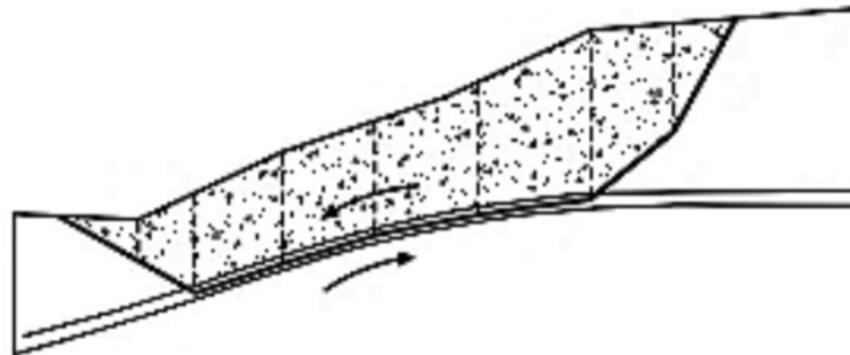
Formas de la superficie de falla



a. Circular



b. Cufia



c. General - No circular

Limitaciones de los Métodos de Límite de Equilibrio

- **Se basan solamente en la estática.**

Las distribuciones de presiones, en muchos casos, no son realistas. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que estos esfuerzos no realistas, generalmente ocurren en algunas tajadas del análisis y no significa que el factor de seguridad general sea inaceptable.

- **Suponen los esfuerzos uniformemente distribuidos.**

Debe tenerse cuidado cuando existan concentraciones de esfuerzos debidos a la forma de la superficie de falla o a la interacción de suelo-estructura.

- **Utilizan modelos de falla muy sencillos.**

El diseño de taludes utilizando solamente la modelación con métodos de límite de equilibrio es completamente inadecuado si los procesos de falla son complejos, especialmente cuando están presentes los procesos de “creep”, la deformación progresiva, el flujo, la rotura por fragilidad, la licuación y otras formas de deterioro de la masa del talud.

Métodos de Análisis de Estabilidad de Taludes

Generalmente se asume el material como isotrópico.

La mayoría de los trabajos que aparecen en la literatura sobre el tema, asumen que el suelo es un material isotrópico y han desarrollado métodos de análisis de superficies circulares o aproximadamente circulares.

Sin embargo, el mecanismo de falla en los materiales residuales donde aparece el suelo, la roca meteorizada y la roca sana, así como las formaciones aluviales y coluviales no-isotrópicas, requiere de nuevos enfoques y del estudio de las superficies de falla no simétricas.
(Suárez Díaz, 2011)

Las grietas de tensión

La existencia de grietas de tensión (índice de activación de un movimiento que se presenta en la corona de un talud o ladera) aumenta la tendencia de un suelo a fallar; la longitud de la superficie de falla a lo largo de la cual se genera resistencia, es reducida y adicionalmente, la grieta puede llenarse con agua.

En el caso de las lluvias, se pueden generar presiones de poros transitorias que afectan la estabilidad del talud (Suárez Díaz, 2011).

Métodos Con el Uso de Tablas y Nomogramas

Para los taludes simples homogéneos, se han desarrollado tablas (casi siempre empíricas) que permiten un cálculo rápido del factor de seguridad. La primera de éstas fue desarrollada por Taylor en 1966.

Desde entonces, han sido presentadas varias tablas sucesivamente por Bishop y Morgenstern (1960), Hunter y Schuster (1968), Janbú (1968), Morgenstern (1963), Spencer (1967), Terzaghi y Peck (1967) y otros.

Métodos mediante el uso de Tablas.

Autor	Parámetros	Inclinación del Talud	Método Analítico Utilizado	Observaciones
Taylor (1966)	c_u c, ϕ	0-90° 0-90°	$\phi = 0$ Círculo de fricción	Análisis no drenado. Taludes secos solamente.
Bishop y Morgenstern (1960)	c, ϕ, r_u	11-26.5°	Bishop	Primero en incluir efectos del agua.
Gibson y Morgenstern	c_u	0-90°	$\phi = 0$	Análisis no drenado con cero resistencia en la superficie y c_u aumenta linealmente con la profundidad.
Spencer (1967)	c, ϕ, r_u	0-34°	Spencer	Círculos de pie solamente.
Janbú (1968)	c_u c, ϕ, r_u	0-90°	$\phi = 0$ Janbú GPS	Una serie de tablas para diferentes efectos de movimiento de agua y grietas de tensión.
Hunter y Schuster (1968)	c_u	0-90°	$\phi = 0$	Análisis no drenado con una resistencia inicial en la superficie y c_u aumenta linealmente con la profundidad.
Chen y Giger (1971)	c, ϕ	20-90°	Análisis límite	
O'Connor y Mitchell (1977)	c, ϕ, r_u	11-26°	Bishop	Bishop y Morgenstern (1960) extendido para incluir $N_c = 0.1$
Hoek y Bray (1977)	c, ϕ c, ϕ	0-90° 0-90°	Círculo de fricción Cuña	Incluye agua subterránea y grietas de tensión. Análisis de bloque en tres dimensiones.
Cousins (1978)	c, ϕ	0-45°	Círculo de fricción	Extensión del método de Taylor (1966).
Charles y Soares (1984)	ϕ	26-63°	Bishop	Envolvente de falla no lineal de Mohr-Coulomb.
Barnes (1991)	c, ϕ, r_u	11-63°	Bishop	Extensión de Bishop y Morgenstern (1960) para un rango mayor de ángulos del talud.

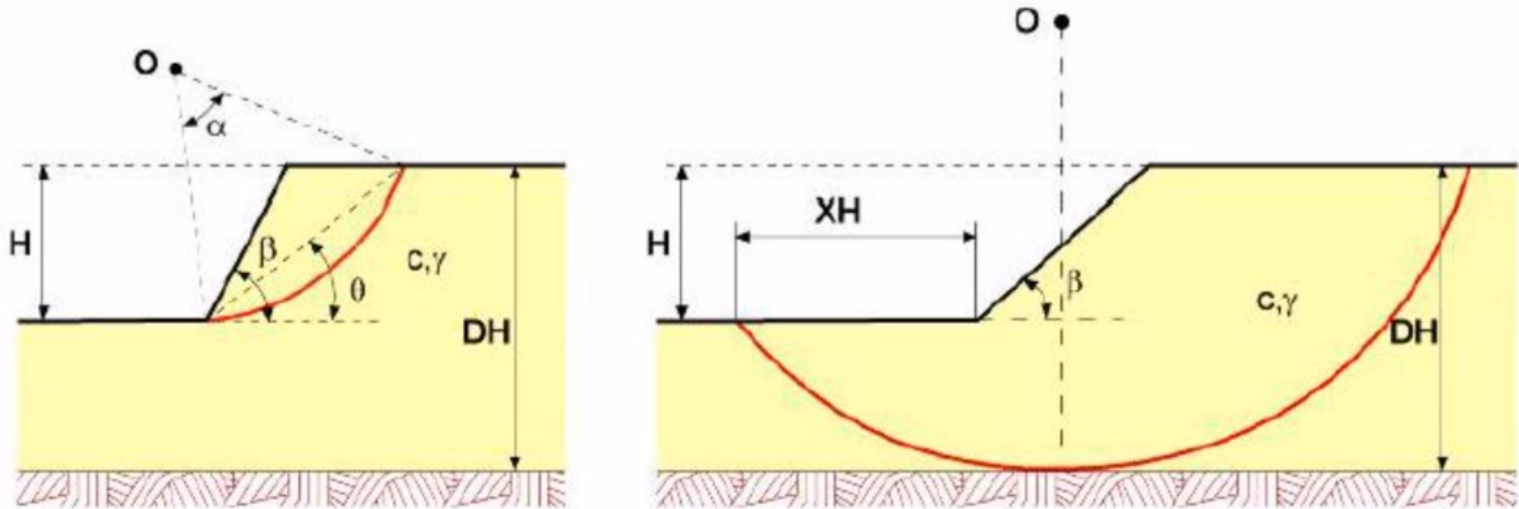
Método de Taylor

Es importante tener en cuenta que el método de Taylor supone un suelo homogéneo y un manto rígido profundo. Este método sólo se utiliza para suelos cohesivos ($\phi = 0$) y se aplica solamente para el análisis de esfuerzos totales, debido a que no considera presiones de poros.

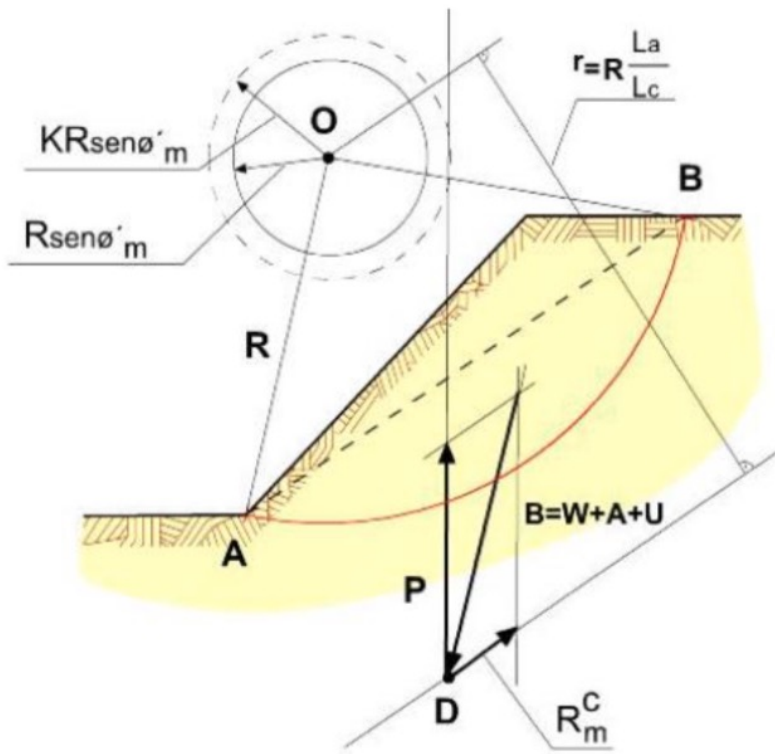
Se requieren los siguientes parámetros para el análisis:

- Altura del talud H (metros)
- Cohesión del suelo C_u (KN/m²)
- Pendiente del talud β (grados)
- Peso específico del suelo γ (KN/m³)

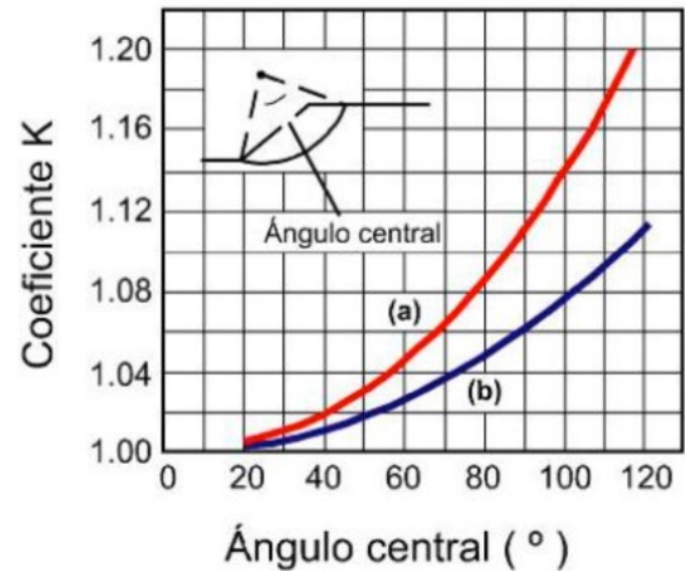
Definición de variables geométricas - ábacos de Taylor



