



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
SECCIÓN DE POST GRADO

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

Dr. Jorge E. Alva Hurtado

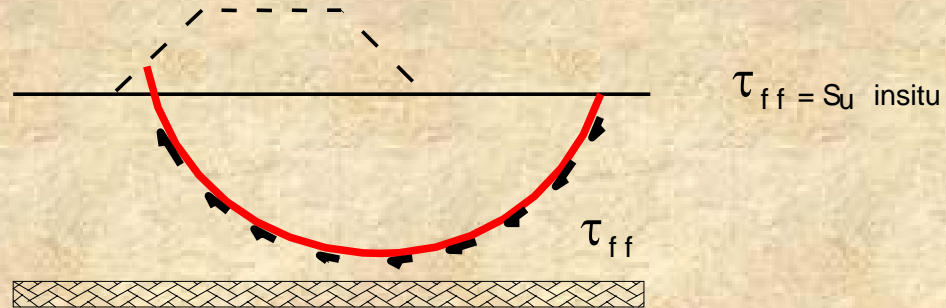
ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

- * CARACTERÍSTICAS Y ASPECTOS CRÍTICOS DE VARIOS TIPOS DE PROBLEMAS DE ESTABILIDAD DE TALUDES**
 - * PROCEDIMIENTOS DE INVESTIGACIÓN Y DISEÑO DE TALUDES**
 - * ANÁLISIS DETALLADO DE ESTABILIDAD**
 - * MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN DE TALUDES**
-

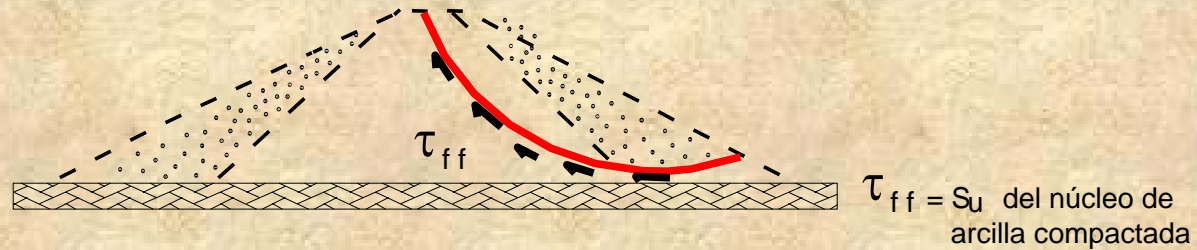
EJEMPLOS DE ANÁLISIS TIPO UU

(NO CONSOLIDADO - NO DRENADO)

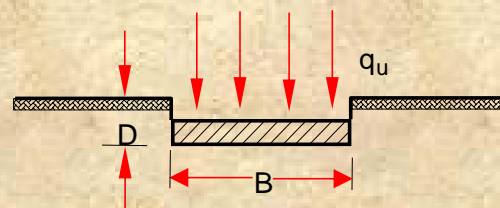
a) TERRAPLÉN CONSTRUIDO RÁPIDAMENTE SOBRE UN DEPÓSITO DE ARCILLA BLANDA



b) PRESA DE TIERRA GRANDE CONSTRUIDA RÁPIDAMENTE SIN CAMBIO EN EL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL NÚCLEO DE ARCILLA



c) ZAPATA CONTINUA COLOCADA RÁPIDAMENTE EN DEPÓSITO DE ARCILLA



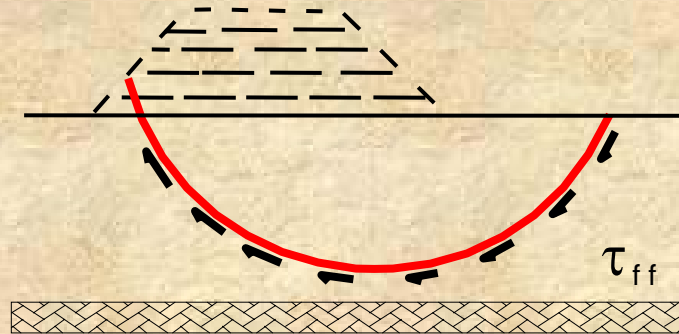
$$q_u = 5.7 S_u + \gamma t D$$

de la fórmula de capacidad de carga de Terzaghi con $\phi = 0$

EJEMPLOS DE ANÁLISIS TIPO CD

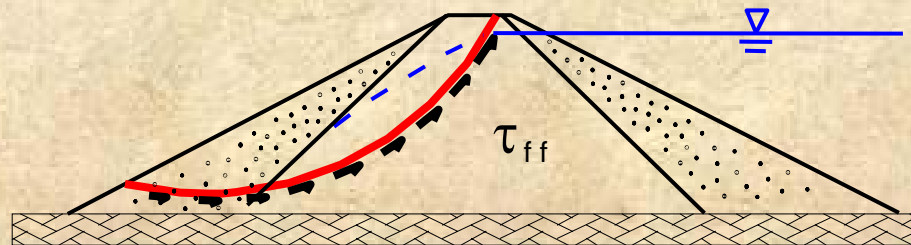
(CONSOLIDADO - DRENADO)

a) TERRAPLÉN CONSTRUIDO MUY LENTAMENTE POR CAPAS SOBRE UN DEPÓSITO DE ARCILLA BLANDA



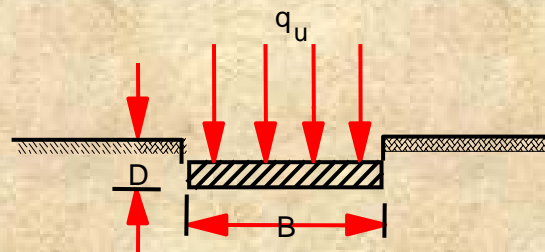
$\tau_{ff} = S_d$ resistencia cortante drenada insitu

b) PRESA DE TIERRA CON ESTADO DE INFILTRACIÓN CONSTANTE



$\tau_{ff} = S_d$ del núcleo de arcilla

c) ZAPATA CONTINUA EN DEPÓSITO DE ARCILLA A LARGO PLAZO DESPUÉS DE LA CONSTRUCCIÓN

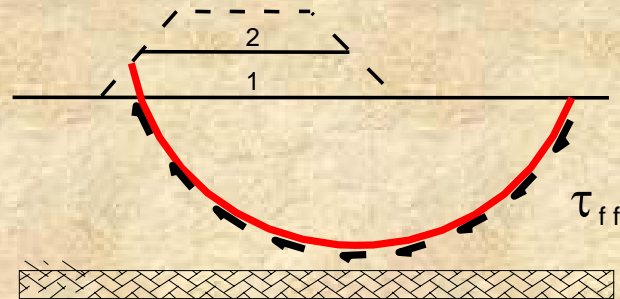


$q_u = \bar{c} N_c + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma + \gamma D N_q$
 donde N_c, N_γ y N_q son función de $\bar{\phi}$

EJEMPLOS DE ANÁLISIS TIPO CU

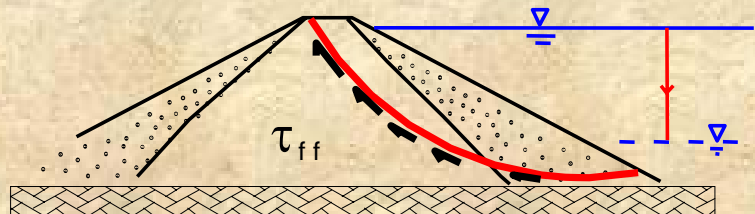
(CONSOLIDADO - NO DRENADO)

a) TERRAPLÉN ELEVADO DESPUÉS DE CONSOLIDARSE BAJO ALTURA INICIAL



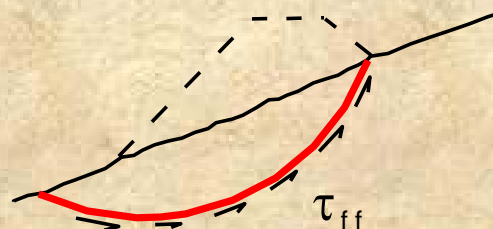
$\tau_{ff} = S_u$ insitu después de consolidación bajo capa 1

b) DESEMBALSE RÁPIDO AGUAS ARRIBA. SIN DRENAJE DEL NÚCLEO

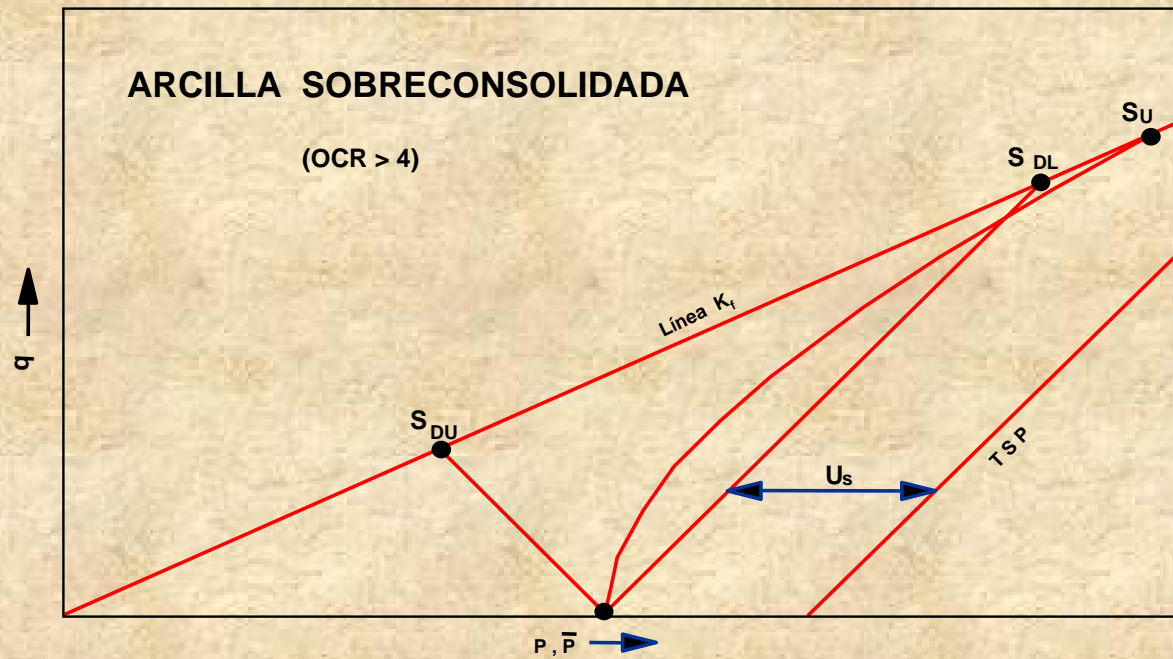
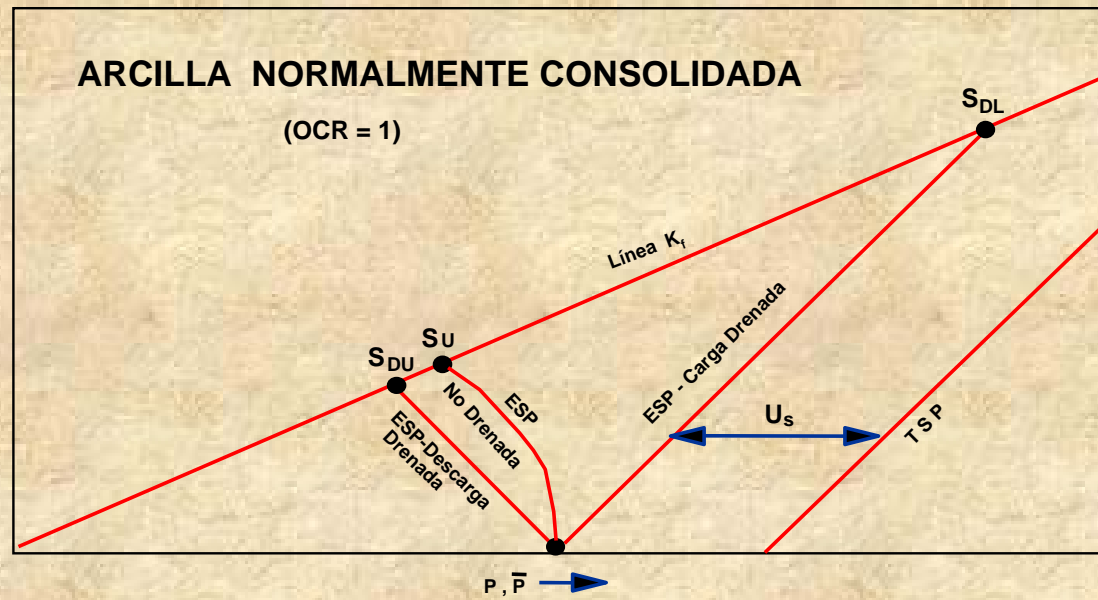


