

## CAPÍTULO 3

### GUÍA PARA IDENTIFICAR PROBLEMAS DE DESLIZAMIENTOS

En este capítulo se establece una metodología para detectar y prevenir posibles problemas en áreas propensas a deslizamientos mediante:

1. la identificación de los mecanismos de falla más comunes en los distintos tipos de materiales geológicos;
2. el establecimiento de criterios para la recolección de información;
3. la búsqueda e interpretación de efectos claves para identificar la posible inestabilidad de los taludes.

Adicionalmente se presentan algunas de las medidas correctivas comúnmente utilizadas para lograr la estabilización de taludes fallados.

#### CLASIFICACIÓN DEL TIPO DE FALLAS DE TALUDES

Este capítulo presenta una clasificación de tipos de falla de taludes basada en el reconocimiento de los factores geológicos que condicionan la falla. Los deslizamientos de taludes ocurren de muchas maneras y aún persiste cierto grado de incertidumbre en su predictibilidad, rapidez de ocurrencia y área afectada. Sin embargo, existen ciertos patrones que ayudan a identificar y reconocer áreas potenciales de fallas, lo cual permite el tratamiento del talud para eliminar o reducir a un mínimo el riesgo de falla.

En el cuadro 3.1 se presenta una clasificación de fallas de taludes adaptada de Hunt (1984).

#### Desprendimientos

Son fallas repentinas de taludes verticales o casi verticales que producen el desprendimiento de un bloque o múltiples bloques que descienden en caída libre (figura 3.1). La volcadura de los bloques generalmente desencadena un desprendimiento (figura 3.2).

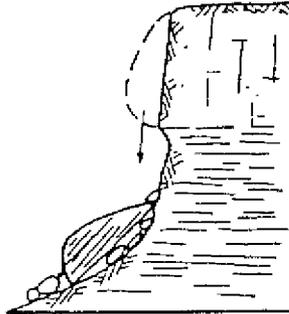
En suelos, los desprendimientos son causados por socavación de taludes debido a la acción del hombre o erosión de quebradas. En macizos rocosos son causados por socavación debido a la erosión. En algunos casos los desprendimientos son el resultado de meteorización diferencial.

**Cuadro 3.1**  
**Clasificación de fallas**

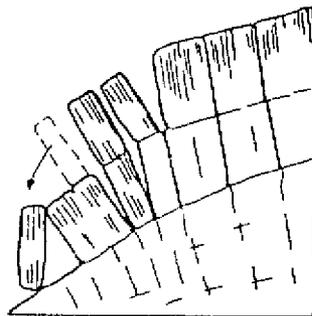
<b>Tipo de falla</b>	<b>Forma</b>	<b>Definición</b>
Desprendimientos	Caída libre Volcadura	Desprendimiento repentino de uno o más bloques de suelo o roca que descienden en caída libre. Caída de un bloque de roca con respecto a un pivote ubicado debajo de su centro de gravedad.
Derrumbes	Planar Rotacional Desparramamiento lateral Deslizamiento de escombros	Movimiento lento o rápido de un bloque de suelo o roca a lo largo de una superficie de falla plana. Movimiento relativamente lento de una masa de suelo, roca o una combinación de los dos a lo largo de una superficie curva de falla bien definida. Movimiento de diferentes bloques de suelo con desplazamientos distintos. Mezcla de suelo y pedazos de roca moviéndose a lo largo de una superficie de roca planar.
Avalanchas	De roca o escombros	Movimiento rápido de una masa incoherente de escombros de roca o suelo-roca donde no se distingue la estructura original del material.
Flujo	De escombros	Suelo o suelo-roca moviéndose como un fluido viscoso, desplazándose usualmente hasta distancias mucho mayores de la falla. Usualmente originado por exceso de presiones de poros.
Repteo		Movimiento lento e imperceptible talud abajo de una masa de suelo o suelo-roca

Los desprendimientos o caídas son relevantes desde el punto de vista de la ingeniería porque la caída de uno o varios bloques puede ocasionar daños a estructuras o a otros taludes que se encuentren en la parte inferior y podría originar una destrucción masiva.

Los desprendimientos se producen comúnmente en taludes verticales o casi verticales en suelos débiles a moderadamente fuertes y en macizos rocosos fracturados. Generalmente, antes de la falla ocurre un desplazamiento, el cual puede ser identificado por la presencia de grietas de tensión.