Profundidad hasta el manto de suelo duro impenetrable D
(Metros)

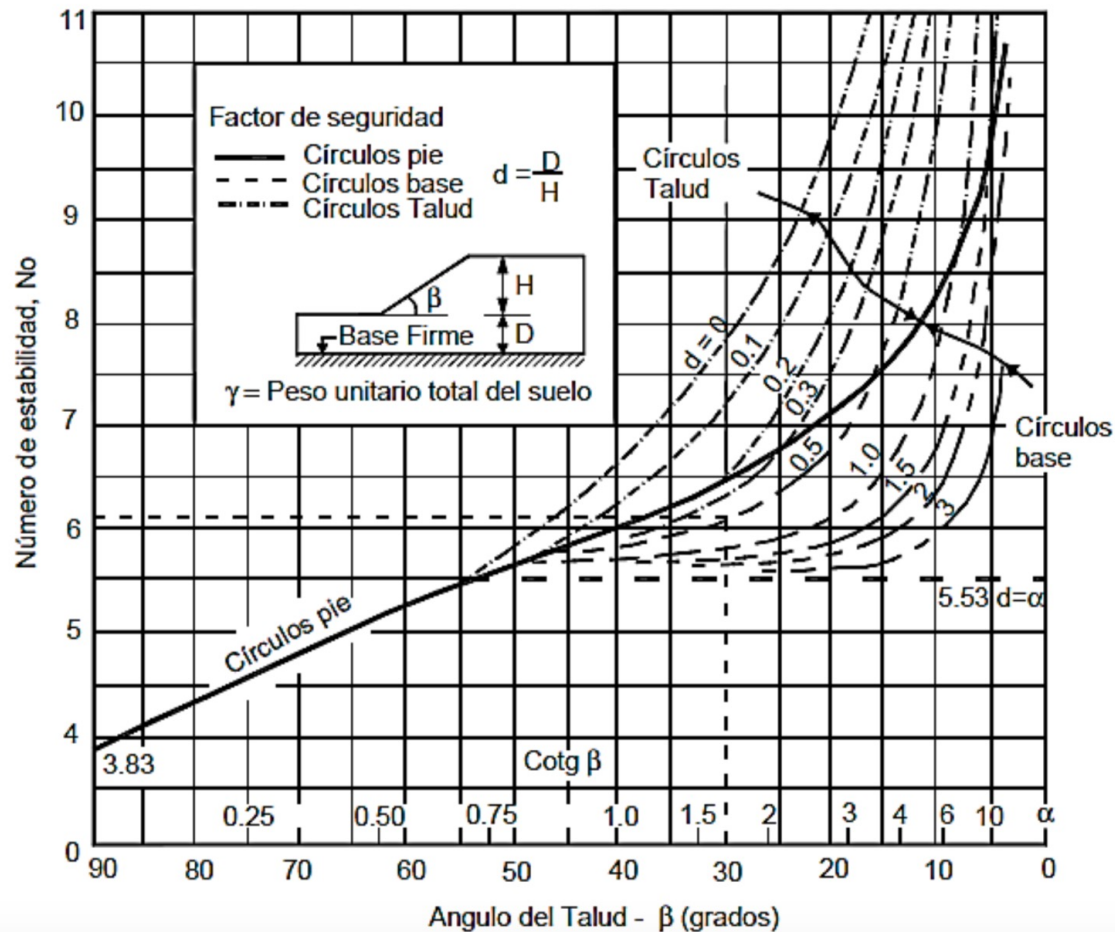


(a)



(b)

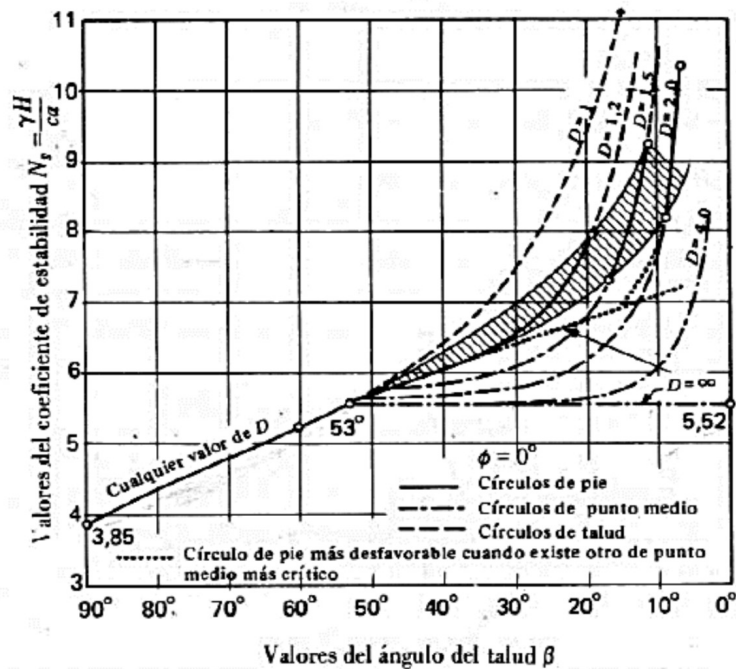
Ábaco de Taylor (Taylor, 1966)



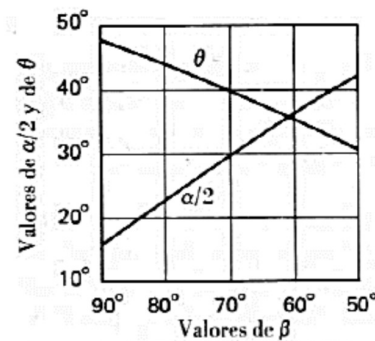
$$FS = \frac{C Ne}{\gamma H}$$

Se han realizado varias compilaciones y simplificaciones del ábaco de Taylor, se muestran dos de ellas, para trabajar con el ábaco que resulte más práctico.

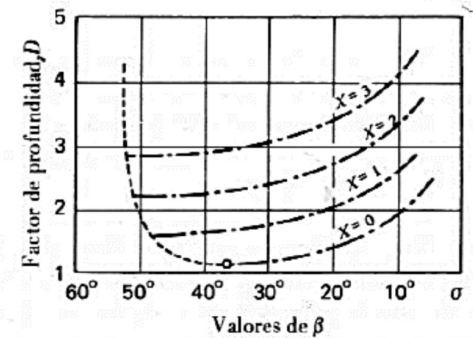
Ábacos de Taylor para suelos sin rozamiento.



(a)

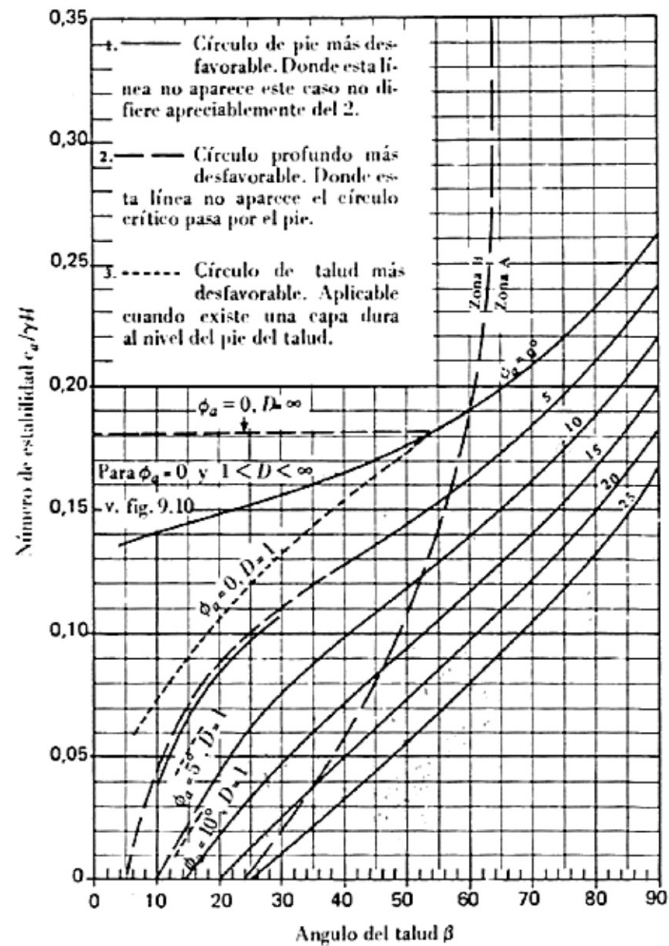


(b)



(c)

Ábacos de Taylor para suelos con cohesión y rozamiento



Método de Janbú

- Las tablas desarrolladas por Janbú (1968), permiten el análisis de diferentes condiciones geotécnicas y factores de sobrecarga en la corona del talud, incluyendo los niveles freáticos y grietas de tensión.
- El método de tablas de Janbú presenta dos procedimientos, uno para suelos cohesivos ($\phi = 0$), y otro para suelos granulares ($\phi > 0$).
- Para suelos cohesivos, el procedimiento es el mismo de Taylor. Para los suelos granulares o mixtos, el procedimiento es un poco más complejo.

Método de Hoek & Bray

Se incorporan dos efectos de indudable interés y utilidad práctica:

- a) La existencia de presiones intersticiales en el seno del talud.
- b) El desarrollo de una grieta de tracción en la coronación del talud.

Método de Hoek & Bray

Como posible limitación, los cálculos realizados y los ábacos resultantes consideran sólo círculos de pie.

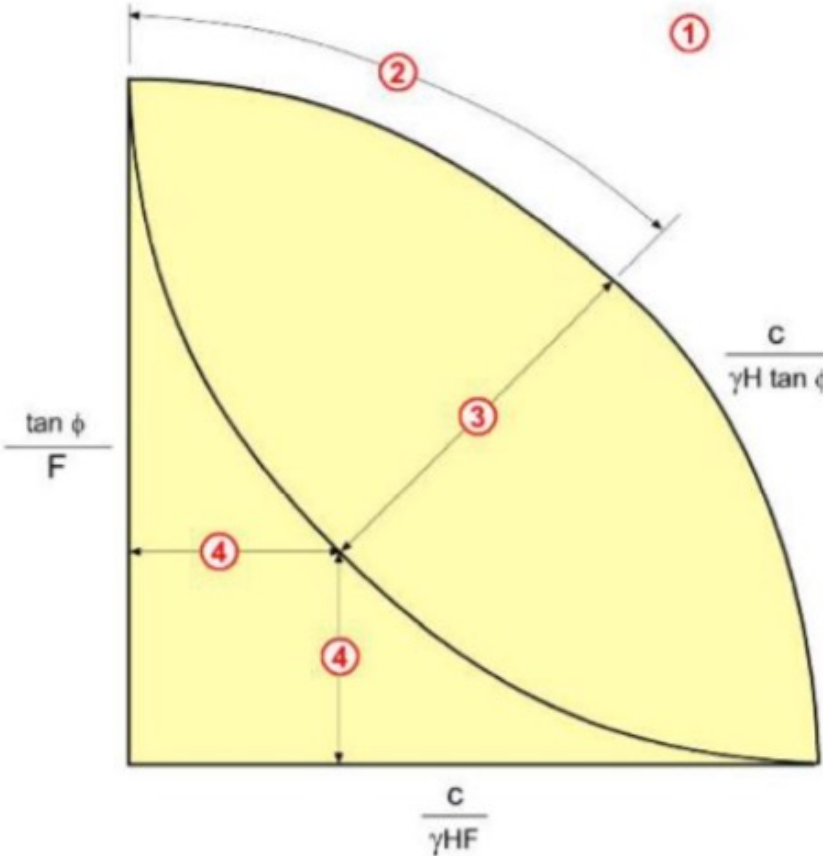
Para su justificación, Hoek & Bray señalan, citando a Terzaghi, que este tipo de rotura es la más desfavorable en terrenos en los que $\phi' > 5^\circ$.

