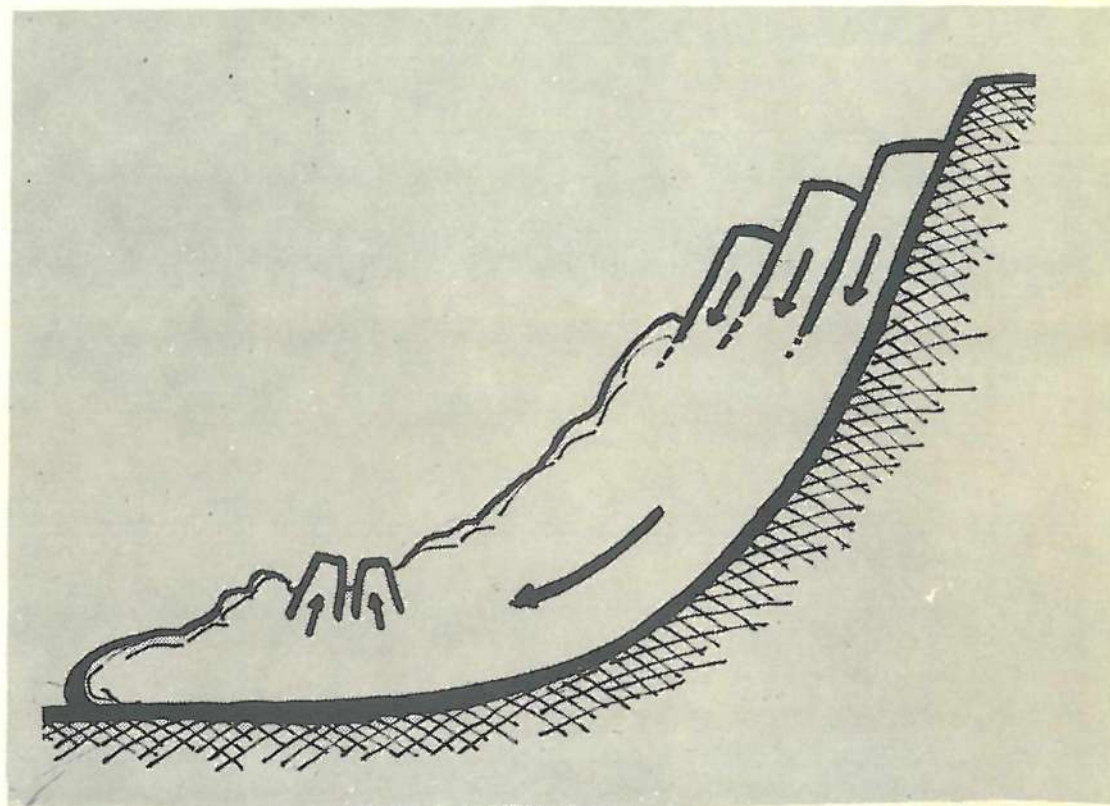


# CRITERIOS PARA LA CLASIFICACION GEOMORFOLOGICA DE LOS MOVIMIENTOS COLECTIVOS

Por Ing. ELISEO POPOLIZIO



TOMO 16 - No. 5

CENTRO DE  
GEOCIENCIAS  
APLICADAS

SERIE "C"

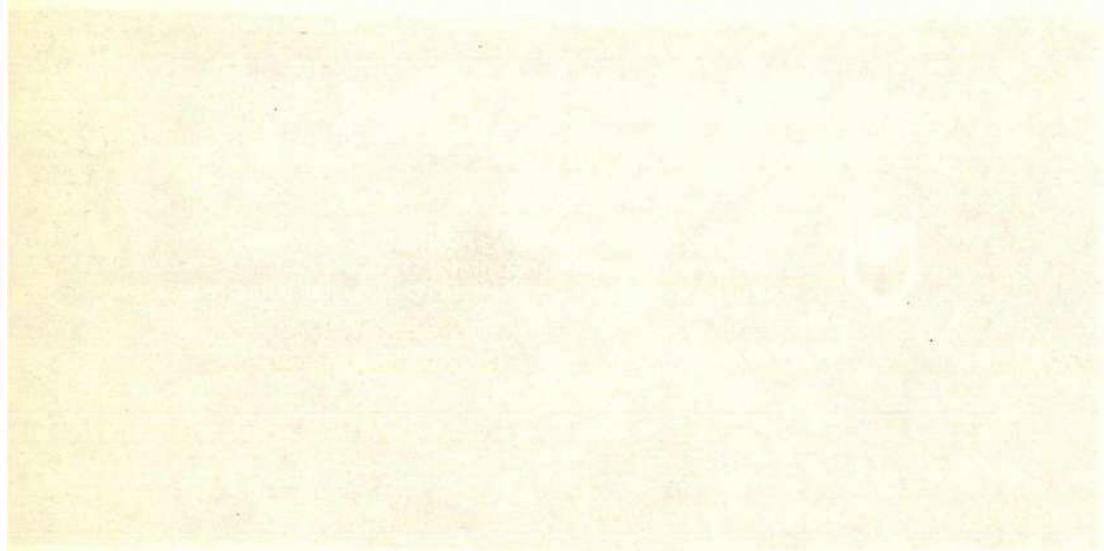
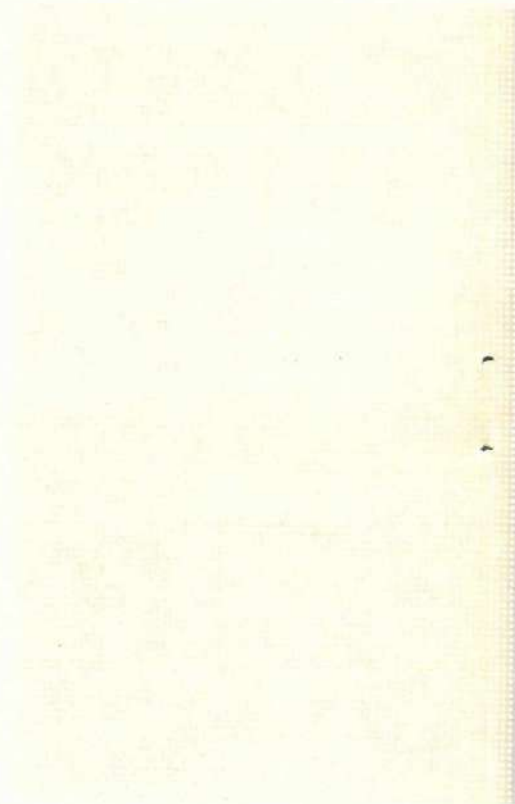
INVESTIGACION  
AÑO 1981



FACULTAD DE HUMANIDADES. FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE  
LAS HERAS 727 - 3500 - RESISTENCIA - CHACO - REP. ARGENTINA - 1981

DEPARTMENT OF AGRICULTURE  
BUREAU OF PLANT INDUSTRY

PLANT INDUSTRY

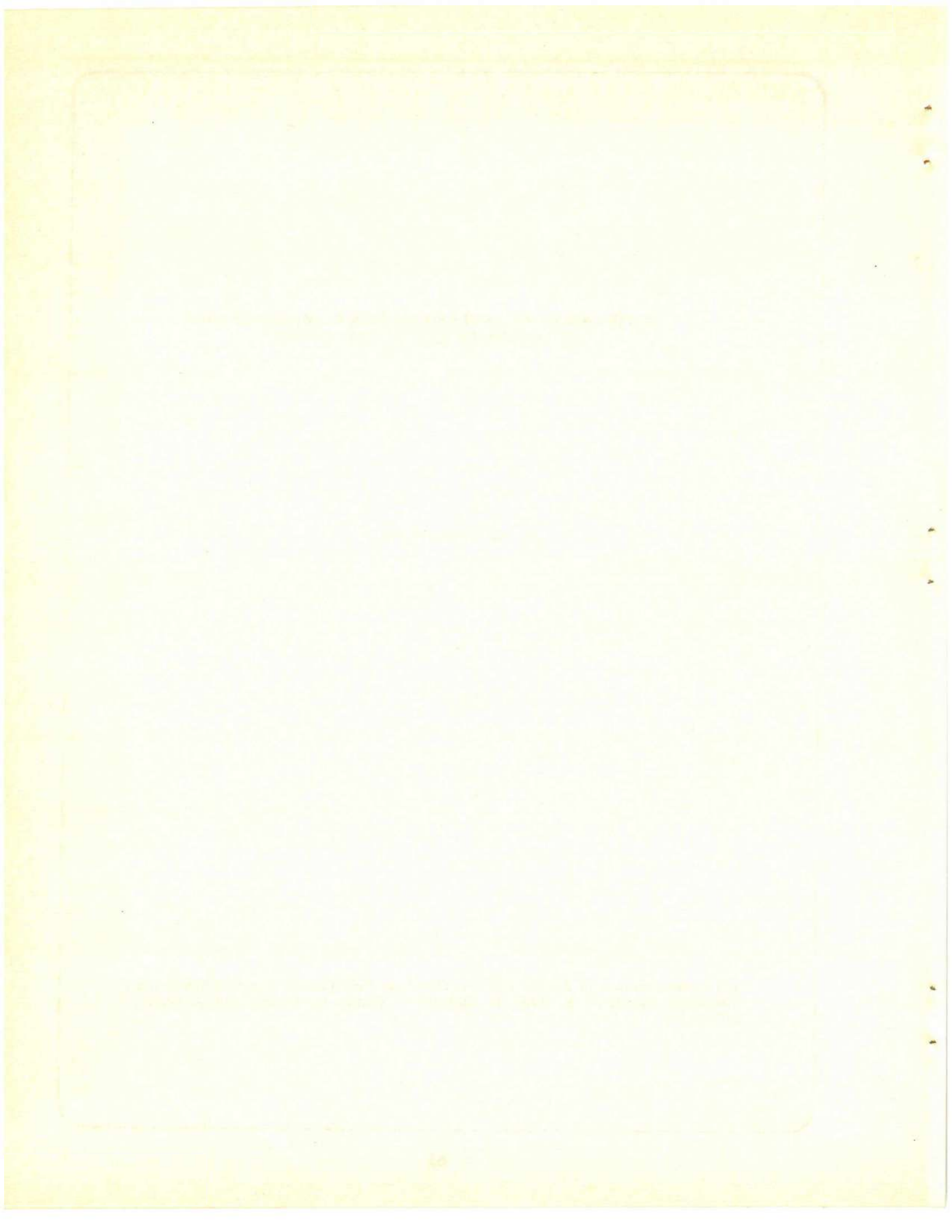


**CRITERIOS PARA LA CLASIFICACION GEOMORFOLOGICA  
DE LOS MOVIMIENTOS COLECTIVOS (\*)**

por Ing. Eliseo Popolizio

1975

(\*) Corresponde a la Bolilla VIII del Curso de Post Grado "Fotointerpretación y Geotecnia vinculada a obras de Embalse" - Centro de Geociencias Aplicadas - U.N.N.E.



# CRITERIOS PARA LA CLASIFICACION GEOMORFOLOGICA DE LOS MOVIMIENTOS COLECTIVOS (\*)

Por Ing. Eliseo Popolizio

## 1- INTRODUCCION

Toda obra de ingeniería implica dos posibles modificaciones en la estabilidad de las laderas: aumento o disminución de la carga. Por ejemplo, un muro de embalse, una torre de conducción, un terraplén, etc., implican un sobrepeso extra, en tanto que un desmonte, un canal, un túnel significan una disminución del mismo.

