

# Instituto Tecnológico de Santo Domingo (INTEC)



Área de Ingeniería  
Geología

“Trabajo Práctico de Geología No. 3:  
Movimientos Gravitacionales”

Mario Bergés 01 - 0542

construaprende  
.com

Sección 02

**Fecha de entrega: 4 de Octubre de 2003**

**Prof. María Calzadilla**

Agosto - Octubre

Santo Domingo, Rep. Dom.

## **Movimientos Gravitacionales**

Son los movimientos de la roca y del material no consolidados, en respuesta a la atracción de la gravedad. El agua, el hielo y el viento son agentes geológicos de erosión. Aunque los medios de transporte son variados; entre los principales figuran los ríos.

Los agentes de estos procesos externos están impulsados fundamentalmente por dos fuerzas: la energía del Sol y la gravedad. Estos procesos actúan en sentido inverso a procesos internos que regeneran el relieve.

Son procesos dinámicos que constituyen el riesgo geológico más importante, junto con las inundaciones, de los relacionados con la geodinámica externa. El gran número de factores influyentes y la complejidad de sus tipologías y mecanismos de rotura hacen difícil su clasificación, así como el desarrollo de medidas de predicción encaminadas a evitar los catastróficos daños y pérdidas humanas que estos ocasionan.

## **Factores**

Son varias las causas que condicionan el modelado de las rocas y las distintas morfologías. Entre éstas podríamos destacar tres: la tectónica, la climatología y el tipo de roca.

Las fuerzas internas son las principales responsables de las formas a gran escala que se observan sobre la superficie del planeta, como cordilleras y depresiones. Aparece aquí la climatología influenciando los agentes geológicos externos que provocan erosión. En las regiones montañosas frías el hielo, en las regiones áridas el viento y por una y otra parte el agua, que es el principal agente modelador de las regiones templadas.

El movimiento de masas ocurre cuando el esfuerzo cortante supera la resistencia al corte del suelo. Esto puede ocurrir al aumentar el esfuerzo cortante (sismos, variaciones morfológicas desfavorables, etc.) o al disminuir la resistencia al corte del suelo (saturación, meteorización, etc.).

Los parámetros que influyen en la inestabilidad de las masas son:

- El tipo de material (clase de rocas, capa alterada y tipo de cobertura).
- Pendiente (gradiente, forma y longitud de las laderas).
- Condiciones hidrológicas (infiltración, permeabilidad, profundidad del agua subterránea y cantidad de agua).
- Procesos morfológicos (erosión fluvial e hídrica y movimientos masales).
- Parámetros externos (como la distribución de la pluviosidad, es decir, relación intensidad-período, la sismicidad y el vulcanismo).

La gravedad proporciona la energía para el movimiento pendiente abajo de las masas de suelo. No obstante el movimiento se favorece por la acción del agua, por la geometría de los depósitos y por la naturaleza de los materiales. De ahí que los procesos que influyen en la inestabilidad sean:

- Resecamiento del suelo. Si el exceso de agua provoca el deslizamiento, también la falta de agua. Al secarse el suelo, se contrae y se producen disyunciones perpendiculares a la dirección en que los vasos capilares van perdiendo agua. No se deben pavimentar los taludes para facilitarles el agua lluvia.
- Saturación del material con agua. No se promueve el movimiento por lubricación. La tensión superficial de la humedad da cierta cohesión al suelo, pero la fuerte lluvia obliga a la salida del aire de los poros destruyendo la tensión superficial y reduciendo la cohesión de la masa. Simultáneamente, con la saturación del suelo, el agua de los poros entra bajo presión y trata de apartar los granos individuales y unidades de roca, disminuyendo la fricción interna del material.
- Modificaciones por erosión. Porque altera la geometría del depósito, venciendo la pendiente crítica del talud o provocando la pérdida de su pata. También la deposición o sobrecarga de materiales erosionados interviene en la estabilidad de una masa al modificar la pendiente o al generar esfuerzos adicionales en su interior, que alteren la estabilidad de los materiales.
- Variaciones del material y otros. Como cambios en la naturaleza del suelo (por meteorización o por alteración natural o artificial de los materiales), esfuerzos dinámicos (sismos, tráfico, etc.), sobrecargas artificiales e intervención del hombre (talas, construcciones, etc.)

