



DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO
Facultad de Ingeniería

**ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES POR EL METODO
DE BISHOP**

MARTIN WASHINGTON ESQUIVEL ZAMORA

TRABAJO

Presentado a la División de Estudios de Posgrado de la
FACULTAD DE INGENIERIA
DE LA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

como requisito para obtener
el grado de
MAESTRO EN INGENIERIA

(**MECANICA DE SUELOS**)

EJEMPLAR UNICO

CIUDAD UNIVERSITARIA

AGOSTO 1991

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

RECONOCIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento al Dr. Gabriel Avinet Guichard, director del trabajo, así como a los miembros del comité revisor: Dr. Eulalio Juárez Badillo, Ing. Juan J. Hanell Campbell, M en I Jorge E. Castilla Camacho, Dr. Luis García Ramos.

A los profesores de la División de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, por transmitirme sus experiencias y conocimientos.

Asimismo, se agradece al Dr. Sergio Fuentes Maya por su constante motivación y autorización de los equipos de cómputo durante el desarrollo de este trabajo.

A mis colegas de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco - Perú por su constante apoyo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

A mi esposa, ILse, hijos Yhosimi y Witman
cuya comprensión y cariño nunca me faltaron, y
a mi madre, que si aún viviera, este trabajo
la habría hecho inmensamente feliz.

502131

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

C O N T E N I D O

LISTA DE SIMBOLOS

LISTA DE TABLAS

LISTA DE FIGURAS

Pág.

1 INTRODUCCION

2. BASES TEORICAS

1

2.1. ALGUNOS METODOS DE ANALISIS DE LA ESTABILIDAD
DE TALUDES.

1

2.1.1 Método de Culmann

2.1.1.1 Análisis para suelos friccionantes.

2.1.1.2 Análisis para arcillas.

2.1.2 Método Sueco (Fellenius)

2.1.3 Método de Spencer

2.1.4 Método simplificado de Janbu

2.1.5 Método riguroso de Janbu

2.2. METODO DE BISHOP

19

2.2.1 Bases del método.

2.2.2 Caso de taludes parcialmente sumergidos

2.3. METODO DE BISHOP CONSIDERANDO FUERZAS
VERTICAL Y HORIZONTAL DE SISMO.

31

2.3.1 Análisis pseudoestático.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.3.2	<i>Selección del coeficiente sísmico en el análisis pseudoestático.</i>	
2.3.3	<i>Importancia de la componente sísmica vertical.</i>	
2.3.4	<i>Método pseudoestático mejorado.</i>	
3.0	PROGRAMAS PARA COMPUTADORA	40
3.1.	PROGRAMA DE REVISION DE ESTABILIDAD DE TALUDES POR EL METODO DE BISHOP SIMPLIFICADO.	41
3.1.1	<i>Procedimiento de cálculo</i>	
3.1.2	<i>Características del programa</i>	
3.1.2.1	<i>Requerimientos para el uso del programa.</i>	
3.1.2.2	<i>Descripción del programa</i>	
3.2.	OTROS PROGRAMAS	47
3.2.1	<i>Programa para el método Sueco (Fellenius)</i>	
3.2.2	<i>Programa para el método de Bishop considerando las fuerzas vertical y horizontal del sismo.</i>	
3.2.3	<i>Programa para la revisión de la estabilidad de taludes. Método de Janbu simplificado.</i>	
3.2.4	<i>Programa para la revisión de la estabilidad de taludes. Método de Janbu riguroso.</i>	
3.2.5	<i>Programa para la revisión de la estabilidad de taludes por el método de Bishop considerando las fuerzas de filtración.</i>	
4.0	APLICACIONES.	59
5.0	CONCLUSIONES	65

REFERENCIAS

67

TABLAS

FIGURAS

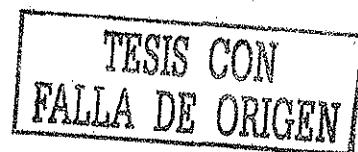
ANEXO I FIGURAS

ANEXO II *Cálculo de las fuerzas de filtración en un talud para el método Bishop.*

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

LISTA DE SIMBOLOS

A	Area del bloque que tiende a deslizarse (Culmann)
C	Fuerza potencial máxima resistente
c	Cohesión del material
c_n	Cohesión necesaria para el equilibrio
H	Altura del talud
l	Longitud de la superficie deslizante del bloque
N	Fuerza normal
S	Fuerza potencial máxima resistente que puede llegar a oponerse al movimiento
T	Fuerza que tiende a provocar el deslizamiento del talud
P	Fuerza normal total sobre la base de la dovela en una longitud l. (Fellenius)
S_m	Fuerza cortante movilizada
s	Esfuerzo cortante movilizado
c'	Cohesión en términos de esfuerzos efectivos
F	Factor de seguridad
R	Radio del arco circular
W	Peso total de la dovela de ancho b y altura h
x	Distancia horizontal desde la dovela al centro de rotación
f_o	Factor de corrección (Janbu simplificado)
E	Fuerza horizontal entre dovelas (Janbu riguroso)
T	Fuerza vertical entre dovelas. (Janbu riguroso)
E_n	Fuerzas horizontales entre dovelas (Bishop).
X_n	Fuerzas verticales entre dovelas (Bishop)
R_u	Relación de la presión de poro
K_o	Coefficiente sísmico
K_h	Coefficiente sísmico horizontal
K_v	Coefficiente sísmico vertical
FF	Fuerza de filtración



E_v	Fuerza del agua en la base de la dovela
W_T	Peso total de la dovela
W_v	Peso del agua
W_T	Peso efectivo de la dovela
α	Angulo que forma cada dovela con la superficie de falla
β	Angulo de inclinación del talud
u	Presión de poro
ϕ'	Angulo de fricción interna en término de esfuerzos efectivos
i	Inclinación de la fuerza de filtración
γ	Peso unitario del suelo
γ_v	Peso unitario del agua
τ	Esfuerzo cortante.
τ_F	Resistencia al esfuerzo cortante (Fellenius)
τ_B	Resistencia al esfuerzo cortante (Bishop)
σ_n	Esfuerzo normal total
σ'	Esfuerzo normal efectivo

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

LISTA DE TABLAS

- 1 Características geométricas del talud, superficie de falla, propiedades de los suelos y de cada dovela. Método de Bishop.
- 2 - 8 Resultados: valores de m_{α} , esfuerzos efectivos, esfuerzos totales, resistencias al cortante movilizadas y factor de seguridad para diferentes valores de r_u . Método de Bishop.
- 9 - 11 Momentos resistentes y motores; relación de esfuerzos cortantes, (Fellenius, Bishop) para diferentes ángulos de fricción interna.
- 12 - 16 Sección transversal del talud, valores de ΔE_0 y E_0 , fuerzas verticales, horizontales entre dovelas, esfuerzos cortantes y normales efectivos, para diferentes ubicaciones de la línea de empuje. Janbu riguroso.
- 17 Comparación de los factores de seguridad obtenidos por los diferentes métodos.
- 18 - 20 Factores de seguridad considerando fuerzas vertical y horizontal de sismo. Método de Bishop.
- 21 - 23 Fuerza de filtración con una dirección paralela a la línea superior de flujo (ángulo de inclinación constante), esfuerzos efectivos y factores de seguridad para diferentes valores de ϕ' .
- 24 - 26 Fuerza de filtración con dirección paralela a la línea superior de flujo (ángulo de inclinación variable), esfuerzos efectivos y factores de seguridad para diferentes valores de ϕ' .
- 27 Comparación de los factores de seguridad, gráficos de J. Kerisel y análisis por computadora.
- 28 Comparación de los factores de seguridad con la dirección de las fuerzas de filtración.

LISTA DE FIGURAS

- 1 Superficie de falla plana en suelos friccionantes.
- 2 Fuerzas que actúan sobre un talud.
- 3 Superficie de falla plana en arcillas (Culmann).
- 4 Fuerza entre dovelas, método Sueco (Fellenius).
- 5 Fuerzas actuantes para el método de las dovelas aplicado a una superficie de deslizamiento compuesta
- 6 Fuerzas en una dovela, método de Spencer.
- 7 Fuerzas en una dovela, método de Janbu simplificado.
- 8 Factores de corrección f_0 ; método de Janbu simplificado.
- 9 Notaciones usadas para el método de Janbu riguroso.
- 10 Fuerzas que actúan en una dovela; método de Janbu riguroso.
- 11(a-b) Fuerzas que actúan en una dovela, método de Bishop.
- 12 Equilibrio de una dovela; método de Bishop.
- 13 Talud parcialmente sumergido; método de Bishop
- 14 Fuerzas sísmicas horizontal y vertical en una dovela.
- 15 Espectro de pseudo velocidad a) El Centro, 1940
b) Talf. 1962. Componente Vertical, Chopra A (1966).
- 16 - 17 Coeficientes sísmicos en el análisis pseudoestático (Ambraseys 1960).
- 18 Determinación de la aceleración sísmica horizontal en cada dovela.
- 19 Requerimientos para el uso del programa, sección transversal de un talud.
- 20 - 23 Ejemplos de aplicación, sección transversal de un talud.
- 24 Esfuerzos a lo largo de la superficie de falla variación con la relación de poro \bar{B} ; método de Bishop.

- 25 *Relación entre el factor de seguridad, y relación de poro \bar{B} ; método de Bishop.*
- 26 *Influencia de la inclinación de la base de las dovelas en el análisis de estabilidad de taludes; método Fellenius-Bishop.*
- 27 - 30 *Influencia de la inclinación de la base de la dovela en la relación de resistencia al esfuerzo cortante método Fellenius/Bishop.*
- 31 *Factor de seguridad para diferentes superficies curvas de falla (Janbu Simplificado).*
- 32 - 33 *Factor de seguridad, Fuerzas horizontales E, verticales T, esfuerzos σ' y τ a lo largo de la superficie cortante (Janbu riguroso).*
- 34 *Influencia de la posición de la línea de empuje en el factor de seguridad (Janbu riguroso).*
- 35 *Comparación y variación del factor de seguridad, para los diferentes métodos de análisis con R_u .*
- 36 *Comparación y variación del factor de seguridad, para los diferentes métodos con $\tan\phi'$.*
- 37 *Variación del factor de seguridad con $\tan\phi'$; método de Bishop y Culmann.*
- 38a *Simplificación de los efectos dinámicos.*
- 38b *Dirección y ubicación de las fuerzas sísmicas en cada dovela.*
- 39 - 46 *Variación del factor de seguridad con $\tan\phi'$ y la dirección de la fuerza del sismo.*
- 47 - 49 *Variaciones de los coeficientes sísmicos K_h y K_v dentro de la altura del talud, para diferentes K_o .*
- 50 *Variación del factor de seguridad considerando las fuerzas de filtración.*

1. INTRODUCCION

El ingeniero geotécnico frecuentemente utiliza el método de análisis del equilibrio límite cuando estudia problemas de estabilidad de taludes.

El método de Bishop, que se analiza en este trabajo es uno de los más importantes en la práctica debido a que permite tomar en cuenta en forma sencilla la interacción entre dovelas. Se presentan asimismo, a título de comparación los métodos de Culmann, Fellenius, Spencer, Janbu simplificado y Janbu riguroso.

Se adapta el método de Bishop para poder considerar las fuerzas sísmicas horizontal y vertical. Se plantea la metodología para realizar análisis pseudoestáticos sustituyendo los efectos dinámicos por una fuerza estática equivalente expresada como un producto del coeficiente sísmico y el peso de la dovela ($K_h W$, $K_v W$), donde K_h y K_v varían con la altura dentro del talud.

Se desarrollan programas para computadora digital escritos en lenguaje de programación BASIC para calcular los esfuerzos normales efectivos, esfuerzos cortantes movilizados, a lo largo de la superficie de falla potencial, así como el factor de seguridad para los diferentes métodos indicados anteriormente.

En este trabajo se resuelven diversos casos de aplicación para comparar los factores de seguridad obtenidos por los diferentes métodos.

Los resultados permiten establecer evaluaciones como las presentadas en las figuras del anexo I donde se muestra la variación del factor de seguridad con la magnitud de la presión de poro, y los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante, así como a distribución de los esfuerzos normales efectivos, esfuerzos cortantes movilizadas, a lo largo de la superficie de falla.

En el anexo II se presenta con base en el método de Bishop un análisis de la estabilidad de un talud, cuando se hace intervenir las fuerzas de filtración que actúan en cada dovela, con una dirección e inclinación que varía de acuerdo a la línea superior de flujo (constante o variable). Las ecuaciones del factor de seguridad bajo estas condiciones se encuentran también programadas (se adjunta el listado anexo II).

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES POR EL METODO
DE BISHOP

2.0 BASES TEORICAS

2.1 ALGUNOS METODOS DE ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES

EL análisis del equilibrio límite es la base de la mayoría de los métodos disponibles para analizar la estabilidad de taludes. Este método ignora la relación esfuerzo-deformación del suelo y solamente considera las condiciones del equilibrio límite. Los elementos básicos para el análisis del equilibrio límite son los siguientes:

- 1). Se atribuye a la superficie de falla una forma determinada (plana, circular o espiral logarítmica)
- 2). Se considera como válido un análisis bidimensional, correspondiendo a un estado de deformación plana
- 3). Se acepta que, en el momento de la falla, la resistencia al cortante se moviliza completamente y en forma simultánea en todos los puntos de la superficie de deslizamiento.

Los problemas de estabilidad de taludes, capacidad de carga,

empujes de tierra requieren la determinación del coeficiente de seguridad respecto a la rotura, y su solución se obtiene comparando dos conjuntos de fuerzas: las fuerzas que tienden a producir la rotura y las que tienden a impedirla. Esta operación se llama cálculo de estabilidad.

Por tanto se estudia el equilibrio del talud:

- 1) Suponiendo un mecanismo de falla.
- 2) Suponiendo una ley de resistencia del material.
- 3) Escribiendo el equilibrio de las fuerzas motrices y de las fuerzas resistentes divididas por el factor de seguridad.

2.1.1 METODO DE CULMANN (Historia) 1886

1.- Hipótesis: superficie de falla plana que pasa por el pie del talud (fig. 1).

2.- Ley de resistencia del material :

a) Para suelos friccionantes (arenas, gravas)
 $s = \sigma \tan \phi$

b) Para suelos puramente cohesivos arcillas
 $s=c$ (ensayos de pruebas triaxiales no drenadas, con cargas rápidas que no ocasionen cambios en sus características).

2.1.1.1 Análisis para suelos friccionantes

Talud y cimentación de arena, superficie de falla plana.

En cuanto a las fuerzas que actúan en el talud (fig 2) tenemos: la fuerza motora ($F_m = T$) y la fuerza resistente ($F_r = S$) en la que:

F_m = fuerza que tiende a provocar el deslizamiento del talud.

F_r = fuerza potencial máxima resistente que puede llegar a oponerse al movimiento.

De la fig. 2 se tiene:

$$T = W \operatorname{sen} \beta \quad 2.1$$

$$S = N \tan \phi \quad 2.2$$

$$N = W \operatorname{cos} \beta \quad 2.3$$

Se debe tener para el equilibrio:

$$T < S \quad W \operatorname{sen} \beta < W \operatorname{cos} \beta \tan \phi$$

El factor de seguridad es:

$$F_s = S/T \quad 2.4$$

Sustituyendo valores de S, T en la ec. 2.4 se tiene:

$$F_s = \frac{W \operatorname{cos} \beta \tan \phi}{W \operatorname{sen} \beta} \quad 2.5$$

El plano es crítico cuando β alcanza el valor máximo β_{\max} .

El factor de seguridad F_s es entonces mínimo, de manera que $\beta_{\max} = \theta$; F_s es por tanto:

$$F_s = \tan \phi / \tan \theta \quad 2.6$$

Esto implica que la superficie de falla en arenas y gravas es la superficie del talud. El talud será siempre estable, cuando $\tan \theta < \tan \phi$ es decir: $\theta < \phi$.

2.1.1.2 Análisis para arcillas.

Se hace la hipótesis de que la superficie de falla es plana (fig. 3). El suelo se considera puramente cohesivo. Para que una cuña determinada esté en equilibrio se debe cumplir que $T < C$. El estado de equilibrio se cumple cuando $T = C$.

Por tanto:

$$C = c_n l \quad 2.7$$

Donde:

C = fuerza potencial máxima resistente.

c_n = cohesión necesaria para el equilibrio.

T = fuerza que tiende a provocar el deslizamiento del talud.

$$\text{Además :} \quad T = W \operatorname{sen} \beta \quad 2.8$$

De la fig. 3 se tiene:

$$C = \frac{c_n H}{\operatorname{sen} \beta}$$

Como el peso del suelo W es:

$$W = A \gamma_m \quad 2.9$$

A = area del bloque que tiende a deslizarse

$$\text{donde:} \quad A = \frac{H^2 \operatorname{sen}(\theta - \beta)}{2 \operatorname{sen} \beta \operatorname{sen} \theta} \quad 2.10$$

La igualdad $T = C$ puede entonces escribirse:

$$\frac{H^2 \gamma_m \operatorname{sen} \beta \operatorname{sen}(\theta - \beta)}{2 \operatorname{sen} \beta \operatorname{sen} \theta} = \frac{c_n H}{\operatorname{sen} \beta} \quad 2.11$$

$$y : \quad c_n = \frac{1}{2} H \gamma_m \frac{\text{sen} \beta \text{ sen}(\theta - \beta)}{\text{sen} \theta} \quad 2.12$$

El factor de seguridad F_s está definido por la expresión:

$$F_s = \frac{c}{c_n}$$

donde c es la cohesión del material.

Además, de la ec. 2.12 se tiene que:

$$\text{si} \quad \begin{array}{ll} \beta = \theta & c_n = 0 \\ \beta = 0 & c_n = 0 \end{array}$$

La superficie crítica de falla es aquella en que la cohesión necesaria c_n es máxima. Igualando a cero la derivada con respecto a β :

$$\frac{\partial}{\partial \beta} \left(\frac{\text{sen} \beta \text{ sen}(\theta - \beta)}{\text{sen} \theta} \right) = 0$$

$$\text{sen} \beta \frac{\partial}{\partial \beta} \text{sen}(\theta - \beta) + \text{sen}(\theta - \beta) \frac{\partial}{\partial \beta} \text{sen} \beta = 0$$

$$-\text{sen} \beta \cos(\theta - \beta) + \text{sen}(\theta - \beta) \cos \beta = 0$$

$$\tan \beta = \tan(\theta - \beta)$$

$$\beta = \frac{\theta}{2} \quad 2.13$$

sustituyendo este valor de β en la ec. 2.12 se obtiene:

- Se considera aplicable la ley de resistencia de Mohr-Coulomb.
- En el momento de la falla, la resistencia al corte se moviliza completamente y en forma simultánea en todos los puntos de la superficie de deslizamiento.
- No existe interacción entre dovelas. Se considera que cada una de ellas actúa en forma independiente de las demás.
- El factor de seguridad se define como la relación entre la resistencia al corte disponible, y el esfuerzo cortante medio, necesario para el equilibrio a lo largo de la superficie crítica de deslizamiento.

Además, adopta la hipótesis de que los efectos de las fuerzas laterales E_R y E_L (fig. 4 y 5) se contrarrestan; se considera que estas dos fuerzas son iguales, colineales y contrarias. Asimismo, se acepta que el momento que origina X_R y X_L , que se consideran de igual magnitud, es despreciable. Estas hipótesis equivalen a considerar que cada dovela actúa en forma independiente de las demás y que P y S_m equilibran a W .

En la fig. 5 se muestra las fuerzas que intervienen para analizar la estabilidad de un talud para un caso general. Las variables asociadas con cada dovela son definidas como:

W = peso total de la dovela de ancho b y altura h .

P = fuerza normal total sobre la base de la dovela en una longitud l .

S_m = fuerza cortante movilizada en la base de la dovela, definida por la ecuación de Mohr-Coulomb.

$$S_m = \frac{l}{F} \left\{ c' + \left[\frac{P}{l} - u \right] \tan \phi' \right\}$$

donde:

c' = cohesión en términos de esfuerzos efectivos.

ϕ' = ángulo de fricción interna en términos de esfuerzos efectivos.

F = factor de seguridad.

u = presión de poro.

R = brazo del momento asociado con la fuerza cortante movilizada S_m .

f = línea perpendicular de la fuerza normal desde el centro de rotación.

α = ángulo entre la tangente y la horizontal para el centro de la base de cada dovela.

x = distancia horizontal desde la dovela al centro de rotación

E = fuerza horizontal entre dovelas.

L = subíndice asignado al lado izquierdo.

R = subíndice asignado al lado derecho.

X = fuerza vertical entre dovelas

k = coeficiente sísmico estimado para una fuerza dinámica horizontal

e = distancia vertical desde el centro de cada dovela al centro de rotación.

Una carga uniforme sobre la superficie puede ser tomada como una capa de suelo con peso unitario apropiado. Las variables necesarias para definir la línea de carga son:

L = línea de carga (fuerza por unidad de ancho).

ω = ángulo que forma la línea de carga con la horizontal.

d = distancia perpendicular desde la línea de carga al centro de rotación.

Para el caso de taludes parcialmente sumergidos se requiere la definición adicional de las variables:

A = fuerza resultante del agua

a = distancia perpendicular desde la fuerza resultante del agua al centro de rotación.

La fuerza normal sobre la base de cada dovela se obtiene de sumatoria de fuerzas perpendiculares a la base o de la sumatoria de fuerzas en la dirección vertical y horizontal respectivamente. De la fig. 5 se tiene:

$$\sum F_v = 0$$

$$W - P \cos \alpha - S_m \sin \alpha = 0 \quad 2.18$$

$$\sum F_H = 0$$

$$S_m \cos \alpha - P \sin \alpha - kW = 0 \quad 2.19$$

De la ec. 2.19 se obtiene:

$$S_m = \frac{P \sin \alpha}{\cos \alpha} + \frac{kW}{\cos \alpha} \quad 2.20$$

Sustituyendo el valor de S_m en la ec. 2.18 se tiene:

$$P = W \cos \alpha - kW \sin \alpha \quad 2.21$$

Tomando momentos de todas las fuerzas que actúan sobre dicho bloque (fig. 5) respecto al centro del círculo, resulta:

$$\sum M_o = 0$$

$$\sum W x - \sum S_m R - \sum P r + \sum k W e \pm A a + L d = 0 \quad 2.22$$

como :
$$S_m = \frac{l}{F} \{ c' + [\frac{P}{l} - u] \tan \phi' \}$$

Sustituyendo el valor de S_m en la ec. 2.22 y despejando F , se obtiene :

$$F = \frac{\sum \{ c' l R + (P - u l) \tan \phi' R \}}{\sum W x - \sum P r + \sum k W e \pm A a + L d} \quad 2.23$$

2.1.3 . METODO DE SPENCER.

Spencer (1967) desarrolla dos expresiones para el factor de seguridad. Una con base en el equilibrio de momentos y la otra con base en el equilibrio de fuerzas. La ecuación de momentos (ec. 2.22) y la ecuación del factor de seguridad (ec 2.23) son las mismas que en el método de Fellenius.

Además, establece una relación entre la magnitud de la fuerza cortante y normal entre dovelas.

$$\tan\theta = \frac{X_L}{E_L} = \frac{X_R}{E_R} \quad 2.24$$

Donde:

θ = ángulo de la resultante de las fuerzas entre dovelas a partir de la horizontal.

Para obtener la fuerza normal en cada dovela se realiza la sumatoria de fuerzas en dirección vertical y horizontal, de la fig. 6 se tiene:

$$\begin{aligned} \sum F_v &= 0 \\ W - (X_R - X_L) - P \cos\alpha - S_m \sin\alpha &= 0 \end{aligned} \quad 2.25$$

$$\sum F_H = 0$$

$$E_L - E_R + P \sin\alpha - S_m \cos\alpha + kW = 0 \quad 2.26$$

$$\text{como: } S_m = \frac{l}{F} [c' + (\frac{P}{l} - w) \tan\phi']$$

$$\text{de la ec. 2.24 se tiene que: } X_L = E_L \tan\theta \text{ y } X_R = E_R \tan\theta$$

Sustituyendo los valores de S_m , X_L y X_R en la ec. 2.25 se obtiene la fuerza normal P :

$$P = [W - (E_R - E_L) \tan\theta - \frac{c' l}{F} \sin\alpha + \frac{ul}{F} \sin\alpha \tan\phi'] / m_\alpha \quad 2.27$$

donde:

$$m_\alpha = \cos\alpha + \frac{\sin\alpha \tan\phi'}{F}$$

La ecuación del factor de seguridad con base en el equilibrio de fuerzas puede ser también derivada de la sumatoria de

fuerzas en la dirección horizontal (fig. 6).

$$\sum F_H = 0$$

$$\sum (E_L - E_R) + \sum P \text{sen} \alpha - \sum S_m \text{cos} \alpha + \sum kW + A - L \text{cos} \omega = 0 \quad 2.28$$

Las fuerzas horizontales ($E_L - E_R$) entre dovelas, pueden ser canceladas y la ecuación del factor de seguridad con respecto a la fuerza de equilibrio se reduce a:

$$F_f = \frac{\sum \{c' l \text{cos} \alpha + (P - \mu l) \text{cos} \alpha \tan \phi'\}}{\sum P \text{sen} \alpha + \sum kW + A - L \text{cos} \alpha} \quad 2.29$$

2.1.4 METODO SIMPLIFICADO DE JANBU.

En la práctica son frecuentes los taludes que se deslizan sobre superficies que difieren mucho de la forma circular. Para resolver estos taludes de topografías irregulares y superficies de deslizamientos irregulares, Janbu desarrolló este método con base en el método simplificado de Bishop. El método tiene dos variaciones con respecto al método de Bishop:

- 1). Se considera una superficie de falla no circular.
- 2). Introduce un factor de corrección f_o para representar la influencia de la fuerza cortante entre dovelas sobre el factor de seguridad.

El factor de corrección f_o está relacionado con la cohesión, el ángulo de fricción interna, y la forma de la superficie de falla. La fuerza normal se obtiene de la sumatoria de las fuerzas verticales (ec. 2.25) sin considerar las fuerzas

cortantes entre dovelas. De la fig. 7 se tiene:

$$\Sigma F_v = 0$$

$$W - P \cos \alpha - S_m \operatorname{sen} \alpha = 0$$

$$\text{como: } S_m = \frac{1}{F} l \{ c' + (P/l - u) \tan \phi' \}$$

$$W - P \cos \alpha - \frac{1}{F} l \{ c' + (P/l - u) \tan \phi' \} \operatorname{sen} \alpha = 0$$

$$W - \frac{1}{F} c' l \operatorname{sen} \alpha + \frac{1}{F} u \operatorname{sen} \alpha \tan \phi' = P (\cos \alpha + \frac{1}{F} \operatorname{sen} \alpha \tan \phi')$$

$$\text{además } m_\alpha = \cos \alpha + \operatorname{sen} \alpha \tan \phi' / F$$

Entonces:

$$P = [W - \frac{1}{F} c' l \operatorname{sen} \alpha + \frac{1}{F} u \operatorname{sen} \alpha \tan \phi'] / m_\alpha \quad 2.30$$

El equilibrio de las fuerzas horizontales (ec. 2.28) es utilizado para obtener el factor de seguridad. En esta ecuación las fuerzas entre dovelas tampoco son consideradas y por tanto la ecuación es:

$$F = f_o F_o$$

donde:

$$F_o = \frac{\Sigma \{ c' l \cos \alpha + (P - ul) \tan \phi' \cos \alpha \}}{\Sigma P \operatorname{sen} \alpha + \Sigma kW + A - L \cos \alpha} \quad 2.31$$

Para evaluar el factor de corrección f_o se puede utilizar la gráfica 8 o calcular f_o en función del tipo de suelo:

■ Para $c > 0$ y $\phi > 0$

$$f_o = 1 + 0.5[d/L - 1.4(d/L)^2] \quad 2.32$$

■ Para $c = 0$

$$f_o = 1 + 0.3[d/L - 1.4(d/L)^2] \quad 2.33$$

2.1.5 METODO RIGUROSO DE JANBU.

El método riguroso de Janbu para un caso general utiliza las siguientes hipótesis básicas:

- 1).-El análisis es bidimensional y corresponde a un estado de deformación plana.
- 2).-Es aplicable la ley de resistencia del material expresada por la ecuación de Coulomb.

$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi \quad 2.34$$

Donde c y $\tan \phi$ son parámetros de resistencia al esfuerzo cortante, y σ es el esfuerzo normal total en la superficie de falla, pero cuando el análisis es en términos de esfuerzos efectivos los parámetros de resistencia son expresados como c' y ϕ' por lo que la ec. 2.34 se convierte en:

$$\tau_f = c' + \sigma' \tan \phi' \quad 2.35$$

- 3).-El equilibrio del esfuerzo cortante a lo largo de la superficie cortante está definido por la ecuación:

$$\tau = \frac{\tau_f}{F} \quad 2.36$$

Donde:

τ_f = resistencia al esfuerzo cortante (disponible)
 F = factor de seguridad.

- 4).-La resultante ΔN total actúa donde la fuerza $\Delta W = \Delta W\gamma + q\Delta x + \Delta p$ intersecta la base (fig 10).
- 5).-Asume que el punto en el que actúan las fuerzas entre dovelas es definido por una "línea de empuje".

El análisis se inicia al seleccionar una superficie de falla posible, dividiendo la masa de suelo en un número apropiado de dovelas (5-10 para casos prácticos).

De la forma y ubicación de la superficie de deslizamiento se obtiene para cada dovela:

- .El ángulo α que forma cada dovela con la superficie de falla.
- .El ancho de cada dovela Δx .
- .El esfuerzo vertical total en la base de cada dovela es:

$$p = \frac{\Delta W}{\Delta x} = \gamma z + q + \Delta p / \Delta x \quad 2.37$$

- .Los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante son conocidos, y sus valores pueden ser diferentes de dovela a dovela.
- .Las fuerzas horizontales ubicadas en la superficie del terreno (cargas inclinadas) o en el interior de la masa del suelo (fuerzas de sismo) pueden ser tomadas en cuenta. La magnitud de la fuerza horizontal es asignada como ΔQ , y z_Q es la distancia desde la superficie de falla al punto donde actúa ΔQ (fig. 10).
- . h_t = distancia vertical entre la superficie de falla y la línea de empuje.
- . α_t = ángulo de la línea de empuje en cada dovela.

Las condiciones para el equilibrio estático se cumplen para toda la masa deslizante (fig. 9) o para cada dovela en forma individual (fig. 10).

Las ecuaciones para calcular el esfuerzo normal σ , las fuerzas entre dovelas ΔE , T , y el factor de seguridad a lo largo de la superficie de falla se obtienen de:

$$\sum F_v = 0 \quad 2.38$$

$$\Delta W + \Delta T = \Delta N \cos \alpha + \Delta S \operatorname{sen} \alpha \quad 2.39$$

$$\sum F_H = 0$$

$$\Delta E - \Delta Q = \Delta N \operatorname{sen} \alpha - \Delta S \cos \alpha \quad 2.40$$

ΔN se determina de la ec. 2.39

$$\Delta N = (\Delta W + \Delta T) \operatorname{seca} - \Delta S \operatorname{tana}$$

Como : $\Delta N = \sigma \Delta l$, $\Delta S = \tau \Delta l$, $\Delta l = \Delta x \operatorname{seca}$

y
$$\sigma = \frac{\Delta N}{\Delta l} = \frac{(\Delta W + \Delta T) \operatorname{seca} - \Delta S \operatorname{tana}}{\Delta x \operatorname{seca}}$$

Además : $p = \Delta W / \Delta x$, y $t = \Delta T / \Delta x$

$$\sigma = p + t - \tau \operatorname{tana} \quad 2.41$$

Para obtener ΔE , se determina ΔN de la ec. 2.39 y se sustituye en la ec. 2.40

$$\Delta E = \Delta Q + \left[\left(\frac{\Delta W + \Delta T}{\cos \alpha} \right) - \Delta S \operatorname{tana} \right] \operatorname{sen} \alpha - \Delta S \cos \alpha$$

$$\Delta E = \Delta Q + (\Delta W + \Delta T)\tan\alpha - \Delta S\sec$$

$$\text{Como : } \Delta S = \tau \Delta l = \tau \Delta x \sec\alpha, \Delta W = p \Delta x \text{ y } \Delta T = t \Delta x$$

Finalmente se tiene:

$$\Delta E = \Delta Q + (p+t)\Delta x \tan\alpha - \tau \Delta x (1 + \tan^2\alpha) \quad 2.42$$

Para la superficie de contacto "i" entre dovelas a una distancia arbitraria desde el punto "a" (fig. 9) se obtiene la fuerza lateral E_i por la formula:

$$E_i = E_a + \sum^i \Delta E \quad 2.43$$

La fuerza vertical en la misma superficie de contacto "i" se obtiene del momento respecto al punto de aplicación ΔN (fig. 10)

$$\begin{aligned} & \frac{(T+\Delta T)\Delta x}{2} + \frac{T\Delta x - (E+\Delta E)[(h_t - \Delta y_t) + \frac{\Delta x \tan\alpha}{2}] + E[h_t + \frac{\Delta x \tan\alpha}{2}]}{2} \\ & \Delta Q(z_a + \frac{\Delta x \tan\alpha}{2}) \end{aligned} \quad 2.44$$

y sin considerar los términos de segundo orden se tiene:

$$T = -E_i \frac{\Delta y_t}{\Delta x} + h_t \frac{\Delta E}{\Delta x} - z_a \frac{\Delta Q}{\Delta x} \quad 2.45$$

Donde $\tan\alpha_t = dy_t/dx$. En una superficie de contacto vertical, la fuerza T es determinada por la ec. 2.45 cuando los límites de dE/dx y dQ/dx de la relación $\Delta E/\Delta x$, $\Delta Q/\Delta x$ son empleados:

$$T_i = -E_i \tan \alpha_{ii} + h_{ii} \left(\frac{dE}{dx} \right)_i - z_{ai} \left(\frac{dQ}{dx} \right)_i \quad 2.46$$

donde el subíndice i se refiere a la sección i .

La ecuación del factor de seguridad F se obtiene de la suma de las fuerzas horizontales ec. 2.42

$$\Delta E = \Delta Q + (p+t)\Delta x \tan \alpha - \tau \Delta x (1 + \tan^2 \alpha) \quad 2.47$$

$$\text{Además: } \sum \Delta E = E_b - E_a$$

Introduciendo $\tau = \frac{\tau_f}{F}$ en la ec. 2.47 se obtiene:

$$F = \frac{\sum_a^b \tau_f \Delta x (1 + \tan^2 \alpha)}{E_a - E_b + \sum [\Delta Q + (p+t)\Delta x \tan \alpha]} \quad 2.48$$

En las expresiones anteriores:

E = fuerza horizontal total entre dovelas con valores límites de E_a y E_b .

ΔN = fuerza normal total en la base de la dovela.

p = esfuerzo vertical total en la base de cada dovela.

ΔQ = fuerza horizontal (cargas inclinadas, fuerzas de sismo)

T = fuerza vertical entre dovelas, con valores límite de T_a y T_b .

ΔW = peso total de cada dovela.

Δx = ancho de la dovela.

σ = esfuerzo normal total.

2.2 METODO DE BISHOP.

2.2.1 BASES DEL METODO.

El método de Bishop (1955) es otra versión del método de las dovelas, por consiguiente, se basa en hipótesis similares a las aceptadas por Fellenius (1936)

El método consiste en elegir un círculo tentativo (fig.11) y en subdividir la masa deslizante en un número de dovelas verticales. Considerando el equilibrio de la masa del suelo (de un espesor unitario) limitada por un arco circular ABCD, de radio R y centro O (fig 11), cada dovela, como la No 4 indicada en la fig 12, está solicitada por las siguientes fuerzas:

E_n, E_{n+1} = resultantes de fuerzas horizontales en la sección n y n+1 respectivamente

X_n, X_{n+1} = fuerza cortante vertical.

W = peso total de la dovela de suelo.

P = fuerza normal total actuando en la base.

S = fuerza cortante que actúa en la base

h = altura del elemento

b = ancho del elemento.

l = longitud de BC.

α = ángulo entre BC y la horizontal.

x = distancia horizontal de la dovela al centro de rotación.

El esfuerzo normal total es σ_n , donde:

$$\sigma_n = \frac{P}{l}$$

2.50

La magnitud de la resistencia al esfuerzo cortante movilizada para satisfacer las condiciones de equilibrio límite es s , donde:

$$s = \frac{1}{F} \left\{ c' + \left(\frac{P}{l} - u \right) \tan \phi' \right\} \quad 2.51$$

La fuerza cortante S que actúa en la base es igual a sl , tomando momentos de todas las fuerzas que actúan sobre dicho bloque respecto al centro O del círculo, resulta:

$$\sum W \cdot x = \sum S \cdot R = \sum s \cdot l \cdot R \quad 2.52$$

Reemplazando el valor de la ec. 2.51 en la ec. 2.52 se tiene que:

$$\sum Wx = \sum R \frac{1}{F} \left\{ c' + \left(\frac{P}{l} - u \right) \tan \phi' \right\} l$$

$$F = \frac{R}{\sum Wx} \left\{ c' l + (P - \mu l) \tan \phi' \right\} \quad 2.53$$

Del equilibrio de la dovela sobre BC (fig 12) obtenemos P resolviendo en una dirección normal a la superficie de deslizamiento.

$$P - (W + X_n - X_{n+1}) \cos \alpha + E_n \operatorname{sen} \alpha - (E_{n+1}) \operatorname{sen} \alpha = 0$$

$$P = (W + X_n - X_{n+1}) \cos \alpha - (E_n - E_{n+1}) \operatorname{sen} \alpha \quad 2.54$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Sustituyendo este valor de P en la ec. 2.51. se obtiene el factor de seguridad F :

$$F = \frac{R}{\sum Wx} \sum [c'l + (W \cos \alpha - ul) \tan \phi' + \tan \phi' \{ (X_n - X_{n+1}) \cos \alpha - (E_n - E_{n+1}) \sin \alpha \}] \quad 2.55$$

Cuando no existe una fuerza externa sobre la superficie del talud resulta que:

$$\sum (X_n - X_{n+1}) = 0 \quad 2.56$$

$$\sum (E_n - E_{n+1}) = 0$$

Sin embargo, en el caso que ϕ' es constante a lo largo de la superficie de deslizamiento y α es también constante (una superficie de deslizamiento plano), los términos X_n y E_n incluídos en la ec. 2.55 no desaparecen.

Una forma simplificada de análisis, sugerida por Terzaghi (1929) es que la suma de los términos siguientes:

$$\sum \tan \phi' \{ (X_n - X_{n+1}) \cos \alpha - (E_n - E_{n+1}) \sin \alpha \}$$

puede ser despreciada sin pérdida en la precisión. Este es el método usado por el U.S. Bureau of Reclamation (Daehn y Hilf, 1951).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Como $x = R \operatorname{sen} \alpha$, una expresión simplificada del factor de seguridad es :

$$F = \frac{1}{\sum W \operatorname{sen} \alpha} \sum [c'l + \tan \phi' (W \operatorname{cosec} \alpha - ul)] \quad 2.57$$

En el diseño y construcción de presas de tierra, las presiones de poro son frecuentemente expresadas como funciones del peso total de la columna sobre el punto considerado.

$$u = \bar{B} (W/b) \quad 2.58$$

Donde \bar{B} es un parámetro del suelo basado en datos de campo o ensayos de laboratorio. En la práctica, este valor de \bar{B} varía a lo largo de la superficie de deslizamiento; sin embargo, para diseños preliminares, es conveniente usar un valor medio constante para toda la zona impermeable.

En este caso, como $l = b \operatorname{cosec} \alpha$, la expresión del factor de seguridad se simplifica a:

$$F = \frac{1}{\sum W \operatorname{sen} \alpha} \sum [c'l + \tan \phi' W (\operatorname{cosec} \alpha - \bar{B} \operatorname{cosec} \alpha)] \quad 2.59$$

Esta expresión (2.59) permite el cálculo rápido y directo del valor de F , cuando se requiere localizar la superficie de falla más crítica entre varios círculos tentativos. Estos valores son en general conservadores y pueden conducir a un diseño antieconómico, especialmente cuando las superficies de deslizamientos son profundas y el ángulo α tiene una gran variación.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Para obtener un método de análisis que evite esos errores, es conveniente regresar a la ec. 2.53, cuando se denota la fuerza normal efectiva (P-ul) por P' y realizando la suma de fuerzas que actúan sobre la dovela en dirección vertical, se tiene:

$$\sum F_v = 0$$

$$W + (X_n - X_{n+1}) - (ul - P') \cos \alpha - \left[\frac{c'l}{F} + \frac{P'}{F} \tan \phi' \right] \text{sen} \alpha = 0$$

$$P' \cos \alpha + \frac{P'}{F} \tan \phi' \text{sen} \alpha = W + (X_n - X_{n+1}) - ul \cos \alpha - \frac{c'l}{F} \text{sen} \alpha$$

como: $m_\alpha = \cos \alpha + \frac{\tan \phi' \text{sen} \alpha}{F}$

$$P' = \frac{W + (X_n - X_{n+1}) - l \left(\mu \cos \alpha + \frac{c'}{F} \text{sen} \alpha \right)}{m_\alpha} \quad 2.60$$

Sustituyendo el valor de P' en la ec. 2.53, y como $l = b \text{sen} \alpha$, se tiene que:

$$F = \frac{R}{\sum Wx} \sum \left[\frac{c'l + \left\{ W + (X_n - X_{n+1}) - l \left(\mu \cos \alpha + \frac{c'}{F} \text{sen} \alpha \right) \right\} \tan \phi'}{\cos \alpha + \frac{\tan \phi' \text{sen} \alpha}{F}} \right]$$

$$F = \frac{R}{\sum Wx} \sum \left[\frac{c'l \left(\cos \alpha + \frac{\tan \phi' \text{sen} \alpha}{F} \right) + \left\{ W + (X_n - X_{n+1}) - l \left(\mu \cos \alpha + \frac{c'}{F} \text{sen} \alpha \right) \right\} \tan \phi'}{\cos \alpha + \frac{\tan \phi' \text{sen} \alpha}{F}} \right]$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Además, como $x = R \operatorname{sen} \alpha$ se tiene:

$$F = \frac{1}{\sum W \operatorname{sen} \alpha} \sum \left[\frac{c' l \operatorname{cosec} \alpha + \tan \phi' W - l \operatorname{cosec} \alpha \tan \phi' + \tan \phi' (X_n - X_{n+1})}{\operatorname{cosec} \alpha + \frac{\tan \phi' \operatorname{sen} \alpha}{F}} \right]$$

De la ec. 2.58, se tiene el valor de la presión de poro u por tanto la expresión del factor de seguridad es:

$$F = \frac{1}{\sum W \operatorname{sen} \alpha} \sum \left[\frac{[c' b + \tan \phi' \{W - (b/\operatorname{cosec} \alpha) B (W/b) \operatorname{cosec} \alpha\} + \tan \phi' (X_n - X_{n+1})]}{\operatorname{cosec} \alpha + \frac{\tan \phi' \operatorname{sen} \alpha}{F}} \right]$$

$$F = \frac{1}{\sum W \operatorname{sen} \alpha} \sum \left[\frac{[c' b + \tan \phi' \{W(1 - \bar{B}) + (X_n - X_{n+1})\}]}{\operatorname{cosec} \alpha + \frac{\tan \phi' \operatorname{sen} \alpha}{F}} \right]$$

$$F = \frac{1}{\sum W \operatorname{sen} \alpha} \sum \left[\frac{[c' b + \tan \phi' \{W(1 - \bar{B}) + (X_n - X_{n+1})\}]}{1 + \frac{\tan \phi' \operatorname{sen} \alpha}{F}} \right] \frac{1}{\operatorname{cosec} \alpha}$$

$$F = \frac{1}{\sum W \operatorname{sen} \alpha} \sum \left\{ [c' b + \tan \phi' (W(1 - \bar{B}) + (X_n - X_{n+1}))] \frac{\operatorname{seca}}{1 + \frac{\tan \phi' \operatorname{tana}}{F}} \right\}$$

2.61

Los valores de $(X_n - X_{n+1})$ utilizadas en las expresiones

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

anteriores se encuentran por aproximaciones sucesivas y debe satisfacer las condiciones dadas en la ec. 2.56. Además, la posición de la línea de empuje entre dovelas debe ser razonable, y no crear momentos de desequilibrio.

La condición $\sum (X_n - X_{n+1}) = 0$ puede ser satisfecha por una selección apropiada de los valores de X_n .