Estas modificaciones obligan a una reordenación de las tensiones internas del macizo y generan esfuerzos de tracción-compresión, corte, flexión simple o compuesta, en estados elásticos, elástico-plásticos y plásticos, según corresponda a cada caso particular.

El problema se complica si tomamos en consideración la deshomogeneidad litoestructural y la presencia del agua intersticial, lo cual nos aleja bastante de la noción de sólido continuo. De allí que sea más fácil detectar el estado real tensional y las posibles reacciones de ciertos elementos de la construcción, que el correspondiente a un sector de la corteza.

Vamos entonces a centrar nuestra atención a los aspectos cualitativos del problema, intentando una clasificación ad-hoc, de los movimientos de partes de la corteza superficial con miras a exponer 1) a qué se pueden deber, 2) Cómo se originan, 3) Cómo pueden detectarse y 4) De qué manera es posible detenerlos o reducir sus efectos.

Dada la corta duración del curso, únicamente daremos de cada punto, los conceptos fundamentales que permitan a los técnicos buscar en la bibliografía específica la información detallada.

## 2- MOVIMIENTOS LENTOS DE LA LADERA

Se incluyen dentro de estos movimientos colectivos, a un conjunto de tipos y subtipos no siempre clasificados o denominados de la misma manera por todos los autores, pero cuya característica es la de ser imperceptibles directamente y solo detectables por sus efectos en la vegetación, las obras humanas o la morfología.

Vamos a dividirlos en tres grandes grupos.

a) Reptación, b) Soliflucción y c) Corrientes terrosas.

### 2-a) Reptación

Consideramos como tal a todos los movimientos lentos de la capa superficial del relieve, en las cuales no puede definirse una superficie neta de corte entre la parte en movimiento y la que permanece en reposo.

Por otra parte, no es un movimiento homogéneo, ya que los vectores velocidad cambian de dirección en el espacio y el tiempo para cada grano, aumentando la intensidad a medida que vamos hacia la superficie. Sería como observar un escurrimiento fluvial en cámara lenta (Fig. 1).

Como consecuencia de la acción de la gravedad el material se "arrastra" (de allí su nombre) ladera abajo, unos pocos centímetros por año, amoldándose a todas las irregularidades de la parte que permanece en reposo.

En algunos casos, cuando la potencia o espesor de la capa en movimiento es apreciable, la máxima velocidad tiene lugar por debajo de la superficie pero más próxima a ésta que al substrato inmóvil y debido a que la parte superficial es más rígida, por estar más seca, puede originar "arrugamientos" al trasponer umbrales de fondo (como en los glaciares), generando microdeslizamientos rotacionales que semejan terrazetas (Fig. 2).

El material que entra en movimiento puede ser muy diferente: suelos (raptación de suelos), rocas (reptación de rocas), escombros de talud (reptación de taludes), pudiendo llegar, en ciertas rocas poco rígidas, a generar una inversión del buzamiento (Fig. 3).

La presencia de agua intersticial y la acción de helamiento y deshelamiento de la misma, siempre que exista en poca cantidad, es uno de los factores que favorecen el desarrollo de estos procesos.

Se detectan a simple vista por la inclinación de las obras civiles y verticales (postes de telégrafos, muros, etc.) o por los árboles, cuyos troncos adoptan un modelo encorvado por combinación de la reptación con el fototropismo (Fig. 4).

También en obras viales de cierta antigüedad se puede notar un desplazamiento suavemente ondulado, por lo cual pueden reconocerse en las fotografías aéreas en escalas 1:25.000 o mayores. (Fig. 5).

La reptación es extremadamente frecuente y generalizada areolarmente en todas las áreas donde la meteorización es profunda, de allí que sea típica de las áreas ecuatoriales, tropicales y subtropicales húmedas.

Esto vale para la reptación de suelos, ya que la reptación de rocas puede tener lugar incluso sin cobertura edáfica allí donde las rocas sean poco rígidas, como las margosas, margoyesíferas y arcillo-limo-arenosas e incluso algunas metamórficas de la epizona, como los talcoesquitos.

La reptación de taludes de escombros es más común en áreas frías de tipo perigraciario, o semiáridas como las de estepa.

Debemos hacer una aclaración con respecto al término reptación de rocas, porque frecuentemente se incluye dentro de este subtipo al movimiento ladera abajo de bloques individuales, que si bien reptan, deben considerarse aparte y dentro de lo que se denomina "creeping" o reptación grano a grano del material.

Dentro de los procesos de reptación se incluye frecuentemente el denominado reptación de rocas de glaciares o glaciares de piedra, que tiene lugar en las rocas caídas en depresiones longitudinales de taludes fuertes y adoptan el modelo de una red pinada (Fig. 6) Esas rocas reptan por acción del helamiento y deshelamiento del agua intersticial en zonas periglaciares, debido a la formación de pipkrake o columnitas de hielo que levantan los rodados y lo dejan caer luego con un desplazamiento hacia abajo (Fig. 7).

La morfología de este último tipo de reptación

es muy semejante al lecho de un curso fluvial y en las fotografías aéreas es muy fácil confundir una con otra. De todas maneras, sea una u otra cosa, los bloques reptarán si se encuentran en áreas periglaciales.

La reptación como tal parece no tener ninguna significación excepto la inclinación de las obras civiles debido a su lento movimiento, sin embargo, ella implica que la ladera no está en reposo y que el material ejercerá un empuje activo sobre cualquier obra que impida el movimiento, tal como el pilar de un puente, un muro de contención, etc.

De allí que en lo posible, no deben emplazarse estructuras rígidas, porque lo más probable es que se fisuren o entren en colapso.

Es necesario anclar, en la roca inmóvil, de profundidad, las obras lineales verticales, como postes o torres de conducción o construir un sistema de fundación que permita mantener vertical el sistema aéreo.

Digamos finalmente que la reptación esconde en su aparente insignificancia el peligro de pasar a movimientos rápidos y hasta a instantáneos. Por ejemplo, bajo una cobertura de selva, el talado de la vegetación puede sobrecargar el material con agua y ponerlo en movimiento como soliflucción, torrente de barro o deslizamiento; lo mismo puede ocurrir en un talud de escombros que se cubra de nieve y se produzca el deshielo muy rápidamente, aumentando el agua intersticial.

La remoción del soporte por cortes en trincheras o taludes para vías de comunicación puede dar lugar a que la reptación se convierta en deslizamiento.

## 2-b) Soliflucción

Etimológicamente el término proviene de *solum*-suelo y *fluere*-fluir y fue estudiada en áreas periglaciales con suelos permanentemente helados, "permafrost" o "tjalele", pero estrictamente, si nos atenemos a la etimología, este tipo de movimiento y el concepto de *fluir* es muy amplio, ya que implica incluso la posibilidad de deformaciones en materiales sólidos a lo que se denomina *fluencia* lenta.

Es por estos considerandos que se ha extrapolado mucho el concepto de soliflucción hasta incorporarlo a la terminología de las áreas tropicales.

En su concepción original, propuesta por ANDERSON (1906), estos movimientos tenían lugar en aquellas áreas en las cuales los suelos, regolitas o rocas permanecían permanentemente helados en profundidad durante todo el año y según parece estarían así desde la última glaciación. La parte superior de esos materiales, durante la estación más cálida se vuelve una masa semifluida o pastosa, por el deshelamiento del agua intersticial, dando lugar a un lento pero generalizado movimiento ladera abajo, aún con pequeñas pendientes (Fig. 8-8).

Las condiciones que deben darse para que tenga lugar son, según Thorwibury: "a partir de un estudio de los "glaciares de barro" de la isla Bear, en el Atlántico Norte, y los "ríos de pidera" de las islas Malvinas, en el Atlántico Sur, llegó a la conclusión de que eran producto de "flujo lento de terreno más alto hacia uno más bajo, de masas de suelo o tierra saturadas con agua". A este modo de desplazamiento gravitativo del manto detrítico lo denominó soliflucción (*solum*-suelo, *fluere*-fluir). Caracteres similares a los de la isla Bear y de las Islas Malvinas han sido descritos en otras áreas de altas latitudes, tales como Georgia del Sur, Península Antártica (Tierra de Graham), Spitzberg y Escandinavia. La soliflucción también es significativa en grandes altitudes. Hay cuatro condiciones que la promueven: a) un abastecimiento abundante de agua proveniente del derretimiento de la nieve y del hielo del suelo; b) laderas de moderadas a empinadas, relativamente libres de vegetación; c) la presencia, por debajo de la superficie,

de terreno permanentemente congelado o *tjalele*, como se lo denomina en Escandinavia; y d) la producción rápida de nuevos escombros de rocas por meteorización. La soliflucción difiere de las corrientes de barro en que en la primera el movimiento es más lento y más continuo; no está confinado a un canal como generalmente lo está la corriente de barro y se desarrolla bajo severos climas subpolares o alpinos más bien que bajo climas áridos o semiáridos, como lo hacen aquellas. Durante los meses de verano las superficies congeladas se derriten hasta una profundidad de pocos metros y ahí, por encima del *tjalele* todavía congelado, desarrolla una masa (saturada con el agua del suelo) con detritos de rocas que fluye en conjunto cuesta abajo. En general los efectos topográficos de la soliflucción no son notables, porque opera sobre toda la superficie más bien que confinada a cauces. Localmente, sobre las laderas o en los rellenos de cubetas más pequeñas, puede dar lugar a formas parecidas a terrazas.

## 2-c) Corrientes terrosas.

En áreas intertropicales húmedas pueden tener lugar movimientos semejantes a los de la soliflucción, donde el *tjalele* es reemplazado por una discontinuidad neta entre la roca sana y el material meteorizado y su comportamiento se parece mucho a la reptación, salvo que el contenido de agua es mucho mayor. En estos casos, es factible observar en las fotografías aéreas lóbulos o festones de arrugamiento del terreno, (Fig. 9-10), que suelen aparecer cuando se tala la cobertura boscosa y se instalan cultivos, con lo cual por un lado se aumenta la infiltración de agua en el suelo y por otro se pierde el efecto de frenado que las raíces pueden ejercer. En estos casos el proceso se denomina corriente de barro.

En esta situación existe el peligro de que cualquier corte en el talud o sobre exceso de agua en el suelo, convierta estos movimientos en mantos de lodo que desliza ladera abajo (corrientes de barro).

Las medidas de protección son múltiples, pero todas ellas se basan en evitar el aumento del agua intersticial que origina presión hidrostática y empujes apreciables sobre los muros de contención. Si es posible, debe preservarse la vegetación de bosque, pero si ésta ha sido talada debe impermeabilizarse la superficie o colocarse canaletas de guardia o drenes, detrás de los muros de contención, para evacuar lo más rápidamente posible las aguas del terreno (Fig. 11).

A esta altura del problema, podemos observar que la terminología que se viene usando vulgarmente no responde a conceptos estrictos de mecánica del sólido y de los fluidos, de allí que creamos conveniente establecer un nuevo criterio y clasificar los movimientos lentos en:

- 1) Reptación individual de granos o bloques (Unireptación).
- 2) Suelocrioreptación.
- 3) Fluencia lenta periglacial (Suelocrioviscofluencia).
- 4) Fluencia lenta no periglacial (Suelohidroviscofluencia).
- 5) Fluencia glaciar (Crioviscofluencia).
- 6) Fluencia lenta de rocas (Litoplastofluencia).