**Figura 3.1**  
**Desprendimiento de bloques**



**Figura 3.2**  
**Volcadura de bloques**

## Derrumbes

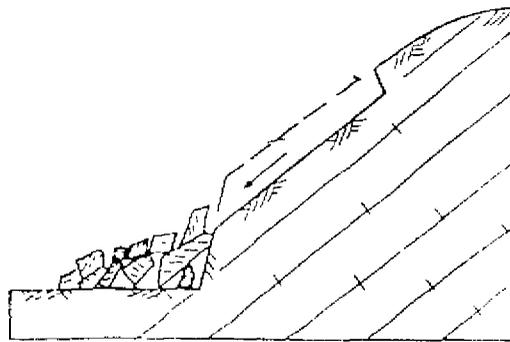
Los derrumbes se encuentran asociados a fallas en suelos y rocas, y de acuerdo con la forma de la superficie de falla se subdividen en rotacionales y planares.

### – *Derrumbes planares*

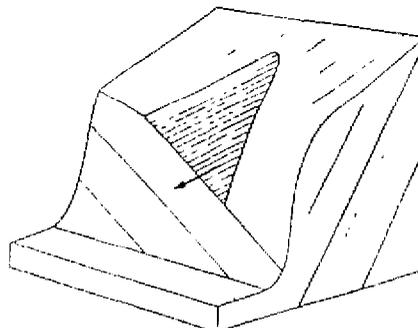
Los derrumbes planares consisten en el movimiento de un bloque (o bloques) de suelo o roca a lo largo de una superficie de falla plana bien definida. Estos derrumbes pueden ocurrir lenta o rápidamente.

Los deslizamientos planares en macizos rocosos consisten en el deslizamiento como una unidad o unidades (bloques) talud abajo, a lo largo de una o más superficies planas (figura 3.3). También se puede generar una falla de cuña a lo largo de la intersección de dos planos, consistente de uno o varios bloques de pequeño a gran tamaño (figura 3.4).

Los deslizamientos en bloque pueden ser destructivos especialmente en regiones montañosas donde los deslizamientos masivos de roca resultan desastrosos y en muchos casos no pueden ser prevenidos.



**Figura 3.3**  
**Deslizamiento planar en macizo rocoso**



**Figura 3.4**  
**Deslizamiento en forma de cuña**

Los deslizamientos planares suelen ocurrir en:

- Rocas sedimentarias que tengan un buzamiento similar o menor a la inclinación de la cara del talud.
- Discontinuidades, tales como fallas, foliaciones o diaclasas que forman largos y continuos planos de debilidad que interceptan la superficie del talud.
- Intersección de diaclasas o discontinuidades que dan como resultado la falla de un bloque en forma de cuña.

En general, durante los períodos iniciales de la falla se generan grietas de tracción con un pequeño desplazamiento, luego se pueden observar escarpes frescos que dejan los bloques con posterioridad al movimiento. En algunos casos, este movimiento deja sin vegetación la zona deslizada y los escombros quedan expuestos al pie del talud.

- *Derrumbes rotacionales*

Los derrumbes rotacionales tienden a ocurrir lentamente en forma de cuchara y el material comienza a fallar por rotación a lo largo de una superficie cilíndrica; aparecen grietas en la cresta del área inestable y abombamientos al pie de la masa deslizante (figura 3.5). Al finalizar, la masa se desplaza sustancialmente y deja un escarpe en la cresta.

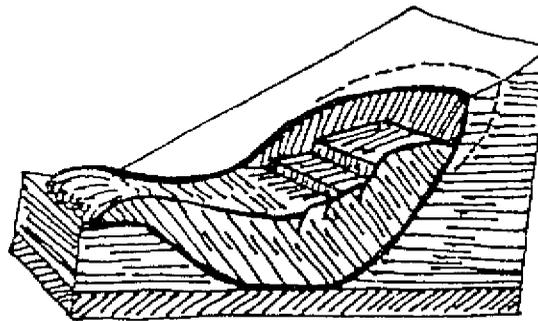


Figura 3.5  
Derrumbe rotacional

La principal causa de este tipo de falla es el incremento de la inclinación del talud, meteorización y fuerzas de filtración; sus consecuencias no son catastróficas, a pesar de que el movimiento puede causar severos daños a estructuras que se encuentren en la masa deslizante o sus alrededores. Cuando se presentan algunos signos tempranos de falla los taludes pueden ser estabilizados

En las etapas tempranas del deslizamiento se forman grietas de tensión, luego de la falla parcial se genera una serie de pequeños hundimientos y escarpes, y al momento de la falla total se pueden apreciar varios escarpes en la superficie además de grietas de tensión concéntricas y profundas, así como una gran masa de material incoherente al pie del talud.

