



# **PNUD/UNDRRO**

## **TALLER REGIONAL DE CAPACITACION PARA DESASTRES**

### **DESLIZAMIENTOS** **Manuel García López<sup>1</sup>**

#### **INTRODUCCION**

Los efectos de los movimientos por falla del terreno son generalmente graves, dado que causan pérdida de vidas humanas, viviendas, semovientes, cultivos y la destrucción parcial o total de sistemas vitales para la comunidad tales como carreteras, ferrocarriles, acueductos y alcantarillados, oleoductos, canales de riego y líneas de transmisión eléctrica. En muchas ocasiones, en medios montañosos y aun en terrenos planos se debe remover el material de su sitio, para conseguir los diferentes niveles exigidos por las características arquitectónicas de un proyecto. Las grandes y medianas presas de tierra, los diques, los terraplenes compactados y los rellenos con desechos de minería o ingeniería, son masas de suelo y roca cuya estabilidad debe establecerse dentro de límites aceptables para la seguridad de la población y la permanencia del servicio.

En este trabajo se presentan conceptos básicos sobre los deslizamientos, sus causas y efectos, su carácter de amenaza física, y se mencionan algunas técnicas para mitigar sus efectos.

#### **MATERIALES AFECTADOS POR LOS DESLIZAMIENTOS**

Puede decirse que los deslizamientos tienen lugar en la parte superficial de la corteza terrestre, la cual esta formada por suelos y rocas, con la cobertura vegetal o las obras del hombre que existan en una determinada zona. Los suelos provienen de las rocas por ciertos procesos naturales de transformación de ellas, que se denominan procesos demeteorización.

Al hablar de suelos se hace una gran división entre aquellos que permanecen en el lugar donde se meteorizó la roca parental, los cuales son llamados residuales, y los que son llevados a otro sitio por los agentes naturales, que entonces se denominaran suelos transportados o depósitos; piénsese en la labor de acarreo de materiales de la superficie de la corteza que hace el agua corriente. Los deslizamientos que ocurrieron en el pasado, dieron origen a los depósitos de ladera que por su origen mismo son muy susceptibles a deslizamiento.

---

<sup>1</sup>Ingeniero Civil, MSCE

## ESTUDIO DE LOS DESLIZAMIENTOS

En Ingeniería un terreno inclinado recibe el nombre de talud, a los taludes naturales se les llama laderas. Cuando se excava para construir viviendas o estructuras de ingeniería, o se rellena una cierta área quedan taludes artificiales. Hay una rama importante de la Ingeniería Civil o de la moderna Ingeniería Geotécnica que se dedica al estudio de la Estabilidad de Taludes, es toda una ciencia que aplica conocimientos de la Geología, la Geomorfología, la Mecánica de Suelos, la Mecánica de Rocas, la Hidrología y la Hidráulica, para determinar el grado de estabilidad del terreno, establecer las medidas preventivas de los deslizamientos o si estos ya ocurrieron, definir las obras remediales o correctivas que deben acometerse.

## CAUSAS DE LOS DESLIZAMIENTOS

En líneas generales los deslizamientos son causados por empujamiento (aumento de la pendiente o la altura de taludes) y por el agua. Los suelos y rocas oponen a las fuerzas que quieren deslizarlos su resistencia al corte. Esa resistencia esta determinada primordialmente por fuerzas que actúan entre las partículas del suelo o entre partes de una masa rocosa, esas fuerzas crean los denominados esfuerzos efectivos, que reciben ese nombre por que son los que hacen que las partículas tiendan a permanecer unidas. Cuando el agua se introduce entre las partículas reduce esos esfuerzos y por lo tanto disminuye la resistencia al corte. Es algo parecido al Principio de Arquímedes: cuando un cuerpo se sumerge total o parcialmente en agua, sufre un empuje proporcional al volumen de agua que desaloja; podemos imaginar que al entrar el agua a los poros e intersticios quiere empujar las partículas y por lo tanto tiende a separarlas, actuando al contrario que los esfuerzos efectivos. Lo anterior explica porque se dice que el agua juega un papel tan importante en los deslizamientos.