En las cabeceras receptoras de las cuencas es donde se suele producir un mayor movimiento por causas entre las que cabe mencionar las siguientes:

- Derrumbes o desprendimientos en taludes por influencia del agua o por movimientos sísmicos.
- Deslizamientos de masas de piedras o de suelos sueltos.
- Desplazamientos lentos o rápidos de rocas y tierras propios de suelos no cohesionados, o suelos donde las tensiones críticas de corte han sido superadas por las tensiones aplicadas.
- Movimientos lentos de arrastre de volúmenes importantes de material que pueden durar cientos de años.
- Movimientos muy rápidos de agua, tierras, cantos rodados, gravas, arenas, árboles, etc., durante una tormenta.

Las causas de la inestabilidad pueden ser intrínsecas, detonantes y contribuyentes.

Causas intrínsecas. Las causas intrínsecas suelen ser naturales y se relacionan con las aguas subterráneas, con los materiales, con la tectónica, con la topografía abrupta, etc. En la evaluación de la amenaza estas causas pueden configurar los factores de la susceptibilidad del material al movimiento masal.

En las causas intrínsecas hay que tener en cuenta los siguientes factores inherentes a los materiales:

- Factores relacionados con la composición y fábrica textural (como textura mineral, de diques que intruyen la roca).
- Factores relacionados con el estado de alteración de los materiales o de degradación mecánica.
- Factores relacionados con la actitud estructural, es decir, con la disposición de los materiales los cuales pueden estar orientados, favorable o desfavorablemente.
- Cambios en el estado inicial de los esfuerzos.

Causas detonantes. Las causas detonantes pueden ser naturales como la lluvia, el sismo (evaluado en términos de aceleración de la gravedad) y la erosión, o artificiales como cortes, llenos, deforestación, etc. En la evaluación de la amenaza estos se constituyen en factores detonantes.

En los detonantes hay que tener en cuenta el orden de las amenazas. Las amenazas de primer orden no son causadas por otras amenazas pero pueden ser detonantes de las de segundo orden. Las de tercer orden son causadas por las de primero o segundo orden. Estas son:

- Primer orden: sismos, huracanes, erupciones volcánicas y lluvias.
- Segundo orden: deslizamientos, maremotos, inundaciones, sequías.
- Tercer orden: aludes, avalanchas, flujos.

Causas contribuyentes. Las causas contribuyentes son similares a las causas detonantes o a las intrínsecas, pero su acción se limita simplemente a la anticipación del evento. Son aquellas que afectan de alguna manera las propiedades intrínsecas del sistema o que agravan el factor detonante del evento. Por ejemplo la remoción del soporte (natural o artificial), el sobre empinamiento (por acción hídrica), las sobrecargas (construcciones, saturación, deposiciones).