– *Desparramamiento lateral y falla progresiva*

Los desparramamientos laterales son una forma de falla planar que ocurre en suelos y rocas. La masa se deforma a lo largo de una superficie plana que representa una zona débil, tal como lo ilustra la figura 3.6. Los bloques se separan progresivamente por tensión y retroceden.

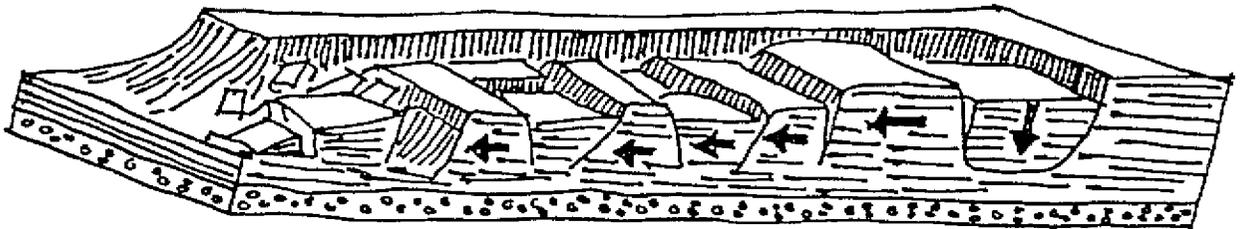


Figura 3.6  
Desparramamiento lateral

Este tipo de falla es común en valles de ríos y se asocia también con arcillas firmes y duras fisuradas, lutitas y estratos con buzamiento horizontal y una zona continua de debilidad. También se presenta en coluvios con pendientes suaves que se encuentran sobre suelos residuales o rocas.

Los desparramamientos laterales pueden activarse repentinamente por eventos sísmicos. Sin embargo, bajo acciones gravitacionales se generan grietas de tensión. Durante la falla progresiva, las grietas de tensión se abren y los escarpes forman grandes bloques.

– *Deslizamiento de escombros*

En los deslizamientos de escombros, una masa de suelo o mezcla de suelo y fragmentos de roca se mueven como una unidad a lo largo de superficies planas con alta inclinación. Estos deslizamientos ocurren de manera progresiva y pueden convertirse en avalanchas o flujos. Las principales causas de deslizamientos de escombros son el incremento de las fuerzas de filtración y la inclinación del talud. La ocurrencia de este tipo de deslizamiento es común en suelos residuales y depósitos coluviales que reposan sobre una superficie de roca.

## **Avalanchas**

Las avalanchas son el movimiento rápido de escombros, de suelo o de roca y puede o no comenzar con la ruptura a lo largo de una superficie de falla. Toda la vegetación, el suelo y la roca suelta pueden ser arrastrados.

Las principales causas de avalanchas son las altas fuerzas de filtración, alta pluviosidad, derretimiento de nieve, sismos o deslizamiento gradual de los estratos de roca. Las avalanchas ocurren de manera brusca sin previo aviso y generalmente son impredecibles. Los efectos pueden ser desastrosos y pueden sepultar extensas áreas al pie del talud.

Las avalanchas son características de zonas montañosas con pendientes muy inclinadas en suelos residuales donde la topografía causa concentración de la escorrentía. También se puede presentar en zonas de roca muy fracturada

## **Flujo de escombros**

Este tipo de falla es similar a las avalanchas, excepto que la cantidad de agua es mayor y por ello la masa fluye como lodo. La principal causa es el aporte de grandes lluvias y material suelto en la superficie.

## **Repteo**

El repteo consiste en un lento e imperceptible movimiento o deformación del material de un talud frente a bajos niveles de esfuerzos que generalmente afectan a las porciones más superficiales del talud, aunque también puede afectar a porciones profundas cuando existe un estrato poco resistente. El repteo es el resultado de la acción de fuerzas de filtración o gravitacionales y es un indicador de condiciones favorables para el deslizamiento.

