



# Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIVISION DE INGENIERIA CIVIL, TOPOGRAFICA Y GEODESICA

263  
142

## Estabilidad de Taludes en Vías Terrestres

Trabajo escrito elaborado en opción de Tesis  
para obtener el Título de:

INGENIERO CIVIL

por:

Abdala Muhech Jallath



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.

# C O N T E N I D O

- Introducción
  
- Capítulo I.- Tipos de deslizamientos, sus principales características y su configuración
  - I.1.- Deslizamientos de tipo básico:
    - I.1.1.- Caídas
    - I.1.2.- Deslizamientos rotacionales
    - I.1.3.- Deslizamientos traslacionales
    - I.1.4.- Deslizamientos compuestos
    - I.1.5.- Fluencias
  
  - I.2.- Deslizamientos múltiples:
    - I.2.1.- Deslizamientos regresivos
  
  - I.3.- Deslizamientos superficiales
    - I.3.1.- Crepp

- Capítulo II. - Trabajos de campo y laboratorio:

II.1.- Investigaciones geológicas de campo

II.1.1.- Estudios geofísicos de campo

II.1.2.- Sondeos

II.1.3.- Excavaciones de exploración, trincheras, socavones de exploración y sondeos de gran diámetro

II.2.- Presentación de la información:

II.2.1.- Secciones transversales

II.2.2.- Registros de sondeos individuales

II.2.3.- Excavaciones de exploración, trincheras, socavones de prueba y sondeos de gran diámetro

II.2.4.- Niveles freáticos

II.2.5.- Información sobre ensayos de laboratorio

- Capítulo III.- Consideraciones técnicas:

III.1.- Taludes en arena seca sincohesión

III.2.- Taludes en suelos cohesivos homogéneos

III.3.- Cálculo de la resistencia al corte, -  
partiendo de los datos que se obtie  
nen de deslizamientos ocurridos

III.4.- Procedimiento para determinar la  
estabilidad de taludes

III.4.1.- Taludes en suelos con  
cohesión y fricción in-  
terna.

III.4.2.- Taludes en arcillas blan  
das.

III.4.3.- Taludes irregulares en  
suelos no uniformes

III.4.4.- Superficies de desliza-  
miento compuestas

- Capítulo IV.- Soluciones prácticas:

IV.1.- Método de elusión

- IV.2.- Tender taludes
- IV.3.- Empleo de bermas laterales y frontales
- IV.4.- Escalonamiento de taludes
- IV.5.- Empleo de estructuras de retención
- IV.6.- Empleo de vegetación
- IV.7.- Remover y desechar el suelo del lugar y sustituirlo por un soporte de características adecuadas
- IV.8.- Alteración o cambio de las propiedades del material existente
  - IV.8.1.- Estabilidad volumétrica
  - IV.8.2.- Resistencia mecánica
  - IV.8.3.- Permeabilidad

- Conclusiones

## INTRODUCCION

Todo desarrollo debe estar apoyado en ciertas bases, siendo éstas de distinta magnitud acorde con las características del desarrollo mismo. Enfocando lo anterior al estado económico y social de un país, puede decirse que las vías terrestres de comunicación son un índice y un basamento de su desarrollo.

En la realización de las vías de desarrollo influyen varios factores, entre otros los que se describen:

- Factor Económico
- Factor Social
- Factor Constructivo

El presente trabajo está enfocado principalmente al aspecto constructivo y de manera especial a la estabilización de las laderas - y taludes que se localicen dentro de la obra.

Se llama talud a toda superficie inclinada respecto a la horizontal que haya de adoptar permanentemente una masa de suelo, esta inclinación puede llevarse a cabo mediante dos procesos:

- a) Si la inclinación es producto de un proceso natural, se denomina talud natural o simplemente ladera.
- b) Si la inclinación es producto de la acción del hombre, se denomina talud artificial o simplemente talud.

Se dice que un talud se establece cuando no existe en él ningún cambio de posición vertical u horizontal, incluyendo en algunos casos las estructuras existentes sobre éste. Dichos cambios de posición son provocados por una serie de acciones que actúan en la vertiente.

La fuerza activa más común que tiende a destruir una vertiente es la gravedad, el peso del material de la vertiente y el de las cargas superimpuestas. Al aumentar este peso disminuye la estabilidad de la vertiente. La fuerza resistente más común, resistencia del material al esfuerzo cortante, puede disminuir debido a un exceso de humedad. El exceso de agua libre puede transformar el material en una suspensión casi o totalmente desprovista de resistencia al esfuerzo cortante. La mayoría de los deslizamientos aparecen durante las tormentas de agua o la estación lluviosa o poco después; se han registrado como ra-

ras excepciones algunos deslizamientos secos. Sin embargo deberá notarse que la resistencia al esfuerzo cortante de un material de roca o de suelo puede disminuir también por cambios químicos.

El aumento de la gravedad y la disminución de la resistencia al esfuerzo cortante, actuando juntos o por separado, generalmente constituyen la causa del deslizamiento. Además de estos dos componentes comunes, existen uno o varios hechos o concurrencias de hechos que facilitan la aparición de un deslizamiento. Estos se llaman factores contribuyentes.

El peso de la vertiente puede aumentar por saturación durante la estación lluviosa. Este aumento es relativamente pequeño en comparación con las cargas pesadas que a veces se aplican en el extremo superior de la vertiente, almacenando materiales pesados o por el peso de vehículos.

Hablando en general, las excavaciones cerca del pie de la vertiente actúan lo mismo que si se cargara la vertiente. El quitar soporte lateral, particularmente en la excavación del pie de la vertiente para el emplazamiento de una vía terrestre, es una de las

causas más comunes de deslizamiento. En este caso se disminuye la presión normal sobre la superficie potencial de deslizamiento y se aumentan las fuerzas de tensión y de cisallamiento (esfuerzos cortantes) en el cuerpo rocoso o de tierra sin soporte.

Se comprenderá que cualquiera de las causas aquí discutidas - puede dar lugar a deslizamientos rotacionales o a deslizamientos traslacionales. Ocurrirá un deslizamiento rotacional si el material es homogéneo o casi homogéneo; si el material tiene tendencia a deslizarse a lo largo de un plano o de alguna otra superficie definida, ocurrirá probablemente un deslizamiento traslacional.

Todas las fallas pueden dividirse en dos grandes grupos:

- Profundas
- Superficiales

Esta clasificación se hace según la profundidad de las excavaciones producidas. Aunque no existe un criterio numérico de dicha subdivisión, los deslizamientos pertenecen casi siempre a la clase profunda, mientras los desprendimientos de losas -

son por lo general relativamente superficiales.

## CAPITULO I.

### TIPOS DE DESLIZAMIENTO, SUS PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS Y SU CONFIGURACION.

Un deslizamiento o falla de un talud o ladera natural es algunas veces simplemente una deformación plástica lenta, pero en otras ocasiones es catastrófica con poca o ninguna advertencia.

Como es general en la naturaleza, el lugar de falla toma siempre la trayectoria de menor resistencia y así los planos de falla tienden a seguir las zonas de debilidad a través de la masa.

Teniendo en cuenta la amplia gama de factores que influyen en un deslizamiento o movimiento de masas, es poco probable que exista una rigurosa clasificación. Pero puede reconocerse la siguiente subdivisión:

- Deslizamientos de tipo básico.
- Deslizamientos múltiples.
- Deslizamientos superficiales.

Al clasificar los diversos tipos de deslizamientos, se ha dado -

mayor importancia a la forma de la masa en movimiento en el momento de la falla.

Tipos de falla de las distintas subdivisiones:

I.1. Deslizamientos de tipo básico:

I.1.1 Caídos

I.1.2 Deslizamientos rotacionales

I.1.3 Deslizamientos Traslacionales

I.1.4 Deslizamientos compuestos

I.1.5 Fluencias

I.2. Deslizamientos múltiples:

I.2.1 Deslizamientos regresivos

I.3. Deslizamientos superficiales:

I.3.1 Creep

I.1. Deslizamientos de tipo Básico:

I.1.1 Caídos.

- a) Caídos en roca: Se pueden definir como fragmentos rocosos de varios tamaños caídos libremente, desprendidos de una vertiente y, se diferencian de un deslizamiento de roca -

en que los caídos no tienen una superficie de deslizamiento.

El desprendimiento puede combinarse con el rodamiento y salto de los fragmentos, que en este proceso se pueden romper en partes más pequeñas. Los fragmentos rocosos pueden quedarse al pie del talud, formando depósitos de talud, o pueden caer más abajo por la gravedad. Las principales causas que propician los caídos son: la naturaleza de la roca y el grado y carácter de sus fisuras.

- b) Caídos en arcillas: Se les llama así a los derrumbes de dimensiones volumétricas pequeñas, al igual que en el caso de rocas, no se puede hablar de una superficie de falla y el desprendimiento puede estar predeterminado por las discontinuidades o fisuras preexistentes. Por lo regular, el mecanismo de falla puede ser favorecido por los cortes realizados en una vía terrestre, el cual propicia que --

las grietas y fisuras se abran por la falta de confinamiento lateral, lo que facilita el aflojamiento de los fragmentos y aumenta la presión hidrostática.

Los caídos están siempre asociados a cantiles o cortes escarpados y con mucha frecuencia a arcillas fuertemente sobreconsolidadas.

#### 1.1.2 Deslizamientos rotacionales:

- Este tipo de inestabilidad se caracteriza por ser instantáneo y afecta a masas profundas del suelo que compone el talud. El movimiento se lleva a cabo a lo largo de una superficie de falla curva en el interior de la masa del talud, afectando o no al terreno de cimentación. (Fig. 1).

Se considera que la superficie de falla se forma cuando en esa zona actúan esfuerzos cortantes que sobrepasan la resistencia del material, siendo esta última la máxima que resiste el suelo. Puede decirse que en el interior

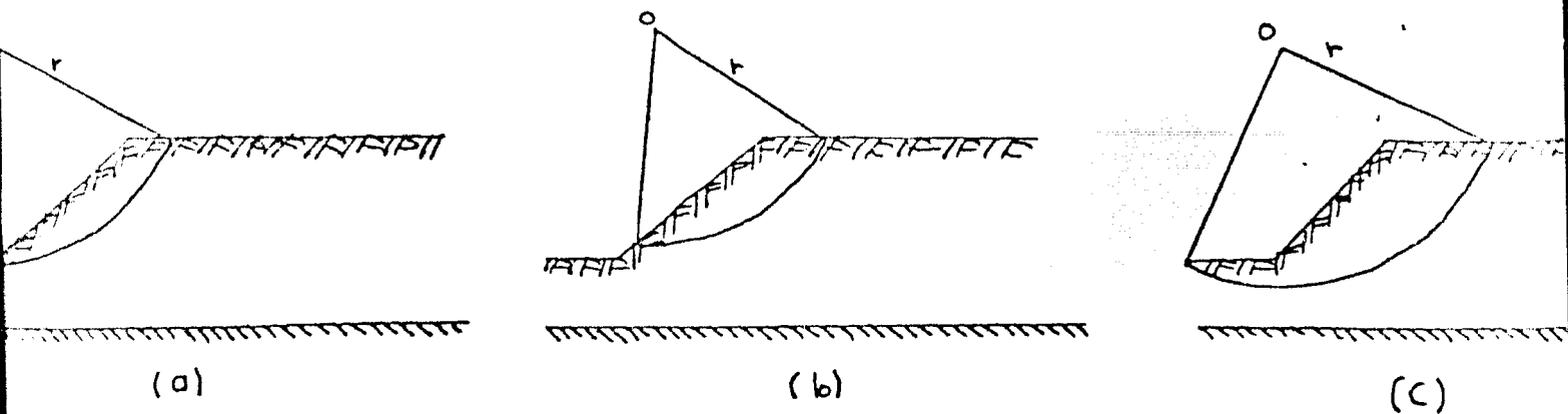


Fig. 1.- Tres casos teóricos de rotura de talud: a) rotura por el pie del talud, b) rotura por el cuerpo del talud, c) rotura por la base del talud.

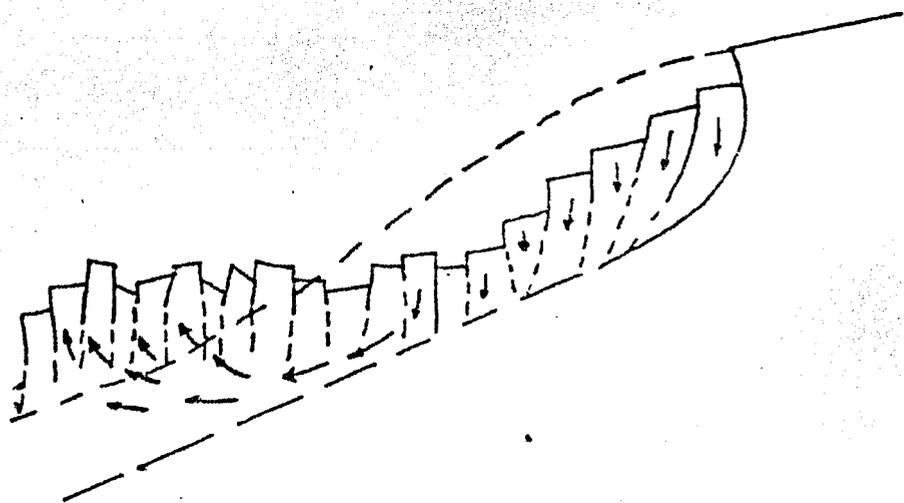


Fig. 2.- La figura muestra una falla rotacional en un material casi homogéneo, el cual en su parte inferior muestra una arruga.

del talud existe un estado de esfuerzos cortantes que vence en forma más o menos rápida - la resistencia al esfuerzo cortante del suelo; - a consecuencia de ello sobreviene la ruptura del mismo con la formación de una superficie de deslizamiento a lo largo de la cual se produce la falla.

Puede afirmarse que aún los deslizamientos más rápidos de tierra van siempre precedidos de movimientos, agrietamientos y en general, de señales de que la relación esfuerzo-resistencia está evolucionando desfavorablemente en el interior del talud. En este sentido es típica la formación de grietas en la corona del talud.

Como cualquier otro deslizamiento, el rotacional sobreviene primero por pequeñas sacudidas y luego gradualmente, destruyendo la unión a lo largo de la superficie de deslizamiento hasta que la masa separada cae.

Las fallas de tipo rotacional pueden producirse en materiales homogéneos a lo largo de superficies de falla identificables con superficies cilíndricas o concoidales cuya traza con el plano del papel sea un arco de circunferencia o puedan adoptar formas algo diferentes, como el caso de los taludes formados por materiales "casi homogéneos", tales como arcillas con grava pequeña abundante o materiales fisurados o con juntas.

Si la resistencia al esfuerzo cortante del material del suelo es menor en dirección horizontal que en la vertical, el arco circular tiende a achatarse, por el contrario, también se han observado casos de achatamiento horizontal -- del arco circular.

La figura 2 muestra una falla rotacional en un material casi homogéneo, el cual en su parte inferior muestra una arruga.

Las arcillas fisuradas y agrietadas vertical---

mente son muy sensibles a la presencia del agua en sus fisuras. Pueden ocurrir fallas en cortes hechos de material similar cubierto en la naturaleza por una capa arcillosa impermeable si la última se elimina en la construcción. El material expuesto se hunde fácilmente después de la primera lluvia caída -- una vez acabada la construcción. De esta forma aparece un deslizamiento muy similar al mostrado, La causa inmediata de dicho deslizamiento es el agua de lluvia, la cual, llenando las fisuras reblandece la base de los trozos mostrados y erosiona el material de cimentación; la causa real es el haber quitado la cubierta protectora si el material del suelo está estratificado y la resistencia al esfuerzo cortante de los estratos individuales es aproximadamente la misma, la superficie de deslizamiento será una curva ligeramente quebrada, que sin error considerable se puede estimar próxima a un arco de círculo.