Finalmente, los ábacos evidentemente excluyen las roturas producidas en condiciones sin drenaje ($c = S_u$, $\phi_u = 0$), para las que ya se ha visto que los círculos más desfavorables pueden no ser de pie.

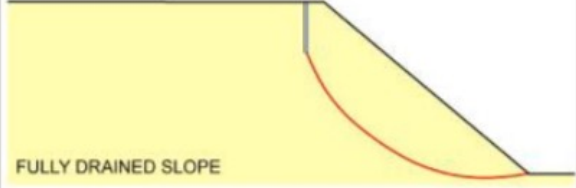
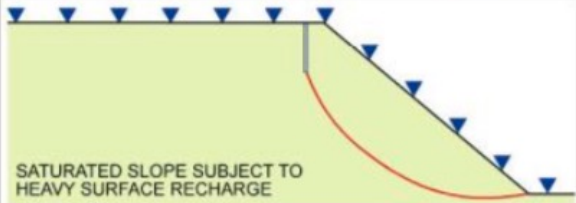
El proceso a seguir para el empleo de los ábacos es el siguiente:

K y ángulo de inclinación

$$K = \frac{c}{g H \tan f}$$

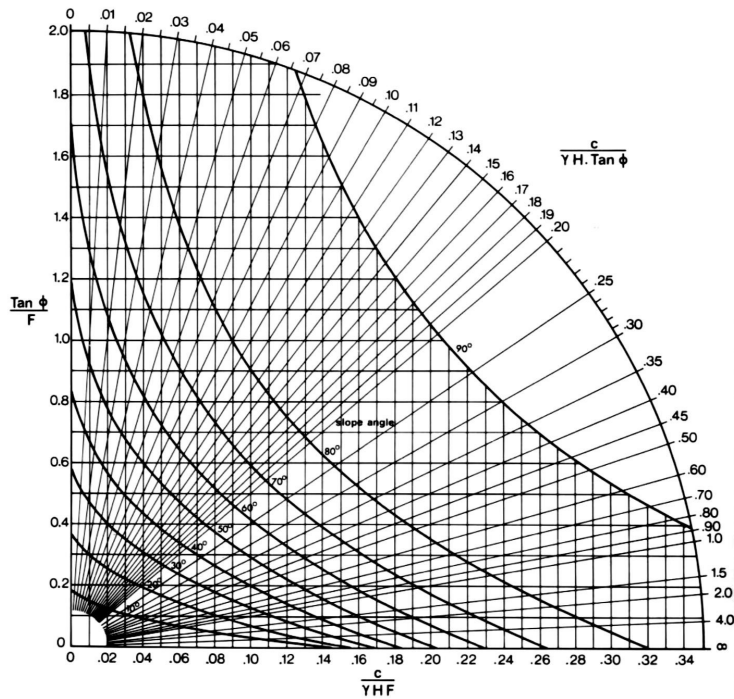


Condiciones de flujo de agua y presión intersticial para la selección del ábaco

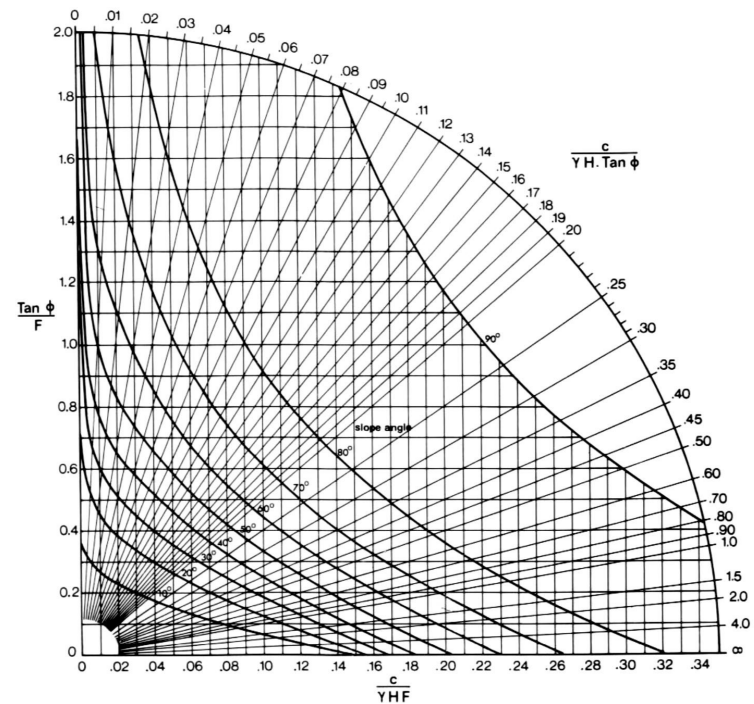
GROUNDWATER FLOW CONDITIONS	CHART NUMBERS
 FULLY DRAINED SLOPE	1
 SURFACE WATER 8 X SLOPE HEIGHT BEHIND TOE OF SLOPE	2
 SURFACE WATER 4 X SLOPE HEIGHT BEHIND TOE OF SLOPE	3
 SURFACE WATER 2 X SLOPE HEIGHT BEHIND TOE OF SLOPE	4
 SATURATED SLOPE SUBJECT TO HEAVY SURFACE RECHARGE	5

ABACO 1 Y 2

CIRCULAR FAILURE CHART NUMBER 1

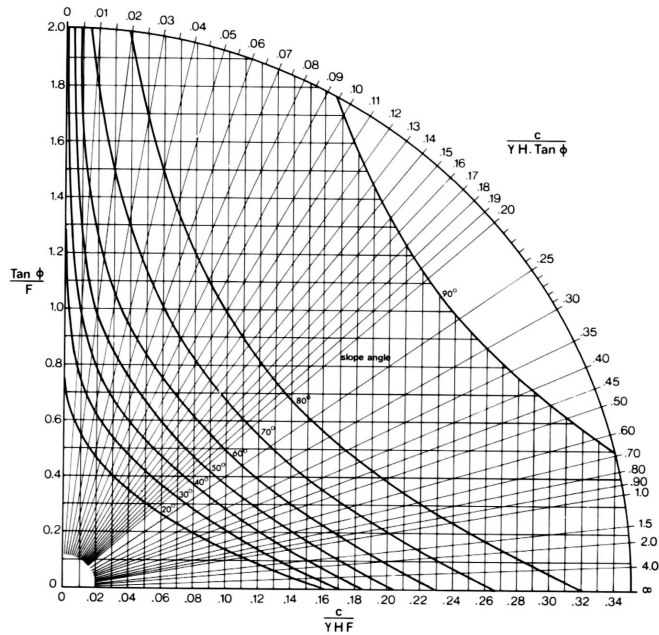


CIRCULAR FAILURE CHART NUMBER 2

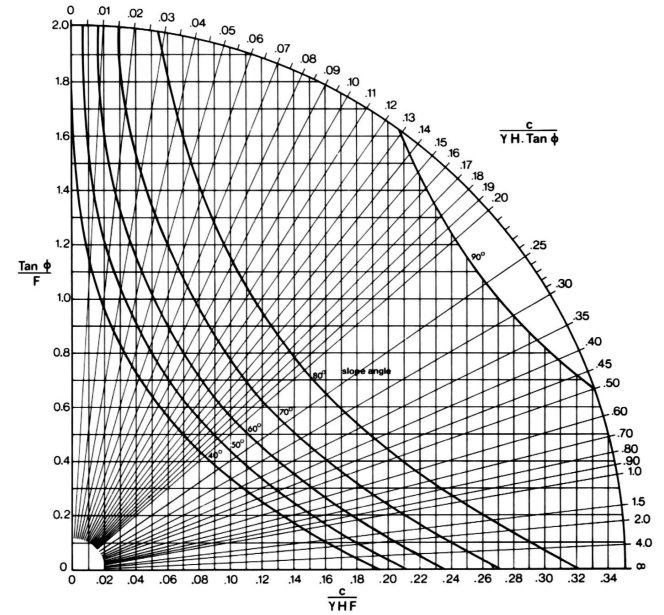


ABACO 3 Y 4

CIRCULAR FAILURE CHART NUMBER 3

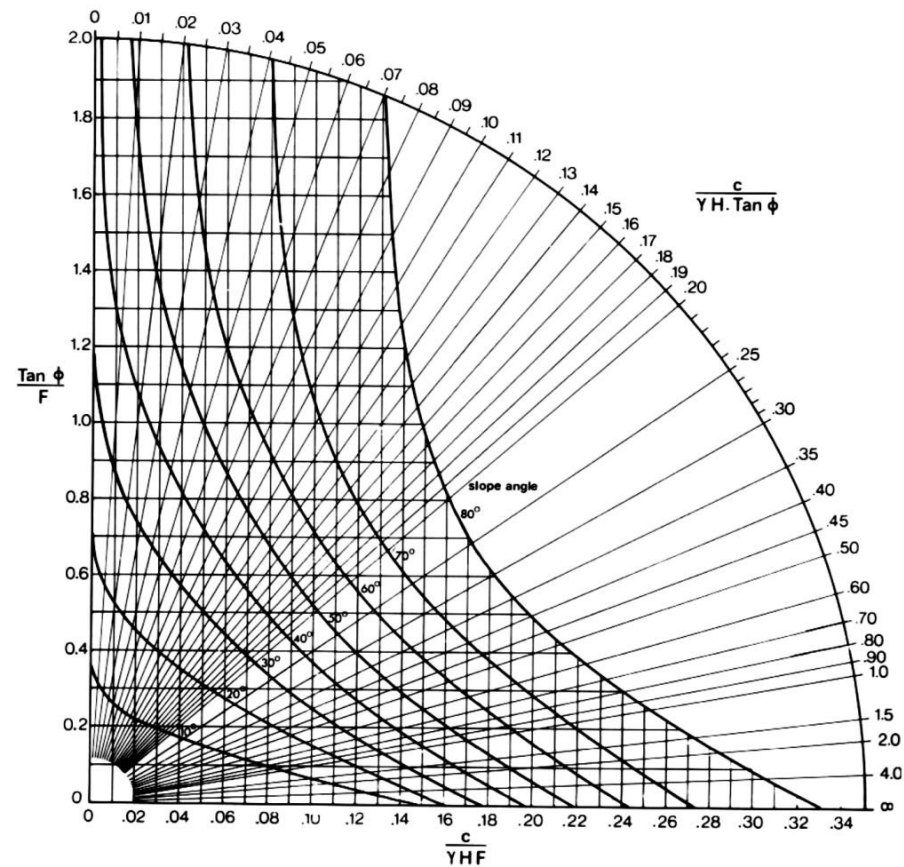


CIRCULAR FAILURE CHART NUMBER 4



ABACO 5

CIRCULAR FAILURE CHART NUMBER 5



EJERCICIO DE APLICACIÓN

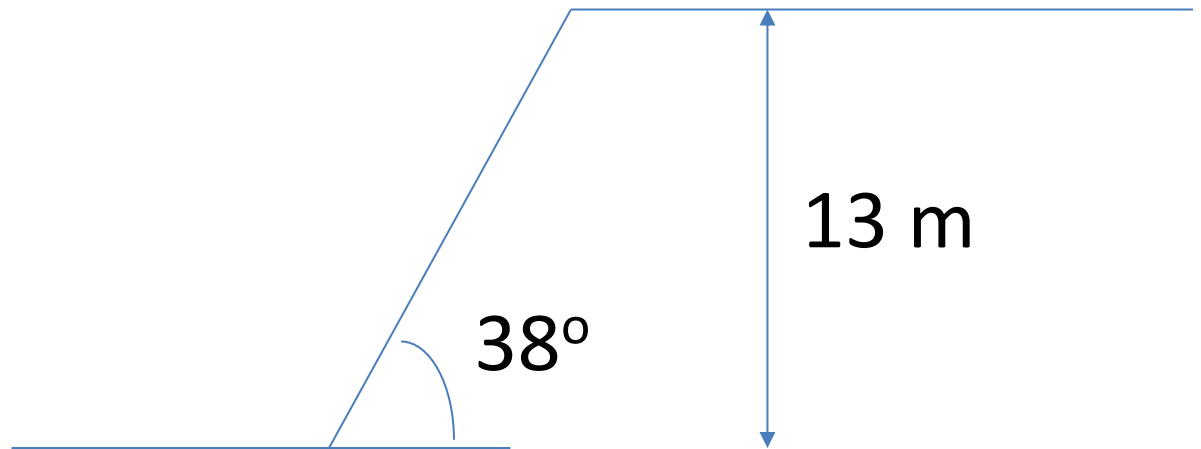
SE DESEA CONOCER EL FACTOR SDE SEGURIDAD DE UN TALUD ARTIFICIAL CUYOS DATOS SON:

$$H = 13 \text{ m}$$

$$C = 1,5 \text{ ton/m}^2$$

$$\gamma = 1,8 \text{ ton/m}^3$$

$$\phi = 25^\circ$$



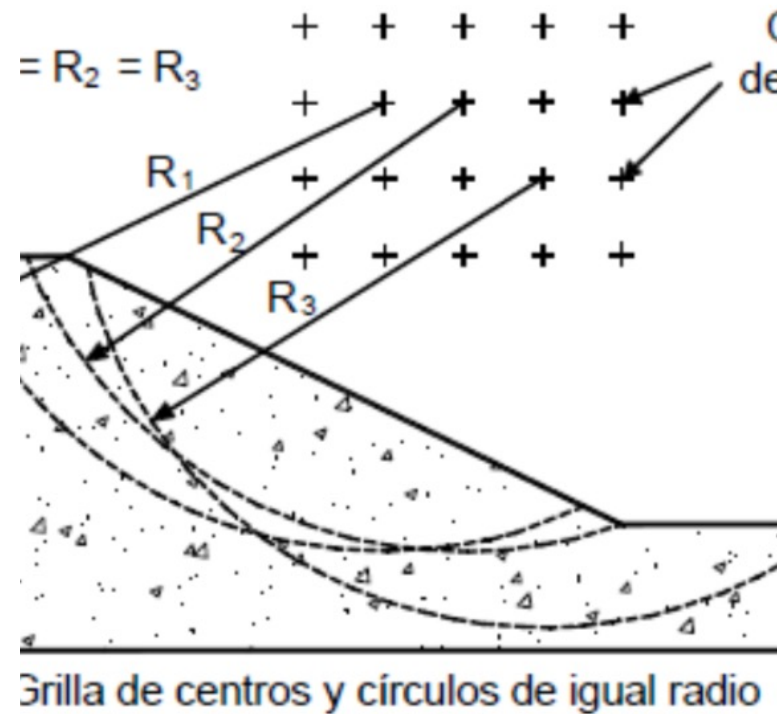
Métodos De Círculos De Falla

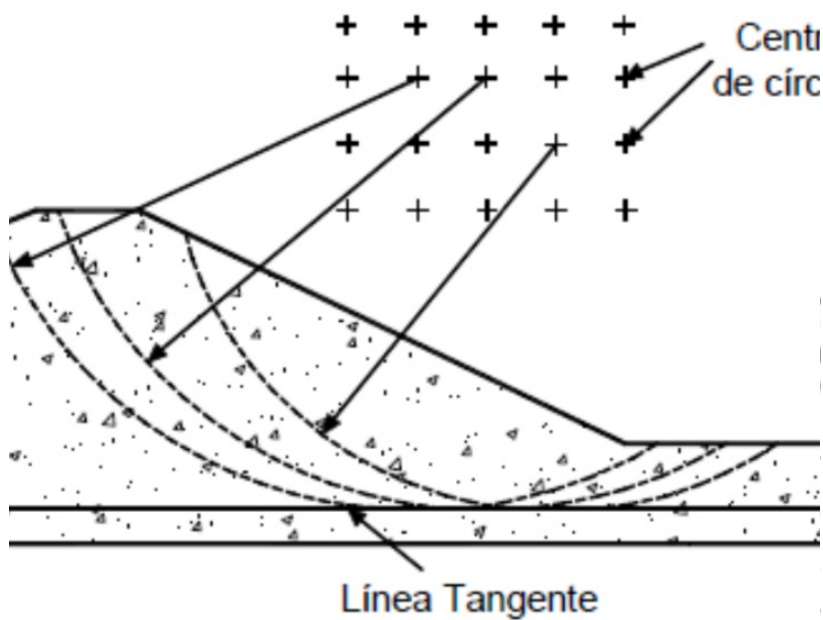
Las fallas observadas en los materiales relativamente homogéneos, ocurren a lo largo de las superficies curvas.

Por facilidad de cálculo, las superficies curvas se asimilan a círculos y la mayoría de los análisis de estabilidad de taludes se realizan suponiendo fallas circulares.

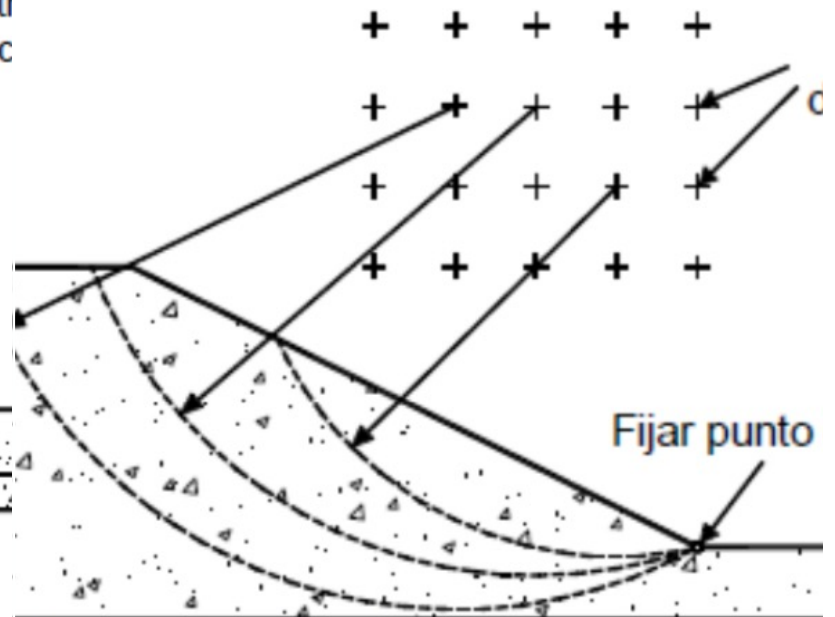
Método del Arco Circular

El método del arco circular se le utiliza sólo para los suelos cohesivos ($\phi = 0$). El método fue propuesto por Petterson en 1916 (Petterson, 1955) pero sólo fue formalizado por Fellenius en 1922.





c) Grilla de centros y círculos que son tangentes a una línea predeterminada



de centros y círculos que pasan por un mi

Alternativas de procedimiento de localización de los círculos de falla para el análisis de estabilidad de taludes

Según Taylor para $\theta = 66,45^\circ$ o sea $2 = 133^\circ 30'$ correspondiente al círculo más crítico.

Hizo un gráfico para determinar un número de estabilidad N_e en función del ángulo del talud β y del ángulo de fricción del suelo ϕ .

$$\text{F.S.} = \frac{C}{N_e \cdot \gamma_m \cdot H}$$

Utilizando el gráfico de Taylor:

Para $\beta = 60^\circ$ y $\phi = 0^\circ$, $N_e = 0,19$

$$\text{F.S.} = c/N_e \cdot \gamma_m \cdot H = 3,18/(0,19 \cdot 1,760 \cdot 6,10)$$

$$\text{F.S.} = 1,56$$

La localización de los círculos de falla generalmente se hace dibujando una grilla de puntos para centros de giro de los círculos y desde esos puntos, se trazan los círculos utilizando alguno de los siguientes criterios:

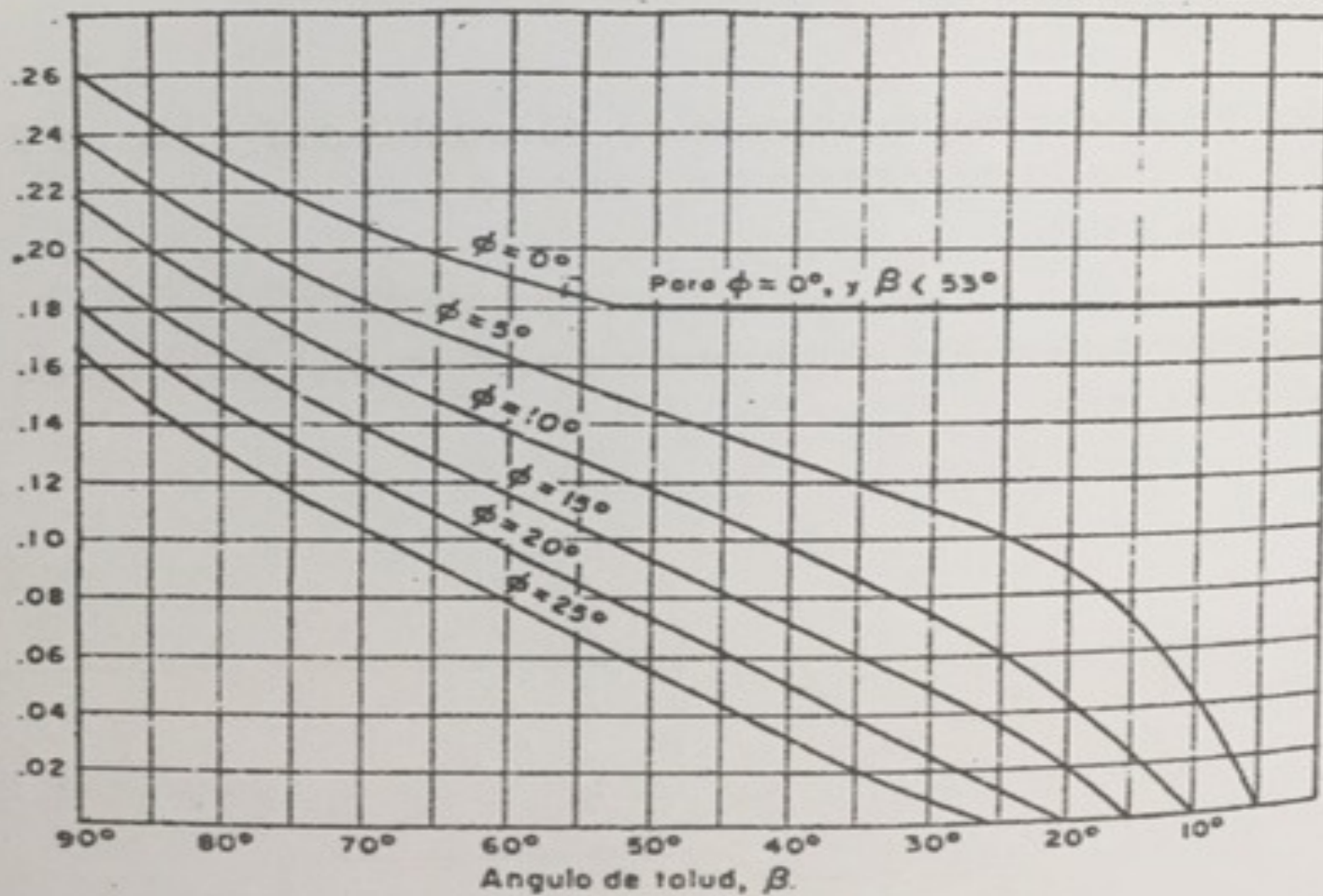
- Círculos de igual diámetro.