El repteo es característico en materiales cohesivos y rocas blandas como lutitas y sales, en taludes moderadamente empinados a empinados.

Los rasgos característicos del repteo son la presencia de crestas paralelas y transversales a la máxima pendiente del talud y postes de cerca inclinados.

## **FACTORES QUE INFLUENCIAN LA ESTABILIDAD DE LOS TALUDES**

### **Antecedentes históricos**

Los deslizamientos en taludes ocurren de muchas maneras y existe cierto grado de incertidumbre en su predicción. Sin embargo, conocer los deslizamientos que han ocurrido en

el área de interés constituye un buen punto de partida para la detección y evaluación de potenciales deslizamientos en el futuro.

Para conocer los deslizamientos pasados se puede revisar diversas fuentes, tales como periódicos locales, revistas nacionales o internacionales especializadas en el tema, mapas de zonificación de casos de inestabilidad geológica, inventarios de riesgos geológicos, etc.

No siempre es posible conseguir documentación escrita de ocurrencias previas de deslizamientos, por lo que la información de los vecinos del sector -si los hay- constituye generalmente una valiosa fuente de información.

El tipo de información solicitada a los vecinos sería la descripción de deslizamientos previos en el área, el comportamiento de los taludes durante el período de lluvias, comportamiento durante eventos sísmicos, presencia de antiguas lagunas que se hayan secado, existencia de grietas en construcciones de la zona, grietas en el terreno, inclinación de postes, cercas o árboles con deformaciones, etc.

### **Geología de la región**

La topografía actual es el producto de millones de años de desarrollo y modificación a lo largo de diferentes procesos geológicos. Este proceso es continuo y los deslizamientos de taludes constituyen unos de los mecanismos de modificación (Schuster and Krizek 1976). La geología representa un factor primordial en la estabilidad de un talud y existen muchos factores geológicos que ilustran el potencial del deslizamiento de taludes

El relieve y la topografía están determinados por la geología del área, lo que permite estimar la susceptibilidad al movimiento en el nivel regional. En general, los deslizamientos pueden ocurrir en cualquier tipo de relieve si las condiciones están dadas, sin embargo, la experiencia de trabajar y observar distintos tipos de relieves ha demostrado que los deslizamientos son más comunes en ciertos tipos de relieves. A continuación se incluye una breve descripción de las características de estos relieves.

- *Taludes escarpados:* En terrenos escarpados los deslizamientos pueden ocurrir en cualquier tipo de material geológico (foto 3.1). Sin embargo, la causa más común de derrumbe en taludes escarpados es el deslizamiento a lo largo del contacto con la roca de suelos residuales o coluviales. El material meteorizado o suelto no puede mantener la misma pendiente que la roca, por ello, una fuerte lluvia o un corte al pie del talud pueden activar el deslizamiento de la masa suprayacente.
- *Áreas de concentración de drenaje y filtración:* Un estudio cuidadoso de la red de drenaje y áreas de concentración de agua es extremadamente importante. Es probable que ocurran filtraciones con el subsecuente deslizamiento en áreas debajo de

reservorios, canales de irrigación o depresiones con agua estancada. Es importante reconocer el peligro potencial de las áreas derivadas de drenaje superficial, especialmente en rocas porosas y fracturadas.



**Foto 3.1**  
**Deformación de una tubería de 60" de diámetro por deslizamiento**  
**debido a un corte al pie del talud**

- *Áreas de concentración de fracturas:* El movimiento de taludes puede estar estructuralmente condicionado por superficies débiles tales como fallas, diaclasas, planos de deposición y foliación. Estas estructuras pueden dividir un macizo rocoso en una serie de unidades individuales que pueden actuar independientemente una de la otra.

Por ello, el macizo rocoso no puede ser considerado como un medio continuo sino como una serie de bloques individuales; estos planos de debilidad facilitan el flujo de aguas y desarrollo de vegetación, lo cual debilita los bloques y reduce la resistencia al deslizamiento. Por lo tanto, se debe buscar cuidadosamente las áreas con pequeño espaciamiento de diaclasas, especialmente cuando estas se cruzan y dividen el macizo rocoso en pequeños bloques que lo hace más inestable.