### 1.1.3 Deslizamientos traslacionales:

- Este tipo de deslizamientos ocurren a lo largo de superficies débiles asimilables a un plano - en el cuerpo del talud o en su terreno de cimentación. Estos planos débiles suelen ser horizontales o muy poco inclinados respecto a la horizontal y están asociados a la presencia de estratos poco resistentes localizados a poca profundidad bajo el talud.

La superficie de falla se desarrolla en forma paralela al estrato débil, estando formado éste por lo común de arcillas blandas, arenas finas o limos no plásticos sueltos. Con mucha frecuencia la debilidad del estrato está ligada a elevadas presiones de poro en el agua contenida en las arcillas o a fenómenos de elevación de presión de agua en estratos de arena (acuíferos). En este sentido las fallas pueden estar ligadas también al calendario de la temporada de lluvias en la región.

Se pueden distinguir claramente dos tipos de deslizamiento:

- a) Deslizamiento de losas en materiales de tierra, y
- b) Deslizamiento de losas en rocas estratificadas.

Deslizamiento de losas en materiales de tierra. - Los depósitos de suelo localizados en el lecho de la roca, a menudo son arcillas impermeables con una capa superior de 1 a 3 metros de material más permeable, a veces desgastado por el tiempo. En estos estratos superiores aparecen numerosos deslizamientos, siendo clasificados algunas veces como arrastramientos o influencias del manto del suelo. En realidad la mayoría de estos desplazamientos son deslizamientos de losa, es decir, rápidas traslaciones de partes de la capa superior del suelo. Desde luego, dichos deslizamientos-

de losa someros pueden ocurrir en cualquier vertiente en la que algunos pies de la parte superior sean estructuralmente diferentes de los materiales subyacentes. La figura 3 muestra una sección típica de un deslizamiento de losa.

La superficie de deslizamiento empieza con un arco aproximadamente circular o cualquier otra superficie curva en la cima del deslizamiento y continúa a lo largo del plano B-C si la resistencia de la unión a lo largo de este plano es débil.

Es muy común que la losa así separada se mueva de tal forma que el arco A-B tome gradualmente la posición A'B'. Si en cualquier punto C se impide el movimiento, por ejemplo por la presencia de un material fuertemente resistente, C-D, el material excavado forma una arruga.

Por el contrario, si en el punto C la superficie del suelo cede el área de deposi

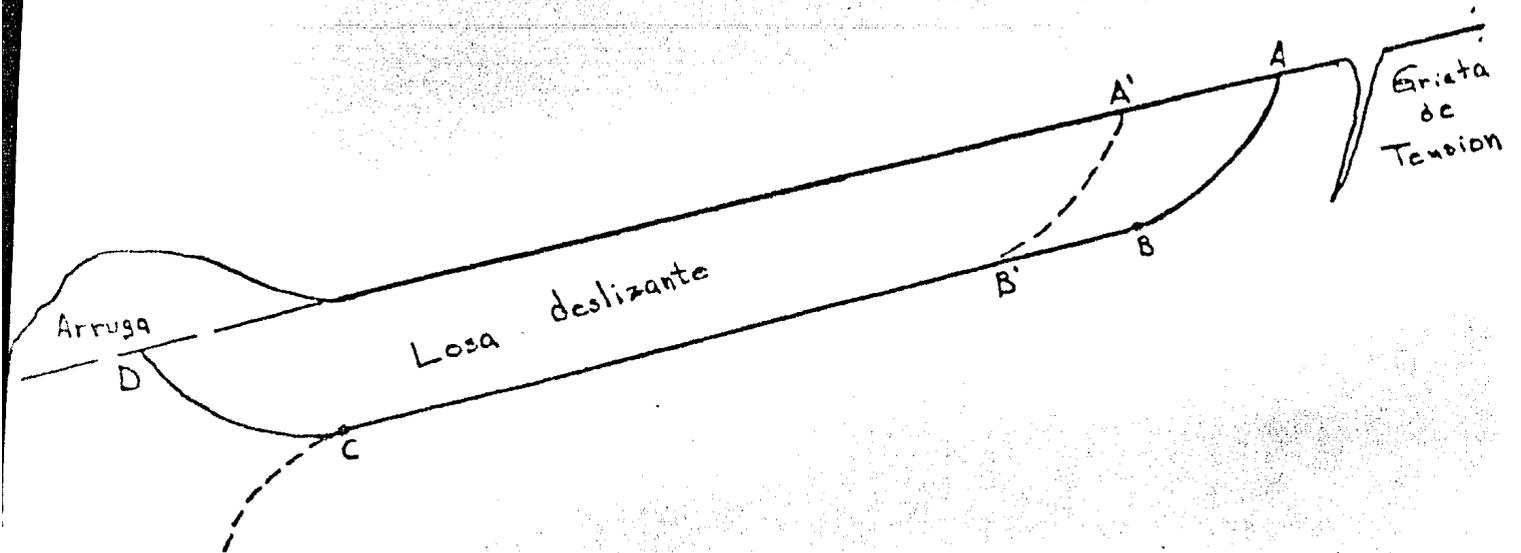


Fig. 3.- La figura muestra una sección típica de deslizamiento de losa.

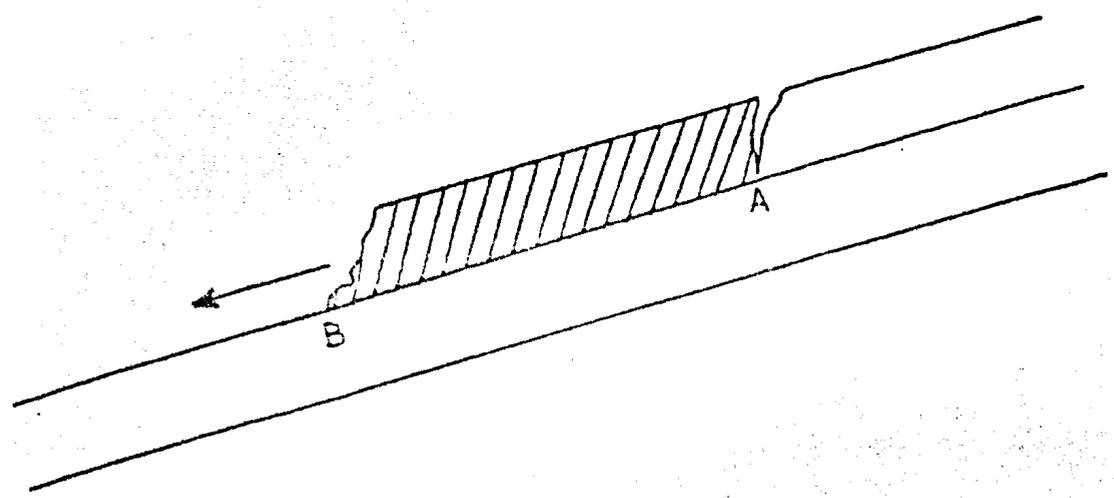


Fig. 4.- En la figura se puede observar una grieta de tensión antigua en el estrato superior y la parte del estrato que tiende a deslizarse a lo largo de la superficie de deslizamiento AB.

ción, dependerá esencialmente de la topografía local.

Deslizamiento de losas en roca estratificada.- Los deslizamientos de material en roca se deben esencialmente a las características físicas y de resistencia del macizo rocoso, estas características son: el diaclasado, las grietas existentes y, en rocas sedimentarias, la ligazón y el tipo de material de las distintas capas y las estructuras heredadas, como ejemplo podemos ver el caso ilustrado en la figura 4.

En esta figura se puede observar una grieta de tensión antigua en el estrato superior y la parte del estrato que tiende a deslizarse a lo largo de la superficie de deslizamiento AB (parte rayada de la figura 4) está retenida por la ligazón a lo largo de esa superficie. En este caso la unión se debe a la resistencia al esfuerzo cortante del material de cimentación en

la superficie de deslizamiento AB, y la adherencia de este material a la roca.

Cuando el material de cimentación se va debilitando gradualmente por las lluvias, una tormenta fuerte de agua puede producir el deslizamiento si la sola fricción no es bastante para retener la masa rocosa en equilibrio. En tal caso, la causa inmediata del deslizamiento es la última tormenta de agua, y la causa real es la destrucción gradual del material de cimentación. Cuando se estudia la estabilidad de los macizos rocosos como el caso de la figura 4, debe concederse especial atención a las propiedades y condiciones del material de cimentación.

#### 1.1.4 Deslizamientos compuestos:

- Las superficies de falla compuestas abarcan movimientos en que se combina la rotación y la traslación, dando lugar a zonas planas -

y tramos curvos, asimilables a arcos circulares. En general, estas superficies están determinadas por la presencia de heterogeneidades dentro del talud. El predominio de las partes circulares o planas es el que sirve para clasificar la falla como rotacional o traslacional, quedando la categoría de falla compuesta para los casos en que ambas curvas se reparten más o menos por igual.

En general, cuanto menor sea la profundidad a que la heterogeneidad aparezca (fallas, juntas, estrato débil, etc.), mayor será la componente traslacional en la falla.

Las fallas compuestas pueden producir distorsión de los materiales al iniciarse los movimientos del deslizamiento.

La Fig. 5 muestra un típico deslizamiento compuesto.

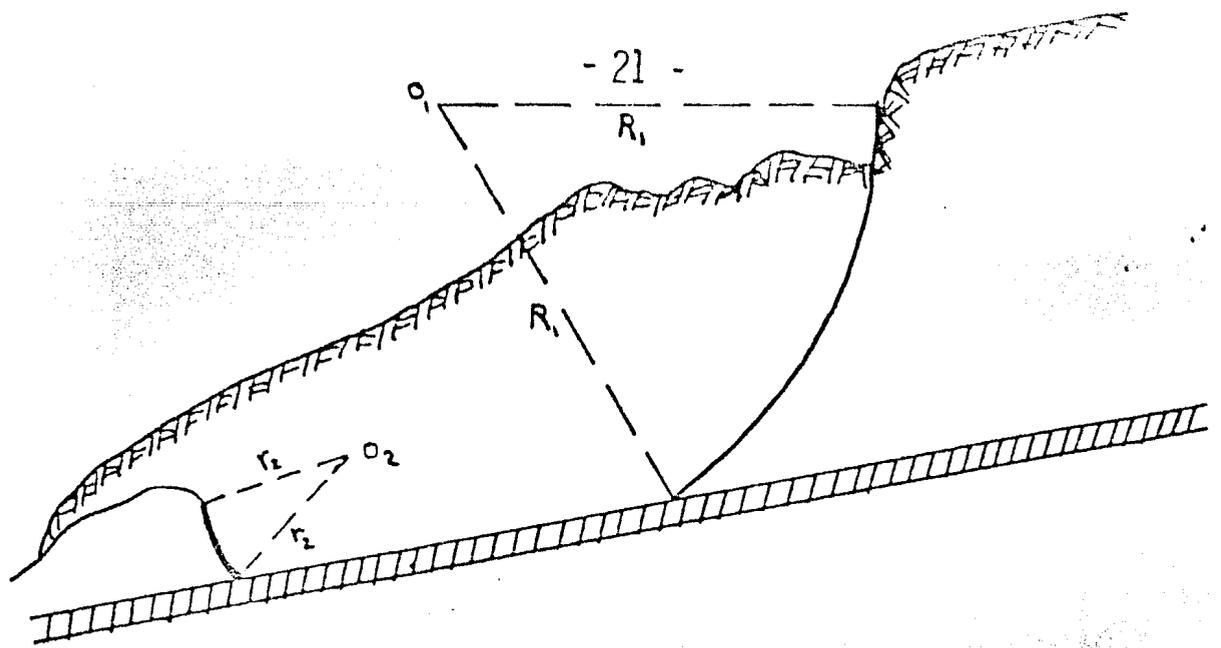


Fig. 5.- La figura muestra un típico deslizamiento compuesto.

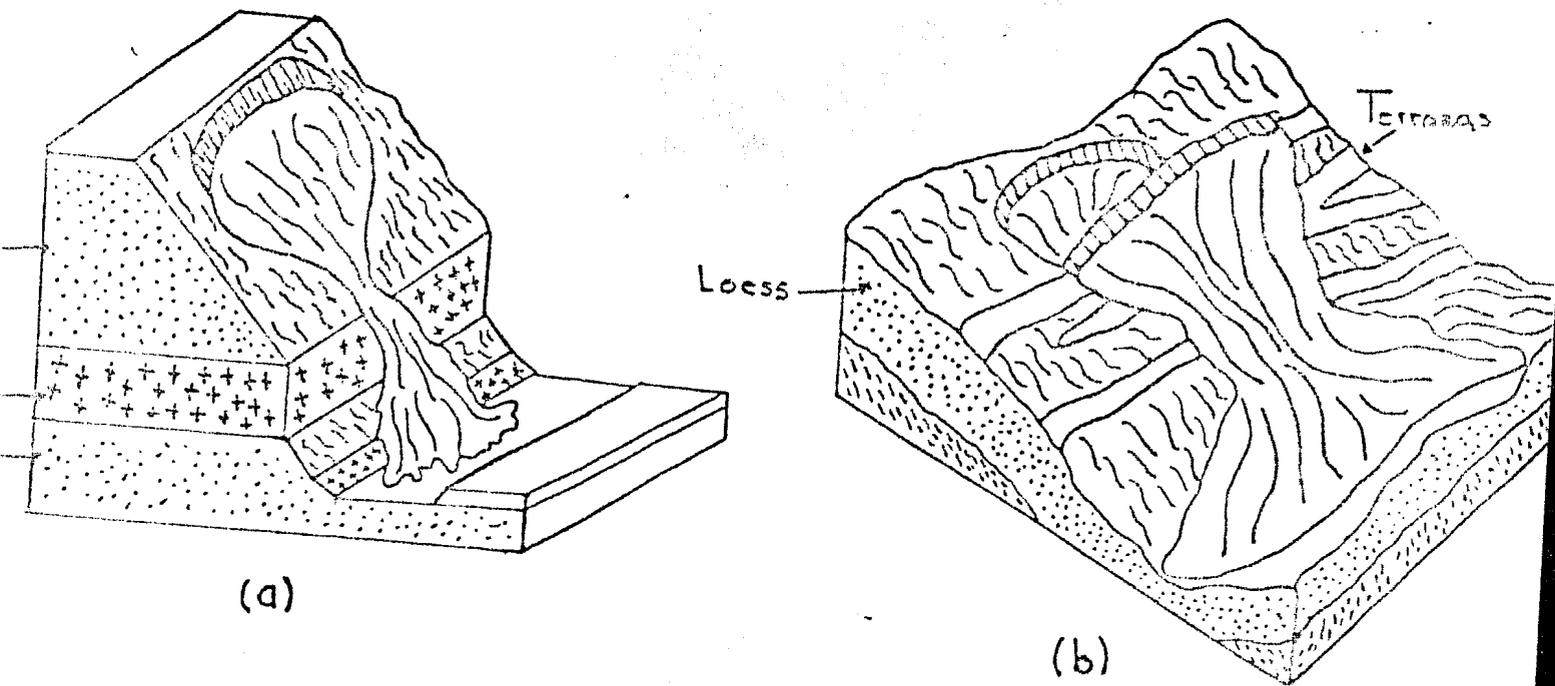


Fig. 6.- La figura muestra algunos flujos en material relativamente seco: a) flujo de arena (rápido a muy rápido), b) flujo de loess (causado por sismo, muy rápido).

### I.1.5 Fluencias:

- Se refiere este tipo de fallas a movimientos - más o menos rápidos de una parte de la ladera natural, de tal manera que el movimiento en sí y la distribución aparente de velocidades y desplazamientos recuerda el comportamiento de un líquido viscoso.