$\tau_{ff} = S_u$ del núcleo correspondiente a consolidación bajo infiltración constante antes del desembalse

c) CONSTRUCCIÓN RÁPIDA DE TERRAPLÉN EN TALUD NATURAL



$\tau_{ff} = S_u$ insitu de arcilla en el talud natural antes de construcción



RESISTENCIA CORTANTE DRENADA Y NO DRENADA

CARACTERÍSTICAS Y ASPECTOS CRÍTICOS DE VARIOS TIPOS DE PROBLEMAS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

- 1) Terraplenes Granulares Construidos en Suelo Firme o Roca**
- 2) Terraplenes Cohesivos Construidos en Suelo Firme o Roca**
 - Al Final de la Construcción (Corto Plazo)**
 - A Largo Plazo**
 - Desembalse Rápido o Similar**
- 3) Terraplenes en Terreno Blando**
 - Al Final de la Construcción (Corto Plazo)**
 - A Largo Plazo**
 - Desembalse Rápido o Similar**

CARACTERÍSTICAS Y ASPECTOS CRÍTICOS DE VARIOS TIPOS DE PROBLEMAS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

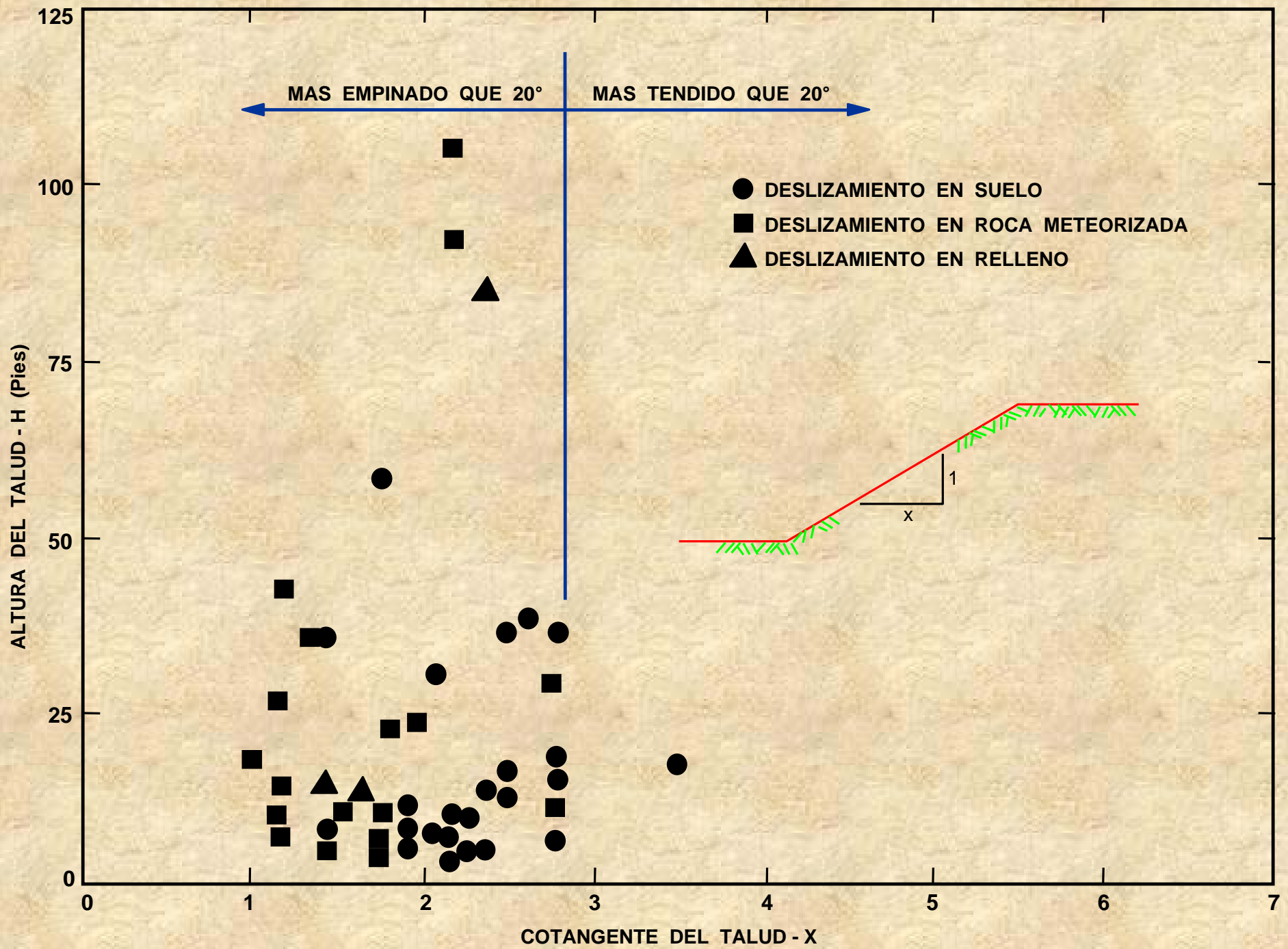
- 4) Taludes en Excavaciones**
 - Al Final de la Construcción (Corto Plazo)**
 - A Largo Plazo**
 - Desembalse Rápido o Similar**

- 5) Laderas Naturales**

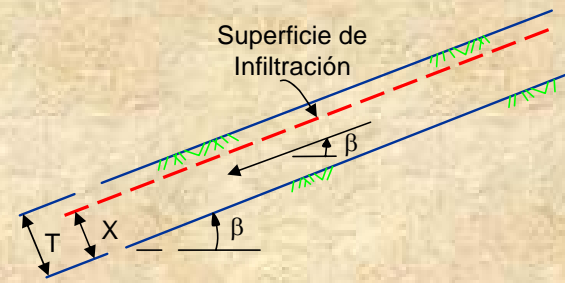
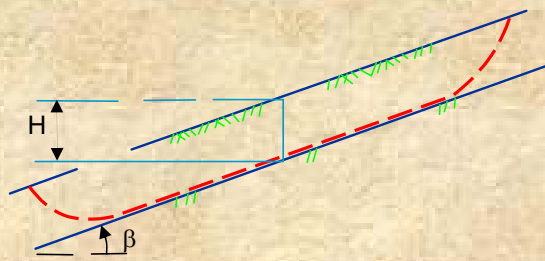
- 6) Taludes Con Problemas Especiales**
 - Arcillas Duras Fisuradas y Lutitas**
 - Loess**
 - Suelos Residuales**
 - Arcillas Altamente Sensibles**

PROCEDIMIENTOS DE INVESTIGACIÓN Y DISEÑO DE TALUDES

- Observación de Campo**
- Uso de Ábacos**
- Análisis Detallado**

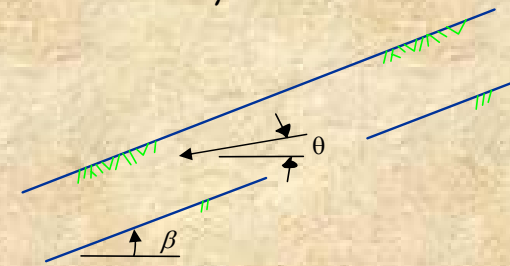


EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DEL TALUD POR MEDIO DE DATOS DE CAMPO



Infiltración paralela al talud

$$r_u = \frac{X}{T} \frac{\gamma_w}{\gamma} \cos^2 \beta$$



Infiltración emergiendo del talud

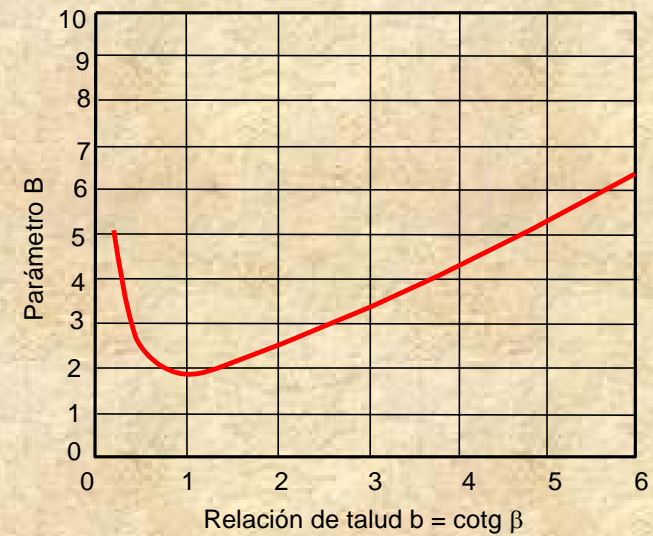
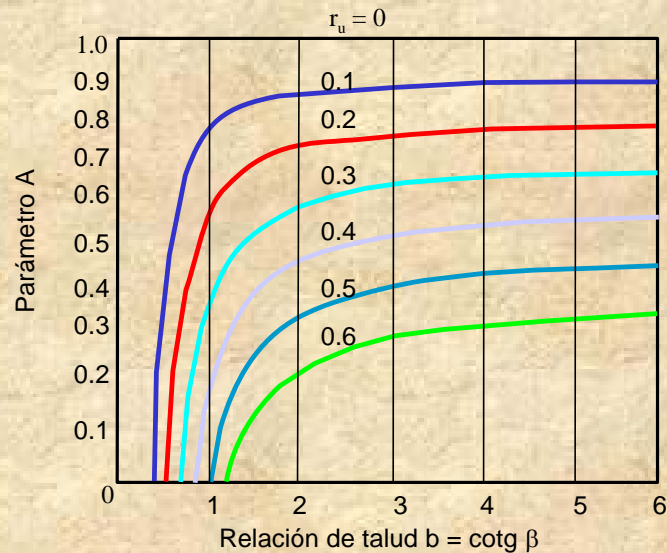
$$r_u = \frac{\gamma_w}{\gamma} \frac{1}{1 + \text{tg } \beta \text{ tg } \theta}$$