El empujamiento puede deberse a la acción del hombre, al excavar o rellenar, pero también puede deberse a causas naturales, una corriente de agua en la base de una ladera va arrastrando materiales o profundizando su cauce, hasta que la pérdida de soporte o el ángulo y la altura excesivos llevan al deslizamiento.

Los terremotos también pueden causar deslizamientos. Cuando actúan las ondas sísmicas pueden derrumbarse los suelos poco densos o las rocas muy fracturadas; o se pueden inducir presiones extraordinarias en el agua que ocupa los vacíos ("poros") de los suelos y los intersticios de las rocas. Estas presiones pueden crecer tanto que llegan a anular los esfuerzos efectivos y el terreno se desliza; en algunos casos fluye prácticamente lo cual se denomina licuación del suelo. En ocasiones la falla del talud no ocurre durante el sismo, pero este deja tan debilitado al talud que la acción de otro fenómeno o proceso, aunque sea de poca magnitud, produce el deslizamiento mas tarde. En Popayán, Colombia, el temblor de Marzo de 1983, que produjo tantos daños en edificaciones coloniales y recientes, también causo numerosos derrumbes en las cercanías de la ciudad; pero hubo dos o tres zonas donde el talud quedo agrietado y sus materiales debilitados, de manera que unas lluvias de días después finalmente causaron deslizamientos importantes.

Hay múltiples causas de los deslizamientos, rara vez actúa una sola. Unas contribuyen a producir el deslizamiento otras lo disparan. El temblor de Popayan fue un contribuyente para los deslizamientos que ya se mencionaron las lluvias posteriores dispararon la falla.

En realidad esas causas naturales o artificiales lo que hacen es reducir la resistencia de los materiales que forman el talud, o imponer en el interior del talud unos esfuerzos que por su magnitud y la dirección en que actúan, pueden llegar a superar la resistencia y así producen la falla del talud. Por ejemplo, cuando se construyen edificaciones o rellenos en la parte superior de una ladera, no se está afectando la resistencia de que disponían los materiales pero se están imponiendo cargas en una zona desfavorable, que en el caso de ser demasiado grandes pueden vencer la resistencia al corte y producir el deslizamiento. Es bueno agregar que así como existen esfuerzos efectivos en las masas de suelo o roca a los cuales se debe la resistencia al corte también existen los esfuerzos que tienden a causar el deslizamiento, por el simple hecho de tratarse de terreno inclinado. Las fuerzas de la gravedad actúan en este sentido. Si el terreno es estable lo que sucede es que en su interior existe un cierto equilibrio entre esos esfuerzos contrarios.

Cuando los Ingenieros diseñan el talud de una excavación han determinado cual es la resistencia al corte de los materiales del talud y cuales son los esfuerzos que se inducirán con la excavación, y buscan que estos sean menores que aquella en alguna relación que es precisamente la que da el margen o factor de seguridad. Así mismo se introducen las obras preventivas del posible deslizamiento, por ejemplo el drenaje o la contención. Si ya tuvo lugar un deslizamiento, buscarán con las medidas correctivas aumentar la resistencia al corte, o reducir los esfuerzos inestabilizantes. Para ello deben auscultar el terreno mediante inspección directa, exploración en profundidad, toma de muestras y ensayos de laboratorio, hallar las causas de la inestabilidad, analizarlas en relación con las posibles medidas correctivas y diseñar el sistema correspondiente. Así como hay múltiples causas tendrá que disponer una serie de medidas remediales pues también rara vez una sola puede resolver el caso.