La superficie de deslizamiento, o no es distinguible, o se desarrolla durante un lapso relativamente breve; es también frecuente que la zona de contacto entre la parte móvil y las masas fijas de la ladera sea una zona de flujo - plástico.

El material susceptible de fluir puede ser cualquier formación no consolidada y, así el fenómeno puede presentarse en fragmentos de roca, depósitos de talud, suelos granulares finos o arcillas francas; son frecuentes los flujos en lodos.

Una masa de suelo o de roca puede ---  
fluir como un líquido si tiene cierto grado de -  
fluidez. Una masa de tierra sólida se puede -  
convertir en fluida por las siguientes causas:

- Por simple adición de agua
- A causa de un golpe o una serie de golpes.
- Causada por remodelamiento.

Los agentes que convierten una masa de tierra  
sólida en un fluido pueden actuar separadamente  
o en combinación.

Flujo de materiales relativamente secos:

En este grupo quedan comprendidos, en primer  
lugar, los flujos de fragmentos de roca, desde  
los muy rápidos (avalanchas) hasta los que --  
ocurren lentamente. Estos movimientos pue-  
den explicarse en términos de la falla plástica  
de los contactos profundos entre los fragmen-  
tos de roca y, consecuentemente, afectan siempre

pre a grandes masas de fragmentos y suelen ser de catastróficas consecuencias. Es probable que en todos los casos el verdadero flujo de los fragmentos se origine a partir de un deslizamiento convencional en la roca o de un gran desplome de rocas, provenientes de formaciones más sanas ladera arriba del lugar en donde existen grandes depósitos de fragmentos; en todo caso, para que se llegue a un verdadero flujo de fragmentos de roca, será preciso que éstos existan en depósitos de gran espesor y volumen muy considerable.

En segundo lugar, los flujos en suelos relativamente secos han ocurrido en loess asociados muchas veces a temblores. En este caso, aparentemente el efecto del temblor fue causar una muy rápida destrucción de la estructura del material, produciendo una verdadera licuación, pero con el aire jugando el papel que en estos fenómenos por lo común corresponde al agua.

Fenómenos similares se han registrado en arenas secas. La fig. 6 muestra estos tipos de falla.

#### Flujo en materiales húmedos:

Este tipo de flujos requieren una proporción apreciable de agua contenida en el suelo, la cual desempeña un papel en la génesis y naturaleza de la falla; existe amplia graduación en la cantidad de agua que puedan contener los materiales, así como en el papel que ésta llega a tener en el desarrollo de la falla.

Los flujos de materiales húmedos se denominan flujos de lodo cuando en muy elevado el contenido de agua de los materiales, por lo menos en la zona de fluencia, pero naturalmente no hay una distinción entre los flujos de tierra y los flujos de lodo. A veces se habla también de flujo de detritus; cuando el material que fluye contiene porcentajes apreciables del orden de un 50% por lo menos de gravas, boleos o fragmen--

tos de roca, embebidas en la matriz del suelo más fino, tal como es común que suceda en los depósitos de talud o en muchas laderas de suelo residual.

Los flujos de tierra (en materiales térreos -- no demasiado húmedos) se desarrollan típicamente en el pie de los deslizamientos de tipo rotacional, en el cuerpo del talud que se describen más adelante y, a veces ocurren de forma extraordinariamente rápida, como movimiento secundario del deslizamiento que -- tuvo lugar primeramente. Estos tipos de flujo de tierra por lo común retienen mucha de la vegetación original, así como la estratigrafía y aspecto general de la formación en la que -- ocurrió el deslizamiento primario.

En otras ocasiones los flujos de tierra ocurren con independencia de cualquier otro deslizamiento anterior. En tal caso son movimientos, cuya velocidad puede variar entre límites muy

amplios y que se refieren sobre todo a materiales plásticos húmedos o a suelos friccionantes muy finos, por lo general la falla sigue a aumentos significativos en el contenido de agua de los materiales y al desarrollo de presiones importantes en esa agua. En el caso de suelos plásticos, el flujo puede continuar en forma lenta durante largo tiempo. En arcillas muy sensibles se han registrado flujos a contenido de agua constante, por disminución de la resistencia al esfuerzo cortante debida a la degradación estructural por deformaciones tangenciales.

Los flujos de tierra en suelos granulares finos son típicos de formaciones costeras y se asocian generalmente a la erosión marina y a fluctuaciones repetidas de la presión de poro debida a la ascensión y al descenso del nivel del agua con las mareas se origina con procesos análogos a la licuación.

En los flujos de lodo, el deslizamiento ocurre en materiales finos con muy alto contenido de agua. La falla produce una completa perturbación estructural. La forma típica de deslizamiento es análoga al avance de un glaciar y la velocidad de desplazamiento puede variar desde unos pocos centímetros por año, hasta la correspondiente a deslizamientos catastróficos. En flujos lentos es común que en la velocidad del movimiento influyan mucho las variaciones estacionales del clima, en tanto que los flujos rápidos suelen seguir a épocas de violenta precipitación pluvial. Los movimientos lentos suelen ocurrir en materiales arcillosos fisurados o finamente interestratificados con capas delgadas de arena con alto contenido de agua; ocurren a lo largo de superficies no muy profundas y con inclinación media que, naturalmente, no puede apartarse mucho del valor del ángulo de resistencia residual del suelo.

Los flujos de lodo muy rápidos se presentan - muchas veces en laderas de las que se ha removido la cobertura vegetal por alguna razón y suelen comenzar en muy modestas proporciones, creciendo rápidamente con un poder de transporte del suelo sobre el que pasa, que parece fuera de proporción con su importancia inicial; de esta manera se pueden desencadenar auténticos ríos de lodo, capaces de causar verdaderas catástrofes. Sin duda su génesis debe incluir fenómenos de licuación de suelos.

## 1.2 Deslizamientos múltiples:

### 1.2.1 Deslizamientos regresivos:

Un deslizamiento regresivo está compuesto de una serie de simples deslizamientos rotacionales o traslacionales que se continúan sucesivamente. Se supone que cada deslizamiento simple afecta a la estabilidad del terreno detrás de él y de esta forma da lugar a otro deslizamiento.

Las fallas rotacionales regresivas (Fig. 7) ocurren en regiones de topografía movida o escalonada, en que existan importantes fenómenos de erosión.

Las fallas traslacionales regresivas ocurren en capas superficiales y muchas veces también se asocian a arcillas fisuradas y lutitas. Parece que cuanto más cohesivo sea el material, menos unidades tienden a formarse en la masa deslizante, un ejemplo se presenta en la Fig. 8.

### 1.3. Deslizamientos superficiales:

#### 1.3.1. Creep:

Se refiere esta falla al proceso más o menos continuo y por lo general lento de deslizamientos ladera abajo, que se presentan en la zona superficial de algunas laderas naturales.

El Creep suele afectar a grandes áreas y el movimiento superficial se produce sin una transición brusca entre la parte superior móvil y las masas inmóviles más profundas. No se puede hablar de

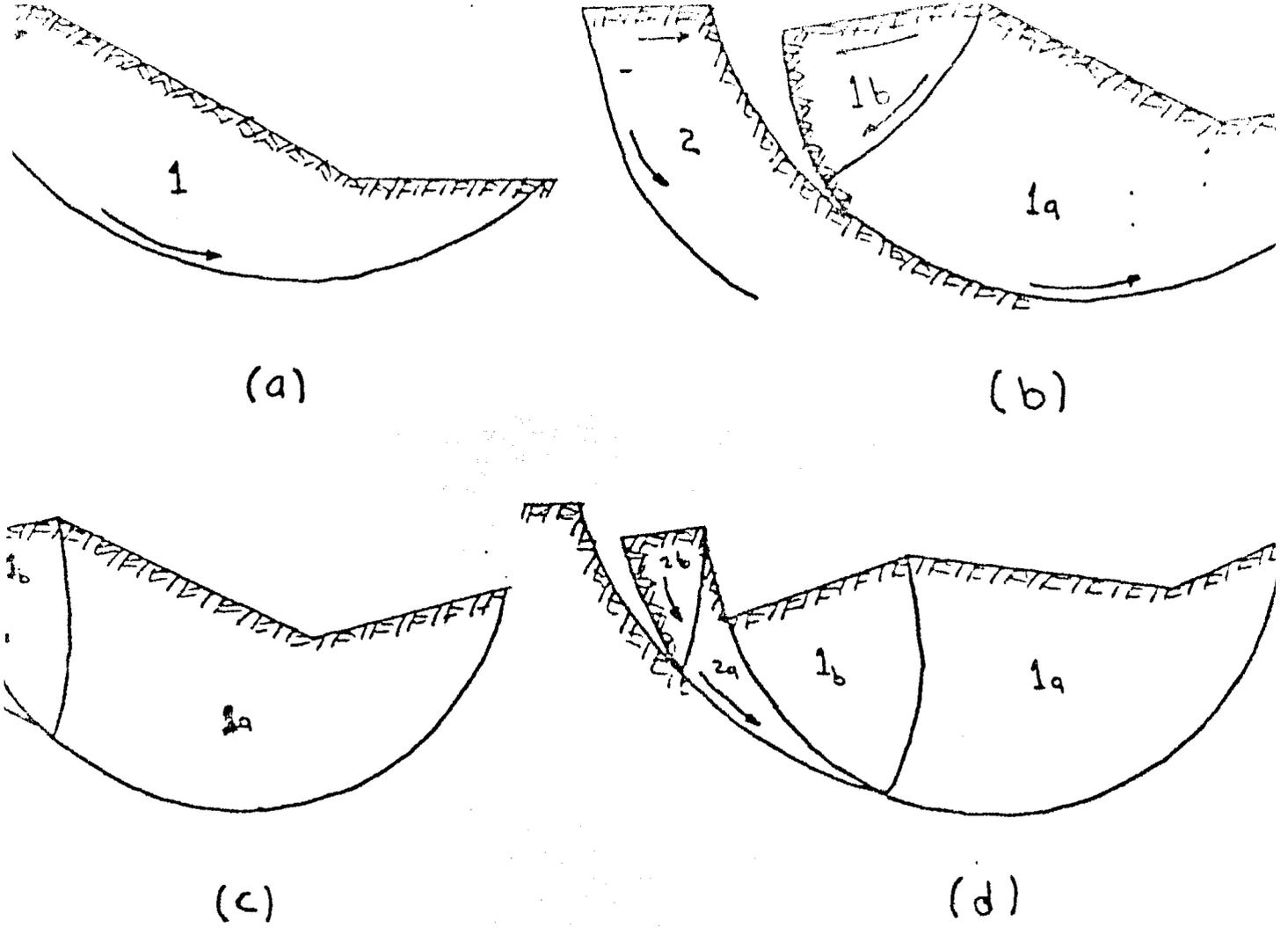


Fig. 7.- La figura muestra la mecánica de un deslizamiento regresivo.

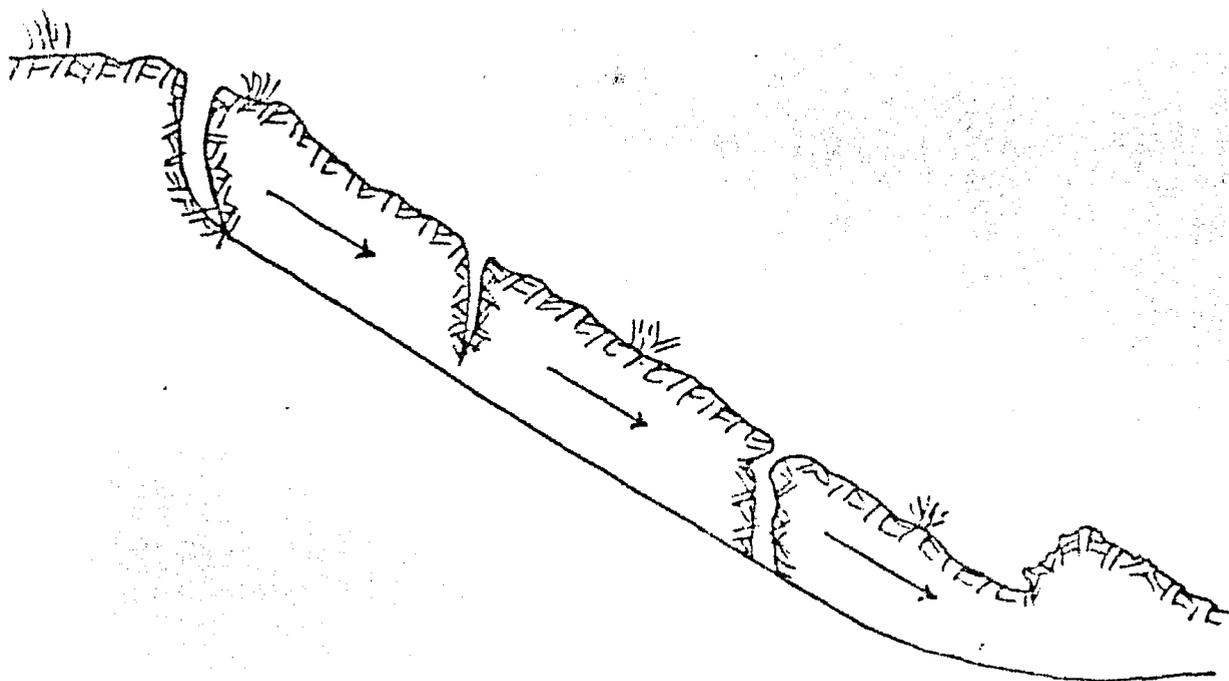


Fig. 8.- La figura muestra una falla traslacional típica.

una superficie de deslizamiento. El creep suele deberse a una combinación de las acciones de las --- fuerzas de gravedad y de otros varios agentes. La ve-  
locidad de movimiento ladera abajo de un creep típi-  
co, puede ser muy baja y rara vez excede de algu--  
nos centímetros por año.

En rigor deba hablarse de dos clases de creep: a) El estacional, que afecta sólo la corteza superficial de la ladera, que sufre la influencia de los cambios -- climáticos en forma de expansiones y contracciones térmicas o por humedecimiento y secado y, b). El ma-  
sivo, que afecta a capas de tierra más profundas, - no interesadas por los efectos ambientales y que, en consecuencia, sólo se puede atribuir al efecto gravi-  
tacional. El primero, que en mayor o menor grado - existe siempre, producirá movimientos que podrán-  
variar con la época del año; el segundo se manifesta-  
rá por movimientos prácticamente constantes. El -  
espesor de la capa superficial a la que afecta el --  
creep estacional es sumamente bajo y su dimensión  
máxima puede estimarse en un metro.

No están claras todavía las causas por las que una ladera natural particular pueda entrar en un creep masivo, a causa del cual una costra superficial, -- cuyo espesor puede ser en este caso de varios metros, comienza a moverse lentamente ladera abajo. Se ha hablado de una resistencia fundamental que representaría un límite tal que si los esfuerzos actuantes quedan abajo de él, la parte superficial de la ladera permanecerá en reposo y, que si los esfuerzos actuantes lo superan, se producirá el creep masivo. Aparte de ello existirá en el material de la ladera la resistencia al esfuerzo cortante máxima, en el sentido convencional; si los esfuerzos actuantes llegan a sobrepasar este último valor, se producirá un deslizamiento de tierra rápido.

Aún cuando no están del todo definidos los conceptos de resistencia fundamental o las causas del ---- creep, parece cierto que este movimiento se produce bajo niveles de esfuerzo actuantes bajos, muy inferiores a los que corresponden a la máxima resistencia cortante de los suelos.