### **Topografía y estabilidad**

Los mapas topográficos representan una excelente fuente de información para la detección de deslizamientos y, algunas veces, se puede identificar en ellos grandes áreas de deslizamiento. En los mapas topográficos, la escala y el intervalo de las curvas de nivel facilitan la identificación de los deslizamientos. Esta identificación se puede llevar a cabo mediante:

1. Características topográficas evidentes, por ejemplo, pendientes empinadas (curvas de nivel con poco espaciamiento) en el escarpe de un deslizamiento, topografía con pequeñas elevaciones o montículos dentro de la masa deslizante (curvas de nivel que siguen un patrón irregular y no simétrico con depresiones poco profundas), presencia de masa separada y características de flujo en la parte baja.
2. Curvas de nivel onduladas, vías locales dañadas con niveles desiguales y otros lineamientos superficiales tales como líneas de transmisión o cercas.
3. Movimientos menores o irregularidades en zonas de pendientes empinadas, acantilados, bancos, áreas de concentración de drenaje, etc.

La identificación de deslizamientos en mapas topográficos se verá ayudada por la escala y el intervalo de las curvas de nivel en el mapa.

### **Efecto de la resistencia del suelo y la pendiente del talud**

El suelo tiene dos comportamientos básicos ante la aplicación del esfuerzo cortante. Uno, a través de la fricción intergranular de las partículas que lo integran y la otra por medio de fuerzas que unen a las partículas entre sí. La primera se llama también condición drenada o a largo plazo y la segunda, condición no drenada o a corto plazo.

Los suelos estudiados generaron seis figuras simplificadas que brindan información preliminar acerca de la estabilidad de los taludes con comportamiento granular (figura 3.7) y con comportamiento cohesivo (figura 3.8).