La Unireptación correspondería a lo que frecuentemente denominamos "creeping" o movimiento grano a grano, pero aplicable a cualquier elemento sólido que repté individualmente, sea un grano de arena o un bloque de varias toneladas.

La sueloocrioreptación correspondería a todo movimiento en el cual el material reptara por el levantamiento de esquirlas de hielo o de pipkrake y si es encauzado correspondería a los "ríos de piedra" o a la "reptación de glaciares de piedra".

La sueloocrioviscofluencia correspondería a lo que inicialmente se llamó soliflucción y que en realidad corresponde a una mezcla de sólido y líquido, que se mue-

ve como fluido viscoso ladera abajo por deshielo del agua intersticial.

La suelohidroviscofluencia correspondería a movimiento de materiales superficiales en forma maciza y no encauzada originada por una sobresaturación con agua de infiltración.

Su única diferencia con el anterior sería el no estar relacionado con el hielo deshielo y generarse en áreas extraperiglaciares y se correspondería con las denominadas corrientes terrosas.

La crioviscofluencia correspondería al movimiento del hielo ladera abajo, el cual es por todos conocido, y ha sido expuesto y analizado en innumerables trabajos.

La litoplastofluencia corresponde a una verdadera fluencia lenta de rocas que puede originar arrugamiento basales o inversión de buzamiento, la acción de la gravedad sería el factor dominante y la sobrecarga por peso propio podría originar los abultamiento o lóbulos hasta el colapso.

### 3- MOVIMIENTOS RAPIDOS

En este punto es donde menos acuerdo existe entre los diferentes autores, pues algunos los incluyen directamente entre los deslizamientos, otros los desagregan en infinidad de subtipos, de allí que intentaremos una nueva clasificación, tal vez mas acorde con la mecánica de los procesos.

- |                                      |   |   |
|--------------------------------------|---|---|
| 3-1 Movimientos individuales rápidos | { | 1. Desprendimiento de rocas y de detritos.<br>2. Rodamiento de detritos.  |
| 3-2 Movimientos colectivos rápidos   |   |   |
| 2-1 Encauzados                       | { | 1. Viscófluencia rotacional<br>2. Colpaso de escombros<br>3. Corrientes espasmódicas de detritos.<br>4. Riadas de detritos<br>5. Corrientes de turbidez |
| 2-2 No encauzados                    | { | 1. Deslizamientos rotacionales<br>2. Deslizamientos en lajas<br>3. Volcamientos   |

#### 3-1 Movimientos individuales rápidos:

Se caracterizan por un rápido cambio de posición en corto tiempo, de bloques, detritos o granos, en caída libre o por rodamiento sobre taludes. Son difíciles de predecir y casi instantáneos, lo que los vuelve extremadamente peligrosos para las obras civiles. Por otra parte, ellos pueden generar microsacudidas, cuando su impacto es apreciable, las cuales pueden hacer entrar en colapso otras áreas.

**3-1-1. Desprendimiento de rocas y de detritos.** Tienen lugar en taludes empinados, por pérdida de estabilidad de parte de los bloques o granos del talud y en caída libre van hasta el pie (Fig. 12 y 13).

Entre los procesos que lo pueden originar, mencionaremos:

1) criosclatía, o efecto de cuña debido al helamiento del agua existente entre las fisuras de las rocas, 2) haloclastía, con efecto semejante, a causa del crecimiento de cristales por precipitación dentro de las fisuras de las rocas, 3) ter-

moclastía, debido a las tensiones generadas por efecto de dilatación diferencial de los cristales de las rocas sometidas a variaciones bruscas de temperatura, 4) bioclastía, consecuencia de la expansión generada por las raíces de los vegetales al desarrollarse entre las discontinuidades litológicas.

Es importante mencionar que estos movimientos pueden estar en potencia y desecandarse como lluvia de detritos cuando son sometidos a sacudidas sísmicas o antrópicas. Una voladura, el uso de taladros neumáticos y hasta el paso de un tren o un camión puede originarlo. Tampoco hay que dejar de tener en cuenta que los materiales pueden entrar en resonancia con vibraciones rítmicas aumentando la amplitud propia de vibración y producir el colpaso.

#### 3-1-2. Rodamientos de rocas y de detritos.

Es también un movimiento individual y puede ser generado por muchos procesos: 1) Remoción del soporte (por ejemplo por acción del agua o del viento). 2) Crio-elevación, o levantamiento del bloque por la expansión del agua al helarse bajo él. 3) Empuje, debido a un agente externo (aguamiento o impacto de otro bloque).

Generalmente el rodamiento sucede al desprendimiento, es decir que al caer desde un talud empinado el bloque: rueda sobre el talud basal menos empinado; frecuentemente estos movimientos se deben a sacudidas y valen todas las consideraciones hechas en el punto anterior.

Es importante mencionar que son bastante peligrosos, puesto que pueden movilizar bloques que en algunos casos pesan incluso toneladas y detener su impacto es extremadamente costoso.

La caída o rodamiento de escombros puede ocasionar problemas serios en las vías de comunicación, torres de conducción y en general a casi cualquier obra civil.

Para poder protegerse de ellos es necesario primero que nada conocer la causa que los origina, y para estudiar las posibilidades en soluciones, cuya enumeración sería demasiado extensa, sólo mencionaremos algunas a título de ejemplo: para las obras viales puede adoptarse un sistema combinado de muros de contención-encauzamiento y galerías con techumbre deslizadora (Fig. 14)

Si la pared es muy empinada, esta solución es costosa, y habrá que pensar en túneles o cortes a media ladera, con deslizadores que resistan el impacto, o bien soportar la situación con problemas de mantenimiento y probables pérdidas de vidas periódicamente. En algunos casos es factible provocar explosiones que originen la caída de los bloques mas inestables y repetir el proceso con mas o menos frecuencia, lo cual sirve mas bien para dar un tiempo útil de construcción de obras de defensas que para asegurar la estabilidad, ya que la explosión puede aflojar otros bloques que estaban mas o menos estables.

El efecto de la vegetación (bioclastía) puede solucionar con el talado, pero el debido al hielo y las sales es mas difícil.

En material granulario con pendientes fuertes, del orden de los 45 grados, frecuentemente estos movimientos terminan generando una especie de red pinada por donde ruedan los bloques mas grandes desprendidos del talud, lo cual facilita la protección puesto que el rodamiento peligroso se dará en determinados lugares. Un ejemplo en miniatura de lo antedicho, como micromodelo, puede verse en un simple montículo de arena de grano grueso en cualquier depósito de obra.

#### 3-2 Movimientos Colectivos Rápidos:

La diferencia esencial de estos movimientos con los anteriores, es que una porción completa de la ladera

entra en colapso y se moviliza masivamente, si bien cada grano tiene una componente de velocidad variable en intensidad y dirección en el espacio y el tiempo, durante el corto lapso que dura el movimiento. Lo antedicho caracteriza los subtipos encauzados, puesto que existen otros en los cuales se desprende una parte de la ladera, sin que pierda homogeneidad el conjunto en movimiento, y desliza sobre una superficie de corte plano, alabeada o bialabeada.

### 3-2-1 Movimientos encauzados

De una forma u otras todos estos movimientos definen una morfología particular que tiene un límite con el aspecto que se indica en la Fig. 16, es decir que se puede distinguir una cabecera mas o menos lobulada estrechada hacia abajo, un sector mas o menos rectilíneo (que prácticamente puede faltar) y otro sector basal, lobulado, con estrechamiento hacia arriba.

En algunos casos hay toda una secuencia transicional entre ellos debido al mayor o menor contenido de agua, pero en otros el agua intersticial participa poco o incluso absolutamente nada.

Otro rasgo común es una grieta en arco en la parte superior (luego de originado el movimiento) con la concavidad ladera abajo y un abultamiento en la parte basal con concavidad ladera arriba (Fig. 17).

#### 3-2-1-1 Visconfluencia rotacional

Hemos considerado conveniente utilizar esta terminología para varios tipos de procesos que no siempre son bien diferenciados entre sí y cuya característica fundamental es tener cierto contenido de agua que no alcanza a generar una masa de material casi en suspensión, sino que se comporta como un material viscoso. Se asemejan en cuanto fluido, al movimiento de los glaciares, pero se diferencian de éstos por presentar una superficie neta de corte y ser muy rápidos.

Frecuentemente son consecuencia de un sobreexceso de carga generado por un aumento de la presión hidrostática del nivel freático.

Características de las áreas con altos valores de precipitación y sobre suelos que impiden una evacuación rápida del agua intersticial.

Algunos autores la denominan solifluxión intertropical, pero esa terminología puede confundir, porque en verdad la masa se comporta como material muy viscoso y presenta grietas secundarias de corte con asentamiento diferencial que pueden detectarse claramente en la morfología (Fig. 17); en general, inicialmente, a lo largo de una superficie entera de corte se comienzan a producir microrupturas, que facilitan el escurrimiento del agua y el arrastre coluvial de los elementos cohesivos, lo que debilita aun más la resistencia al corte de dicha superficie y aumenta las rupturas progresivamente. En superficie suele notarse en lo alto de la ladera una grieta incipiente en arco y al pie del talud la fluencia de agua sucia, barrosa o cargada de coloides (Fig. 19). También pueden notarse movimientos superficiales diferenciales en la ladera, arrugamientos y en algunas partes variaciones en la vegetación.

Fisuras secundarias cortan la masa hasta que el sistema todo entra en colapso y se despega, generando un escarpe en forma de anfiteatro, y un área de estrechamiento, un abultamiento basal.

Durante el movimiento puede haber exudación generalizada del agua por compactación.

Se presentan también terrazetes en arco en la parte superior, frecuentemente inclinadas hacia atrás y arrugas y grietas en la base que forman especie de cordones, semejantes a las morrenas frontales de los glaciares, con grietas mas o menos abiertas entre ellas. Estas no se prolongan en profundidad ya que la superficie se com-

porta al estado rígido y el interior como plástico durante el movimiento.

Existen factores que favorecen estos procesos y otros que los acentúan. Entre los primeros podemos citar:

1) Rocas blandas, permeables pero no en exceso. 2) Discontinuidad entre la roca sana y la capa meteorizada. 3) Pendientes fuertes y 4) Régimen de lluvias que favorezca una continua elevación de la freática hasta saturar el suelo.

Entre los factores que pueden acentuarlos: 1) Pérdida de estabilidad por remoción del soporte, 2) Aumento del agua intersticial por talado o reemplazo de la vegetación natural, 3) Sobrecarga por construcciones en la cumbre de la ladera, o por infiltraciones desde un canal superior, 4) Sacudidas sísmicas o artificiales, 5) Manto meteorizado muy potente.

Debemos decir que estos movimientos pueden darse sin que exista una superficie de discontinuidad manifiesta entre la roca sana y la zona meteorizada, siendo la ruptura en forma de cuchara un problema puramente mecánico.

La defensa contra estos movimientos tiene la ventaja de que las fotografías aéreas y la observación visual de la zona puede inducirnos a inferir la existencia de los mismos por la presencia de esa morfología inicial a que hicimos referencia. Por otra parte, durante los periodos lluviosos debe impedirse la circulación de vehículos durante los picos de precipitaciones, que dan los momentos críticos para que se originen estos movimientos.