## CAPITULO II.

### TRABAJOS DE CAMPO Y DE LABORATORIO.

Gran parte de la investigación hecha en el pasado se ha concentrado en el estudio de deslizamientos existentes. Sin embargo, lo realmente necesario en la práctica de la Ingeniería es la investigación adecuada de taludes de manera anticipada, con el objeto de prevenir rupturas de taludes y de adquirir conocimiento sobre taludes potencialmente inestables.

Los objetivos de cualquier programa de exploración para el diseño de taludes deben ser:

- La delimitación de la naturaleza del perfil de meteorización.
- La localización de los principales defectos estructurales presentes.
- La determinación de las condiciones de agua subterránea.
- La determinación del modo de ruptura probable y de los parámetros apropiados de resistencia al corte a lo largo de las superficies de ruptura potenciales.

#### II.1. Investigaciones geológicas de campo:

Los cortes existentes deben examinarse y registrarse en un mapa y, donde sea apropiado, se deben seleccionar muestras de suelo. Es posible de esta manera obtener fácilmente datos sobre el perfil de meteorización, la estructura de la roca y las condiciones de agua subterránea. Se debe registrar la inclinación de los taludes junto con las condiciones subterráneas correspondientes.

Los cambios de pendiente en los taludes naturales (puntos de inflexión) deben ser anotados, junto con cualquier razón obvia para tales cambios de pendiente.

Toda investigación de taludes requiere estudios aerofotográficos. Para taludes muy grandes, estos puntos pueden constituir la única manera de adquirir la perspectiva necesaria para el reconocimiento de deslizamientos incipientes y preexistentes, estructuras geológicas, manantiales y otros elementos importantes de la geología regional y local. Inclusive, leves sugerencias de tendencias estructurales y lineamientos pueden ser significativas en la preparación de un programa de exploración si no se dispone de otros tipos de información geológica. Este es con frecuencia el -

caso de terrenos cubiertos con vegetación densa o profundamente meteorizados. Por estas razones, la primera etapa de todo programa de exploración debe ser un estudio -- aerofotográfico combinado con un estudio combinado de -- geología de campo.

#### II.1.1 Estudios geofísicos de superficie:

Levantamientos sísmicos o de resistividad eléctrica o una combinación de ambos pueden determinar las características generales de estratificación de las zonas de meteorización y a veces la ubicación aproximada del nivel freático. Los levantamientos por reflexión sísmica constituyen la técnica geofísica que más se emplea.

El levantamiento sísmico de superficies de meteorización se requiere un espacio estrecho de -- los geófonos, así como sondeos frecuentes que -- permitan calibrar la interpretación de los datos -- sísmicos. Los levantamientos sísmicos por reflexión pueden también ser adecuados para la delimitación de los perfiles de meteorización, particu

larmente cuando se usan conjuntamente con sondeos, en los cuales se han establecido las velocidades sísmicas verdaderas de las diferentes zonas.

Los levantamientos de resistividad eléctrica también son promisoros en cierta forma para los mismos fines. Esto se debe a que los cambios en el contenido de arcilla, asociados con las diferentes zonas de meteorización, pueden resultar en cambios considerables en los valores de resistividad.

Se ve pues, que los levantamientos geofísicos de superficie pueden proveer considerable asistencia en la delineación de perfiles de meteorización si se les interpreta con la ayuda del conocimiento de perfiles de meteorización típicos y de sondeos que permitan la calibración de los perfiles.

### II.1.2. Sondeos:

Las zonas de perfil de meteorización se pueden establecer con seguridad, por medio de sondeos meticulosos. Los ensayos ejecutados en las muestras recuperadas permiten la determinación de la

humedad natural, los límites líquido y plástico y la distribución granulométrica. Al suelo y roca se les puede examinar petrográficamente y, si es necesario, la fracción del suelo de grano fino puede estudiarse por métodos convencionales de análisis de arcilla. En el laboratorio se pueden realizar ensayos de corte directo, de compresión inconfiada y triaxiales para obtener la resistencia al corte en compresión no confinada, los parámetros de resistencia al corte máxima y el ángulo de resistencia al corte residual.

### II.1.3. Excavaciones de exploración, trincheras, socavones de exploración y sondeos de gran diámetro.

Cuando el levantamiento de estructuras geológicas es importante, nada puede ser mejor que las observaciones directas y continuas que pueden hacerse en excavaciones de exploración, trincheras, socavones de exploración y sondeos de gran diámetro. A menudo se pueden usar ventajosamente las excavaciones de exploración y trincheras pa-

ra establecer el grosor de la naturaleza de las diferentes zonas de meteorización. Con frecuencia se requieren socavones de exploración o sondeos de gran diámetro que permiten inspeccionar en las zonas más profundas. A pesar de su elevado costo, pueden proporcionar el único medio seguro de investigar estructuras profundas de cortes importantes. Estos métodos de exploración de tamaño grande presentan la ventaja adicional de permitir observaciones directas de las condiciones de agua subterránea, la selección de muestras intactas y la ejecución de pruebas in situ de resistencia al corte.

Las condiciones de trabajo de estas excavaciones temporales de exploración pueden ser muy peligrosas si no se toman precauciones de seguridad estrictas en lo que se refiere al control de agua e inspección de gas.

Las normas de seguridad no deben descuidarse simplemente por la naturaleza temporal de éstas excavaciones.

## II.2 Presentación de la información:

La presentación de la información es tan importante como la obtención de la misma. Las secciones transversales, - registros de sondeos, niveles de agua y pruebas de permeabilidad de campo y resultados de laboratorio se deben presentar en una manera concisa, conveniente y descriptiva, antes de poder proceder con el análisis.

### II.2.1 Secciones transversales:

Estas deben enseñar el perfil de meteorización su perpuesto sobre la roca, con un esbozo de la estructura predominante en la misma. Es típico - que los grosores y las profundidades de las zonas de meteorización presenten una apariencia más - variable a medida que se acumula mayor información, por lo tanto, se deben anticipar estas variaciones entre sondeos y se deben indicar los con--tactos con líneas irregulares.

### II.2.2 Registros de sondeos individuales:

Son necesarios los registros de sondeos resumi--

dos. Deben basarse éstos en los registros del perforador, la descripción geológica de muestras y testigos y las pruebas ejecutadas en el sondeo. Se prefiere la presentación gráfica de la información a cualquier otro método de presentación. Se debe registrar cada variable en función de la profundidad, construyendo una serie de perfiles. Los datos deben incluir un registro geológico gráfico, un registro y descripción de las estructuras geológicas, un perfil de la recuperación de testigos, un registro gráfico de información sobre el agua subterránea que incluya niveles freáticos y sus fechas, un perfil de pérdidas de agua, información sobre pruebas de presión y otros datos de permeabilidad, y un perfil de intensidad de meteorización.

De las clases de información indicadas, ninguna es más importante que la ganada con la inspección ocular de un testigo continuo.

Se hace este examen para localizar y describir primordialmente diaclasas, fallas, zonas de cisalla

miento y los diferentes tipos de suelo o roca y sus contactos.

### II.2.3 Excavaciones de exploración, trincheras, socavones de prueba y sondeos de gran diámetro:

La mejor manera de presentar la información obtenida a partir de estas aberturas de gran tamaño, es por medio de secciones desarrolladas de sus paredes verticales y, si es posible, del fondo. Esto proporciona una vista tridimensional de la ocurrencia de los materiales, estructuras y condiciones de agua subterránea. La información obtenida en las excavaciones de exploración debe incluir secciones geológicas desarrolladas de las paredes. La información de las trincheras debe contener secciones de las paredes y, si es posible, del piso de la misma; para los socavones de exploración se debe incluir una sección desarrollada de las paredes y el techo del socavón, y de ser posible, del piso. La manera óptima de presentar datos de sondeo de gran diámetro es mediante

secciones desarrolladas de  $360^{\circ}$  de las paredes -- del sondeo. En estas secciones se debe indicar la ubicación de puntos de infiltración de agua y de las muestras seleccionadas.

#### II.2.4 Niveles freáticos:

La información sobre los niveles de agua debe estar acompañada de las fechas e intervalos de profundidad pertinentes. Se debe intentar obtener medidas de niveles de agua durante las estaciones secas y lluviosas y de presentarse en las secciones transversales, los límites de variación del nivel freático.

#### II.2.5 Información sobre ensayos de laboratorio:

Se deben presentar en forma gráfica los resultados de ensayos de propiedades índice ejecutados en suelo y roca en función de la profundidad. A partir de éstos se deben interpretar las posiciones de las zonas de meteorización. Los resultados de ensayos de resistencia al corte deben expre-

sarse en función del esfuerzo normal. De ser posible, toda la información sobre resistencia al corte debe presentarse en una sola gráfica. Deben - asimismo determinarse y mostrarse en la gráfica los valores de la resistencia al corte residual, - con el fin de poder interpretar los otros datos so bre la resistencia al corte.

## CAPITULO III.

### CONSIDERACIONES TEORICAS.

#### Propósito de los cálculos de estabilidad de taludes:

En la práctica, los cálculos de estabilidad sirven para volver a proyectar taludes que se han derrumbado, o bien para determinar, antes de iniciar la obra, los ángulos de talud adecuados a los requerimientos de seguridad específicos.

Durante la construcción, suelen a veces producirse roturas locales de los taludes de desmontes o terraplanes. Dichas roturas indican que el valor medio de la resistencia mínima al corte ha sido sobreestimado y, como constituyen en realidad ensayos de corte en gran escala, ofrecen una oportunidad excelente para valorar la resistencia mínima real y evitar nuevos accidentes en la obra, cambiando el proyecto en función de los nuevos datos. El procedimiento a seguir consiste en determinar, por medio de perforaciones o excavaciones, la posición de la superficie de deslizamiento, computar los pesos de las distintas partes de la masa que tendió a producir o a oponerse al desliza--

miento y calcular la resistencia media al corte "s" del suelo - que resulta necesaria para satisfacer las condiciones de equilibrio.

Cuando se debe calcular un talud en una región donde no se - han producido deslizamientos, es necesario estimar o determinar la resistencia al corte media del suelo antes de iniciar la - construcción.

Una vez fijado "s", el ángulo del talud puede determinarse — por teoría, en forma que satisfaga la seguridad requerida. Resulta obvio que este método es utilizable sólo en casos en que - las condiciones del suelo permiten determinar "s" con exactitud por medio de ensayos adecuados.

### III.1 Taludes en arena seca sin cohesión:

Un talud en arena limpia es estable, cualquiera que sea su altura, siempre que el ángulo  $\beta$  entre el talud y la horizontal sea igual o menor que el ángulo de fricción interna  $\phi$  de la arena en estado suelto. El coeficiente de seguridad del talud con respecto a su deslizamiento pue

de expresarse por la relación:

$$F = \frac{\text{tang } \phi}{\text{tang } \theta}$$

Cualquiera que sea su altura, la existencia de taludes - con ángulos de inclinación mayores de  $\theta$  es una imposibilidad en caso de arenas limpias.

### III.2 Taludes en suelos cohesivos homogéneos:

Un suelo cohesivo cuya resistencia al corte viene expresada por la ecuación

$$S = c + \sigma \text{ tang } \phi$$

puede permanecer estable con un talud vertical, aunque sólo sea por cierto tiempo, siempre que la altura del mismo sea algo menor de:

$$H_c = \frac{4c}{\gamma}$$

Si la altura sobrepasa  $H_c$ , el talud no es estable, a me--

nos que su ángulo  $\varphi$  sea menor de  $90^\circ$ . Cuanto mayor sea la altura, tanto menor debe ser el ángulo  $\varphi$  hasta que, para una altura muy grande comparada con  $H_c$ , el talud es inestable, a menos que el ángulo sea igual o menor que  $\phi$ .

La rotura de un talud en material cohesivo va comunmente precedida de la formación de grietas de tensión, que se producen detrás del borde superior del mismo en la forma en que lo indica la Fig. 10.

La formación de grietas puede ser, tarde o temprano, seguida de un deslizamiento a lo largo de una superficie curva, como lo indica la línea llena en la Fig. 10. Generalmente, la superficie de deslizamiento tiene su máxima curvatura en la parte superior, la mínima en el centro y una curva intermedia en el extremo inferior, por lo tanto, se acerca a un arco de elipse.

En los cálculos de estabilidad, la curva que representa la superficie real de deslizamiento se reemplaza por un arco de círculo que para los fines ingenieriles tiene un-

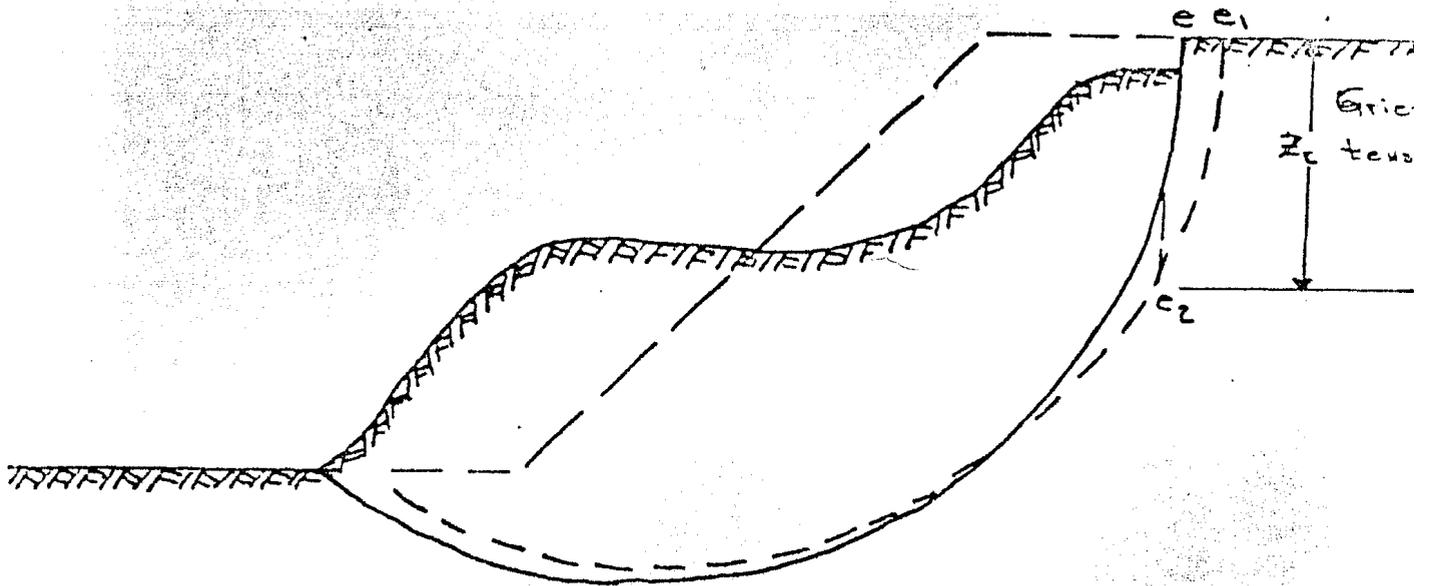


Fig. 10.- La figura muestra la formación de grietas de tensión en el talud, que por lo general preceden a la falla.