En cuanto a la $\sum (E_n - E_{n+1})$ se obtiene resolviendo las fuerzas en la dirección de S (fig. 12), se obtiene:

$$(W + X_n - X_{n+1}) \operatorname{sen} \alpha + \operatorname{cosec} \alpha E_n - \operatorname{cosec} \alpha E_{n+1} = S$$

$$(E_n - E_{n+1}) \operatorname{cosec} \alpha = S - [W + (X_n - X_{n+1})] \operatorname{sen} \alpha.$$

$$(E_n - E_{n+1}) = S \operatorname{seca} - [W + (X_n - X_{n+1})] \operatorname{tana} \quad 2.62$$

La nueva ec. 2.61 se puede escribir de la siguiente manera:

$$F = \frac{1}{\sum W \operatorname{sen} \alpha} \sum [m] \quad 2.63$$

$$S = \frac{m}{F} \quad 2.64$$

Donde:

$$\sum (E_n - E_{n+1}) = \sum \left[\frac{m}{F} \operatorname{seca} - (W + X_n - X_{n+1}) \operatorname{tana} \right].$$

Los valores de X_n pueden satisfacer la condición de que:

$$\sum \left[\frac{m}{F} \operatorname{seca} - (W + X_n - X_{n+1}) \operatorname{tana} \right] = 0 \quad 2.65$$

En la práctica, un valor inicial de F es obtenido por la ec. 2.61 con la hipótesis de que $(X_n - X_{n+1}) = 0$.

El uso del valor $(X_n - X_{n+1}) = 0$ satisface la ec. 2.56, pero no la ec. 2.65. Los valores de $(X_n - X_{n+1})$ son introducidos para satisfacer la ec. 2.65. Estos valores pueden ser finalmente ajustados por aproximaciones sucesivas hasta que las condiciones de equilibrio sean satisfechas para cada dovela.

2.2.2 CASO DE TALUDES PARCIALMENTE SUMERGIDOS.

En el caso de taludes parcialmente sumergidos se desarrollan presiones de poros a lo largo de la superficie de falla circular (fig. 13a). La magnitud de las presiones de poro puede ser calculada por medio de un red de flujo, ensayos de laboratorio en muestras representativas del suelo, o con base en observaciones realizadas en el campo (piezómetros). Si el nivel de la superficie del agua externa se denota por MN, el peso W de la dovela (fig 13b) se escribe como:

$$W = W_1 + W_2 + zby_v \quad 2.66$$

Donde W_1 es el peso de la parte de la dovela situada encima de MN, W_2 es el peso sumergido de la parte situada por debajo de MN y zby_v es el peso de un volumen de agua igual al de la porción sumergida de la dovela. Cuando toda la dovela está ubicada debajo del nivel del agua, como la dovela 5 (fig. 13a) el peso del agua situado encima de la dovela debe ser incluido en la expresión zby_v . La presión de poro en la base de la dovela es igual a $zy_v + u_s$ donde u_s es la sobrepresión de poro con respecto al nivel externo del agua.

Considerando que las fuerzas que actúan sobre una dovela están en equilibrio, éstas son representadas por un polígono

de fuerzas como se muestra en la fig. 13c. La fuerza normal P consta de una componente efectiva P' , de la fuerza $u l$ ocasionada por la sobrepresión de poros, y de la fuerza $z l \gamma_v$ producida por la presión hidrostática del agua con respecto a MN. La resistencia cortante movilizada (s) a lo largo de la superficie de deslizamiento es igual a:

$$s = \frac{1}{F}(c' + \sigma' \tan \phi') = \frac{1}{F}[c' + (P/l - z \gamma_v - u) \tan \phi'] \quad 2.67$$

de donde:

$$S = sl = \frac{1}{F} [c' l + (P - z l \gamma_v - u l) \tan \phi'] = \frac{1}{F} (c' l + P' \tan \phi') \quad 2.68$$

Considerando el equilibrio de momentos de toda la superficie deslizante con respecto al centro "o" del círculo (fig. 13a) se requiere que:

$$\sum (W_1 + W_2 + z b \gamma_v) R \text{ sena} = \sum SR + \frac{1}{2} \gamma_v d^2 e \quad 2.69$$

y sustituyendo el valor S (ec. 2.68) en la ec. 2.69 se tiene:

$$\sum (W_1 + W_2 + z b \gamma_v) R \text{ sena} = \frac{1}{F} \sum (c' l + P' \tan \phi') R + \frac{1}{2} \gamma_v d^2 e \quad 2.70$$

Como el agua situada debajo del nivel MN está en equilibrio resulta que:

$$\sum (z b \gamma_v) R \text{ sena} = \frac{1}{2} \gamma_v d^2 e \quad 2.71$$

de donde se obtiene:

$$\sum (W_1 + W_2) R \text{sen} \alpha = \frac{1}{F} \sum (c'l + P' \tan \phi') R$$

despejando F, queda:

$$F = \frac{\sum (c'l + P' \tan \phi')}{\sum (W_1 + W_2) \text{sen} \alpha} \quad 2.72$$

El valor de F (ec. 2.72) depende de P', que puede ser determinado para cada dovela por medio de un polígono de fuerzas (fig 13c).

Como la superficie de deslizamiento es circular, la influencia de la fuerzas X_n y E_n entre dovelas es relativamente pequeña y P' puede evaluarse con suficiente aproximación con la hipótesis de que la fuerza X_n y E_n son iguales a cero. Del polígono de fuerzas (fig. 13c) al efectuar la sumatoria de fuerzas en la dirección vertical se obtiene la expresión de la fuerza normal efectiva P'

$$P' = \frac{(W_1 + W_2) + (X_n - X_{n+1}) - l[\mu_s \text{cosen} \alpha + (c' \text{sen} \alpha)/F]}{\text{cosen} \alpha + \frac{\tan \phi' \text{sen} \alpha}{F}} \quad 2.73$$

Sustituyendo el valor de P' en la ec. 2.72 resulta:

$$F = \frac{1}{\sum (W_1 + W_2) \text{sen} \alpha} \sum \left[\left\{ c'b + \tan \phi' (W_1 + W_2 - bu_s) \right\} \frac{\text{sec} \alpha}{1 + \frac{\tan \phi' \tan \alpha}{F}} \right] \quad 2.74$$

La ec. 2.74 se resuelve por aproximaciones sucesivas, porque el coeficiente de seguridad F está contenido en el segundo término de la misma.

Si los valores de X_n y E_n no son iguales a cero, deben satisfacer las condiciones de equilibrio del conjunto de la masa deslizante en las direcciones verticales y horizontales, esto implica que:

$$\sum (X_n - X_{n+1}) = 0 \quad 2.75$$

$$\sum (E_n + E_{n+1}) + \frac{1}{2} \gamma_v d^2 = 0 \quad 2.76$$

Además, para cada dovela X_n y E_n están relacionadas entre sí de acuerdo con los requerimientos del polígono de fuerza (fig. 13c) resolviendo en la dirección de S, se obtiene:

$$(W_1 + W_2 + X_n - X_{n+1} + bz \gamma_v) \text{sen} \alpha + (E_n - E_{n+1}) \text{cos} \alpha = S$$

y por tanto:

$$(E_n - E_{n+1}) = S \text{sec} \alpha - (W_1 + W_2 + X_n + X_{n+1}) \text{tan} \alpha - (bz \gamma_v) \text{tan} \alpha \quad 2.77$$

Sin embargo, puede obtenerse del polígono de fuerza que:

$$S = sl = \frac{1}{F} [c' l + (P - z \gamma_v - u_s l) \text{tan} \phi'] = \frac{1}{F} (c' l + P' \text{tan} \phi') \quad 2.78$$

Reemplazando el valor de P' (ec. 2.73), $x = R \text{sen} \alpha$ y $l = b \text{sec} \alpha$

$$S = \frac{1}{F} \frac{c' b + \text{tan} \phi' (W_1 + W_2 - b u_s + X_n - X_{n+1})}{m_\alpha} = \frac{m}{F} \quad 2.79$$

Utilizando la ec. 2.77 y sumando todas la dovelas:

$$\sum (E_n - E_{n+1} + z b \gamma_v \tan \alpha) = \sum \left[\frac{m}{F} \sec \alpha - (W_1 + W_2 + X_n - X_{n+1}) \tan \alpha \right] \quad 2.80$$

y desde que:

$$\sum [\gamma_v z \cdot b \tan \alpha] = \frac{1}{2} \gamma_v d^2$$

la ec. 2.76 impone que el primer miembro de la ec. 2.80 sea cero. De allí que las fuerzas X_n deben satisfacer no solamente la ec. 2.75, sino también:

$$\sum \left[\frac{m}{F} \sec \alpha - (W_1 + W_2 + X_n - X_{n+1}) \tan \alpha \right] = 0 \quad 2.81$$

Debido a que el problema es estáticamente indeterminado, cualquier conjunto de valores que satisfaga las ecuaciones 2.74 y 2.81 asegura el cumplimiento de todas las condiciones de equilibrio de la dovela en su conjunto, así como de sus condiciones de equilibrio horizontal y vertical. Sin embargo, no todos esos conjuntos de valores son razonables o posibles. Por ejemplo, el valor de X_n no debe exceder la resistencia al corte del suelo a lo largo del borde vertical que corresponde a la dovela bajo la influencia de la fuerza normal E_n . Es más, no se deben producir tensiones de tracción entre dovelas. En la mayoría de los casos, se comprueba que es satisfactorio asignar valores arbitrarios, aunque razonables, al empuje de tierras E_n , y con base a estos valores y a la ec. Mohr-Coulomb, calcular límites aproximados superiores de los valores de X_n . Por tanteos se establecen los valores de X_n mínimos que satisfacen las ecs. 2.74 y 2.81.

Un método análogo para taludes parcialmente sumergidos es usar densidades sumergidas para aquellas dovelas que se encuentran debajo de la superficie del nivel del agua externa, y la presión de poro expresada como un exceso sobre la presión hidrostática correspondiente a ese nivel de agua.

2.3 METODO DE BISHOP CONSIDERANDO FUERZAS VERTICAL Y HORIZONTAL DE SISMO.

2.3.1 ANALISIS SEUDOESTATICO.

El problema de la estabilidad de taludes en presencia de fuerzas de sismo, puede evaluarse calculando el factor de seguridad mínimo contra el deslizamiento a lo largo de una superficie de falla potencial crítica tomando una fuerza horizontal equivalente al sismo (método de análisis pseudoestático).

En este trabajo el análisis por el método de W. Bishop es tratado como un problema estático en el que además, de la fuerza horizontal del sismo, se incluye una fuerza vertical expresada como el producto de un coeficiente K_v y del peso W de cada dovela dentro de la masa deslizante (fig 14). Estas fuerzas actúan en el centro de gravedad y en la base de cada dovela respectivamente. Por lo que los efectos dinámicos son sustituidos por una fuerza estática.

Por tanto se estudia el equilibrio del talud bajo condiciones de sismos suponiendo una superficie de falla circular, se considera que la aceleración máxima del sismo es Kg . Entonces, la fuerza dinámica causada por el sismo en cada dovela de la masa deslizante será:

$$F = MKg = \frac{W}{g} Kg = KW \quad 2.76$$

donde:

M = masa deslizante

$W = \text{Peso}$

$K = \text{Coeficiente sismico}$

Si el suelo tiene una resistencia característica, en términos de esfuerzos efectivos representada por:

$$s = c' + \sigma' \tan \phi' \quad 2.77$$

La resistencia al esfuerzo cortante movilizada para satisfacer la condición de equilibrio límite es :

$$s = \frac{1}{F} \{c' + \sigma' \tan \phi'\} \quad 2.78$$

La fuerza cortante S que actúa en la base de la dovela (fig. 14), es igual a sl ; tomando momentos de todas las fuerzas que actúan sobre dicho bloque respecto al centro O del círculo, resulta:

$$\sum (W \pm K_v W)x \pm K_h W L_s = \sum SR = \sum slR \quad 2.79$$

De acuerdo a las condiciones de equilibrio se tiene que:

$$P' = \frac{(1 \pm K_v)W - ul \cos \alpha - (c' l \sin \alpha)/F}{\cos \alpha + \frac{\tan \phi' \sin \alpha}{F}} \quad 2.80$$

donde :

$K_v = \text{Coeficiente sismico vertical}$

$K_h = \text{Coeficiente sismico horizontal}$

Reemplazando el valor de P' (ec 2.80) en la ecuación 2.78

y sustituyendo este valor de s en la ecuación 2.79 y ordenando términos se tiene la expresión para el factor de seguridad:

$$F = \frac{\sum [b(c' - u \tan \phi') + (1 \pm K_v) W \tan \phi'] \frac{1}{m \alpha}}{\sum [(1 \pm K_v) W \operatorname{sen} \alpha \pm K_h W L_s / R]} \quad 2.81$$

donde:

L_s = Distancia vertical del centro de rotación O al punto donde actúa la fuerza horizontal de sismo.

2.3.2 SELECCION DEL COEFICIENTE SISMICO EN EL ANALISIS SEUDOESTATICO

Uno de los mayores problemas que se tiene en el uso del método pseudoestático es seleccionar el valor del coeficiente sísmico para propósitos de diseño. Varios de estos métodos son disponibles para esta finalidad que están basados en: valores empíricos, observaciones de respuestas de la estructura de tierra a sismos reales, y otros en los resultados de análisis teóricos como es el unidimensional de la viga cortante, o en bidimensionales mediante elementos finitos.

En la práctica, cuando se usa un método pseudoestático de análisis de estabilidad sísmica, se adoptan algunos valores empíricos del coeficiente sísmico de diseño. Así, Terzaghi (1950) sugiere utilizar los siguientes valores de los coeficientes sísmicos (tabla No 1) en función de la intensidad (I) del sismo.

TABLA NO 1

DESCRIPCION	INTENSIDAD I	COEFICIENTE SISMICO K
Sismos severos	IX	0.10
Sismos violentos	X	0.25
Efectos catastróficos		0.50

Seed y Martin (1966). Señalan que en general los ingenieros utilizan coeficientes sísmicos constantes con la altura, en un intervalo de 0.05 a 0.15, dependiendo de la sismicidad de la zona y de las condiciones de cimentación. Las razones por la que se utilizan estos coeficientes sísmicos son:

1).- Los valores son del mismo orden de magnitud que los sugeridos por Westergaard (1933) para determinar la presión del agua sobre la cara de una presa de concreto durante un sismo .

2).- Los valores del coeficiente sísmico son del mismo orden de magnitud para el diseño de estructuras de edificios en regiones sísmicamente activas.

Las normas Japonesas (Japan Society of Civil Engineering Research Institute 1960) establecen para dichos coeficientes valores entre 0.12-0.25 dependiendo de la condiciones de cimentación, sismicidad de la zona y los posibles, efectos que una falla de una presa causaría aguas abajo. Estos valores del coeficiente sísmico son reducidos a un 50 por ciento para condiciones de presa vacía.

Ambraseys (1960) sugiere que para fines de diseño:

1.-Obtener el coeficiente sísmico máximo a cualquier nivel, como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los

coeficientes sísmicos para la respuesta máxima (aceleración espectral, A) de los primeros cuatro modos.

$$K(y) = \left[\sum_{n=1}^4 [K_n(y)]^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad 2.82$$

Donde: $K_n(y) = \frac{1}{g} \phi_n(y) A \quad 2.83$

g = aceleración de la gravedad.

y = altura considerada.

h = altura total del terraplen.

$\phi_n(y)$ = Es función de dos parámetros β_n y (y/h) , para algún modo el valor de β_n es fijo, y el término ϕ_n puede ser graficado como una función de y/h para diferentes valores de h (fig. 16). Por tanto ϕ_n se puede obtener directamente para propósitos de cálculo.

β_n = parámetro que define las frecuencias naturales, (casi $\beta_1 = 2.404$, $\beta_2 = 5.52$, $\beta_3 = 8.654$, $\beta_4 = 8.654$)

ω_n = frecuencia circular natural de la presa en modo n , en seg^{-1}

$$\omega_n = \frac{\beta_n}{[\rho/G]^{1/2}}$$

ρ = densidad de masa del material = γ/g

γ = peso volumétrico de material.

G = módulo de rigidez o de elasticidad al cortante.

$G = E/2(1+\nu)$

ν = relación de Poisson.

Al valor

$$V = |V_n(t)|_{\text{máx}} \quad 2.84$$

se le llama velocidad espectral; depende de la excitación sísmica; de la frecuencia circular natural del modo n que interesa, ω_n , y del amortiguamiento del sistema en el modo n .

Al máximo de $\omega_n V_n(t)$ se le llama aceleración espectral, A

$$A = \omega_n \left| V_n(t) \right|_{\text{máx}} = \omega_n \quad 2.85$$

2.- El coeficiente sísmico en cualquier nivel será tomado como el valor absoluto máximo en aquel nivel para alguno de los n modos de distribución.

$$K(y) = \left| K_n(y) \right|_{\text{max}} \quad 2.86$$

En vista de los diferentes métodos frecuentemente empleados para determinar los coeficientes sísmicos, para ser utilizados en el análisis pseudoestático se presenta una comparación de los valores obtenidos por los diferentes métodos. Para el caso de una presa de longitud infinita, con una sección transversal homogénea y simétrica apoyada sobre una fundación rígida, K varía con la altura de la presa. Seed y Martin (1966), Ambraseys (1960) desarrollaron una relación para estimar K como una función de la profundidad tal como se muestra en la fig 17.

2.3.3 IMPORTANCIA DE LA COMPONENTE SISMO VERTICAL

Frecuentemente se acostumbra diseñar las estructuras de edificios y obras de tierra únicamente para soportar componentes horizontales del movimiento sísmico del terreno, práctica apoyada en muchos casos por los reglamentos de diseño sismoresistentes que ignoran los

efectos de la aceleración vertical de los sismos, apoyados en las siguientes razones (Sovero M., 1986).

1). Los altos factores de seguridad en el diseño para cargas gravitacionales, que tiene mejor aptitud para soportar un incremento de estas cargas verticales que para resistir fuerzas horizontales.

2). Las magnitudes relativamente pequeñas de las aceleraciones verticales de los temblores registrados, en comparación con las correspondientes aceleraciones horizontales.

3). La reducida amplificación dinámica en la dirección vertical de las estructuras, por la importante rigidez que posee en dicha dirección

4). Escasas fallas debido al efecto de las componentes sísmico verticales, según observaciones de campo.

Sin embargo, el hecho de que la aceleración vertical del movimiento del terreno es menor que la correspondiente aceleración horizontal, no se verifica en muchos casos. Las intensidades promedio de los componentes sísmico vertical y horizontal en un sitio dado, depende de la relación que existe entre la distancia epicentral y la profundidad focal; cuando estas dos distancias son iguales, las intensidades medias de ambas componentes sísmicas pueden ser similares; y, en la zona epicentral, la intensidad de la componente vertical puede resultar mayor que la componente horizontal.

Para complementar lo indicado anteriormente es conveniente presentar algunos estudios sobre la componente sísmico

vertical; realizada por algunos autores:

Chopra A. (1966) realizó una comparación de los movimientos de las componentes sísmicas registradas en El centro (1940), Olimpia (1940) y Talf (1952) indicando que:

1). La intensidad del espectro de la componente vertical es cerca de 20 o 30 por ciento de la correspondiente a la componente horizontal.

2). El espectro para la componente vertical es relativamente acentuado para cortos periodos (fig 15) y reducido para periodos largos. Chopra concluye que en una presa de tierra los efectos de la componente vertical del sismo, son importantes y que es justificable considerarlos en el diseño de estructuras de tierra.

Abrahamson N.A (1989) mostró, que para magnitudes de sismos menores que 7 y distancias mayores de 20 Km (distancia a la zona de liberación de energía) la relación de la aceleración vertical a la horizontal es de dos tercios, pero para sismos con magnitudes más grandes que 8 y distancia cortas, la relación (V/H) esperada es mayor que 1.

Por todo lo anterior se justifica considerar la componente vertical del sismo en todo diseño de estructuras de tierra, expresada como el producto de un coeficiente K_v y por el peso de cada dovela dentro de la masa deslizante.

2.3.3. METODO SEUDOESTATICO MEJORADO

Este método introduce el incremento de la aceleración que experimenta la estructura de tierra (terraplen, presa de tierra) entre la base, que recibe el impulso dinámico, y la

corona. El método constituye una mejora bajo el punto de vista de la realidad física del fenómeno respecto al procedimiento simplificado.

Las normas Soviéticas (Earthquake Engineering Research Institute, 1960) especifican coeficientes sísmicos variables con la altura según la expresión (fig. 18)

$$K_h = K_o \left[1 + 0.5 \frac{Y_h}{Y_o} \right] \quad 2.87$$

donde:

K_o = coeficiente sísmico en la base de la estructura de tierra que varía de 0.025 a 0.10 dependiendo de la simicidad del sitio y de la importancia de la estructura.

Y_h = cota al centro de gravedad de cada dovela donde se evalúa K_h .

Y_o = cota sobre la base del centro de gravedad de la presa o terraplen.

Por otra parte, de acuerdo con lo planteado en el inciso anterior, el coeficiente sísmico vertical K_v puede tener las siguientes variaciones:

$$K_v = K_h \quad 2.88$$

$$K_v = \frac{2}{3}(K_h) \quad 2.89$$

$$K_v = \frac{1}{2}(K_h) \quad 2.90$$

3.0 PROGRAMAS PARA COMPUTADORA

Los métodos de análisis para evaluar la estabilidad de taludes, se han desarrollado en años recientes de una manera importante, debido a que se recurre a las posibilidades que ofrecen las computadoras digitales para procesar con celeridad grandes cantidades de datos. En este trabajo se desarrolla un programa de estabilidad de taludes para el método de W Bishop simplificado (1955).

Además, se presentan programas de análisis de estabilidad de taludes tales como:

- El método Sueco (Fellenius)
- El método de Bishop considerando fuerzas vertical y horizontal del sismo
- El método de Janbu simplificado.
- El método de Janbu riguroso.
- El método de Bishop considerando las fuerzas de filtración en cada dovela.

Estos programas de computadora escritos en un lenguaje de programación "Basic", permiten evaluar: la estabilidad de un talud en términos de un factor de seguridad, la presión de poro, los esfuerzos normales efectivos, los esfuerzos normales totales y la resistencia al esfuerzo cortante movilizado, que se desarrollan a lo largo de la superficie crítica de falla.

3.1 PROGRAMA DE REVISION DE ESTABILIDAD DE TALUDES POR EL METODO DE BISHOP SIMPLIFICADO.

En este programa, se aplica el análisis de estabilidad de taludes desarrollado por Alan. W. Bishop (1955).

El análisis está en términos de esfuerzos efectivos. La presión de poro esta definida por la relación \bar{B} (ec. 2.58, inciso 2.2.2)

Los resultados que se obtienen para el círculo de deslizamiento propuesto son: el ángulo de inclinación de cada dovela con la superficie de falla, el valor de m_α , el momento resistente, el momento motor, la presión de poro, el esfuerzo normal efectivo, el esfuerzo normal total y la resistencia al cortante movilizada.

Finalmente, se obtiene F , cuyo valor mínimo representa el coeficiente de seguridad del talud con respecto al deslizamiento, y su círculo, el círculo crítico.

3.1.1 PROCEDIMIENTO DE CALCULO

El análisis se realiza suponiendo una superficie de falla circular, para el cual se necesita definir la posición "O" y el radio "R" del círculo que representa la superficie potencialde deslizamiento. Para este círculo tentativo la masa deslizante se divide en dovelas verticales.

Cada dovela, como la No 4 indicada en la fig 12 está solicitada:

. Por su propio peso W

- . Por las fuerzas cortantes X_n, X_{n+1} y E_n, E_{n+1} en sus caras laterales.
- . En su base por la fuerza cortante S y la fuerza normal P .

Tomando momentos de todas las fuerzas que actúan sobre dicho bloque respecto al centro del círculo, resulta:

$$\sum W x = \sum S R = \sum s l R \quad 3.1$$

siendo l la longitud de la base de la dovela.
Además, la magnitud de la resistencia al cortante movilizada para satisfacer las condiciones de equilibrio es:

$$s = \frac{1}{F} \{ c' + (\sigma_n - u) \tan \phi' \} \quad 3.2$$

Como $x = R \operatorname{sen} \alpha$ y $\sigma_n = \frac{P}{l}$

Siendo P la fuerza total que actúa sobre la base de la dovela.

Sustituyendo en (3.1) y despejando F , queda:

$$F = \frac{1}{\sum W \operatorname{sen} \alpha} \sum [c' l + (P - ul) \tan \phi'] \quad 3.3$$

Estableciendo el equilibrio vertical de las fuerzas que actúan sobre cada dovela, despejando P y sustituyendo en (3.3) queda:

$$F = \frac{1}{\sum W \text{sen} \alpha} \sum \left[\left\{ c'b + \tan \phi' (W - ub) + \frac{X_n - X_{n+1}}{F} \right\} \frac{\text{seca}}{1 + \frac{\tan \phi' \text{tana}}{F}} \right] \quad 3.4$$

En el método simplificado de Bishop (que es el que se suele usar), se supone que:

$$\sum (X_n - X_{n+1}) = 0$$

Con esta simplificación queda:

$$F = \frac{1}{\sum W \text{sen} \alpha} \sum \left[\left\{ c'b + \tan \phi' (W - ub) \right\} \frac{\text{seca}}{1 + \frac{\tan \phi' \text{tana}}{F}} \right] \quad 3.5$$

Como el coeficiente de seguridad está contenido de modo implícito en la expresión (3.5), hay que comenzar por dar un valor a F para introducirlo en el segundo miembro de la ec. 3.5. Generalmente basta con dos tanteos.

La expresión: $\frac{\text{seca}}{1 + \frac{\tan \phi' \text{tana}}{F}}$ puede hallarse con ayuda de

ábacos o mediante el uso de computadoras.

Considerando la expresión de la presión de poro definida como: $u = \bar{B}(W/b)$, la ec. 3.5 toma la forma:

$$F = \frac{1}{\sum W \text{sen} \alpha} \sum \left[\left\{ c'b + \tan \phi' W(1 - \bar{B}) \right\} \frac{\text{seca}}{1 + \frac{\tan \phi' \text{seca}}{F}} \right] \quad 3.6$$

Estas ecuaciones estan programadas en este trabajo. (Anexo II. Analisis de estabilidad de taludes método de Bishop simplificado)

3.1.2 CARACTERISTICAS DEL PROGRAMA

3.1.2.1 Requerimientos para el uso del programa.

- 1.- Determinar un eje de referencias (x-y), es conveniente que el origen (o) este ubicado en el lado izquierdo de la geometria del talud (fig. 19).
- 2.- Dibujar la seccion transversal del talud a una escala adecuada, limitada por segmentos de rectas, cada segmento estara definido por las coordenadas (Px, Py) de sus extremos, estos puntos geométricos deben ser numerados de izquierda a derecha, ubicándose en el primer cuadrante.
- 3.- Ubicar las coordenadas centrales XCCO), YCCO) de la superficie de falla circular.
- 4.- Dividir la masa deslizante en cierto número de dovelas y numerarlas de izquierda a derecha.
- 5.- Ubicar en la corona o cima del talud, el punto XCO) que representa el inicio de la superficie de falla. En este mismo punto localizar la base YBCO), y la cima o tope YTCO), del lado izquierdo de la dovela inicial.
- 6.- Ubicar a lo largo de la superficie de falla la base YB y el tope o cima YT, de cada dovela.

3.1.2.2 Descripción del programa.

El programa está dividido en once (11) bloques, donde se incluye una subrutina llamada impresión (listado del programa en el anexo II). El número de dovelas

dimensionadas es de 50; las líneas del programa están definidas de la siguiente manera:

LÍNEA	OPERACION
10-520	Título del programa, listado y asignación de variables, dimensionamiento del programa.
530-960	Ingreso de datos: puntos geométricos que determinan la forma de talud, coordenadas del centro e inicio del círculo de falla, número de dovelas, propiedades mecánicas del suelo y ubicación de cada dovela dentro de la superficie de falla circular.
970-1160	Calcula: altura del talud, longitud de la base del talud, ángulo del talud, ángulo α que forma cada dovela con la superficie de falla, longitud, ancho, peso, presión de poro de cada dovela y radio del arco circular.
1170-1750	Despliegue: Características geométricas del talud y de cada dovela, y los otros valores calculados en las líneas 970-1160
1760-1880	Calcula el momento resistente M_1 , momento motor M_2 de cada dovela y realiza la sumatoria de los momentos M_1 , M_2 respectivamente, calcula el factor de seguridad inicial F_0 .
1890-2050	Despliegue de los valores calculados en las líneas 1760-1880
2060-2260	Inicio del ciclo iterativo para el cálculo del factor de seguridad mínimo, proporcionando un valor a F_1 , calcula los valores de m de

cada dovela, momentos resistentes y motores de de cada dovela y realiza la sumatoria respectiva de cada momento, calcula un factor de seguridad F y realiza la iteración hasta que $|F - F_1| < 0.001$.

2270-2430 Para cada dovela calcula: la fuerza normal P' , el esfuerzo normal efectivo σ' , el esfuerzo normal total σ , la resistencia al cortante s , la resistencia al cortante movilizada s_m .

2440-2890 Despligue de valores calculados en las líneas 2060-2260 y 2270-2430, factores de seguridad iniciales F_0 , supuestos F_1 y el calculado F respectivamente.

2900-4430 Opciones para realizar cambio de datos : relación de poro \bar{E} , superficie deltalud, radio del arco circular, cohesión, ángulo de fricción interna, peso unitario del suelo, posición de la superficie del deslizamiento, cambio de datos para una dovela, y el cambio de un solo dato de una dovela.

4440-5790 Subrutina llamada "impresión" para todos los valores calculados en líneas anteriores, con selección para realizar la impresión deseada, y un resumen de resultados que incluye las coordenadas del centro de la superficie de falla circular, el radio, los momentos resistentes, los momentos motores y el factor de seguridad mínimo.

3.2. OTROS PROGRAMAS

3.2.1 PROGRAMA PARA EL METODO SUECO (FELLENIUS).

En este programa se aplica el análisis de estabilidad de taludes desarrollado por Fellenius.

El análisis está en términos de esfuerzos efectivos la presión de poro es conocida en cada dovela. Además, se ignoran los efectos de las fuerzas laterales E_R y E_L .

Los requerimientos para su uso son los mismos indicados en el inciso 3.1.2.1.

Los datos de entrada para el programa son:

- . Coordenadas de la forma geométrica del talud.
- . Coordenadas centrales de la superficie de falla potencial.
- . Propiedades mecánicas del suelo (cohesión, ángulo de fricción interna ϕ , peso unitario del suelo).
- . Coeficiente sísmico vertical y horizontal en cada dovela.

El programa calcula el factor de seguridad expresado como:

$$F = \frac{1}{\sum W \text{sen} \alpha} \sum [c'l + (W \text{cos} \alpha - ul) \tan \phi']$$

Además, calcula el factor de seguridad cuando se incluye las fuerzas horizontal y vertical del sismo que actúan en el centro de gravedad de cada dovela. Este factor de seguridad esta expresado por:

$$F = \frac{\sum [(c'l - ul \tan \phi') + (1 + K_v) W \text{cos} \alpha \tan \phi']}{\sum [(1 + K_v) W \text{sen} \alpha + K_h W L \frac{1}{R}]}$$

Los resultados de salida del programa son:

. El ángulo α de cada dovela, el momento resistente, el momento motor, el esfuerzo normal efectivo, el esfuerzo normal total, la resistencia al cortante movilizada sin o con la participación de las fuerzas del sismo.

. Relación de resistencias al cortante de: Fellenius ($\tau_F/p \tan \phi'$), Bishop simplificado ($\tau_B/p \tan \phi$) y la relación entre τ_F y τ_B , donde $p = W/b$.

El programa desarrollado para analizar 50 dovelas está formado por 7 bloques.

La distribución, definición de cada línea y las operaciones que realiza cada bloque se encuentran indicadas en las instrucciones REM del programa. (Anexo II. Listado del programa método Fellenius en diskette)

3.2.2 PROGRAMA PARA EL METODO DE BISHOP CONSIDERANDO FUERZAS HORIZONTAL Y VERTICAL DE SISMO

El programa está desarrollado para evaluar la estabilidad de un talud tomando en cuenta las fuerzas horizontal y vertical equivalentes al sismo.

Los requerimientos para su uso son los mismos indicados en el inciso 3.1.2.1.

El programa calcula el factor de seguridad mínimo contra el deslizamiento a lo largo de una superficie de falla crítica iterando las expresiones de:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^n \left[b_i (c_i - u_i \tan \phi'_i) + W_i (1 \pm K_{vi}) \tan \phi'_i \right] \frac{1}{m_{\alpha i}}}{\sum_{i=1}^n \left[(1 \pm K_{vi}) W_i \sin \alpha_i \pm K_{hi} W_i (L_{si}) / R \right]}$$

$$m_{\alpha i} = \cos \alpha_i \left(1 + \frac{\tan \phi'_i \tan \alpha_i}{F} \right)$$

y bajo las siguientes suposiciones:

- 1). Cuando la fuerza horizontal del sismo actúa en el centro de gravedad de cada dovela.
- 2). Cuando la fuerza vertical del sismo actúa en el centro de gravedad de cada dovela.
- 3). Las fuerzas horizontal y vertical del sismo actúan simultáneamente en el centro de gravedad de cada dovela.
- 4). Las fuerzas horizontal y vertical del sismo actúan en la base de cada dovela (superficie de falla).
- 5). Si una fuerza del sismo actúa en el centro de gravedad de cada dovela, con una inclinación igual a la del talud.

Para el programa:

- La selección del coeficiente sísmico se realiza a través de los métodos descritos en el inciso 2.3.2. Estos valores pueden tener una entrada al programa como constantes o variables.

- El coeficiente sísmico horizontal (método pseudoestático mejorado) varía dentro de la altura del talud según la expresión:

$$K_{hi} = K_o \left[1 + 0.5 \frac{y_{hi}}{y_o} \right]$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- El coeficiente sísmico vertical varía dentro de la altura del talud según las siguientes expresiones:

$$K_{v(i)} = K_{hi} \qquad K_{v(i)} = \frac{2}{3} K_{hi} \qquad K_{v(i)} = \frac{1}{2} K_{hi}$$

Este programa puede ser aplicado para evaluar la estabilidad de una presa de tierra, terraplenes, y taludes naturales en términos de un factor de seguridad. Es importante resaltar que los datos de entrada de cada paso son elementos esenciales del procedimiento, principalmente los datos correspondientes a las propiedades del suelo deben ser representativos de la estructura que se está analizando. Si algunos de ellos no se ejecutan correctamente, los resultados en la salida del programa pueden ser incorrectos y por lo tanto conducir a una apreciación errónea del comportamiento de la estructura de tierra en relación al factor de seguridad.

El programa tiene 8 bloques, desarrollado para analizar 50 dovelas, donde se incluye una subrutina llamada "impresión". La distribución y definición de cada línea, y las operaciones que realiza cada bloque se encuentran indicadas en la instrucción REM del programa, listado en el anexo II (diskette).-

3.2.3 PROGRAMA PARA LA REVISION DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES. METODO JANBU SIMPLIFICADO.

En este programa se aplica el análisis de estabilidad de taludes desarrollada por Janbu considerando las dos variaciones principales indicadas en el inciso 2.1.4:

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- 1). Se considera una superficie de falla no circular.
- 2). Se introduce un factor de corrección f_o para obtener un factor de seguridad F .

Los requerimientos para el uso de este programa son similares a los indicados en el inciso 3.1.2.1 a excepción de que la superficie de falla determinada por los valores YB no es circular.

El programa calcula el factor de seguridad de la superficie de falla asumida iterando las siguientes expresiones:

$$P = [WC(1 \pm K_v) - (c' l \text{sen} \alpha) / F + (c \text{sen} \alpha \tan \phi') / F] \frac{1}{m \alpha}$$

$$m_\alpha = \cos \alpha + \text{sen} \alpha \tan \alpha / F$$

$$F_o = \frac{\sum [(c' l \cos \alpha) + (P - ul) \tan \phi' \cos \alpha]}{\sum P \text{sen} \alpha \pm \sum K_h W \pm A - L \cos \omega}$$

El programa obtiene el factor de corrección f_o de la siguiente manera:

- En el caso: $c' > 0$ y $\phi' > 0$

$$f_o = 1 + 0.5 [d/L - 1.4(d/L)^2]$$

- En el caso: $c' = 0$

$$f_o = 1 + 0.31 [d/L - 1.4(d/L)^2]$$

Los coeficientes sísmicos K_v y K_h pueden considerarse como valores constantes o variables dentro de la altura del talud.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El factor de seguridad se expresa como :

$$F = f_0 F_0$$

El programa puede ser aplicado para evaluar la estabilidad de presas de tierra, terraplenes y taludes naturales con o sin sobrecargas en la corona del talud, con altura de nivel de agua en ambos lados derecho e izquierdo (fig 5).

El programa está constituido por 8 bloques y desarrollado para 50 dovelas, la definición de cada línea y las operaciones que realiza cada bloque se encuentran indicadas en las instrucciones REM del programa (anexo II: listado del programa Janbu simplificado en diskette). -

3.2.4 PROGRAMA PARA LA REVISION DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES. METODO DE JANBU RIGUROSO.

Este programa está desarrollado con base al procedimiento de análisis de estabilidad de taludes propuesto por N. Janbu (1973).

Los requerimientos para su uso son similares a los indicados para el método Janbu simplificado a excepción de que se debe determinar dentro de la masa deslizante una línea de empuje (h_1).

Los datos de entrada al programa son:

- Puntos geométricos (PX,Py) que determinan la forma geométrica del talud, coordenadas de la superficie de falla y del talud.
- Propiedades mecánicas del suelo (cohesión, ángulo de

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

fricción interna, peso unitario).

- Angulo de la línea de empuje de cada dovela α_{ti} .
- Distancia vertical entre la superficie de falla y la línea de empuje h_{ti} .

El programa calcula el factor de seguridad F (ec. 2.48) para una superficie de falla asumida, expresado como:

$$F = \frac{\sum \tau_f \Delta x (1 + \tan^2 \alpha)}{E_a - E_b + \sum (\Delta Q + (\rho + \Delta t) \Delta x \tan \alpha)}$$

para el cual debe realizarse las operaciones siguientes:

1). -Cálculo de F_o .

- Para cada dovela calcula B_o para $t_o = 0$

$$B_o = \Delta Q + p \tan \alpha \Delta x$$

- Luego calcula A'_o para $t_o = 0$

$$A'_o = [c' + (\rho - u) \tan \phi'] \Delta x$$

- Con los valores de B_o y A'_o calcula F'_o :

$$F'_o = \frac{B_o}{A'_o}$$

$$n_{\alpha o} = \frac{1 + [1/F'_o] \tan \phi' \tan \alpha}{1 + \tan^2 \alpha}$$

$$A_o = \frac{A'_o}{n_{\alpha o}}$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Por tanto para $t_0 = 0$ el factor seguridad F_0 es:

$$F_0 = \frac{\sum A_0}{E_0 - E_b + \sum B_0}$$

2) Cálculo de E_0 , este valor es calculado en dos etapas para un $t_0 = 0$ y para un cambio i de cada dovela.

$$\Delta E_0 = B_0 - A_0 / F_0$$

$$E_{0(i,i+1)} = E_0 + \Delta E_{0(i)}$$

• Cálculo de T_1 .

$$T_{1(i)} = -E_{0(i,i+1)} \tan \alpha_{t(i,i+1)} + h_{t(i,i+1)} \left[\frac{dE_0}{dx} \right]_{(i,i+1)} - z_{\alpha(i)} \frac{d\alpha}{dx}$$

• Para la dovela $(i, i+1)$ se tiene:

$$\left(\frac{dE}{dx} \right)_{i, i+1} = \frac{\Delta E_i + \Delta E_{(i+1)}}{\Delta x_i + \Delta x_{(i+1)}}$$

$$T_{1(i)} = T_{(i,i+1)} - T_{(i,i-1)}$$

• Para cada dovela obtiene.

$$t = \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

3) Cálculo de F_1 , ΔE_1 , E_1

$$B_1 = B_0 + \Delta t_1 \tan \alpha$$

$$A'_1 = A'_0 + \Delta T \tan \phi'$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

• Cálculo del valor de $n_{\alpha 1}$ para un factor seguridad F_o .

$$n_{\alpha 1} = \left[\frac{1 + (1/F_o) \tan \phi' \tan \alpha}{1 + \tan^2 \alpha} \right]$$

$$A_1 = \frac{A'}{n_{\alpha 1}}$$

$$F_1 = \frac{\sum A_1}{E_a - E_b + \sum B_1}$$

Luego: $\Delta E_1 = B_1 - A_1 / F_1$

$$E_1 = E_a + \Delta E_1$$

4) Cálculo de la resistencia al cortante τ y el esfuerzo normal σ a lo largo de la superficie de falla.

$$\tau = \frac{A_1}{F_1 (1 + \tan^2 \alpha) \Delta x}, \quad \sigma = p + t - \tau \tan \alpha.$$

El programa puede ser aplicado para evaluar la estabilidad de un talud de una presa de tierra, terraplenes, taludes naturales, en términos de un factor de seguridad.

3.2.3.1 Descripción del programa.

El programa está constituido por seis (6) bloques, y está desarrollado para 20 dovelas. Este último número puede ser incrementado de acuerdo a los requerimientos e importancia del análisis que se está realizando con solo modificar la

instrucción DIM en el programa para cada variable.
 La definición de cada línea se presenta en forma detallada en el listado del programa (anexo II, diskette).-
 Las líneas y las operaciones que realiza el programa se se resumen en:

LINEA	OPERACION
10-440	Título del programa, asignación de variables, dimensionamiento del programa.
450-840	Entrada de datos.
850-1190	Calcula y despliega las características de cada dovela, superficie de deslizamiento
1200-1650	Calcula el factor de seguridad inicial F_0 , ΔE_0 , E_0 .
1660-2660	Calcula factor de seguridad F_1 , ΔE_1 , E_1 .
2670-3710	Opciones para realizar cambio de datos.
3720-4730	Subrutina de impresión de resultados.

3.2.5 PROGRAMA PARA LA REVISION DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES POR EL METODO BISHOP CONSIDERANDO LAS FUERZAS DE FILTRACION.

Este programa fue desarrollado con base en el método de Bishop simplificado, haciendo intervenir las fuerzas de filtración que actúan en cada dovela con una dirección e inclinación que varían de acuerdo a la línea superior de flujo.

Además de los requerimientos para su uso que se indican en el inciso 3.1.2.1 se incluyen: las coordenadas iniciales de la línea superior de flujo $XWCO$, $YBWCO$, $YWCO$, y la ubicación, en cada dovela, de la línea superior de flujo a través de las coordenadas XW , YBW , YW respectivamente.

El programa calcula el factor de seguridad de la superficie

de falla circular iterando las siguientes expresiones:

$$F_o = \frac{\sum \{c' l + [W_E \cos \alpha - FF \sin(\alpha - i) \tan \phi']\}}{\sum [W_E \operatorname{sen} \alpha + FF \cos(\alpha - i)]}$$

$$F_o = F_1$$

$$m_\alpha = \cos \alpha (1 + \tan \alpha \tan \phi' / F_1)$$

$$F = \frac{\sum [c' - \mu \tan \phi'] b + W_E \tan \phi' + FF \operatorname{sen} \alpha \tan \phi']_{\max}^4}{\sum [W_E \operatorname{sen} \alpha + FF(D/R)]}$$

hasta que el valor de $F_1 = F$

El desarrollo de estas expresiones se encuentra en el anexo II

El programa calcula el factor de seguridad cuando:

- La fuerza de filtración tiene una dirección que varía de acuerdo a la pendiente de la línea superior de flujo.
- La línea superior de flujo tiene una pendiente constante, y la fuerza de filtración sigue esa dirección (J. Kerisel 1967).

El programa obtiene para cada dovela: la fuerza de filtración, el momento resistente, el momento motor, la presión de poro, el esfuerzo normal efectivo y el esfuerzo normal total.

Este programa puede ser aplicado para evaluar la estabilidad de presas de tierras, terraplenes, y taludes naturales que este sujetos a fuerzas de filtración.

3.2.5.1 Descripción del programa.

El programa tiene 6840 instrucciones, divididas en siete (7) bloques y fué desarrollado para 50 dovelas. Las líneas del programa están definidas de la manera siguiente:

LINEA	OPERACION
10-640	Título del programa, listado de variables, dimensionamiento del programa.
650-1150	Entrada de datos de la forma geométrica del talud, superficie de deslizamiento, línea superior de flujo.
1160-2370	Calcula, despliega características geométricas de cada dovela, ángulo de la línea superior de flujo que forma en cada dovela, gradiente hidráulico, fuerzas de filtración.
2380-2600	Calcula el factor de seguridad inicial F_0 .
2610-3170	Calcula los momentos resistentes, momentos, esfuerzos normales efectivos, esfuerzos normales totales y el factor de seguridad F .
3180	Subrutina "impresión".
3190-4970	Opciones para cambio de datos: un solo dato de una dovela, superficie de la línea superior de flujo, superficie del talud, radio del círculo, propiedades mecánicas del suelo, posición de la superficie de falla, cambio de datos para toda una dovela.
4980-6460	Subrutina "impresión" de resultados con opciones para seleccionar los resultados que se desea imprimir.