#### AREAS MAS PROPENSAS A LOS DESGLIZAMIENTOS

Los deslizamientos ocurren con mayor frecuencia en áreas donde la topografía es más empinada. En el medio montañoso tropical también están asociados con la mayor meteorización. Las zonas de alta sismicidad y que están siendo o han sido muy afectadas por las fallas geológicas. Todas las áreas sometidas a erosión activa son muy susceptibles a deslizamiento, donde las corrientes de agua están haciendo incisión permanente o la deforestación por acción humana transcurre en forma creciente. Las laderas donde se construyen viviendas en forma masiva, sin control técnico, como las zonas marginales de las grandes ciudades. Las áreas donde se arrojan o depositan basuras y desechos industriales o de minas, sin preparación del terreno ni métodos adecuados de disposición de los materiales. En todos estos casos son muy intensos los efectos de la perturbación por excavación en los materiales superficiales más débiles, los rellenos y el taponamiento o bloqueo de las corrientes o cañadas de drenaje natural.

También pueden esperarse condiciones muy desfavorables en las áreas donde han ocurrido deslizamientos en el pasado. Similar al caso de las fallas geológicas, en las superficies o zonas por donde ha ocurrido el cizallamiento del terreno se ha reducido la resistencia al corte, y una alteración que se haga hoy en día puede reactivar el deslizamiento con relativa facilidad.

### **TIPOS DE DESLIZAMIENTOS**

El término deslizamiento se utiliza de manera general para designar el movimiento de rotura del terreno hacia abajo y hacia afuera de la pendiente. Esta definición, aunque sencilla, puede denotar a veces un fenómeno muy complicado, tanto por sus causas y la diversidad de mecanismos que producen la falla del terreno, como por las consecuencias de la falla y las consideraciones abarcadas en su corrección.

En realidad y desde el punto de vista técnico, el deslizamiento es solo uno de los diversos tipos de movimientos de falla del terreno, que se distinguen no solo por la forma del movimiento sino por la clase de material involucrado, pueden variar en origen y magnitud, desde la perturbación de las capas superficiales del terreno, en las cuales han actuado con mayor intensidad los agentes de meteorización, hasta los desplazamientos profundos de grandes masas de suelo o roca. Pueden tomar la forma de caídas, volcamiento, deslizamiento el cual puede ser del tipo rotacional o de hundimiento, o del tipo traslacional. También están los flujos, que a su vez pueden ser de detritos rocosos, de tierra o de lodo. Los tipos principales se ilustran en la Figura 1.

Es muy conveniente saber que los deslizamientos y flujos pueden ser lentos, rápidos y extremadamente rápidos, según la topografía, el tamaño de la masa de suelo o roca afectada, el modo de falla y la acción del agua entre otros factores. En determinadas circunstancias un deslizamiento puede complicarse o agrandarse a partir de un primer caso simple que después se repite en sucesión o cambia de modo de movimiento. Entonces recibe calificativos como complejo, múltiple, retrogresivo, o se le da la doble designación que corresponda a la combinación de movimientos, por ejemplo: hundimiento-flujo de tierras. En el extremo de los flujos por su poder de arrastre, velocidad y capacidad de causar daño están las avalanchas de detritos, es importante profundizar un poco más sobre ellas.

Las avalanchas de detritos consisten en el movimiento muy rápido de masa de materiales gruesos, tales como grandes bloques de roca, grava y arena, con ciertas cantidades de suelos finos -limo y arcilla- junto con agua y aire atrapado. Pueden contener árboles y otra vegetación arrancada de cuajo, restos de estructuras y cuerpos de personas o animales que por infortunio encontró a su paso. Para que se produzcan las avalanchas es necesario que exista una provisión de materiales en posibilidad de deslizarse (zona de suministro o fuente de materiales), una diferencia de nivel proporcionada por el relieve sobre el cual se desplazan y que influye en la energía y velocidad que pueden adquirir, y la acción del agua, necesaria para que los materiales pierdan resistencia y fluyan alcanzando mayor capacidad de movimiento y más energía.

Al desplazarse aumenta el volumen de la avalancha por incorporación de materiales sueltos o los que desprende del fondo y paredes del cauce o cañada que ocupa. Después de abandonar la zona de flujo canalizado y llegar a zonas de pendiente más suave se desparrama y deposita en forma característica de abanico con bordes lobulados, inundando con lodo y rocas los espacios disponibles. De mucho interés desde el punto de vista del estudio de amenazas naturales el caso de avalanchas y flujos de lodo que se originan en la rotura de represas causadas por deslizamientos que han irrumpido en cauces y bloqueado las corrientes de agua.