En general todas las soluciones se basan en disminuir el agua del suelo y bajar la freática, para lo cual se pueden instalar drenes evacuadores por detrás de los muros de contención o en canaletas profundas. Conviene la construcción de canaletas de guardia ladera arriba, que obstruyan el aporte superficial y que en lo posible estén revestidos para evitar filtraciones.

La vegetación, con raíces profundas y ramificadas (si la masa regolítica no es muy potente) es la mas conveniente, pues además de dar estabilidad por la trabazón interna que genera, intercepta, consume y evapora gran cantidad de agua, lo cual favorece a la estabilidad.

Si no existe vegetación protectora se puede cubrir con panecillos de suelos y gramíneas toda la ladera, para lo cual existen varios métodos.

Incluso puede establecerse un sistema combinado de drenes y regado de la superficie con petróleo y puede sembrarse antes de regar (si se trata de zonas semiáridas) ya que las semillas podrán germinar, por la condensación de agua durante la noche, bajo la cobertura de petróleo debido a la fuerte tensión capilar que genera la capa al calentarse durante el día.

En áreas donde la ladera está cubierta por nieve durante una estación, habrá que tener especial cuidado con los deshielos bruscos que pueden saturar el suelo, de allí que las laderas en sombra sean, desde este punto, las menos peligrosas y el drenaje deba ser estudiado detenidamente.

#### 3.2.1.2. Colapso de escombros.

Es un movimiento que se caracteriza por tener lugar con poquísima o aún nada de agua, en taludes de material granular sin cohesivos, como arena pura, por ejemplo.

Se debe a un sobreexceso de carga o aumento de la pendiente por arriba de su talud natural de reposo.

Generalmente al pie de laderas fuertes, se tiende el talud de escombros, cuya pendiente depende exclusivamente del ángulo de fricción interna. Pero como a medida que siguen llegando granos desde arriba el ángulo del talud



aumenta por sobre el valor crítico de reposo, se origina un estado no estable, hasta que instantáneamente entra en colapso y forma un modelo semejante al descrito anteriormente pero sin grietas, tal como se indica en la Fig. 20 y el talud cae debajo del valor de reposo.

Estos movimientos son sumamente peligrosos pues generan microsismos que se propagan a la pendiente trasera mas empinada de la cual se desprenden nuevos rodados en gran cantidad y muy rápidamente.

La causa que los origina es la expuesta, consecuencia del aporte continuo desde la ladera empinada, el cual si no logra detenerse generaría a intervalos sucesivos estos movimientos de colapso.

Son extremadamente susceptibles a las vibraciones y a los fenómenos de resonancia.

Este tipo de proceso, en miniatura, puede observarse con mucha facilidad en taludes de arena seca en los cuales se creó un quiebre marcado de pendiente.

### 3.2.1.3. Corrientes espasmódicas de detritos.

En los taludes fuertemente empinados, el material mas grueso que se desprende de las laderas va disponiéndose en una especie de red pinada.

A medida que se produce la llegada de nuevos materiales, el equilibrio de esos regueros de piedra se vuelve inestable y basta con ligero sobreexceso, o el microsismo producido por los colpasos de escombros, para que entren en movimiento como un río de piedra. El proceso descrito tiene lugar a intervalos mas o menos periódicos y también puede observarse como modelo reducido en taludes de arena gruesa o mediana, especialmente. (Fig. 21).

El problema de estos procesos estriba en su gran sensibilidad a las sacudidas sísmicas o naturales. Desde otro punto de vista presentan la ventaja de estar encauzados, por lo cual las defensas están siempre localizadas en zonas bien determinadas, donde se recurre a la solución ya vista anteriormente, es decir colocar cubiertas deslizadoras por sobre las vías de comunicación. Las pantallas desviadoras pueden ser poco efectivas pues el empuje del material en movimiento es muy grande y lo único que se lograría es trasladar el problema a otros puntos.

Se debe tener especial cuidado de no fundar sobre estos regueros de piedra (que muchas veces son confundidos con lechos fluviales suponiéndolos estables), ya que en su movimiento arrastrarán cualquier obra que esté sobre ellos, o sostener a las construcciones incadas en rocas subyacentes y resistentes a fuertes empujes e impactos, ya que en el escurrimiento grandes bloques pueden avanzar por saltación.

### 3.2.1.4. Riadas de detritos.

Nos ha parecido mas conveniente utilizar éste término para agrupar a varios movimientos rápidos con alto contenido de agua a lo largo de cauces determinados, como si fuera un curso fluvial sobresaturado al extremo.

Los materiales que entran en movimiento pueden ser de cualquier tipo, siempre que el sobreexceso de agua permita su desagregación para formar una masa fluida.

Cantos rodados, depósitos morrénicos, arcillas, limos y arenas, son susceptibles a estos procesos.

En general, son el resultado de una sobrecarga de agua que hace sobrepasar el límite de estabilidad al talud y lo pone bruscamente en movimiento. En los materiales cohesivos suele iniciarse como viscofluencia rotacional, que rompiendo la estructura cohesiva facilita su paso a la riada de detritos, a tal punto que en muchos sectores se puede observar en la parte superior de la ladera el despeque en

“cuchara” y los bloques deslizados de la solifluencia rotacional, y mas abajo un típico modelo de riada de detritos debido a la mayor desagregación sufrida por el material en la base (Fig. 22).

Son extremadamente peligrosos por la gran velocidad que pueden adquirir debido a su encauzamiento en morfología de torrentes, por lo cual frecuentemente se los designa como torrentes de barro.

Su origen, además del expuesto, puede ser muy variado: ruptura de morrenas frontales de endicamiento por sobrepresión hidrostática, caída de materiales hacia un valle fluvial, precipitaciones muy intensas sobre materiales no cohesivos y los terremotos son los mas frecuentes.

En su avance arrastran cuanto material encuentran a su paso, pudiendo transportar grandes bloques, vehículos, viviendas, etc. Frecuentemente se producen obstrucciones o endicamientos en el canal de descarga lo cual genera una acumulación del material que sigue llegando por detrás (Fig. 23).

Cuando la obstrucción cede, oleadas de lodo y bloques avanzan abajo con un poder destructor, hasta que al llegar a un plano basal terminal, generan un amplio cono de detritos, con límites lobulados que pueden observarse muy bien en las fotografías aéreas.

En algunos casos, procesos semejantes pueden darse en el frente de avance de un lóbulo de solifluencia, generándose una riada secundaria de detritos muy finos que se abren en abanico al pie del lóbulo.

La defensa frente a estos procesos es generalmente costosa porque puede significar: 1) Corrección de toda la cuenca superior, 2) Atravesar sobre un puente el canal de descarga o 3) Atravesarlo en túnel bajo el cono de deyección (Fig. 24).

Cuando existe la morfología asociada, el problema es básicamente de costos, ya que se conoce donde y como se producirán estos movimientos de manera que es factible estudiar las medidas de protección o defensa.

El mayor problema se presenta cuando la morfología y condiciones litológicas que pueden favorecerlos están sepultadas, no traduciéndose en el relieve. Ciertas cubetas, cuencas de torrentes, deltas, etc. son las paleoformas mas frecuentes en las cuales se generan y en estos casos el movimiento se inicia por un asentamiento y pérdida de capacidad portante de los suelos que rápidamente entran a fluir en forma encauzada a alta velocidad.

Las fotografías aéreas pueden ser muy útiles para detectar esas paleoformas y permiten establecer la posibilidad de manifestaciones de este tipo de procesos.

### 3.2.1.5. Corrientes de turbidez

Son del mismo tipo que las anteriormente mencionadas, sólo que ellas tienen lugar bajo agua, por lo cual en algunas obras son descritas como deslizamiento subacuáticos.

Los materiales poco consolidados de depósitos de zonas litorales, como deltas y marismas, pueden entrar en colapso y generar un movimiento como el anterior pero con mucha mayor cantidad de agua, de manera que el material sólido se mueve en gran parte en suspensión como un verdadero río de sedimentos dentro del agua. Frecuentemente la morfología del fondo los favorece a causa de canales o cañones subacuáticos por donde escurre la corriente a muy alta velocidad.

El corte de cables de comunicaciones submarinos ha sido atribuido en muchos casos a las mencionadas corrientes, originadas muy frecuentemente por sismos, que hacen perder la estabilidad al talud sedimentario submarino.

no, poniendo en movimiento el material sólido a lo largo de los cañones.

El fenómeno también ha sido registrado en lagos naturales o en los de embalse, siendo extremadamente peligrosos para el área ribereña e incluso por los problemas de socavación en las presas, además de la colmatación de fondo que generan (Fig. 25).

Como los deltas terminales frecuentemente se generan en los embalses por efecto de la variación del nivel de base creado por el lago artificial, debe tratarse de evitar que ellos se desarrollen, construyendo obras especiales en los cursos afluentes, tanto mas cuanto mayor sea la cantidad de sedimentos que transportan, teniendo en cuenta que el valle cubierto por las aguas actuará como canal de descarga natural.

Los evacuadores de fondo, la obra de toma y el vertedero no deben colocarse de manera que aceleren el escurrimiento de fondo por el valle inundado ya que ello favorecerá las corrientes de turbidez.

### 3.2.2. Movimientos no encauzados

La característica fundamental que presentan reside en que la parte que entra en movimiento lo hace sobre una superficie neta de corte y sin perder su estructura interna durante el movimiento. En una palabra, el sector en movimiento se desliza como un todo sobre la superficie de corte y únicamente la comprensión que sufre el material en la base es responsable de la desorganización estructural que se observa al final del proceso, de allí que correspondan a los deslizamientos en el sentido estricto de la palabra.

#### 3.2.2.1. Deslizamientos rotacionales.

Su particularidad reside en presentar una superficie de corte bialabeada, con un radio de curvatura menor en el plano vertical que corresponde al eje del movimiento (Fig. 26)

Recibe este nombre porque se puede suponer calcular el movimiento como si la masa de material rotara alrededor de un punto teórico situado en el espacio. Si trazáremos la vertical que pasa por dicho centro, el sector situado ladera arriba genera un momento de volcamiento en tanto que el situado hacia abajo un momento estabilizador.

Para el cálculo, se considera a lo largo de la superficie de corte fuerzas de cohesión que se oponen al deslizamiento, sin embargo el proceso es mas complejo de lo que parece, ya que inicialmente se producen microfisuras y el agua que escurre entonces por la futura superficie de corte arrastra los coloides. Por lo antedicho al producirse el colapso, la colaboración de la cohesión es mucho menor de la que se puede suponer de los ensayos de laboratorio con muestras tomadas in situ, lo cual debe ser tenido en cuenta.

El origen de este tipo de movimientos es un problema de estabilidad ya que siempre obedece a un aumento relativo del momento de volcamiento sobre el estabilizador y por lo tanto puede deberse a: 1) aumento de carga en la parte superior de la ladera. 2) disminución del momento estabilizador por remoción natural o artificial de parte del talud. 3) sobrecarga hidrostática por elevación de la freática, 4) pérdida de cohesión por arrastre mecánico de coloides o disolución en la superficie de corte.

Por lo antedicho, las medidas de protección y defensa serán las mismas que se mencionan para 2.1.1. (viscofluencia rotacional).