4.0 APLICACIONES

Con el objeto de ilustrar los métodos de análisis de estabilidad de taludes desarrollados en el inciso 2.1 se resuelven cuatro ejemplos de aplicación (figs. 20-23), a través de los programas de computadora (gubasic versión 3.22) indicadas en el inciso 3.0

-Método de Bishop simplificado

Ejemplo 1.- Se desea conocer la presión de poro, el esfuerzo efectivo, el esfuerzo total, la resistencia al cortante movilizada, que se desarrollan a lo largo de la superficie de falla del talud que se muestra en la fig. 20, así como el factor de seguridad contra el deslizamiento, siendo el talud homogéneo con el terreno de cimentación, con valores de c' y ϕ' constantes a lo largo de la superficie potencial de deslizamiento.

En la tabla 1 se muestran las propiedades del suelo y las características geométricas del talud y de cada dovela

Resultados .

En las tablas del 1 al 8 se presentan resultados obtenidos por el método de Bishop simplificado, donde se pueden observar:

La variación del esfuerzo normal efectivo, la resistencia al cortante movilizada, así, como la variación del factor de seguridad con la relación de la presión de poro \bar{B} , las que se muestran en las figs. 24 y 25 respectivamente. En la fig. 24 se observa que cuando se incrementa la

relación de la presión de poro, disminuye el esfuerzo normal efectivo, y la resistencia al esfuerzo cortante.

La fig. 25 muestra una variación lineal del factor de seguridad con la magnitud de la relación de la presión de poro, para diferentes valores de c' y ϕ' de la estructura de tierra.

Fellenius-Bishop.

En las Tablas de 9 a 11 se presentan resultados correspondientes a la variación de la relación de la resistencia al cortante $(\tau_F / p \tan \phi)$ y $(\tau_B / p \tan \phi)$, así, como la relación entre τ_F y τ_B para $c = 0$ y se muestran en las figs 26 a 30.

En Fig. 26, la relación $(\tau_F / p \tan \phi)$ es independiente del signo de α y es cero para $\alpha = 90^\circ$ y $\alpha = -90^\circ$. Por otra parte $(\tau_B / p \tan \phi)$ se incrementa constantemente cuando decrece α , y cuando α es negativo, ésta relación se convierte en infinito para $\alpha = -(90 - \phi)$.

En las figs. 27 y 28 se muestran la relación de resistencias de τ_F / τ_B para el caso de $c = 0$ y ángulos de fricción interna que varían de $\phi = 10^\circ - 45^\circ$, como se puede observar τ_F es más grande que τ_B cuando $0 < \alpha < \phi$, mientras que la relación τ_F / τ_B es más pequeña que la unidad cuando α es negativo o más grande que ϕ y ésta relación se convierte en cero para $\alpha = +90$ y $\alpha = -(90 - \phi)$. Además τ_F / τ_B es máximo cuando $\alpha = \phi / 2$ ($\phi = 45^\circ$ $\tau_F / \tau_B = 1.21$, $\phi = 35^\circ$ $\tau_F / \tau_B = 1.11$) y $\tau_F = \tau_B$ para $\alpha = \phi$ ($\alpha = \phi = 35^\circ$ $\tau_F / \tau_B = 1.0$).

Método Janbu simplificado.

Para calcular el factor de seguridad del talud que se muestra en la fig. 20, se utilizó la ec. 2.31 y las relaciones del factor de corrección f_o (inciso 2.1.4). Los resultados obtenidos se muestran en la fig. 31, donde se observan las variaciones del factor de seguridad para diferentes superficies de falla, con la relación d/L (d profundidad de la superficie de falla y L longitud del talud). Además se tiene valores mínimos de F_o y F_{SJ} (para $R_u=0$, $F_o = 2.07$, $d/L = 0.12$, de la fig 8 para $c > 0$ y $\phi > 0$ se obtiene $f_o = 1.05$ $F_{SJ} = F_o f_o = 2.17$).

Método de Janbu Riguroso.

Para evaluar la fuerza horizontal (E), y vertical (T) desarrolladas entre dovelas a lo largo de la superficie de falla, se utilizaron las ecs. 2.43 y 2.46 y para calcular el factor de seguridad se empleo la ecuación 2.48 (inciso 2.1.5).

Los resultados analizados por este método se presentan en las tablas 12 a 16 para diferentes posiciones de la línea de empuje (h_v) y presiones de poro, las que se encuentran en las figs. 32 a 34 respectivamente. En estas figuras se muestran la variación de las fuerzas horizontales (E) y fuerzas verticales (T) entre dovelas, los esfuerzos efectivos (σ'), la resistencia al cortante movilizada (τ) de cada dovela.

En la fig.34 se muestra el factor de seguridad para diferentes posiciones de la línea de empuje ($h_v = 0.1 - 0.7z$ donde z es la altura de la dovela). Estos cambios de

posición no tienen mayor efecto sobre el factor de seguridad, pero la distribución de los esfuerzos (σ' , τ) son considerablemente afectados.

Comparación de resultados entre los métodos.

En la tabla 17 se presenta a título de comparación la variación del factor de seguridad con la relación de la presión de poro (R_u), ángulo de fricción interna para los métodos de Bishop, Fellenius, Janbu simplificado, Janbu riguroso. Estas variaciones están representadas en las figs 35 y 36

Asimismo, en la fig 37 se muestran las variaciones del factor de seguridad para los métodos de Bishop y Culmann como se puede observar el factor de seguridad contra el deslizamiento para la superficie de falla circular (Bishop) en caso de arenas y gravas, resulta ser mayor que la superficie de falla plana (Culmann). En las figs. 35 y 36, la diferencia cuantitativa del factor de seguridad obtenidos por los métodos analizados no son considerables, con excepción del método de Fellenius.

Método de Bishop considerando la fuerzas del sismo.

Los resultados obtenidos para la sección transversal del talud (fig 20) con base a las suposiciones realizadas con respecto a la ubicación, dirección de las fuerzas horizontal y vertical del sismo (inciso 3.2.2) están representadas en las figs 38a y 38b repectivamente.

Para determinar el factor de seguridad se utiliza la ec. 2.81 desarrollada en el inciso 2.3. Los resultados se muestran en las figs. 39 a 46, donde se puede observar que el factor de seguridad tiene una

variación lineal con los parámetros de resistencia del material (ϕ, c), relación de presión de poro (R_u), ubicación y dirección de las fuerzas horizontal y vertical del sismo

Es importante notar que los coeficientes sísmicos K_h y K_v tienen una variación dentro de la altura del talud (figs. 41 a 44), para evaluar estas variaciones se utilizaron las ecs 2.87 y 2.88; para ello se normalizaron las distancias de la base y altura del talud, definidos como: $X=x/L$, $Y=y_h/H$. Donde x es la distancia horizontal desde el punto inicial de la superficie de falla al centro de gravedad de cada dovela, y_h es la altura al centro de gravedad de cada dovela donde se evalúan la fuerzas del sismo.

Por otra parte, es importante observar en las figs. 42 a 45 cuando se invierte la dirección de la fuerza vertical del sismo (línea con puntos) el factor de seguridad disminuye ($F_{cs} = 1.45$ a $F_{cs} = 1.33$ para $K_o = 0.09$ y $R_u = 0.20$), tablas 18 a 20.

Método de Bishop considerando las fuerzas de filtración.

Otra de las aplicaciones para el método de Bishop simplificado es analizar la estabilidad de un talud en términos de un factor de seguridad, cuando se hace intervenir las fuerzas de filtración que actúan en el centro de gravedad (entre la línea superior de flujo y la superficie de falla) de cada dovela con una dirección e inclinación que varía de acuerdo a la línea superior de flujo. Con el objeto de ilustrar este procedimiento se resolvieron tres casos de aplicación que están representadas en las figs 21 a 23.

Caso I (ejemplo 2), con un nivel de agua de 25 m y

para los caso II, III (ejemplo 2, 3) con un nivel de agua de 48 metros (las propiedades de los materiales estan indicadas en las mismas figuras).

Para los casos I y II la dirección de la fuerza de filtración está definida por el ángulo "i" (pendiente constante) . Los resultados obtenidos para estos dos casos se muestran en las tablas 21 a 23 donde se observan las fuerzas de filtración, los esfuerzos efectivos y totales que se desarrollan en cada dovela.

En la tabla 27 se presenta una comparación de resultados de los factores de seguridad mínimos obtenidos, con los gráficos desarrollados por J. Kerisel (1967) y los resultados obtenidos por computadora (Fig 50 y 51).

Caso III la fuerza de filtración tiene una dirección con una inclinación variable de acuerdo a la línea superior de flujo los resultados se presentan en las tablas del 24 al 26.

Del análisis por el método de Bishop simplificado sin considerar las fuerzas de filtración se obtuvo un factor de seguridad de 2.02 (para $\phi=35^\circ$, $\gamma = 2.13 \text{ T/m}^3$, $c = 3.33 \text{ T/m}^2$, $R_u = 0.1$). Pero haciendo intervenir las fuerzas de filtración el factor de seguridad se reduce a 1.55. Como se puede observar de estos resultados, la importancia que tiene las fuerzas de filtración en el análisis de la estabilidad de taludes.

En la tabla 28 se presentan las comparaciones de los factores de seguridad con las direcciones de las fuerzas de filtración para diferentes ángulos de fricción interna. Para obtener estos resultados se utilizaron las ecs. 18 y 22 (anexo II) las que se muestran en la fig. 50.

5.0 CONCLUSIONES

a) La evaluación de la estabilidad de un talud y la obtención de su factor de seguridad por el método de Bishop analizado en este trabajo se realiza suponiendo un mecanismo de falla, una ley de resistencia del material y aplicando un método de análisis límite dividiendo la masa potencialmente deslizante en dovelas.

b) La ventaja del método de Bishop respecto a los otros métodos es que permite tomar en cuenta en forma sencilla la interacción entre dovelas.

c) El método de Bishop se puede programar fácilmente.

d) La dificultad numérica que algunas veces se presenta en el método de Bishop, surge del cálculo de la fuerza normal que actúa en la base de cada dovela cuando la variable, m_{α} , (ec. 2.60) se aproxima a cero o se convierte en negativo. Los valores de m_{α} pueden ser pequeños y/o negativos dependiendo del ángulo de la base de cada dovela y del valor $\tan\phi'/F$. En este caso la fuerza normal y los factores de seguridad calculados no serán los correctos. Para evitar estas dificultades la inclinación de la superficie de falla será restringida a valores comprendidos $\pi/4+\phi/2$ y $\pi/4-\phi/2$.

e) Los factores de seguridad obtenidos con el método de Bishop simplificado y los otros métodos son similares, pero sus superficies de falla no coinciden. Esto se debe a la diferencia en las condiciones de equilibrio de los otros

métodos. Asimismo, los resultados permiten establecer que existe una variación lineal del factor de seguridad con la magnitud de la relación de la presión de poro y la tangente del ángulo de fricción interna.

f) Es posible modificarlo para tomar en cuenta de una manera sencilla las fuerzas horizontal y vertical del sismo, por lo que, los efectos dinámicos son sustituidos por una fuerza estática equivalente ($\pm K_h W, \pm K_v W$). Los coeficientes sísmicos K_h, K_v no son constantes y tienen una variación dentro de la altura del talud.

g) Es posible modificarlo para tomar en cuenta las fuerzas de filtración que actúan en cada dovela, con una dirección e inclinación que varía de acuerdo a la línea superior de flujo (constante o variable).

h) Resulta de gran utilidad práctica por su sencillez.

REFERENCIAS

1. Abrahamson N.A and Litehiser J.J (1989)
"Attenuation of vertical peak acceleration"
Bulletin of the Seismological Society of America. No 3
vol.79
2. Ambraseys, N.N (1960)
"The seismic stability of earth dams"
2nd W.C.E.E Tokyo
3. Bishop, A.W (1950)
"The use of the slip circle in the stability analysis of
slopes " .
Geotechnique; vol. 5, P.P 7-17.
4. Bishop A.W - Morgenstern, R.N (1960)
"Stability coefficients for earth slopes"
Geotechnique; volume 10
5. Chopra A.K (1966)
"The importance of the vertical component of earthquake
motions"
Bulletin of the Seismological of America. Vol.56 No 5
pp 1163-1170
6. Earthquake engineering research institute (1960)
"State construction committee of the council of
ministers of the USSR, standars and regulations for
building in seismic regions", Translations in
Earthquake Engineering, pp 75-146, San Francisco.

7. *"Earthquake Resistant Design for Civil Structure, Earth structures and Foundations in Japan"*.
Report, Japan Soc.of C.V. Engrs; Tokyo, Japan, 1960
8. Fellenius, W., 1936.
"Calculation of the Stability of Earth dams"
Proceedings of the Second Congress on Large Dams, 4 ,
pp 445-46
9. Janbu. N. (1973)
"Slope stability computations"
Embankment Dam Engineering; Casagrande Volume, pp.47-86
Jon Wiley - Sons New. York.
10. Juárez Badillo E.(1982)
"Mecánica de suelos. Tomo II"
Editorial Limusa
11. Kerisel. J. (1967)
"Glissements de terrains; abaques"
Dunod, París.
12. Spencer.E. (1967).
"A method of analysis of the stability of embankment assuming parallel inter-slice force ".
Geotechnique, vol. 17, pp. 11-26
13. Terzaghi K. and Peck. R.B.(1967)
"Soil mechanics engineering practice", John Wiley and Sons
New York

14. Terzaghi, K. (1950)
"Mechanism of landslides"
Engineering Geology (Berkey volume). The Geologic Society of America, pp 83-123.

15. Whitman R.V. and Bailey, W.A (1967).
"Use of computer for slope stability analysis."
ASCE. Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, 93 (SM4).

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

T A B L A

R E S U L T A D O S

**ANALISIS DE ESTABILIDAD DE TALUDES METODO
DE BISHOP SIMPLIFICADO**

TABLA 1

CARACTERISTICAS GEOMETRICAS TALUD COORDS INICIALES
CENTRO Y RADIO DEL CIRCULO.

 ALTURA DEL TALUD = 50
 LONG. BASE TALUD = 100
 ANGULO TALUD = 26.57
 X(0) = 20 YB(0) = 50 YT(0) = 50
 XC(0) = 109.4 YC(0) = 100 RADIO = 102.43

PROPIEDADES DE LOS SUELOS Y CARACT. GEOMETRICAS DE
CADA DOVELA

DOV.	C	PHI	GA	X	YB	YT
1	5.33	35.00	2.13	30.00	35.00	50.00
2	5.33	35.00	2.13	52.00	15.00	39.00
3	5.33	35.00	2.13	70.00	5.40	30.00
4	5.33	35.00	2.13	90.00	-0.60	20.00
5	5.33	35.00	2.13	110.00	-2.30	10.00
6	5.33	35.00	2.13	130.00	0.00	0.00

LONGITUD, ANCHO, PESO, ANGULO ALFA, PRESION
DE PORO DE CADA DOVELA

DOV	L	B	W	A	U
1	18.03	10.00	159.75	56.31	0.00
2	29.73	22.00	913.77	42.27	0.00
3	20.40	18.00	931.66	28.07	0.00
4	20.88	20.00	962.76	16.70	0.00
5	20.07	20.00	700.77	4.86	0.00
6	20.13	20.00	261.99	-6.56	0.00

TABLA 2

RESULTADOS DE: M ALFA, MOMENTOS MR, MO, ESF.EFECTIVOS, TOTALES
RESISTENCIA CORTANTE MOVILIZADA, FACTS.DE SEGURIDAD

DOV.	MA	MR	MO	U	ESE	EST	SC	SCM
1	0.81	203.043	132.920	0.000	8.473	8.473	11.263	5.001
2	0.95	797.692	614.668	0.000	30.704	30.704	26.829	11.914
3	1.03	727.436	438.429	0.000	43.314	43.314	35.659	15.835
4	1.05	745.560	276.647	0.000	43.381	43.361	35.706	15.856
5	1.02	584.002	59.351	0.000	33.940	33.940	29.095	12.920
6	0.96	302.785	-29.932	0.000	13.868	13.868	15.040	6.679
		3360.520	1492.085					

FACT.DE SEGURIDAD INICIAL CALCULADO FO= 2.089
 FACT.DE SEGURIDAD SUPUESTO ES F1= 2.252
 FACT.SEGURIDAD MET.BISHOP CALCULADO F= 2.252
 DIFERENCIA D= 0.000
 RELACION DE LA PRESION DE PORO RU= 0.00

R E S U M E N
PROYECTO: APLICACION

XC(0)	YC(0)	R	MR	MO	F.MIN
109.40	100.00	102.43	3360.52	1492.08	2.25

RESULTADOS DE: M ALFA, MOMENTOS MR, MO, ESF.EFECTIVOS, TOTALES
RESISTENCIA CORTANTE MOVILIZADA, FACTS.DE SEGURIDAD

DOV.	MA	MR	MO	U	ESE	EST	SC	SCM
1	0.84	183.297	132.920	1.598	6.909	8.506	10.168	4.979
2	0.97	714.098	614.668	4.154	26.689	30.842	24.018	11.762
3	1.04	654.446	438.429	5.176	38.204	43.380	32.081	15.710
4	1.06	675.260	276.647	4.814	38.573	43.387	32.339	15.837
5	1.03	534.610	59.351	3.504	30.426	33.930	26.634	13.043
6	0.95	284.721	-29.932	1.310	12.586	13.896	14.143	6.926
		3046.434	1492.085					

FACT.DE SEGURIDAD INICIAL CALCULADO FO= 1.875
 FACT.DE SEGURIDAD SUPUESTO ES F1= 2.042
 FACT.SEGURIDAD MET.BISHOP CALCULADO F= 2.042
 DIFERENCIA D= 0.000
 RELACION DE LA PRESION DE PORO RU= 0.10

TABLA 3

RESULTADOS DE: M ALFA, MOMENTOS MR, MO, ESF.EFECTIVOS, TOTALES
RESISTENCIA CORTANTE MOVILIZADA, FACTS.DE SEGURIDAD

DOV.	MA	MR	MO	U	ESE	EST	SC	SCM	
1	0.87	163.611	132.920	3.195	5.349	8.544	9.076	4.954	
2	1.00	630.988	614.668	8.307	22.697	31.004	21.222	11.584	
3	1.06	581.637	438.429	10.352	33.107	43.459	28.512	15.563	
4	1.07	604.976	276.647	9.628	33.766	43.394	28.973	15.815	
5	1.03	485.174	59.351	7.008	26.909	33.917	24.172	13.191	
6	0.95	266.732	-29.932	2.620	11.311	13.931	13.250	7.203	
		2733.149	1492.085						

FACT.DE SEGURIDAD INICIAL CALCULADO FO= 1.662
FACT.DE SEGURIDAD SUPUESTO ES F1= 1.832
FACT.SEGURIDAD MET.BISHOP CALCULADO F= 1.832

DIFERENCIA D= 0.000
RELACION DE LA PRESION DE PORO RU= 0.20

RESULTADOS DE: M ALFA, MOMENTOS MR, MO, ESF.EFECTIVOS, TOTALES
RESISTENCIA CORTANTE MOVILIZADA, FACTS.DE SEGURIDAD

DOV.	MA	MR	MO	U	ESE	EST	SC	SCM	
1	0.91	144.035	132.920	4.793	3.798	8.591	7.990	4.923	
2	1.03	548.599	614.668	12.461	18.739	31.200	18.451	11.369	
3	1.09	509.121	438.429	15.528	28.030	43.558	24.957	15.377	
4	1.08	534.751	276.647	14.441	28.963	43.404	25.610	15.779	
5	1.03	435.723	59.351	10.512	23.390	33.902	21.708	13.375	
6	0.94	248.911	-29.932	3.930	10.046	13.976	12.364	7.618	
		2421.140	1492.085						

FACT.DE SEGURIDAD INICIAL CALCULADO FO= 1.448
FACT.DE SEGURIDAD SUPUESTO ES F1= 1.623
FACT.SEGURIDAD MET.BISHOP CALCULADO F= 1.623

DIFERENCIA D= 0.000
RELACION DE LA PRESION DE PORO RU= 0.30

TABLA 4

RESULTADOS DE: M ALFA, MOMENTOS MR, MO, ESF.EFECTIVOS, TOTALES
RESISTENCIA CORTANTE MOVILIZADA, FACTS.DE SEGURIDAD

DOV.	MA	MR	MO	U	ESE	EST	SC	SCM
1	0.97	124.597	132.920	6.390	2.258	8.648	6.911	4.884
2	1.07	467.144	614.668	16.614	14.827	31.441	15.712	11.104
3	1.12	437.001	438.429	20.704	22.981	43.685	21.422	15.139
4	1.10	464.608	276.647	19.255	24.165	43.421	22.251	15.725
5	1.04	386.211	59.351	14.015	19.867	33.883	19.241	13.598
6	0.94	231.256	-29.932	5.240	8.793	14.033	11.487	8.118
		2110.818	1492.085					

FACT.DE SEGURIDAD INICIAL CALCULADO FO= 1.235
 FACT.DE SEGURIDAD SUPUESTO ES F1= 1.415
 FACT.SEGURIDAD MET.BISHOP CALCULADO F= 1.415
 DIFERENCIA D= 0.000
 RELACION DE LA PRESION DE PORO RU= 0.40

TABLA 5

RESULTADOS DE: M ALFA, MOMENTOS MR, MO, ESF.EFECTIVOS, TOTALES
RESISTENCIA CORTANTE MOVILIZADA, FACTS.DE SEGURIDAD

DOV.	MA	MR	MO	U	ESE	EST	SC	SCM
1	1.04	105.333	132.920	7.988	0.732	8.720	5.843	4.837
2	1.13	386.931	614.668	20.768	10.974	31.741	13.014	10.773
3	1.16	365.430	438.429	25.880	17.971	43.850	17.913	14.829
4	1.12	394.585	276.647	24.069	19.376	43.445	18.897	15.643
5	1.05	336.625	59.351	17.519	16.339	33.858	16.771	13.883
6	0.93	213.888	-29.932	6.550	7.561	14.111	10.624	8.795
		1802.792	1492.085					

FACT.DE SEGURIDAD INICIAL CALCULADO FO= 1.021
 FACT.DE SEGURIDAD SUPUESTO ES F1= 1.208
 FACT.SEGURIDAD MET.BISHOP CALCULADO F= 1.208
 DIFERENCIA D= 0.000
 RELACION DE LA PRESION DE PORO RU= 0.50

TABLA 6

RESULTADOS DE: M ALFA, MOMENTOS MR, MO, ESP.EFECTIVOS, TOTALES
RESISTENCIA CORTANTE MOVILIZADA, FACTS.DE SEGURIDAD

DOV.	MA	MR	MO	U	ESE	EST	SC	SCM
1	1.13	86.383	132.920	9.585	-0.769	8.816	4.792	4.773
2	1.21	308.659	614.668	24.921	7.214	32.135	10.381	10.340
3	1.21	294.810	438.429	31.055	13.027	44.082	14.451	14.394
4	1.16	324.852	276.647	28.883	14.607	43.489	15.558	15.496
5	1.06	286.955	59.351	21.023	12.805	33.828	14.296	14.239
6	0.91	196.962	-29.932	7.860	6.360	14.220	9.784	9.745

1498.619 1492.085

FACT.DE SEGURIDAD INICIAL CALCULADO $F_0 = 0.808$
 FACT.DE SEGURIDAD SUPUESTO ES $F_1 = 1.004$
 FACT.SEGURIDAD MET.BISHOP CALCULADO $F = 1.004$

DIFERENCIA $D = 0.000$
 RELACION DE LA PRESION DE PORO $RU = 0.60$

RESULTADOS DE: M ALFA, MOMENTOS MR, MO, ESP.EFECTIVOS, TOTALES
RESISTENCIA CORTANTE MOVILIZADA, FACTS.DE SEGURIDAD

DOV.	MA	MR	MO	U	ESE	EST	SC	SCM
1	1.28	67.940	132.920	11.183	-2.230	8.953	3.769	4.682
2	1.33	233.357	614.668	29.075	3.597	32.671	7.849	9.750
3	1.29	225.788	438.429	36.231	8.195	44.426	11.068	13.749
4	1.21	255.711	276.647	33.697	9.878	43.574	12.246	15.213
5	1.07	237.184	59.351	24.527	9.264	33.791	11.817	14.679
6	0.89	180.783	-29.932	9.170	5.213	14.382	8.980	11.155

1200.763 1492.085

FACT.DE SEGURIDAD INICIAL CALCULADO $F_0 = 0.594$
 FACT.DE SEGURIDAD SUPUESTO ES $F_1 = 0.805$
 FACT.SEGURIDAD MET.BISHOP CALCULADO $F = 0.805$

DIFERENCIA $D = 0.000$
 RELACION DE LA PRESION DE PORO $RU = 0.70$

TABLA 7

RESULTADOS DE: M ALFA, MOMENTOS MR, MO, ESF.EFECTIVOS, TOTALES
RESISTENCIA CORTANTE MOVILIZADA, FACTS.DE SEGURIDAD

DOV.	MA	MR	MO	U	ESE	EST	SC	SCM
1	1.51	50.224	132.920	12.780	-3.633	9.147	2.786	4.552
2	1.51	162.448	614.668	33.228	0.191	33.419	5.464	8.928
3	1.42	159.358	438.429	41.407	3.544	44.951	7.812	12.764
4	1.29	187.648	276.647	38.510	5.222	43.733	8.987	14.664
5	1.09	187.263	59.351	28.031	5.712	33.743	9.330	15.244
6	0.86	166.087	-29.932	10.480	4.170	14.650	8.250	13.480
		913.029	1492.065					

FACT.DE SEGURIDAD INICIAL CALCULADO FO= 0.380
 FACT.DE SEGURIDAD SUPUESTO ES F1= 0.612
 FACT.SEGURIDAD MET.BISHOP CALCULADO F= 0.612
 DIFERENCIA D= 0.000
 RELACION DE LA PRESION DE PORO RU= 0.80

RESULTADOS DE: M ALFA, MOMENTOS MR, MO, ESF.EFECTIVOS, TOTALES
RESISTENCIA CORTANTE MOVILIZADA, FACTS.DE SEGURIDAD

DOV.	MA	MR	MO	U	ESE	EST	SC	SCM
1	1.90	33.881	132.920	14.378	-4.928	9.449	1.879	4.350
2	1.83	99.027	614.668	37.382	-2.855	34.526	3.331	7.710
3	1.65	97.973	438.429	46.583	-0.753	45.830	4.803	11.117
4	1.42	122.237	276.647	43.324	0.748	44.073	5.854	13.551
5	1.13	137.312	59.351	31.535	2.156	33.692	6.841	15.835
6	0.81	154.582	-29.932	11.790	3.354	15.144	7.678	17.774
		645.011	1492.065					

FACT.DE SEGURIDAD INICIAL CALCULADO FO= 0.167
 FACT.DE SEGURIDAD SUPUESTO ES F1= 0.432
 FACT.SEGURIDAD MET.BISHOP CALCULADO F= 0.432
 DIFERENCIA D= 0.000
 RELACION DE LA PRESION DE PORO RU= 0.90

TABLA 8

RESULTADOS DE: M ALFA, MOMENTOS MR, MO, ESF.EFECTIVOS, TOTALES
RESISTENCIA CORTANTE MOVILIZADA, FACTS.DE SEGURIDAD

DOV.	MA	MR	MO	U	ESE	EST	SC	SCM
1	2.64	20.224	132.920	15.975	-6.010	9.965	1.122	4.007
2	2.42	48.412	614.668	41.535	-5.287	36.248	1.628	5.815
3	2.06	46.592	438.429	51.759	-4.350	47.409	2.284	8.157
4	1.68	63.588	276.647	48.138	-3.263	44.875	3.045	10.876
5	1.21	88.230	59.351	35.038	-1.334	33.704	4.396	15.699
6	0.71	150.618	-29.932	13.100	3.073	16.172	7.482	26.720

417.665 1492.085

FACT.DE SEGURIDAD INICIAL CALCULADO $F_0 = -0.047$
 FACT.DE SEGURIDAD SUPUESTO ES $F_1 = 0.280$
 FACT.SEGURIDAD MET.BISHOP CALCULADO $F = 0.280$

DIFERENCIA $D = 0.000$
 RELACION DE LA PRESION DE PORO $RU = 1.00$

T A B L A S

R E S U L T A D O S

METODOS: FELLENIUS - BISHOP

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TABLA 9

MOMENTOS: RESISTENTE, MOTOR Y PRESION PORO, RELACION DE RESISTENCIAS CORTANTES FELLENIOUS, BISHOP

DOV.	A. ALFA	MR	MO	U	RSCF	RSCB	RFB
1	90.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	81.98	0.07	0.51	0.00	0.02	0.12	0.16
3	60.11	1.18	2.06	0.00	0.25	0.37	0.68
4	45.00	2.00	2.01	0.00	0.50	0.50	1.00
5	35.09	0.98	0.69	0.00	0.67	0.59	1.14
6	30.04	1.57	0.91	0.00	0.75	0.63	1.18
7	22.54	1.12	0.46	0.00	0.85	0.71	1.21
8	17.57	1.71	0.54	0.00	0.91	0.76	1.20
9	12.41	1.14	0.25	0.00	0.95	0.82	1.16
10	10.02	1.68	0.30	0.00	0.97	0.85	1.14
11	0.00	2.66	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
12	-9.98	2.31	-0.41	0.00	0.97	1.21	0.80
13	-29.94	1.63	-0.94	0.00	0.75	2.35	0.32
14	-45.00	0.94	-0.94	0.00	0.50	286.72	0.00
15	-54.97	0.29	-0.41	0.00	0.33	-2.37	-0.14
16	-79.98	0.01	-0.06	0.00	0.03	-0.22	-0.14

EL FACTOR DESEGURIDAD (METODO SUECO) F= 3.881
 COHESION= 0 PHI= 44.9 GAMMA= 2.13

MOMENTOS: RESISTENTE, MOTOR Y PRESION PORO, RELACION DE RESISTENCIAS CORTANTES FELLENIOUS, BISHOP

DOV.	A. ALFA	MR	MO	U	RSCF	RSCB	RFB
1	90.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	81.98	0.06	0.51	0.00	0.02	0.14	0.14
3	60.11	0.99	2.06	0.00	0.25	0.41	0.61
4	45.00	1.68	2.01	0.00	0.50	0.54	0.92
5	35.09	0.82	0.69	0.00	0.67	0.63	1.06
6	30.04	1.32	0.91	0.00	0.75	0.67	1.11
7	22.54	0.94	0.46	0.00	0.85	0.74	1.15
8	17.57	1.44	0.54	0.00	0.91	0.79	1.15
9	12.41	0.96	0.25	0.00	0.95	0.84	1.13
10	10.02	1.41	0.30	0.00	0.97	0.87	1.11
11	0.00	2.24	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
12	-9.98	1.95	-0.41	0.00	0.97	1.17	0.83
13	-29.94	1.37	-0.94	0.00	0.75	1.94	0.39
14	-45.00	0.79	-0.94	0.00	0.50	6.21	0.08
15	-54.97	0.24	-0.41	0.00	0.33	-5.07	-0.06
16	-79.98	0.01	-0.06	0.00	0.03	-0.27	-0.11

EL FACTOR DESEGURIDAD (METODO SUECO) F= 3.268
 COHESION= 0 PHI= 40 GAMMA= 2.13



TABLA 10

MOMENTOS: RESISTENTE, MOTOR Y PRESION PORO, RELACION DE RESISTENCIAS CORTANTES FELLENIOUS, BISHOP

DOV.	A.ALFA	MR	MO	U	RSCF	RSCB	RFB
1	90.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	81.98	0.05	0.51	0.00	0.02	0.17	0.12
3	60.11	0.83	2.06	0.00	0.25	0.45	0.55
4	45.00	1.41	2.01	0.00	0.50	0.59	0.85
5	35.09	0.69	0.69	0.00	0.67	0.67	1.00
6	30.04	1.10	0.91	0.00	0.75	0.71	1.05
7	22.54	0.78	0.46	0.00	0.85	0.77	1.10
8	17.57	1.21	0.54	0.00	0.91	0.82	1.11
9	12.41	0.80	0.25	0.00	0.95	0.87	1.10
10	10.02	1.18	0.30	0.00	0.97	0.89	1.09
11	0.00	1.87	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
12	-9.98	1.62	-0.41	0.00	0.97	1.14	0.85
13	-29.94	1.15	-0.94	0.00	0.75	1.68	0.45
14	-45.00	0.66	-0.94	0.00	0.50	3.34	0.15
15	-54.97	0.20	-0.41	0.00	0.33	961.11	0.00
16	-79.98	0.01	-0.06	0.00	0.03	-0.34	-0.09

EL FACTOR DESEGURIDAD (METODO SUECO) F= 2.727
 COHESION= 0 PHI= 35 GAMMA= 2.13

MOMENTOS: RESISTENTE, MOTOR Y PRESION PORO, RELACION DE RESISTENCIAS CORTANTES FELLENIOUS, BISHOP

DOV.	A.ALFA	MR	MO	U	RSCF	RSCB	RFB
1	90.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	81.98	0.04	0.51	0.00	0.02	0.20	0.10
3	60.11	0.68	2.06	0.00	0.25	0.50	0.50
4	45.00	1.16	2.01	0.00	0.50	0.63	0.79
5	35.09	0.57	0.69	0.00	0.67	0.71	0.94
6	30.04	0.91	0.91	0.00	0.75	0.75	1.00
7	22.54	0.65	0.46	0.00	0.85	0.81	1.06
8	17.57	0.99	0.54	0.00	0.91	0.85	1.08
9	12.41	0.66	0.25	0.00	0.95	0.89	1.07
10	10.02	0.97	0.30	0.00	0.97	0.91	1.07
11	0.00	1.54	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
12	-9.98	1.34	-0.41	0.00	0.97	1.11	0.87
13	-29.94	0.94	-0.94	0.00	0.75	1.50	0.50
14	-45.00	0.54	-0.94	0.00	0.50	2.37	0.21
15	-54.97	0.17	-0.41	0.00	0.33	5.67	0.06
16	-79.98	0.01	-0.06	0.00	0.03	-0.44	-0.07

EL FACTOR DESEGURIDAD (METODO SUECO) F= 2.249
 COHESION= 0 PHI= 30 GAMMA= 2.13



TABLA 11

MOMENTOS: RESISTENTE, MOTOR Y PRESION PORO, RELACION DE RESISTENCIAS CORTANTES FELLENIUS, BISHOP

DOV.	A.ALFA	MR	MO	U	RSCF	RSCB	RFB
1	90.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	81.98	0.03	0.51	0.00	0.02	0.23	0.08
3	60.11	0.55	2.06	0.00	0.25	0.55	0.45
4	45.00	0.94	2.01	0.00	0.50	0.68	0.73
5	35.09	0.46	0.69	0.00	0.67	0.75	0.89
6	30.04	0.73	0.91	0.00	0.75	0.79	0.95
7	22.54	0.52	0.46	0.00	0.85	0.84	1.02
8	17.57	0.80	0.54	0.00	0.91	0.87	1.04
9	12.41	0.53	0.25	0.00	0.95	0.91	1.05
10	10.02	0.79	0.30	0.00	0.97	0.92	1.05
11	0.00	1.24	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
12	-9.98	1.08	-0.41	0.00	0.97	1.09	0.89
13	-29.94	0.76	-0.94	0.00	0.75	1.37	0.55
14	-45.00	0.44	-0.94	0.00	0.50	1.87	0.27
15	-54.97	0.13	-0.41	0.00	0.33	2.99	0.11
16	-79.98	0.00	-0.06	0.00	0.03	-0.61	-0.05

EL FACTOR DESEGURIDAD (METODO SUECO) F= 1.816
 COHESION= 0 PHI= 25 GAMMA= 2.13

MOMENTOS: RESISTENTE, MOTOR Y PRESION PORO, RELACION DE RESISTENCIAS CORTANTES FELLENIUS, BISHOP

DOV.	A.ALFA	MR	MO	U	RSCF	RSCB	RFB
1	90.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	81.98	0.01	0.51	0.00	0.02	0.44	0.04
3	60.11	0.21	2.06	0.00	0.25	0.77	0.32
4	45.00	0.35	2.01	0.00	0.50	0.85	0.59
5	35.09	0.17	0.69	0.00	0.67	0.89	0.75
6	30.04	0.28	0.91	0.00	0.75	0.91	0.83
7	22.54	0.20	0.46	0.00	0.85	0.93	0.92
8	17.57	0.30	0.54	0.00	0.91	0.95	0.96
9	12.41	0.20	0.25	0.00	0.95	0.96	0.99
10	10.02	0.30	0.30	0.00	0.97	0.97	1.00
11	0.00	0.47	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00
12	-9.98	0.41	-0.41	0.00	0.97	1.03	0.94
13	-29.94	0.29	-0.94	0.00	0.75	1.11	0.67
14	-45.00	0.17	-0.94	0.00	0.50	1.21	0.41
15	-54.97	0.05	-0.41	0.00	0.33	1.34	0.25
16	-79.98	0.00	-0.06	0.00	0.03	645.63	0.00

EL FACTOR DESEGURIDAD (METODO SUECO) F= 0.687
 COHESION= 0 PHI= 10 GAMMA= 2.13



T A B L A S

R E S U L T A D O S

M E T O D O J A N B U R I G U R O S O

TABLA 12

DATOS DESDE LA SECCION TRANSVERSAL DEL TALUD

DOV.	TAN(A)	DX	P	U	C	TAN(PHI)	DO
1	1.50	10.00	14.91	3.20	5.33	0.70	0.00
2	0.91	22.00	42.60	8.31	5.33	0.70	0.00
3	0.53	18.00	53.25	10.35	5.33	0.70	0.00
4	0.30	20.00	48.99	9.63	5.33	0.70	0.00
5	0.08	20.00	36.21	7.01	5.33	0.70	0.00
6	-0.11	20.00	14.91	2.62	5.33	0.70	0.00

CALCULO DE FPO, DELTA ED, Y ED

DOV	BO	APD	NAD	AD	DEO
1	223.65	135.29	0.52	258.89	67.78
2	852.00	645.48	0.78	828.33	353.31
3	511.20	636.64	0.97	655.06	116.82
4	293.94	657.80	1.05	629.13	-84.83
5	61.56	515.52	1.03	499.48	-239.15
6	-34.29	278.71	0.93	298.37	-213.93
	1908.05	2869.45		3169.26	

FACT.DE SEGURIDAD (MET.DE JANBU RIGUROSO) FPO= 1.50
 FACT.SEGURIDAD CALCULADO (JANBU RIGUROSO) FO= 1.66
 X(0)= 20 YB(0)= 50 YT(0)= 50

CALCULO DE: T1

ED	EXD	TAN(AT)	HT	T1
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
67.78	13.16	0.78	1.40	-34.44
421.09	11.75	0.48	4.00	-155.10
537.91	0.84	0.31	5.00	-162.51
453.08	-8.10	0.22	4.60	-136.96
213.93	-11.33	0.03	3.40	-44.94
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CALCULO DE: FS1, DELTA E1, E1, ESF. CORTANTE Y NORMAL TOTALES

DT1	TE1	B1	AP1	NA1	A1	DE1	TAU	SIGMA
-34.44	-3.44	171.99	111.18	0.48	229.89	46.84	3.85	9.13
-120.66	-5.48	742.31	560.99	0.74	760.95	328.06	10.31	33.23
-7.41	-0.41	507.25	631.45	0.94	674.04	140.31	15.87	44.79
25.55	1.28	301.60	675.69	1.02	660.93	-58.19	16.50	44.04
92.02	4.60	69.38	579.95	1.02	565.81	-238.64	15.29	34.91
44.94	2.25	-39.46	310.18	0.94	328.68	-218.39	8.83	15.93
		1753.07			3220.30			

FACT.SEGURIDAD CALCULADO (JANBU RIGUROSO) FS1= 1.837

TABLA 13

DATOS DESDE LA SECCION TRANSVERSAL DEL TALUD

DOV.	TAN(A)	DX	F	U	C	TAN(PHI)	DQ
1	1.50	10.00	14.91	3.20	5.33	0.70	0.00
2	0.91	22.00	42.60	8.31	5.33	0.70	0.00
3	0.53	18.00	53.25	10.35	5.33	0.70	0.00
4	0.30	20.00	48.99	9.63	5.33	0.70	0.00
5	0.08	20.00	36.21	7.01	5.33	0.70	0.00
6	-0.11	20.00	14.91	2.62	5.33	0.70	0.00

CALCULO DE FPO, DELTA EO, Y EO

DOV	BO	APO	NAC	AO	DEO
1	223.65	135.29	0.52	258.89	67.78
2	852.00	645.48	0.78	828.33	353.31
3	511.20	636.64	0.97	655.06	116.82
4	293.94	657.80	1.05	629.13	-84.83
5	61.56	515.52	1.03	499.48	-239.15
6	-34.29	278.71	0.93	298.37	-213.93
1908.05		2869.45		3169.26	

FACT. DE SEGURIDAD (MET. DE JANBU RIGUROSO) FPO = 1.50
 FACT. SEGURIDAD CALCULADO (JANBU RIGUROSO) FO = 1.66
 X(0) = 20 YB(0) = 50 YT(0) = 50

CALCULO DE: T1

EO	EXO	TAN(AT)	HT	T1
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
67.78	13.16	0.65	3.50	2.00
421.09	11.75	0.36	10.00	-34.06
537.91	0.84	0.34	12.50	-172.36
453.08	-8.10	0.19	11.50	-179.23
213.93	-11.33	0.31	8.50	-162.60
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

CALCULO DE: FS1, DELTA E1, E1, ESF. CORTANTE Y NORMAL TOTALES

DT1	TE1	B1	AP1	NA1	A1	DE1	TAU	SIGMA
2.00	0.20	226.65	136.69	0.48	282.25	72.43	4.75	7.79
-36.06	-1.64	819.22	620.23	0.74	840.47	360.02	11.43	32.21
-138.30	-7.68	437.44	539.80	0.94	575.83	122.82	13.61	45.99
-6.87	-0.34	291.88	653.00	1.02	638.48	-56.96	16.00	44.19
16.63	0.83	62.97	527.17	1.03	514.25	-218.00	13.95	35.02
162.60	8.13	-52.99	392.56	0.94	416.06	-280.31	11.22	16.20
1785.16					3267.34			

FACT. SEGURIDAD CALCULADO (JANBU RIGUROSO) FS1 = 1.830

TABLETA 14

DATOS DESDE LA SECCION TRANSVERSAL DEL TALUD

DOV.	TAN(A)	DX	F	U	C	TAN(PHI)	DO
1	1.50	10.00	14.91	3.20	5.33	0.70	0.00
2	0.91	22.00	42.60	8.31	5.33	0.70	0.00
3	0.53	18.00	53.25	10.35	5.33	0.70	0.00
4	0.30	20.00	48.99	9.63	5.33	0.70	0.00
5	0.08	20.00	36.21	7.01	5.33	0.70	0.00
6	-0.11	20.00	14.91	2.62	5.33	0.70	0.00

CALCULO DE FPO, DELTA EO, Y EO

DOV	BO	AFD	NAD	AO	DEO
1	223.65	135.29	0.52	258.89	67.78
2	852.00	645.48	0.78	828.33	353.31
3	511.20	636.64	0.97	655.06	116.82
4	293.94	657.80	1.05	629.13	-84.83
5	61.56	515.52	1.03	499.48	-239.15
6	-34.29	278.71	0.93	298.37	-213.93
1908.05		2869.45		3169.26	

FACT. DE SEGURIDAD (MET. DE JANBU RIGUROSO) FPO = 1.50
 FACT. SEGURIDAD CALCULADO (JANBU RIGUROSO) FO = 1.66
 X(O) = 20 YB(O) = 50 YT(O) = 50

CALCULO DE: T1

EO	EXO	TAN(AT)	HT	T1
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
67.78	13.16	0.55	4.90	27.20
421.09	11.75	0.34	14.00	21.37
537.91	0.84	0.31	17.45	-152.06
453.08	-8.10	0.12	16.10	-184.77
213.93	-11.33	0.45	11.90	-231.03
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

CALCULO DE: FS1, DELTA E1, E1, ESF. CORTANTE Y NORMAL TOTALES

DT1	TE1	B1	AF1	NA1	A1	DE1	TAU	SIGMA
27.20	2.72	264.45	154.34	0.49	317.99	89.61	5.38	6.84
-5.83	-0.26	846.70	641.40	0.74	867.80	369.58	11.87	31.81
-173.43	-9.63	418.70	515.20	0.94	549.03	116.84	13.06	46.29
-32.71	-1.64	284.13	634.90	1.02	620.39	-56.97	15.65	44.30
-46.26	-2.31	57.62	483.13	1.03	471.20	-201.45	12.86	35.12
231.03	11.55	-60.86	440.48	0.94	466.97	-317.61	12.67	16.37
1810.75				3293.40				

FACT. SEGURIDAD CALCULADO (JANBU RIGUROSO) FS1 = 1.819

TABLA 15

DATOS DESDE LA SECCION TRANSVERSAL DEL TALUD

DOV.	TAN(A)	DX	F	U	C	TAN(FHI)	DO
1	1.50	10.00	14.91	6.39	5.33	0.70	0.00
2	0.91	22.00	42.60	16.61	5.33	0.70	0.00
3	0.53	18.00	53.25	20.70	5.33	0.70	0.00
4	0.30	20.00	48.99	19.25	5.33	0.70	0.00
5	0.08	20.00	36.21	14.02	5.33	0.70	0.00
6	-0.11	20.00	14.91	5.24	5.33	0.70	0.00

CALCULO DE FFO, DELTA ED, Y EO

DOV	BO	AFO	NAD	F	DEO
1	223.65	112.96	0.57	196.93	71.16
2	852.00	517.56	0.83	620.39	371.62
3	511.20	506.14	1.02	497.31	126.12
4	293.94	523.01	1.08	486.08	-82.44
5	61.56	417.42	1.04	400.81	-248.80
6	-34.29	242.02	0.92	262.62	-237.65
1908.05		2319.11		2464.14	

FACT. DE SEGURIDAD (MET. DE JANBU RIGUROSO) FFO= 1.22
 FACT. SEGURIDAD CALCULADO (JANBU RIGUROSO) FO= 1.29
 X(O)= 20 YB(O)= 50 YT(O)= 50

CALCULO DE: T1

EO	EXO	TAN(AT)	HT	T1
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
71.16	13.84	0.78	1.40	-36.12
442.77	12.44	0.48	4.00	-162.75
568.89	1.15	0.31	5.00	-170.57
486.45	-8.28	0.22	4.60	-145.13
237.65	-12.16	0.03	3.40	-48.48
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

CALCULO DE: FS1, DELTA E1, E1, ESF. CORTANTE Y NORMAL TOTALES

DT1	TE1	B1	AP1	NA1	A1	DE1	TAU	SIGMA
-36.12	-3.61	169.46	87.66	0.53	164.21	54.64	3.53	9.61
-126.62	-5.76	736.89	428.90	0.79	541.95	357.93	9.43	34.03
-7.82	-0.43	507.03	500.66	0.98	509.84	150.52	15.42	45.03
25.44	1.27	301.57	540.82	1.05	513.95	-57.81	16.49	44.04
96.65	4.83	69.77	485.10	1.03	469.06	-258.22	16.28	34.83
48.48	2.42	-39.87	275.97	0.93	296.32	-247.07	10.22	16.09
1744.85					2495.33			

FACT. SEGURIDAD CALCULADO (JANBU RIGUROSO) FS1= 1.430

TABLA 16

DATOS DESDE LA SECCION TRANSVERSAL DEL TALUD

DOV.	TAN(A)	DX	F	U	C	TAN(PHI)	DO
1	1.50	10.00	14.91	6.39	5.33	0.70	0.00
2	0.91	22.00	42.60	16.61	5.33	0.70	0.00
3	0.53	18.00	53.25	20.70	5.33	0.70	0.00
4	0.30	20.00	48.99	19.25	5.33	0.70	0.00
5	0.08	20.00	36.21	14.02	5.33	0.70	0.00
6	-0.11	20.00	14.91	5.24	5.33	0.70	0.00

CALCULO DE FPO, DELTA EO, Y EO

DOV	BO	APD	NAO	AO	DEO
1	223.65	112.96	0.57	196.93	71.16
2	852.00	517.56	0.83	620.39	371.62
3	511.20	506.14	1.02	497.31	126.12
4	293.94	523.01	1.08	486.08	-82.44
5	61.56	417.42	1.04	400.81	-248.80
6	-34.29	242.02	0.92	262.62	-237.65
1908.05		2319.11		2464.14	

FACT. DE SEGURIDAD (MET. DE JANBU RIGUROSO) FPO = 1.22

FACT. SEGURIDAD CALCULADO (JANBU RIGUROSO) FO = 1.29

X(O) = 20 YB(O) = 50 YT(O) = 50

CALCULO DE: T1

EO	EXO	TAN(AT)	HT	T1
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
71.16	13.84	0.55	4.90	28.66
442.77	12.44	0.34	14.00	23.66
568.89	1.15	0.31	17.45	-156.30
486.45	-8.28	0.12	16.10	-191.69
237.65	-12.16	0.45	11.90	-251.62
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

CALCULO DE: FS1, DELTA E1, E1, ESF. CORTANTE Y NORMAL TOTALES

DT1	TE1	B1	AP1	NA1	A1	DE1	TAU	SIGMA
28.66	2.87	266.65	133.03	0.53	248.74	91.83	5.38	6.84
-5.00	-0.23	847.45	514.06	0.79	648.72	391.54	11.35	32.29
-179.96	-10.00	415.22	380.13	0.98	386.76	143.41	11.76	46.98
-35.40	-1.77	283.32	498.23	1.05	473.21	-49.25	15.26	44.41
-59.93	-3.00	56.46	375.46	1.03	362.99	-198.64	12.66	35.13
251.62	12.58	-63.23	418.21	0.93	449.15	-378.89	15.58	16.70

1805.88

2569.57

FACT. SEGURIDAD CALCULADO (JANBU RIGUROSO) FS1 = 1.423

TABLA 17 Comparación de los factores de seguridad para los diferentes métodos

R_u	ϕ	C Ton/m ²	γ Ton/m ³	Bishop S	Fellenius	Janbu S	Janbu R
0.0	35	5.33	2.13	2.225	2.089	2.187	2.230
0.2	35	5.33	2.13	1.832	1.662	1.768	1.826
0.4	35	5.33	2.13	1.415	1.235	1.354	1.422
0.60	35	5.33	2.13	1.004	0.808	0.948	1.035
0.80	35	5.33	2.13	0.612	0.380	0.564	0.731
0.20	45	5.33	2.13	2.421	2.176	2.328	2.410
0.20	40	5.33	2.13	2.104	1.90	2.028	2.090
0.20	35	5.33	2.13	1.832	1.662	1.768	1.824
0.20	30	5.33	2.13	1.590	1.351	1.539	1.583
0.20	25	5.33	2.13	1.371	1.261	1.332	1.365
0.20	20	5.33	2.13	1.171	1.077	1.141	1.165
0.20	15	5.33	2.13	0.983	0.909	0.963	0.977
0.20	10	5.33	2.13	0.803	0.760	0.793	0.798
0.20	0	5.33	2.13	0.462	0.462	0.473	0.459

S=Simplificado.