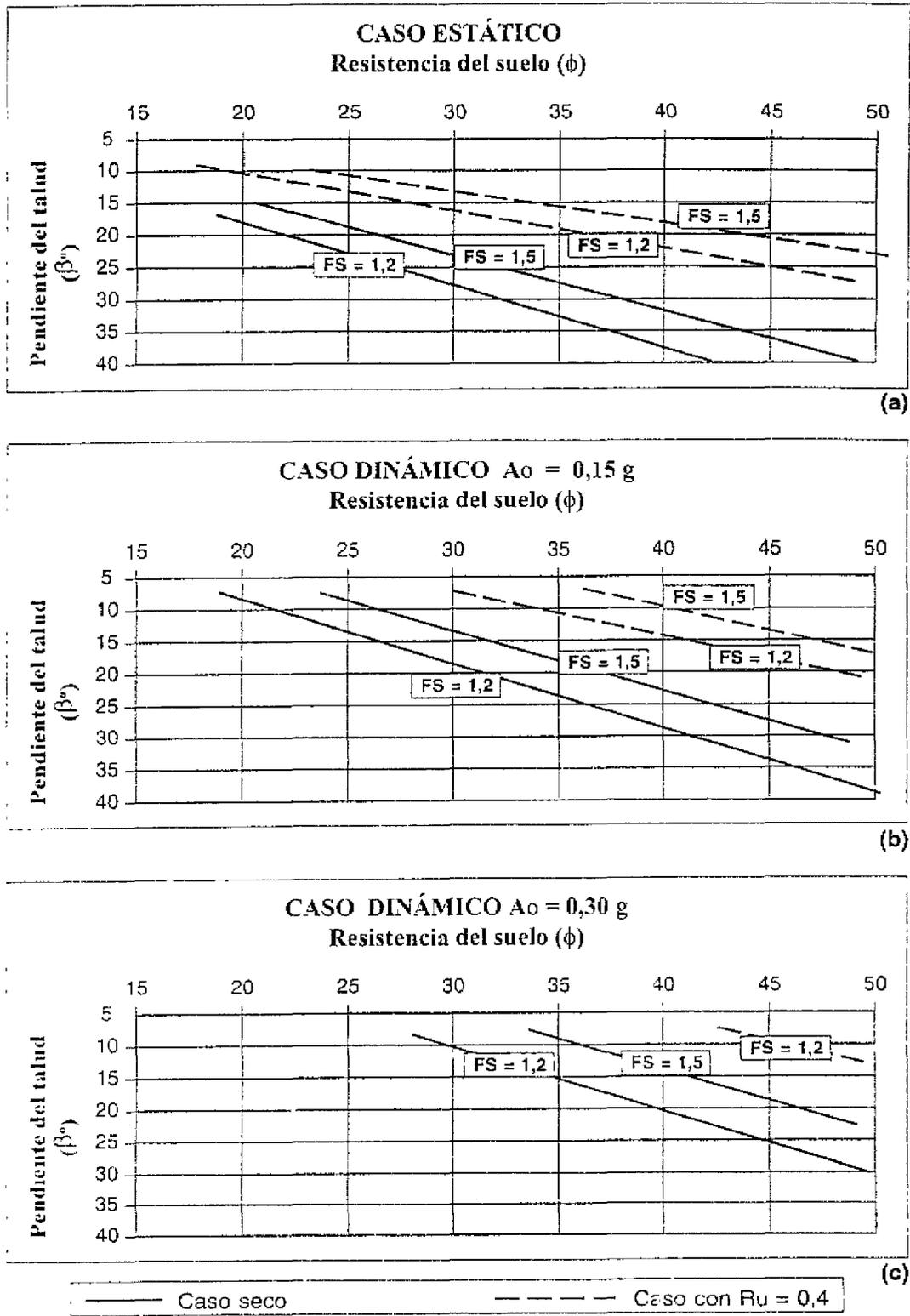
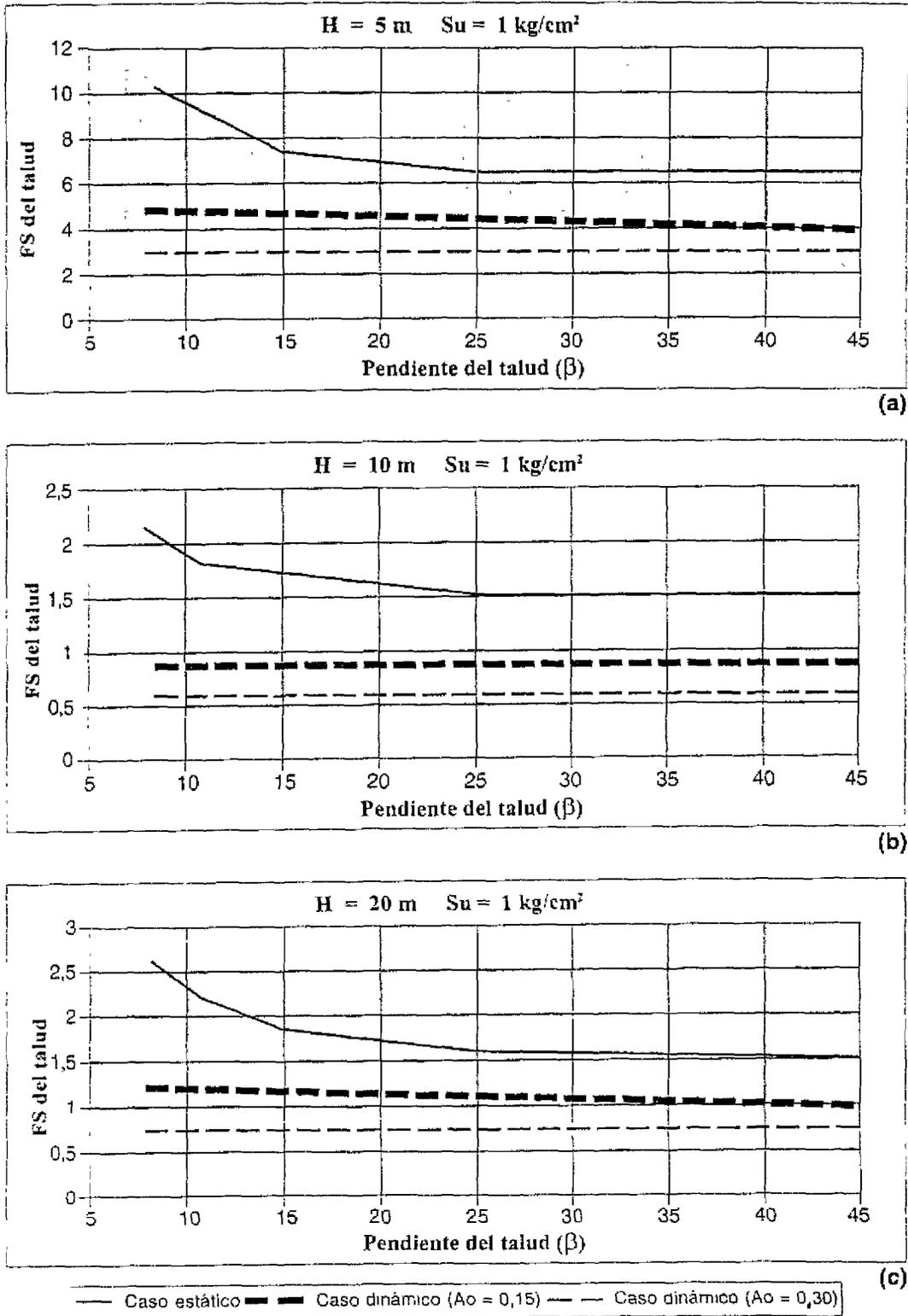