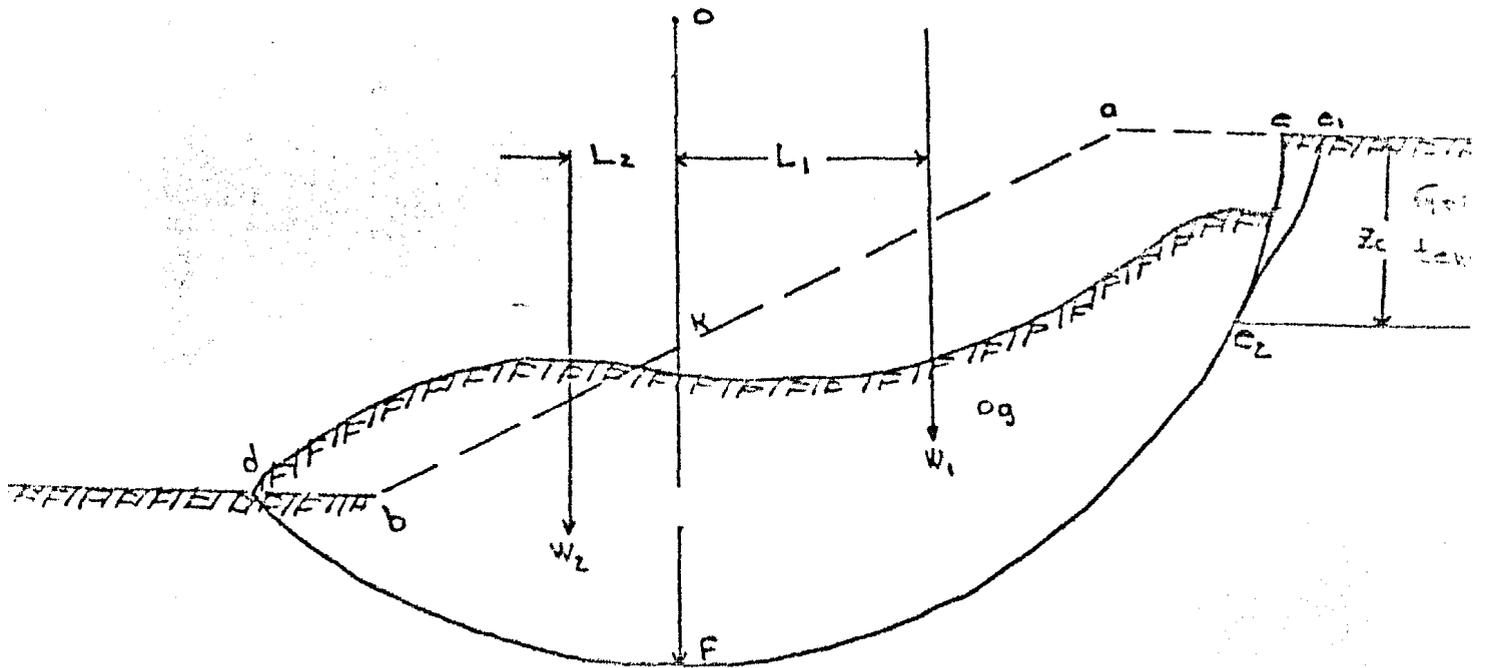


Fig. 11.- Deformación que se produce con la rotura de un talud.

grado de aproximación aceptable.

### III.3 Cálculo de la resistencia al corte, partiendo de los datos que se obtienen de deslizamientos ocurridos:

El método que se utiliza para determinar la resistencia media al corte de los suelos, en función de los datos que se pueden obtener de deslizamientos ocurridos, viene -- ilustrado en la Fig. 11. Por medio de mediciones en el terreno se obtiene la profundidad  $z_c$  de las fisuras de tensión y la forma de la superficie de deslizamiento. La línea de deslizamiento se sustituye luego por un arco de círculo de radio "r" y de centro "o".

De la Fig. 11, el equilibrio requiere que:

$$W_1 L_1 = W_2 L_2 + S r \widehat{\delta_1 e_2}$$
$$S = \frac{W_1 L_1 - W_2 L_2}{r \widehat{\delta_1 e_2}}$$

"W" es el peso de la masa de suelo  $\alpha \kappa \rho e$ , que tiende a producir la rotura, y "W" el peso de la masa  $\kappa \omega \delta F$ , que tiende a resistirla.

### III.4 Procedimiento para determinar la estabilidad de taludes:

Cuando se debe investigar si un talud dado en un suelo de resistencia conocida es estable, se necesita determinar el diámetro y la posición del círculo que representa la superficie por donde se va a producir el deslizamiento. Este círculo, conocido como círculo crítico, debe satisfacer la condición de que la relación entre la resistencia al corte del suelo a lo largo de la superficie de deslizamiento y las fuerzas tangenciales que tienden a producirlo constituyen un mínimo.

Una vez terminado el diámetro y la posición del círculo crítico, el coeficiente de seguridad "F" con respecto a rotura se calcula con la relación

$$F = \frac{sr \widehat{d_1 e_2}}{W_1 L_1 - W_2 L_2}$$

donde 'r' es el radio del círculo y  $\widehat{\alpha}_e$ , la longitud de la superficie de deslizamiento.

#### III.4.1 Taludes en suelos con cohesión y fricción interna:

Si la resistencia al corte del suelo puede expresarse con la ecuación

$$S = c + \sigma \tan \phi$$

la estabilidad de sus taludes es analizable con el procedimiento que ilustra la Fig. 12. Las fuerzas que actúan sobre la masa en deslizamiento son: su peso 'W', la resultante 'C' de las fuerzas de cohesión y la resultante 'F' de las fuerzas normales de fricción que se desarrollan a lo largo de la superficie de deslizamiento. La resultante 'C' de la cohesión, es paralela a la cuerda 'd' e igual a la cohesión unitaria 'C' multiplicada por la lon



gitud 'L' de la cuerda.

La distancia X que media entre el centro de rotación y 'C', se determina con la condición:

$$C_x = CLX = C\widehat{de}r$$

$$x = \widehat{de} \frac{r}{L}$$

La fuerza 'C' es por tanto, conocida.

El peso 'W' también es conocido. Como las fuerzas 'C', 'W' y 'F' están en equilibrio, la fuerza 'F' debe pasar por el punto de intersección de 'W' y 'C', es decir, que la magnitud y posición de 'F' pueden determinarse construyendo un polígono de Fuerzas.

Si el coeficiente de seguridad es igual a 1, el talud está en el límite de equilibrio. En esta condición cada reacción elemental  $dF$  de la Fig. 12 debe formar un ángu

lo  $\phi$  con respecto a la normal al círculo de fricción cuyo radio es igual a

$$r_f = r \operatorname{sen} \phi$$

y que tiene su centro coincidente con el centro del círculo de deslizamiento. La línea de acción de la reacción resultante de 'F' es tangente a un círculo de radio algo mayor que  $r_f$ , como una aproximación conveniente, se supone que, para un coeficiente de seguridad igual a la unidad, la resultante 'F' es también tangente al círculo de fricción.

El error que se introduce es pequeño y se halla del lado de la seguridad.

#### III.4.2 Taludes en arcillas blandas:

La resistencia unitaria media al corte 'S' de la superficie potencial de deslizamien

to en una arcilla blanda homogénea saturada bajo condiciones no drenadas ( $\phi=0$ ) es aproximadamente igual a un medio de la resistencia a la compresión simple  $q_u$  de la arcilla. Este valor se denomina la cohesión 'C', es decir:

$$S = \frac{1}{2} q_u = c$$

Conocido 'C', la altura crítica de un talud con ángulo de inclinación  $\beta$ , puede expresarse por la ecuación

$$H_c = N_s \frac{c}{\gamma}$$

En esta ecuación, el coeficiente de estabilidad 'N<sub>s</sub>' es un número sin dimensión, cuyo valor depende sólo del ángulo  $\beta$  del talud y del factor de profundidad (como se indica en la Fig. 13) que expresa la profundidad a que la arcilla descansa sobre una base firme.

Si se produce una rotura por el talud, el círculo crítico generalmente es un círculo de pie, que pasa por el pie 'b' del talud, excepto cuando la base firme está situada cerca del pie 'b' del talud (como lo indica la Fig. 14), en cuyo caso puede producirse por un círculo de talud, tangente a la base firme y que intercepta el talud por encima de 'b'.

El tipo y la posición del círculo crítico a lo largo del cual se produce la rotura, dependen del ángulo  $\alpha$  del talud y del factor de profundidad  $nd$ . La Fig. 15 contiene una síntesis de los resultados obtenidos al respecto por medio de investigaciones teóricas. Según esta figura, la rotura de todos los taludes con ángulo mayor de  $53^{\circ}$  se produce por un círculo de pie. Si  $nd$  es menor de  $53^{\circ}$ , el tipo de rotura depende del valor del factor de profundidad

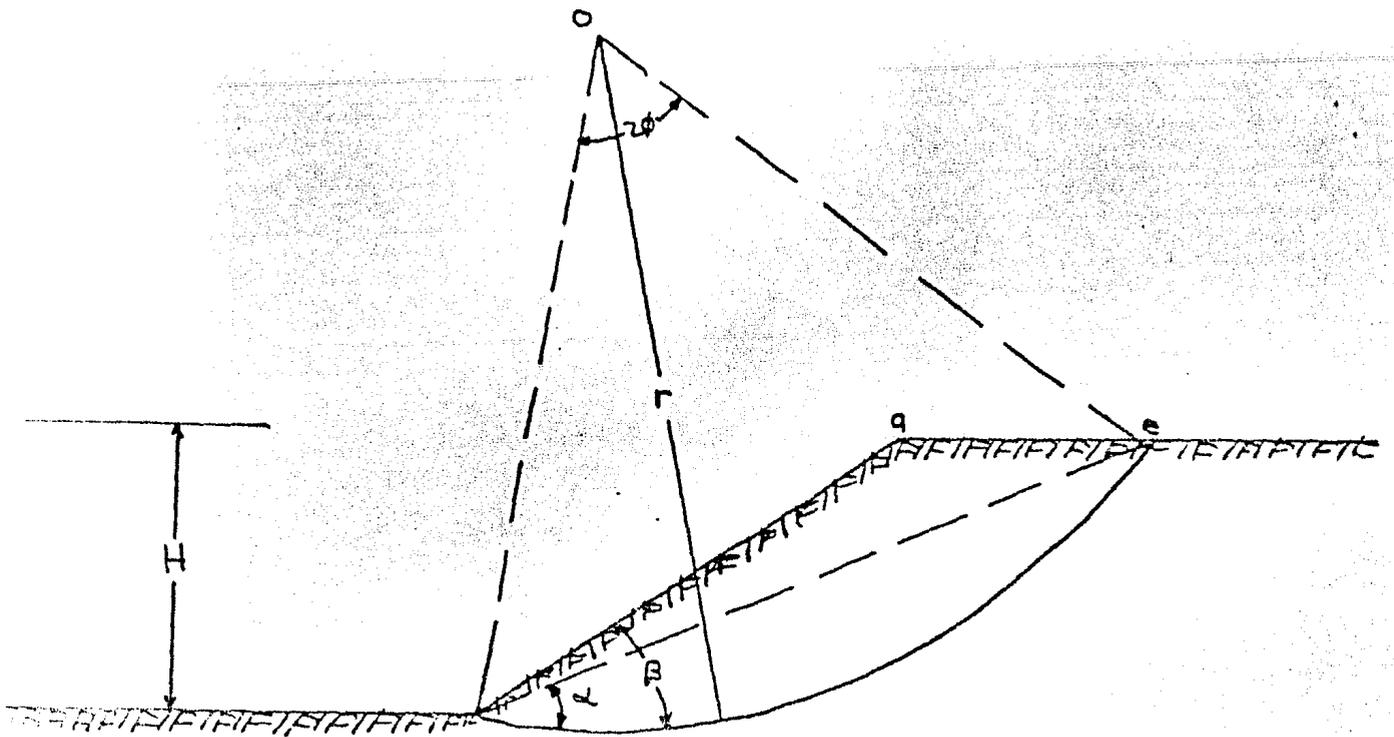


Fig. 14.- Muestra la posición del círculo crítico para una rotura por el pie del talud.

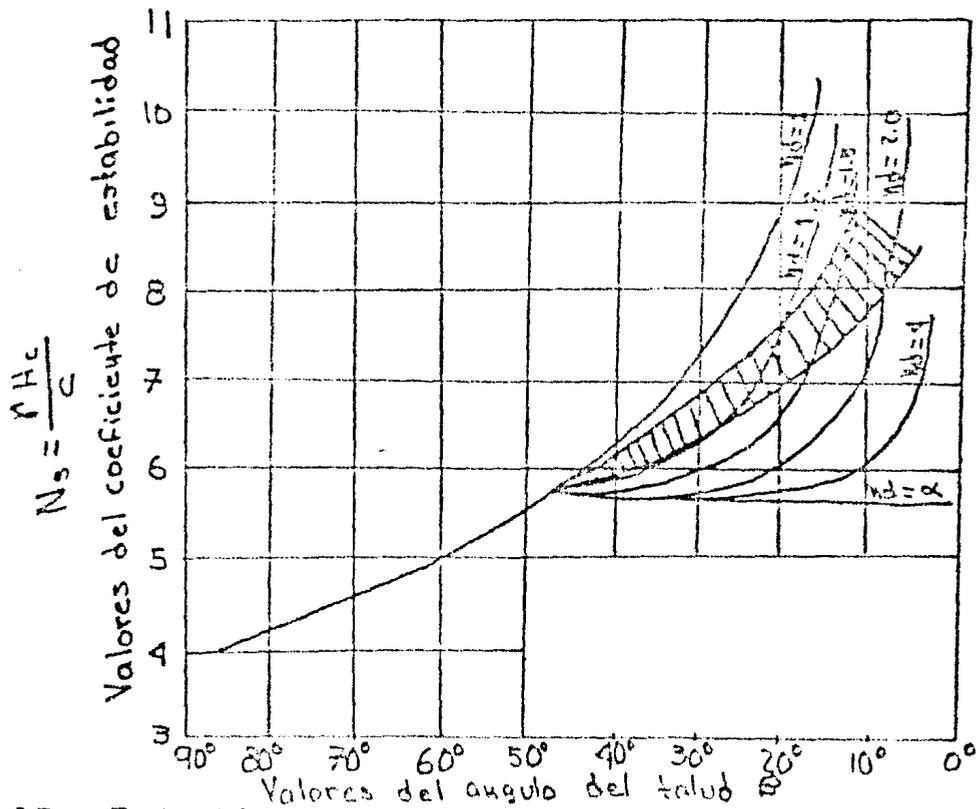


Fig. 15.- Relación para materiales sin fricción entre el ángulo del talud y el coeficiente de estabilidad 'Ns' para diferentes valores del factor de profundidad

y, para valores bajos de  $n_d$ , también del ángulo del talud. Si  $n_d$  es igual a 1, la rotura se produce por un círculo de talud y, si  $n_d$  es mayor de 4, el talud se desliza por un círculo del punto medio, tangente a la base firme, cualquiera que sea el valor de  $\beta$ .

Dados los nombres del ángulo del talud y del factor de profundidad  $n_d$ , el coeficiente de estabilidad 'Ns' puede obtenerse sin cálculo alguno utilizando la Fig. 15. El valor 'Ns' determina la altura crítica 'Hc' del talud.