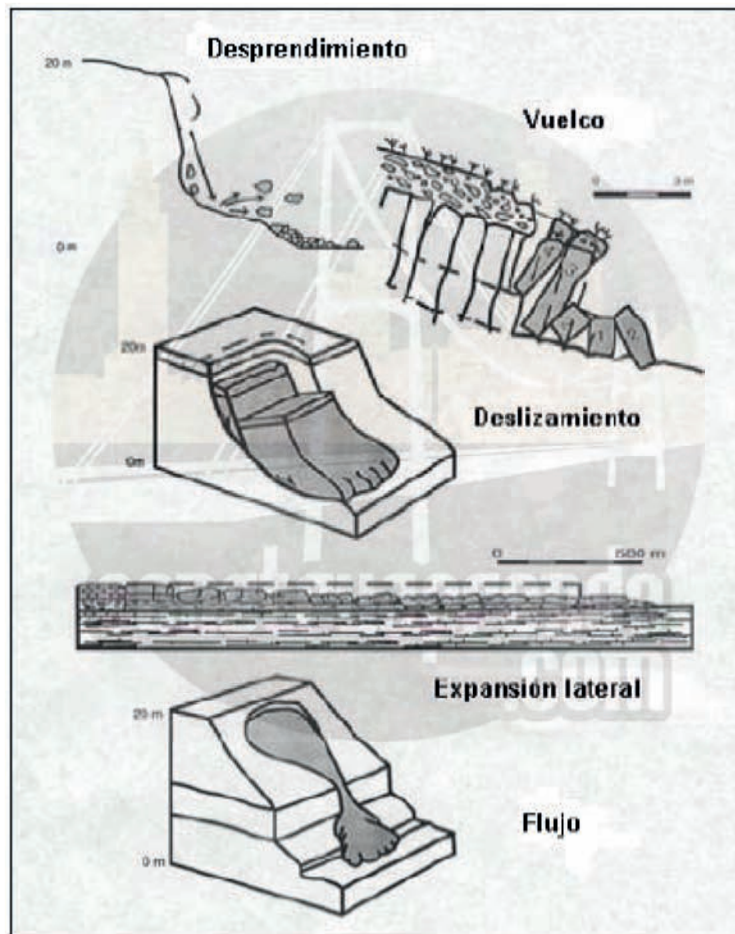
En la evaluación de las causas contribuyentes hay que tener en cuenta los siguientes factores:

- Factores relacionados con la composición de la roca.
- Factores relacionados con la degradabilidad de la roca.
- Factores relacionados con la estructura geológica.
- Factores por ambiente sismotectónico o volcánico.
- Factores antrópicos (sobrecargas, pérdida de soporte, manejo y alteración del drenaje, esfuerzos dinámicos, deforestación, mal uso y manejo del suelo).
- Factores climáticos (variaciones de la temperatura, máximas y mínimas, cantidad de lluvia, intensidad y distribución de las precipitaciones).

## Tipos de Movimientos Gravitacionales

Una primera aproximación, puede ser la de discriminar los flujos rápidos y los deslizamientos, es decir los fenómenos de transporte de masas y de desplazamiento de masas. El transporte de masas se da en avalanchas, flujos, fenómenos de escurrimiento y deyección de materiales. Los desplazamientos de masas, se dan en fenómenos de reptamiento, desprendimientos, deslizamientos, subsidencias (cavernas de erosión y disolución) y propagación lateral de materiales.

Una segunda aproximación es la clasificación de los movimientos por su rapidez. Se consideran movimientos rápidos los deslizamientos de tierra, flujos de lodo, flujos de tierra y desarrollo de taludes. Se consideran movimientos lentos el resbalamiento, la solifluxión y los glaciares de roca.



<b>Tipo de falla</b>	<b>Forma</b>	<b>Definición</b>
Desprendimientos	Caída libre	Desprendimiento repentino de uno o más bloques de suelo o roca que descienden en caída libre.
	Volcadura	Caída de un bloque de roca con respecto a un pivote ubicado debajo de su centro de gravedad.
Derrumbes	Planar	Movimiento lento o rápido de un bloque de suelo o roca a lo largo de una superficie de falla plana.
	Rotacional	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.
	Desparramamiento lateral	Movimiento de diferentes bloques de suelo con desplazamientos distintos.
	Deslizamiento de escombros	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 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.

## Deslizamientos

Los deslizamientos son desplazamientos de la capa superficial del suelo en superficies inclinadas, donde la energía potencial gravitatoria por acumulación de material consigue superar a los esfuerzos de fricción.



Los deslizamientos o colapso de taludes pueden producirse de cualquier modo, esto significa que siempre existe un cierto grado de incertidumbre en los estudios que se efectúan sobre estabilidad de taludes.