- γ = Peso unitario total del suelo
- γ_w = Peso unitario de agua
- c' = Cohesión
- ϕ' = Angulo de fricción
- r_u = Relación de presión de poro = $\frac{u}{\gamma H}$
- u = Presión de poro en la profundidad H

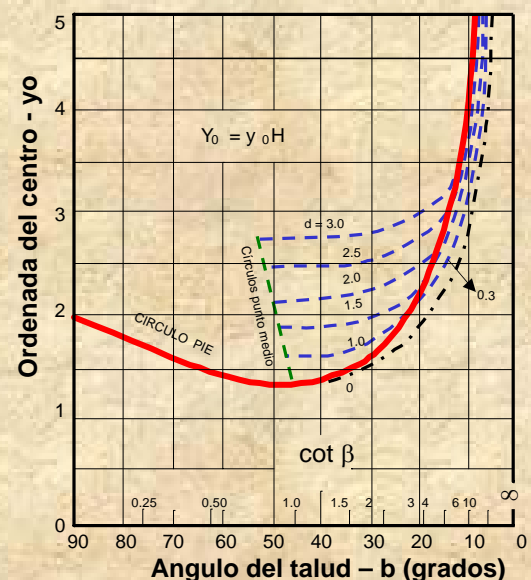
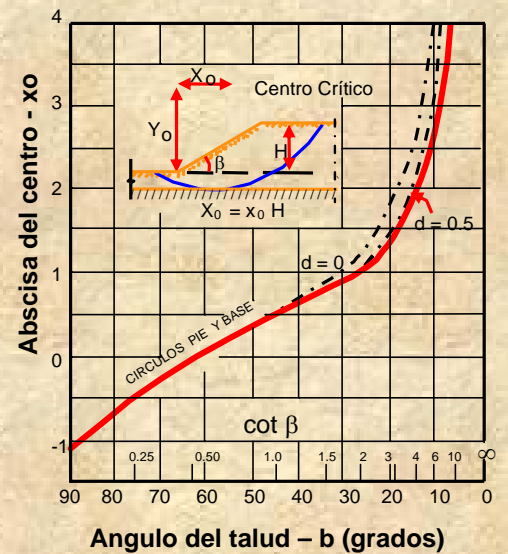
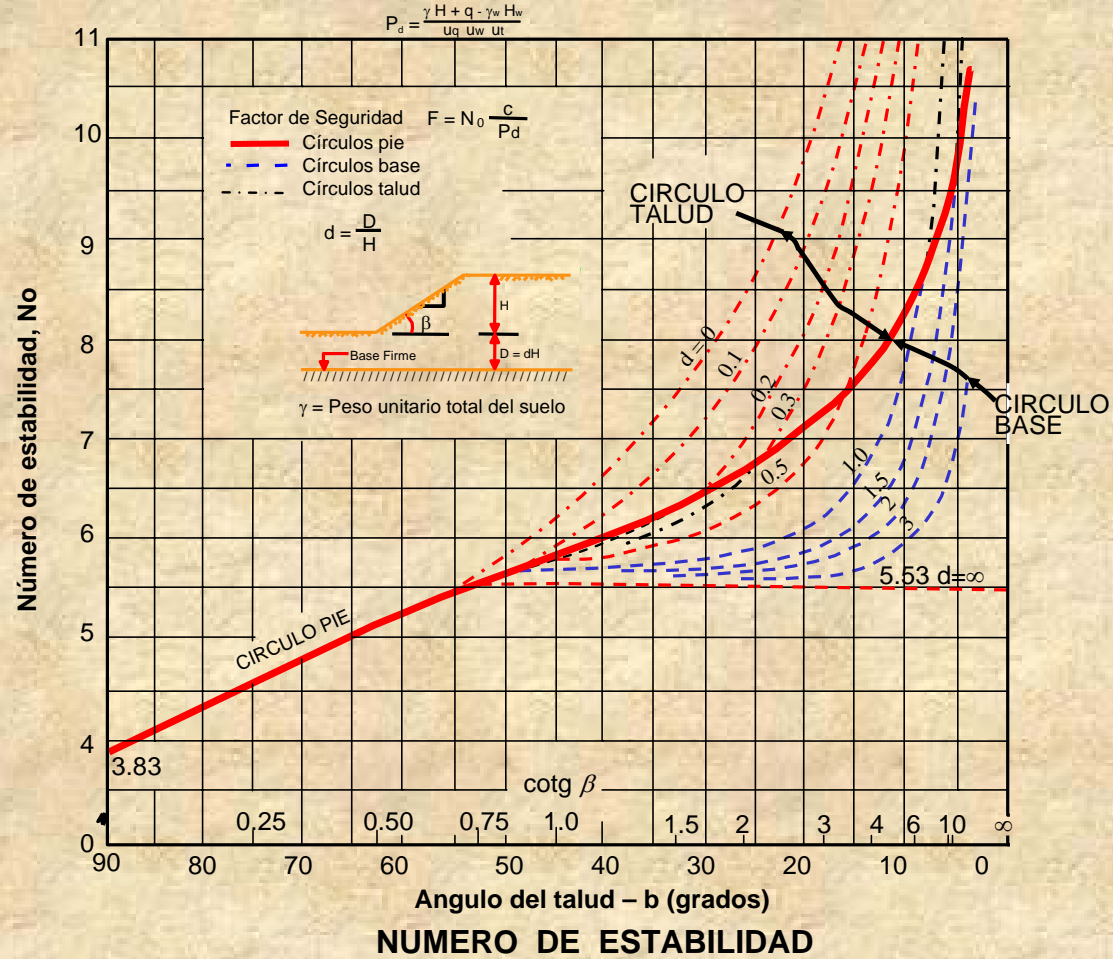
} Esfuerzo Efectivo

Pasos

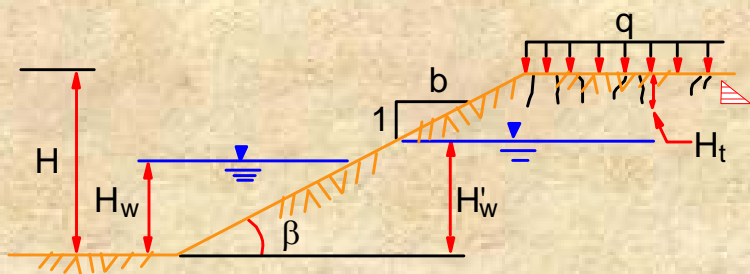
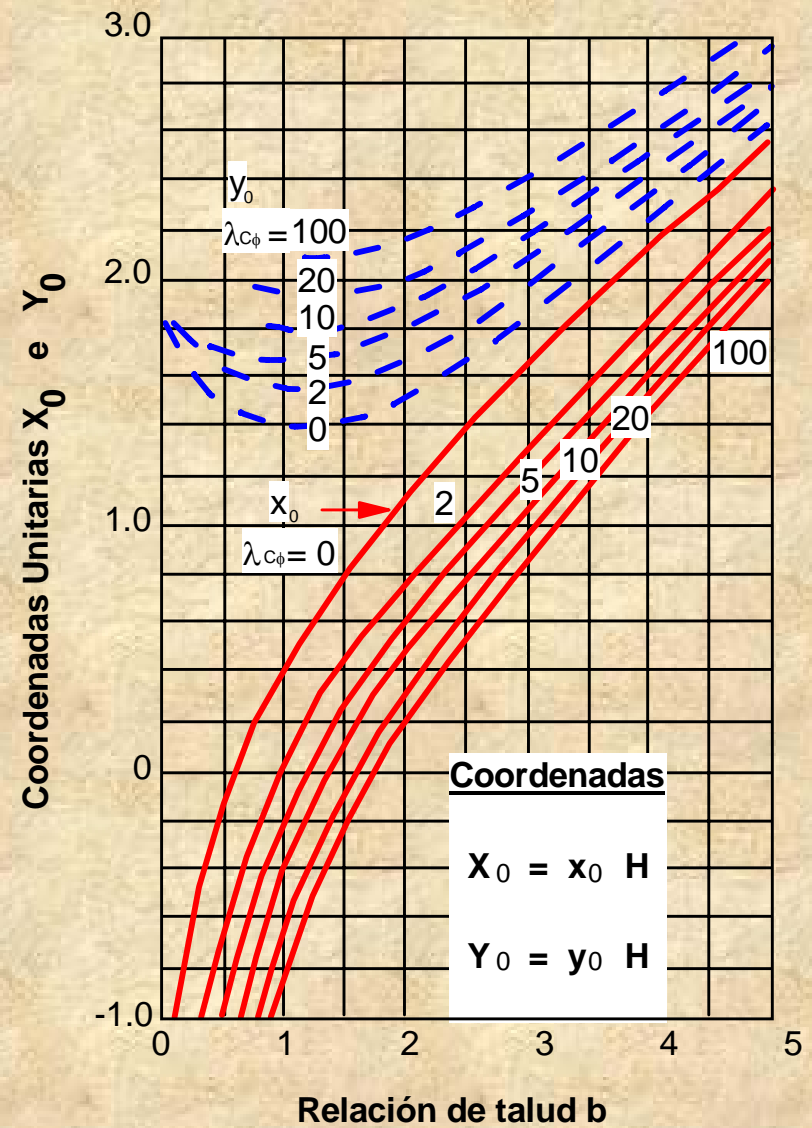
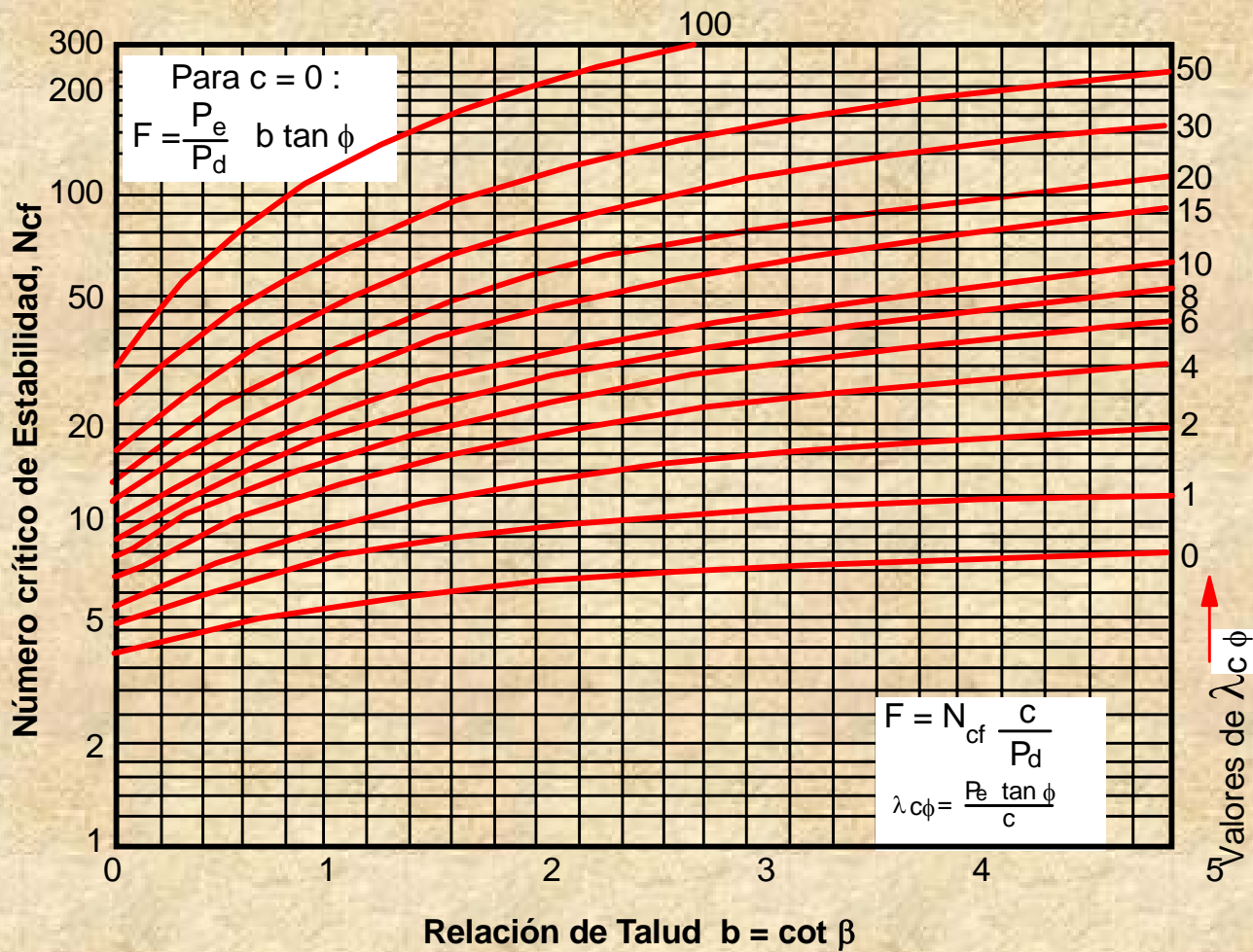
1. Determine r_u de valores de presión de poros medidos ó fórmulas
2. Determine A y B de los ábacos
3. Calcule $F = A \frac{\text{tg } \phi'}{\text{tg } \beta} + B \frac{c'}{\gamma H}$