R=Riguroso.

T A B L A

R E S U L T A D O

BISHOP CON FUERZAS DE SISMO

TABLA 18

CARACT. GEOMETRICAS TALUD

 ALT. TALUD LONG. BASE TALUD ANGULO TALUD
 HTA= 50 LBT= 100 ATA= 26.565
 COORDS. DEL CENTRO Y RADIO CIRCULO DE FALLA
 XC(0)= 109.4 YC(0)= 100 R= 102.432
 COORDS INICIALES DEL CIRCULO DE FALLA
 X(0)= 20 YB(0)= 50 YT(0)= 50

PROPIEDADES SUELO Y CARACT. GEOMETRICAS DE CADA DOVELA

DOV.	C	PHI	GA	X	YB	YT	KV	KH
1	5.33	35.00	2.13	30.00	35.00	50.00	0.10	0.17
2	5.33	35.00	2.13	52.00	15.00	39.00	0.11	0.15
3	5.33	35.00	2.13	70.00	5.40	30.00	0.12	0.13
4	5.33	35.00	2.13	90.00	-0.60	20.00	0.13	0.12
5	5.33	35.00	2.13	110.00	-2.30	10.00	0.15	0.11
6	5.33	35.00	2.13	130.00	0.00	0.00	0.17	0.10

DOVELA	MR	MO	MA
1	160.95	161.01	0.96
2	654.77	769.20	1.06
3	625.46	581.45	1.11
4	669.02	405.97	1.10
5	551.47	134.22	1.04
6	302.55	-10.86	0.94

SUPOSICION FUERZAS DEL SISMO ACTUANDO .	FACTOR DE SEG. INICIAL	FACTOR DE SEGURIDAD
EL CENTRO DE GRAVEDAD DE CADA DOVELA EN LA BASE DE CADA DOVELA	1.296	1.452
FUERZA SISMO ACTUANDO CON UNA INCLINACION IGUAL A LA DEL TALUD		1.420
		1.513

COEFICIENTE SISMICO KO=0.090

DOV.	SM	SMS	STE	STS	U
1	5.71	6.15	4.22	5.14	3.20
2	13.69	15.17	20.78	23.84	8.31
3	18.80	21.12	31.38	36.17	10.35
4	19.43	22.07	32.68	38.15	9.63
5	16.51	18.92	26.63	31.63	7.01
6	9.24	10.35	11.54	13.85	2.62

TABLA 20

CARACT. GEOMETRICAS TALUD

 ALT. TALUD LONG. BASE TALUD ANGULO TALUD
 HTA= 50 LBT= 100 ATA= 26.565
 COORDS. DEL CENTRO Y RADIO CIRCULO DE FALLA
 XC(0)= 109.4
 YC(0)= 100 R= 102.432
 COORDS INICIALES DEL CIRCULO DE FALLA
 X(0)= 20 YB(0)= 50 YT(0)= 50

PROPIEDADES SUELO Y CARACT. GEOMETRICAS DE CADA DOVELA

DOV.	C	PH	GA	X	YB	YT	KV	KH
1	5.33	35.00	2.13	30.00	35.00	50.00	-0.22	0.37
2	5.33	35.00	2.13	52.00	15.00	39.00	-0.24	0.33
3	5.33	35.00	2.13	70.00	5.40	30.00	-0.26	0.29
4	5.33	35.00	2.13	90.00	-0.60	20.00	-0.29	0.26
5	5.33	35.00	2.13	110.00	-2.30	10.00	-0.33	0.24
6	5.33	35.00	2.13	130.00	0.00	0.00	-0.37	0.22

DOVELA	MR	MO	MA
1	97.49	136.86	1.21
2	376.33	668.68	1.27
3	358.00	529.33	1.25
4	380.80	404.24	1.18
5	317.13	186.56	1.06
6	205.37	34.60	0.90

SUPOSICION	FACTOR DE SEG. INICIAL	FACTOR DE SEGURIDAD
FUERZAS DEL SISMO ACTUANDO .		
EL CENTRO DE GRAVEDAD DE CADA DOVELA	0.750	0.885
EN LA BASE DE CADA DOVELA		0.841
FUERZA SISMO ACTUANDO CON UNA INCLINACION IGUAL A LA DEL TALUD		0.923

COEFICIENTE SISMICO KO=0.200

DOV.	SM	SMS	STE	STS	U
1	7.37	6.10	1.72	0.11	3.20
2	18.78	14.28	16.15	10.46	8.31
3	27.25	19.81	26.87	17.45	10.35
4	29.46	20.58	29.67	18.43	9.63
5	26.39	17.83	25.79	14.95	7.01
6	15.73	11.51	12.29	6.96	2.62

T A B L A

R E S U L T A D O

BISHOP CON FUERZAS DE FILTRACION

TABLA 21

CARACTERISTICAS GEOMETRICAS DEL TALUD

```

=====
DOVELA      X          YB          YT          XW          YBW          YW
=====
1          30.00      27.00      50.00      30.00      18.71      18.71
2          41.00      16.65      44.50      41.00      16.65      16.65
3          52.00      9.00       39.00      52.00      9.00       14.59
4          70.00      0.60       30.00      70.00      0.60       11.23
5          90.00      -4.00      20.00      90.00      -4.00      7.48
6          110.00     -4.50      10.00     110.00     -4.50      3.74
7          130.00     -0.60      0.00     130.00     -0.60      0.00
8          132.50     0.00       0.00     131.50     -0.50     -0.28
=====

```

HTA = 50 LBT= 100 ATA = 26.57
X(0) = 15 YB(0)= 50 YT(0) = 50
XW(0)= 15 YW(0) = 21.52 YBW(0)= 21.52
XC(0)= 102 YC(0) = 92 RADIO R= 96.61

CARACTERISTICAS DE CADA DOVELA

```

=====
DOV.        B          L          HS          HW          HD          ALFA
=====
1          15.00      27.46      29.89        0.00      11.50      56.89
2          11.00      15.10      29.57        0.00      25.43      43.26
3          11.00      13.40      26.13        2.80      28.93      34.82
4          18.00      19.86      21.59        8.11      29.70      25.02
5          20.00      20.52      15.65       11.05      26.70      12.95
6          20.00      20.01        9.39        9.86      19.25        1.43
7          20.00      20.38        3.13        4.42        7.55     -11.03
8           2.50       2.57        0.14        0.41        0.30     -13.50
=====

```

PROPIEDADES DEL SUELO, PESO EFECTIVO, TOTAL DE CADA DOVELA

```

=====
DOV.        C          PHI          GA1          WW          WE          WT
=====
1           5.33      25.00        2.13        0.00      367.43      367.43
2           5.33      25.00        2.13        0.00      595.71      595.71
3           5.33      25.00        2.13        30.75      646.97      677.71
4           5.33      25.00        2.13       145.98      992.72     1138.70
5           5.33      25.00        2.13       221.10      916.32     1137.42
6           5.33      25.00        2.13       197.20      622.85      820.05
7           5.33      25.00        2.13        88.40      233.23      321.63
8           5.33      25.00        2.13         0.62         0.98         1.60
=====

```

TABLA 21 Continuación.

GRAD. HIDRAULICO, VOLUMEN, F. DE FILTRACION, ANG. L. SUP. FREATICA

DOV.	RU	GH	V	FF	D	ALF	VFN	VFD
1	0.00	0.18	0.000	0.000	107.181	10.610	0.000	0.000
2	0.00	0.18	0.000	0.000	99.728	10.607	0.000	0.000
3	0.05	0.18	30.745	5.659	95.549	10.607	0.486	5.597
4	0.13	0.18	145.980	26.787	92.704	10.574	2.292	25.705
5	0.19	0.18	221.100	40.746	90.876	10.620	3.502	38.329
6	0.24	0.18	197.200	36.248	91.342	10.592	3.107	34.272
7	0.27	0.18	88.400	16.249	94.078	10.592	1.393	15.824
8	0.64	0.18	0.615	0.113	96.717	10.574	0.010	0.113

MOMENTOS: RESISTENTES M1, MOTORES M2

FACTOR DE SEGURIDAD INICIAL FO

DOVELA	M1	M2
1	239.950	307.759
2	282.811	408.216
3	318.010	374.551
4	522.239	445.746
5	525.024	246.103
6	399.672	51.352
7	218.146	-29.534
8	14.170	-0.126
2520.024		1804.068

FACTOR DE SEG. INICIAL FO= 1.397

MOMENTOS: RESISTENTES, MOTORES, ESF. EFECTIVOS, TOTALES

FACTOR DE SEGURIDAD

DOVELA	MA	MR	MO	U	ESE	EST
1	0.81	310.838	307.759	0.000	12.846	12.846
2	0.94	356.840	408.216	0.000	39.236	39.236
3	1.00	359.618	374.987	2.795	44.042	46.837
4	1.04	536.684	445.511	8.110	39.828	47.938
5	1.04	509.458	243.720	11.055	32.010	43.065
6	1.01	392.600	49.839	9.860	21.359	31.219
7	0.92	232.948	-28.815	4.420	8.614	13.034
8	0.90	15.124	-0.116	0.410	0.919	1.329
2714.110		1801.099				

EL FACTOR DE SEGURIDAD INICIAL FO= 1.397

EL FACTOR DE SEGURIDAD SUPUESTO ES F1= 1.490

FACT. DE SEG. MET. BISHOP CON FUERZA FILTRACION F= 1.507

DIFERENCIA D= 0.017

COHESION = 5.33 PHI= 25 **95** GAMMA= 2.13

TABLA 22.

CARACTERISTICAS GEOMETRICAS DEL TALUD

```

=====
DOVELA   X       YB       YT       XW       YBW       YW
=====
1        30.00    35.00    50.00    30.00    35.00    38.74
2        52.00    15.00    39.00    52.00    15.00    30.26
3        70.00     5.40    30.00    70.00     5.40    23.28
4        90.00    -0.60    20.00    90.00    -0.60    15.52
5       110.00    -2.30    10.00   110.00    -2.30     7.76
6       130.00     0.00     0.00   130.00     0.00     0.00
=====

```

```

HTA = 50           LBT= 100           ATA = 26.57
X(0) = 20         YB(0)= 50           YT(0) = 50
XW(0)= 26.6      YW(0) = 40.08      YBW(0) = 40.08
XC(0)= 109.4    YC(0) = 100       RADIO R= 102.43

```

CARACTERISTICAS DE CADA DOVELA

```

=====
DOV.     B       L       HS       HW       HD       ALFA
=====
1        10.00    18.03    10.59     1.87     7.50    56.31
2        22.00    29.73    10.00     9.50    19.50    42.27
3        18.00    20.40     7.73    16.57    24.30    28.07
4        20.00    20.88     5.60    17.00    22.60    16.70
5        20.00    20.07     3.36    13.09    16.45     4.86
6        20.00    20.13     1.12     5.03     6.15    -6.56
=====

```

PROPIEDADES DEL SUELO, PESO EFECTIVO, TOTAL DE CADA DOVELA

```

=====
DOV.     C       PHI     GA1     WW       WE       WT
=====
1         5.33    35.00     2.13     6.36    153.39    159.75
2         5.33    35.00     2.13    209.00    704.77    913.77
3         5.33    35.00     2.13    298.26    633.40    931.66
4         5.33    35.00     2.13    340.00    622.76    962.76
5         5.33    35.00     2.13    261.80    438.97    700.77
6         5.33    35.00     2.13    100.60    161.39    261.99
=====

```

TABLA 22 Continuación.

GRAD. HIDRAULICO, VOLUMEN, F. DE FILTRACION, ANG. L. SUP. FREATICA

DOV.	RU	GH	V	FF	D	ALF	VFN	VFD
1	0.12	0.37	6.358	2.331	101.797	21.510	0.599	2.317
2	0.23	0.36	209.000	75.169	98.049	21.079	18.930	71.953
3	0.32	0.36	298.260	107.835	94.801	21.195	27.299	99.801
4	0.35	0.36	340.000	122.987	93.825	21.206	31.150	112.653
5	0.37	0.36	261.800	94.700	95.369	21.206	23.986	88.170
6	0.38	0.36	100.600	36.390	99.203	21.206	9.217	35.242

MOMENTOS: RESISTENTES M1, MOTORES M2
 FACTOR DE SEGURIDAD INICIAL FO

DOVELA	M1	M2
1	154.734	129.544
2	504.592	544.164
3	491.024	405.130
4	535.731	301.555
5	431.913	128.050
6	231.439	13.761
	2349.434	1522.205

FACTR DE SEG. INICIAL FO= 1.543

MOMENTOS: RESISTENTES, MOTORES, ESF. EFECTIVOS, TOTALES
 FACTOR DE SEGURIDAD

DOVELA	MA	MR	MO	U	ESE	EST
1	0.91	175.703	129.947	1.870	6.421	8.291
2	1.03	606.249	546.032	9.500	21.819	31.319
3	1.08	512.299	397.873	16.570	29.002	45.572
4	1.08	519.930	291.602	17.000	28.702	45.702
5	1.03	415.239	125.349	13.090	22.564	35.654
6	0.94	238.519	16.804	5.030	9.573	14.603
		2467.939	1507.606			

EL FACTOR DE SEGURIDAD INICIAL FO= 1.543
 EL FACTOR DE SEGURIDAD SUPUESTO ES F1= 1.637
 FACT. DE SEG. MET. BISHOP CON FUERZA FILTRACION F= 1.637
 LA DIFERENCIA D= 0.000

RESUMEN: MET. BISHOP CON FUERZAS DE FILTRACION
 PROYECTO: N

XC(0)	YC(0)	R	MR	MO	F. MIN
109.40	100.00	102.43	2467.939	1507.606	1.637

TABLA 23

CARACTERISTICAS GEOMETRICAS DEL TALUD

```

=====
DOVELA      X          YB          YT          XW          YBW          YW
=====
1          30.00      35.00      50.00      30.00      18.70      18.70
2          52.00      14.62      39.00      52.00      14.62      14.62
3          70.00       5.40      30.00      70.00       5.40      11.22
4          90.00      -0.60      20.00      90.00      -0.60       7.48
5         110.00     -2.30      10.00     110.00     -2.30       3.74
6         130.00       0.00       0.00     130.00       0.00       0.00
=====

```

```

HTA = 50          LBT= 100          ATA = 26.57
X(0) = 20        YB(0)= 50          YT(0) = 50
XW(0)= 20        YW(0) = 20.57      YBW(0)= 20.57
XC(0)= 109.4     YC(0) = 100       RADIO R= 102.43

```

CARACTERISTICAS DE CADA DOVELA

```

=====
DOV.        B          L          HS          HW          HD          ALFA
=====
1          10.00      18.03      30.37       0.00       7.50      56.31
2          22.00      29.99      27.84      -0.00      19.69      42.81
3          18.00      20.22      21.58       2.91      24.49      27.12
4          20.00      20.88      15.65       6.95      22.60      16.70
5          20.00      20.07       9.39       7.06      16.45       4.86
6          20.00      20.13       3.13       3.02       6.15      -6.56
=====

```

PROPIEDADES DEL SUELO, PESO EFECTIVO, TOTAL DE CADA DOVELA

```

=====
DOV.        C          PHI          GA1          WW          WE          WT
=====
1          5.33      35.00       2.13       0.00      159.75     159.75
2          5.33      35.00       2.13       0.00     922.67     922.67
3          5.33      35.00       2.13      52.38     886.57     938.95
4          5.33      35.00       2.13     139.00     823.76     962.76
5          5.33      35.00       2.13     141.20     559.57     700.77
6          5.33      35.00       2.13      60.40     201.59     261.99
=====

```

TABLA 23 Continuación.

GRAD. HIDRAULICO, VOLUMEN, F. DE FILTRACION, ANG. L. SUP. FREATICA

DOV.	RU	GH	V	FF	D	ALF	VFN	VFD
1	0.00	0.18	0.000	0.000	116.541	10.592	0.000	0.000
2	-0.00	0.18	0.000	0.000	107.815	10.506	0.000	0.000
3	0.06	0.19	52.380	9.722	100.901	10.697	1.264	9.577
4	0.14	0.18	139.000	25.550	98.610	10.592	3.288	24.597
5	0.20	0.18	141.200	25.955	98.370	10.592	3.341	24.925
6	0.23	0.18	60.400	11.102	100.202	10.592	1.429	10.861

MOMENTOS: RESISTENTES M1, MOTORES M2
FACTOR DE SEGURIDAD INICIAL FO

DOVELA	M1	M2
1	158.136	132.920
2	633.793	627.031
3	658.383	413.506
4	661.866	262.111
5	499.206	73.217
6	249.825	-12.423
	2861.209	1496.363

FACTOR DE SEG. INICIAL FO= 1.912

MOMENTOS: RESISTENTES, MOTORES, ESF. EFECTIVOS, TOTALES
FACTOR DE SEGURIDAD

DOVELA	MA	MR	MO	U	ESE	EST
1	0.85	195.221	132.920	0.000	7.853	7.853
2	0.97	785.695	627.031	-0.000	29.805	29.805
3	1.05	682.084	413.758	2.910	38.224	41.134
4	1.06	644.185	261.302	6.950	30.473	37.423
5	1.03	484.194	72.318	7.060	20.326	27.386
6	0.95	259.130	-12.170	3.020	7.781	10.801
		3050.509	1495.159			

EL FACTOR DE SEGURIDAD INICIAL FO= 1.912

EL FACTOR DE SEGURIDAD SUPUESTO ES F1= 2.000

FACT. DE SEG. MET. BISHOP CON FUERZA FILTRACION F= 2.040

DIFERENCIA D= 0.040

COHESION = 5.33 PHI= 35 GAMMA= 2.13

TABLA 24

CARACTERISTICAS GEOMETRICAS DEL TALUD

```

=====
DOVELA      X          YB          YT          XW          YBW          YW
=====
1          30.00      35.00      50.00      30.00      35.00      37.45
2          52.00      15.00      39.00      52.00      15.00      31.20
3          70.00       5.40      30.00      70.00       5.40      26.30
4          90.00      -0.60      20.00      90.00      -0.60      19.40
5         110.00      -2.30      10.00     110.00      -2.30      10.00
6         130.00       0.00       0.00     130.00       0.00       0.00
=====
    
```

```

HTA = 50          LBT= 100          ATA = 26.57
X(0) = 20        YB(0)= 50          YT(0) = 50
XW(0)= 27.85    YW(0) = 37.95          YBW(0)= 37.95
XC(0)= 109.4    YC(0) = 100          RADIO R= 102.43
    
```

CARACTERISTICAS DE CADA DOVELA

```

=====
DOV.        B          L          HS          HW          HD          ALFA
=====
1          10.00      18.03      12.30       1.23       7.50      56.31
2          22.00      29.73      10.17       9.33      19.50      42.27
3          18.00      20.40       5.75      18.55      24.30      28.07
4          20.00      20.88       2.15      20.45      22.60      16.70
5          20.00      20.07       0.30      16.15      16.45       4.86
6          20.00      20.13       0.00       6.15       6.15      -6.56
=====
    
```

PROPIEDADES DEL SUELO, PESO EFECTIVO, TOTAL DE CADA DOVELA

```

=====
DOV.        C          PHI          GA1          WW          WE          WT
=====
1          5.33      35.00       2.13       2.63      157.12     159.75
2          5.33      35.00       2.13      205.15     708.62     913.77
3          5.33      35.00       2.13     333.90     597.76     931.66
4          5.33      35.00       2.13     409.00     553.76     962.76
5          5.33      35.00       2.13     323.00     377.77     700.77
6          5.33      35.00       2.13     123.00     138.99     281.99
=====
    
```

TABLA 24 Continuación.

GRAD.HIDRAULICO,VOLUMEN,F.DE FILTRACION,ANG.L.SUP.FREATICA

DOV.	RU	GH	V	FF	D	ALF	VFN	VFD
1	0.08	0.23	2.634	0.597	102.148	13.092	0.095	0.595
2	0.22	0.27	205.150	56.063	98.112	15.859	10.728	53.698
3	0.36	0.26	333.900	87.703	93.951	15.228	16.130	80.442
4	0.42	0.33	409.000	133.390	92.189	19.034	30.461	120.050
5	0.46	0.43	323.000	137.392	93.847	25.174	40.921	125.876
6	0.47	0.45	123.000	55.007	98.646	26.565	17.225	52.974

MOMENTOS:RESISTENTES M1,MOTORES M2
 FACTOR DE SEGURIDAD INICIAL FO

DOVELA	M1	M2
1	156.826	131.163
2	508.152	526.879
3	464.395	366.809
4	486.493	292.401
5	403.951	160.841
6	225.035	30.188
	2244.852	1508.281

FACTOR DE SEG.INICIAL FO= 1.488

MOMENTOS:RESISTENTES, MOTORES,ESF.EFFECTIVOS,TOTALES
 FACTOR DE SEGURIDAD

DOVELA	MA	MR	MO	U	ESE	EST
1	0.93	174.859	131.324	1.225	6.313	7.538
2	1.04	592.155	530.368	9.325	21.132	30.457
3	1.09	472.991	361.742	18.550	26.332	44.882
4	1.09	469.500	279.172	20.450	25.401	45.851
5	1.03	387.339	157.871	16.150	20.725	36.875
6	0.94	230.198	37.095	6.150	9.042	15.192
		2327.043	1497.571			

EL FACTOR DE SEGURIDAD INICIAL FO= 1.488
 EL FACTOR DE SEGURIDAD SUPUESTO ES F1= 1.554
 FACT.DE SEG. MET.BISHOP CON FUERZA FILTRACION F= 1.554.
 DIFERENCIA D= 0.000
 COHESION = 5.33 PHI= 35 GAMMA= 2.13

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

TABLA 25

GRAD.HIDRAULICO,VOLUMEN,F.DE FILTRACION,ANG.L.SUP.FREATICA

DOV.	RU	GH	V	FF	D	ALF	VFN	VFD
1	0.08	0.23	2.634	0.597	102.148	13.092	0.063	0.595
2	0.22	0.27	205.150	56.063	98.112	15.859	7.144	53.698
3	0.36	0.26	333.900	87.703	93.951	15.228	10.742	80.442
4	0.42	0.33	409.000	133.390	92.189	19.034	20.286	120.050
5	0.46	0.43	323.000	137.392	93.847	25.174	27.251	125.876
6	0.47	0.45	123.000	51.007	98.646	26.565	11.471	52.974

MOMENTOS:RESISTENTES M1,MOTORES M2

FACTOR DE SEGURIDAD INICIAL FO

DOVELA	M1	M2
1	136.537	131.163
2	391.344	526.879
3	345.588	366.809
4	361.160	292.401
5	304.751	160.841
6	185.707	30.188
	1725.087	1508.281

FACTOR DE SEG.INICIAL FO= 1.144

MOMENTOS:RESISTENTES, MOTORES,ESF.EFECTIVOS,TOTALES

FACTOR DE SEGURIDAD

DOVELA	MA	MR	MO	U	ESE	EST
1	0.88	143.036	131.324	1.225	5.662	6.887
2	1.00	448.707	530.368	9.325	21.246	30.571
3	1.07	353.092	361.742	18.550	26.540	45.090
4	1.07	350.800	279.172	20.450	25.513	45.963
5	1.03	293.767	157.871	16.150	20.737	36.887
6	0.95	189.768	37.095	6.150	9.107	15.257
		1779.170	1497.571			

EL FACTOR DE SEGURIDAD INICIAL

FO= 1.144

EL FACTOR DE SEGURIDAD SUPUESTO ES

F1= 1.188

FACT.DE SEG. MET.BISHOP CON FUERZA FILTRACION F= 1.188

DIFERENCIA

D= 0.000

COHESION = 5.33

PHI= 25

GAMMA= 2.13



TABLA 26

GRAD. HIDRAULICO, VOLUMEN, F. DE FILTRACION, ANG. L. SUP. FREATICA

DOV.	RU	GH	V	FF	D	ALF	VFN	VFD
1	0.08	0.23	2.634	0.597	102.148	13.092	0.024	0.595
2	0.22	0.27	205.150	56.063	98.112	15.859	2.701	53.698
3	0.36	0.26	333.900	87.703	93.951	15.228	4.062	80.442
4	0.42	0.33	409.000	133.390	92.189	19.034	7.671	120.050
5	0.46	0.43	323.000	137.392	93.847	25.174	10.305	125.876
6	0.47	0.45	123.000	55.007	98.646	26.565	4.338	52.974

MOMENTOS: RESISTENTES M1, MOTORES M2
 FACTOR DE SEGURIDAD INICIAL FO

DOVELA	M1	M2
1	111.383	131.163
2	246.529	526.879
3	198.295	366.809
4	205.777	292.401
5	181.767	160.841
6	136.950	30.188
	1080.701	1508.281

FACTOR DE SEG. INICIAL FO= 0.717

MOMENTOS: RESISTENTES, MOTORES, ESF. EFECTIVOS, TOTALES
 FACTOR DE SEGURIDAD

DOVELA	MA	MR	MO	U	ESE	EST
1	0.75	107.095	131.324	1.225	3.553	4.778
2	0.90	269.835	530.368	9.325	21.590	30.915
3	1.00	203.066	361.742	18.550	27.139	45.689
4	1.03	202.860	279.172	20.450	25.824	46.274
5	1.02	177.691	157.871	16.150	20.769	36.919
6	0.97	139.089	37.095	6.150	9.271	15.421
		1099.636	1497.571			

EL FACTOR DE SEGURIDAD INICIAL FO= 0.717
 EL FACTOR DE SEGURIDAD SUPUESTO ES F1= 0.734
 FACT. DE SEG. MET. BISHOP CON FUERZA FILTRACION F= 0.734

DIFERENCIA D= 0.000
 COHESION = 5.33 PHI= 10 GAMMA= 2.13



Tabla 27 Comparación de los factores de seguridad graficos de J.Kerisel y análisis por computadora.

ϕ'	X	λ/β	m	n	p	Talud	Fgr	Fcom
25	0.05	2/5	0.1	0.3	0.05	2:1	1.49	1.507
35	0.05	4/5	0.05	0.2	0.01	2:1	1.63	1.637
35	0.05	2/5	0.05	0.2	0.01	2:1	1.99	2.040

Fgr = Factor de seguridad del gráfico (J.Kerisel)

Fcom = Factor de seguridad por computadora.

Tabla 28 Comparación de los factores de seguridad con la dirección de la fuerza de filtración.

ϕ	Factores de seguridad F			
	Sin fuerza de filtración	Inclinación constante	Diferencia ($\alpha-i$)	Variable L.S.F
45	2.720	2.143	1.930	2.020
40	2.350	1.871	1.693	1.771
35	2.042	1.637	1.488	1.554
30	1.764	1.430	1.307	1.362
25	1.512	1.242	1.144	1.188
20	1.280	1.068	0.993	1.028
10	0.858	0.752	0.717	0.734

L.S.F= Línea superior flujo

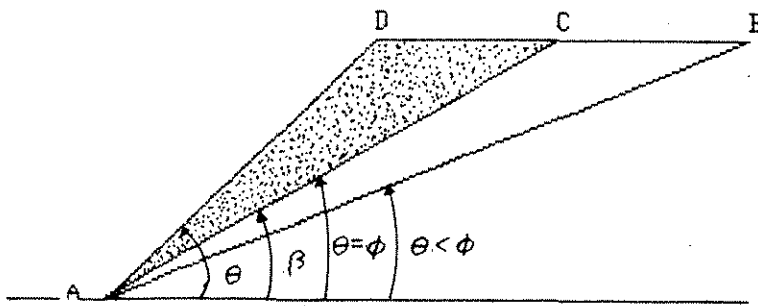
α = Angulo de inclinación de la dovela

i= Angulo de inclinación de línea superior flujo

A N E X O I

105

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Donde:

AB = Inclinación estable

AC = Inclinación límite

AD = Inclinación inestable

ACD = Cuña deslizante

Fig. 1 Superficie de falla plana en suelos friccionantes.

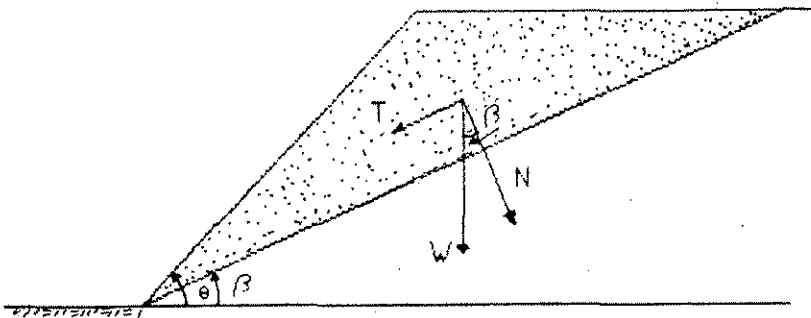
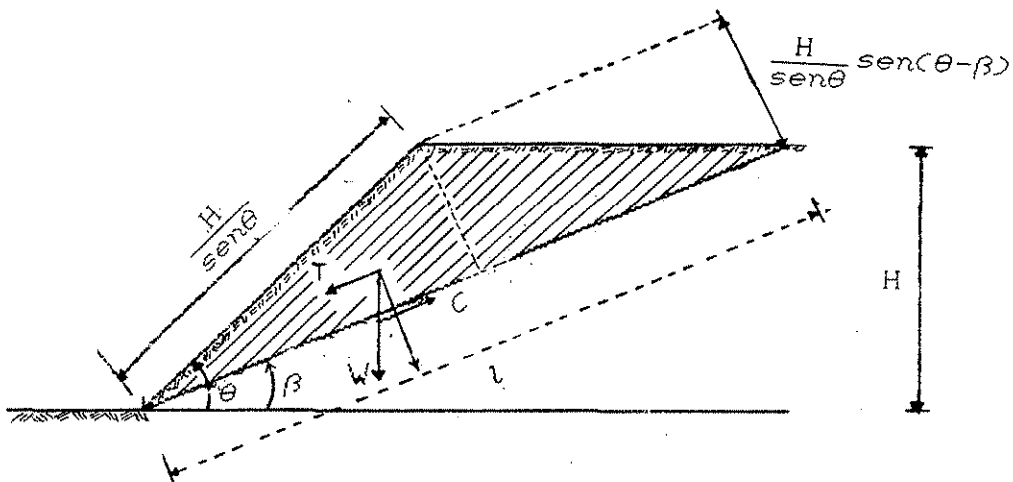


Fig. 2 Fuerzas que actúan sobre un talud.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Fig. 3 Superficie de falla plana en arcillas (Culmann).

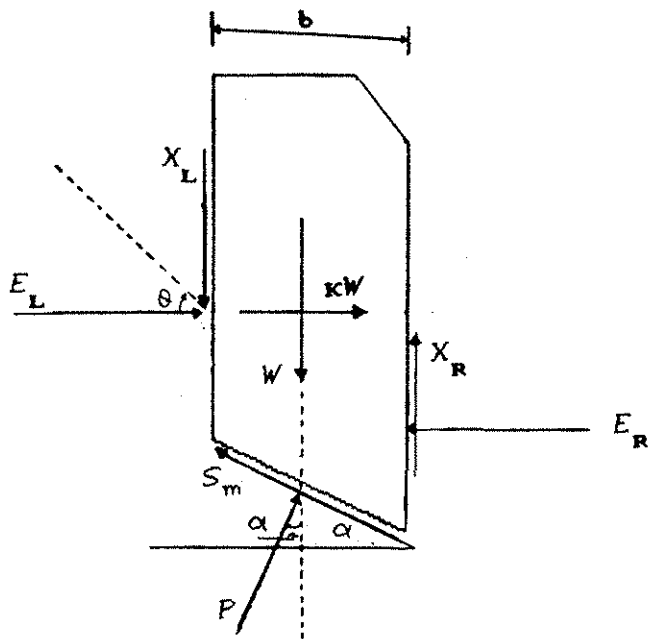


Fig. 6 Fuerzas en una dovela, método de Spencer.

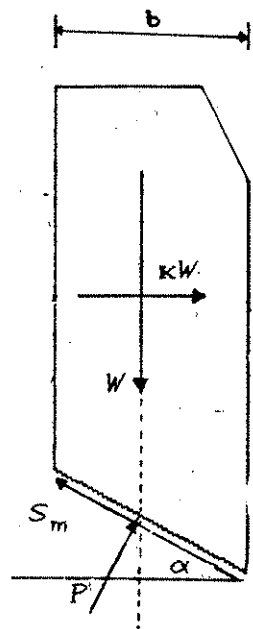


Fig. 7 Fuerzas en una dovela, método de Janbu simplificado.

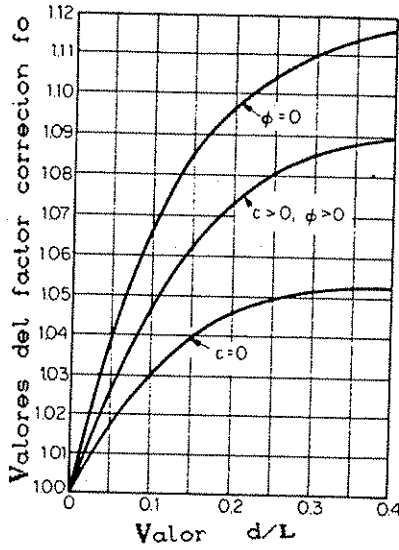
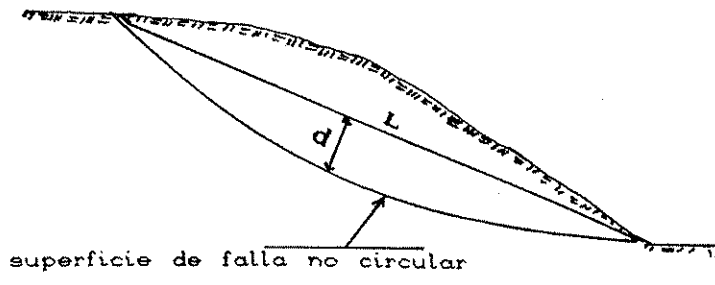


Fig. 8 Factor de corrección f_0 en función de la relación de de la curvatura d/L y tipo de suelo (Janbú)

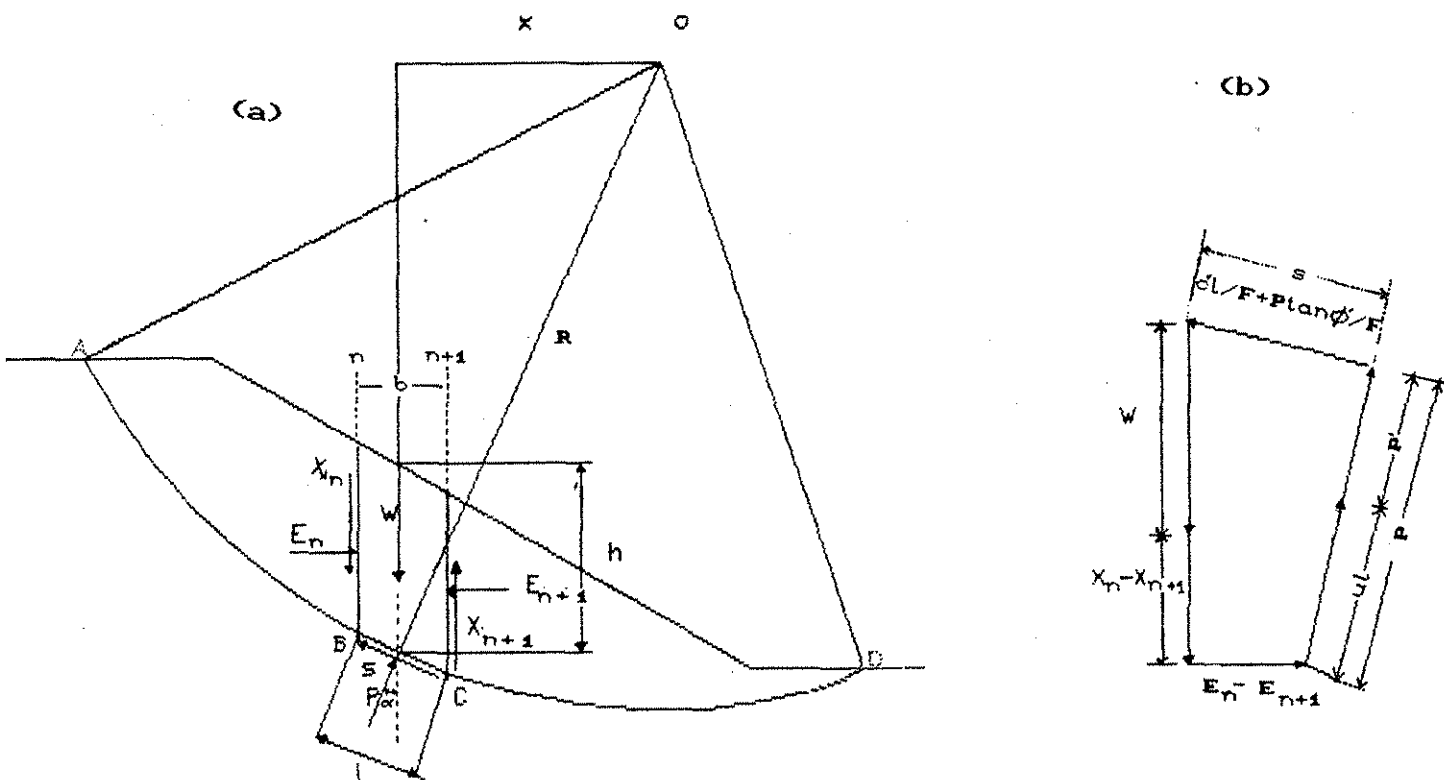


Fig. 11 Fuerzas que actúan en una dovela, método de Bishop.

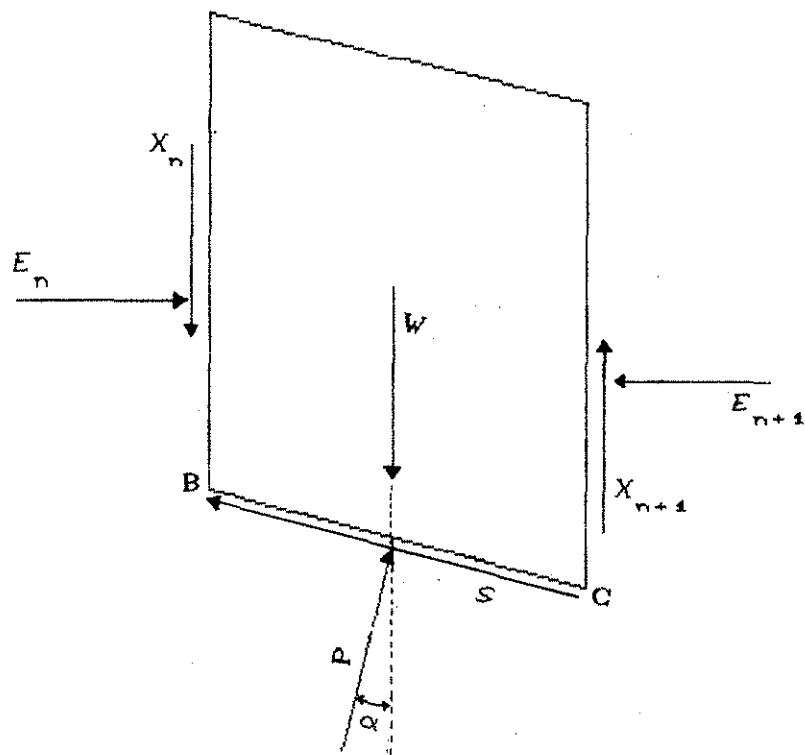


Fig. 12 Equilibrio de una dovela, método de Bishop.

