

CURSO DE ESTABILIDAD DE TALUDES

SISTEMAS DE EXCAVACION DE TALUDES

Abril, 1.985

Fernando Roman

INDICE

1. ARRANQUE

- 1.1. Ripado
- 1.2. Arranque con explosivos
- 1.3. Elección del medio de arranque
- 1.4. Otros medios de arranque
- 1.5. Utilización del material

2. PROGRAMACION DE LA EXCAVACION

- 2.1. Ideas generales
- 2.2. Casos en que las fases de excavación dependen de las hipótesis establecidas en el estudio de la estabilidad
- 2.3. Taludes provisionales

3. VIABILIDAD DEL TALUD DISEÑADO

- 3.1. Taludes con bermas o escalonados
- 3.2. Calidad geométrica de la perforación de contorno

4. CONCLUSION

APENDICE: EXCAVACIONES EN ROCA

1. ARRANQUE

Algunos Pliegos de Condiciones califican las excavaciones del terreno en los siguientes grupos:

- Excavación en **tierra**: Terrenos "suelos" o "flojos", secos o saturados que pueden ser excavados con medios sencillos y normales.
- Excavación en **roca**: Correspondiente a macizos rocosos, estratificados o masivos, y en general a aquellos materiales cementados tan solidamente que sólo pueden ser excavados con explosivos.
- Excavación en terreno de **tránsito**: Rocas descompuestas, muy diaclasadas, o poco cementadas, suelos compactos; de excavación intermedia entre los anteriores, normalmente asociada a la utilización del ripper.

Esta clasificación que con frecuencia se utiliza para calificar, con muy distintos precios unitarios, las mediciones de una excavación, es casi siempre origen de conflictos entre la Administración de una obra o la Propiedad y el Contratista.

El conflicto surge, evidentemente, no en la propia clasificación, sino en la definición "a priori" de la calidad de cada suelo.

Agruparemos en dos, los medios de arranque del material en cuanto a su incidencia sobre la calidad y estabilidad final de una excavación (objeto de este curso):

- Arranque con medios mecánicos.
- Arranque con explosivos.

Dentro del primero consideramos fundamentalmente el Ripado (o escarificado) pues el arranque con pala excavadora, traillas, etc, no altera prácticamente las características de la roca no arrancada.

1.1. Ripado

El arranque se consigue mediante la penetración de un diente en el terreno ("penetración en cuña") aprovechando más o menos las fracturas preexistentes o, incluso, creándolas inicialmente por rotura de la roca.

En el apéndice "Excavaciones en Roca" se incluye un resumen del mecanismo de la escarificación, así como criterios de ripabilidad y recomendaciones de buena práctica para conseguir un ripado eficaz.

En lo relativo a la estabilidad de taludes destacaremos dos aspectos fundamentales:

- La zona afectada por la penetración del diente es del orden de dos veces la profundidad de trabajo.
- El resto del macizo rocoso no sufre daño alguno.

En estas condiciones pueden establecerse las siguientes conclusiones:

- a) La excavación con ripper intrínsecamente no afecta a la estabilidad general de un talud.
- b) Pueden quedarse en la cara del talud grandes bloques aislados movidos, no arrancados por el tractor, que exigen un saneo posterior, o un área de recogida de piedras.
- c) Un talud ripado queda, en principio, menos limpio que uno volado. Puede "chinear" a corto plazo si no se sana convenientemente.
- d) En los macizos rocosos cuya estabilidad está ligada a un mecanismo de rotura por juntas más o menos paralelas al talud, el ripado debe cuidarse al máximo en el cotorno para no descalzar juntas.
- e) Un talud con bermas intermedias tiene menos problemas que en el caso de excavación con explosivos, pues la "esquina" queda prácticamente inalterada.

1.2. Arranque con explosivos

En el Apéndice adjunto, sobre el tema genérico de "Excavaciones en Roca", se ha realizado un resumen de los aspectos más fundamentales de la excavación con explosivos y que estimamos conveniente leer para entender o comprender mejor algunos de los problemas que este tipo de excavación acarrea en la estabilidad de un talud.

Es evidente que las presiones generadas sobre la roca en la explosión, son infinitamente mayores que las que se producen en el caso del arranque mecánico, por lo que los posibles daños sobre el macizo rocoso no excavado pueden ser considerables si no se toman las precauciones debidas.

Por esta razón merece la pena extenderse en el comentario de una serie de aspectos ligados, en general a las características del macizo rocoso y a su comportamiento en una voladura.