ÁBACOS DE ESTABILIDAD PARA TALUDES INFINITOS



COORDENADAS DEL CENTRO PARA EL CÍRCULO CRÍTICO
ÁBACOS DE ESTABILIDAD PARA SUELOS CON $\phi = 0$ Ref. (Janbu, 1968)



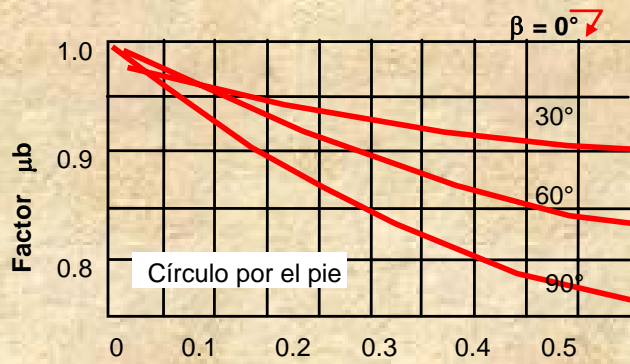
$$P_d = \frac{\gamma H + q - \gamma_w H_w}{\mu_q \mu_w \mu_t}$$

$$P_e = \frac{\gamma H + q - \gamma_w H_w'}{\mu_q \mu_w'}$$

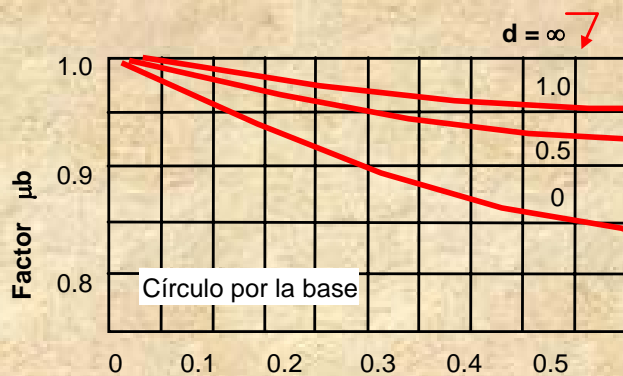
(En la fórmula de P_e tomar $q = 0$, $\mu_q = 1$ para condición no consolidada)

GRÁFICOS DE ESTABILIDAD DE TALUDES PARA SUELOS CON $\phi > 0$

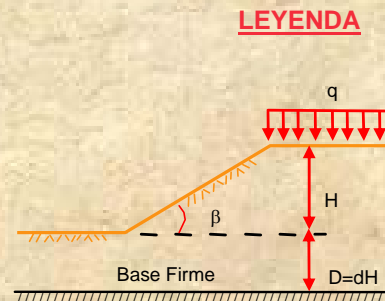
FACTORES DE REDUCCIÓN POR CARGA ADICIONADA



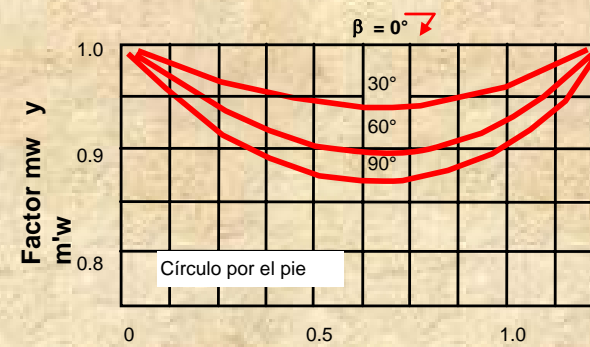
(a) Relación $q/\gamma H$



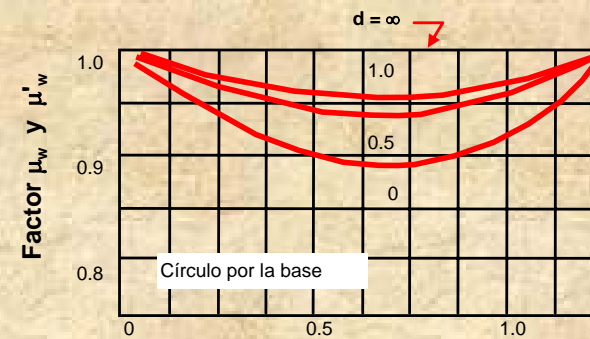
(b) Relación $q/\gamma H$



FACTORES DE REDUCCIÓN POR SUMERGENCIA (μ_w) E INFILTRACIÓN (μ'_w)

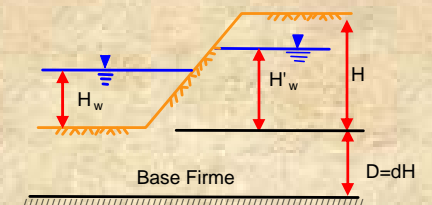
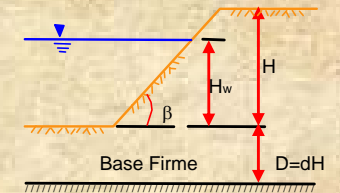


(c) Relación H_w/H y H'_w/H



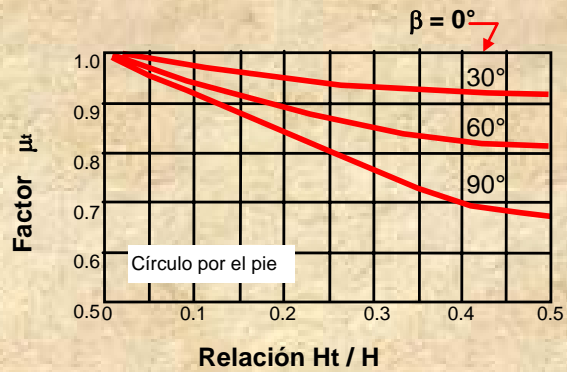
(d) Relación H_w/H y H'_w/H

LEYENDA

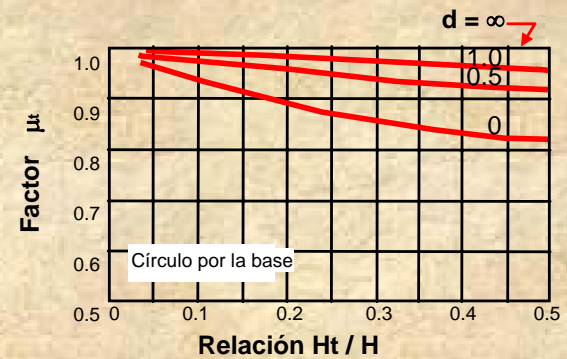


FACTORES DE REDUCCIÓN PARA LOS GRÁFICOS DE ESTABILIDAD DE TALUDES, SUELOS CON $\phi = 0$ Y $\phi > 0$

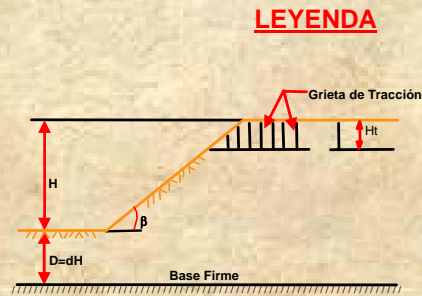
FACTOR DE REDUCCIÓN POR GRIETA DE TRACCIÓN SIN PRESIÓN HIDROSTÁTICA EN LA GRIETA