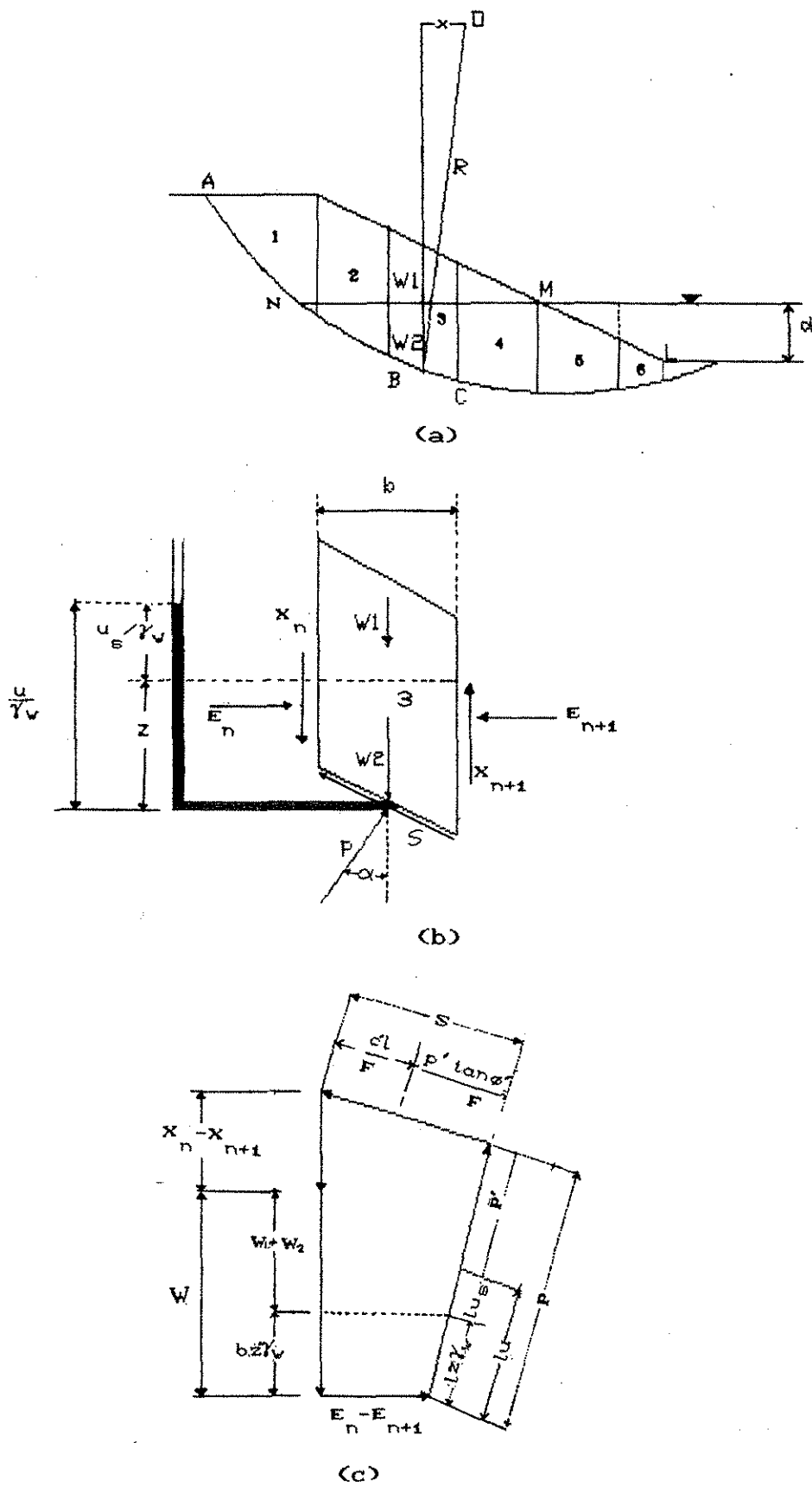


Fig. 13 Talud parcialmente sumergido, método de Bishop.

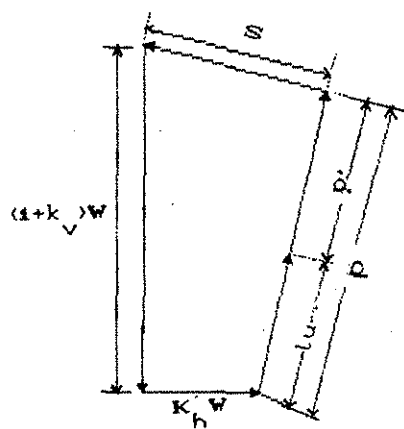
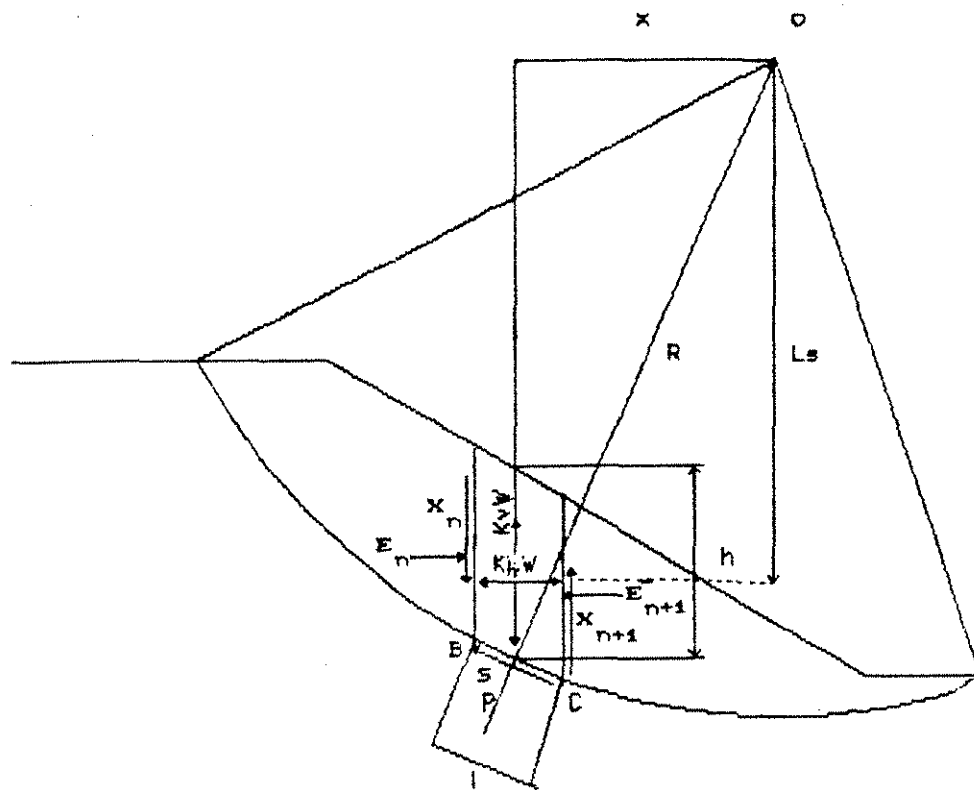


Fig. 14 Fuerzas sísmicas horizontal y vertical en una dovela (Bishop).

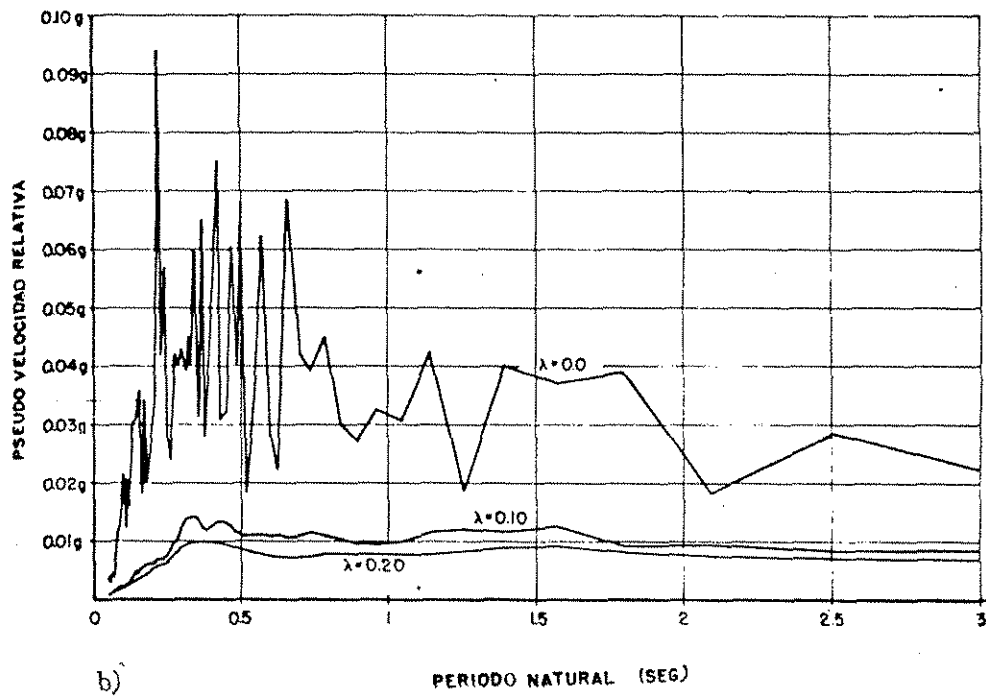
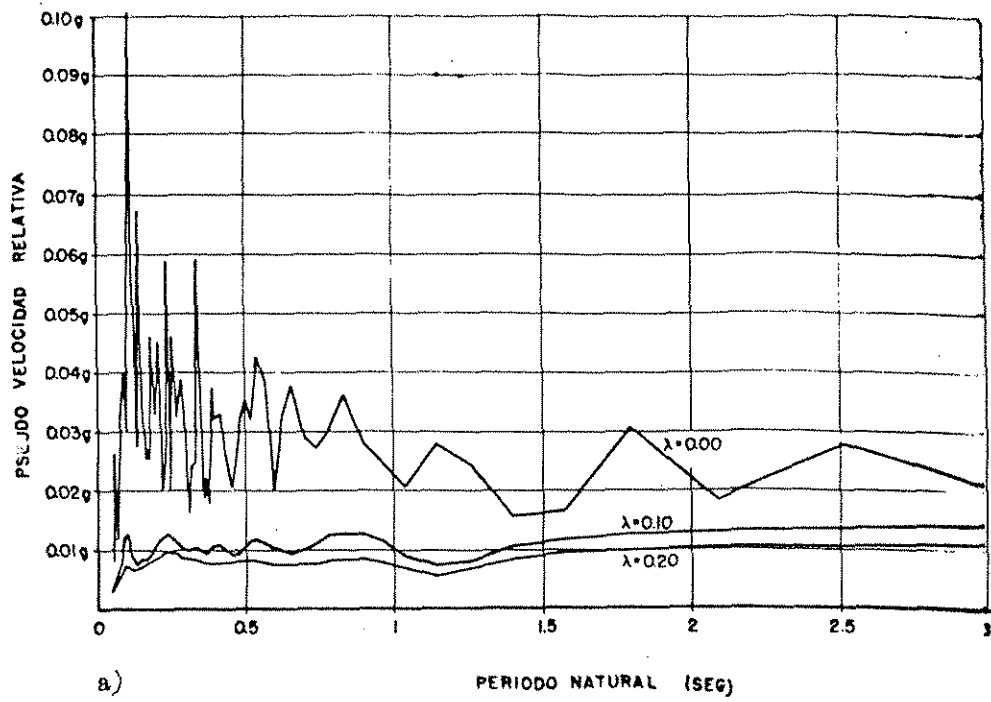


Fig. 15 Espectros de pseudo velocidad a) El Centro, 1940
 b) Taft, 1962. Componente vertical. Chopra A (1960).

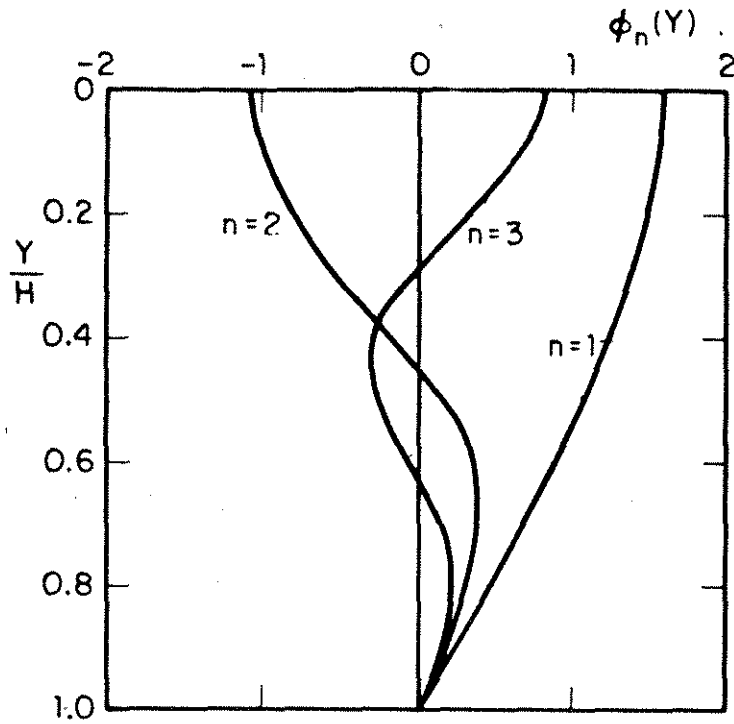


Fig. 16 Distribución de la respuesta $\phi_n(y)$ a lo alto de la presa para los tres primeros modos de vibración.

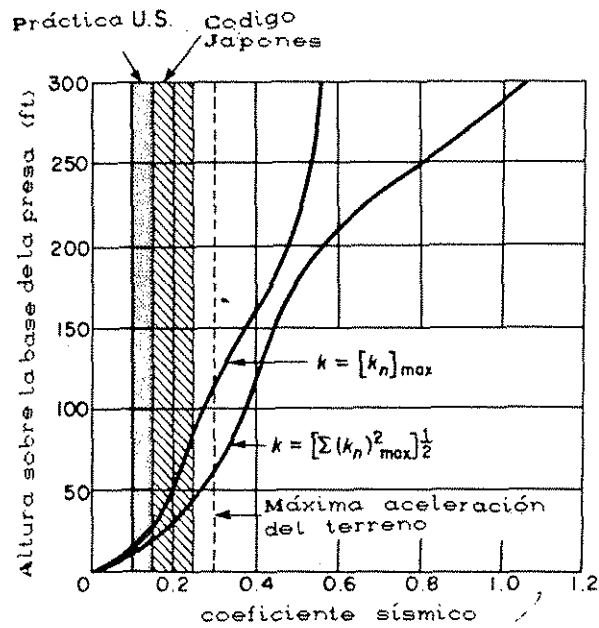


Fig. 17 Coeficiente sísmico sugerido para usar en el análisis pseudoestático de estabilidad de taludes (Ambraseys 1960).

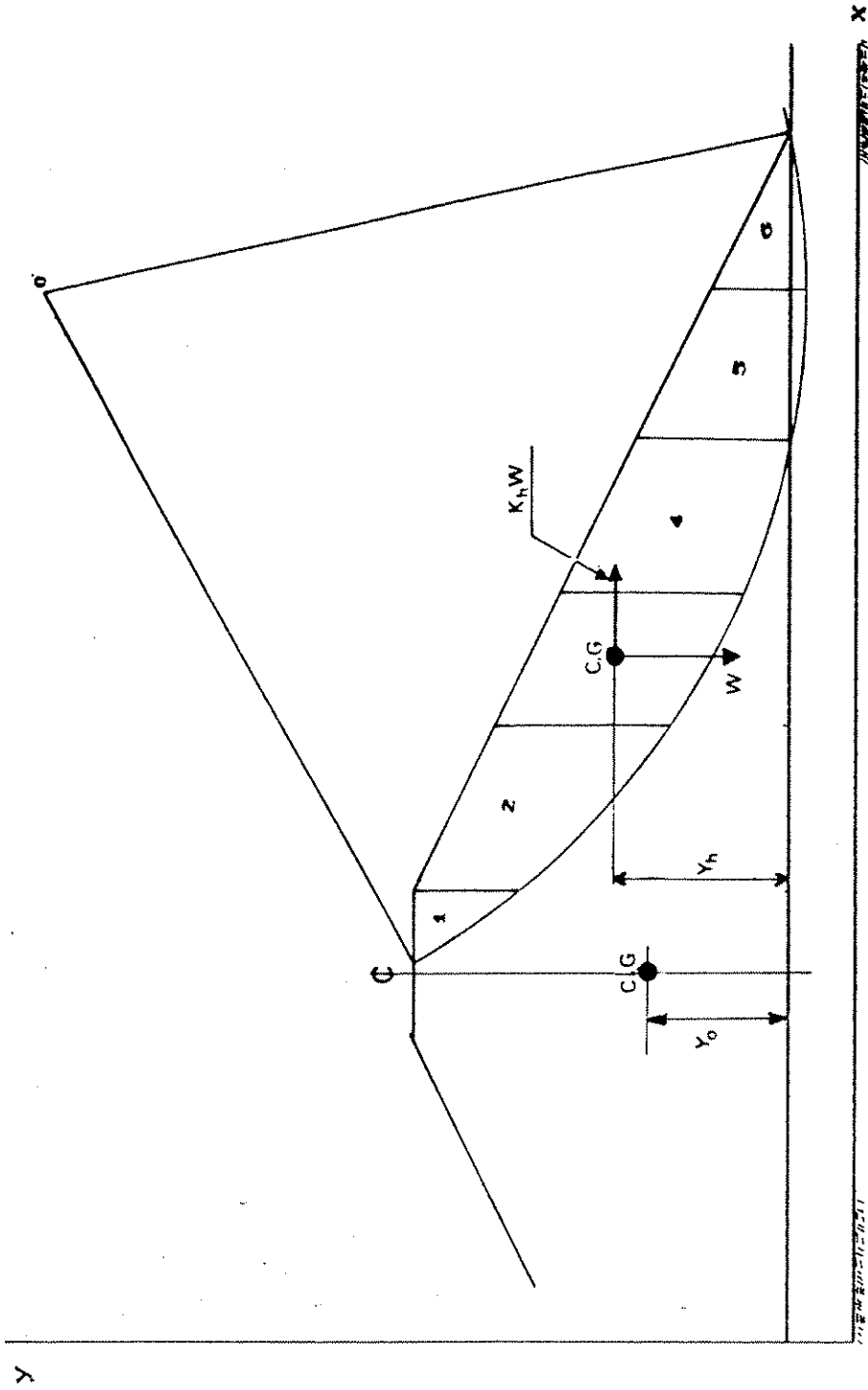


Fig. 18 Determinación de la aceleración sísmica horizontal en cada dovela.

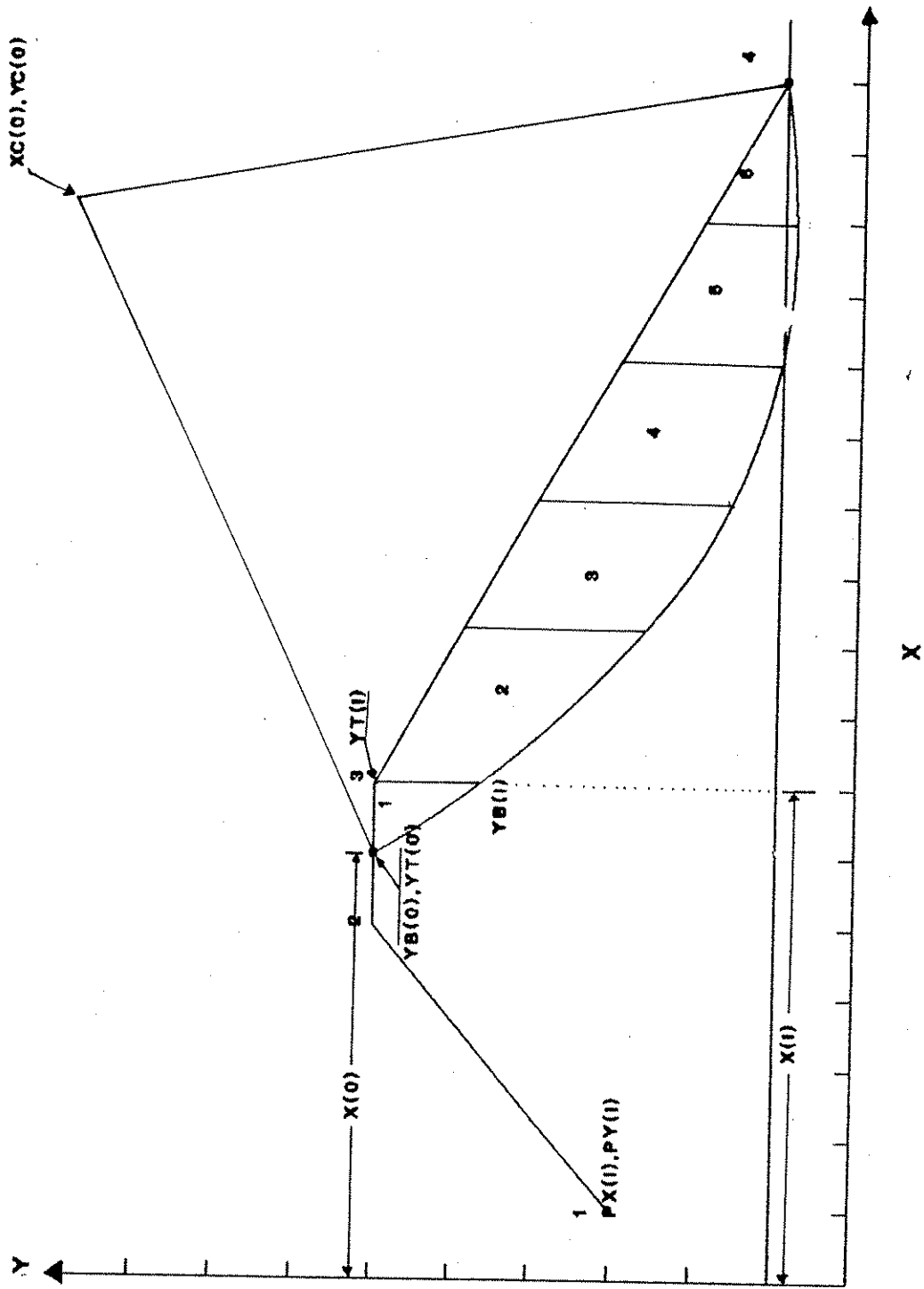
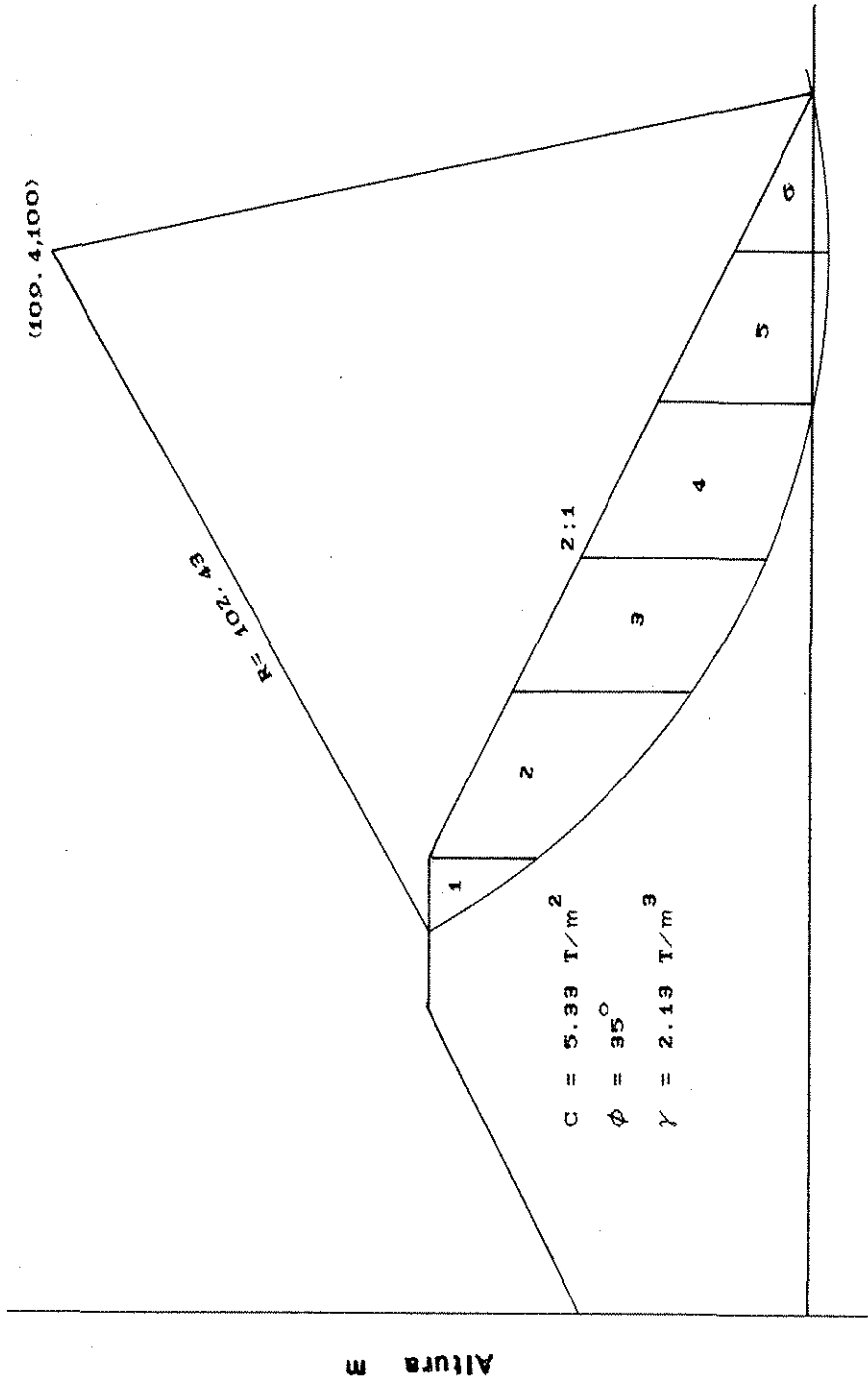


Fig. 19 Requerimientos para el uso del programa, sección transversal de un talud.

EJEMPLO DE APLICACION No :

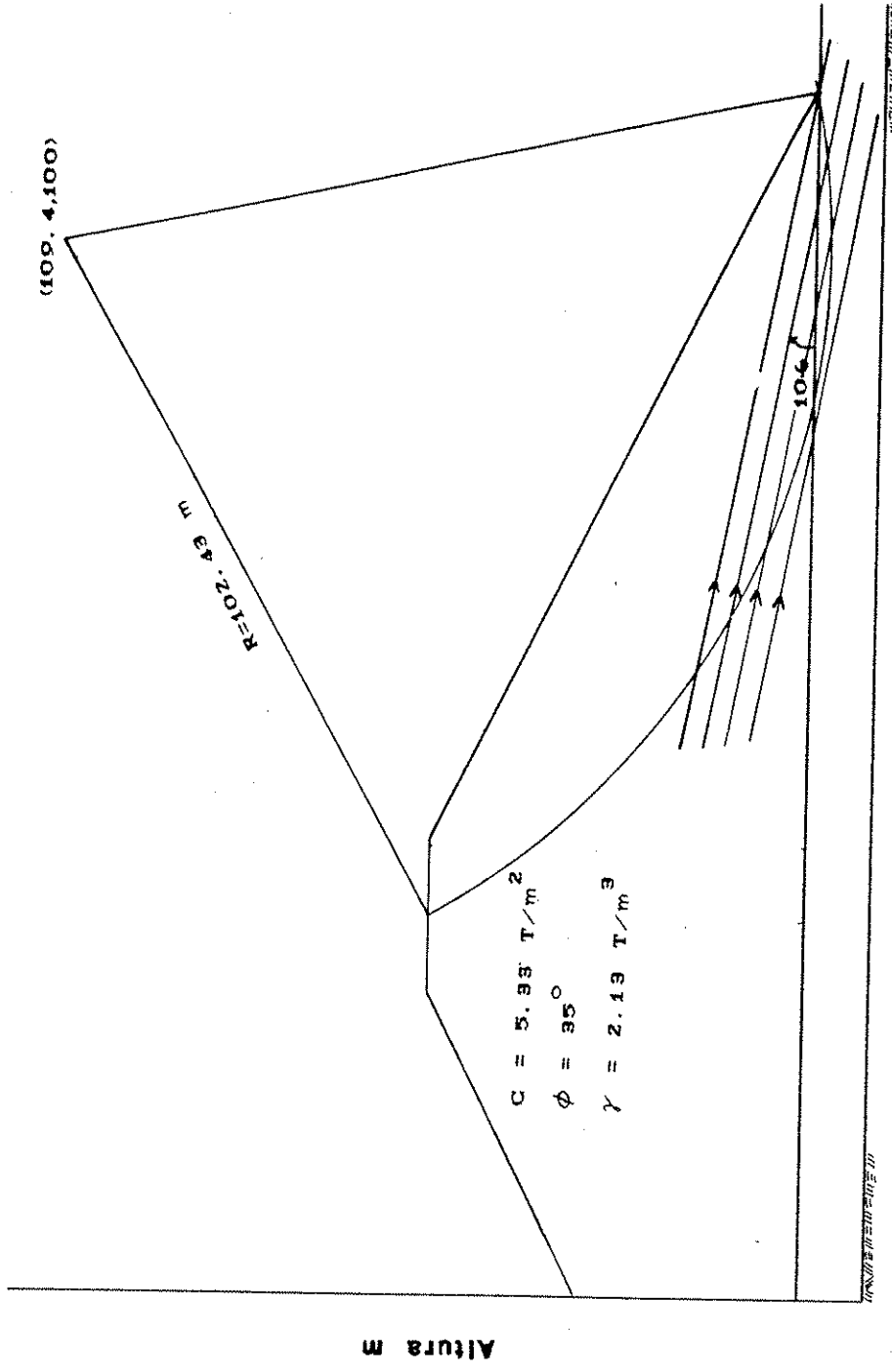


Distancia en metros

Altura H-50 m Talud 2:1 Esc.1:1000

Fig. 20 Sección transversal de un talud.

EJEMPLO DE APLICACION No 2



Altura H=50 m Talud 2:1 Eac.1:1000

Fig. 21 Sección transversal de un talud (caso I)

EJEMPLO DE APLICACION No 3

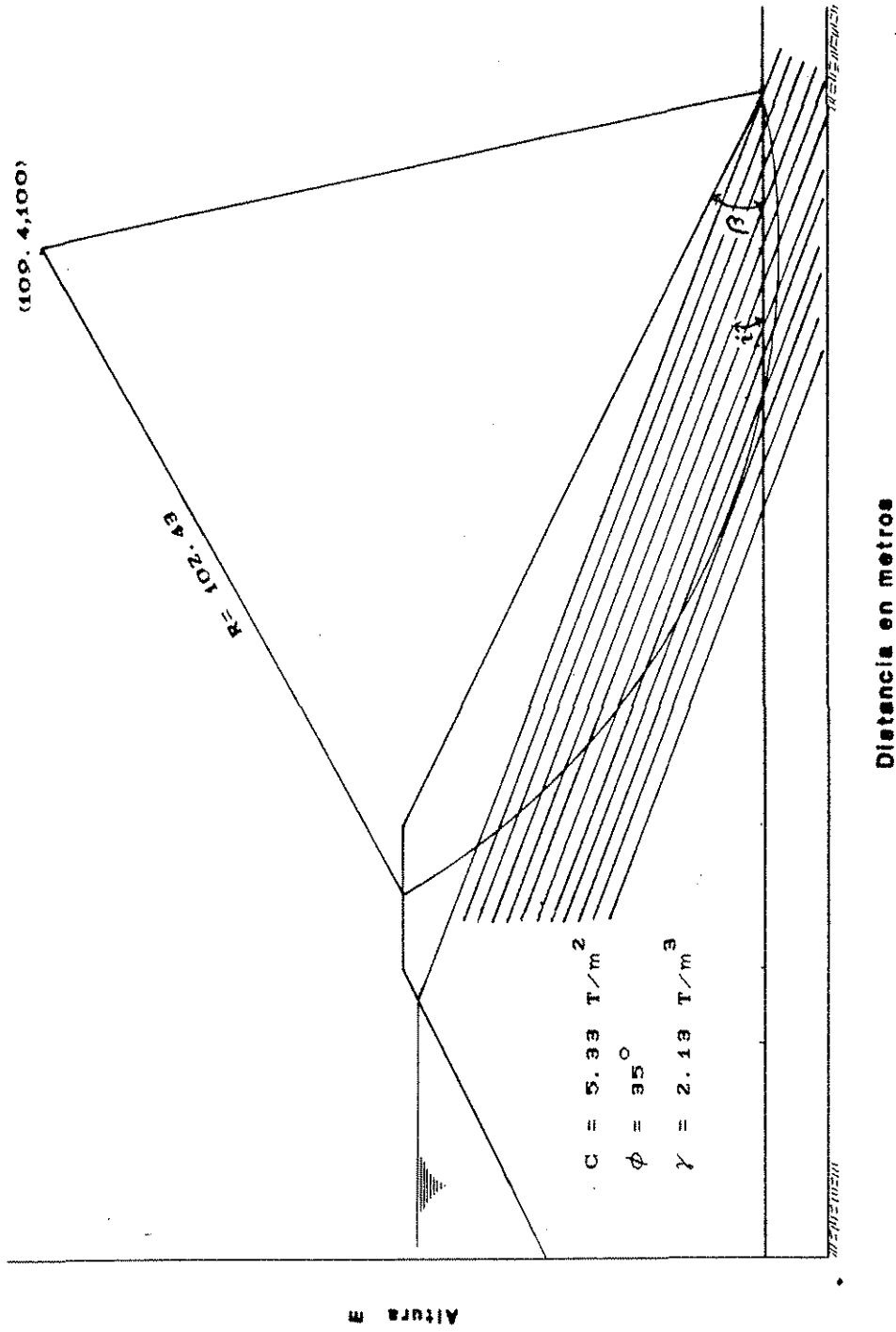


Fig. 22 Sección transversal de un talud (caso II)

EJEMPLO DE APLICACION No 4

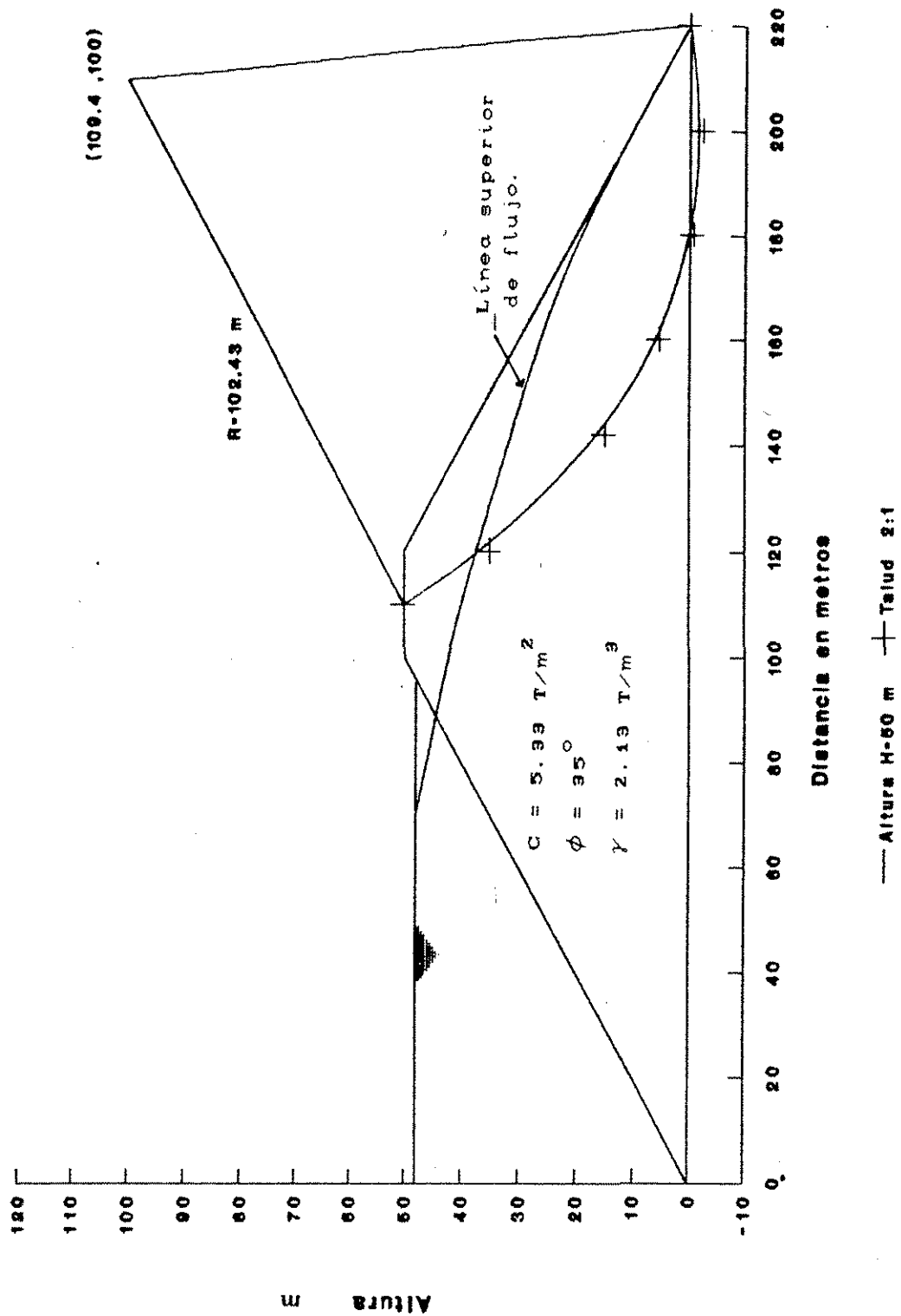


Fig. 23 Sección transversal de un talud (caso III)

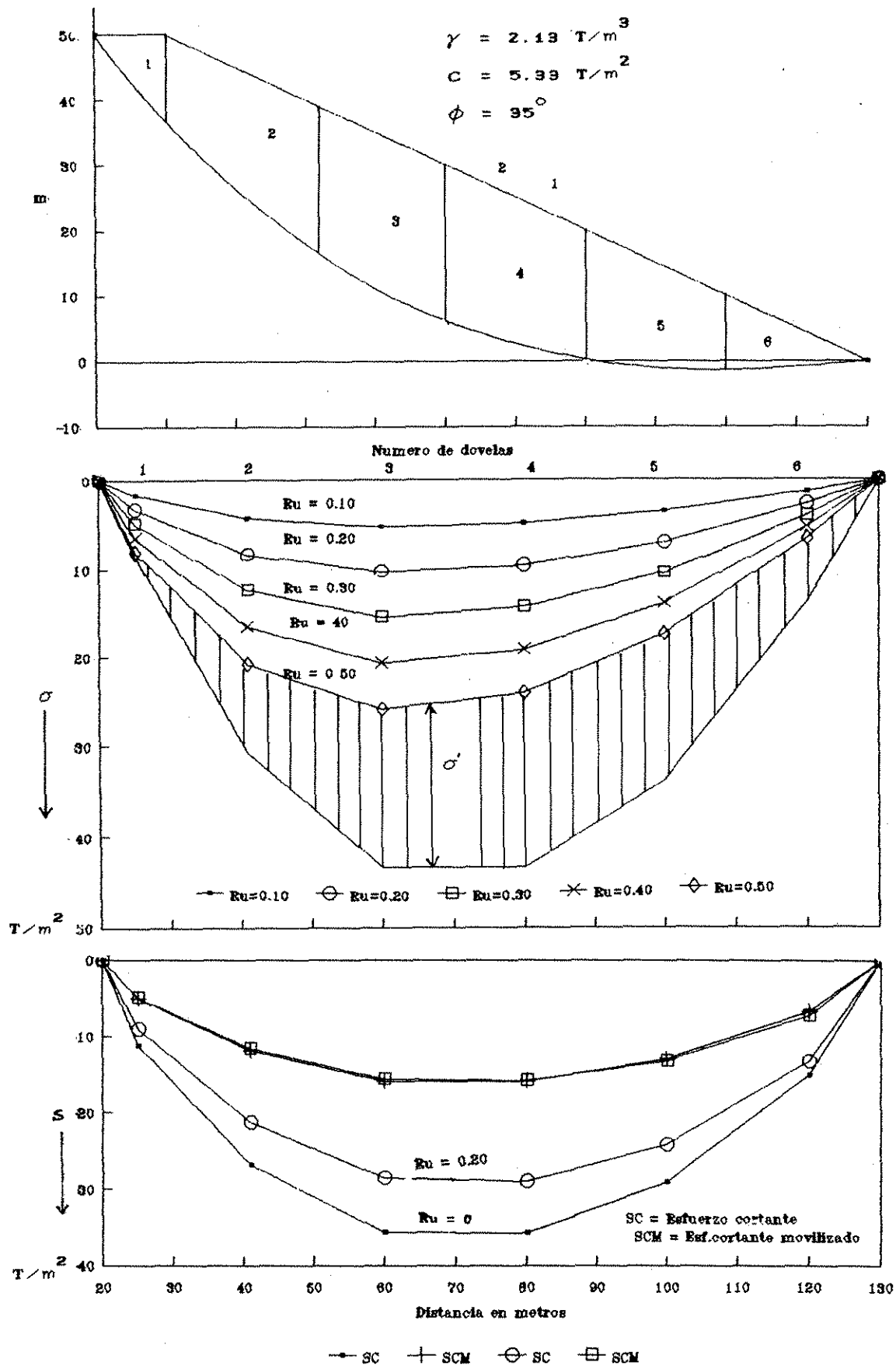
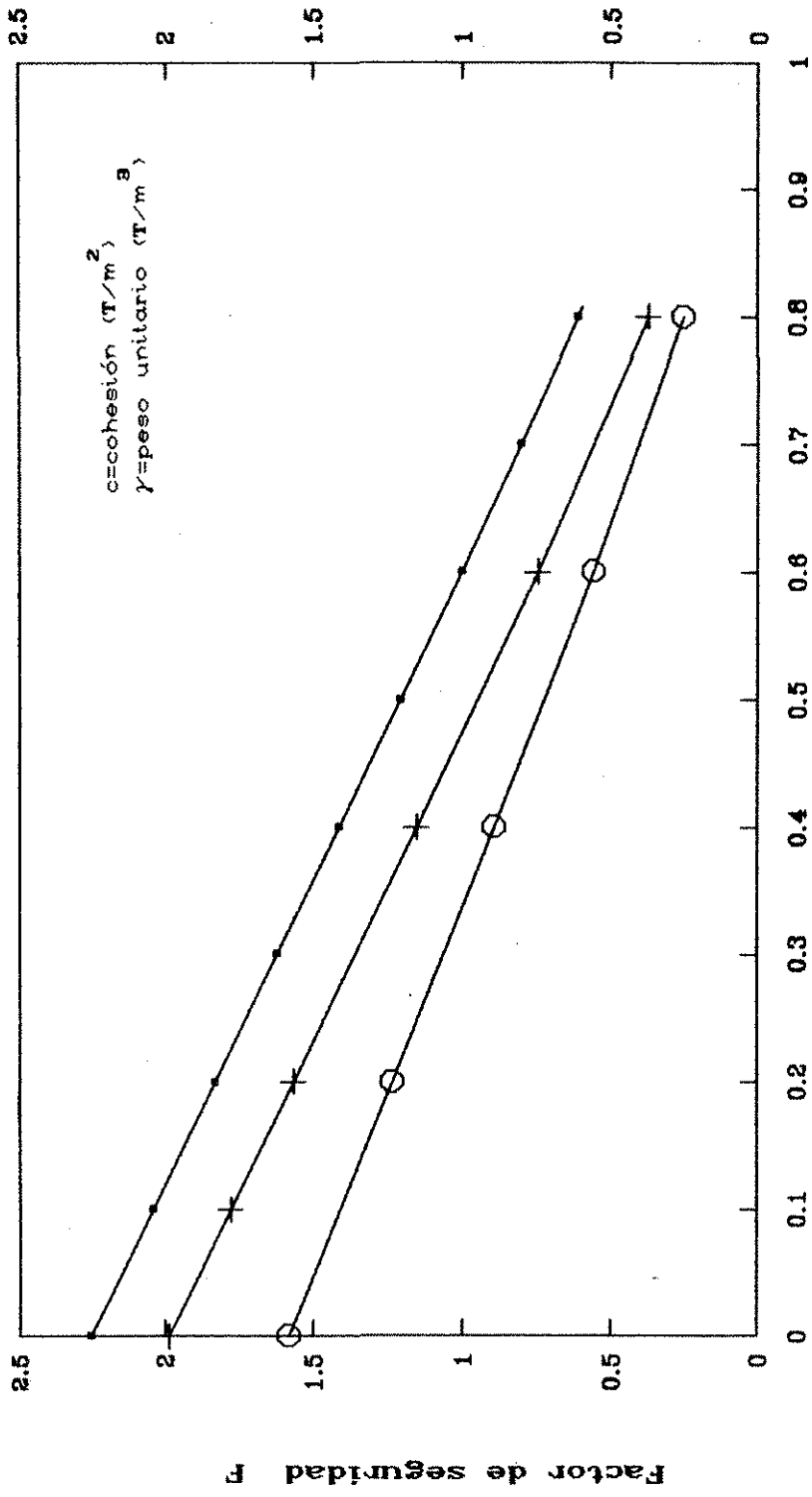


Fig. 24 Esfuerzos a lo largo de la superficie de falla variación con la relación de poro B; método de Bishop.