- Círculos que pasan por un mismo punto.

- Círculos tangentes a una o varias líneas determinadas.

Los factores de seguridad para todos y cada uno de los círculos se calculan por medio de uno o varios de los métodos existentes y el factor de seguridad del talud es el mínimo F. S. obtenido de todos los círculos analizados.

Ne



$$F = \frac{clr}{W_a}$$

Dónde:

c = cohesión.

l = longitud del arco de círculo.

r = radio del círculo.

W = peso total de la masa en movimiento.

a = brazo de la fuerza W con respecto al centro del círculo

En el método del arco circular se supone un círculo de falla y se analizan los momentos con relación al centro del círculo.

El método del
arco circular
satisface
tanto el
equilibrio de
fuerzas como
el equilibrio
de
momentos.

Aunque la ecuación fue desarrollada inicialmente para un valor único de cohesión, puede extenderse para cohesiones diferentes a lo largo del arco circular y se puede reemplazar el término $c * l * r$ por el término $\Sigma c * l * r$.

El procedimiento de análisis es sencillo y la única dificultad es el cálculo del brazo ("a") para el momento de la fuerza W. Comúnmente, el análisis se realiza en forma manual elaborando gráficos.

ESTABILIDAD DE TALUDES EN ARCILAS HOMOGENEAS Y BLANDAS

- Se dibuja un arco circular con un centro arbitrario O y un radio arbitrario r .
- El momento W lw de este peso con respecto a O tiende a producir el deslizamiento a lo largo del arco.
- Los esfuerzos de corte t a lo largo del arco se determina grafica o analiticamente.
- Los esfuerzos correspondientes, t , a lo largo del arco se terminan por el requisito de que el momento de esos esfuerzos con respecto a O debe ser igual al peso, si existe equilibrio.

Por tanto el esfuerzo cortante necesario para el equilibrio es:

$$t \times l \times r = W \times lw$$

L = longitud de arco

t =	$\frac{W \times lw}{r \times l}$

El factor de seguridad a la falla resistencia c
la necesaria t.

disponible en relación a

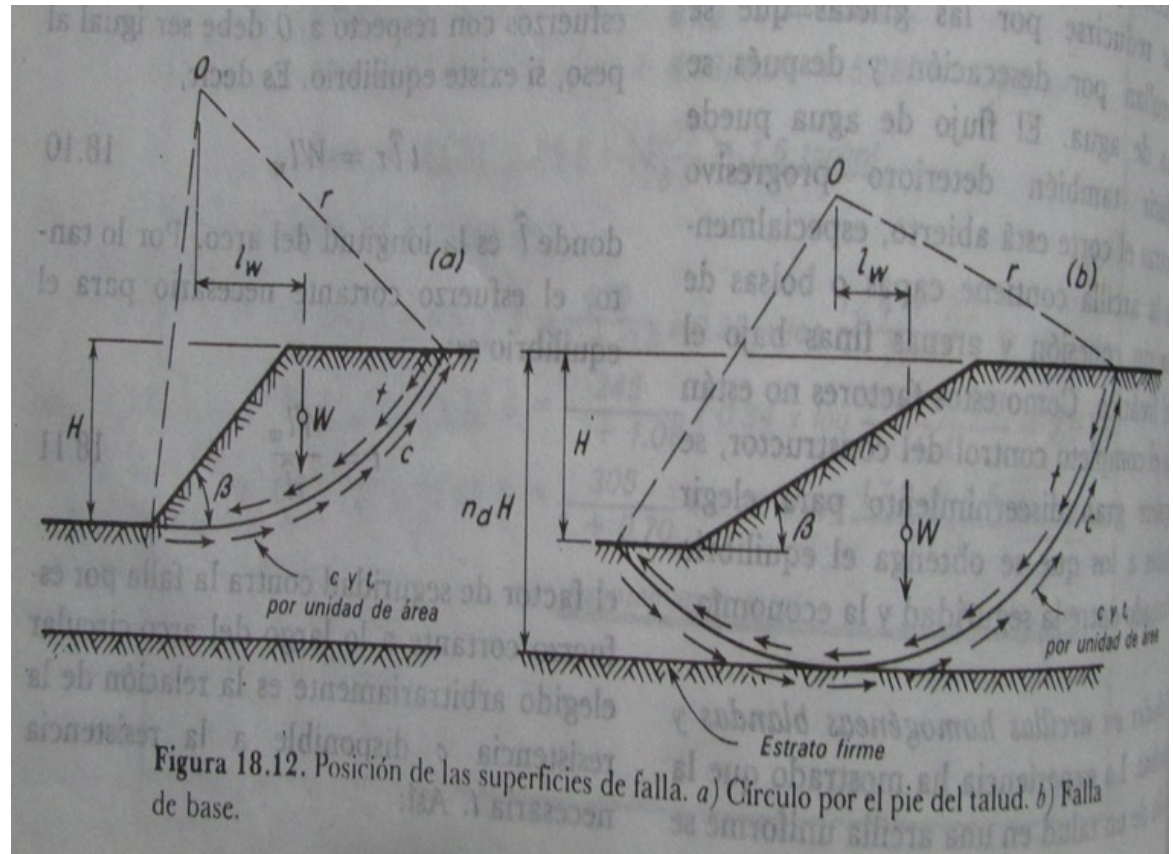
F =	c
	t

=

$\frac{c \times r \times l}{W \times lw}$

=

ESTABILIDAD DE TALUDES



No está garantizado que la falla escogida sea la que represente las condiciones más críticas del talud bajo estudio (círculo crítico).

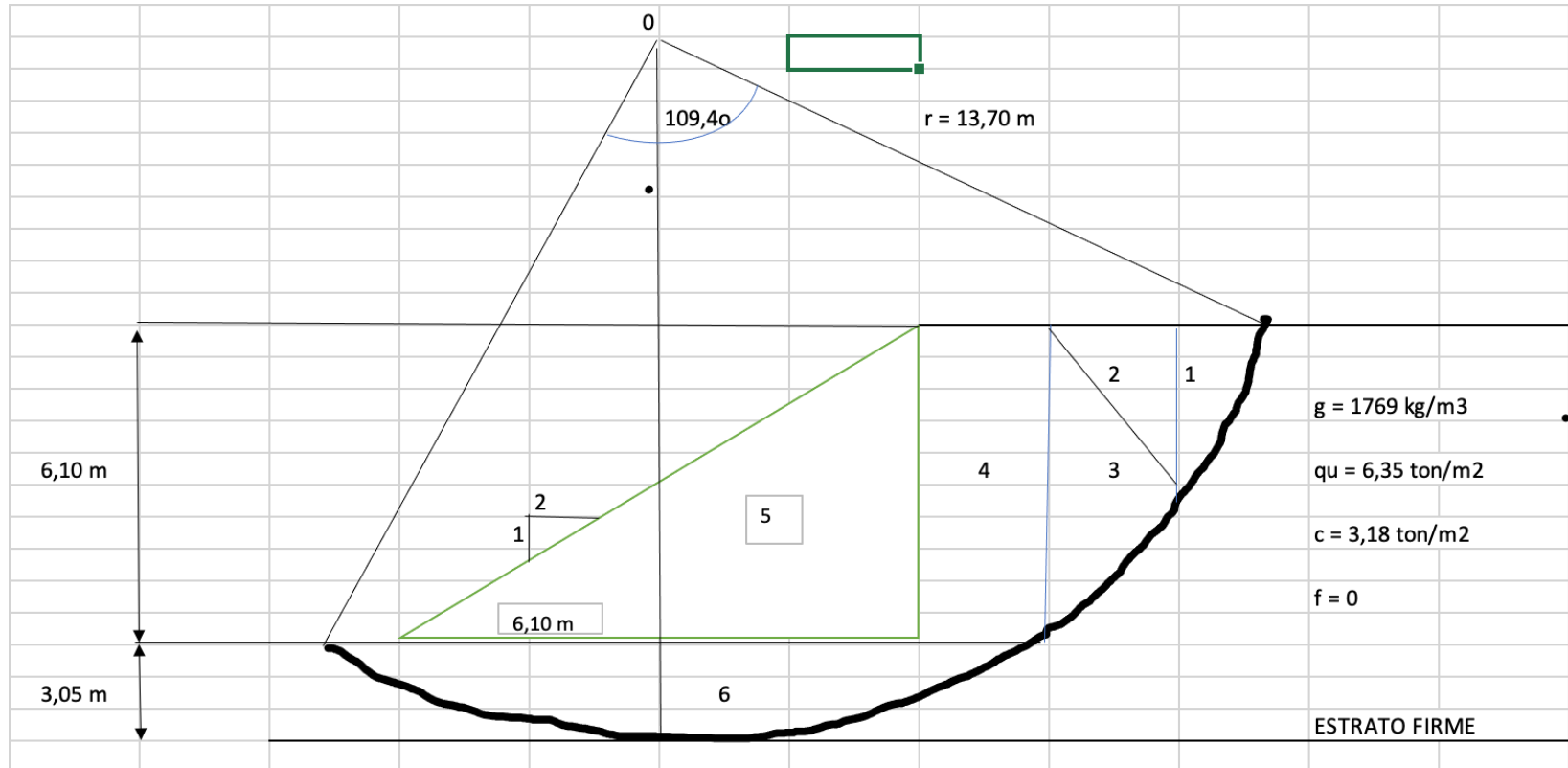
Siempre existirá la posibilidad de que el F.S. Resulte menor al adoptar otra superficie de falla de diferentes radios y centros, calcular diferentes F. S., Y ver que el mínimo no sea menor que 1,5.

Encontrar primero el círculo crítico por el pie del talud y después en falla de base.

Según Taylor el círculo de falla mas crítico respecto a la falla de base, será aquel cuyo centro esté en la vertical que pase por el centro del talud.

El valor más crítico posible de θ será el que haga que la c requerida para mantener la estabilidad sea máxima.