#### 3.2.2.2. Deslizamiento en lajas.

Su particularidad reside en que una placa o laja de roca o suelo se mueve como un todo, ladera abajo, a lo

largo de un plano inclinado de deslizamiento.

Es importante tener en cuenta que la resistencia al movimiento está dada fundamentalmente por la fricción a lo largo de la discontinuidad que servirá como superficie deslizante, de la cohesión del material y fricción interna en caso de que esa discontinuidad no exista previamente.

Por lo antedicho, existirán dos condiciones básicas para que tenga lugar este tipo de deslizamiento: 1) Existencia previa de una discontinuidad litológica y 2) Existencia de condiciones litoestructurales que posibiliten el desarrollo de una superficie plana de corte.

En el primer caso puede deberse a: Fallas, diaclasas o superficies de discontinuidad erosiva o estratigráfica.

Las fallas evidentemente representan la peor situación, debido a que ellas se han originado por escurrimiento diferenciales del macizo a ambos lados del plano de falla y por consiguiente la rugosidad es mínima, pudiendo existir espejos de fricción que representan un verdadero deslizador. Por suerte las fallas tienen normalmente un fuerte buzamiento, por lo cual no es frecuente un plano que buse ladera afuera, pero en los relieves plegados pueden aparecer fallas incluso horizontales que deben analizarse con sumo cuidado (Fig. 27.)

Las diaclasas son potencialmente las mas peligrosas y las responsables mas frecuentes de estos movimientos, por lo cual se hace imprescindible estudiar detenidamente el sistema de discontinuidad que ellas determinan y aquellas que son críticas para la estabilidad de los taludes.

Tres factores favorecen el deslizamiento a lo largo de las diaclasas: 1) la escasa rugosidad de los labios, 2) la existencia de material meteorizado y 3) la pendiente de la discontinuidad (Fig. 28).

Es importante tener en cuenta que la humedad atmosférica desempeña un importante papel en la meteorización a lo largo de los planos de diaclasamiento, disminuyendo la rugosidad y dando lugar a minerales de neoformación como las arcillas, que favorecen el movimiento.

La expansión de las diaclasas por crioclastia, bioclastia o haloclastia es otro factor a ser tenido muy en cuenta.

Finalmente, el agua de percolación a lo largo de los planos de diaclasamiento y las sacudidas sísmicas naturales o artificiales son otros de los factores que pueden acelerar el proceso.

Las superficies de discontinuidad litológicas pueden deberse a la diferencia neta entre dos estratos diferentes (Fig. 29) o a la existencia de una antigua superficie de erosión sepultada (Fig. 30).

Algunos autores llaman a los movimientos generados en estas condiciones "dislocamientos".

La existencia de minerales coloidales a lo largo de dichas superficies puede ser extremadamente peligrosa por la susceptibilidad que presentan a los procesos de arrastre coloidal hipodérmico o a comportarse como lubricantes, mas que como cementantes entre las rocas que separan.

Las sales dispuestas a lo largo de dichas superficies son otro problema potencial, ya que pueden ser disueltas por el agua intersticial.

En el segundo caso no existe previamente una discontinuidad pero las condiciones litoestructurales hacen que a lo largo de ciertos planos sea mas factible el corte a la deformación plástica.

Las rocas sedimentarias estratificadas representan un peligro potencial cuando buzanan hacia afuera de las laderas ya que su génesis determina una cierta disposición

o selección de granos en láminas que aún siendo homogéneas o relativamente homogéneas permiten una menor resistencia al corte en dicha dirección (Fig. 31).

También en las rocas metamórficas fuertemente esquistosas los minerales tienden a dispersarse en capas o esquistos que se comportan al corte de la misma manera mencionada para las sedimentarias. La existencia de capas de micas suelen ser causa frecuente de deslizamientos en rocas que en conjunto parecen comportarse como macizas tal como ocurre con los micasquistos y las gnais, por lo cual es fundamental determinar el buzamiento de la esquistosidad (Fig. 32).

Las rocas pizarrosa y los esquistos de la pizarra representan el máximo peligro de estos movimientos por su facilidad a la desagregación en lajas.

También es importante tener en cuenta la competencia de cada una de las rocas de un paquete sedimentario, ya que puede ocurrir que se intercalen algunas poco competentes que pueden deformarse plásticamente bajo peso, iniciando el deslizamiento. Las capas de arcillas muy plásticas, y ciertas evaporitas actúan frecuentemente de esta manera y la presencia de agua puede acelerar aún más el proceso (Fig. 33). Por todo lo antedicho debe prestarse especial atención: 1) Al buzamiento de los estratos, a la esquistosidad y a las discontinuidades, 2) A la existencia de superficies de erosión sepultadas, 3) A la existencia de rocas que pueden comportarse como plásticas por presión o absorción de agua, 4) A la susceptibilidad de la roca al helamiento, 6) Al grado de meteorización a lo largo de las discontinuidades, 7) A la circulación del agua intersticial, 8) A la expansión por crioclastia, bioclastia o haloclastia, 9) Al comportamiento de los taludes bajo agua.

Las medidas de protección se basan en muros de contención con drenes posteriores, inyecciones de cemento, descensos de la freática o impermeabilización, según los casos.

### 3.2.2.3. Volcamientos

Se caracterizan por un movimiento hacia adelante de parte de la ladera como consecuencia de socavación o pérdida de soporte de la base, que hace actuar a la parte superior como un voladizo. Generalmente son consecuencia de una marcada diferencia de resistencia a la erosión en las capas que constituyen una ladera (Fig. 34); por acción del agua el viento o la crioclastia la capa o estrato inferior es erosionado, formando un socavón que se agranda en la medida que la parte superior resiste los esfuerzos de corte a que se ve sometida por efecto de voladizo.

El colapso es instantáneo, desplomándose el conjunto hacia adelante donde puede permanecer inclinado hacia el frente o bien originar secundariamente un talud de laderas empinadas (Fig. 35). El ángulo de la grieta de corte puede ser variable de acuerdo al material y la estructura que constituyan la ladera (Fig. 36 a-b y c)

Frecuentemente, antes de entrar en colapso pueden observarse grietas más o menos paralelas o en arco en la parte superior, lo que permite tomar medidas preventivas.

En algunos casos no es necesaria la existencia de una deshomogeneidad litológica para que el socavón se origine. El batido o abrasión del oleaje marino o de lagos puede generarlo e incluso la corrosión eólica, que es mucho mayor próxima a la superficie, da lugar a estas reentrancias en rocas compactas y homogéneas terminado por generar este tipo de procesos (Fig. 37 a y b).

El contacto de ciertos sedimentos con el agua, puede hacer que pierdan su capacidad portante o generen asentamiento y deformaciones plásticas que no puedan ser acompañadas por la parte superior, debido a su mayor rigidez, por lo cual también pueden originar el mismo proceso (Fig. 38), de allí que sea de mucha importancia analizar

el comportamiento de taludes bajo agua cuando se constituyen lagos de embalse.

Las obras de defensa se basan en muros de contención que pueden requerir pilotaje profundo e incluso anclajes y para el caso de erosión por batido de olas, la construcción de muros y escolleras o rompeolas.

## 4 - ASENTAMIENTOS Y EXPANSIONES

Constituyen un conjunto muy amplio de procesos que dan lugar a descensos o ascensos diferenciales de los suelos o rocas y resultan sumamente peligrosos para las obras civiles por los esfuerzos a que son sometidos y podemos clasificarlos en:

- |                  |   |  |
|------------------|---|--|
| 1- Asentamientos | { | <ol style="list-style-type: none"><li>1- Por compactación diferencial</li><li>2- Por disminución de fluidos</li><li>3- Por deshelamiento</li><li>4- Por disolución</li><li>5- Por colubriación hipodérmica</li><li>6- Por fluencia</li><li>7- Por colapso de obras civiles</li></ol> |
| 2- Expansiones   | { | <ol style="list-style-type: none"><li>1- Expansión por descarga</li><li>2- Expansión por helamiento</li><li>3- Expansión por inhibición</li><li>4- Por fluencia</li></ol>  |

### 4.1.1. Asentamientos por compactación diferencial

Se deben fundamentalmente a la compactación a que se ven sometidas las rocas subyacentes por efecto del peso de las capas superiores.

En general es un proceso lento, pero se vuelve tanto más peligroso cuanto más deshomogéneos los materiales y la paleotopografía.

En efecto, el coeficiente de compactación es diferente para cada roca y, por consiguiente, si la pila sedimentaria es homogénea, se producirá un asentamiento homogéneo que efecte muy poco a las construcciones pero si es deshomogénea, (por ejemplo debido a la existencia de lentejas de rocas muy comprensibles), los asentamientos serán mayores sobre ellas, pudiendo incluso generar fallas bloques que se asienten diferencialmente (Fig. 39)

Por otra parte, suponiendo una pila sedimentaria idéntica pero en paleorelieve sepultado muy movido, como el asentamiento total en cada punto es proporcional a el espesor de los sedimentos cuanto mayor la potencia de la pila mayor el asentamiento (Fig. 40)

Frecuentemente las dos situaciones mencionadas coexisten y el problema se agudiza.

Debe tenerse en cuenta que ciertas obras de ingeniería transmiten al suelo cargas relativamente grandes lo cual puede acentuar aún más los asentamientos diferenciales.

### 4.1.2. Asentamientos por disminución de fluidos.

El agua intersticial que contienen las rocas resiste parcialmente el esfuerzo de comprensión a que estas se ven sometidas y lo mismo ocurre con otros fluidos tales como gas o petróleo, de allí que su evacuación natural o artificial da lugar a asentamientos.

Si la roca que se ve sometida a la pérdida del fluido es homogénea los asentamientos serán homogéneos, pero de lo contrario muy variables de un punto a otro.

Cuando la extracción es realizada por bombeo, la curva de deflexión que origina la succión da lugar a asentamientos, mayores cuanto más próximos al área de bombeo.

En algunas rocas la estructura no tan susceptible a esa pérdida de fluidos y puede resistir bastante bien la comprensión mediante su trabazón y la fricción interna, pero otras, como las arcillas tixotrópicas y ciertos sedimentos sineríticos, generan fuertes asentamientos al producirse la extracción. Un ejemplo sumamente conocido lo constituye la ciudad de México, donde los valores de asentamientos extremos se miden en metros (Fig. 41).

#### 4.1.3. Asentamientos por deshielo.

Corresponden a las áreas periglaciares, donde durante la estación mas fría el agua del suelo se hiela para deshelarse durante el verano, como hemos mencionado al referirnos a la soliflucción. Sin embargo, hay lugares en estas áreas donde no existe la soliflucción, pero de igual manera el deshielo del suelo genera importantes asentamientos que pueden llegar al orden de dos o tres metros en casos extremos. Por otra parte, como el asentamiento es proporcional al contenido de hielo y éste dependen de las condiciones de porosidad del suelo, aquel varía de un punto a otro.

El contraste brutal entre la alta resistencia que ofrecen los suelos helados y su pérdida casi total de valor soporte durante el deshielo es uno de los mas serios problemas que enfrenta la ingeniería en estas zonas, y obliga a diseños muy costosos que pueden significar perforar hasta el suelo permanentemente helado para fundar, diseñar estructuras que permitan prácticamente "flotar" a las construcciones o remover totalmente la capa superior del suelo para colocar balasto o material granular muy homogéneo (Fig. 42).