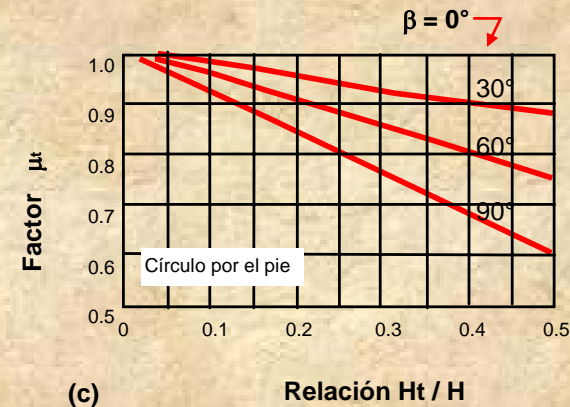
(a)



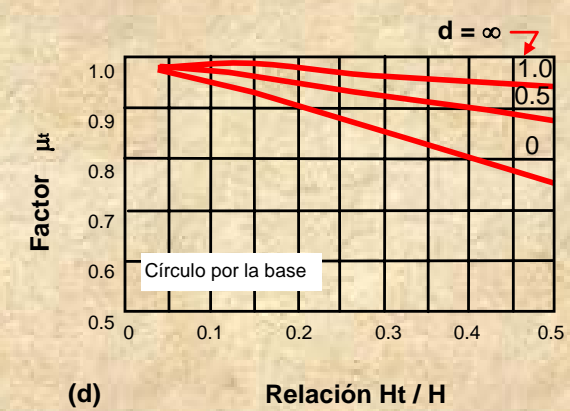
(b)



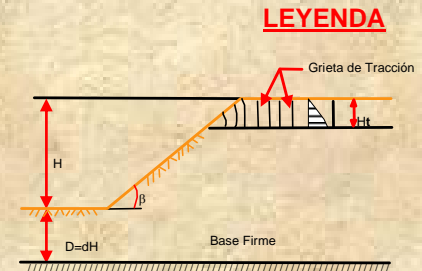
FACTOR DE REDUCCIÓN POR GRIETA DE TRACCIÓN CON PRESIÓN HIDROSTÁTICA EN LA GRIETA



(c)

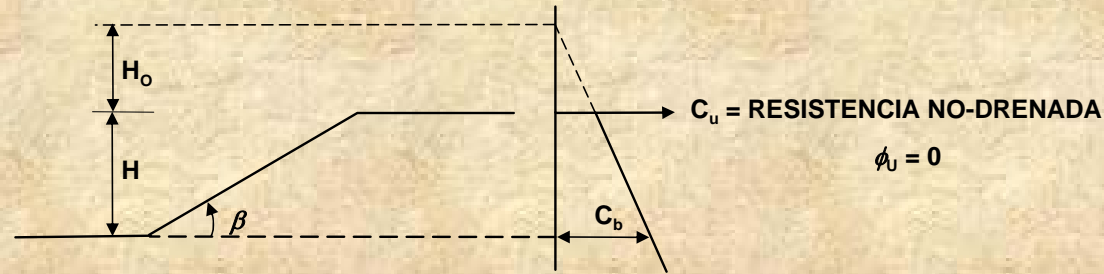


(d)



FACTORES DE REDUCCIÓN PARA LOS GRÁFICOS DE ESTABILIDAD DE TALUDES, SUELOS CON $f = 0$ Y $f > 0$

Ref. (Janbu, 1968)



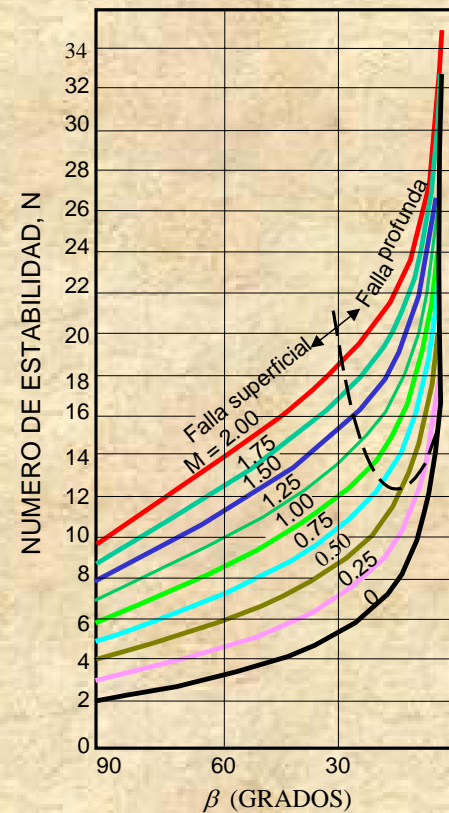
PASOS

- ① EXTRAPOLE EL PERFIL DE RESISTENCIA HACIA ARRIBA, PARA DETERMINAR H_o
- ② CALCULE $M = H_o/H$
- ③ DETERMINE EL NUMERO DE ESTABILIDAD N DEL GRAFICO INFERIOR
- ④ DETERMINE $C_b = \text{RESISTENCIA EN LA BASE DEL TALUD}$
- ⑤ CALCULE $F = N \frac{C_b}{\gamma (H + H_o)}$

Use $\gamma = \gamma_b$ PARA TALUD SUMERGIDO

Use $\gamma = \gamma_m$ PARA NO EXISTENCIA DE AGUA FUERA DEL TALUD

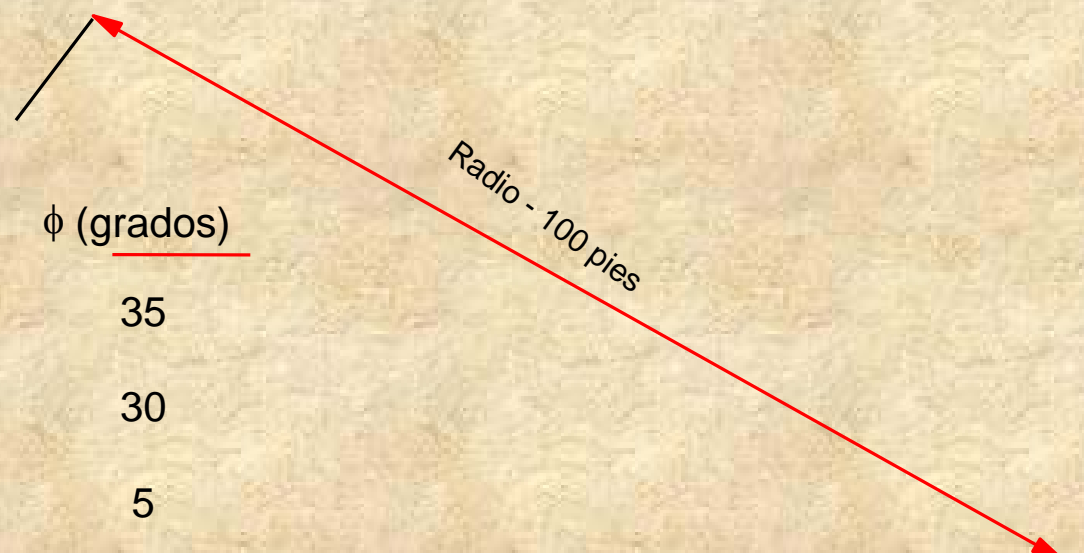
Use γ PROMEDIO, PARA TALUD PARCIALMENTE SUMERGIDO



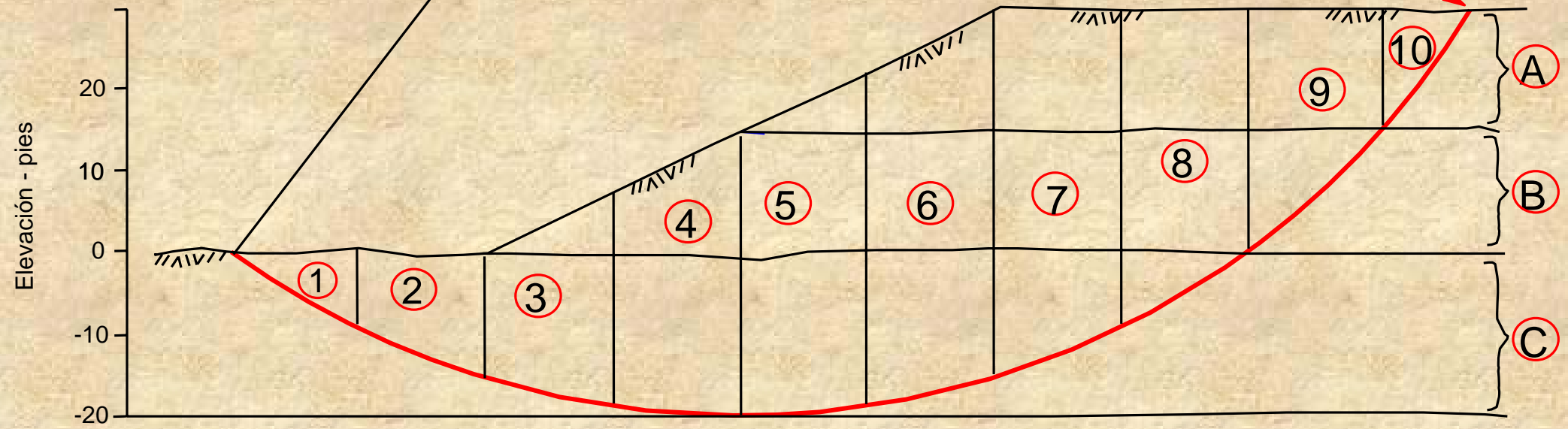
GRÁFICOS DE ESTABILIDAD DE TALUDES PARA $\phi = 0$ Y RESISTENCIA AUMENTANDO CON PROFUNDIDAD. (Hunter y Schuster, 1968)