Estabilidad de un talud de arcilla: Calculo del factor de seguridad:



Método Ordinario o de Fellenius

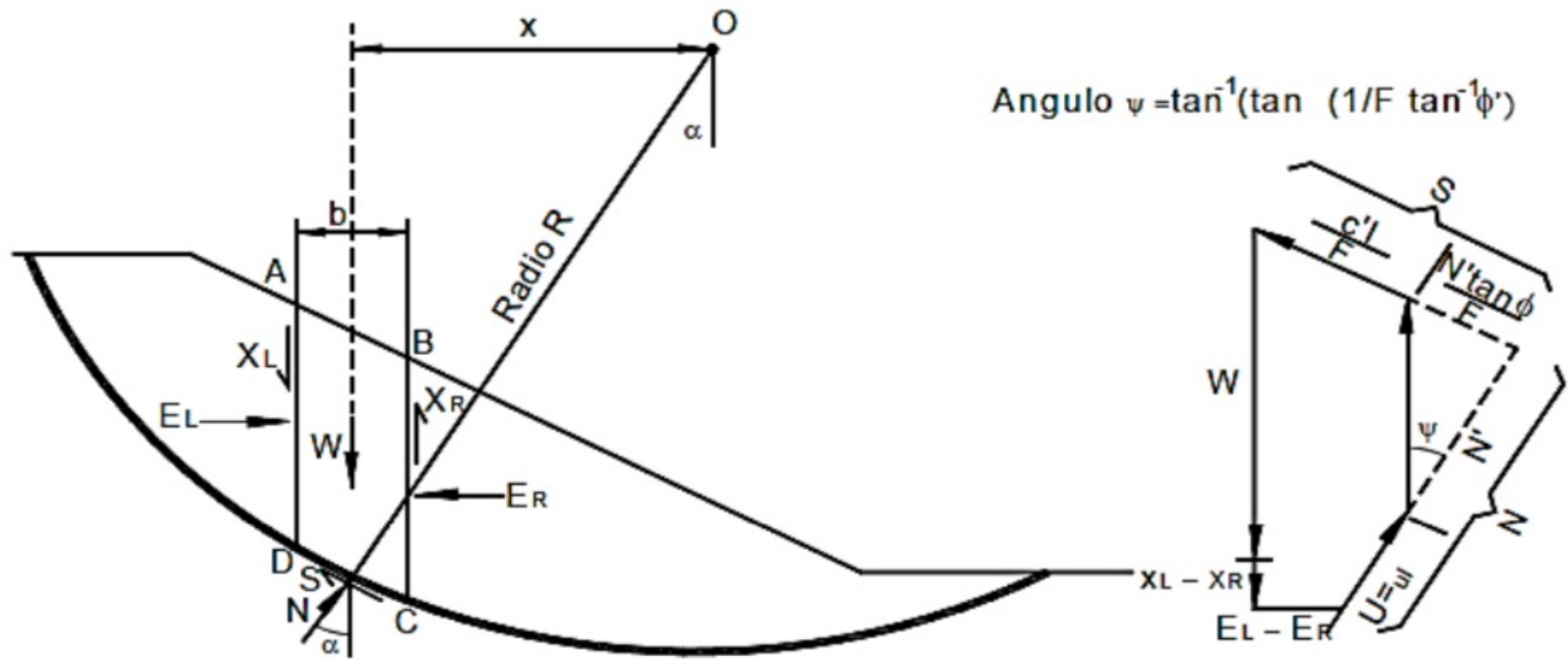
El método de Fellenius es conocido también como método Ordinario, método sueco, método de las Dovelas o método U.S.B.R. Este método asume superficies de falla circulares, divide el área de falla en tajadas verticales, obtiene las fuerzas actuantes y resultantes para cada tajada y con la sumatoria de los momentos con respecto al centro del círculo (producidos por estas fuerzas) se obtiene el Factor de Seguridad.

Fuerzas en una dovela arco circular con dovelas.

Las fuerzas que actúan sobre una dovela son: El peso o fuerza de gravedad, la cual se puede descomponer en una tangente y una normal a la superficie de falla.

Las fuerzas resistentes de cohesión y fricción que actúan en forma tangente a la superficie de falla.

Las fuerzas de presión de tierra y cortante en las paredes entre dovelas, no son consideradas por Fellenius.



Al realizar la sumatoria de momentos con respecto al centro del círculo, se obtiene la siguiente expresión:

$$F.S. = \frac{\sum [C' \Delta l + (W \cos \alpha - u \Delta l \cos^2 \alpha) \tan \phi']}{\sum W \sin \alpha}$$

Dónde:

α = Ángulo del radio del círculo de falla con la vertical bajo el centroide en cada tajada.

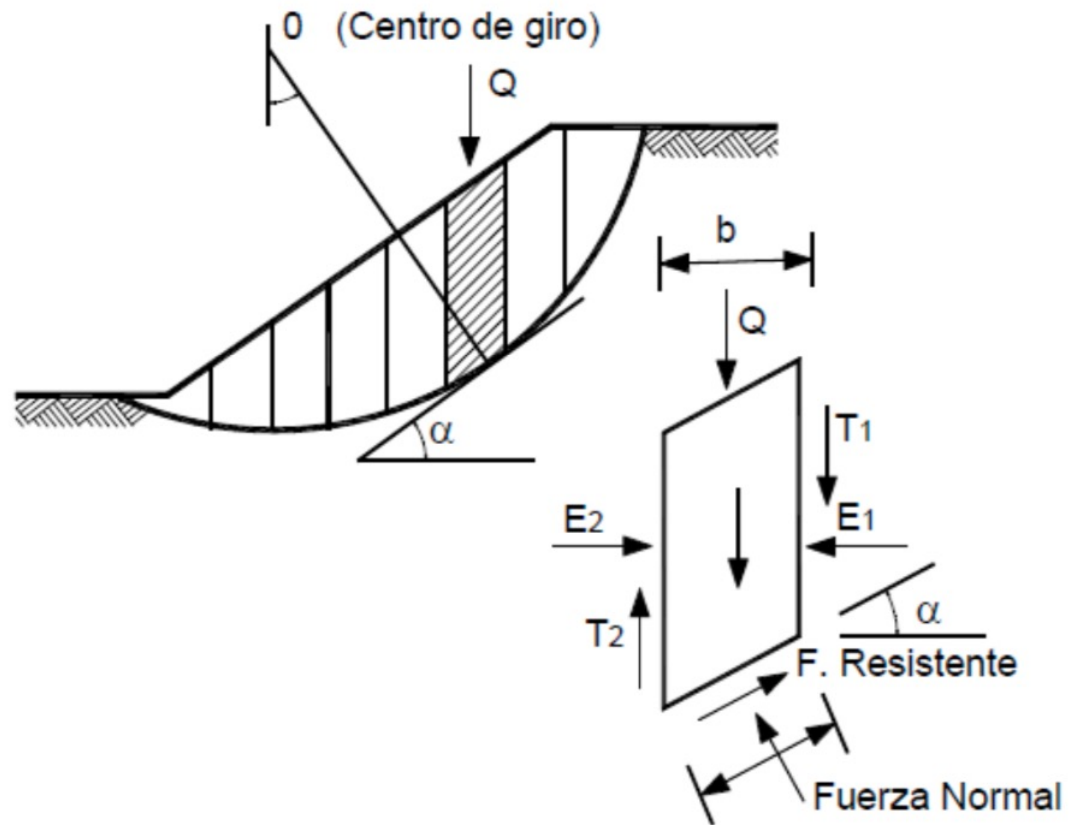
W = Peso total de cada tajada.

u = Presión de poros = $\gamma_w h_w$

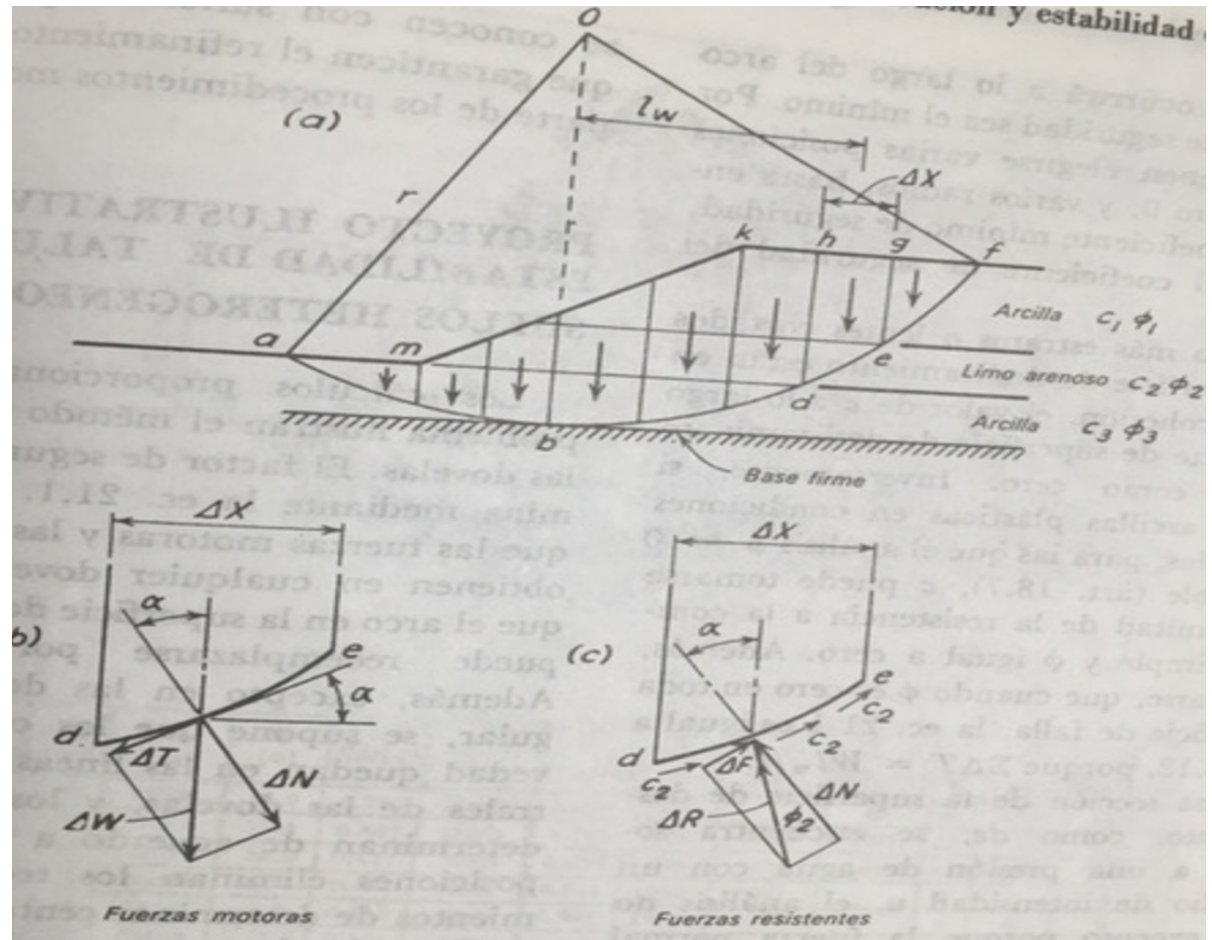
Δl = longitud del arco de círculo en la base de la tajada

C', ϕ' = Parámetros de resistencia del suelo.

La ecuación anterior se conoce como ecuación de Fellenius. Este método solamente satisface los equilibrios de momentos y no satisface el equilibrio de fuerzas. Para el caso de $\phi = 0$, el método ordinario da el mismo valor del factor de seguridad que el método del arco circular.