#### 4.1.4. Asentamientos por disolución

El ejemplo mas típico lo constituyen los procesos kársticos generados sobre rocas calcáreas y ciertas evaporitas, donde al agua subterránea origina disolución y arrastre de los minerales solubles, dando lugar a un descenso general del área, o a cavernas cuyos desplomes generan asentamientos muy importantes, con microfallas o incluso un conducto vertical (Fig. 43). Sin embargo, los procesos de asentamientos por disolución pueden darse en rocas que contengan cierto contenido de sales solubles, generando una morfología muy parecida a la del karst, a la cual se denomina pseudokárstica.

Estos procesos se ven acelerados por la circulación de agua y la presión hidrostática que ella posea. Es por ello de suma importancia verificar el tipo de material con que se construyan obras de embalse de tierra porque estos procesos pueden originar asentamientos y pérdidas muy importantes de agua, aún con contenidos muy bajos de elementos solubles (Fig. 44).

#### 4.1.5. Asentamientos por colubiaci3n hipodérmica

Se traducen en una morfología típicamente pseudokárstica y se originan por el arrastre de coloides por el agua intersticial siendo frecuente en los suelos arenarcillosos. La pérdida progresiva de coloides en funci3n del mayor o menor contenido de aquéllos, la direcci3n, y la velocidad del escurrimiento subterráneo. Pueden generar los mismos problemas que hemos mencionado en el punto anterior, por lo cual debe estudiarse detenidamente la posibilidad de estos procesos antes de decidir el empleo de un yacimiento para obras de embalse (Fig. 45).

#### 4.1.6. Asentamientos por fluencia

Cuando la capa de roca que puede comportarse como plástica se encuentra confinada, sus posibilidades de desplazamiento son mínimas. Pero si un proceso natural o una obra civil rompe ese confinamiento, la roca fluye y origina el asentamiento de la roca superior que puede adaptarse a la deformaci3n si es relativamente elástica o romperse en bloques que se mueven diferencialmente si es muy rígida (Fig. 46). La incisi3n de cursos fluviales puede dar lugar naturalmente a estos procesos, y los canales actúan

de la misma manera.

Para que la situaci3n prevista tenga lugar es necesario que el río o el canal tengan suficiente poder como para evacuar el material que fluye.

Los túneles pueden también generar la pérdida del confinamiento de una roca y generar fluencia dentro del mismo y asentamientos en la parte superior (Fig. 47).

#### 4.21.7. Asentamientos por colapso de obras civiles

Pueden darse a consecuencia de túneles y galerías que originen una descompresi3n o redistribuci3n de las tensiones internas de un macizo. Ya hemos mencionado un ejemplo en el punto anterior y pueden ocurrir verdaderos desplomes de la estructura civil, que originen asentamientos y microfallas que se traduzcan en superficie (Fig. 48).

Estos procesos pueden originarse también sin que la estructura entre en colapso, por la simple reordenaci3n de tensi3n interna del macizo.

#### 4.2.1. Expansi3n por descarga

Las rocas que han estado sometidas por un largo tiempo geológico a la compresi3n de las capas superiores pueden expandirse por efecto de descarga al realizarse un destape profundo, como puede ocurrir en cortes para canales aliviadores o para la fundaci3n de una presa. Además del efecto de subpresi3n que originan, dan lugar a múltiples fisuras que pueden aumentar la permeabilidad o ahincamiento que pueden hacer variar la cota de fondo de las trincheras. Cuanto mas susceptible a la compresi3n sea la roca, mayor será su expansi3n por descarga y debemos recordar que puede producirse este proceso al cabo de un cierto tiempo, de allí que sus efectos no se traduzcan necesariamente en forma inmediata (Fig. 8-49).

#### 4.2.2. Expansi3n por helamiento.

Es el proceso inverso al mencionado en 3.1.3. y están siempre asociados. Pueden generar bolsas de hielo que se conocen como "hidrolacilitos". Los empujes verticales hacia arriba (subpresi3n) que originan pueden ser extremadamente altos y suficientes como para elevar estructuras pesadas, con el agravante de que la desmogeneidad de la expansi3n somete a las estructuras a esfuerzos de flexi3n y corte muy apreciables que pueden dar lugar a colapsos, grietas, asentamientos y pérdidas de la verticalidad. (Fig. 50).

#### 4.2.3. Expansi3n por imbibici3n

Característico de las arcillas expansivas del tipo de las montmorillonitas, se vuelven muy importantes, pues actúan de manera semejante a la mencionada en 4.2.1. y la expansi3n varía de acuerdo al contenido de arcillas de ese tipo que presentan los suelos, y a la potencia del estrato (Fig. 51). Los problemas generados por estos procesos (4.2.1. y 4.2.2.) pueden ser tan grandes que impidan la construcci3n de una obra, o bien requieran su remoci3n total y reemplazo por materiales granulares o bien diseñar estructuras muy costosas.

En este punto debemos mencionar otra roca que tiene la particularidad de absorber muy fácilmente agua generando un aumento apreciable de volumen. Nos referimos a la anhídrita o sulfato de sodio anhídrido que cuando está confinada y recibe aportes de agua la absorbe y se expande generando altas presiones que pueden deformar o fracturar las rocas subyacentes (Fig. 52). La construcci3n de túneles conductores de agua en este tipo de roca es muy difícil sino imposible, pues el contacto con el agua de filtraci3n o incluso del hormig3n del revestimiento genera presiones que pueden hacer entrar en colapso la estructura (Fig. 53).

#### 4.2.4. Expansión por fluencia.

Las condiciones que las generan son las mismas mencionadas para 4.1.6 pero si el canal no tiene capacidad de evacuar el material que fluye, las rocas superiores se deforman como se ve en la figura (8-54). Puede ocurrir también que el fondo del canal se eleve como una isla, tal como ocurrió en la construcción del canal de Panamá, por efecto de la sobrepresión generada por la acumulación del material de la trinchera a ambos lados de la misma (fig. 55).