En estos estudios, siempre se intenta establecer, como y cuando se puede producir la pérdida de estabilidad de los taludes, pero aunque se intenten alcanzar respuestas convincentes, siempre reina una cierta incertidumbre cuando se afrontan la construcción de terraplenes, o cuando se talla el relieve generando desmontes.

Es posible, no obstante lo indicado, establecer una serie de parámetros en lo concerniente a la estabilidad de taludes, que pueden ayudar a determinar donde se localizan las áreas potenciales de fallas, y ello permite el tratamiento de taludes para eliminar o reducir en lo posible el riesgo de colapso.

La inspección desde el aire, de las áreas a intervenir, el poder disponer de fotos aéreas (aerofotogramétricos), a escala de 1:25.000 a 1:50.000, pueden permitir determinar

donde se pueden estar produciendo deslizamientos, para después en posteriores inspecciones sobre el terreno, determinar el alcance de las mismas.

Es conveniente contar con un historial de la zona donde se interviene, el tener un conocimiento cierto sobre como y cuando se produjeron en el pasado deslizamientos en el área donde se interviene, permite tener una mejor noción sobre los potenciales deslizamientos que se van a producir en el futuro.

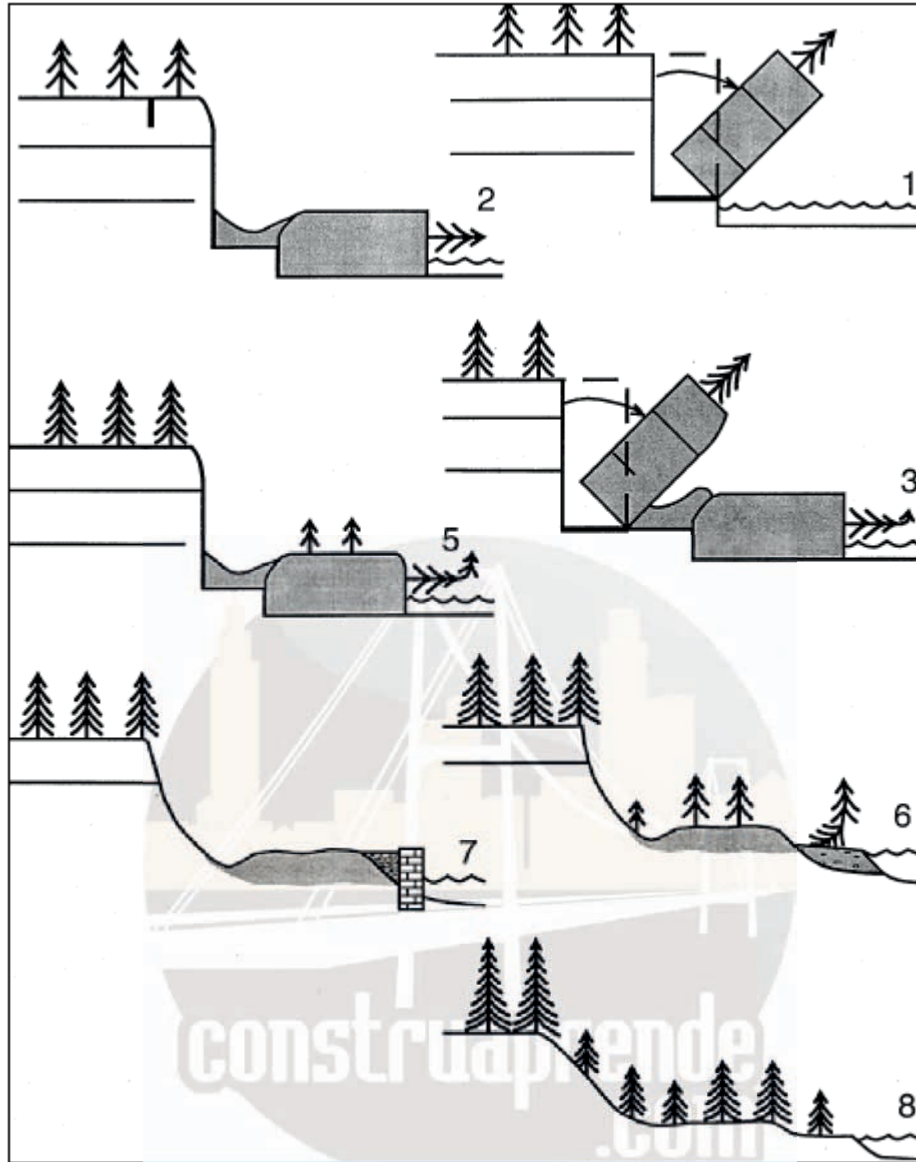
Suele suceder, que en las áreas donde se han producido estos fenómenos, los deslizamientos vuelven a repetirse.