Cuando la rotura se produce por un círculo de pie, el centro del círculo crítico puede determinarse trazando los ángulos  $\alpha$  y  $2\phi$  en la forma que lo indica la Fig. 14. Los valores de  $\alpha$  y  $\phi$  para diferentes ángulos  $\beta$  del talud, pueden obtenerse de la Fig. 16. Cuando la rotura se produce --

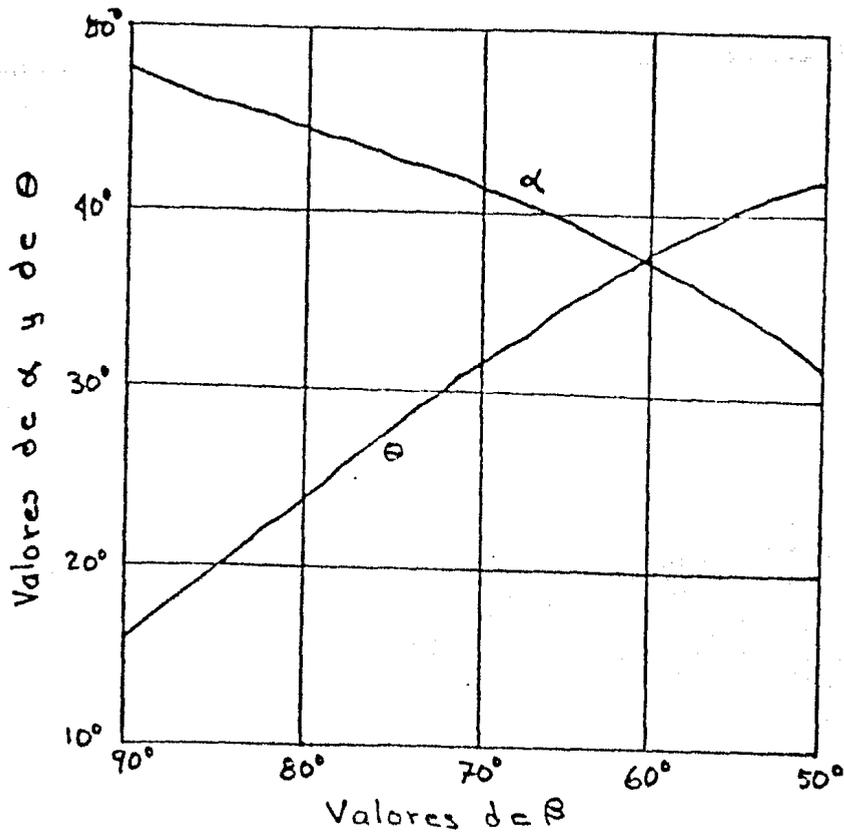


Fig. 16.- Muestra la relación entre el ángulo del talud 'B' y los parámetros  $\alpha$  y  $\theta$  para ubicar el círculo crítico de pie cuando  $\beta$  es mayor de  $53^\circ$ .

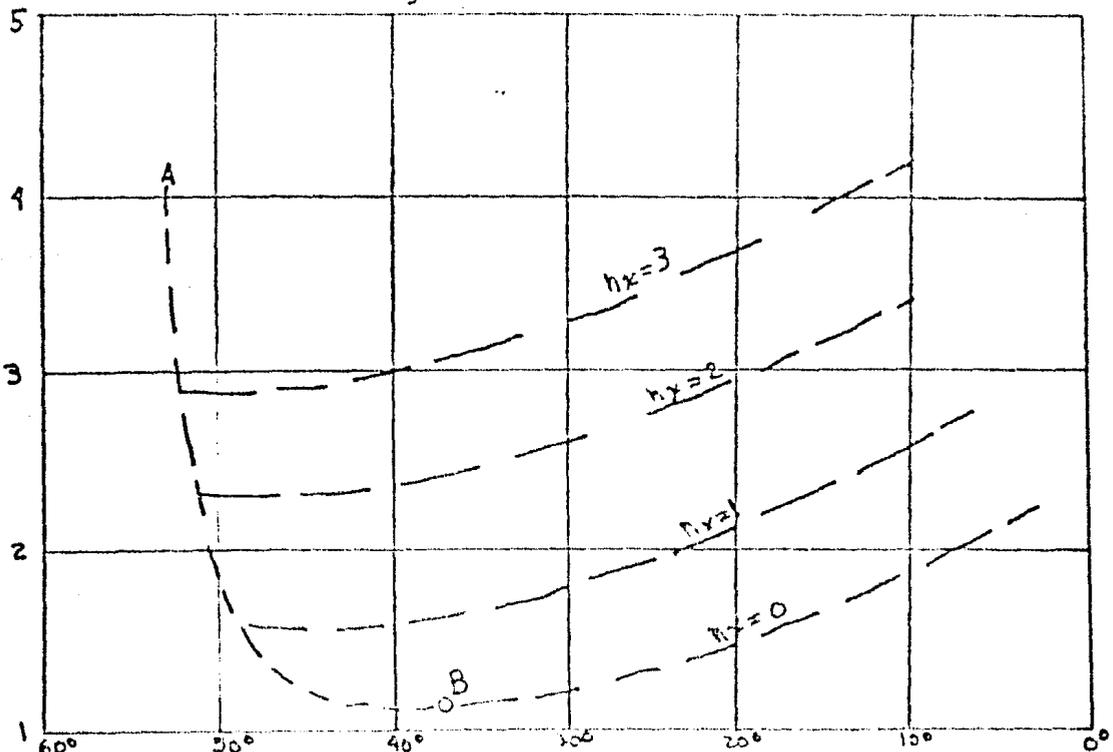


Fig. 17.- Muestra la relación entre el ángulo  $\beta$  del talud y el factor de profundidad  $n_d$  para varios valores del parámetro  $n_x$ .

por un círculo del punto medio tangente a la base firme, la posición del círculo crítico viene determinada por la distancia horizontal  $n_x H$  que va del pie del talud al círculo. Los valores de  $n_x$  para distintos valores de  $\beta$  y  $\alpha$  pueden obtenerse del gráfico de la Fig. 17.

#### III.4.3 Taludes irregulares en suelos no uniformes:

Si el talud tiene una superficie irregular, de modo que no puede ser representado por una línea recta, o si existe la posibilidad de que la superficie de deslizamiento pase a través de varios materiales con diferentes valores de  $c$  y  $\phi$ , la estabilidad se puede analizar convenientemente utilizando el método de la Fajas. De acuerdo con este procedimiento, se elige un círculo tentativo (Fig. 18) y la masa deslizante se subdivide en un número de Fa-

jas verticales, 1, 2, 3, etc. Cada Faja, como la No. 4 lo indica en la Fig. 18.b, está solicitada por su propio peso 'W' y por las fuerzas de corte 'T' y normal 'E' en sus caras laterales y por un conjunto de fuerzas en su base, las que incluyen la fuerza de corte 'S' y la fuerza normal 'P'. Las fuerzas que actúan en cada Faja, como las que solicitan el conjunto de la masa, deben satisfacer las condiciones de equilibrio. No obstante, dado que las fuerzas 'T' y 'E' dependen de la deformación y de las características tensión deformación del material que desliza, no pueden ser evaluadas rigurosamente, aunque si aproximadamente con suficiente exactitud para propósitos prácticos.

La más simple de estas aproximaciones -- consiste en suponer estas fuerzas iguales a cero. Bajo estas circunstancias, -

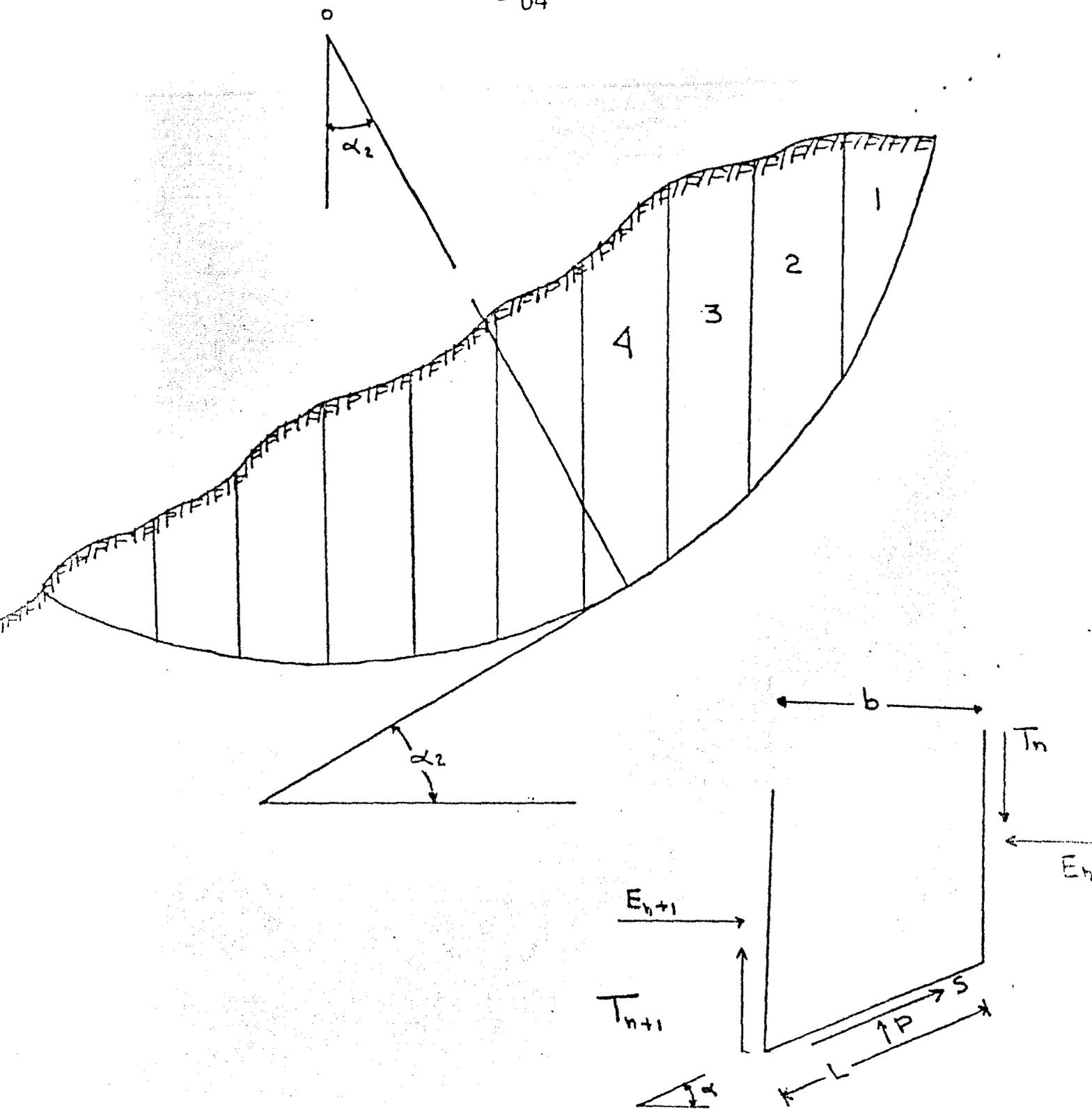


Fig. 18.- La figura muestra el método de las Fajas para investigar las condiciones de equilibrio de taludes situados encima del nivel freático. a) Relación geométrica para una superficie de deslizamiento circular, b) Fuerzas que actúan sobre una Faja típica como la 4.

si todo el círculo tentativo está situado - por encima del nivel freático y no hay sobrepresión de poros, el equilibrio del conjunto de la masa deslizante requiere - - que:

Si 'S' es la resistencia unitaria al corte - a lo largo de 'L', resulta:

$$S = \frac{S}{F} L = \frac{S}{F} \frac{b}{\cos \alpha}$$

y por tanto:

$$r \sum W \sin \alpha = \frac{r}{F} \sum \frac{S b}{\cos \alpha}$$

de lo cual se deduce:

$$F = \frac{\sum (S b / \cos \alpha)}{\sum W \sin \alpha}$$

La resistencia unitaria al corte 's' empero, está determinada por:

$$S = c + \sigma \tan \phi$$

$$S = c + \sigma \tan \phi$$

donde  $P$  es la presión normal que actúa en la superficie de deslizamiento 'L'. Para evaluar  $S$  se debe considerar el equilibrio vertical de la faja de la cual se obtiene:

$$W = S \operatorname{sen} \alpha + P \operatorname{cos} \alpha$$

$$\sigma = \frac{P}{L} = \frac{P \operatorname{cos} \alpha}{b} = \frac{W}{b} - \frac{S}{b} \operatorname{sen} \alpha$$

por tanto:

$$S = c + \left( \frac{W}{b} - \frac{S}{b} \operatorname{sen} \alpha \right) \tan \phi$$

$$S = c + \left( \frac{W}{b} - \frac{S}{F} \tan \alpha \right) \tan \phi$$

y de donde:

$$S = \frac{c + \left( \frac{W}{b} \right) \tan \phi}{1 + \left( \tan \alpha \tan \phi \right) / F}$$

si se llama:

$$m_c = \left( 1 + \frac{\tan \alpha \tan \phi}{F} \right) \cos \alpha$$

resulta:

$$F = \frac{\sum \frac{c + ((w/b) \tan \phi) b}{m_c}}{\sum W \sin \alpha}$$

La ecuación anterior que produce el coeficiente de seguridad 'F' para el círculo tentativo que se está analizando, contiene en el segundo término la cantidad --  $m_c$  que es a su vez una función de 'F'. Por ello, la ecuación debe ser resuelta por aproximaciones sucesivas, en las cuales se adopta un valor  $F = F_1$ , que se usa en el cálculo de  $m_c$  para calcular 'F'. Si el valor de 'F' difiere en forma significativa de ' $F_1$ ', el cálculo se repite.

Teniendo en cuenta que los cálculos esquematizados en la Figura 18 se refieren-

solamente a un círculo tentativo, éstos -  
deben repetirse para otros círculos hasta  
que se obtiene el mínimo para el valor 'F'.

En general, el talud suele estar parcial-  
mente sumergido y además se desarrollan  
presiones de poro a lo largo del círculo -  
tentativo. La magnitud de las presiones  
de poros depende de las condiciones del -  
problema. En algunos casos éstas pueden  
ser estimadas por medio de una red de -  
filtración, por medio de ensayos de suelo,  
o en base a observaciones realizadas en -  
el terreno. Si el nivel de la superficie-  
del agua externa se denota 'A - A', el pe-  
so de 'W' de la faja (Fig. 19) se puede es-  
cribir como:

$$W = W_a + W_b + Z b \gamma_w$$

en la cual 'W<sub>a</sub>' es el peso de la parte de -  
la faja situada encima de 'A - A', 'W<sub>b</sub>' -



es el peso de la parte situada por debajo de 'A - A', y  $\gamma_w V$  es el peso de un volumen de agua igual a la porción sumergida de la faja. Si toda la faja está situada debajo del nivel freático, el peso del agua situada encima de la faja debe ser incluido en la expresión  $\gamma_w V$ . La presión de poros en el punto medio de 'O' de la base de la faja es igual a  $\gamma_w u$ , en donde 'u' es la sobrepresión de poros con respecto al nivel externo del agua. Si el nivel externo del agua 'A - A' está ubicado por debajo de 'o' en la base de la faja, la presión de poro en 'o' es  $h/\gamma_w$  donde 'h' es la altura hasta la cual el agua sube en un piezómetro en 'o'. Si la presión de poro se debe a efecto capilar, 'h' es negativo.

Teniendo en cuenta que las fuerzas que actúan en una faja están en equilibrio, -

estas pueden ser representadas por un polígono de fuerzas. La fuerza normal de  $P$  consta de una componente de  $P'$  de la fuerza  $P$ , causada por la sobrepresión de poros y de las fuerzas  $zL\gamma_w$  causada por la presión hidrostática del agua -- con respecto a  $A - A$ . La resistencia  $t$  a lo largo de la superficie de deslizamiento es igual a:

$$t = \frac{S}{F} = \frac{1}{F} (c + \bar{\sigma} \tan \phi)$$

$$t = \frac{1}{F} [c + (\frac{P}{L} - z\gamma_w - u) \tan \phi]$$

de donde:

$$S = t \cdot L = \frac{1}{F} [cL + cP - zL\gamma_w - uL] \tan \phi$$

$$S = \frac{1}{F} (cL + P' \tan \phi)$$

El equilibrio de momentos de todo deslizamiento con respecto al círculo tentativo requiere que:

$$\sum (W_a + W_b + z b \rho_w) r \operatorname{sen} \alpha =$$

$$= \sum s \cdot r + \frac{1}{2} \rho_w d^2 a_1 =$$

$$= \frac{1}{F} \sum (cL + P' \tan \phi) r + \frac{1}{2} \rho_w d^2 a_1$$

Teniendo en cuenta que el agua situada -  
debajo del nivel A - A está en equilibrio -  
resulta:

$$\sum z b \rho_w r \operatorname{sen} \alpha = \frac{1}{2} \rho_w d^2 a_1$$

de donde se obtiene:

$$\sum (w_a + w_b) r \operatorname{sen} \alpha$$

$$= \frac{1}{F} \sum (cL + P' \tan \phi) r$$

$$F = \frac{\sum (cL + P' \tan \phi)}{\sum (w_a + w_b) \operatorname{sen} \alpha}$$

El valor de  $F$  depende de  $P'$ , que puede ser determinado para cada faja por medio de un polígono de fuerzas (Fig. 19 c).