Fig. 1



Fig. 2

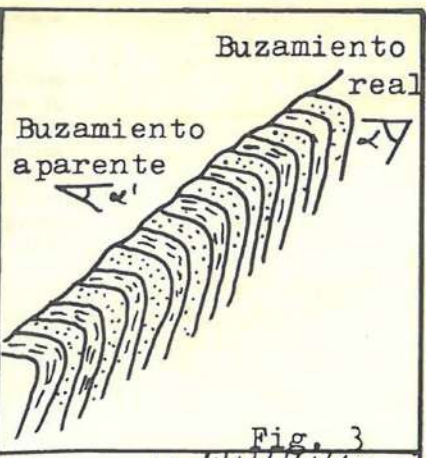


Fig. 3

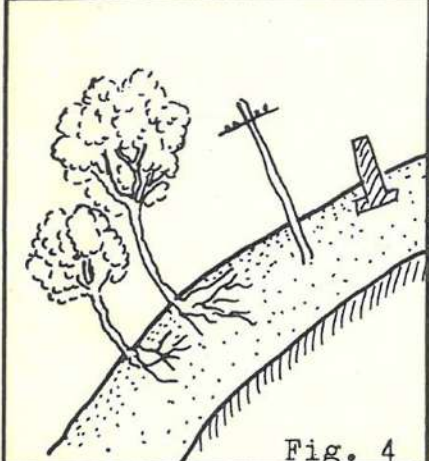


Fig. 4

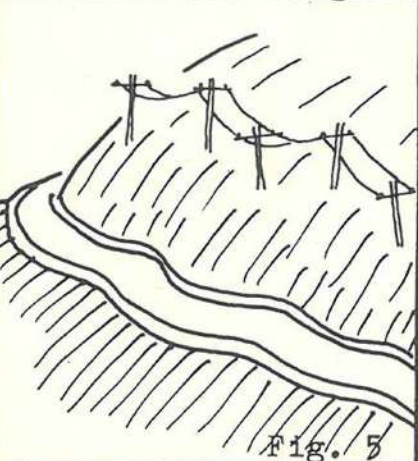


Fig. 5

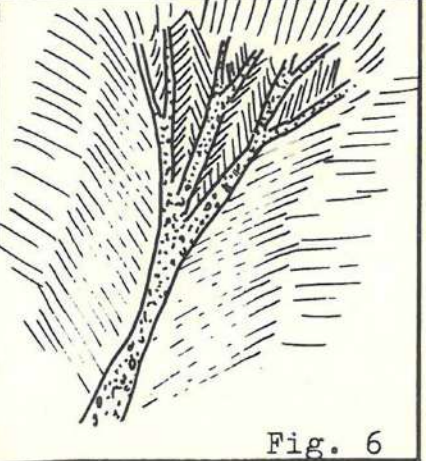


Fig. 6

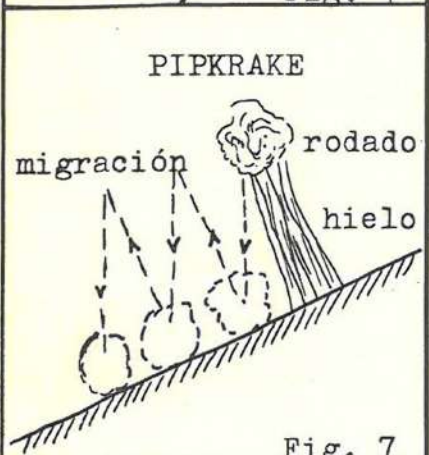


Fig. 7



INVIERNO

Suelo helado

permafrost



VERANO

suelo deshelado

permafrost

Fig. 8

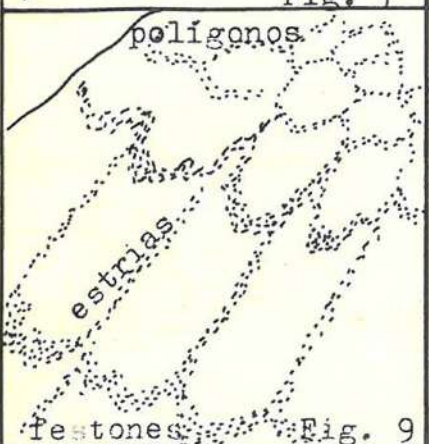


Fig. 9



Fig. 10



Fig. 11

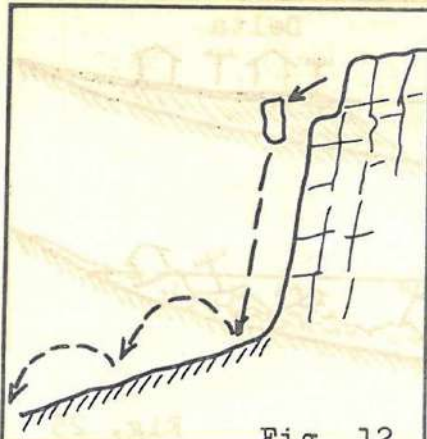


Fig. 12

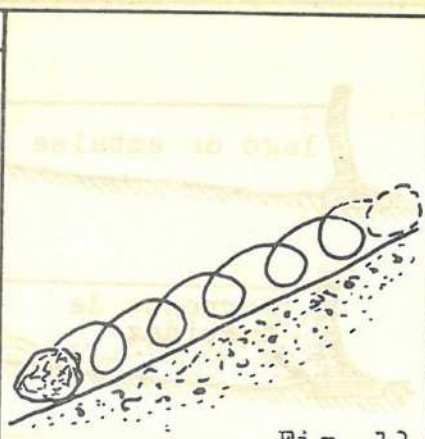


Fig. 13

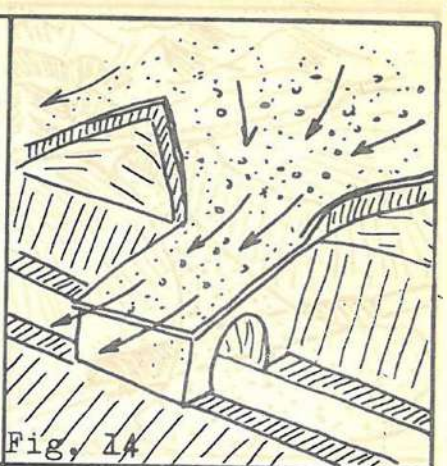


Fig. 14

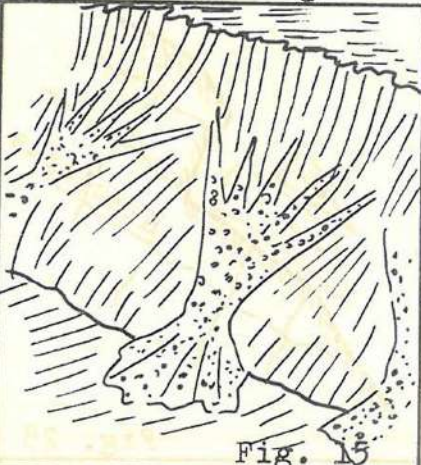


Fig. 15



Fig. 16

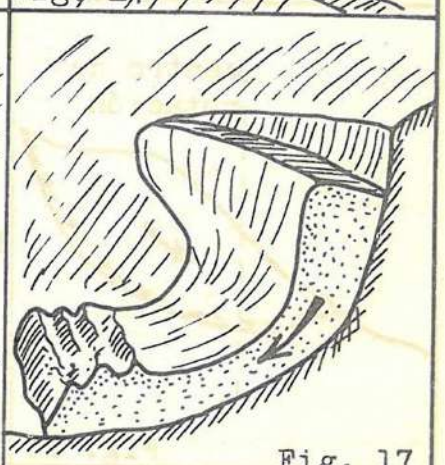


Fig. 17

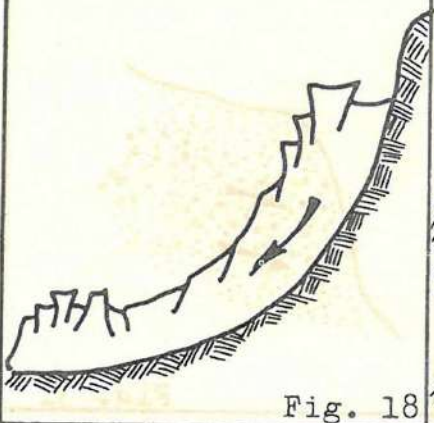


Fig. 18



Fig. 19

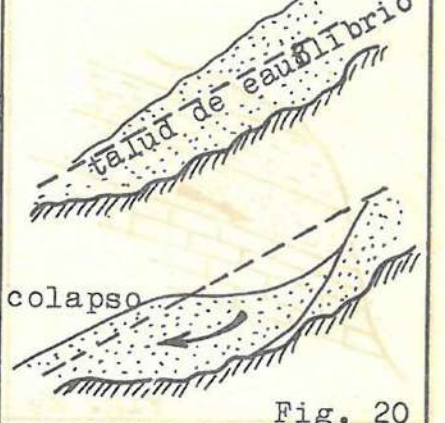


Fig. 20

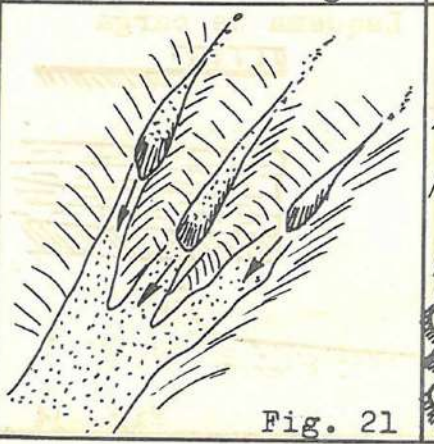


Fig. 21



Fig. 22

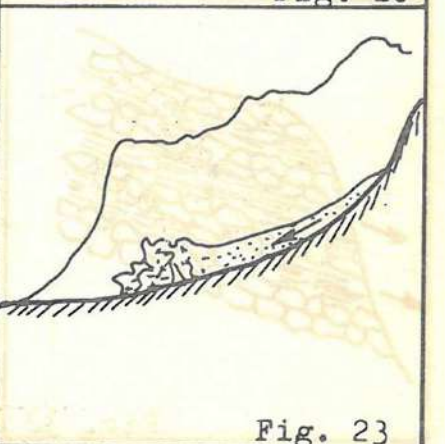


Fig. 23



Fig. 24

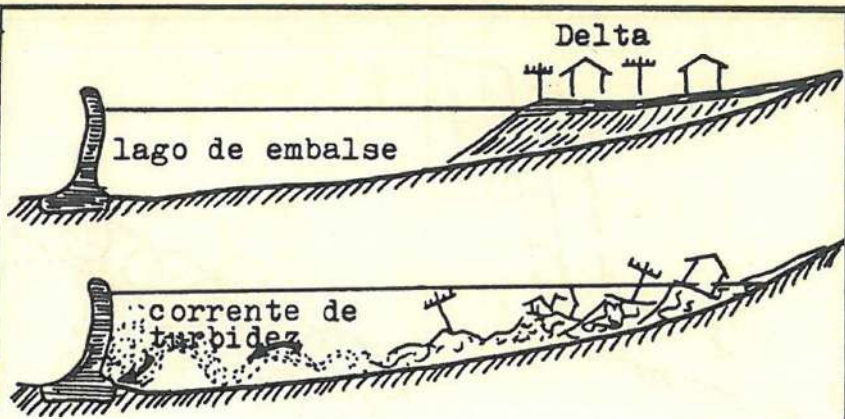


Fig. 25

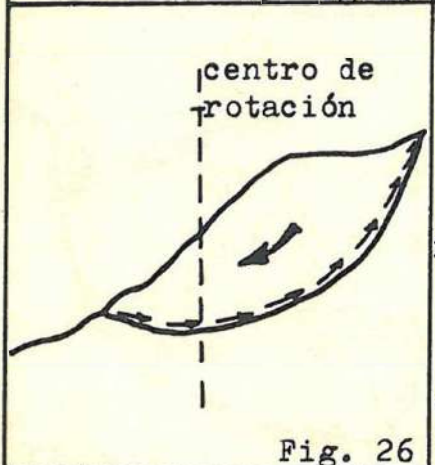


Fig. 26

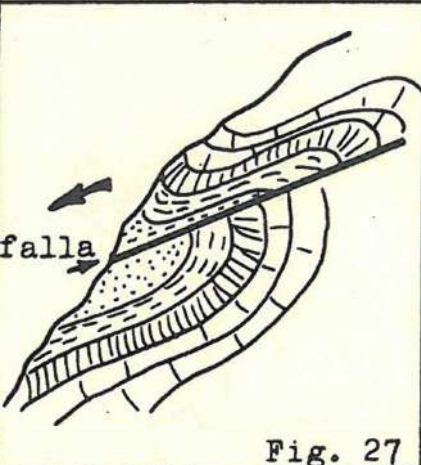


Fig. 27

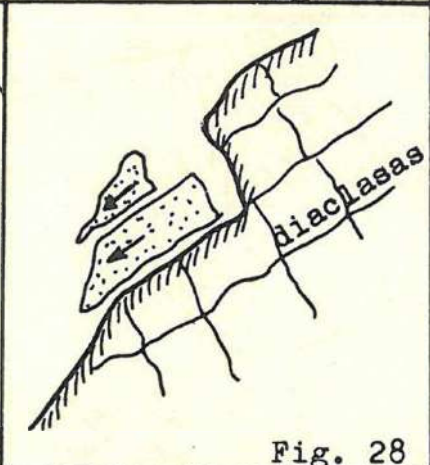


Fig. 28