Un tipo especial de avalanchas de detritos y flujos de lodo lo constituyen los "lahares" que se forman a partir de erupciones volcánicas. Dicho término proviene de Indonesia. Se recuerda el caso de la erupción del Volcán Nevado del Ruiz en Noviembre de 1985. El descongelamiento de una parte del casquete de hielo y nieve, la falla súbita de escombros de baja densidad que ocupaban las cabeceras de corrientes de agua en las faldas del volcán, evolucionó al flujo rápido de detritos por los ríos que nacen en el volcán y descienden hasta valles en el pie de la Cordillera Central. El flujo o lahar que siguió los ríos Azufrado y Lagunilla (al cual con fluye el primero) sepultó o arrasó la ciudad de Armero. Esta catástrofe ilustra también el encadenamiento de efectos de amenazas naturales distintas (erupción volcánica - avalancha de detritos - flujo de lodos), como también se expresó al hablar de deslizamientos inducidos por sismos.

## LA EROSIÓN

La erosión es un fenómeno que abarca la separación, arrastre, transporte y sedimentación de los suelos por acción de los denominados agentes erosivos, siendo los principales el agua, el viento, el hielo y los organismos vivos, (que se constituyen en medios de transporte), y la fuerza de gravedad. Existen dos grandes tipos de erosión: la geológica o natural y la acelerada o antrópica. La primera corresponde al desgaste del suelo en su medio normal por las diversas fuerzas que actúan en la naturaleza, sin la influencia del hombre. La acelerada se deriva de la actividad humana, cuando altera las condiciones del suelo o del ambiente de tal manera que facilita o contribuye a la acción de los demás agentes.

En un medio montañoso, y además sometido a la presión demográfica que se manifiesta en la tala de bosques y la ampliación de las zonas habitadas, resulta imperativo incluir la erosión como uno de los factores que contribuyen a causar los deslizamientos, o a agravarlos. La erosión elimina suelos y rocas de la parte inferior de laderas o a los lados de una zona débil, sobre-empina taludes, expone materiales a los agentes atmosféricos que los alteran y debilitan. La sedimentación consecuente obstruye medios de drenaje naturales o artificiales. En la Tabla 1 resumimos los diversos procesos de erosión, y los tipos principales de movimiento de falla del terreno con una descripción breve de cada uno, e indicaciones sobre su localización característica en una región dada.

**MITIGACION DE AMENAZAS POR DESLIZAMIENTOS Y AVALANCHAS**

En la Tabla 2 se presenta una lista de las principales técnicas recomendables para mitigar las amenazas por deslizamientos. Algunas son bien conocidas por la ingeniería, tales como la construcción de estructuras para prevenir o corregir los deslizamientos, otras pueden ser del dominio de expertos en Planeación, por ejemplo la adquisición por el Estado de áreas peligrosas. Otras son obvias y prácticas, como la instalación de señales o avisos de peligro y las regulaciones para desarrollo de viviendas, pero requieren un esfuerzo constante para imponerlas. Dada la importancia que adquieren las avalanchas y flujos de lodo, por su gran capacidad de causar daño, se resumen en la Tabla 3 varias técnicas específicas para la prevención de desastres por dichos fenómenos

## FENOMENOS DE EROSION Y REMOCION EN MASA

TIPO	MODALIDAD	DESCRIPCION	LOCALIZACION
1. Pluvial		El impacto y tamaño de las gotas de lluvia producen desprendimientos de las partículas superficiales.	En relieve y climas variables y suelos bien estructurados, ricos en materia orgánica pero mal protegidos por la vegetación.
2. Escurrimiento	1. Escurrimiento difuso	Las partículas pequeñas son arrastradas en tramos cortos formándose surquillos temporales. Llamada erosión "normal"	Se produce en todo tipo de suelo, inclusive en terrenos con buena cobertura vegetal.
	2. Erosión laminar	Arrastre casi imperceptible de capas delgadas de suelo por mantos de agua o redes de surquillos	En pendientes y climas variados por aguaceros intensos, con o casi sin presencia de suelos.
	3. Erosión en surcos	Hendido de la superficie del terreno al concentrarse el escurrimiento en surcos más o menos paralelos independientes	En pendientes variadas en climas predominantemente secos, materiales de baja cohesión y suelos mas protegidos por la vegetación