Si la superficie de deslizamiento es circular, la influencia de las fuerzas  $T$  y  $E$  entre fajas es relativamente pequeña y  $P'$  puede comunmente evaluarse con suficiente aproximación en la hipótesis de que las fuerzas  $T$  y  $E$  son iguales a cero. El polígono de fuerzas se reduce entonces a la Fig. 19 d, con lo cual:

$$W_a + W_b + \sum b \gamma_w =$$

$$= (\sum L \gamma_w + P' + UL) \cos \alpha + \left( P \frac{\tan \phi}{F} + \frac{CL}{F} \right) \sin \alpha$$

y:

$$P' = \frac{W_a + W_b - Ub - \frac{CL}{F} \sin \alpha}{m_c}$$

$$m_c = \left( 1 + \frac{\tan \alpha \tan \phi}{F} \right) \cos \alpha$$

Reemplazando términos tenemos que:

$$F = \frac{\sum \frac{[c_b + (W_a + W_b - U_b) \tan \phi]}{m_c}}{\sum (W_a + W_b) \operatorname{sen} \alpha}$$

La ecuación anterior debe resolverse por aproximaciones sucesivas, porque el coeficiente de seguridad  $F$  está contenido en la expresión  $M_c$  que aparece en el segundo término de la misma. Se puede notar que la influencia del nivel del agua externa resulta totalmente incluida, utilizando el peso sumergido  $W_b$  y que la sobrepresión de poros  $u$  se calcula para la base de cada faja.

Superficies de deslizamiento compuestas:

En muchas circunstancias, las condiciones geométricas o geológicas del problema son tales que la superficie de deslizamiento de ninguna manera puede supo-



nerse circular. Para estas condiciones, el método de las fajas puede extenderse.

La Fig. 20 muestra una masa deslizante con una superficie de deslizamiento no circular. Las fuerzas que actúan en la faja cualquiera  $n$  están representadas de la misma manera que lo indica la Fig. 19 d, y el polígono de fuerzas es idéntico al representado en la Fig. 19 c.

El equilibrio de momentos de la masa deslizante respecto de un polo arbitrario  $O$  requiere que:

$$\sum w_x = \sum (sa + pF) + \frac{1}{2} \gamma_w d^2 a_i$$

Tomando en cuenta los momentos actuantes y los momentos resistentes se tiene:

$$\sum (W_a + W_b + z_b \gamma_w) \chi =$$

$$= \frac{1}{F} \sum (c_L + P' \tan \phi) a + \sum P F + \frac{1}{2} \gamma_w d^2 a_1$$

$$F = \frac{\sum (c_L + P' \tan \phi) a}{\sum (W_a + W_b + z_b \gamma_w) \chi - \sum P F - \frac{1}{2} \gamma_w d^2 a_1}$$

Observando que debajo del nivel A-A el agua está en equilibrio, se concluye que:

$$\sum z_b \gamma_w \chi - \frac{1}{2} \gamma_w d^2 a_1 =$$

$$\sum z_L \gamma_w F = \sum (P - P_i) F$$

Donde:

$$P_i = P - z_L \gamma_w$$

De donde:

$$F = \frac{\sum (c_L + P' \tan \phi) a}{\sum (W_a + W_b) \chi - \sum P_i F}$$

Esta expresión puede evaluarse si se conocen  $P'$  y  $P$ , cantidades que se pueden determinar por medio de un polígono de fuerzas (Fig. 19 c). La suma de las fuerzas de las componentes verticales conduce a la expresión:

$$W_a + W_b + \Delta t_n + \sum b' \gamma_w =$$

$$\sum L \gamma_w \cos \alpha + (P' + uL) \cos \alpha + \frac{1}{F} (cL + P' \tan \phi) \sin \alpha$$

de allí que:

$$P' = \frac{W_a + W_b + \Delta t_n - ub - (\gamma_w/F) b \tan \alpha}{m_\alpha}$$

además:

$$P' = \frac{W_a + W_b + \Delta t_n + (\gamma_w/F)(ub \tan \phi - cb) \tan \alpha}{m_\alpha} =$$

$$P' = P' + uL$$

Sustituyendo y combinando términos:

$$F = \frac{\sum [c_b + (W_a + W_b + \Delta t_n - u_b) \tan \phi] \frac{c_a}{m_\alpha}}{\sum (W_a + W_b) \alpha - \sum [W_a - W_b + \Delta t_n + (u_b \tan \phi - c_b) \frac{\tan \alpha}{F}] \left( \frac{F}{m_\alpha} \right)}$$

Esta ecuación debe resolverse por aproximaciones sucesivas, debido a que el coeficiente de seguridad  $F$  y la cantidad  $M_\alpha$  aparecen explícitamente en el segundo término de la expresión. Más aún, el valor de  $F$  depende de  $\bar{r}$ . Como la primera aproximación, se puede suponer igual a 1. Teniendo en cuenta que el valor de  $F$  determinado de esta manera se refiere sólo a un círculo tentativo, los cálculos deben repetirse para otros círculos hasta obtener el valor mínimo de  $F$ .

Para la mayoría de los problemas prácticos que involucran superficies de deslizam

miento no circulares, la hipótesis de que  $\alpha$  es igual a cero, conduce a resultados suficientemente exactos.

## CAPITULO IV

### SOLUCIONES PRACTICAS

Existen muchos suelos que en su estado natural no son adecuados para la construcción por no reunir los requisitos especificados. En estos casos, el ingeniero deberá tomar una de las tres decisiones siguientes:

- Aceptar el material tal como está y efectuar el diseño de acuerdo con las restricciones impuestas por la calidad del material.
- Remover y desechar el suelo del lugar y sustituirlo por un suelo de características adecuadas.
- Alterar o cambiar las propiedades del material existente de tal manera que se obtenga un material que reúna en mejor forma los requisitos impuestos, o cuando menos que la calidad obtenida sea adecuada.

Algunas de las soluciones al problema de estabilidad de taludes cuando se acepta el material como está, son las siguientes:

#### IV.1 Métodos de elusión:

Indiscutiblemente constituyen los medios más seguros - para eliminar los problemas derivados de deslizamientos - y fallas, pero no siempre se pueden utilizar. En otras - ocasiones se podrán emplear sólo parcialmente, en el - sentido de que no se puede evitar por completo una zona inestable, pero que un ligero cambio de alineamiento haga posible eludir su peor parte o mucha de la longitud - de la obra dentro de la zona.

Uno de los problemas que mejor responden a la aplica-- ción de estos métodos es el cruzamiento de formaciones - inclinadas en suelos de roca, con echado desfavorable a la vía; en estos casos, cambios pequeños de alineamien- to horizontal pueden llevar a zonas mucho menos peligro sas o inocuas y la elevación de la rasante puede reducir mucho los problemas. Si un lado de un valle tiene echa- do desfavorable, es muy probable que el otro lado lo ten- ga incluso favorable.

#### IV.2 Tender taludes:

A primera vista quizá pudiera pensarse que esta solución sea la más ovbia y sencilla en la práctica. Sin embargo, ha de tomarse con el debido cuidado desde el punto de vista teórico y muchas veces es irrealizable prácticamente hablando.

Si el terreno constituyente del talud es predominantemente fraccionante, la solución es la indicada, pues según se vió, la estabilidad de estos suelos es fundamentalmente cuestión de inclinación en el talud; tendiendo este convenientemente, se adquiere la estabilidad deseada.

En suelos cohesivos por el contrario, la estabilidad del talud está condicionada sobre todo por la altura del mismo y la ganancia de tender el talud es siempre escasa y, en ocasiones nula.

En suelos con cohesión y fricción, el tender el talud producirá un aumento en la estabilidad general.

Por otra parte, muchos requisitos prácticos, tales como invasión de zonas urbanas, condiciones económicas emanadas del movimiento de grandes volúmenes de tierra, --

etc., hacen imposible al proyectista el pensar en tender los taludes en los terraplanes, bordos, cortes y demás obras similares, en gran cantidad de casos prácticos.

#### IV.3 Empleo de bermas laterales y frontales:

Se denomina "Berma" a masas generalmente del mismo material que el propio talud, que se colocan adecuadamente en el lado exterior del mismo a fin de aumentar su estabilidad. En la Fig. 21 se muestra un esquema de una de estas estructuras.

En general, una berma produce un incremento en la estabilidad por dos motivos. Uno, por su propio peso, en la parte que queda hacia fuera de la vertical que pasa por el centro del círculo de falla, disminuyendo el momento motor, (Parte BCEF de la Fig. 21) y otro, que aumenta el momento resistente, por el incremento en la longitud del arco de falla por efecto de la propia berma.

Otro efecto importante de las bermas, a veces de gran utilidad, estriba en la redistribución de esfuerzos cortantes que su presencia produce en el terreno de cimenta--

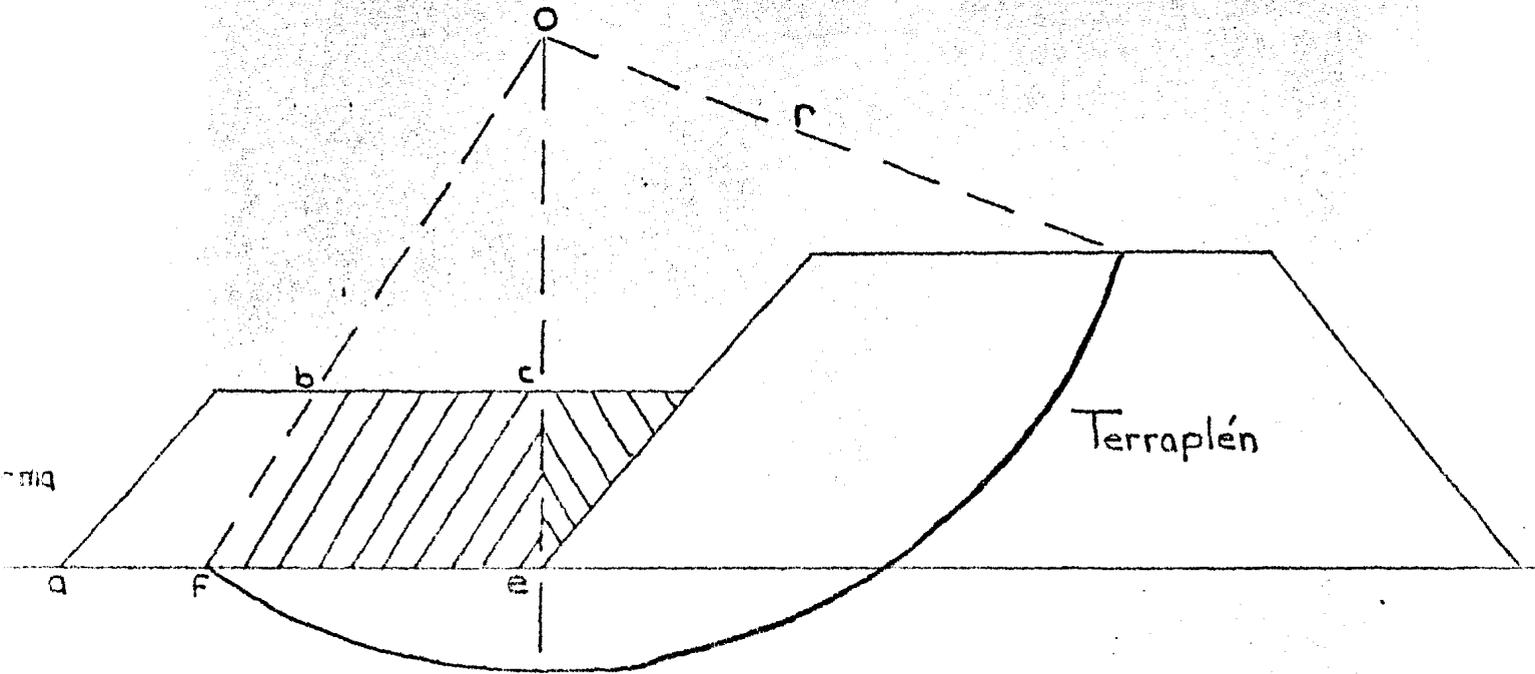


Fig. 21.- La figura muestra la colaboración de la berma en el momento resistente (volumen del bloque f b c e).

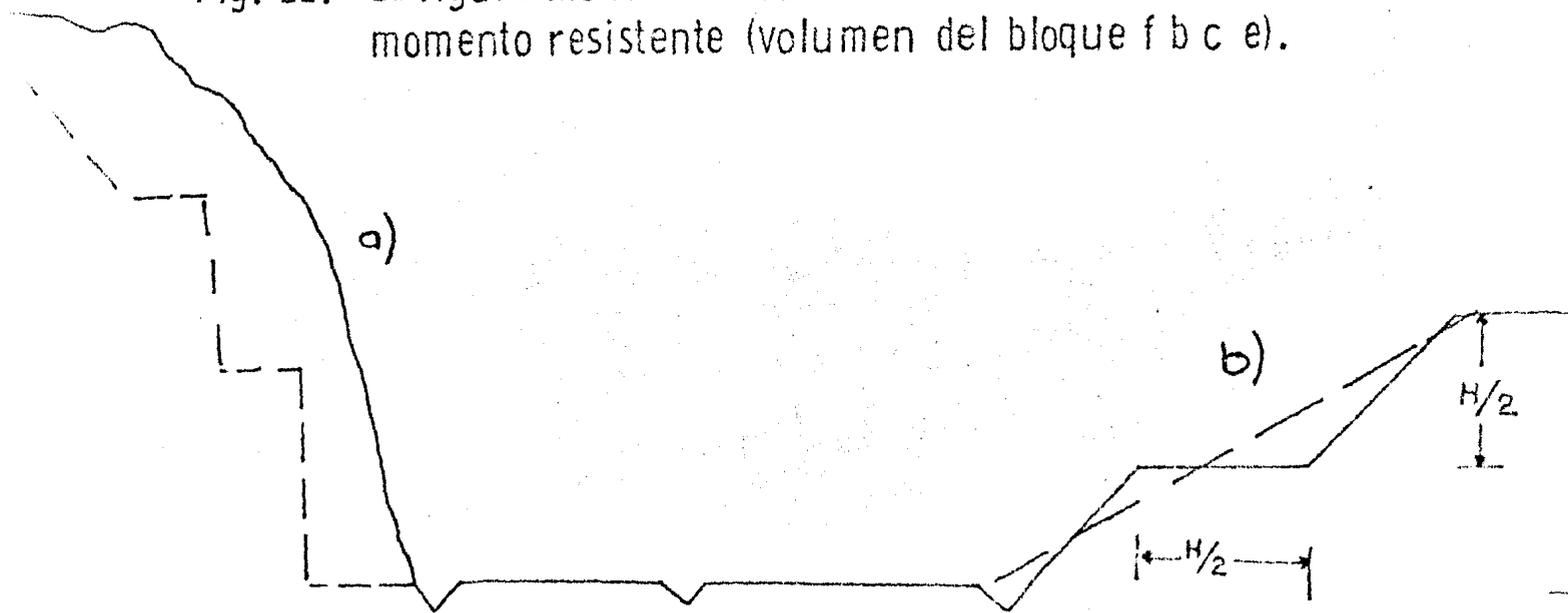


Fig. 22.- La figura muestra un escalonamiento en los taludes.  
a) Escalonamiento en material cohesivo.  
b) Escalonamiento en suelo con resistencia friccionante.

ción. En efecto, en ciertas zonas de éste se producen - concentraciones de tales esfuerzos, que pueden ser muy perjudiciales, sobre todo en terrenos arcillosos altamente sensibles; la presencia de la berma hace que la distribución de esfuerzos sea más favorable y que un mayor volumen de terreno de cimentación coopere a resistir tales esfuerzos.