Figura 3.7  
Criterio de falla en taludes con comportamiento granular



**Figura 3.8**  
 Curvas de FS vs inclinación del talud para suelos con comportamiento cohesivo  $FS = FS \text{ de la fig. 3.7} \times S_u \text{ (kg/cm}^2\text{)}$

- *Suelos con comportamiento granular:* Cada uno de los gráficos de la figura 3.7 consiste en cuatro curvas que definen sectores de estabilidad para los casos seco (trazo continuo) y de alto grado de saturación (trazo punteado); estos sectores de estabilidad se basan en el factor de seguridad (FS).

El primer sector, ubicado debajo de las curvas del  $FS = 1,2$ , corresponde a combinaciones de la resistencia del suelo con la pendiente del talud que pueden originar situaciones de inestabilidad bajo la resistencia del suelo; en este caso viene dada por el ángulo de fricción del suelo,  $\phi$ .

El segundo sector, ubicado entre las curvas del  $FS = 1,2$  y  $1,5$ , corresponde a situaciones en las que se debe realizar un estudio más detallado e incorporar toda la información disponible sobre el suelo.

El tercer y último sector de estas figuras corresponden a los casos con bajo peligro de inestabilidad. La figura 3.7a toma en cuenta el caso estático y las figuras 3.7b y 3.7c los casos dinámicos con aceleraciones máximas  $A_0 = 0,15g$  y  $0,30g$ , respectivamente. Para todos los casos anteriores se utilizó un talud con una altura de 20 metros.

- *Suelos con comportamiento cohesivo.* La figura 3.8 muestra análisis simplificados para suelos con comportamiento cohesivo. Dado que en este tipo de suelos la altura del talud ( $H$ ) es un parámetro de relevancia, éste fue incorporado en el análisis. En el suelo puramente cohesivo la variación del parámetro de resistencia no drenada, ( $S_u$ ), es directamente proporcional al factor de seguridad y por lo tanto se decidió realizar el análisis para una resistencia de  $1 \text{ kg/cm}^2$ . El factor de seguridad obtenido podrá ser modificado multiplicándolo por un factor igual al que haya entre la resistencia del suelo en estudio y el utilizado en las figuras de este trabajo.

**Ejemplo:** Para evaluar la estabilidad de un corte reciente con inclinación de  $30^\circ$  de un talud arcilloso de 5 metros de altura y resistencia no drenada estimada de  $0,2 \text{ kg/cm}^2$ , se debe usar la figura de 5 metros de altura, es decir, la figura 3.8(a).

De esta solución se obtiene el valor del  $FS = 6,35$ , pero como la resistencia es 5 veces menor a la utilizada en la generación de las curvas, el FS realmente estimado para este caso será de  $6,35/5 = 1,27$ . Siguiendo el criterio utilizado en el suelo con comportamiento granular, sería recomendable hacer un estudio más detallado para este caso, ya que el FS hallado se encuentra entre los valores frontera.

Es importante destacar que el valor de la resistencia no drenada del suelo, ( $S_u$ ), se puede determinar mediante diferentes procedimientos, tales como el penetrómetro de bolsillo, la velería de campo, ensayos de compresión sin confinamiento y ensayos triaxiales. Cada uno de estos ensayos impone una condición distinta de esfuerzo en el suelo y, por lo tanto, la

resistencia obtenida también debería serlo. Este parámetro es afectado por el tamaño de la muestra, por lo que es recomendable realizar los ensayos con la mayor cantidad de material posible, sobre todo cuando se trata de arcillas preconsolidadas con tendencia a desarrollar discontinuidades dentro de su estructura.