## FENOMENOS DE EROSION Y REMOCION EN MASA

TIPO	MODALIDAD	DESCRIPCION	LOCALIZACION
3. Flujo superficial de agua	1. Difuso	Arrastre de partículas finas bajo la capa vegetal; casi imperceptible	En pendientes variadas bajo clima de tendencia húmeda y materiales de diferente permeabilidad
	2. Concentrado o en sofusión	Arrastre de partículas finas por debajo de la superficie del suelo, causado por las aguas de infiltración.	Como en el anterior. Contribuye a la generación de cárcavas y remoción en masa.
4. Acción de aguas corrientes	1. Socavación	Las aguas corrientes, de los ríos o mares, causan arrastre de materiales de sus riberas y su fondo para luego depositarlos.	Muy activa en cauces con márgenes donde predominan materiales granulares finos, tales como arenas finas y limos.
5. Abrasión eólica	1. Erosión eólica	Causada por el arrastre que ejerce el viento sobre la superficie del terreno	En regiones de topografía suave con vientos, climas secos, sin cobertura vegetal y en materiales de baja cohesión.

## FENOMENOS DE EROSION Y REMOCION EN MASA

TIPO	MODALIDAD	DESCRIPCION	LOCALIZACION
6. Remoción en	1. Caídas o desplomes	Por desprendimiento y caída de fragmentos de roca o suelos por efecto de la gravedad.	En pendientes fuertes, escarpes y cornisas de rocas fracturadas, climas variadas sin bosque.
	2. Hundimiento o deslizamiento rotacional	Deslizamiento de masas de suelo, prácticamente intactas a lo largo de una superficie cóncava bien definida.	En suelos relativamente homogéneos, como conluiones y arcillas. Puede extenderse hacia arriba originando deslizamientos retrogresivos sobre topografía de pendiente notable y en climas húmedos.
	3. Deslizamiento traslacional	Movimiento a lo largo de superficies casi planas conformadas generalmente por la pendiente estructural de estratos más resistentes, sobre los que descansan depósitos o mantos de suelo residual.	Sobre pendientes relativamente suaves, en climas húmedos y materiales arcillosos. materiales de baja cohesión.

## FENOMENOS DE EROSION Y REMOCION EN MASA

TABLE 1

TIPO	MODALIDAD	DESCRIPCION	LOCALIZACION	
6. Remoción en	4. Flujo de detritos	Movimientos casi siempre rápidos, de roca y suelo, con predominio de materiales gruesos.	En roca fracturada parcialmente meteorizada, pendientes altas periodos lluviosos	
	5. Flujo de Tierras	Movimientos lentos viscosos, de forma alargada y lobulada que generalmente retienen buena parte de cobertura vegetal.	En suelos residuales que pierden su estabilidad estructural por efecto del agua. Como evolución de otros modos de falla (12 y 3).	
	6. Flujo de lodos	Masa de detritos reblandecida por el agua hasta tener consistencia fluida.	En suelos con pendientes de 5 a 15 y mayores, en zonas de alta pluviosidad. En zonas de concentración de agua dentro de derrumbes mayores.	
	7. Avalanchas	Cuando se presentan simultáneamente o combinados o adyacentes los movimientos de tipo traslacional, rotacional y los flujos, por acción del agua y la gravedad.	En suelos de pendiente elevada y en zonas o periodos de alta precipitación.	
	Deslizamientos compuestos o múltiples			

## **TECNICAS PARA MITIGAR AMENAZAS POR DESLIZAMIENTOS**

1. Desestimar nuevos proyectos en áreas peligrosas:
  - Adopción de políticas de servicios públicos.
  - Creación de zonas o sectores que requieren evaluación especial.
  - Revelar la existencia de la amenaza a los negociantes de finca raíz.
  - Informar y educar a la comunidad.
  - Colocación de seriales o avisos de peligro potencial.
  - Desincentivar inversión financiera.
  - Incluir la amenaza en los registros públicos.
  - Exigir seguros por deslizamiento no subsidiados, relacionados con el nivel de amenazas.