ESTABILIDAD DE TALUDES EN SUELOS HETEROGÉNEOS



Coeficiente
de Seguridad
contra el
deslizamiento:

$$F = \frac{\sum (c + \Delta N \tan \phi)}{\sum \Delta T}$$

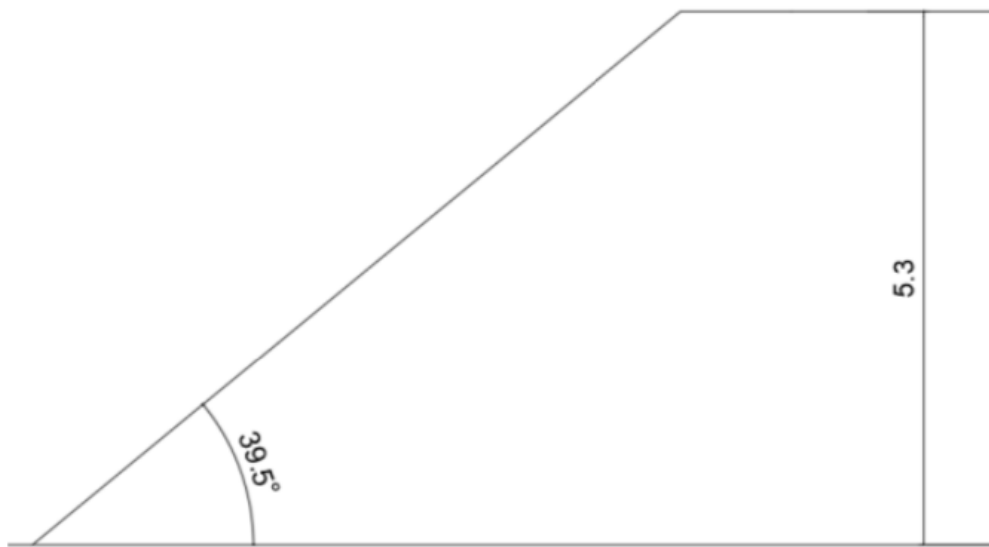


EJERCICIO DE APLICACIÓN:

Dados los siguientes datos para un talud artificial en condición drenada, se solicita evaluar su estabilidad por diferentes métodos, estableciendo el factor de seguridad por lo menos para una hipótesis de superficie de falla.

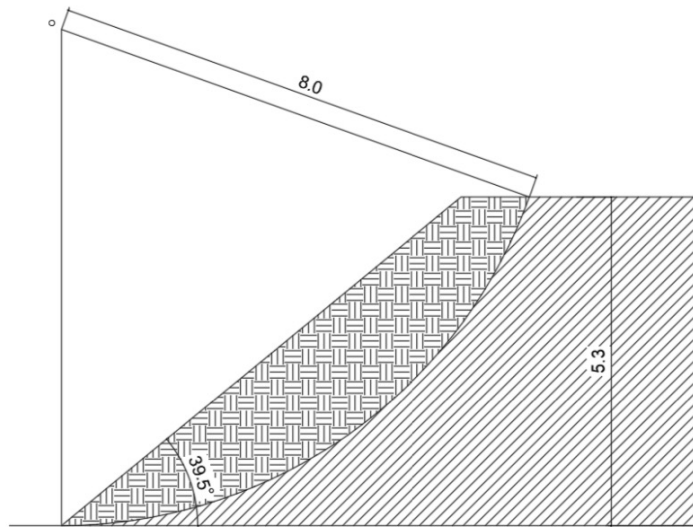
Datos geotecnicos		
Cu	18	kN/m2
ϕ	20	°
γ_s	18	kN/m3

Datos geometricos		
H	5.3	(m)
β	39.5	(m)



GEOMETRIA DEL TALUD

Para este caso se asumió de esta forma:



El primer paso es asumir una superficie de falla circular, para ello debemos tener en cuenta que la falla más común es en estos casos, es la falla de pie, que fluctúa a diferentes distancias del borde de la corona del talud.

Aplicando el método, procedemos a hacer las divisiones de la masa en el movimiento, por tajadas o dovelas teniendo en cuenta lo siguiente:

El ancho de las tajadas no tiene que ser igual

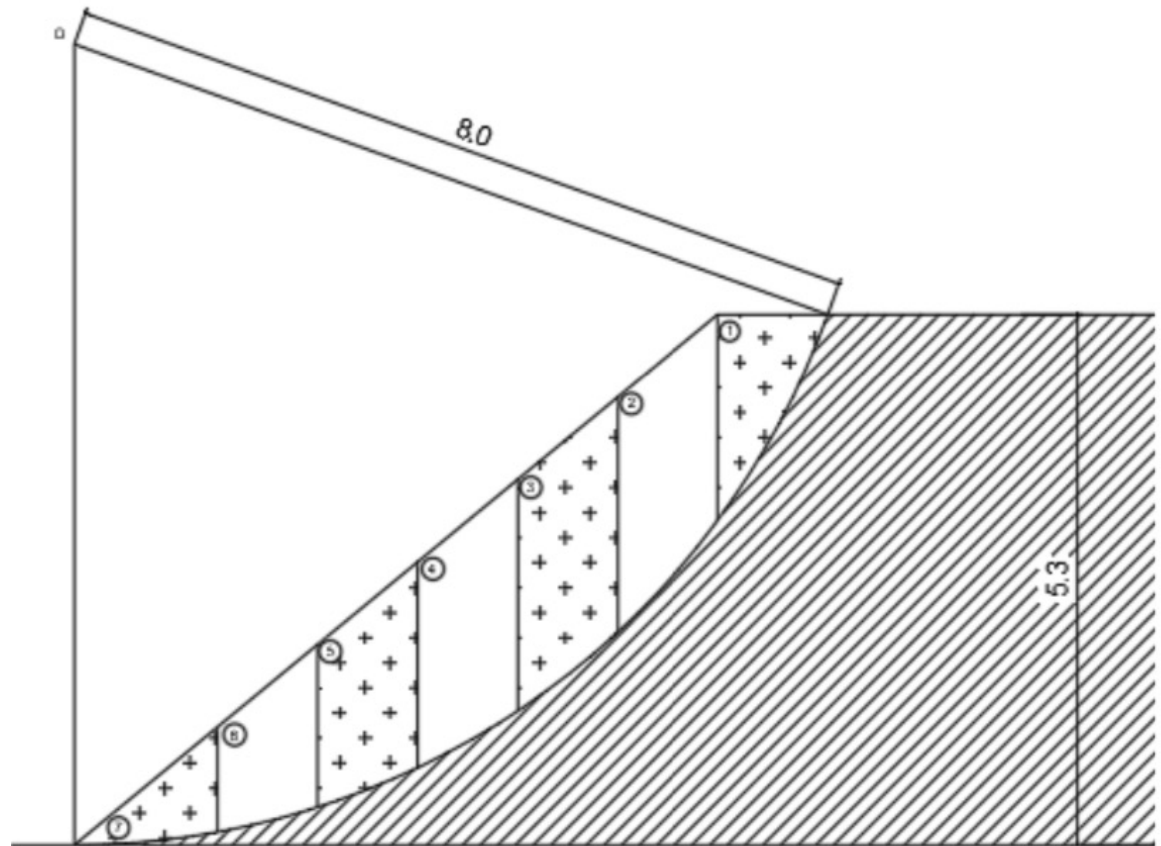
A mayor número de tajadas, mayor precisión.

Se deben evitar varios errores al hacer la división:

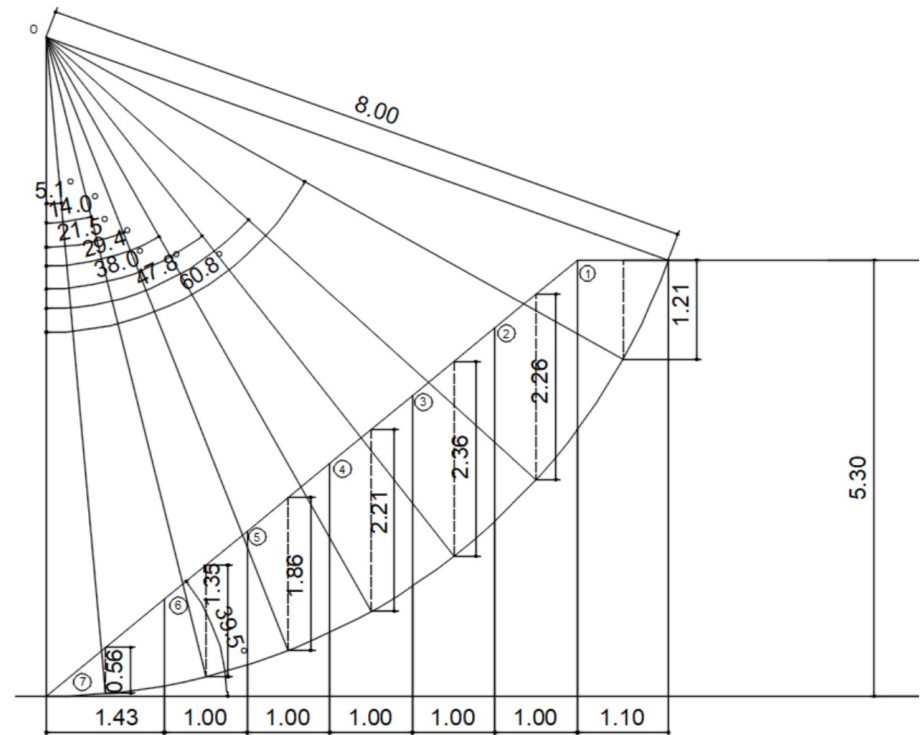
o La base de cada dovela debe estar en un solo estrato, no debe estar contenida en dos materiales diferentes.

o La parte superior de cada dovela debe tener una sola pendiente sin quiebres.

CONSTRUCCIÓN DE DOVELAS:



Siguiendo el método, se deben trazar líneas a manera de radios desde el centro "o", hasta el punto donde se intersece la línea central de cada dovela con la línea de la superficie circular de falla, para tomar datos de longitud de base, altura media y ángulo con la vertical de este brazo.



Metodo de Fellenius:

Método de Fellenius

N° de dovela	ancho m	altura m	area i (m2)	Wi ()	α	$\cos\alpha$	$\sen\alpha$	N'	Li	C=c*Li	C + N'tag ϕ	Wisena α
1	1.1	1.21	1.331	24.0	60.8	0.49	0.87	11.69	2.25	40.59	44.8	20.9
2	1	2.26	2.26	40.7	47.8	0.67	0.74	27.33	1.49	26.80	36.7	30.1
3	1	2.36	2.36	42.5	38.0	0.79	0.62	33.47	1.27	22.84	35.0	26.2
4	1	2.21	2.21	39.8	29.4	0.87	0.49	34.66	1.15	20.66	33.3	19.5
5	1	1.86	1.86	33.5	21.5	0.93	0.37	31.15	1.07	19.35	30.7	12.3
6	1	1.35	1.35	24.3	14.0	0.97	0.24	23.58	1.03	18.55	27.1	5.9
7	1.4	0.56	0.784	14.1	5.1	1.00	0.09	14.06	1.41	25.30	30.4	1.3
										Σ	238.1	116.1

Fs	2.05
----	------

Métodos De Estabilización De Taludes Y Deslizamientos

En la planeación de medidas efectivas de estabilización es importante entender las causas que originan la inestabilidad. Las causas más comunes son:

- Talud muy empinado por corte o relleno

- Exceso de presión de poros causado por niveles freáticos altos de la trayectoria de

drenaje

Socavación debido a la erosión

Pérdida de resistencia con el tiempo debido a procesos de reptación e intemperismo.

Un estudio geológico acucioso y un programa detallado de exploración del subsuelo son necesarios para determinar la causa del deslizamiento y planificar las medidas correctivas.

Prevención

La prevención incluye el manejo de la vulnerabilidad, evitando la posibilidad de que se presenten riesgos o amenazas.

La prevención debe ser un programa del estado, en todos sus niveles mediante una legislación y un sistema de manejo de amenazas que permita disminuir los riesgos a deslizamiento en un área determinada.