En los cálculos prácticos ha de tenerse en cuenta que la presencia de la berma modifica la ubicación de la superficie de falla crítica, por lo que su colocación exige un nuevo cálculo de la estabilidad del nuevo talud, protegido por la berma. La experiencia ha demostrado que es una buena base para los tanteos, el suponer un ancho de berma del orden de la mitad de la base del terraplén y una altura tal que el peso de la berma dé un momento igual al requerido para alcanzar en el talud original el factor de seguridad deseado. A partir de este principio, se procederá por tanteos, hasta fijar la berma mínima que cumpla su cometido.

#### IV.4 Escalonamiento de taludes:

El escalonamiento de taludes constituye una solución si milar a la de las bermas.

La Fig. 22 muestra dos escalonamientos típicos, uno en suelos puramente cohesivos y otro en suelos con resistencia cohesiva y friccionante.

Puede verse como en el caso del escalonamiento en arcilla, lo que se busca es transformar el talud en una combinación de varios otros de altura menor, pues en este tipo de suelos, éste es el factor determinante en la estabilidad. Por ello los escalones deberán tener una terraza suficien temente ancha como para que puedan funcionar prácticamente como taludes independientes. En el caso de taludes en suelos cohesivos-friccionantes, el escalonamiento se hace sobre todo para provocar un abatimiento del talud; recoger caídos y coleccionar agua son sus funciones secundarias, pero a veces muy importantes, que se asignan también a los escalonamientos.

El escalonamiento queda definido por el ancho de los escalones, la distancia vertical entre ellos y por el ángu-

lo de los taludes intermedios.

El que los taludes de los respectivos escalones sean paralelos o se construyan con inclinación variable, dependerá mucho de la condición del material constitutivo del corte. Escalones de inclinaciones variables son convenientes cuando el material tiene una capa superior alterada, pero su condición mejora claramente con la profundidad.

Es importante la función que pueden cumplir los escalones para proteger el corte contra la erosión del agua superficial, pues reducen la velocidad ladera abajo y el gasto de escurrimiento. Para ello es preciso que los escalones estén adecuadamente conformados; la mayor parte de las veces basta que el escalón tenga una ligera inclinación hacia el corte, pero en terrenos muy erosionables - pudiera llegar a convenir que se invirtiera su inclinación, haciéndola hacia la ladera y construyendo una cuneta impermeable en esa parte interna, que garantice la rápida eliminación de las aguas.

No existen reglas fijas para proyectar el escalonamiento -

de un corte y éste deberá ser propuesto para cada caso particular.

#### IV.5 Empleo de estructuras de retención:

El uso de muros de retención es muy común para corregir deslizamientos después de que han ocurrido o para prevenirlos en zonas que sean de temer. De hecho, su principal campo de aplicación está en la prevención.

El funcionamiento mecánico de esta solución es claro y probablemente no necesita mayor abundamiento; sin embargo, los resultados de su empleo han sido decepcionantes en muchos casos, razón por la cual conviene comentar algunos aspectos de su uso.

En primer lugar, debe comprenderse que la estructura de retención ha de contener a la superficie de falla formada o por formarse; si ésta contiene el muro, el efecto de éste será nulo en la estabilidad general. Lo anterior -- lleva con frecuencia a muros muy altos, que han de enterrarse mucho en el terreno con la consiguiente eleva--

ción del costo de la solución.

Otra fuente común del mal funcionamiento ha sido el descuido del drenaje de la propia estructura de retención.

Si este es siempre de fundamental importancia, resulta vital, por razones obvias, cuando el muro se relaciona con problemas de estabilidad de taludes.

Se debe tener en cuenta que una estructura de retención de costo razonable no incrementa demasiado la resistencia al deslizamiento del conjunto; si las fuerzas que tienden a producir la falla exceden poco a las fuerzas resistentes, la construcción del muro puede ser apropiada, pero si el desequilibrio es fuerte, lo más probable es que el muro no pase para crear la seguridad que se requiere.

Las estructuras de retención tienen la ventaja general de exigir poco espacio para su erección. El volumen de la excavación para su cimentación depende mucho de la naturaleza del suelo existente en el lugar y ésta, por cierto, es una de las circunstancias que con más cuidado se deben sopesar antes de decidir la utilización de la

solución que se comenta, pues un terreno de cimentación débil puede producir movimientos indeseables en el muro, los que en combinación con los propios de la falla pueden con facilidad llegar a generar situaciones incontrolables.

Uno de los usos más comunes de los muros de retención para estabilizar taludes, es el que se hace cuando no hay espacio suficiente para pensar en el abatimiento, lo cual es una situación no rara en terraplenes.

Dentro de este grupo se pueden mencionar algunos métodos de recubrimiento que incrementan la estabilidad del talud a base de proteger los materiales contra efectos de erosión e intemperismos. En esta línea de acción quedan comprendidos los recubrimientos con mampostería seca, concreto lanzado, losas delgadas de concreto, riegos asfálticos, etc. Merecen comentarios las soluciones a base de riesgos de recubrimiento, (asfálticos, concretos lanzados, etc.) que con frecuencia han fracasado por haberse hecho sin ninguna consideración del flujo de agua en el cuerpo del talud.

Si el agua se acumula tras la película que se coloca, se rompe la unión entre ésta y el material y la solución -- falla por desprendimiento.

Respondiendo a criterios similares, se usan mallas de -- acero o de plástico para detener derrumbes y caídos. La malla se ancla en la corona del corte y se sujeta al talud de éste con grapas o anclaje.

#### IV.6 Empleo de vegetación.

Se trata ahora de un método preventivo y correctivo de - fallas por erosión. Los movimientos de tierra que acompañan a la construcción de cortes y terraplenes producen inevitablemente una destrucción muy indeseable de la - cobertura vegetal, dejando a los suelos expuestos al ataque de agua superficial y vientos. Se acepta que la vege- tación cumple con dos funciones importantes; en primer lugar, disminuye el contenido de agua en la parte supe- rior y, en segundo, da consistencia a esa parte por el en- tramado mecánico de sus raíces. Comoquiera que las - plantas o el pasto toman el agua que necesitan del sue-

lo en que crecen, se pueden plantear varios criterios para seleccionar el tipo más conveniente en un caso dado; desde luego, el uso de plantas propias de la región será en principio recomendable y evitará fracasos posibles en la adaptación al ambiente de especies importadas.

La experiencia ha probado que es más efectivo para defender taludes, la plantación continua de pastos y plantas herbáceas, en vez de plantación de matas o áreas aisladas. Comoquiera que el costo de ambas soluciones también es diferente, la actitud del ingeniero debe quedar condicionada a la existencia o ausencia en la región.

Es muy importante el efecto del pasto para evitar la formación de grietas de contracción en los suelos que estarán expuestos de no existir tal cobertura.

IV.7 Remover y desechar el suelo del lugar y sustituirlo por un soporte de características adecuadas.

Se trata ahora de colocar como material de terraplén, suelos de peso específico bajo, que por lo tanto den bajos mo

mentos motores, el tezontle, de origen volcánico, con peso específico del orden de 1 a 1.2 Ton/m<sup>3</sup> ha sido muy empleado para este fin. Otras soluciones tales como la substitución de parte del terraplén, con tubos, cajones de concreto hueco, etc., en general resultan muy costosos y por ello su uso ha sido muy limitado.

#### IV.8 Alteración o cambio de las propiedades del material existente:

Las propiedades de los suelos se pueden alterar de muchas formas como puede ser: por medios mecánicos, drenaje, medios eléctricos, cambios de temperaturas o adición de agentes estabilizantes.

Debe tenerse en cuenta que debido a la gran variedad de suelos, cada método resulta aplicable solamente a un número limitado de ellos. Desafortunadamente, en unos cuantos metros podemos tener variabilidad en los suelos, de tal manera que aplicando un cierto sistema de estabilización, éste puede no ser efectivo para todos los suelos encontrados y la elección del tipo de estabilización estará

gobernada por el número y tipo, así como la extensión de los suelos en los que el tipo de estabilización sea efectivo. También es indispensable reconocer que la estabilización no es una herramienta mágica que nos ayude a mejorar todas las propiedades de un suelo. Por consiguiente, se debe tener una clara apreciación de las propiedades que se deseen mejorar, pues este requisito específico es un elemento muy importante para tomar la decisión correcta, acerca de la conveniencia de la estabilización.

Entre las principales propiedades de un suelo que pueden interesar a un ingeniero, podemos contar a las siguientes:

- Estabilidad volumétrica.
- Resistencia mecánica.

Permeabilidad.

Como se verá a continuación, existen tratamientos mediante los cuales se pueden mejorar varias de estas propie

dades en forma simultánea. No debe pensarse en el uso de la estabilización solamente como una medida correctiva, sino también como una medida preventiva o de seguridad contra condiciones adversas que se desarrollen durante la construcción o durante la vida de la estructura.

#### IV.8.1 Estabilidad volumétrica:

Muchos suelos se expanden y se contraen con los cambios de humedad, los cuales se pueden presentar en forma rápida o acompañando a las variaciones estacionales. Ahora bien, si las presiones de expansión que se desarrollan debido a un incremento en la humedad no se controlan en alguna forma, estas presiones pueden provocar la falla del talud, por lo cual es de vital importancia detectar a los suelos expansivos, su composición y el tratamiento más adecuado para evitar lo anterior.

Actualmente, las soluciones para evitar cambios volumétricos en suelos expansivos consisten en

introducir humedad al suelo en forma periódica, aplicar cargas que equilibren la presión de expansión, utilizar membranas impermeables y, en el caso de terraplenes, apoyarlos a profundidades tales, que no se registre variación estacional en la humedad. Otro medio podría consistir en modificar a la arcilla expansiva, transformándola en una masa rígida o granular cuyas partículas estén lo suficientemente ligadas para resistir la presión expansiva interna de la arcilla, lo cual puede lograrse por medios químicos o térmicos. En estos casos, cuando la capa a estabilizar sea pequeña, deberá tenerse en cuenta que el suelo subyacente es aún susceptible de expandirse, pero tales movimientos podrían tolerarse siempre y cuando la capa estabilizada se mueva en forma uniforme.

Algunas veces se puede aumentar la impermeabilidad de un suelo y por ende reducir la velocidad de los cambios volumétricos en suelos expansivos,

compactándolos a pesos volumétricos altos, pero debe tenerse presente que la humedad de la compactación juega también un papel muy importante en el fenómeno de los cambios volumétricos, - pues si bien es cierto que una arcilla altamente densificada ofrece una alta impermeabilización; - existe también la contingencia de que una vez - que dicha arcilla se sature, alcanzará presiones de expansión más altas a medida que se haya compactado con menor humedad, por tanto, es conveniente que cuando se adopte este tipo de solución se tenga en cuenta también a las variaciones estacionales para comprobar así, si la impermeabilidad lograda hará que el material no se sature durante el tiempo de lluvias.

#### IV.8.2 Resistencia mecánica:

Es del dominio común que la resistencia de los suelos, salvo algunas excepciones, es en general más baja cuando éstos se encuentran húmedos.

Los suelos arcillosos al secarse alcanzan grandes resistencias, teniéndose inclusive la condición más alta de resistencia cuando se calientan a temperaturas muy elevadas como sucede en la fabricación de tabiques y ladrillos. Algunas veces sin embargo, la resistencia de un suelo arcilloso se ve disminuída por la aparición de grietas de tensión, las cuales provocan que el comportamiento del material sea el de un suelo friccionante que puede tener menor resistencia que si se considera como cohesivo a humedades mayores.

Debe sin embargo, tenerse muy presente que en general el agua ablanda a los suelos cohesivos, razón que obliga a que cuando se quiera tener una resistencia que permanezca con el tiempo, en suelos arcillosos se propicie el edecuado drenaje.

El drenaje de un suelo hace que se reduzca la cantidad y/o presión en el agua intersticial, lo -

que suele permitir el aumento del peso volumétrico de un suelo y, de esta manera, mejorar su resistencia. Se suelen utilizar drenes de arena verticales conjuntamente con la precarga para provocar una rápida consolidación.

#### IV.8.3 Permeabilidad:

En los suelos la permeabilidad se plantea, en términos generales, en dos problemas básicos, como lo es el relacionado con la disipación de las presiones de poro y, el relacionado con el flujo del agua a través del suelo. El tener presiones de poro expansivas puede originar deslizamientos en terracerías y el flujo de agua puede originar tubificaciones y arrastres.

Salvo el caso especial de las presas de tierra, en donde el flujo es un factor inevitable, cuya presencia siempre ha de tomarse en cuenta, en la mayoría de las obras de ingeniería resulta más económico proyectar obras de drenaje que elimi

nen filtraciones y flujo, que proyectar los taludes para soportar esta condición tan desfavorable. Las estructuras comunes, tales como cunetas, -contracunetas, alcantarillas, etc., debidamente-proyectadas y construídas, han demostrado hoy -ser indispensables y no es buena la técnica in- -genieril que regatee inversión o esfuerzos en -esta dirección. En otras ocasiones será preciso pensar en estructuras especiales del tipo de pan-tallas de drenes protectores, tuberías perforadas que penetren convenientemente en la masa de -suelo y otras muchas.

## CONCLUSIONES:

Al hablarse de la estabilidad de un talud, debe hacerse en términos de probabilidad, ya que por la naturaleza de los materiales con que se trabaja no se puede tener plena seguridad de los resultados.

Con esto se intuye que más que aplicar ciegamente las fórmulas y métodos existentes, deberá tenerse plena conciencia del problema, lo cual se logra con detenidas observaciones en el sitio de la obra, de las distintas características tanto físicas como mecánicas que intervengan en el problema y el empleo del sentido común.

## Bibliografía.

B. P. Krynine - W. R. Judd - Principios de Geología y Geotécnica - para Ingenieros - Capítulo 17. Desprendimientos de Tierra y -- Otros Desplazamientos de la Corteza - EDICIONES OMEGA, S.A. Barcelona España 1975.

Alfonso Rico y Hermilo del Castillo - La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres - Vol. I, Capítulo 6. Estabilidad de Taludes. EDITORIAL LIMUSA, S.A. México 1981.

Karl Terzaghi - Ralph B. Peck - Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica - Capítulo 8. Empuje de Tierra y Estabilidad de Taludes. EDITORIAL EL ATENEO, S.A. España 1980.

Juárez Badillo y Rico Rodríguez - Mecánica de Suelos Tomo II - Capítulo V, Estabilidad de Taludes - EDITORIAL LIMUSA, S.A. México 1979.

Carlos Fernández Loaiza - Mejoramiento y Estabilización de Suelos - EDITORIAL LIMUSA, S.A. 1982.

D. V. Deere y F. D. Patton - Cuarto Congreso Panamericano de Mecánica de Suelos - University of Illinois, Urbana, Illinois, U.S.A. Traducido del Inglés por Alberto S. Nieto.

Germán R. Cujar Chamorro - Estabilidad de Taludes Naturales en Arcillas - Fac. de Ingeniería, División de Estudios de Postgrado, Sección de Mecánica de Suelos. - U.N.A.M. - México 1980.