—●— $c=5.33, \phi=35, \gamma=2.13$ —+— $c=2.00, \phi=35, \gamma=1.90$ —○— $c=1.00, \phi=30, \gamma=1.80$

Fig. 25 Relación entre el factor de seguridad y la relación de poro \bar{B} (método de bishop).

DIAGRAMA PARA $C=0$ $\phi > 0$

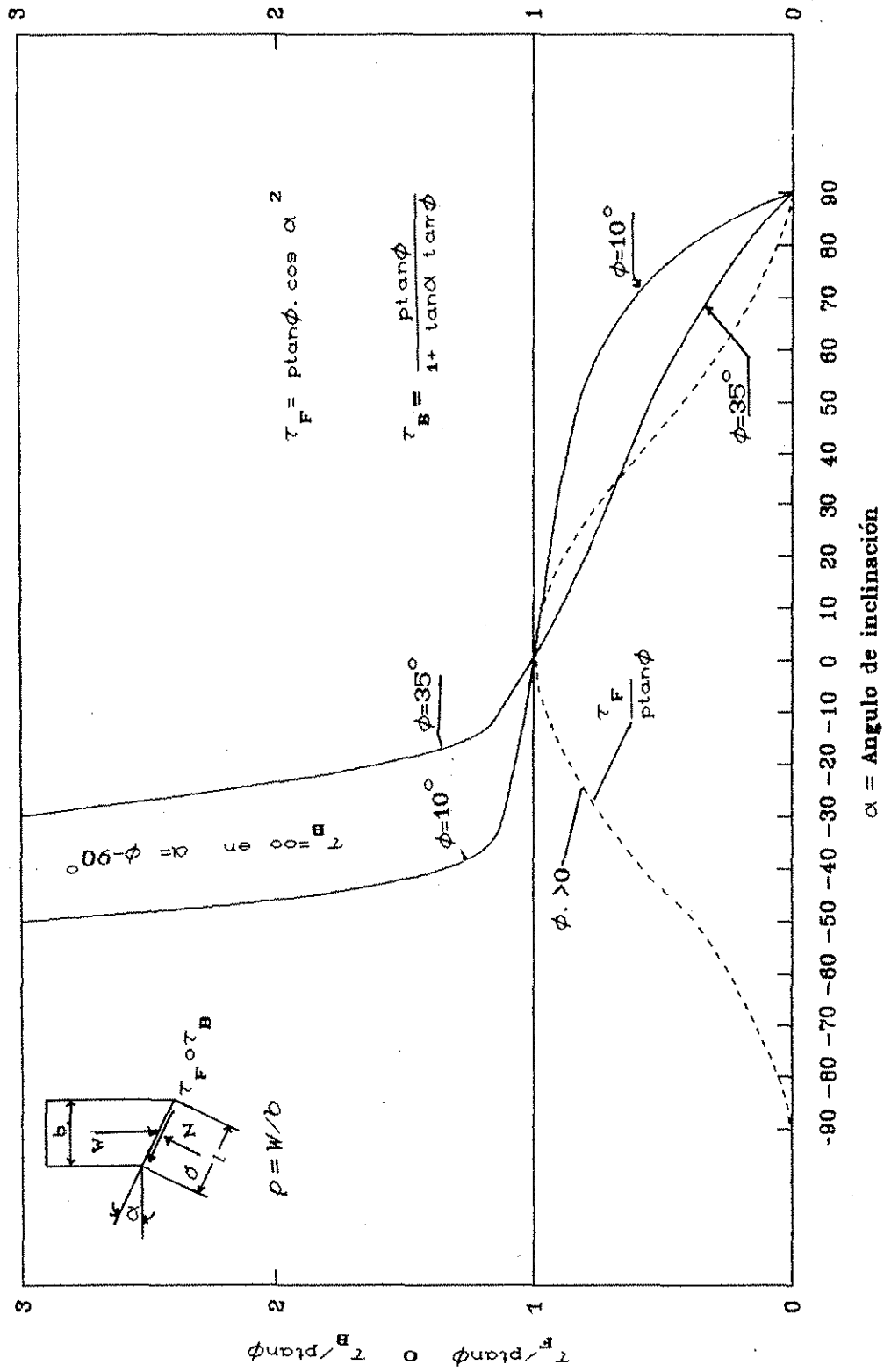


Fig. 26 Influencia de la inclinación de la base de las dovelas en la relación de resistencias, método: Fellenius y Bishop.

DIAGRAMA PARA $C=0$ $\phi > 0$

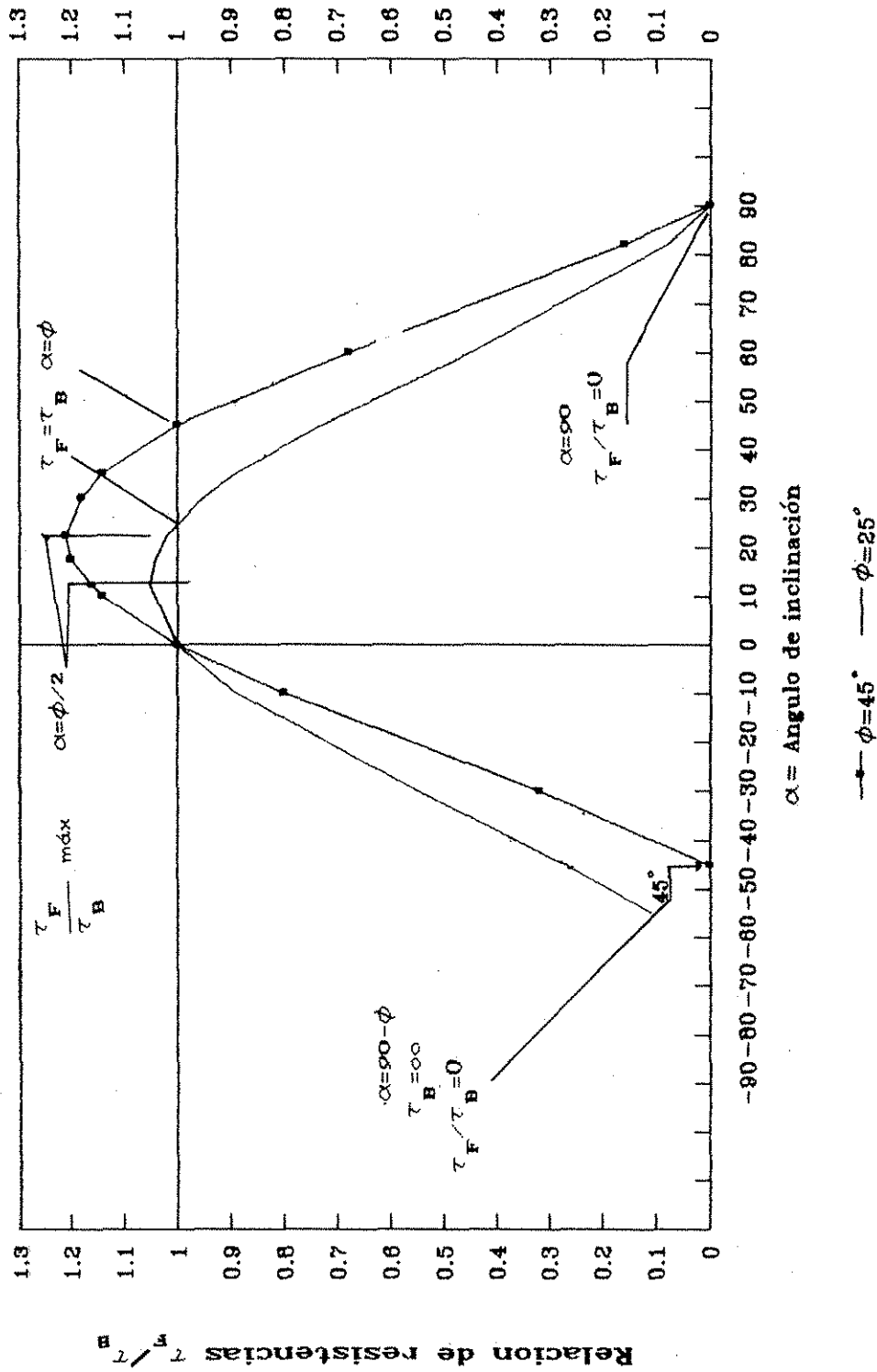


Fig. 27 Influencia de la inclinación de la base de las dovelas en la relación de resistencias al esfuerzo cortante, método de Fellenius/Bishop.

DIAGRAMA PARA $C=0$ $\phi > 0$

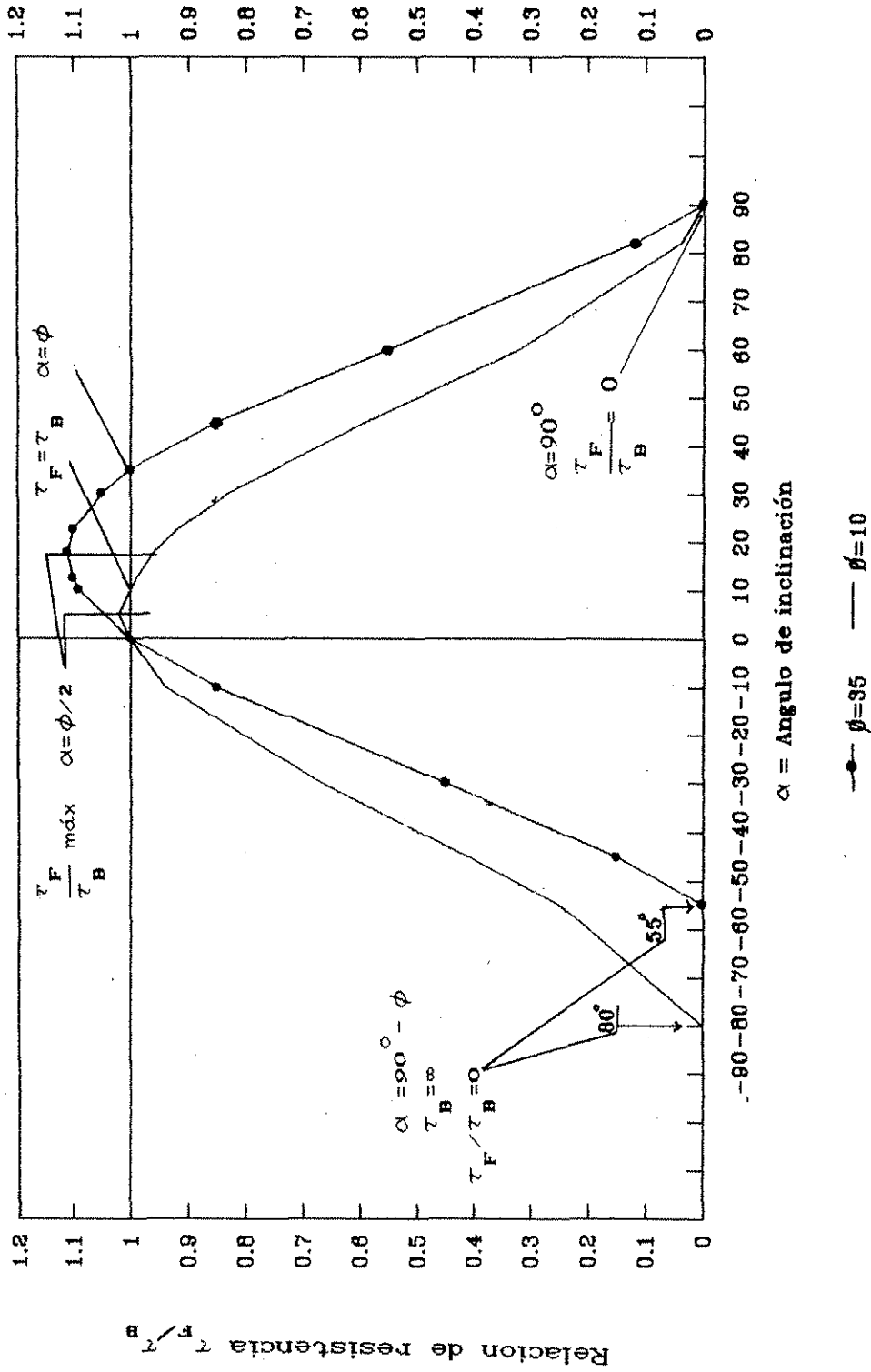


Fig. 28 Influencia de la inclinación de la base de las dovelas en la relación de resistencias al esfuerzo cortante, método de Fellenius/Bishop.

DIAGRAMA PARA $C=0$ $\phi > 0$

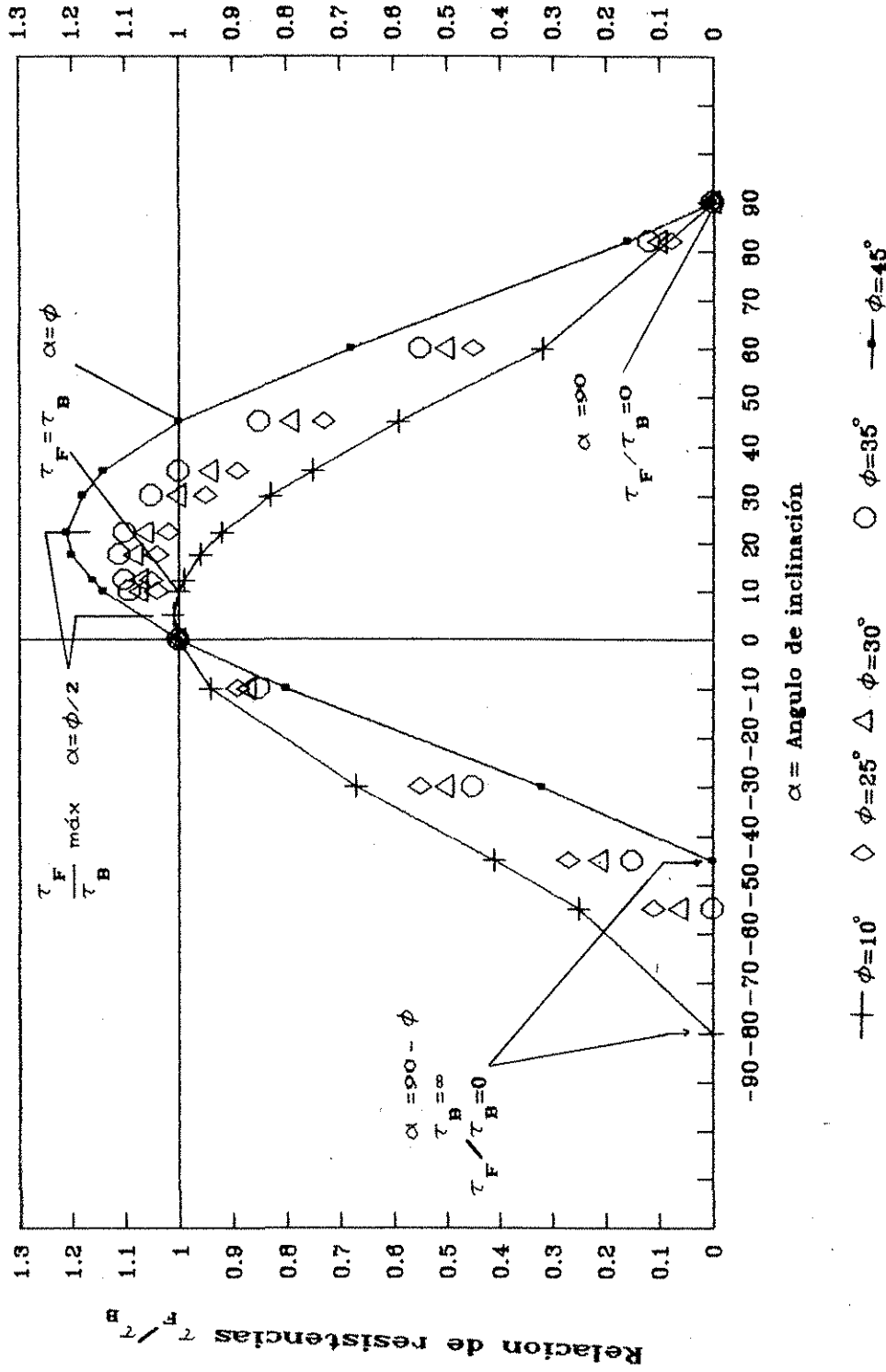


Fig. 29 Influencia de la inclinación de la base de las dovelas en la relación de resistencias al esfuerzo cortante, método de Fellenius/Bishop.

DIAGRAMA PARA $C=0$ $\phi > 0$

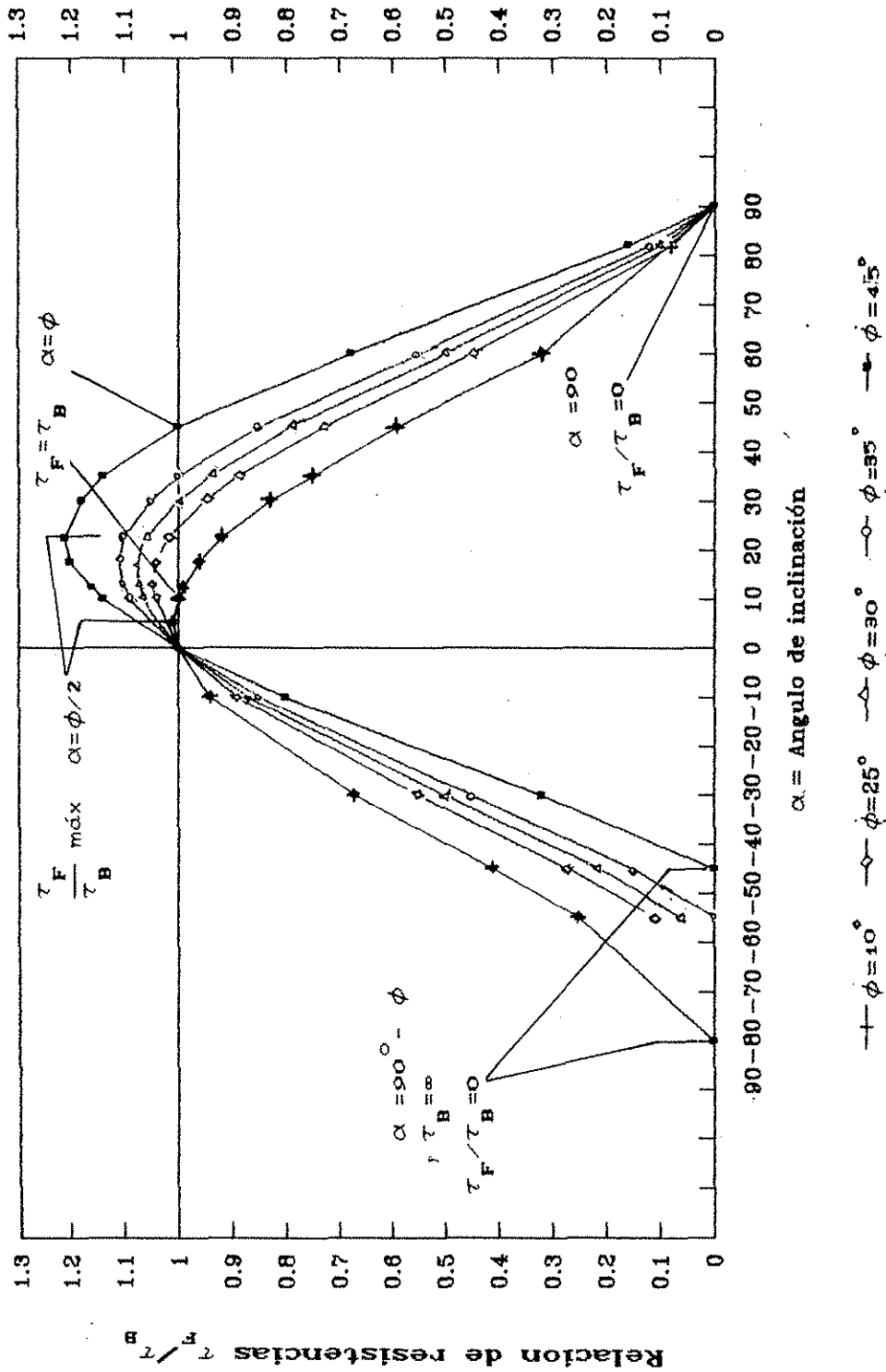
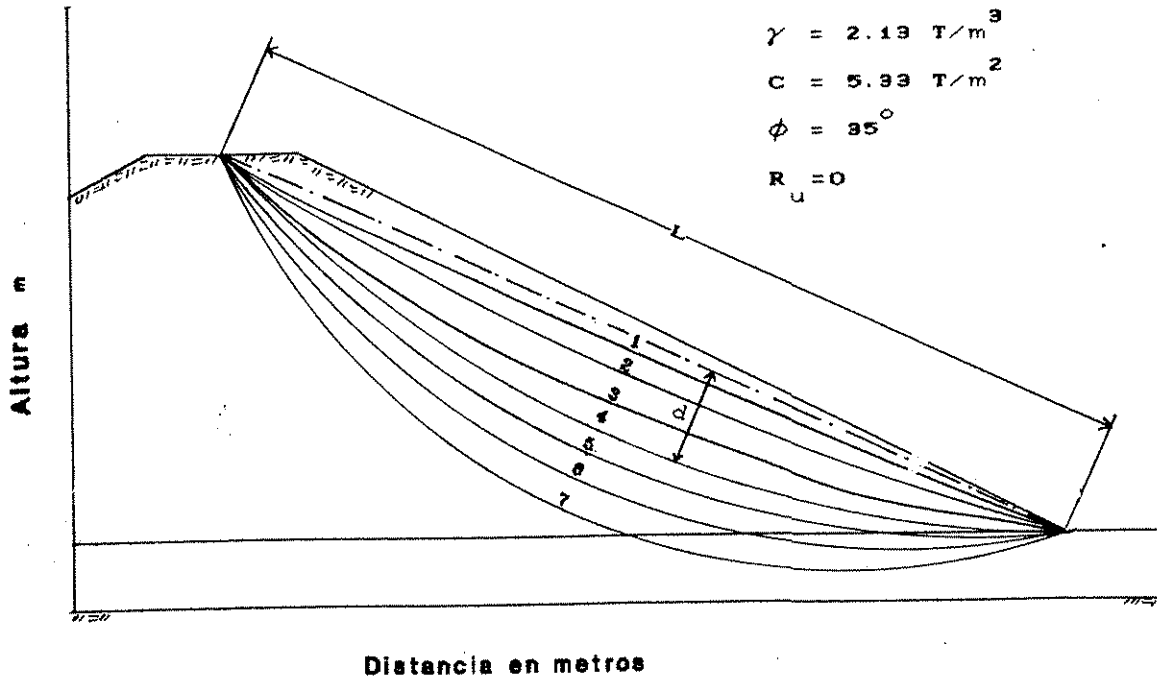


Fig. 30 Influencia de la inclinación de la base de las dovelas en la relación de resistencias al esfuerzo cortante, método de Fellenius/Bishop.



Altura H=50 m Talud 2:1 Esc.1:1000

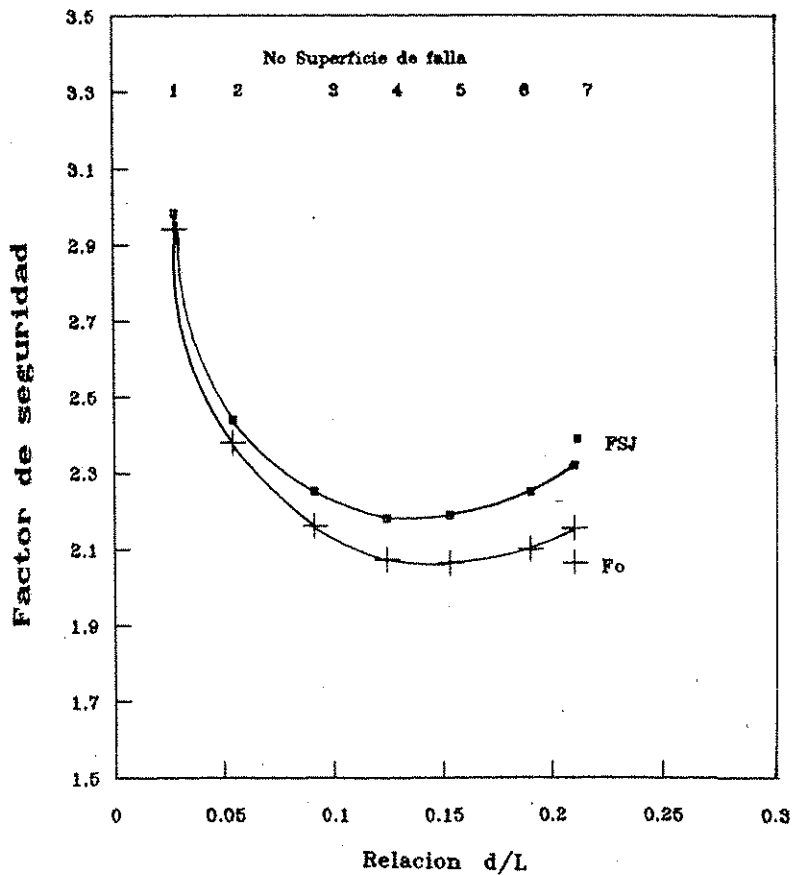


Fig. 31 Factor de seguridad para diferentes superficies curvas de falla (Janbu simplificado).

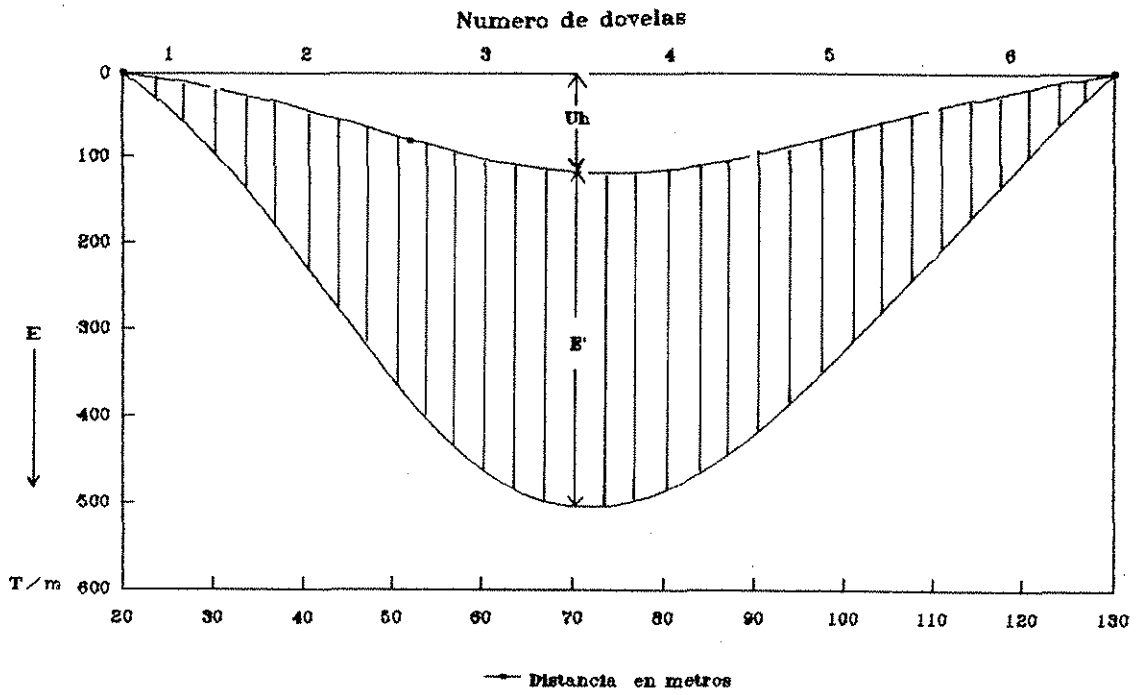
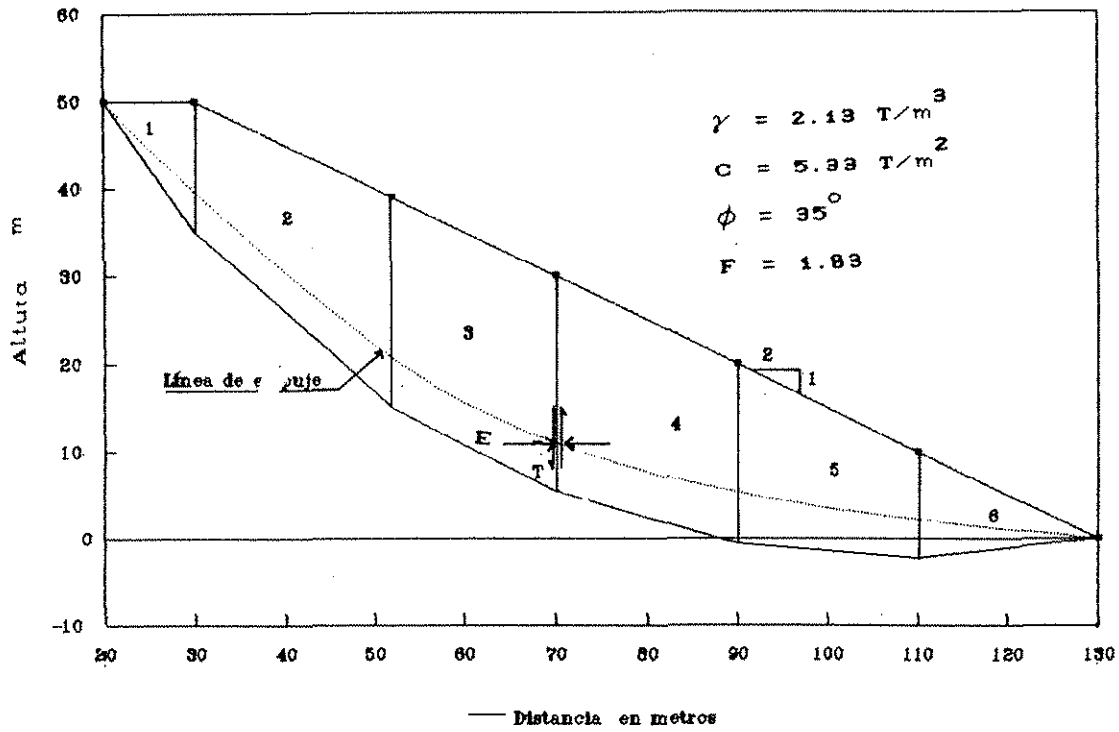


Fig. 32 Factor de seguridad y fuerzas horizontales E entre dovelas a lo largo de la superficie de falla (Janbu riguroso).

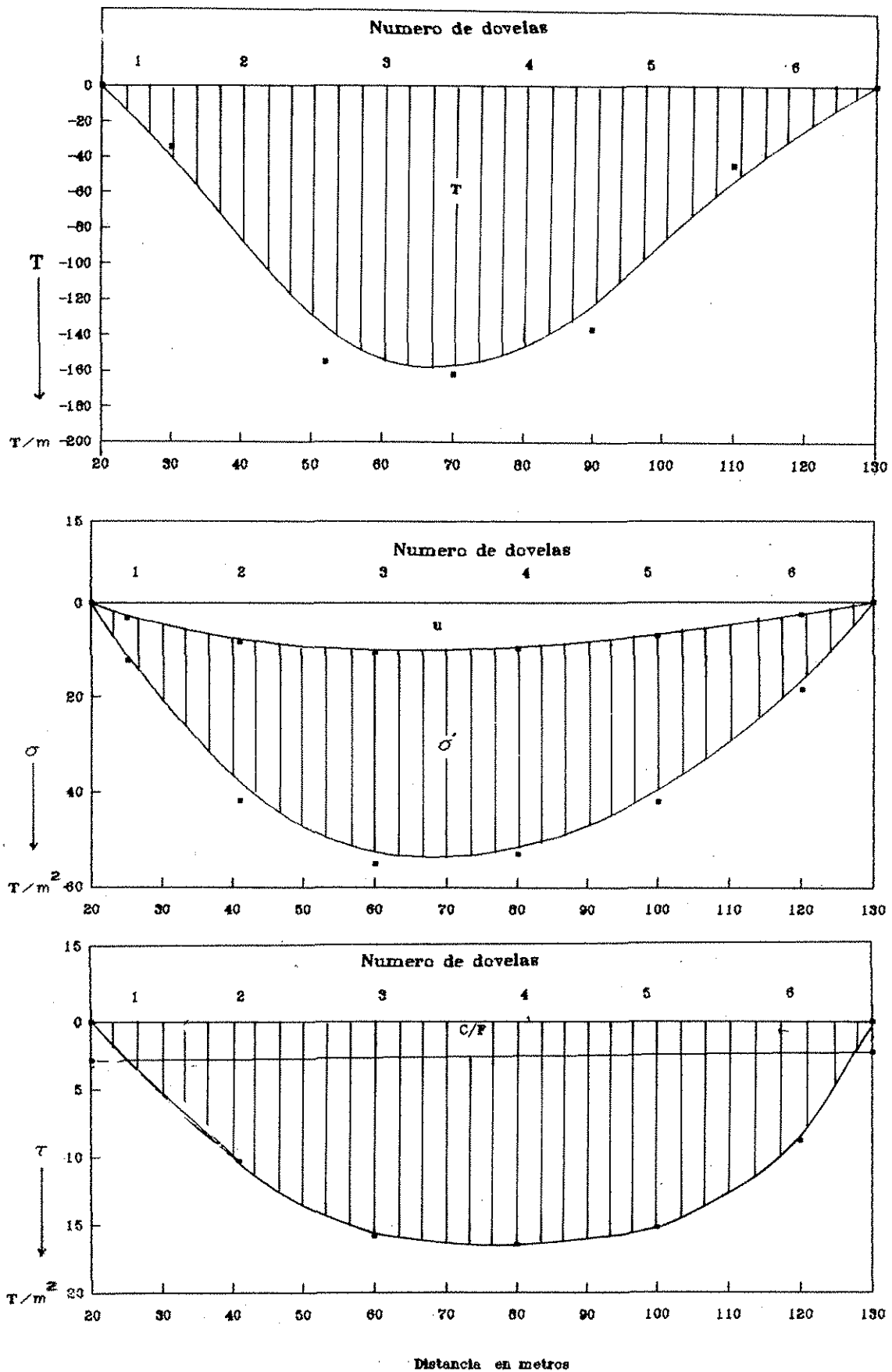


Fig. 33 Fuerza vertical T entre dovelas, esfuerzos σ' y τ a lo largo de la superficie de falla no circular. (Janbu riguroso).

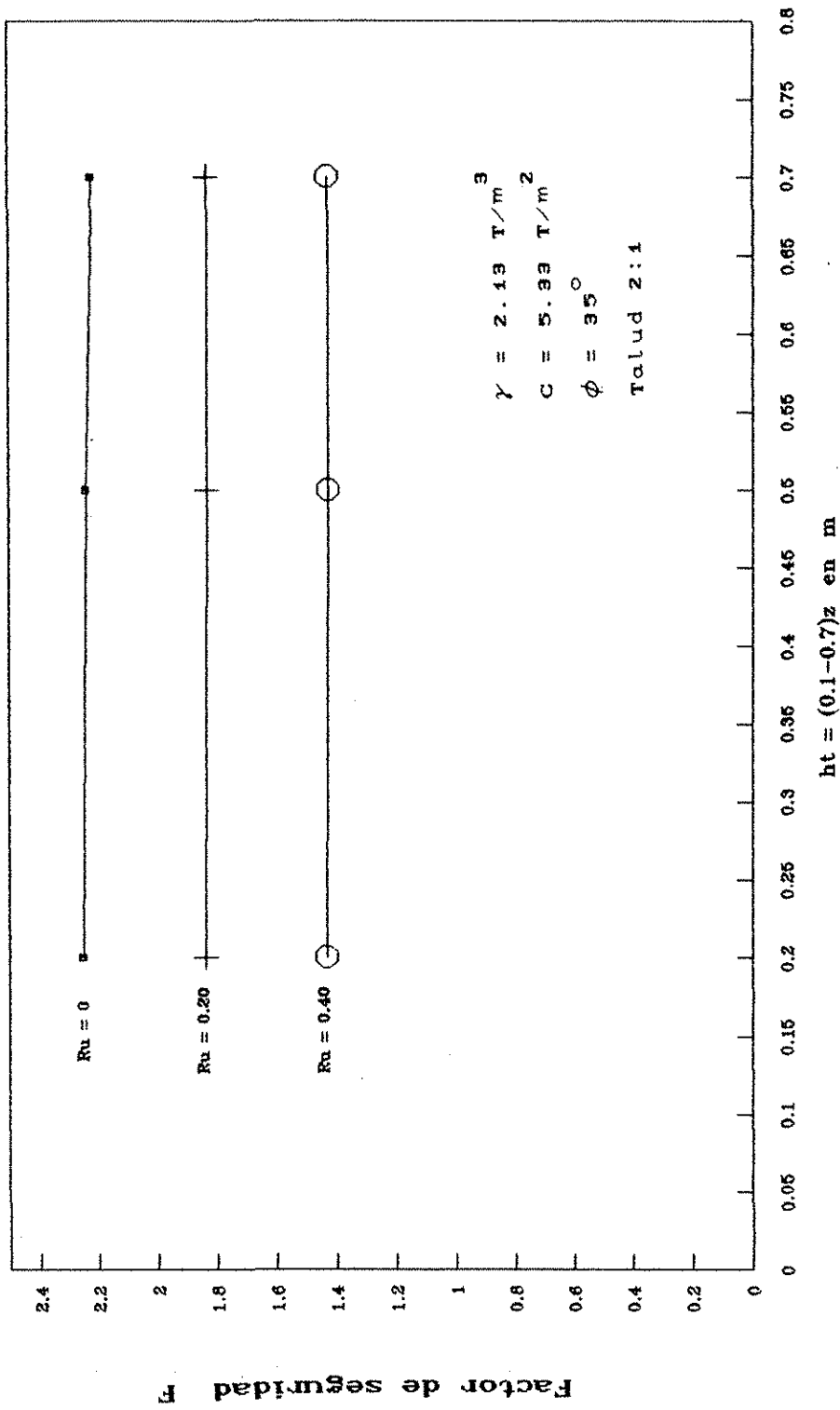


Fig. 34 Influencia de la posición de la línea de empuje en factor de seguridad (Janbu riguroso).