Considerando el macizo rocoso como un medio discontinuo de bloques de tamaño variable separados por juntas, las características de la roca matriz de los diferentes estratos, las características de las juntas (estratificación, diaclasas, fallas), así como la disposición relativa de éstas, condicionan la estabilidad del talud y el comportamiento frente a una explosión. Este comportamiento puede traducirse en una situación de inestabilidad tras la explosión.

Pasemos revista a algunas situaciones, o ejemplos, que pueden ilustrar este comportamiento:

a) Niveles resistentes en coronación (costras, cementaciones, p.ej.)

El retacado de los barrenos (fig. 1) estará en dichos niveles, y el resultado final es, además de la producción de grandes bloques de estos niveles, una retrofracturación en dicho banco dejando la coronación agrietada con peligro de grandes caídas. Un precorte cuidadoso de, al menos, este nivel solucionaría el problema.

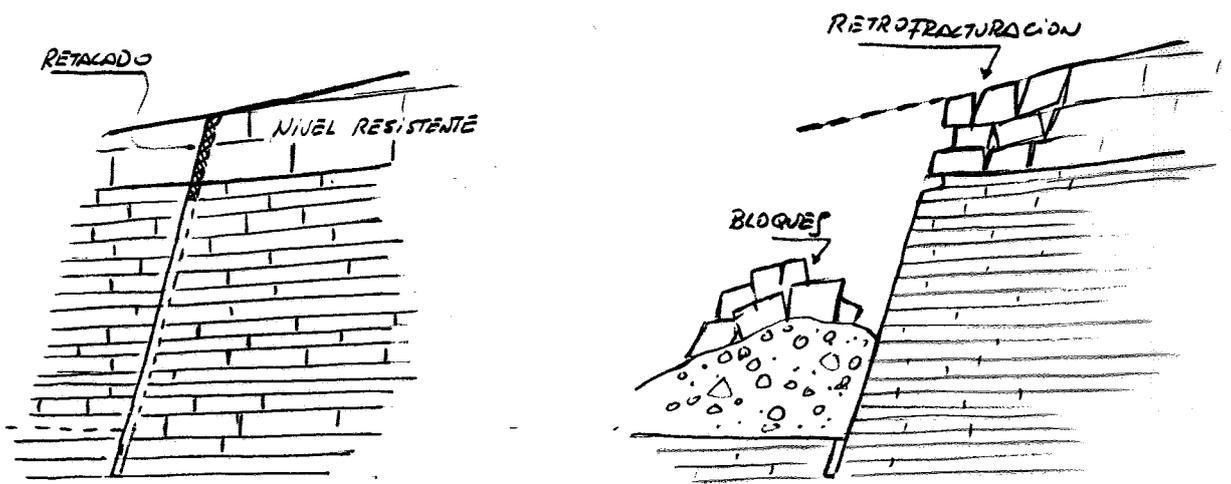


Fig 1.-

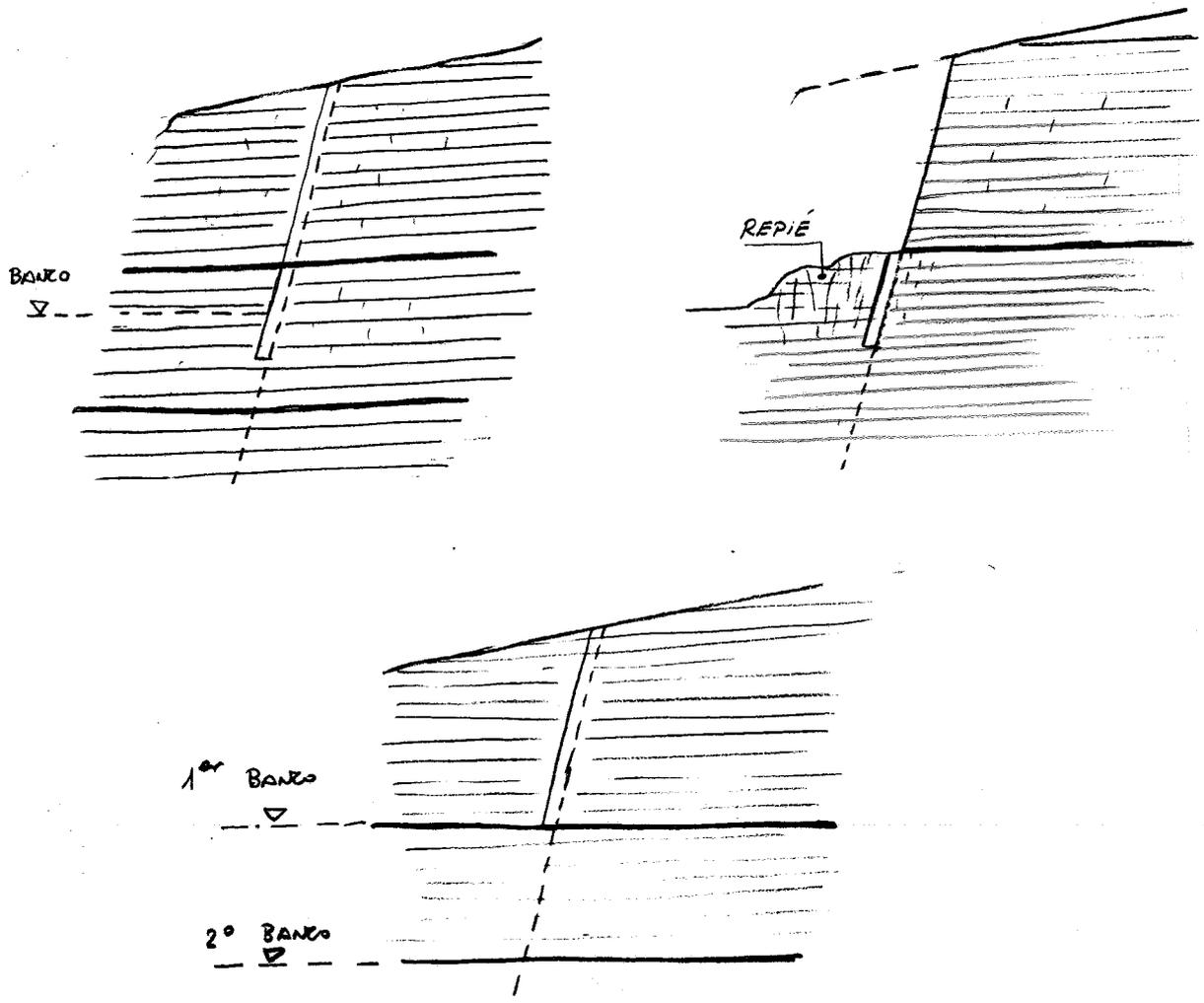


Fig 2.

b) Juntas continuas horizontales

Pueden ocasionar repiés en los bancos y alguna retrofracturación y sobre todo alterarán la perforación y encendido de los barrenos del próximo banco (fig. 2).

Pueden evitarse con alturas de banco acopladas a la disposición de las juntas, no siendo necesaria la sobreperforación por debajo de la junta.

c) Alternancia de niveles más blandos, huecos, o fracturados

La energía de la explosión se libera en gran parte en estas zonas de debilidad y no consigue romper y/o arrancar los niveles próximos más resistentes o masivos. Queda un talud irregular que necesita un costoso saneo o un recorte selectivo (Figura 3).

Incluso la solución de precorte cuenta con el inconveniente de que éste puede no conseguirse totalmente con éxito.

d) Juntas buzando paralelamente al talud

d.1) Buzamiento hacia la excavación

(El talud se ha diseñado según la junta).

Si existen juntas abiertas, o en el caso de juntas de estratificación que limitan con niveles menos resistentes, se puede producir una retrofracturación (figura 4) que podría llegar a inestabilizar la cara del talud.

Es evidente que la solución ideal pasa por excavar el talud de forma coincidente con la junta o nivel menos resistente, pero esto no es posible siempre por lo tanto hay que recurrir a un saneo posterior, a un recorte o a un tratamiento con bulones, etc.