ANÁLISIS DETALLADO DE ESTABILIDAD

- Método de Dovelas**
- Método de la Cuña Deslizante**
- Conclusiones**

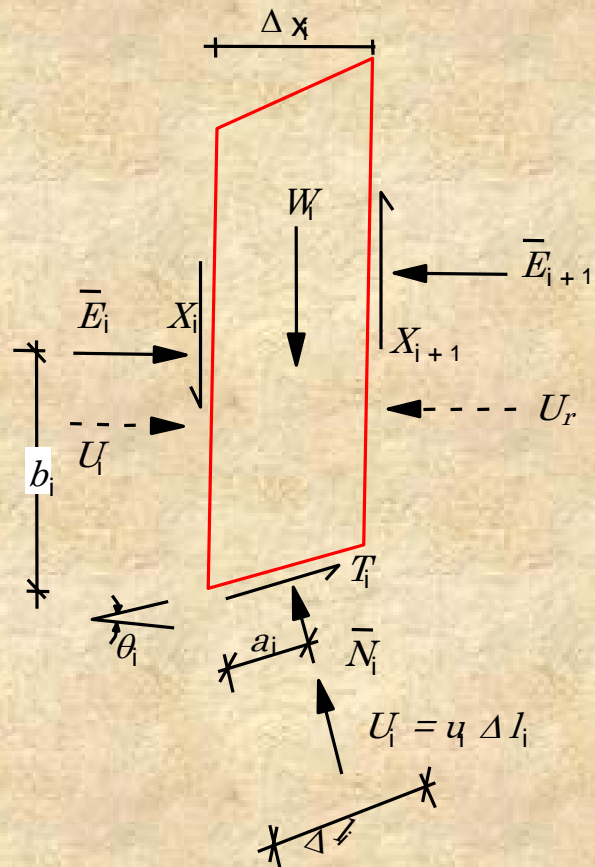
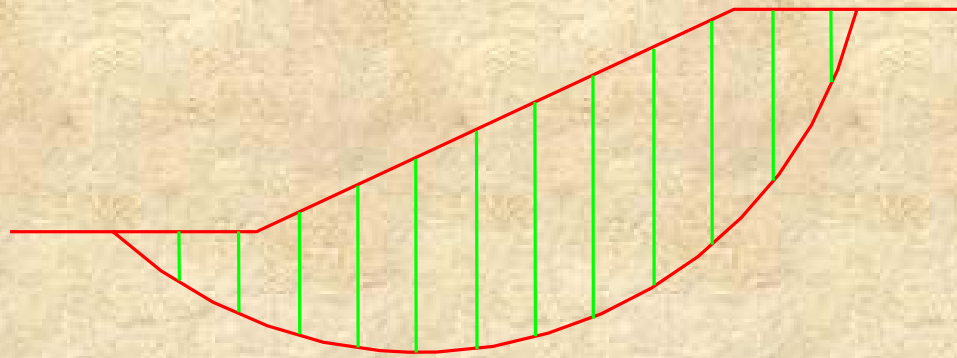


<u>Capa</u>	<u>γ (lb/pie³)</u>	<u>c (lb/pie²)</u>	<u>ϕ (grados)</u>
(A)	110	60	35
(B)	105	100	30
(C)	110	750	5



EJEMPLO DEL MÉTODO ORDINARIO DE DOVELAS

FUERZAS QUE ACTUAN EN DOVELA



FACTOR DE SEGURIDAD

$$F = \frac{M_R}{M_A}$$

$$M_R = r \sum_{i=1}^n (\bar{c} + \bar{\sigma}_i \operatorname{tg} \bar{\phi}) \Delta l_i = r (\bar{c}L + \operatorname{tg} \bar{\phi} \sum_{i=1}^n \bar{N}_i)$$

$$M_A = r \sum_{i=1}^n W_i \operatorname{sen} \bar{\theta}_i$$

$$F = \frac{\bar{c}L + \operatorname{tg} \bar{\phi} \sum_{i=1}^n \bar{N}_i}{\sum_{i=1}^n W_i \operatorname{sen} \theta_i}$$

EQUILIBRIO DE FUERZAS Y MOMENTOS

ECUACIONES

$$N \quad \Sigma F_v$$

$$N \quad \Sigma F_H$$

$$N \quad \Sigma F_M$$

$$3N \quad \text{TOTAL}$$

INCÓGNITAS

N-1 FUERZAS HORIZONTALES

N-1 FUERZAS VERTICALES

N-1 LOC. F. HORIZONTALES

N FUERZAS NORM. BASE

N LOC. F. NORM.

N FUERZAS NORM. BASE

1 F.S.

$$5N-2 \quad \text{TOTAL}$$

SISTEMA INDETERMINADO

MÉTODO ORDINARIO DE DOVELAS (FELLENIOUS)

ASUME QUE LA RESULTANTE DE FUERZAS LATERALES
ACTUA PARALELA A LA BASE DE CADA DOVELA

RESUELVE LAS FUERZAS NORMALES PERPENDICULARES
A LA BASE ELIMINANDO LAS FUERZAS LATERALES

$$F = \frac{\bar{c}L + \operatorname{tg} \bar{\phi} \sum_{i=1}^n (W_i \cos \theta_i - u_i \Delta l_i)}{\sum_{i=1}^n W_i \operatorname{sen} \theta_i}$$

SATISFACE : EQ. TOTAL DE MOMENTOS

NO SATISFACE : EQ. F_H
: EQ. F_V
: EQ. INDIVIDUAL DE MOMENTOS

1 ECUACIÓN

1 INCÓGNITA

MÉTODO SIMPLIFICADO DE BISHOP

ASUME QUE LAS FUERZAS VERTICALES EN LAS DOVELAS SON CERO

RESUELVE LAS FUERZAS EN LA DIRECCIÓN VERTICAL ELIMINANDO LAS FUERZAS LATERALES

$$F = \frac{\sum_{i=1}^n [\bar{c} \Delta x_i + (W_i - u_i \Delta x_i) \operatorname{tg} \bar{\phi}]}{\sum_{i=1}^n W_i \operatorname{sen} \theta_i} [1 / M_i(\theta)]$$

$$M_i(\theta) = \cos \theta_i \left(1 + \frac{\operatorname{tg} \theta_i \operatorname{tg} \bar{\phi}}{F} \right)$$

SATISFACE : EQ. TOTAL DE MOMENTOS
EQ. F_v

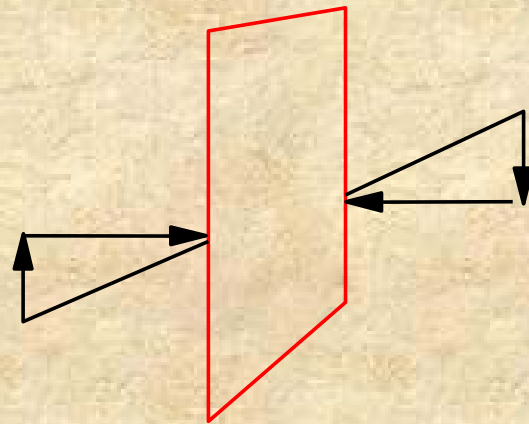
NO SATISFACE : EQ. INDIVIDUAL DE MOMENTOS
EQ. F_H

N + 1 ECUACIONES

N + 1 INCÓGNITAS

METODO DE LOWE Y KARAFIATH

ASUME QUE LA INCLINACIÓN DE LAS FUERZAS LATERALES ES EL PROMEDIO DEL TALUD Y LA SUPERFICIE DE FALLA



SATISFACE : ΣF_v
 ΣF_H

NO SATISFACE : ΣM

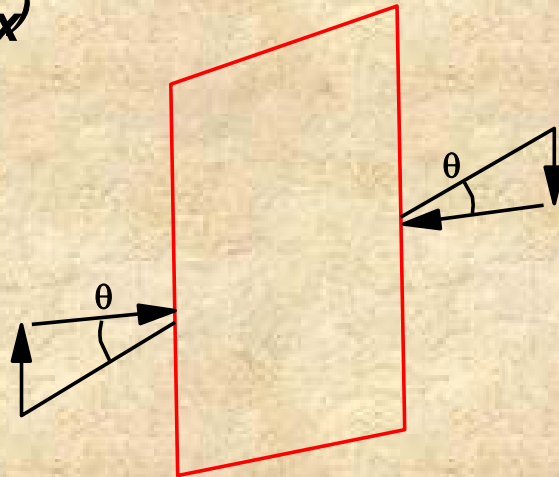
2 N ECUACIONES

2 N INCÓGNITAS

MÉTODO MORGENSTERN - PRICE

ASUME QUE LA INCLINACIÓN DE LAS FUERZAS LATERALES SIGUE UNA FORMA DETERMINADA

$$\theta = \lambda f(x)$$



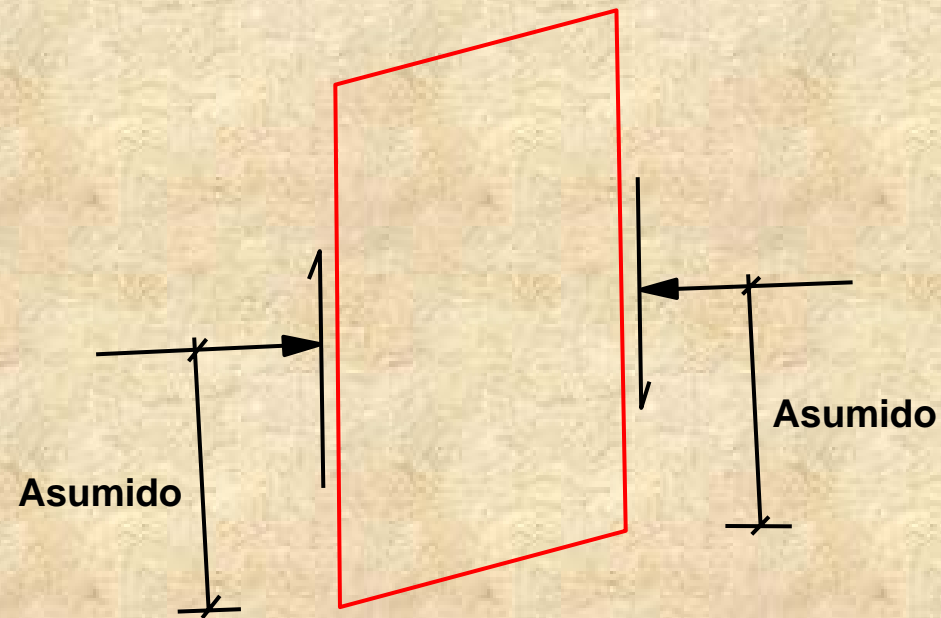
SATISFACE TODAS LAS CONDICIONES DE EQUILIBRIO

3 N ECUACIONES

3 N INCÓGNITAS

MÉTODO DE JANBU (GPS)

ASUME LA POSICIÓN DE LA FUERZA HORIZONTAL



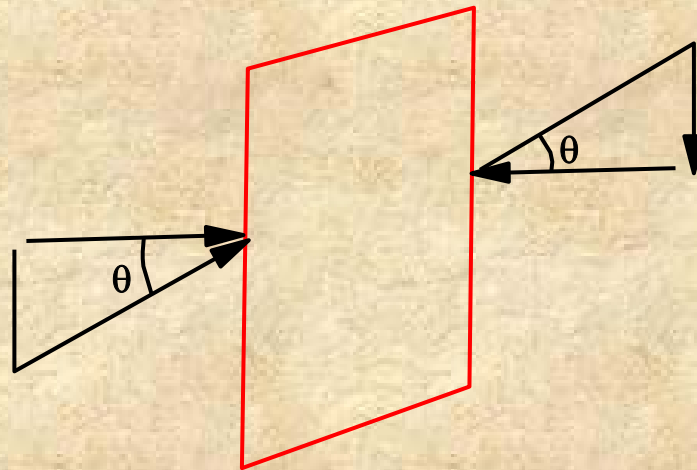
SATISFACE TODAS LAS CONDICIONES DE EQUILIBRIO