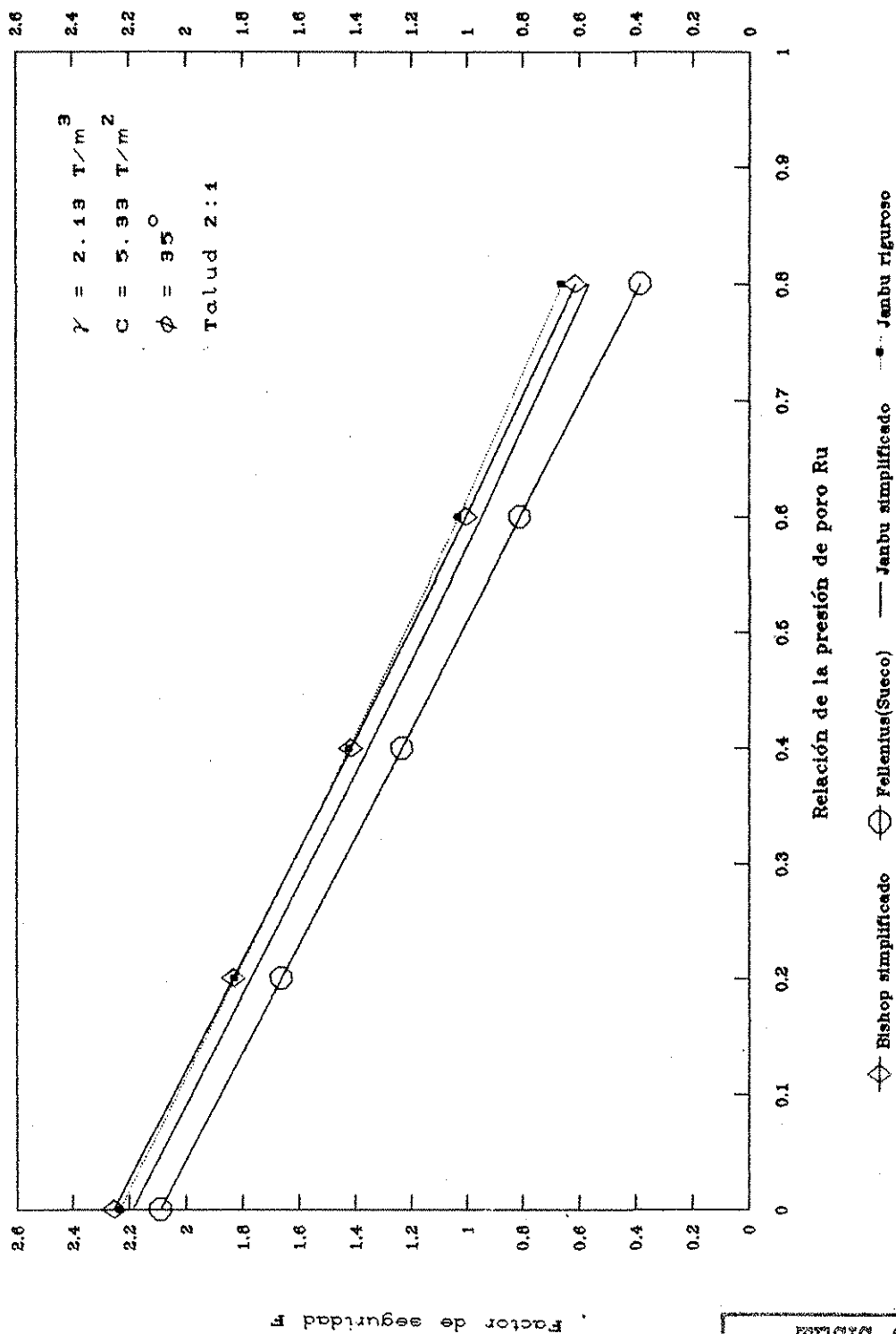


Fig. 35 Comparación y variación del factor de seguridad con R_u , para los diferentes métodos de análisis.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

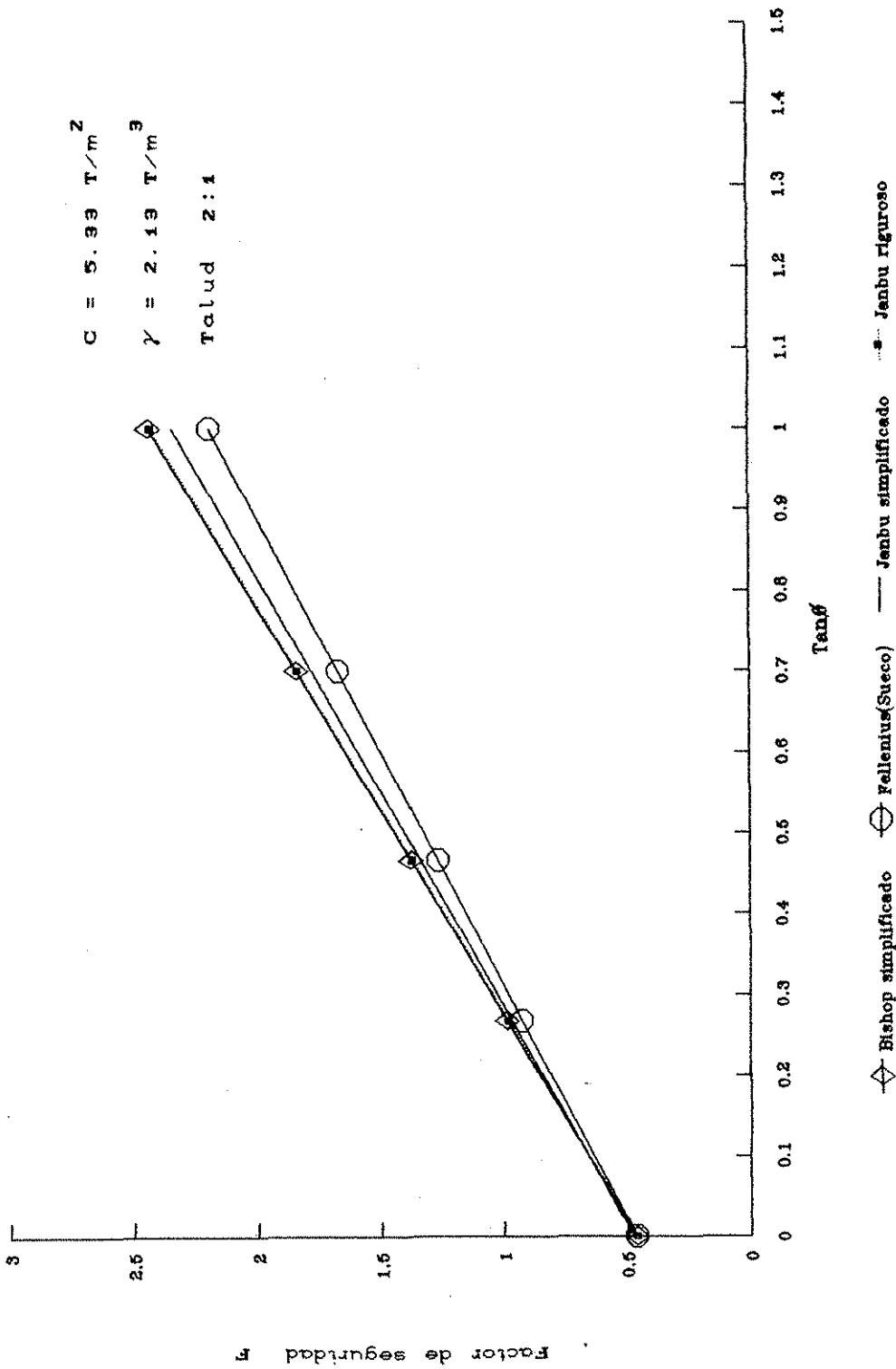


Fig. 36 Comparación y variación del factor de seguridad con $\tan\phi'$, para los diferentes métodos de análisis.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

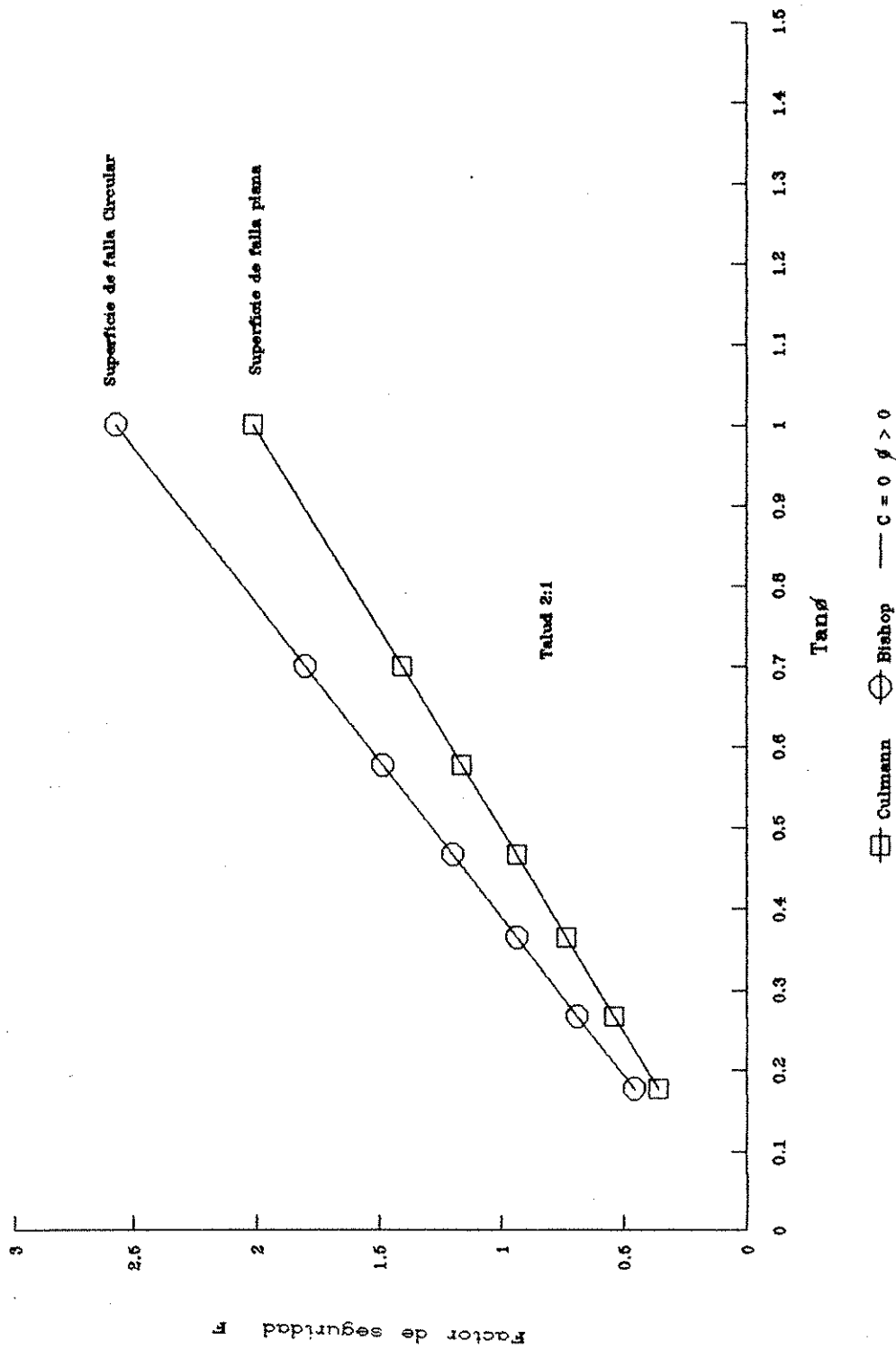


Fig. 37 Variación del factor de seguridad con $\tan\phi'$, método de Bishop y Culman.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

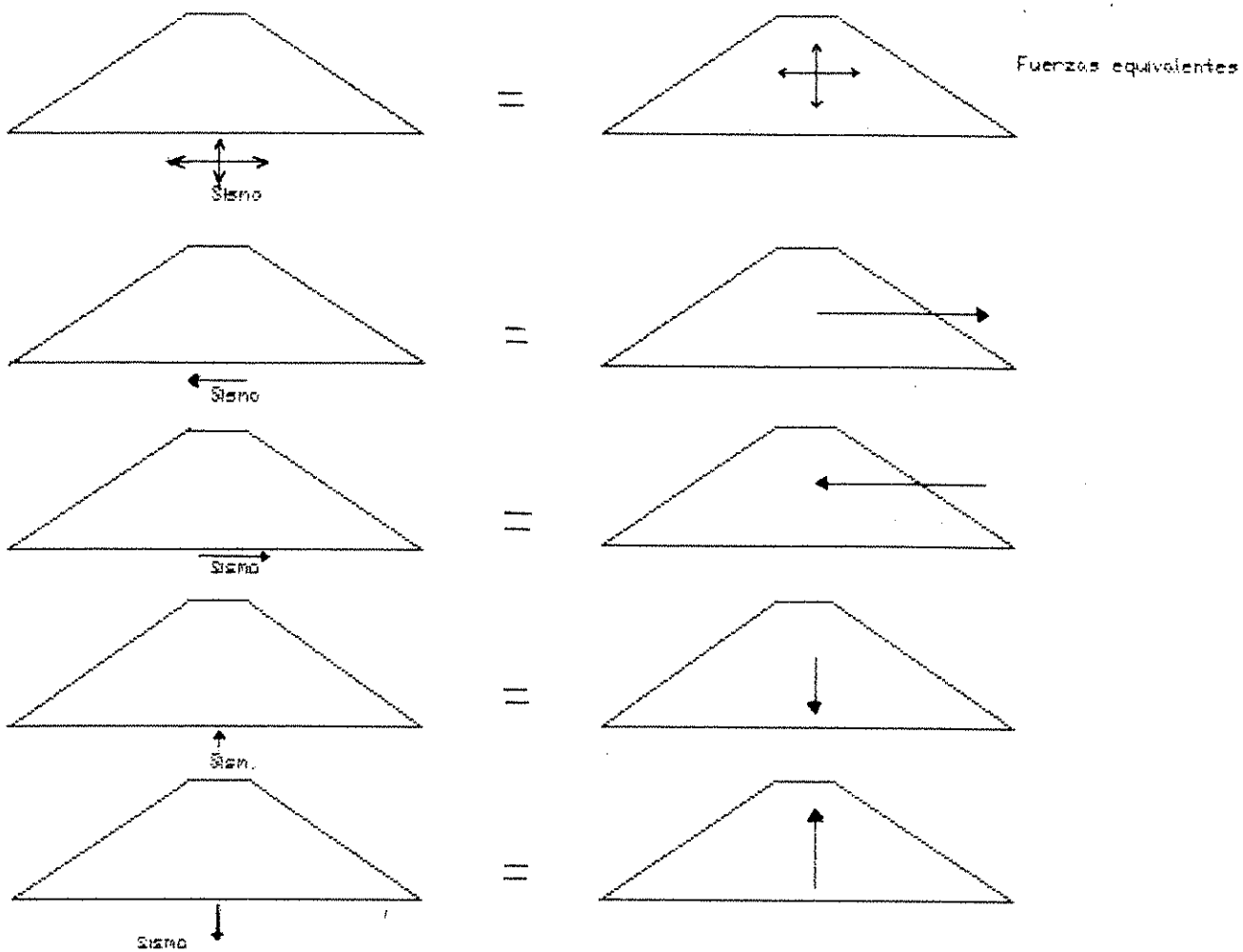


Fig. 38a Simplificación de los efectos dinámicos.

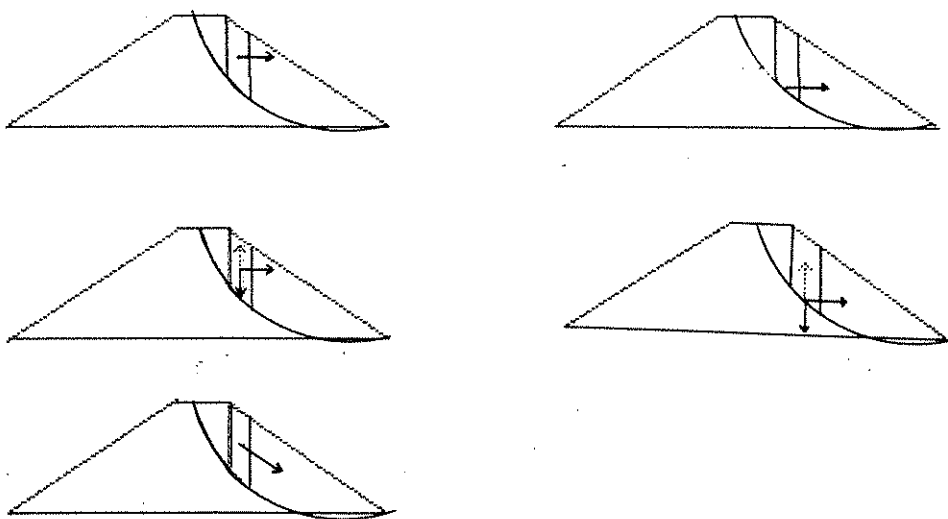
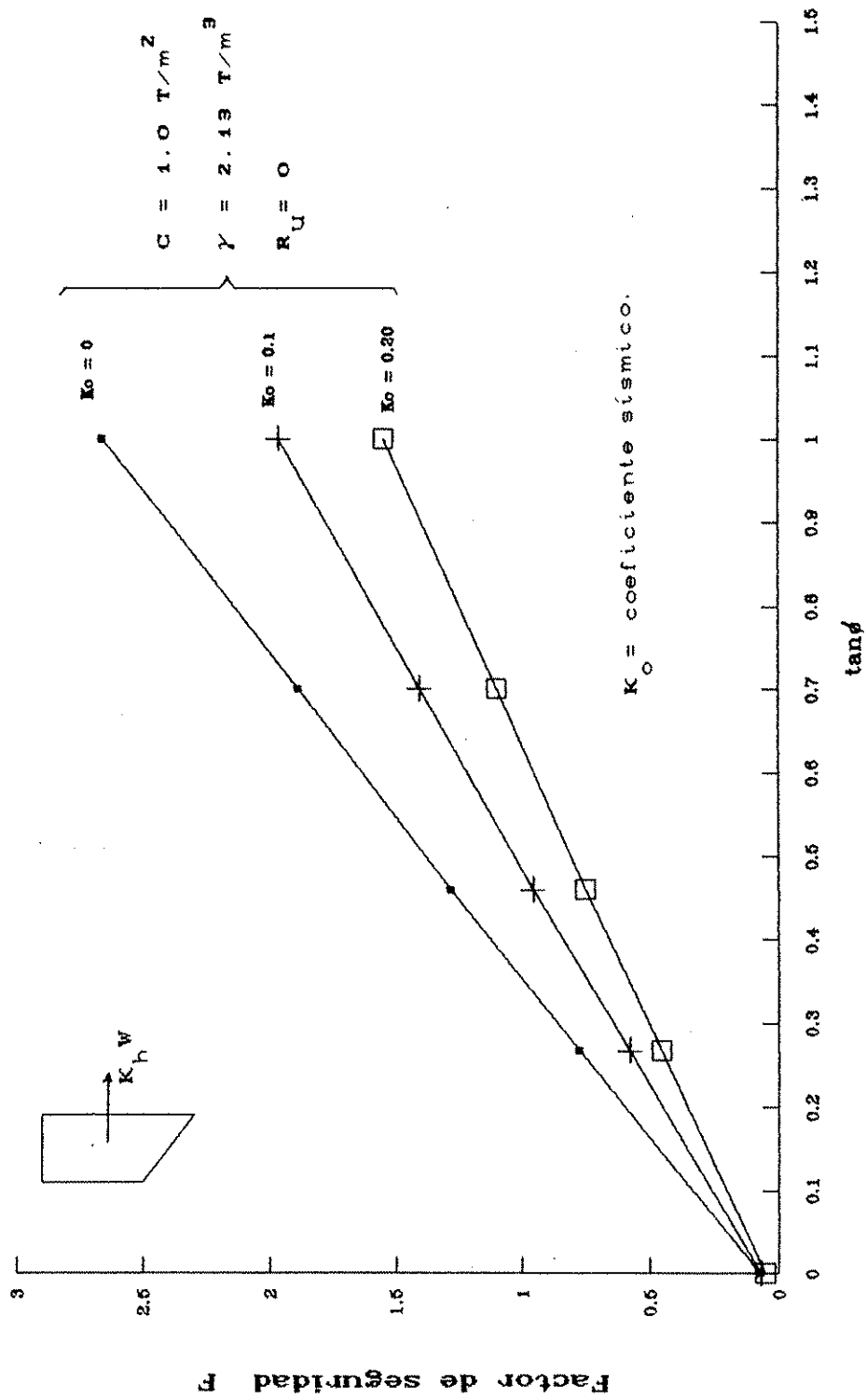


Fig.38b Dirección y ubicación de las fuerzas sísmicas en cada dovela.



Altura del talud=50m Talud 2:1

Fig. 39 Variación del factor para diferentes valores de K_o , $\tan \phi'$ y la dirección de la fuerza del sismo.

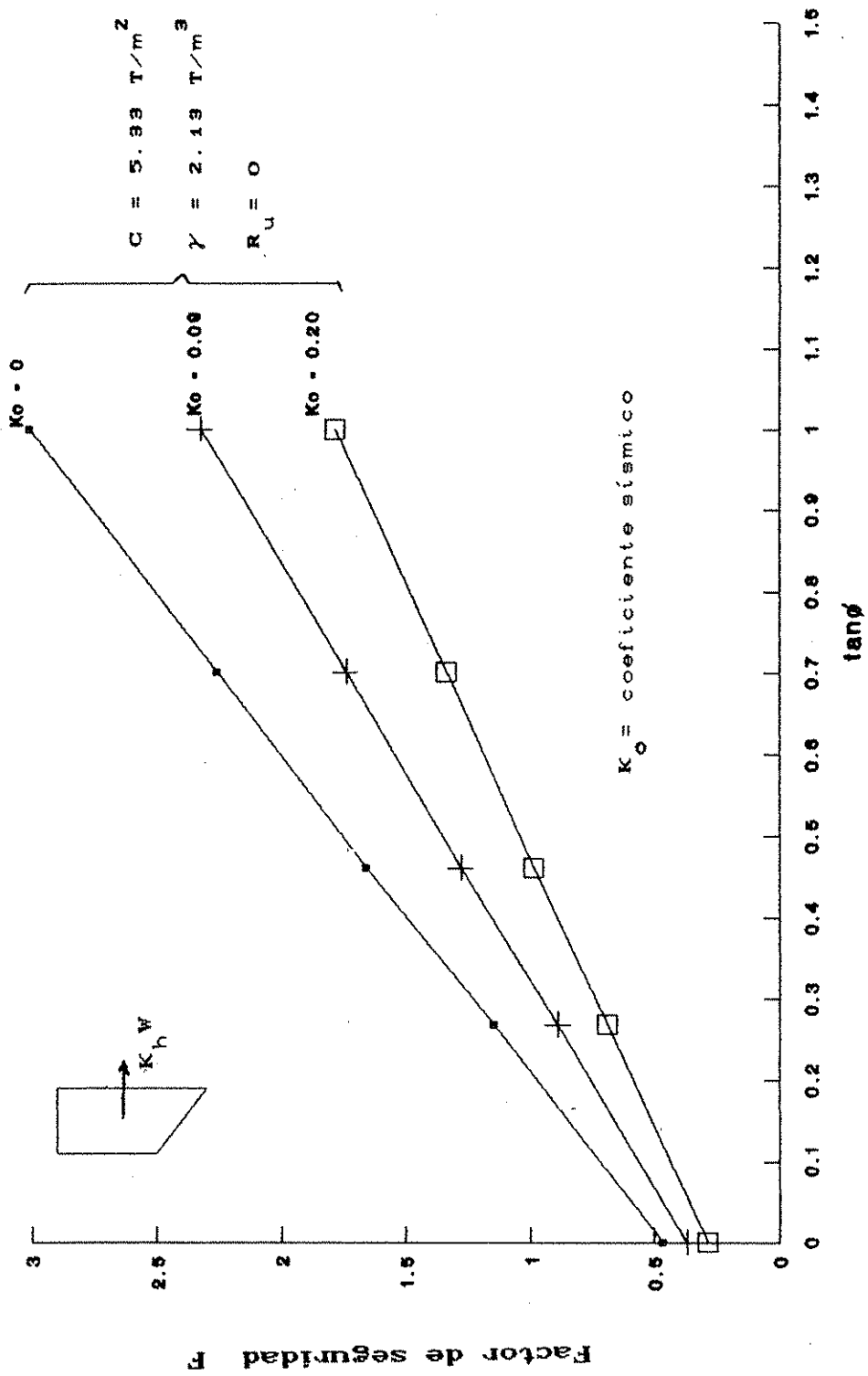


Fig. 40 Variación del factor de seguridad para diferentes valores de K_0 , c y $\tan \phi$.

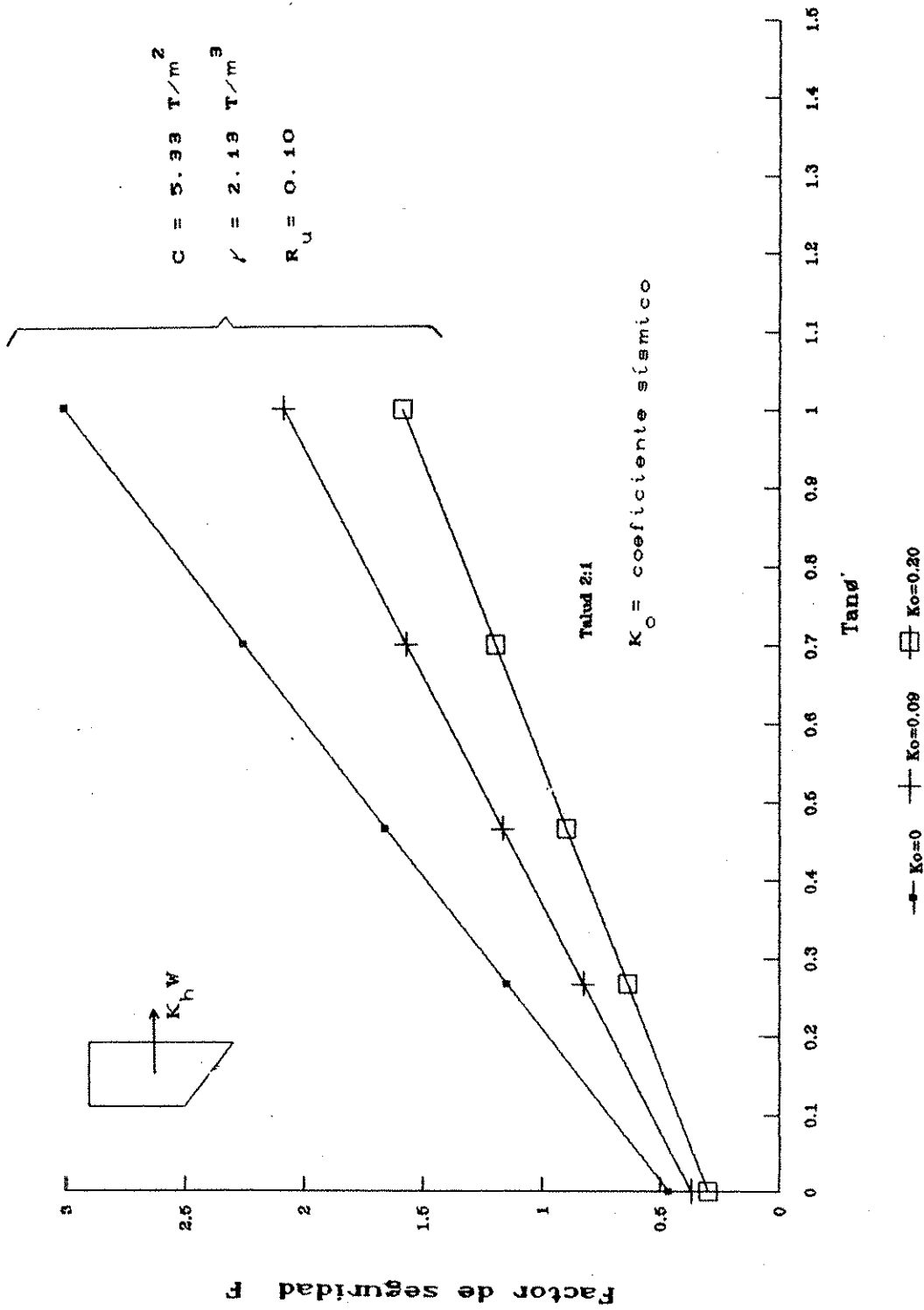


Fig. 41 Variación del factor para diferentes valores de K_o , c , $\tan\phi'$ y R_u (relación de presión de poro)

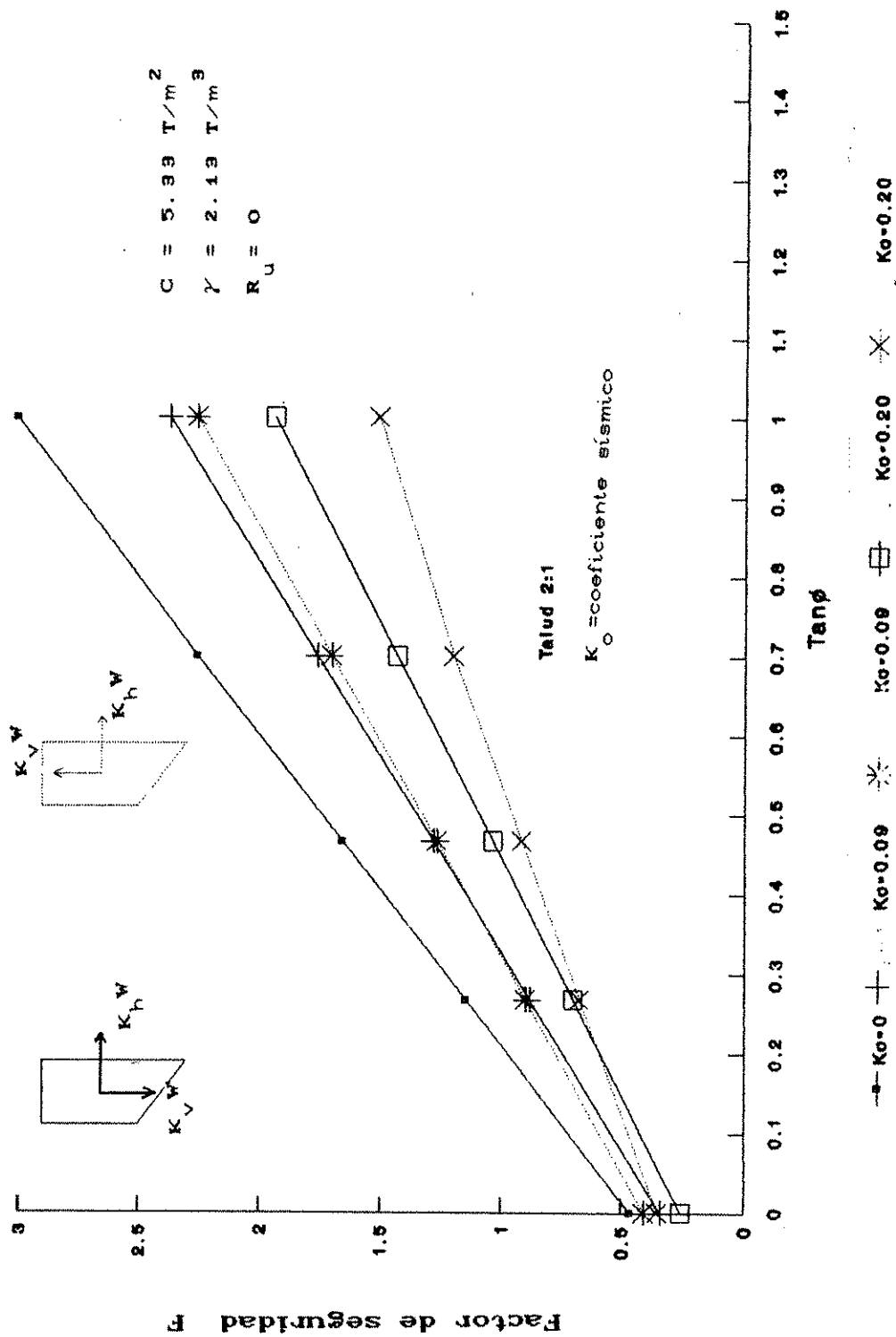


Fig. 42 Variación del factor de seguridad con $\tan \phi$ y la dirección de la fuerza del sismo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

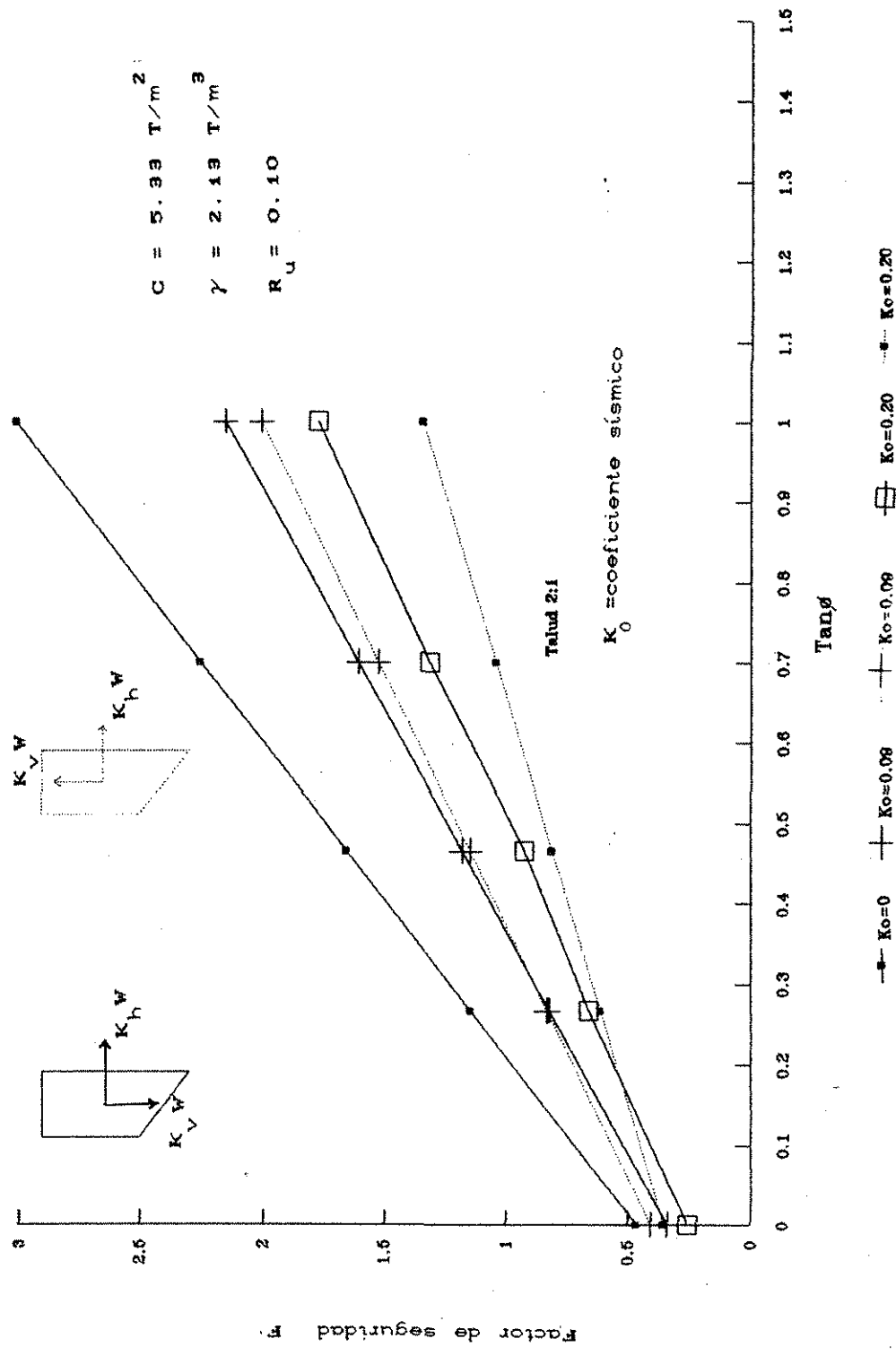


Fig. 43 Variación del factor de seguridad con $\tan\phi'$ y la dirección de la fuerza del sismo.

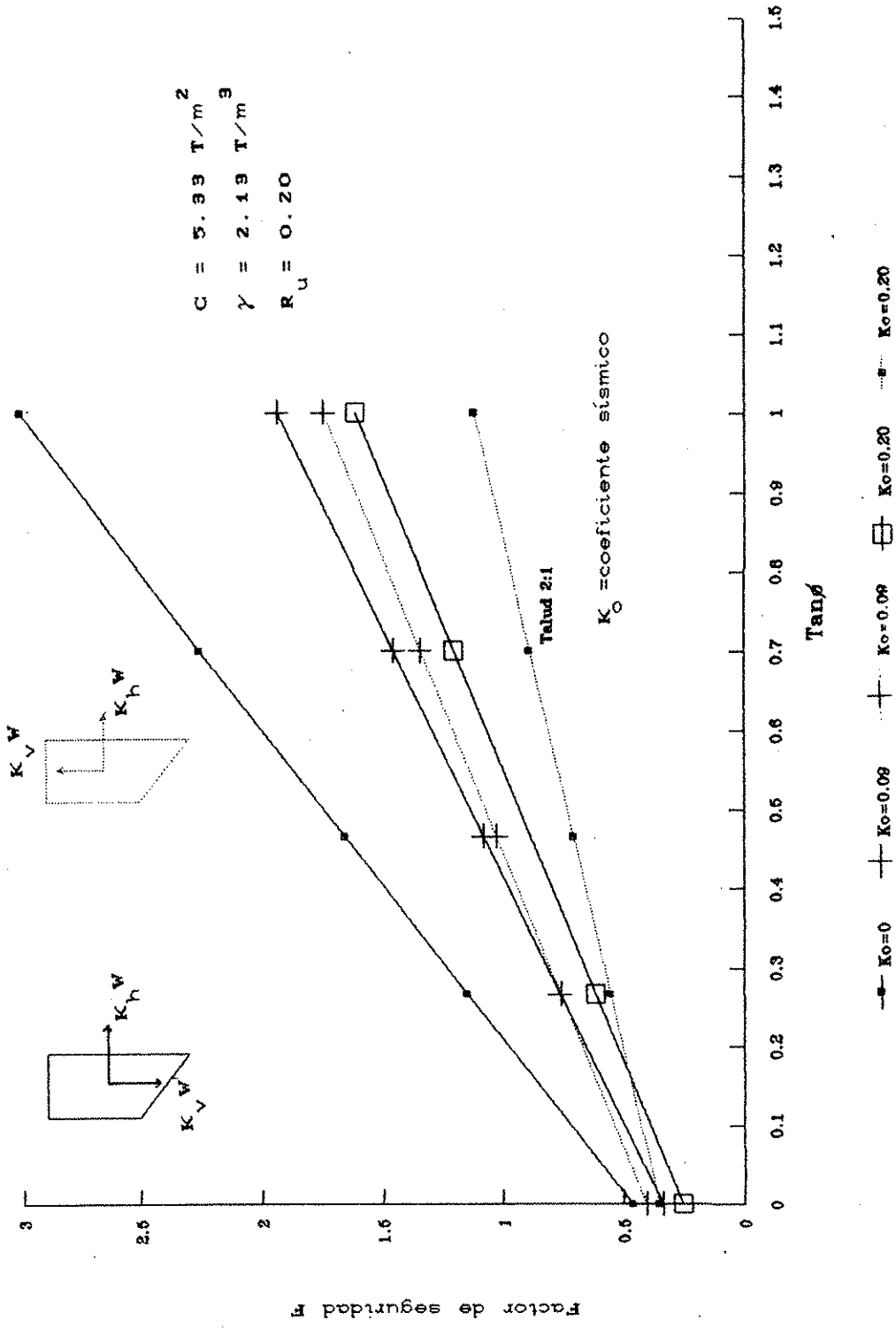


Fig. 44 Variación del factor de seguridad con K_0 , $\tan\phi'$ y la dirección de la fuerza del sismo.

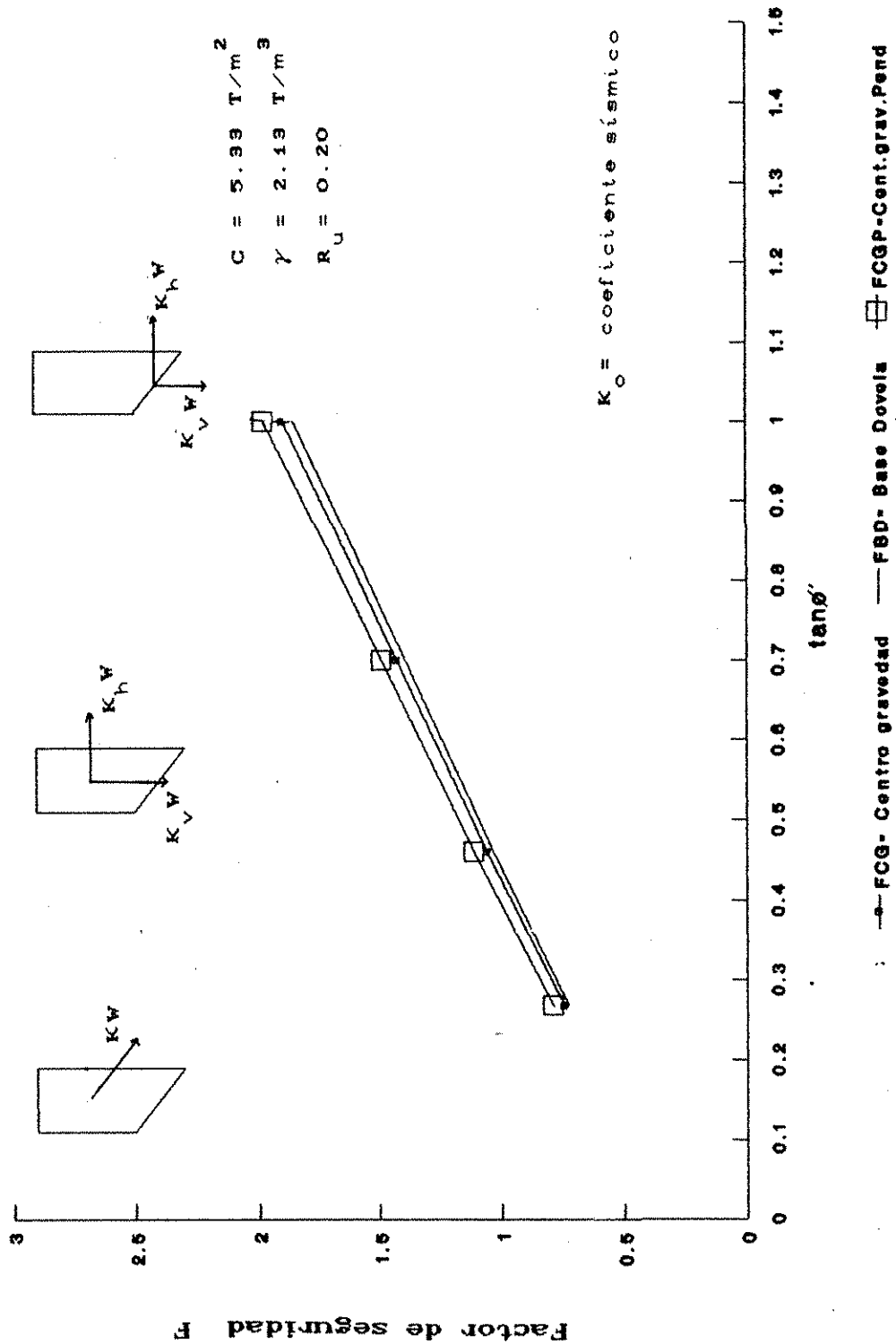


Fig. 45 Variación del factor de seguridad con $\tan \phi'$, dirección y ubicación de las fuerzas del sismo dentro de una dovela.
 $K_o = 0.10$

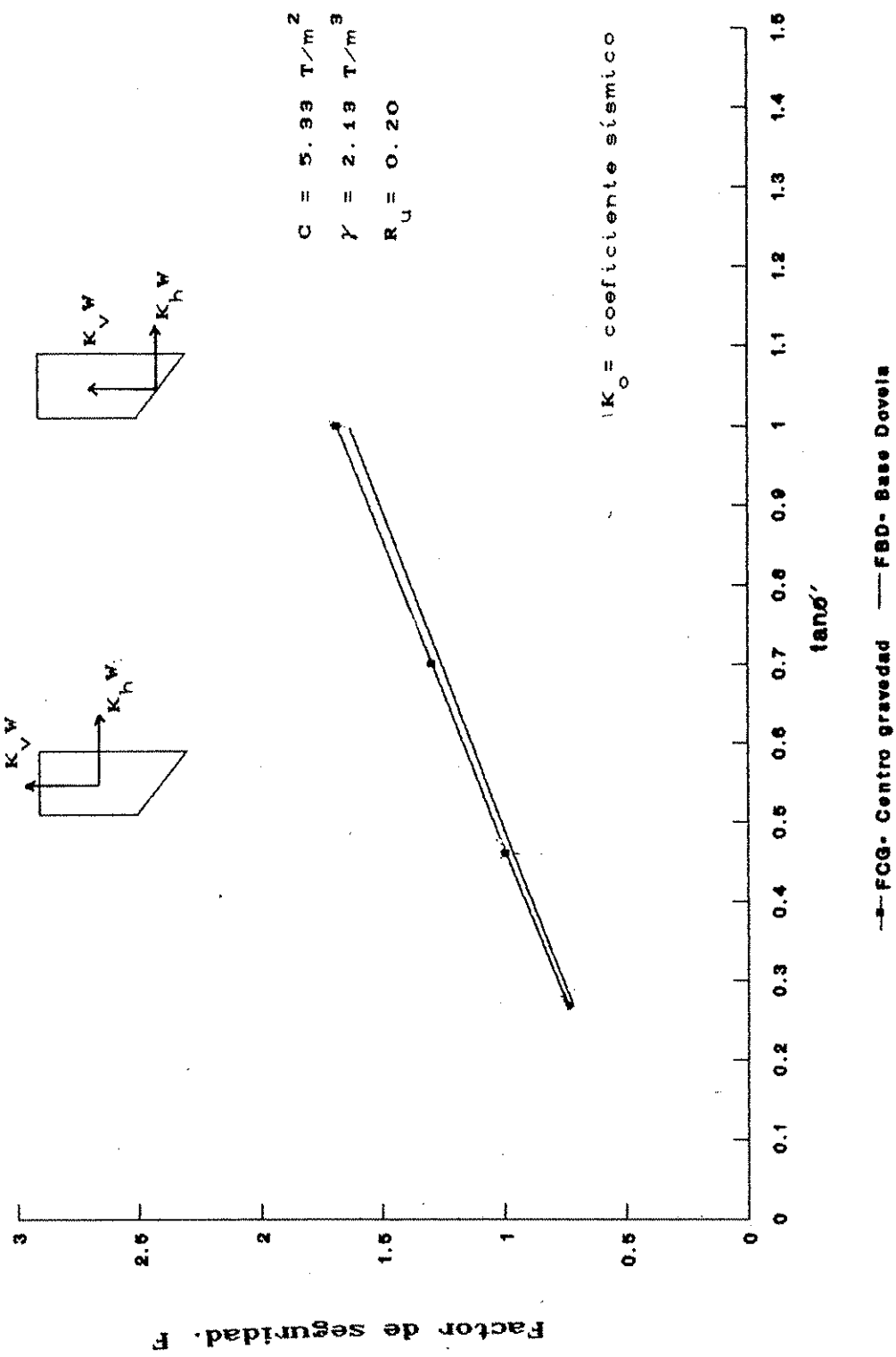
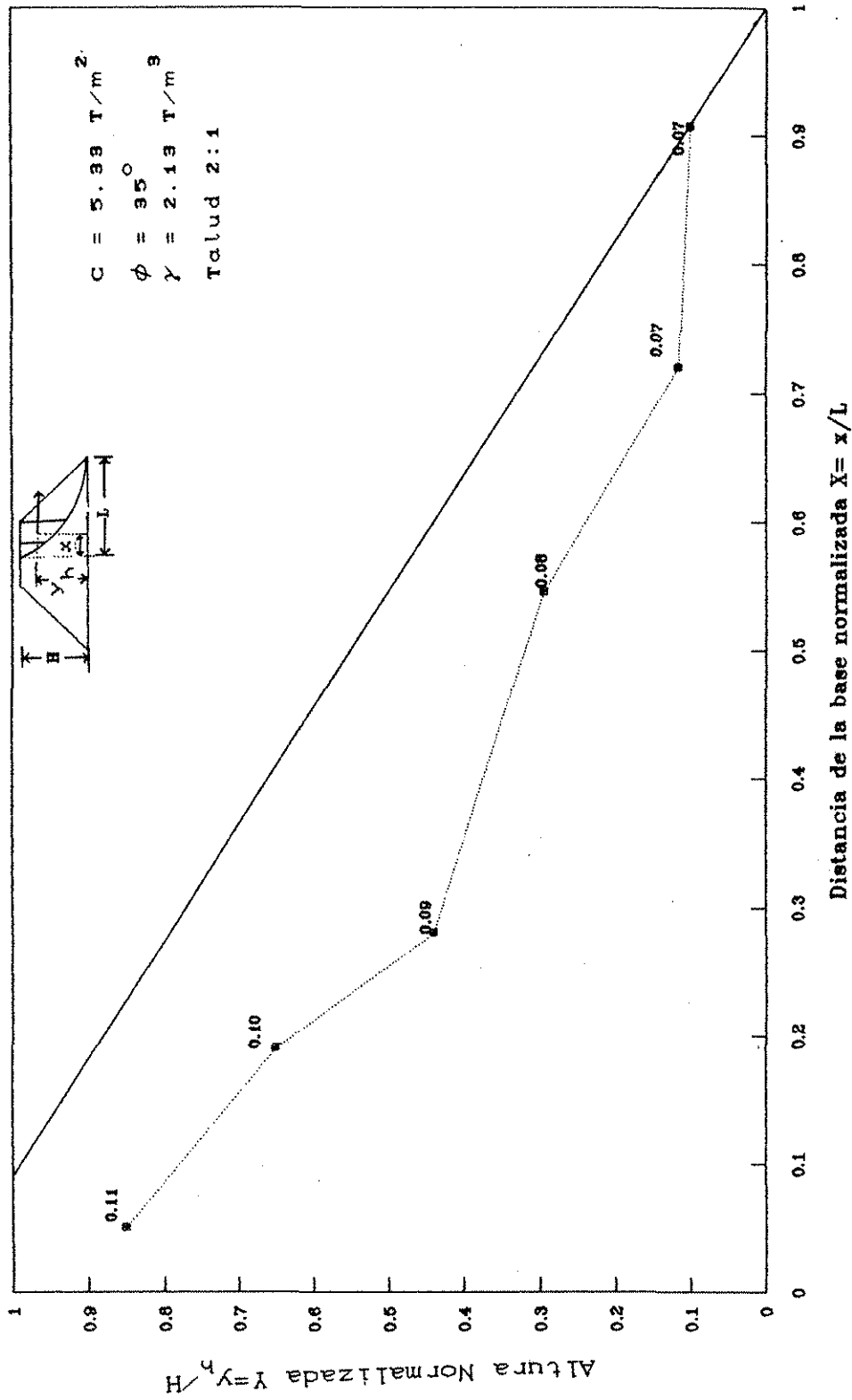
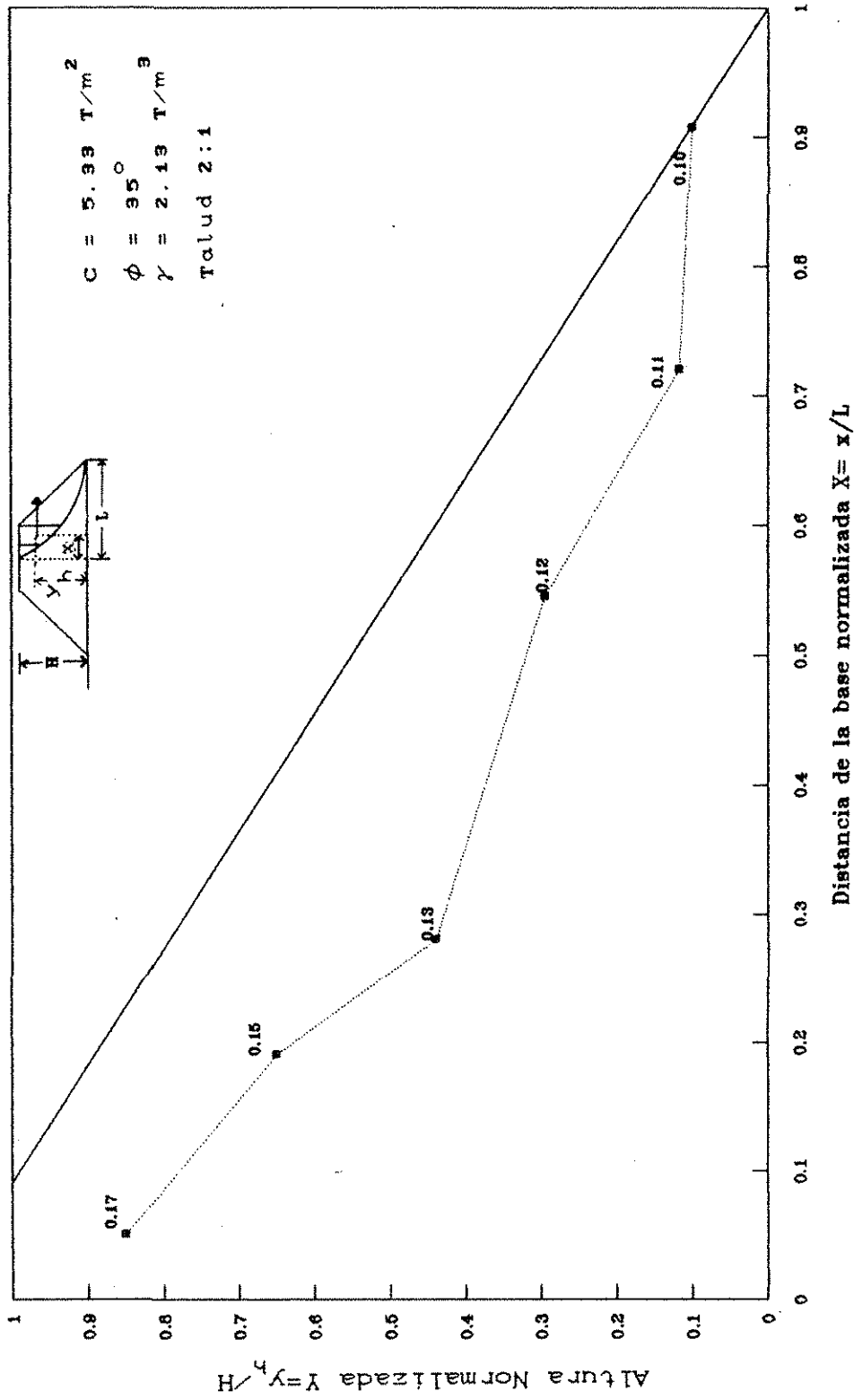


Fig. 46 Variación del factor de seguridad con tan φ' y la ubicación de las fuerzas del sismo en cada dovela. (K₀=0.10)



..... K_h = Coef. sismico hor.