Por ello como se insiste, interesa obtener la información en medios de comunicación locales, regionales o nacionales, también es de mucho interés contar con artículos de revistas especializadas, mapas de zonificación de los casos ocurridos, inventarios de riesgos geológicos, etc.

Los deslizamientos tienden a producirse en ciertas situaciones orográficas como pueden ser los taludes escarpados, los acantilados, las áreas de concentración de drenaje y filtración, las formaciones pétreas diaclasadas, etc.

Atendiendo al estado de actividad en que se encuentra un deslizamiento se pueden definir los siguientes términos (WP/WLI, 1993) representados en la figura 1.2:

1. Deslizamiento activo es el que se está moviendo en el momento de la observación.
2. Deslizamiento en suspenso es el que se ha movido en los últimos 12 meses, pero actualmente no es activo.
3. Deslizamiento reactivado es un deslizamiento activo que previamente ha sido inactivo (se conoce por reactivaciones de un deslizamiento).
4. Deslizamiento inactivo es aquel que no se ha movido en los últimos 12 meses. Los inactivos se pueden subdividir en los siguientes estados:
5. Deslizamiento latente (conocido como dormant en inglés) es un movimiento inactivo se puede reactivar por las causas que lo originaron.
6. Deslizamiento antiguo es un deslizamiento inactivo que no ha vuelto a ser afectado sus causas originales.
7. Un deslizamiento estabilizado es aquel inactivo en el que se han adoptado medidas correctoras.
8. Deslizamiento relicto es aquel inactivo que se desarrolló bajo condiciones climáticas geomorfológicas considerablemente diferentes de las que prevalecen actualmente.



Algunos de los factores que pueden influir en la clasificación de los deslizamientos, pueden ser los siguientes:

- Forma del movimiento.
- Forma de la superficie de rotura.
- Coherencia de la masa fallada.
- Causa de la rotura.
- Desplazamiento de la masa.
- Tipo de material.
- Tasa de movimiento.

Los deslizamientos más frecuentes son:

- Los deslizamientos por caída de rocas desde escarpes desde macizos pétreos muy diaclasados.
- Los deslizamientos de tierras en laderas y taludes.
- Los flujos y avalanchas de lodo y escombros con capacidad para recorrer grandes distancias.

Los deslizamientos pueden ser profundos (sin control estructural), caídas de detritos (con control estructural) y deslizamientos de rocas (con control estructural). Los deslizamientos pueden ser rotacionales (superficie de falla curva y suelo cohesivo) o traslacionales (superficie de falla plana y suelo friccionante).

Los deslizamientos, no sólo afectan a las obras de superficie sino a los tendidos subterráneos de los sistemas infraestructurales.

Determinados elementos infraestructurales, como son los embalses, pueden potenciar la producción de deslizamientos al mojar las aguas retenidas las laderas del baso que las contiene, por ello siempre es conveniente, para este supuesto y para las obras de desarrollo de sistemas infraestructurales en general, realizar ante todo estudios sobre los diferentes substratos que integran el suelo y su granulometría. También es conveniente localizar las capas freáticas.