# **TECNICAS PARA MITIGAR AMENAZAS POR DELIZAMIENTOS**

2. Regulación de nuevos proyectos en áreas peligrosas:
- Establecer normas para proyectos en laderas.
  - Establecer especificaciones o restricciones para movimiento de tierras (excavaciones y rellenos).
  - Adoptar normas sanitarias y urbanísticas.
  - Crear zonas especiales de reducción de amenazas, (zonas de protección o de amortiguación) con las normas oficiales correspondientes.
  - Requerir zonificación adecuada para el uso de la tierra.

### **TECNICAS PARA MITIGAR AMENAZAS POR DESLIZAMIENTOS**

3. Protección de proyectos existentes en áreas amenazadas:
  - Controlar los deslizamientos (efectuar medidas correctivas o remediales y de seguimiento).
  - Reorientar o desviar canales de flujos de lodo.
  - Poner en operación sistemas de monitoreo, alarma y evacuación.

## **TECNICAS PARA MITIGAR AMENAZAS POR DELIZAMIENTOS**

4. Remoción o rectificación de proyectos inseguros existentes:
- Adquisición de áreas amenazadas.
  - Relocalización de comunidades amenazadas.
  - Mejoramiento de áreas públicas.
  - Descontinuar usos inadecuados de la tierra.
  - Reconstrucción de instalaciones públicas y líneas vitales.
  - Redesarrollo de áreas incomunicadas.

**ALTERNATIVA PARA LA PREVENCIÓN DE PERDIDAS  
POR INUNDACIÓN EN CRECIENTES EXTRAORDINARIAS  
Y AVALANCHAS**

**1. Modificación de Flujo y Caudal**

**1. *Tratamiento de la hoya tributaria:***

- a) Control de escorrentia
- b) Retención de aguas lluvias
- c) Retardo de la infiltración
- d) Conservación de las funciones retardantes en la hoya
- e) Reforestación
- f) Control de cárcavas
- g) Obras preventivas de erosión y deslizamiento
- h) Corrección de deslizamientos
- i) Desembalse controlado en taponamientos

**ALTERNATIVA PARA LA PREVENCIÓN DE PERDIDAS  
POR INUNDACION EN CRECIENTES EXTRAORDINARIAS  
Y AVALANCHAS**

**1. Modificación de Flujo y Caudal**

**2. Obras de protección:**

- a) Diques y jarillones
- b) Mejoramiento de canales (rectificación y ampliación).
- c) Desvíos
- d) Muros de encauzamiento
- e) Barreras y trinchos
- f) Trampas de sedimentos

**ALTERNATIVA PARA LA PREVENCIÓN DE PERDIDAS  
POR INUNDACION EN CRECIENTES EXTRAORDINARIAS  
Y AVALANCHAS**

**II. Modificación del Daño Potencial**

- 1. Regulación y ajuste del uso de la tierra:**
  - a) Regulación del uso de la tierra
  - b) Regulación del desarrollo urbano
  - c) Códigos de construcción
  - d) Compra de tierras y propiedades por el gobierno

**ALTERNATIVA PARA LA PREVENCIÓN DE PERDIDAS  
POR INUNDACION EN CRECIENTES EXTRAORDINARIAS  
Y AVALANCHAS**

**II. Modificación del Daño Potencial**

**2. *Adecuación de las construcciones:***

- a) Cierre permanente de aberturas de baja altura
- b) Rellenos
- c) Cierre de válvulas de conductos de desagüe y alcantarillados
- d) Interiores a prueba de agua
- e) Estructuras reforzadas contra grandes impactos y presiones
- f) Construcciones elevadas