3 N ECUACIONES

3 N INCÓGNITAS

MÉTODO DE SPENCER

ASUME QUE LA INCLINACIÓN DE LA FUERZA LATERAL RESULTANTE (θ) ES LA MISMA PARA CADA DOVELA

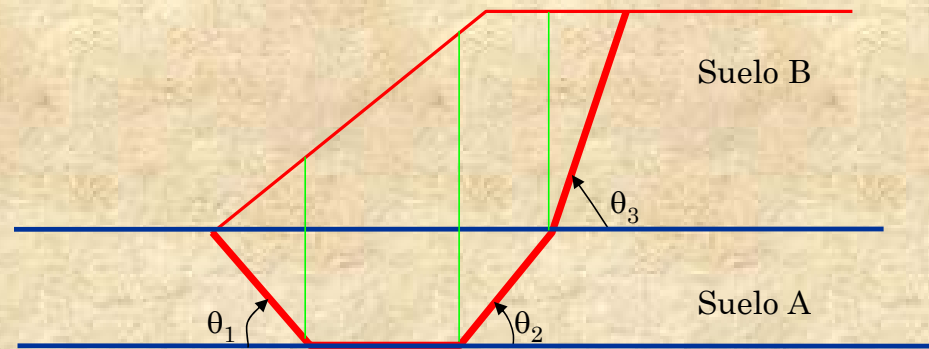


SATISFACE TODAS LAS CONDICIONES DE EQUILIBRIO

3 N ECUACIONES

3 N INCÓGNITAS

MÉTODO DE LA CUÑA DESLIZANTE



$$\theta_1 \approx 45 - \frac{\phi m_A}{2}$$

$$\theta_2 \approx 45 + \frac{\phi m_A}{2}$$

$$\theta_3 \approx 45 + \frac{\phi m_B}{2}$$

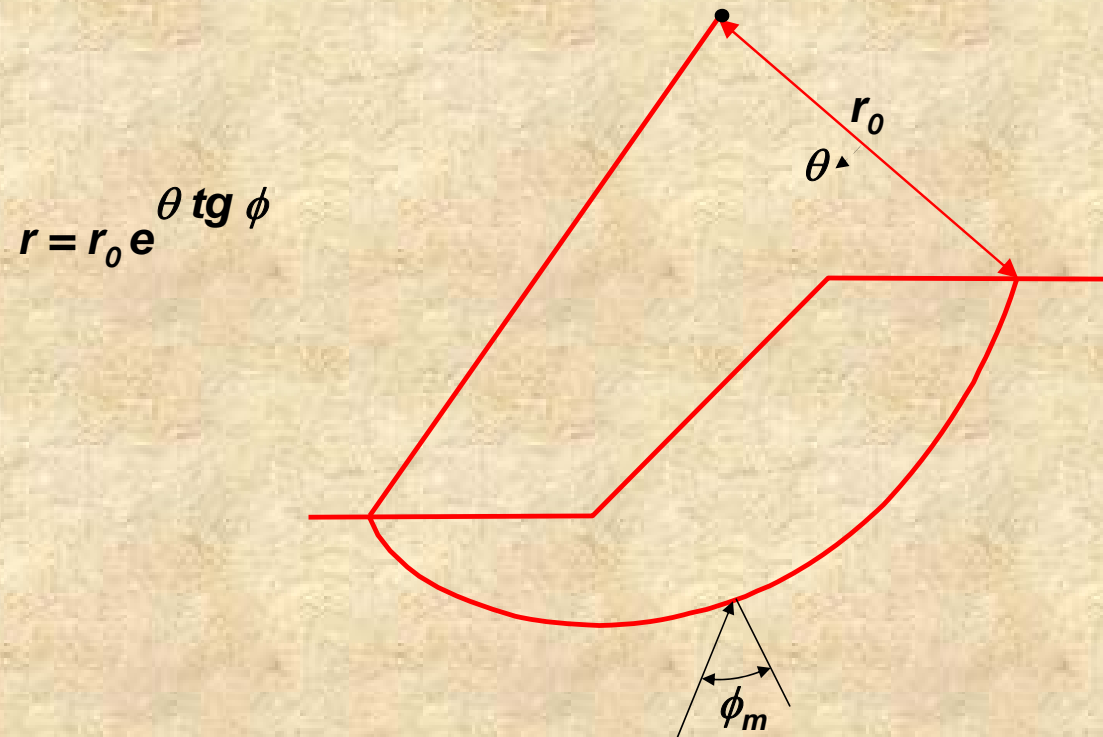
ϕm_A = Ángulo de fricción
movilizado en suelo A

ϕm_B = Ángulo de fricción
movilizado en suelo B

**SATISFACE EQUILIBRIO DE FUERZAS
ASUME INCLINACIÓN FUERZA HORIZONTAL**

MÉTODO DE ESPIRAL LOGARÍTMICA

ASUME QUE LA SUPERFICIE DE FALLA ES UNA ESPIRAL LOGARÍTMICA

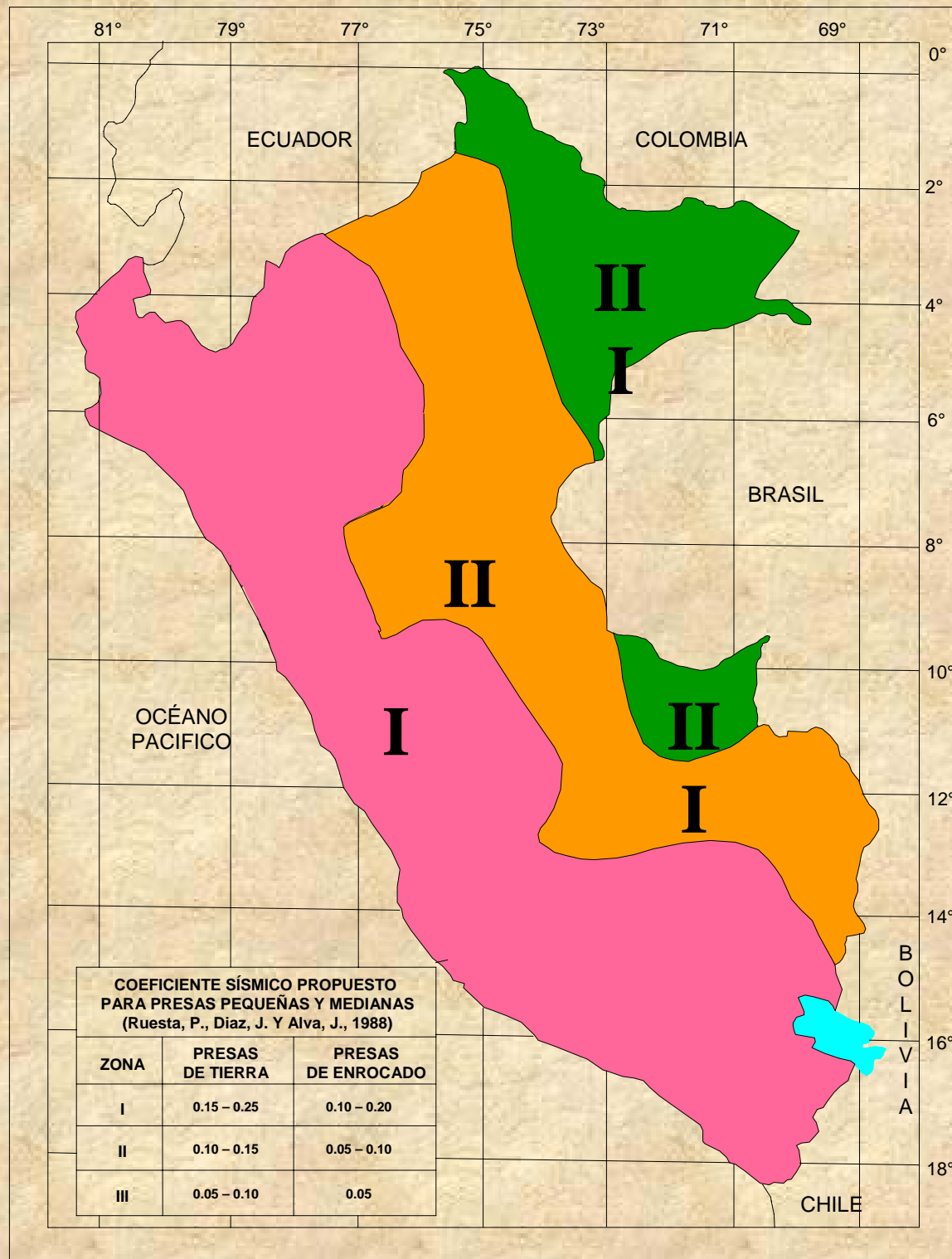


SATISFACE TODAS LAS CONDICIONES DE EQUILIBRIO

3 ECUACIONES

3 INCÓGNITAS

PROCEDIMIENTO	CONDICIÓN DE EQUILIBRIO SATISFECHA				ECUACIONES E INCÓGNITAS	FORMA DE LA SUPER- FICIE DE FALLA	APLICABLE A	
	MOMENTO TOTAL	MOMENTO DOVELA IND.	VERT.	HOR.			Cálculos Manuales	Cálculos Computadora
MÉTODO ORDINARIO DE DOVELAS	Si	No	No	No	1	Circular	Si	Si
MÉTODO DE BISHOP MODIFICADO	Si	No	Si	No	$N + 1$	Circular	Si	Si
MÉTODO DE JANBU PROCEDIMIENTO GENERA- LIZADO DE DOVELAS	Si	Si	Si	Si	$3 N$	Cualquiera	Si	Si
MÉTODOS DE SPENCER Y MORGENSTERN Y PRICE	Si	Si	Si	Si	$3 N$	Cualquiera	No	Si
MÉTODO DE LOWE Y KARAFIATH	No	No	Si	Si	$2 N$	Cualquiera	Si	Si
MÉTODO DE ESPIRAL LOGARITMICA	Si	-	Si	Si	3	Espiral Logarítmica	Si	Si



ZONIFICACIÓN DEL COEFICIENTE SÍSMICO EN EL PERÚ

(Ruesta et al, 1988)

CONCLUSIONES SOBRE LOS MÉTODOS DE EQUILIBRIO LÍMITE

- 1.- Cualquier método que satisface el Equilibrio de Momentos, da el mismo factor de seguridad en el análisis de $\phi = 0$ con superficies de falla circular.
- 2.- El Método Ordinario de Dovelas (Fellenius), da error en el lado conservador para el caso de $\phi > 0$. Con presiones de poro pequeñas, para los análisis en función de esfuerzos totales y de esfuerzos efectivos, el error es menor de 10%. Para pendientes casi planas con presiones de poros altas, el error puede ser mayor del 50%.
- 3.- Para análisis de $\phi = 0$ ó $\phi > 0$ con presiones de poros bajas o altas, el Método Simplificado de Bishop es adecuado para el análisis de falla circular. El método es muy estable numéricamente, sólo hay problemas de convergencia cuando los extremos de la superficie de falla es muy parada, casi vertical.