Gracias a todo ello, es posible adoptar medidas preventivas, como pueden ser:

- La organización de drenajes.
- El establecimiento de anclajes.
- Mapeo de las áreas bajo peligro, definición de los sitios más peligrosos
- Planificación urbana que evita construir en áreas de alta amenaza
- Monitoreo de los sitios más peligrosos, definición de los parámetros que determinan la velocidad del fenómeno y el probable disparo de movimientos peligrosos (umbral de precipitación, magnitud de sismos, espesores de ceniza volcánica en los volcanes durante y después de erupciones, otros)
- Monitoreo y estudio de los alrededores de los deslizamientos, evaluación de posibles efectos secundarios (por ejemplo inundaciones y olas de agua por afectación de represas naturales)
- Organización de sistemas de alerta temprana
- Información y capacitación a la población
- Reducir actividades humanas que disparan deslizamientos (despale, construcciones en laderas muy inclinadas, infiltración de agua en áreas bajo peligro)

- Evacuación preventiva de la población en períodos de alta probabilidad de deslizamientos (lluvias fuertes, huracanes, enjambres de sismos, erupciones volcánicas en el período lluvioso)

La realización de obras de excavación al pie de taludes, puede producir una considerable disminución de los apoyos laterales de los materiales que los integran, con la consiguiente aparición de riesgo de deslizamiento.

La sobrecarga de taludes, en su parte superior como consecuencia de vertidos de inertes, la construcción de edificios, etc., puede producir la pérdida de estabilidad de estos.

La saturación de los terrenos situados en la parte superior de taludes, como consecuencia del riego agrícola o del riego de jardinerías, la proliferación de pozos negros absorbentes, la pérdida de agua en conducciones de abastecimiento de aguas y en redes de saneamiento urbano por encima de límites admisibles, puede también ser causa de desestabilización de taludes.

Algunos deslizamientos presentan señales indicadoras de su posible producción (grietas, ondulaciones del terreno, etc.)

Los deslizamientos pueden ser de apariciones repentinas o lentas, muy rápidas o muy lentas.

Los deslizamientos más peligrosos son los de aparición repentina e imprevista con movimiento a altas velocidades y acarreo de rocas, tierras, etc.

Los deslizamientos pueden producir daños en:

- Puntos de captación superficial de aguas para el consumo humano.
- Conducciones de las redes de abastecimiento, por arrastre y destrucción de tramos de tuberías, canales de conducción, valvulería, estaciones de bombeo, etc.
- Otras redes y sistemas infraestructurales.

Los daños producidos por los deslizamientos pueden ser:

- Puntuales (por pérdida de estabilidad en un determinado talud).
- Extensivos, como los producidos tanto en zonas montañosas como llanas por la existencia de terrenos licuables o expansibles.

### **Deslizamientos Planares**

Los deslizamientos 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.

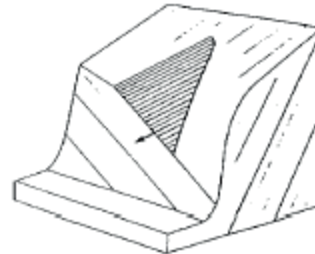
Los deslizamientos planares en macizos rocosos consisten en el deslizamiento como una unidad o unidades (bloques) talud abajo, a lo largo de una o más superficies planas.

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.

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.