**ALTERNATIVA PARA LA PREVENCIÓN DE PERDIDAS  
POR INUNDACIÓN EN CRECIENTES EXTRAORDINARIAS  
Y AVALANCHAS**

**III. Modificación de la Amenaza**

**2. En relación con los habitantes:**

- a) Acciones de emergencia y reprogramación
- b) Información a la comunidad
- c) Preparación de la comunidad
- d) Planes de evacuación
- e) Alivio de desastres
- f) Reprogramación de operaciones
- g) Ayudas gubernamentales
- h) Seguros contra inundación
- i) Exención de impuestos

**NOTA:** Puede optarse por la inacción, que llevaría a la solución simple de sufrir las consecuencias del evento.

**ALTERNATIVA PARA LA PREVENCIÓN DE PERDIDAS  
POR INUNDACIÓN EN CRECIENTES EXTRAORDINARIAS  
Y AVALANCHAS**

**III. Modificación de la Amenaza**

**1. Sobre el medio físico:**

- a) Evaluación de estabilidad de laderas
- b) Delimitación de zonas potencialmente
- c) Pronóstico de inundaciones
- d) Lucha con la inundación
- e) Elaboración de mapas de amenazas

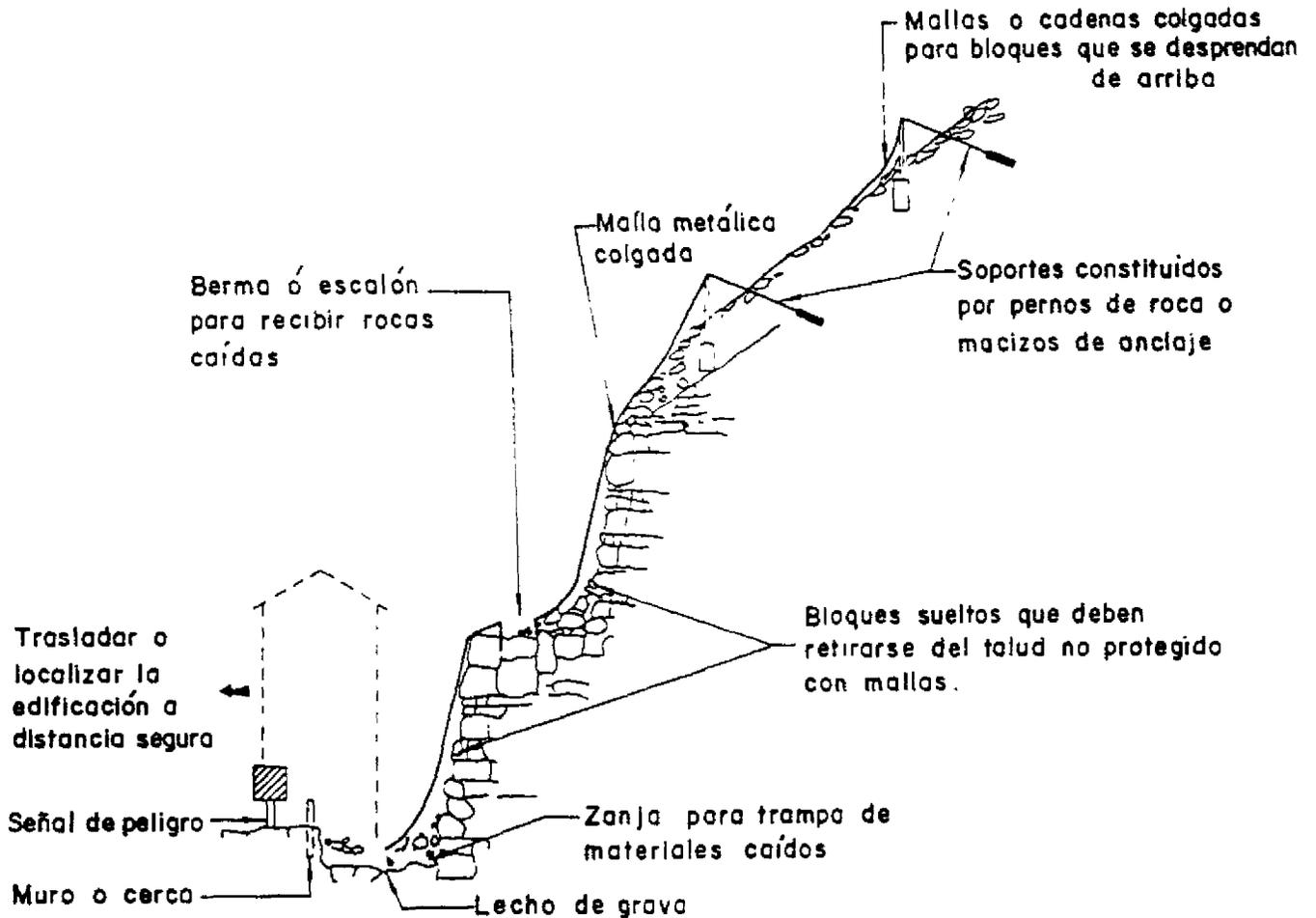
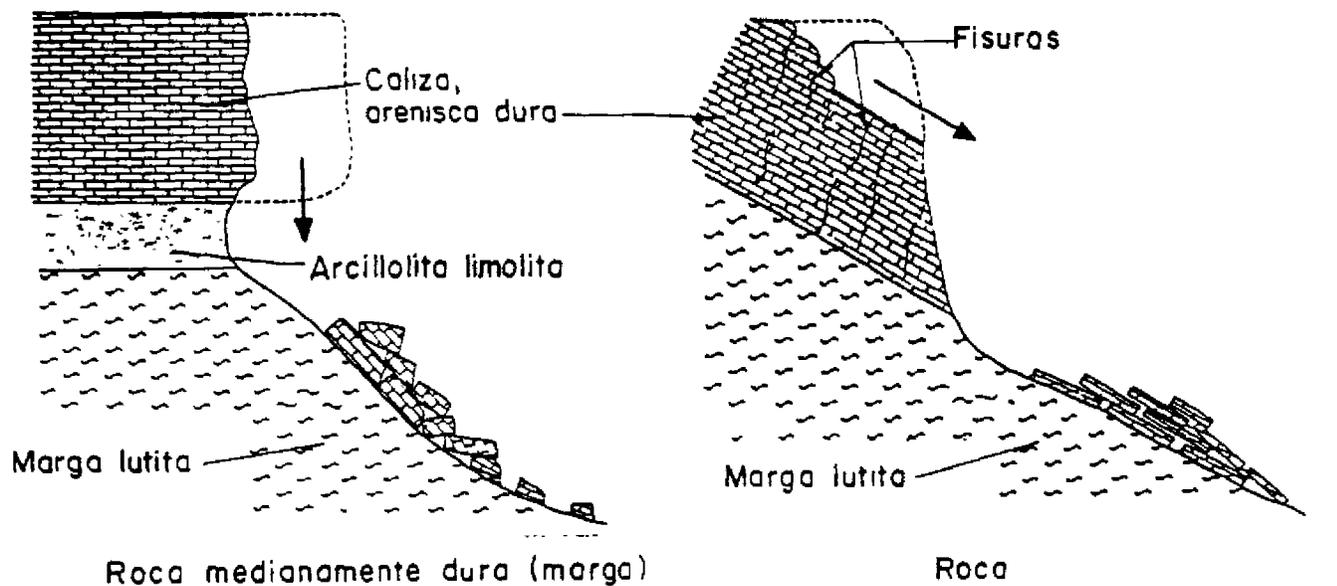


FIGURA 1 - CAIDAS DE ROCA Y MEDIDAS DE CONTROL  
(Adaptado de Colas y Pilot, 1976, y GCÓ, 1984).