- 4.- En los métodos que satisfacen solamente el equilibrio de fuerzas, el Factor de Seguridad es muy sensible a la inclinación asumida de las fuerzas laterales. El método de Lowe y Karafiath es razonable para análisis de $\phi > 0$, pero no conservador (10-15%) para $\phi = 0$.
- 5.- Si todas las condiciones de equilibrio son satisfechas, la magnitud del error en el Factor de Seguridad es muy pequeña, usualmente $\pm 5\%$ de la respuesta correcta.
- 6.- Los métodos que satisfacen todas las condiciones de equilibrio presentan ventajas y desventajas.
- a) GPS o JANBU : El mejor para el cálculo manual. Pueden existir inestabilidades numéricas en el computador.
 - b) SPENCER : El más estable numéricamente, bueno para el computador, malo para el análisis manual.

- c) MORGENTERN- : El más flexible. Las fuerzas laterales asumidas se pueden cambiar, cambiando $f(x)$. Teóricamente es atractivo porque $f(x)$ se puede cambiar hasta encontrar una distribución interna de esfuerzos razonable. En la práctica consume mucho tiempo y es innecesario para el cálculo del Factor de Seguridad, ya que este valor varía muy poco con $f(x)$.**
- PRICE**

MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN DE TALUDES Y DESLIZAMIENTOS

- Excavación**
- Drenaje**
- Contrafuerte de Tierra o Roca (Bermas de Relleno)**
- Estructuras de Retención**
- Técnicas Especiales**

MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN DE TALUDES Y DESLIZAMIENTOS

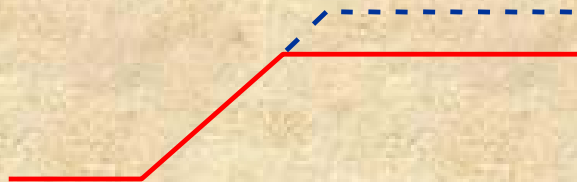
(Turnbull y Hvorslev, 1968)

ESQUEMA

MÉTODO APLICABLE

COMENTARIOS

I EXCAVACIÓN

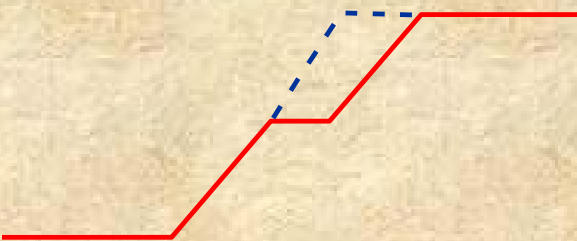


1. Reducir la altura del talud con excavaciones en la parte superior.

El área debe ser accesible al equipo de construcción. Se requiere de un lugar apropiado para colocar el suelo excavado. Algunas veces se incorpora drenaje a este método.



2. Tendido el ángulo del talud.



3. Excavar banqueta en la parte superior del talud.

4. Excavar completamente la masa de deslizamiento.

MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN DE TALUDES Y DESLIZAMIENTOS

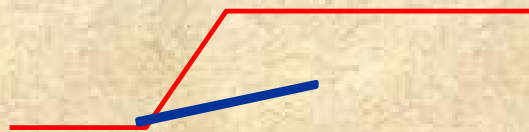
(Turnbull y Hvorslev, 1968)

ESQUEMA

MÉTODO APLICABLE

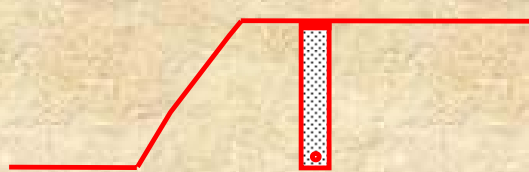
COMENTARIOS

II DRENAJE



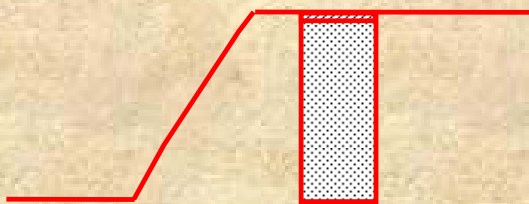
1. Drenes horizontales de pequeño diámetro.

1. Más efectivo si llega al acuífero natural. Los drenes son usualmente de flujo libre.



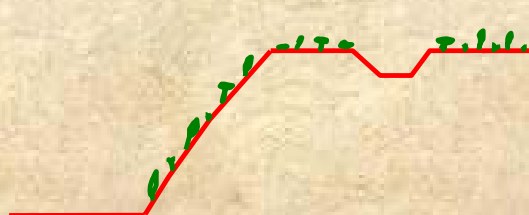
2. Zanjas de subdrenaje profundas y continuas. Generalmente a una profundidad de 5 a 15 pies.

2. El fondo de las zanjas deben tener pendiente para drenar y ser conectado con tubería de salida. Debe colocarse tubería perforada en el fondo de las zanjas. La parte superior deberá Impermeabilizarse.



3. Pozos verticales perforados, generalmente de 18.36 pulgadas de diámetro.

3. Puede ser bombeado o conectado con una salida de gravedad. Varios pozos en fila unidas al fondo pueden formar una galería de drenaje.



4. Mejora en el drenaje superficial a lo largo de la parte superior con cunetas abiertas o canales pavimentados. Sembrar plantas en el talud con raíces profundas y resistentes a la erosión.

4. Buena práctica para la mayoría de los taludes. Dirigir la descarga fuera de la masa deslizante.

MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN DE TALUDES Y DESLIZAMIENTOS

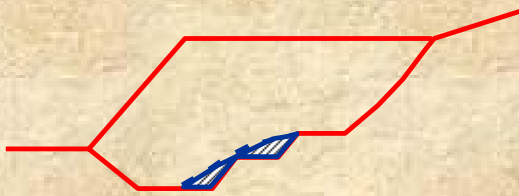
(Turnbull y Hvorslev, 1968)

ESQUEMA

MÉTODO APLICABLE

COMENTARIOS

III CONTRAFUERTE DE TIERRA O ROCA (O BERMAS DE RELLENO)



1. Excavación de la masa deslizada y reemplazo con relleno compactado o contrafuerte de roca triturada. El pie del contrafuerte debe reposar en suelo firme o roca por debajo del plano de deslizamiento. Se utiliza manto de drenaje con salida de flujo por gravedad detrás del talud del contrafuerte.

1. Se requiere acceso para el equipo de construcción y área de almacenaje. El suelo excavado puede utilizarse como relleno. Se puede requerir calzaduras de estructuras existentes. Si la estabilidad es crítica durante la construcción, se puede realizar en secciones cortas.



2. Utilización de bermas de relleno compactado o roca en el pie y más allá del pie. Debe proporcionarse drenaje detrás de la berma.

2. Se requiere suficiente ancho y espesor de las bermas de modo que la falla no ocurra por debajo o a través de las bermas.

MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN DE TALUDES Y DESLIZAMIENTOS

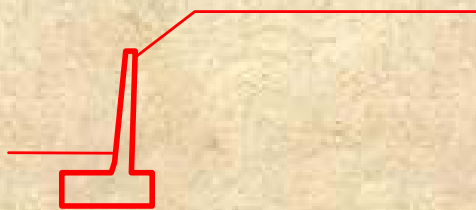
(Turnbull y Hvorslev, 1968)

ESQUEMA

MÉTODO APLICABLE

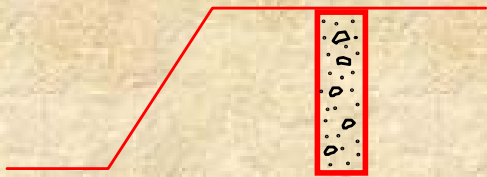
COMENTARIOS

IV ESTRUCTURAS DE RETENCIÓN



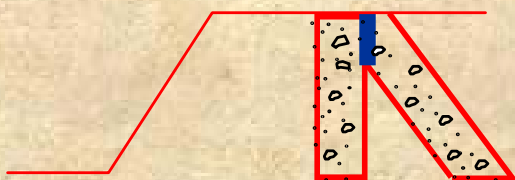
1. Muro de contención del tipo entramado o cantiliver.

1. Usualmente costoso. Los muros cantiliver pueden ser anclados.



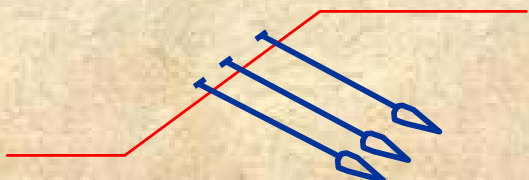
2. Pilotes verticales vaciados en sitio, con la base cimentada por debajo del plano de falla. Generalmente de diámetro de 18-36 pulgadas y espaciamiento de 4-8 pies.

2. El espaciamiento deberá ser tal que el suelo arquee entre pilotes. Puede utilizarse una viga superficial para amarrar los pilotes. Pilotes de gran diámetro (6 pies) han sido utilizados en deslizamientos profundos.



3. Pilotes verticales vaciados en sitio anclados o batería de pilotes o bloques de cimentación. La base de los pilotes por debajo del plano de falla. Generalmente de diámetro de 12-30 pulgadas y espaciamiento de 4-8 pies.

3. El espaciamiento lo suficientemente cerca para que el suelo arquee entre pilares. Los pilotes pueden ser amarrados con viga superficial.



4. Pernos de anclaje en roca y suelo.

4. Pueden ser usados en taludes altos y en áreas muy limitadas. Debe ser usado un diseño conservador, especialmente en soportes permanentes.

MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN DE TALUDES Y DESLIZAMIENTOS

(Turnbull y Hvorslev, 1968)

ESQUEMA

MÉTODO APLICABLE

COMENTARIOS

V TÉCNICAS ESPECIALES

- | | | |
|----|--------------------------------|--|
| 1. | Grouting | 1 y 2. Usados satisfactoriamente en varios casos. En otros casos no fue satisfactorio. La teoría no está completamente desarrollada. |
| 2. | Inyección Química | |
| 3. | Electromosis (en suelos finos) | 3. Generalmente costoso. |
| 4. | Congelamiento | 4 y 5. Métodos especiales que deben ser específicamente evaluados en cada caso. Puede ser costoso. |
| 5. | Calentamiento | |