Los resultados de las figuras 3.7 y 3.8 permiten al ingeniero tomar decisiones con mejor información acerca del riesgo de inestabilidad de taludes pero no representan un análisis riguroso del riesgo, ya que no se incorporan factores como las grietas de tensión y las superficies de falla preexistentes, las cuales deben ser investigadas si se quiere un análisis más detallado.

### **Pluviosidad**

La pluviosidad tiene un efecto primordial en la estabilidad de los taludes ya que influencia la forma, incidencia y magnitud de los deslizamientos. En suelos residuales, generalmente no saturados, el efecto acumulativo puede llegar a saturar el terreno y activar un deslizamiento.

Con respecto a la pluviosidad hay tres aspectos importantes:

- a) el ciclo climático en un período de años, por ejemplo, alta precipitación anual versus baja precipitación anual;
- b) la acumulación de pluviosidad en un año determinado en relación con la acumulación normal;
- c) intensidad de una tormenta específica.

Guidicini e Iwasa (1977) realizaron un estudio sobre la ocurrencia de deslizamientos en relación con la pluviosidad y establecieron el coeficiente del ciclo como parámetro fundamental que toma en cuenta la pluviosidad. El coeficiente del ciclo fue definido como la precipitación acumulada hasta el día de la falla en porcentaje del promedio de la precipitación anual. El estudio cubrió nueve áreas de la región montañosa costera de Brasil, la cual presenta un clima tropical caracterizado por una estación seca de junio hasta agosto y una estación húmeda desde enero hasta marzo.

Los resultados del estudio indican que la acumulación de precipitación causa un incremento en la saturación del terreno que eleva el nivel freático, por lo tanto, una tormenta durante la estación seca o al comienzo de la estación húmeda tendría un efecto menor en la estabilidad del talud que una tormenta de la misma intensidad el final de la estación húmeda.

### **Erosión**

La erosión puede ser causada por agentes naturales y humanos. Entre los agentes naturales se pueden incluir el agua de escorrentía, aguas subterráneas, olas, corrientes y viento.

La erosión por agentes humanos incluye cualquier actividad que permite un incremento de la velocidad del agua, especialmente en taludes sin protección, como la tala de árboles u otro tipo de vegetación que ayuda a fijar el suelo y mejorar la estabilidad del talud.

La erosión puede causar la pérdida de soporte de fundación de estructuras, pavimentos, rellenos y otras obras de ingeniería. En terrenos montañosos, incrementa la incidencia de taludes inestables y puede resultar en la pérdida de vías u otras estructuras.

La sedimentación y arrastre de aluviones son otros efectos importantes de la erosión que en los lagos o embalses incrementan la turbidez de las aguas y crean un peligro para la vida acuática, contaminan el agua potable y reducen la capacidad de almacenamiento de los embalses y por tanto su vida útil.

Existen ciertos procedimientos para controlar la erosión y sedimentación. En bancos de ríos y canales, la protección se puede proveer con estructuras de retención, revestimiento de concreto y cascajo. En taludes, la protección consiste en:

- a) sembrar vegetación de rápido crecimiento además de instalar un sistema de control del drenaje superficial;
- b) instalar fajinas en la dirección transversal del talud, las cuales se pueden sujetar con estacas;
- c) sellar las grietas superficiales con concreto, suelo o asfalto para prevenir la infiltración, lo cual reduce la erosión.

### **Licuefacción debido a acciones sísmicas**

La mayoría de las fallas de los taludes durante sismos se debe al fenómeno de licuefacción en suelos no-cohesivos, sin embargo, también se han observado fallas en suelos cohesivos durante algunos eventos sísmicos de gran magnitud.

La licuefacción es un fenómeno que consiste en una caída brusca de resistencia al corte de un suelo granular en condiciones no drenadas, la cual puede ser activada por la repetida aplicación de pequeños incrementos o decrementos de esfuerzos de corte inducidos por vibraciones del terreno asociadas con terremotos o explosiones. La pérdida de resistencia es de tal magnitud que momentáneamente el suelo alcanza la consistencia de un fluido pesado y se originan grandes deformaciones.