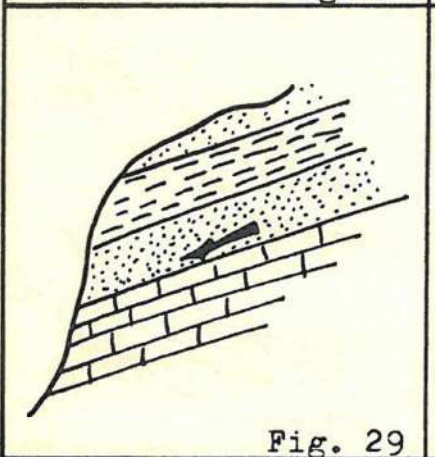


Fig. 29

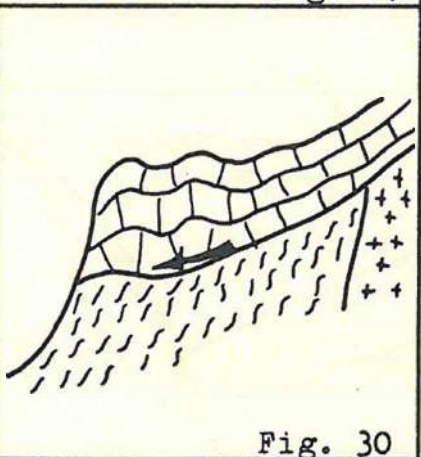


Fig. 30

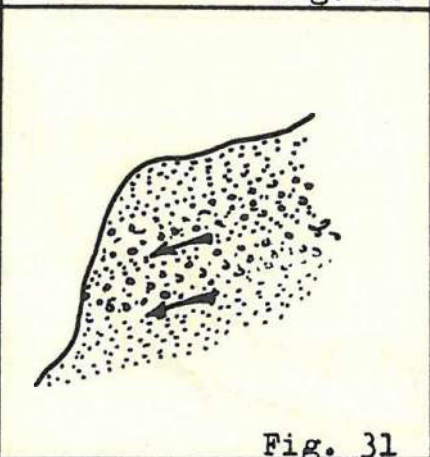


Fig. 31

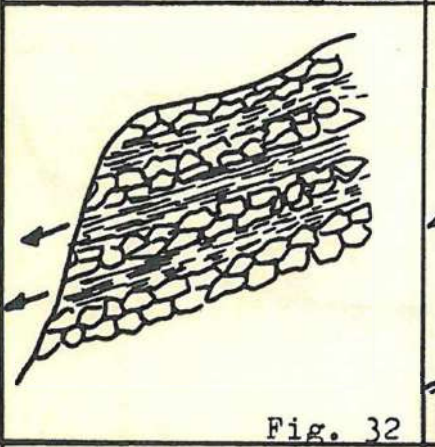


Fig. 32

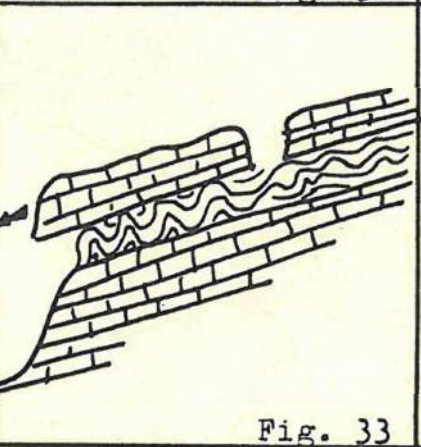


Fig. 33



Fig. 34

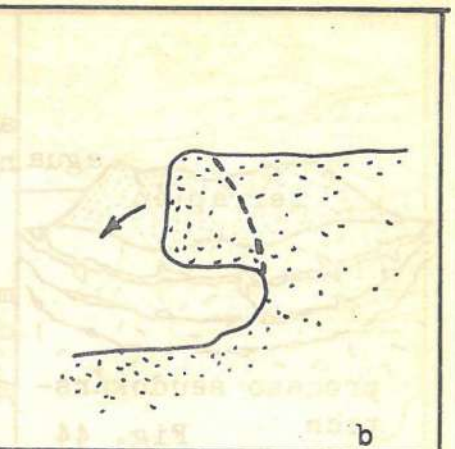




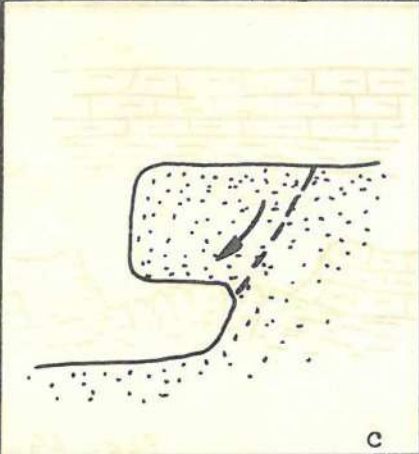
Fig. 35



Fig. 36 a



b



c

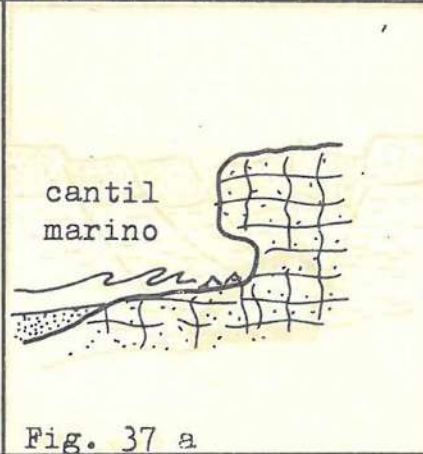


Fig. 37 a



b

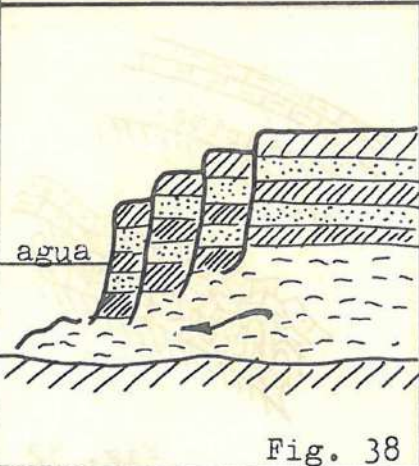


Fig. 38

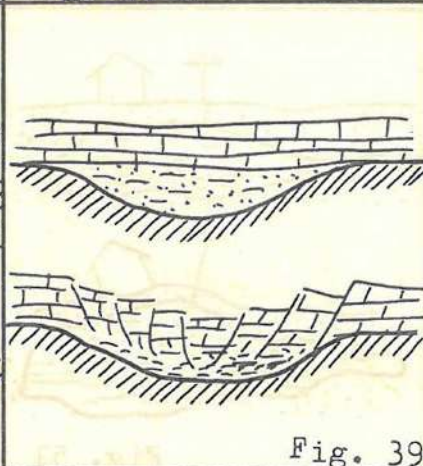


Fig. 39

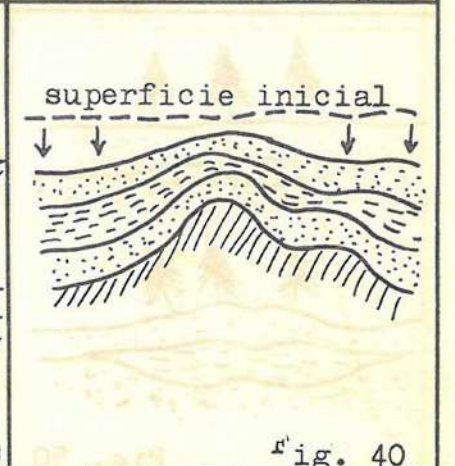


Fig. 40

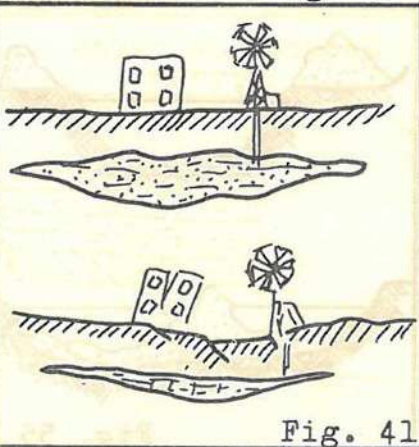


Fig. 41



Fig. 42

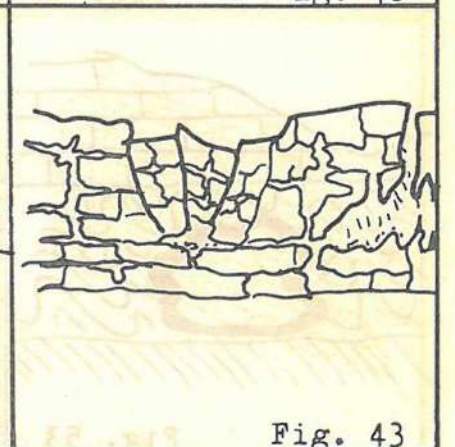


Fig. 43



Fig. 44



Fig. 45

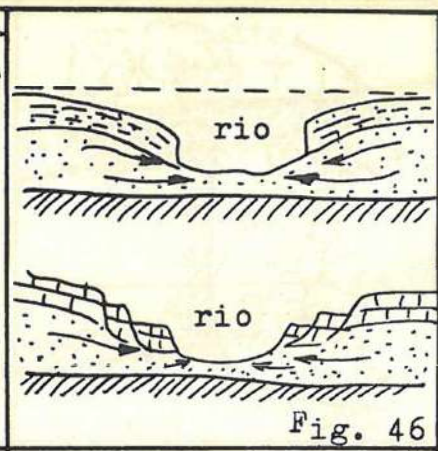


Fig. 46



Fig. 47

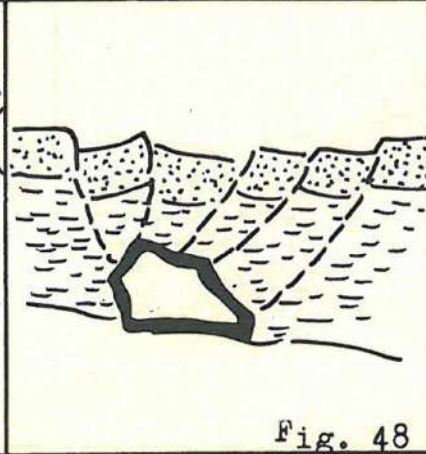


Fig. 48

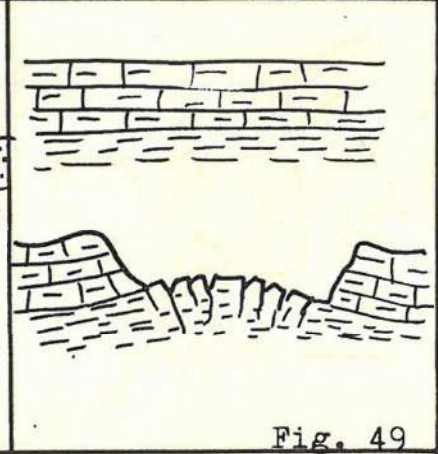


Fig. 49



Fig. 50

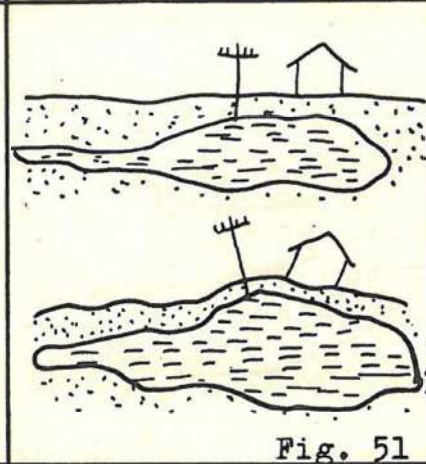


Fig. 51

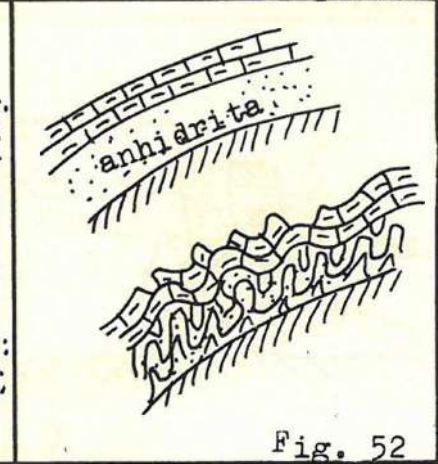


Fig. 52

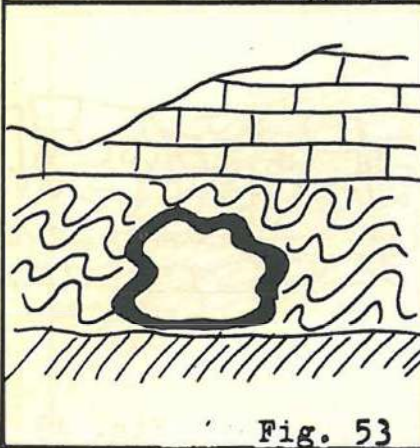


Fig. 53

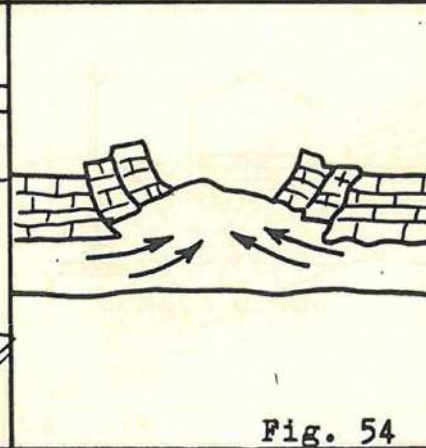


Fig. 54

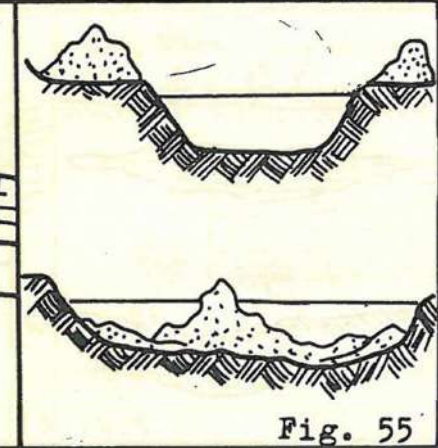


Fig. 55