MÉTODO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Disuasión con medidas coercitivas	Son muy efectivas cuando la comunidad está consciente del riesgo y colabora con el estado	El manejo de los factores socioeconómicos no es fácil
Planeación del uso de la tierra	Es una solución ideal para zonas urbanas y es fácil de implementar	No se puede aplicar cuando ya existe el riesgo
Códigos técnicos	Presenta herramientas precisas para el control y prevención de amenazas	Se requiere de una entidad que los haga cumplir
Aviso y alarma	Disminuye en forma considerable el riesgo cuando es inminente	Generalmente se aplica después de ocurrido el desastre

Métodos de Prevención de amenazas

Los riesgos debidos a deslizamientos de tierra se pueden reducir utilizando cuatro estrategias así (Kockelman 1986):

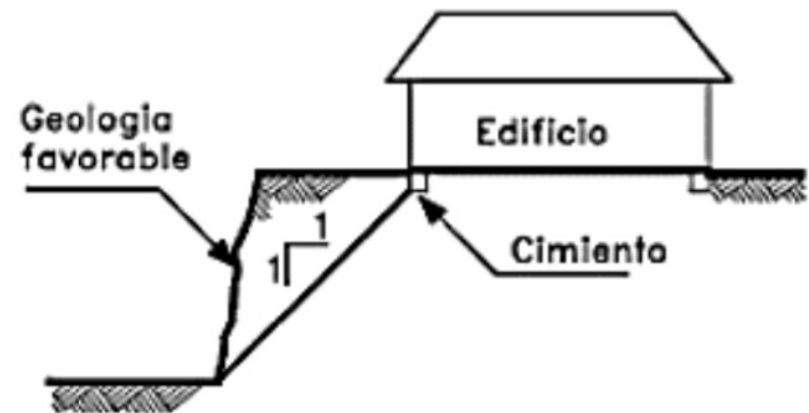
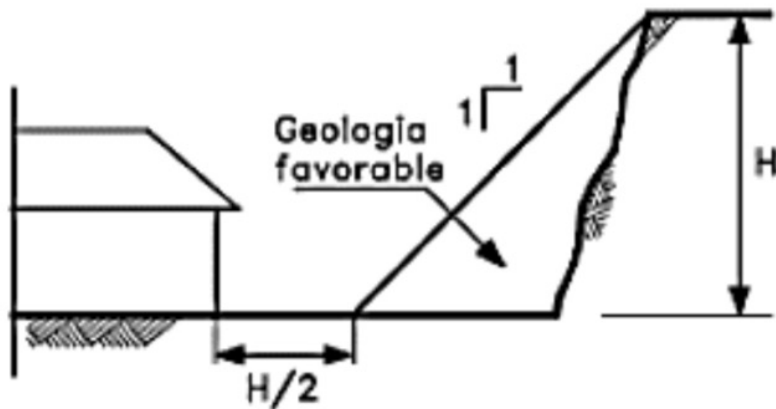
- a) Restricciones al desarrollo en áreas susceptibles a deslizamientos
- b) Códigos para excavaciones, explanaciones, paisajismo y construcción.
- c) Medidas físicas tales como drenaje, modificación de la geometría y estructuras para prevenir o controlar los deslizamientos o los fenómenos que los pueden producir.
- d) Desarrollo de sistemas de aviso o alarma.

Para el diseño de un programa adecuado de prevención se requiere, de acuerdo al U.S. Geological Survey (1982), tener en cuenta los siguientes elementos:

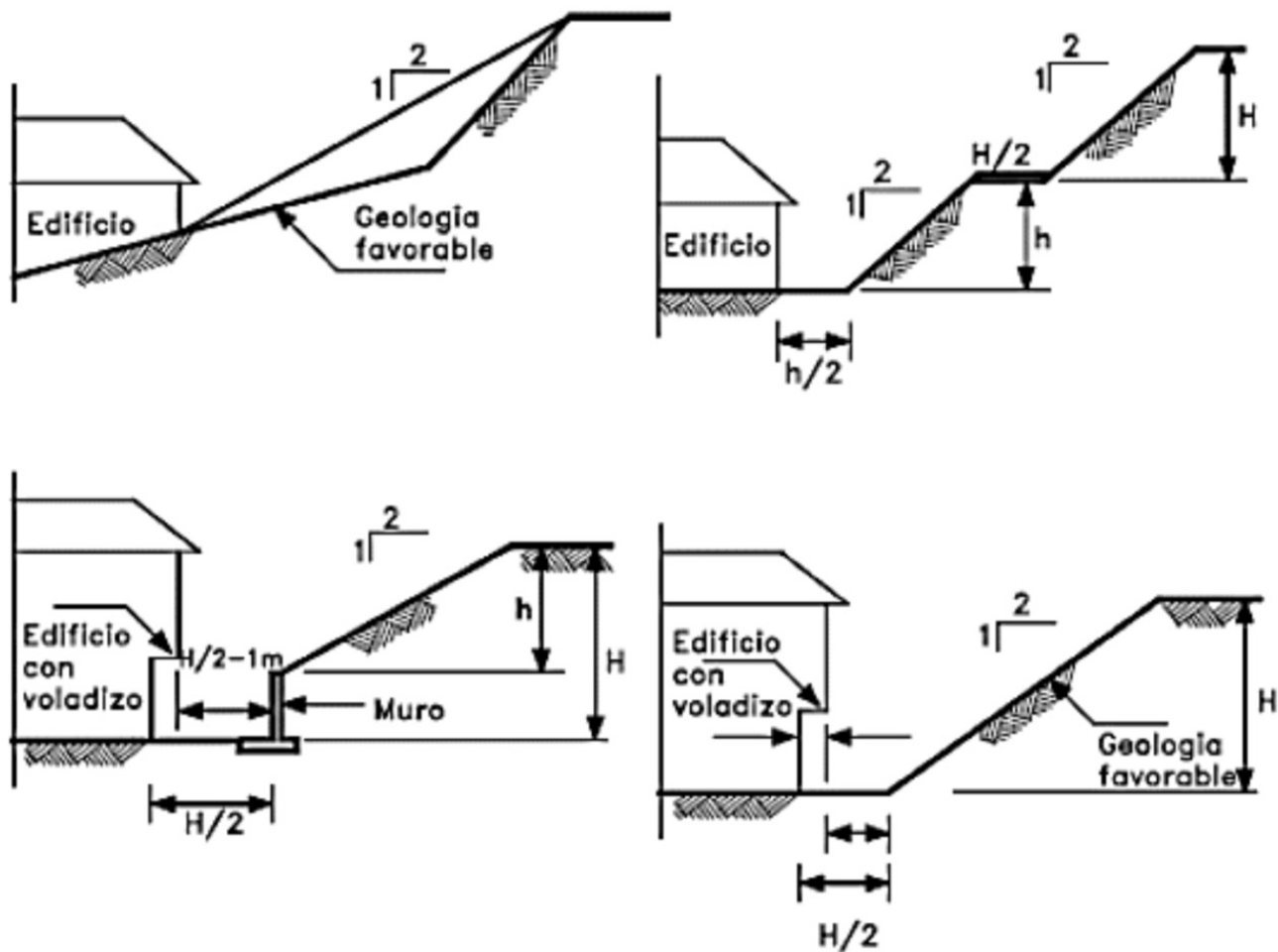
- a) Una base técnica completa de las amenazas y riesgos.
- b) Un grupo técnico capaz de interpretar y manejar la información existente.
- c) Entidades del Estado conocedoras y conscientes de los problemas.
- d) Una comunidad que comprenda el valor y los beneficios de estos programas.

Se necesitan entonces dos elementos principales:

Una base técnica completa y confiable sobre las amenazas y riesgos y un Estado y comunidad conscientes de los problemas y del beneficio de los programas de prevención.



Recomendaciones para la prevención de deslizamientos



Medidas De Aviso y Alarma

- Las áreas más proclives a deslizamientos pueden instrumentarse para prevenir o avisar sobre la ocurrencia de un fenómeno y pueden establecerse programas de información a la comunidad sobre la eventualidad de un determinado deslizamiento. Los sistemas de observación de campo usan extensómetros, clinómetros, piezómetros, cercas eléctricas y disyuntores.
- Las recientes innovaciones (Schuster y Kockelman, 1996), incluyen instrumentos acústicos, televisión, radar, rayos láser y medidores de vibración, los cuales pueden ser manejarse remotamente, desde una estación central recibidora.
- En ciudades como Hong Kong existen sistemas de instrumentación de lluvias y niveles freáticos manejados por un computador central que permite dar aviso de la posibilidad de ocurrencia de grandes deslizamientos. Durante las tormentas la Oficina de Control Geotécnico de Hong Kong opera en un sistema de emergencia para proporcionar aviso y tomar medidas de control (Geotechnical Control Office, 1985).

Elusión De La Amenaza
Eludir la amenaza consiste en evitar que los elementos en riesgo sean expuestos a la amenaza de deslizamiento.

MÉTODO	APLICACIONES	LIMITACIONES
Variantes o relocalización del proyecto	Se recomienda cuando existe el riesgo de activar grandes deslizamientos difíciles de estabilizar o existen deslizamientos antiguos de gran magnitud. Puede ser el mejor de los métodos si es económico hacerlo	Puede resultar costoso y el nuevo sitio o alineamiento puede estar amenazado por deslizamientos
Remoción total de deslizamientos	Es atractivo cuando se trata de volúmenes pequeños de excavación	La remoción de los deslizamientos puede producir nuevos movimientos
Remoción parcial de materiales inestables	Se acostumbra el remover los suelos su superficiales inestables cuando sus espesores no son muy grandes	Cuando el nivel freático se encuentra su superficial se dificulta el proceso de excavación
Modificación del nivel del proyecto o subrasante en una vía	La disminución de la altura de los cortes en un alineamiento de gran longitud puede resolver la viabilidad técnica de un proyecto	Generalmente, al disminuir la altura de los cortes se desmejoran las características del proyecto
Puentes o viaductos sobre los deslizamientos	Muy útil en terrenos de pendientes muy altas	Se requiere cimentar los puentes sobre suelo estable y las pilas deben ser capaces de resistir las fuerzas laterales del material inestable.

Construcción de Variantes

Al reconocer y cuantificar un deslizamiento puede resultar más ventajoso para el proyecto, el modificarlo para evitar la zona problema. Para aplicar este método correctamente se requiere un conocimiento geológico y geotécnico muy completo de la zona, que permita concluir que no es técnica o económicamente viable la utilización de un sistema de estabilización y que es recomendable la elusión del problema, modificando el proyecto, construyendo una variante vial, etc.

Remoción total de la masa de los deslizamientos o materiales inestables

Cuando no es posible la construcción de una variante se puede considerar el remover total a parcialmente los materiales de los deslizamientos antiguos o con riesgo de activación. La remoción de materiales inestables va desde el descapote o remoción de los primeros metros de suelo hasta la eliminación de todo el material inestable.

Construcción de Puentes

Una alternativa utilizada con alguna frecuencia es la de construir puentes o estructuras para pasar por encima de los materiales inestables (Holtz y Schuster 1996). Estos puentes generalmente, deben apoyarse en pilas profundas sobre roca o suelo competente por debajo de los materiales inestables.

Modificación del nivel de la subrasante, cota del proyecto o alineamiento

En la etapa de diseño la modificación del nivel de la subrasante de un proyecto vial puede resultar en profundidades muchos menores de cortes que darían una mayor estabilidad a los taludes. En estos casos el Ingeniero geotecnista debe trabajar conjuntamente con el ingeniero de trazado vial para lograr un equilibrio entre la estabilidad y las características del proyecto. Generalmente es más efectivo y económico modificar las características del diseño, que construir obras de estabilización de deslizamientos. La modificación puede incluir el cambio del proyecto en planta como cambiar el radio o localización de una curva o separar el proyecto del talud.

FIN

GRACIAS POR SU ATENCIÓN