**Deslizamiento planar en macizo rocoso**



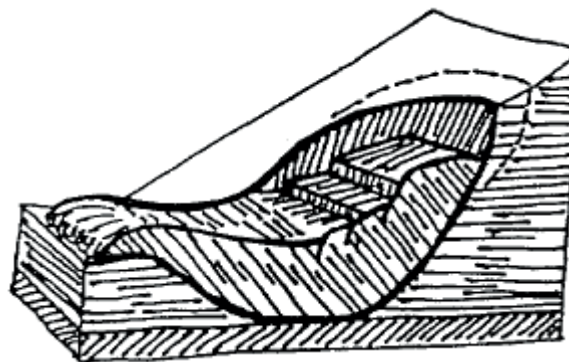
**Deslizamiento en forma de cuña**

### **Deslizamiento Rotacional**

Los deslizamientos 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. Al finalizar, la masa se desplaza sustancialmente y deja un escarpe en la cresta.

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 alud.



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.

### **Deslizamiento lateral y falla progresiva**

Los deslizamientos 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 próxima figura. Los bloques se separan progresivamente por tensión y retrogreden.

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.



## Desprendimientos

Reciben el nombre de desprendimiento, los colapsos repentinos de taludes verticales o casi verticales. En dichos taludes se puede producir el desprendimiento de uno o de múltiples bloques que se precipitan hacia el suelo en caída libre.

Cuando el movimiento de uno o varios bloques pétreos se produce a lo largo de una superficie de ruptura, se dice que se ha producido un derrumbe planar.

Los derrumbes de las masas pétreas también pueden ser rotacionales y con desprendimiento lateral.

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**

## Flujos

Flujos de lodo. Masas mezcladas de tierra, roca y agua en avalancha, que fluye con la consistencia del concreto. Se ocasionan por procesos de deshielo o por lluvia repentina en paisajes desérticos y no desérticos. Prototipo de este evento es el flujo que destruyó Armero en 1985 y el que destruyó la Planta de Gallinazo en Manizales en 1979. Estos eventos de gran recorrido, inundan finalmente los valles de salida de los ríos.

Hay monitores de flujos que se instalan en las vaguadas de los ríos con el propósito de generar alarmas tempranas para anticipar el aviso de eventos importantes que amenazan zonas pobladas aguas abajo de las corrientes. Consisten aquellos en cables horizontales tendidos transversalmente a una altura conveniente, para que flujos de cierta altura los revienten, interrumpan un circuito eléctrico y se genere una señal telemétrica de alarma.

Flujos de tierra. Movimiento plástico de depósitos de tierra no consolidados, se diferencia de los anteriores porque el movimiento es muy lento pero perceptible. Los bloques conservados en la parte alta emulan a los desplomes, mientras las partes más bajas fluyen manteniendo su carácter plástico.

### **Reptación**

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.

La reptación o reptamiento (flujo lento) se reconoce por la ondulación del terreno, el desplazamiento de líneas de acueducto, la inclinación de postes y árboles. La velocidad se excita en épocas de invierno aunque en los más profundos ésta es más uniforme. Hay reptamiento de suelos en zonas interfluviales (material no consolidado y húmedo), reptamiento de rocas en capas inclinadas hacia valles y reptamiento de talus (fragmentos de roca acumulados en cantiles).

Diferencias entre Reptamiento y Deslizamiento:

<b>Reptamiento</b>	<b>Deslizamiento</b>
Movimiento lento o progresivo que se presenta cuando se supera la resistencia fundamental del material que es la resistencia a fluir	Se inicia repentinamente cuando los esfuerzos de corte superan la resistencia interna al corte del material
Sin superficie de falla. El movimiento es viscoso hacia la superficie y varía a plástico hacia la profundidad	El material se desplaza sobre la superficie de falla. Sin zona de transición (importante) al flujo plástico
Se debe a la gravedad combinada con otros fenómenos	Puede ser continuo o intermitente y se explica sólo por acción de la gravedad

### **Soliflucción**

En el período de deshielo el agua se derrite de arriba hacia abajo quedando en el fondo una superficie que impide la percolación y por ende la masa de tierra saturada fluye. Otra forma de soliflucción, no periglacial, es la que se da en las zonas tropicales húmedas, cuando en las laderas de los montes embebidas de aguas fluye el suelo por debajo de las raíces.