Fig. 47 Variación del coeficiente sismico (K_h) dentro de la altura del talud. $K_0 = 0.06$.



--- K_h = Coef. sísmico hor.

Fig. 48 Variación del coeficiente sísmico (K_h) dentro de la altura del talud, $K_0 = 0.09$

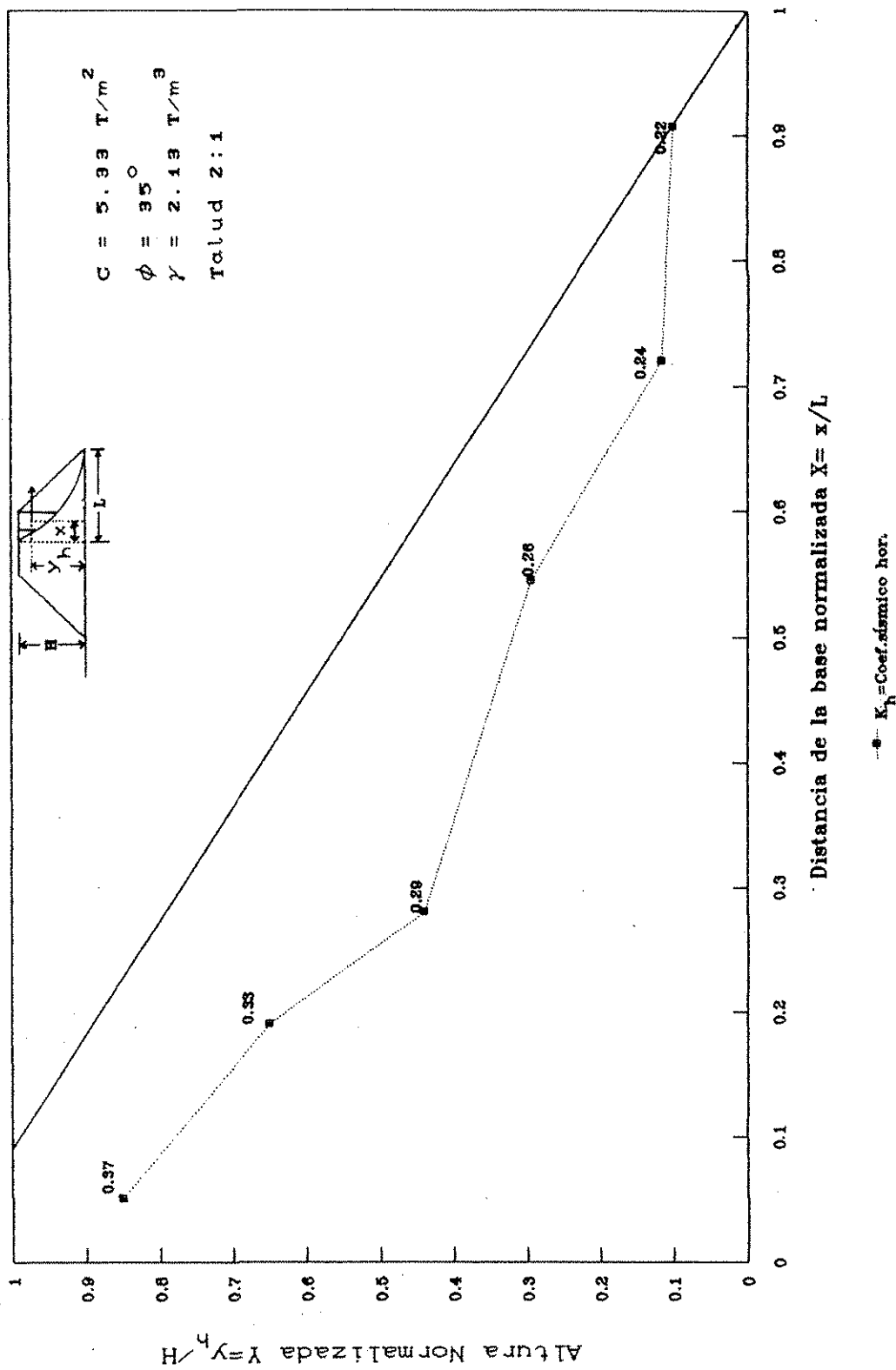


Fig. 49 Variación del coeficiente sísmico (K_h) dentro de la altura del talud. $K_0 = 0.20$

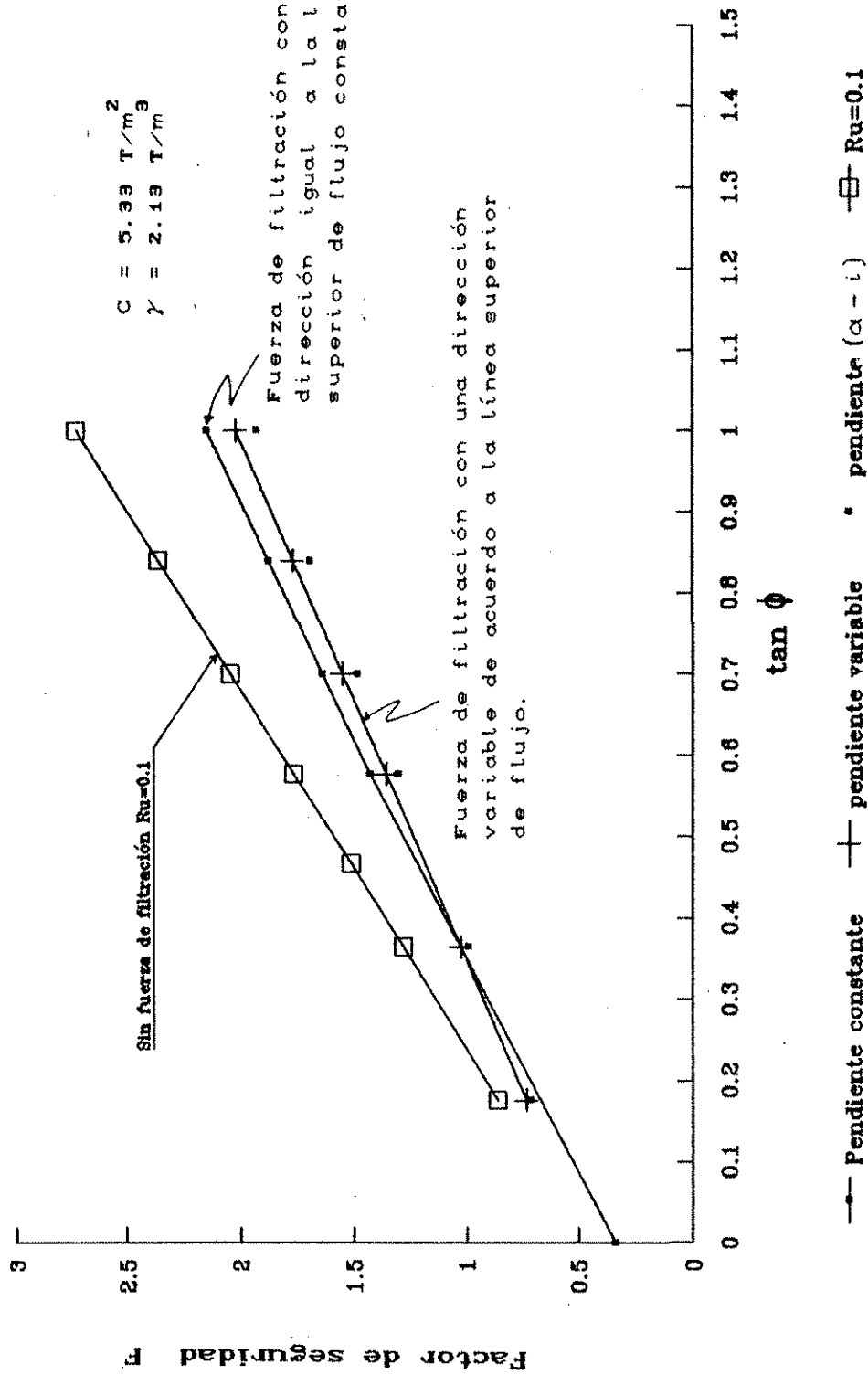
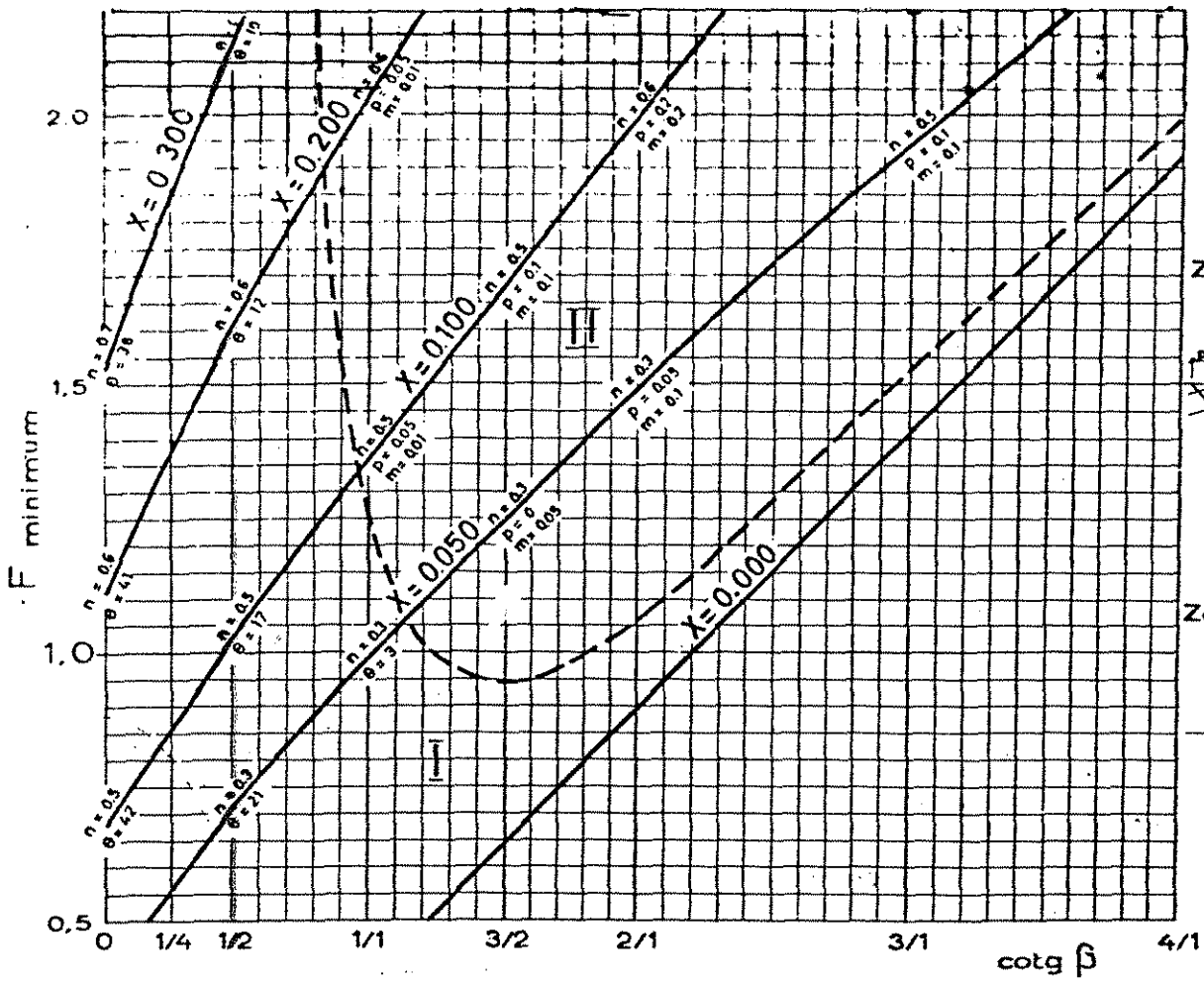


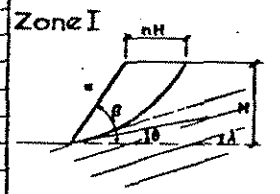
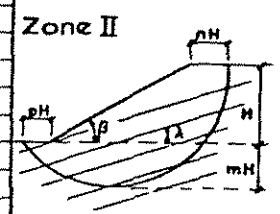
Fig. 50 Variación del factor de seguridad considerando las fuerzas de filtración (pendiente constante y variable) con el ángulo de fricción interna.



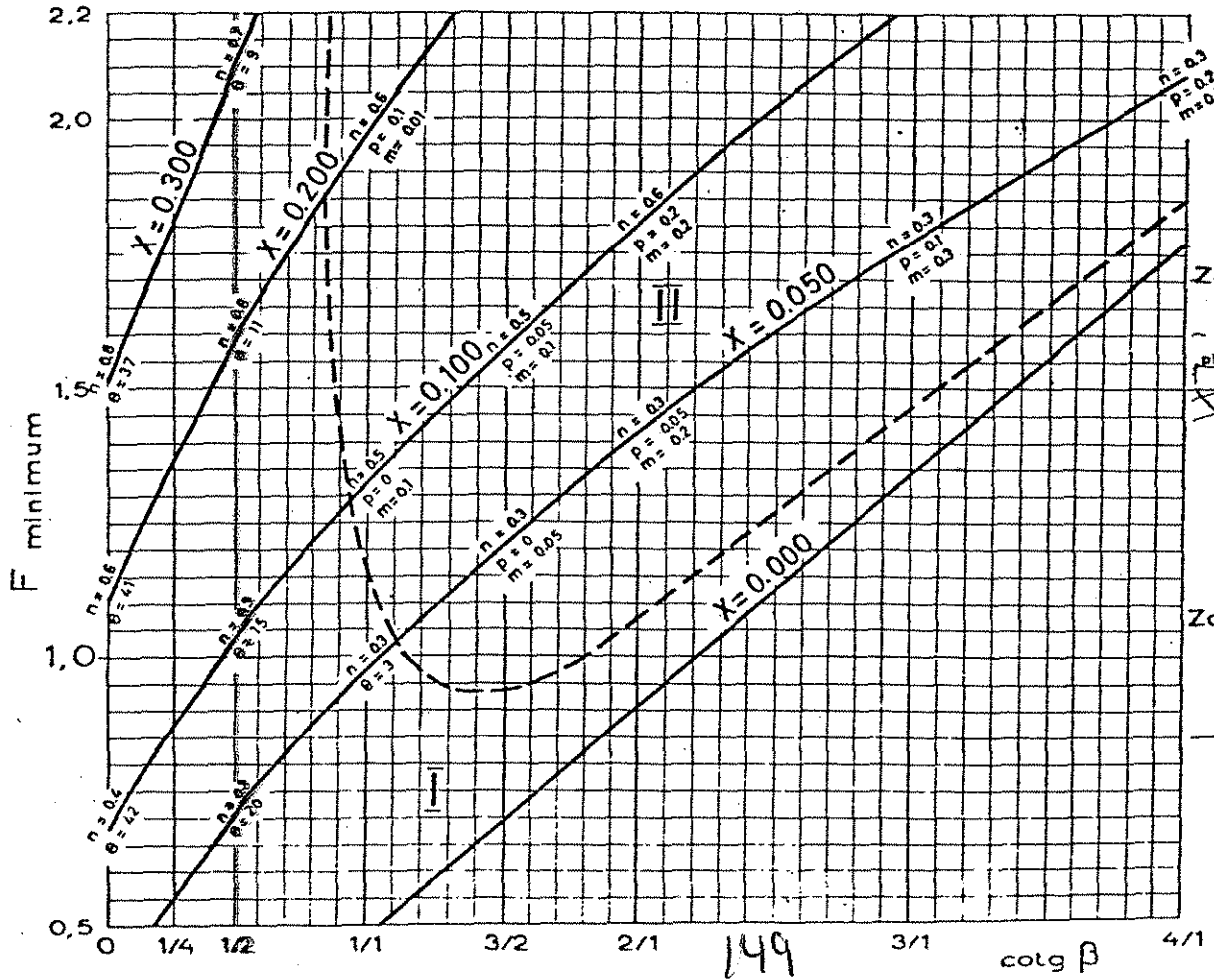
ABAQUE 16

$$\frac{\lambda}{\beta} = \frac{2}{5}$$

$$\psi = 25^\circ$$



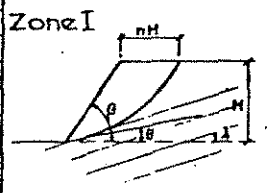
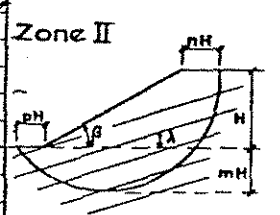
$$X = \frac{C'}{2,13H}$$



ABAQUE 17

$$\frac{\lambda}{\beta} = \frac{3}{5}$$

$$\psi = 25^\circ$$



$$X = \frac{C'}{2,13H}$$

Fig. 51 GLISSEMENTS DE TERRAINS ABAQUES (J. KERISEL 1957)

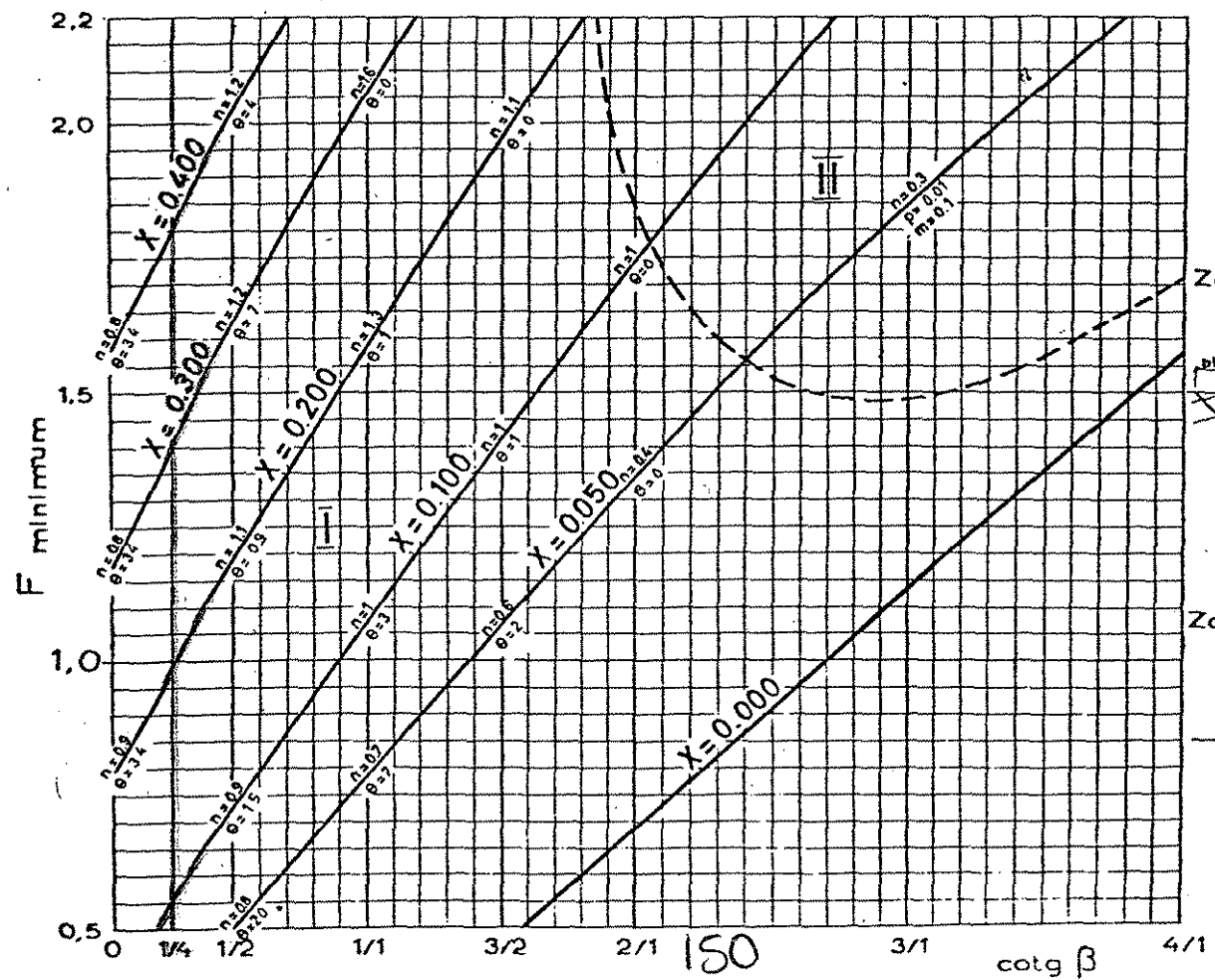
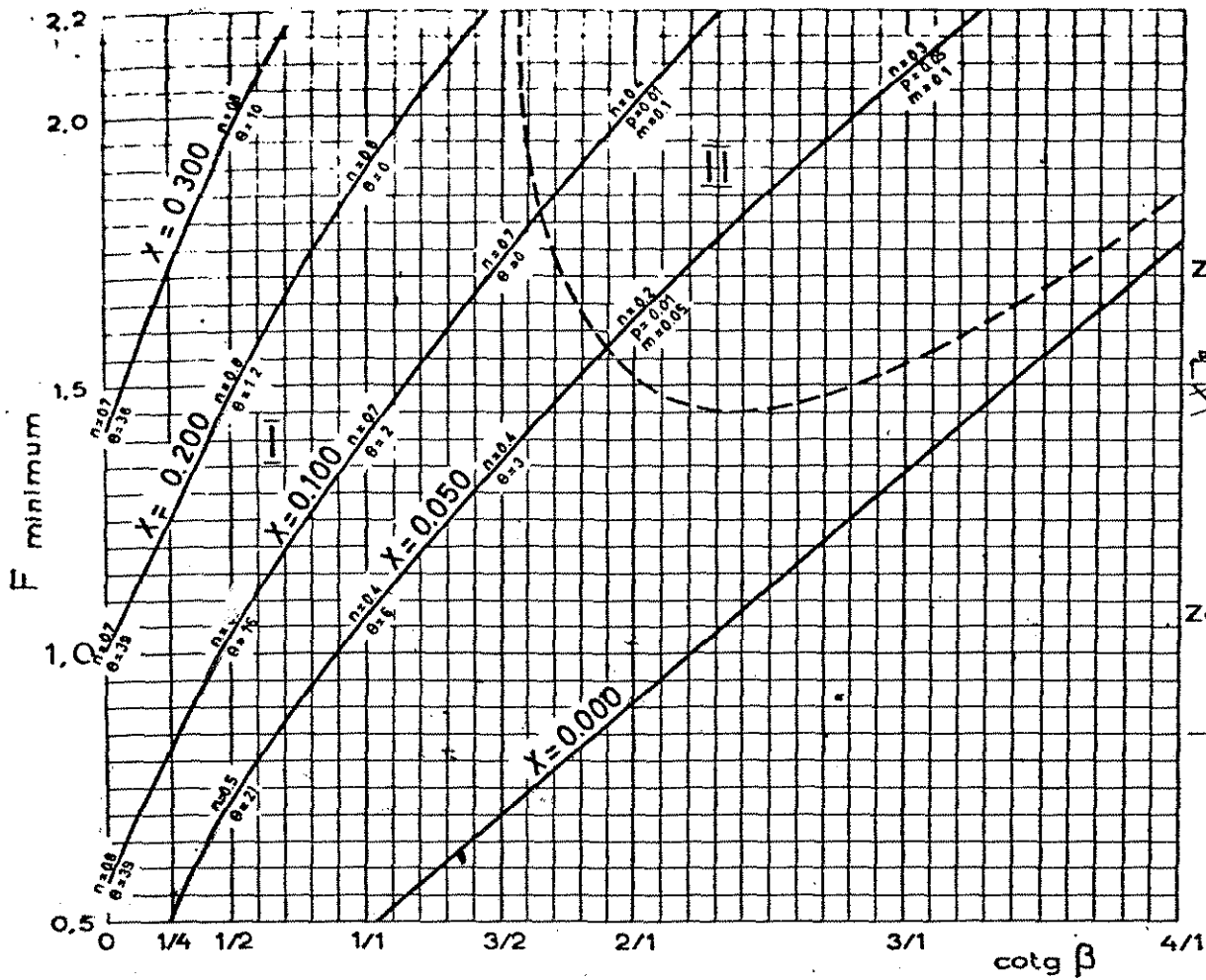


Fig. 52 GLISSEMENTS DE TERRAINS ABAQUES (J. KERISEL.)

A N E X O II

1.0 CALCULO DE LA FUERZA DE FILTRACION EN UN TALUD
PARA EL METODO BISHOP

El agua en movimiento ejerce la fuerza de filtración sobre el esqueleto del suelo por efecto de un arrastre friccional. Una expresión adecuada de una fuerza de filtración es calculada como fuerza por unidad de volumen de suelo, en la forma.

$$J = \frac{\text{Fuerza de filtración}}{\text{Volumen}} \quad (1)$$

Considerese una sección dA de una red de flujo tal como se muestra en la fig. 1 de una presa de tierra en la que se considera que el suelo está saturado. La presión que ejerce el agua sobre esta sección dA es:

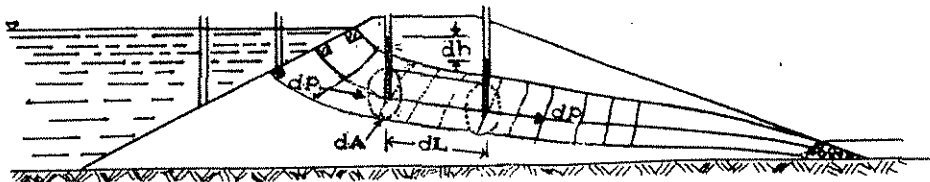


Fig. No 1 Presión de filtración

$$dp = \gamma_w dh dA \quad (2)$$

donde:

- γ_w = Peso unitario del agua.
- dh = Diferencia de alturas.
- dA = Área de la sección que se está analizando
- dL = Longitud de la muestra

La presión puede ser relacionada a una unidad de volumen :

$$\frac{dp}{dV} = \frac{dp}{dA \cdot dL} = \frac{\gamma_w dh dA}{dA \cdot dL}$$

Asignando que: $J = dp/dAdL$

se tiene que $J = \gamma_w (dh/dL)$, donde el gradiente hidráulico es $i = dh/dL$. Por tanto se obtiene:

$$J = \gamma_w i \quad (\text{en tn/m}^3, \text{ g/cm}^3, \text{ KN/cm}^3) \quad (3)$$

Nótese, que la fuerza de filtración es una fuerza de cuerpo, distribuída sobre el volumen del cuerpo de la masa del suelo con dimensiones ($\text{tn/m}^3, \text{ KN/m}^3, \text{ g/cm}^3, \text{ lb/ft}^3$), dependiendo del sistema de unidades usadas.

Si la presión de filtración actúa en un área cuadrada de sección $A = abcd$ de espesor unitario de la red de flujo, fig. 2, la fuerza de filtración obtenida FF es:

$$FF = JAC(1) = \gamma_w i AC(1) \quad (4)$$

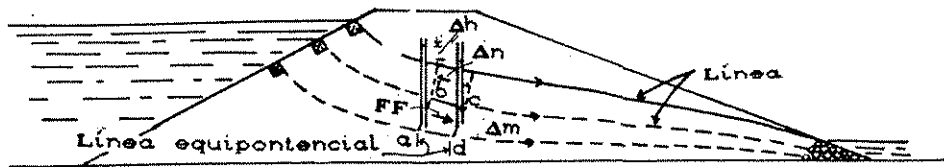


Fig. No 2 Fuerza de filtración en una red de flujo

Si $i = \Delta h / \Delta n$ y $A = \Delta n \Delta m$ se tiene:

$$FF = \gamma_v \Delta h \Delta m \quad (5)$$

donde: Δh = Diferencia de altura en un volumen [AC1])
formado por el cuadrado $A=abcd$

Δn = Dimensión del cuadrado, $A=abcd$ en la
dirección del flujo.

$\Delta h/\Delta n$ = Gradiente hidráulico por medio del
cuadrado.

Δm = Lado del cuadrado perpendicular al flujo.

1.1 UBICACION DE LA FUERZA DE FILTRACION .

La fuerza de filtración es una de las que contribuyen a causar el deslizamiento de la masa de suelo ABCD tal como se muestra en fig. 3.

La dirección de la fuerza de filtración varía de acuerdo a la inclinación de la línea superior de flujo, estará ubicada en el centro de gravedad de la zona comprendida entre la línea superior de flujo y la superficie de falla de cada dovela.

La resultante de la fuerza de filtración aplicada en el centro de gravedad (ABESA) es una magnitud igual JV , donde V es el volumen de la parte húmeda de la masa de suelo ABESA.

$$\therefore FF = JV = \gamma_v i V$$

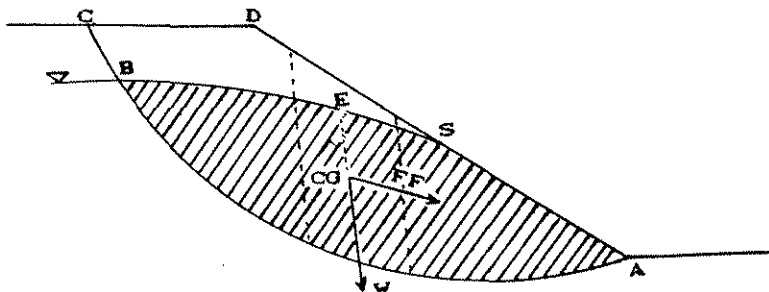


Fig No 3 Ubicación de la fuerza de filtración

1.2 OBTENCION DEL FACTOR DE SEGURIDAD

Con referencia a la fig. 4 la presión de poro en la base de la dovela y la altura de la línea superior de flujo puede realmente ser evaluada. También la dirección "i" se puede tomar como la inclinación de la línea superior de flujo actuando en el centro de gravedad de la zona comprendida entre la superficie de falla y la línea superior de flujo.

La presión de poro en la base de una dovela (flujo uniforme a través de una dovela) es.

$$u = \gamma_w h \cos^2 i \quad (6)$$

El empuje del agua en la base de una dovela es:

$$E_w = ub / \cos \alpha \quad (7)$$

Peso total de la dovela es:

$$W_T = bdy \quad (8)$$

Considerar el peso del agua como:

$$W_w = bh\gamma_w \quad (9)$$

Peso efectivo es:

$$W_E = W_T - W_w \quad (10)$$

Del equilibrio vertical de las fuerzas del agua se tiene:

$$FF \text{ sen} \alpha = W_w - E_w \cos \alpha \quad (11)$$

Sustituyendo los valores de W_w (ec. 9) y E_w (ec. 7) se tiene

que la fuerza de filtración es:

$$FF = [(\gamma_v h - u)b] / \text{sen } i \quad (12)$$

Del equilibrio de fuerzas de la fig. 4 se tiene:

$$\begin{aligned} \sum F_v &= 0 \\ P' \cos \alpha - W_E + S \text{sen } \alpha - FF \text{sen } i &= 0 \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \sum F_H &= 0 \\ S \cos \alpha - P' \text{sen } \alpha - FF \cos i &= 0 \end{aligned} \quad (14)$$

De la ec. 14 obtener :

$$S = (P' \text{sen } \alpha + FF \cos i) / \cos \alpha \quad (15)$$

Reemplazando el valor de la ec. 15 en la ec. 13 se obtiene el valor de la fuerza normal efectiva en la base de la dovela:

$$P' = W_E \cos \alpha - FF \text{sen}(\alpha - i) \quad (16)$$

Sustituyendo el valor de P' en la ec. 15 y ordenado términos se obtiene el valor de la fuerza tangencial S en la base de la dovela :

$$S = W_E \text{sen } \alpha + FF \cos(\alpha - i) \quad (17)$$

Por tanto el factor de seguridad a lo largo de la superficie de falla es expresado por:

$$F = \frac{\sum c'l + \sum \{ [W_E \cos \alpha - FF \text{sen}(\alpha - i)] \tan \phi' \}}{\sum [W_E \text{sen } \alpha + FF \cos(\alpha - i)]} \quad (18)$$

Considerando el polígono de fuerzas de la fig 4c del equilibrio de fuerzas verticales se tiene:

$$\sum F_v = 0$$

$$W_E + FF \operatorname{sen} \alpha - (ul + P') \operatorname{cos} \alpha - \frac{(c'l + P' \tan \phi')}{F} \operatorname{sen} \alpha = 0 \quad (19)$$

Agrupando términos se determina P' de la ec. 19:

$$P' = \frac{W_E + FF \operatorname{sen} \alpha - ul \operatorname{cos} \alpha - (c'l/F) \operatorname{sen} \alpha}{\operatorname{cos} \alpha + \frac{\tan \phi' \operatorname{sen} \alpha}{F}} \quad (20)$$

$$m_\alpha = \operatorname{cos} \alpha (1 + \tan \alpha \tan \phi' / F)$$

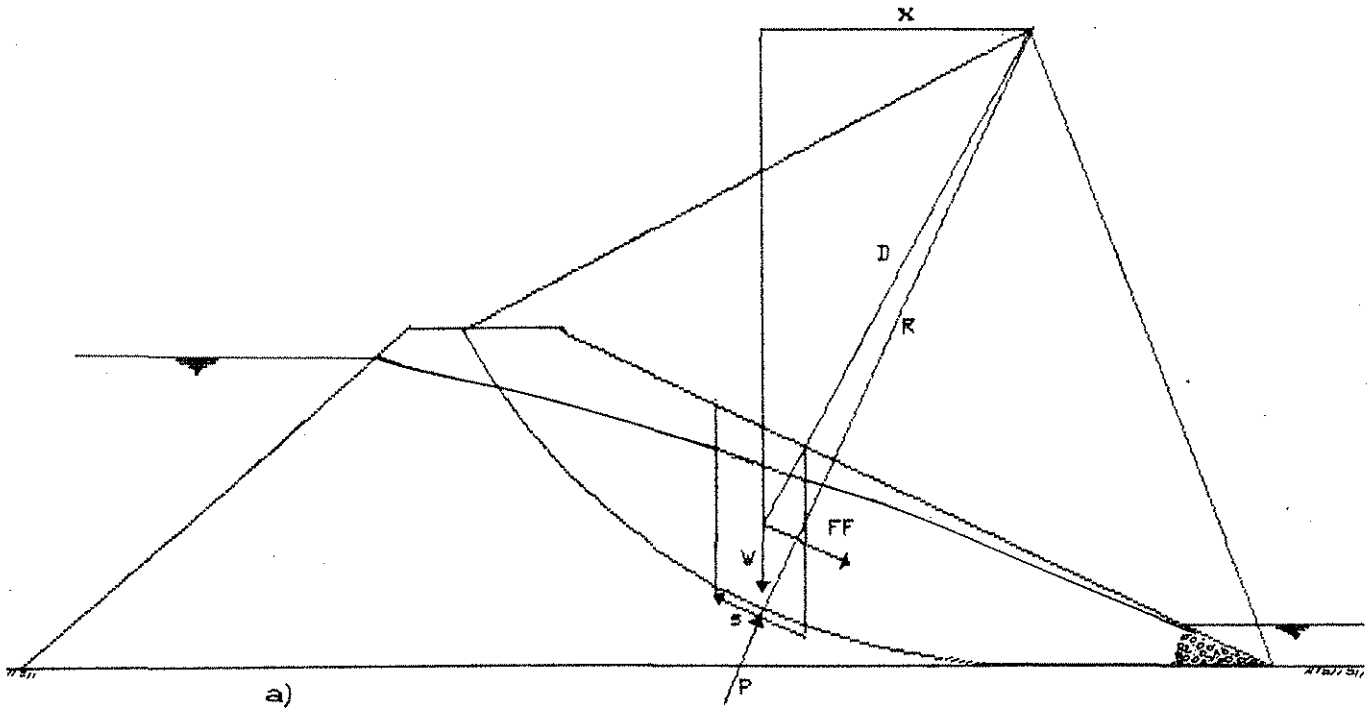
Considerando momentos respecto al punto O de la figura 4a se tiene:

$$(W_E)_x + FFD = \sum SR = R \sum sl \quad (21)$$

Como $x = R \operatorname{sen} \alpha$ y $s = (c' + \sigma \tan \phi') / F$. Sustituyendo estos valores en la ec. 21 y ordenando términos se obtiene la expresión del factor de seguridad:

$$F = \frac{\sum [(c' - u \tan \phi') b + W_E \tan \phi' + FF \operatorname{sen} \alpha \tan \phi'] \frac{1}{m_\alpha}}{\sum (W_E \operatorname{sen} \alpha + FF(D/R))} \quad (22)$$

Estas formas de ecuaciones (18, 22) están programadas para calcular la estabilidad de un talud en términos de un factor de seguridad, con la participación de la fuerza de filtración.



Línea superior flujo.

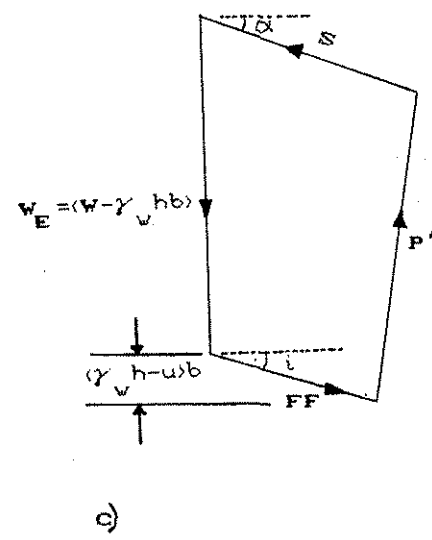
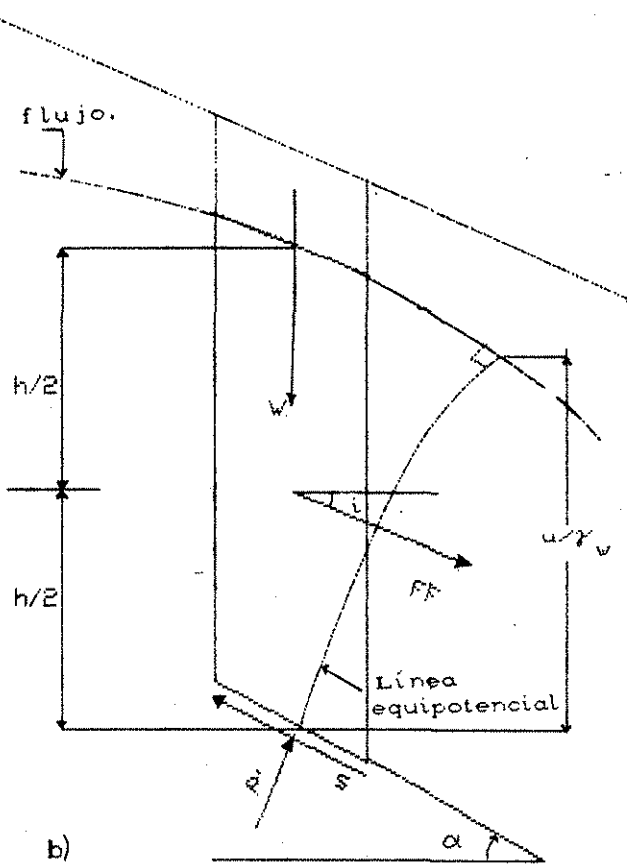


Fig. 4 a) Fuerza de filtración en el análisis de estabilidad de taludes, b) flujo no uniforme a través de una dovela c) polígono de fuerzas.