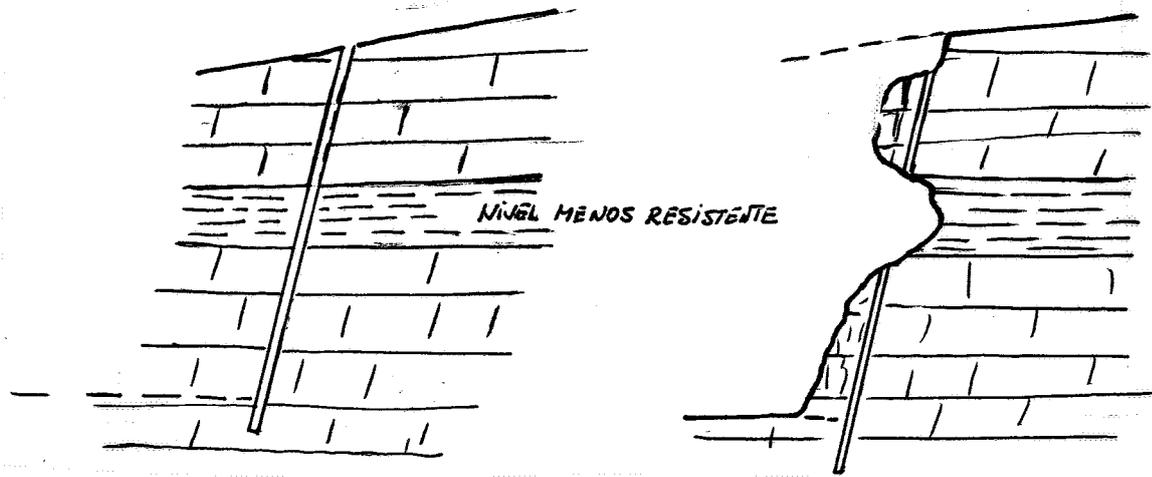


Fig 3

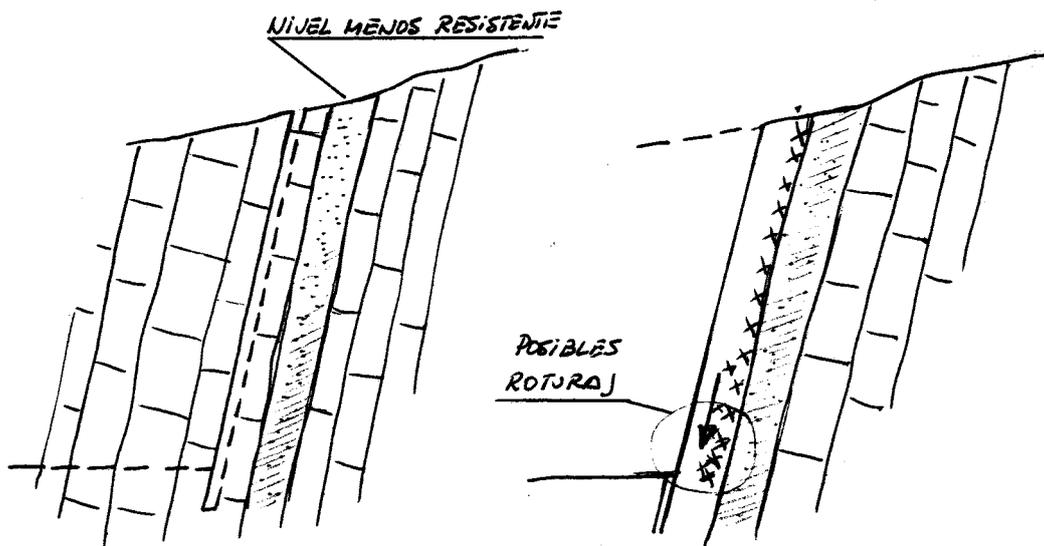


Fig 4.

d.2) Buzamiento hacia el macizo

Por un fenómeno similar pueden crearse zonas fracturadas o abrirse juntas que estaban soldadas y causar una rotura por vuelco en un macizo que, a priori, no se preveía (fig. 5).

e) Buzamiento transversal al talud (con juntas o niveles blandos)

Produce un talud en diente de sierra y pueden sobrefracurarse los bordes de las zonas sanas dejando áreas con bloques sueltos (fig. 6).

No se crean inestabilidades de carácter más general.

f) Algunas juntas continuas pueden sufrir movimientos importantes en las voladuras. Si estas se hacen con microretardos puede moverse un bloque antes del encendido y cortar el hilo.

En la mayor parte de los casos la ejecución de un precorte cuidadoso es beneficioso aunque determinadas situaciones puedan exigir una separación muy pequeña entre los tiros de precorte, lo que lo encarece considerablemente. Puede compensar en esos casos un saneo a posteriori de la cara del talud o una cuneta de recogida al pie más generosa.

1.3. Elección del medio de arranque

Siempre que ambos medios puedan emplearse, la experiencia demuestra que el ripado puede ser dos o tres veces más económico que la voladura, a igualdad de producción.

Por tanto parece lógico ripar siempre que se pueda; hay veces que aunque los rendimientos no justifiquen el duro trabajo del ripper pueden existir otras causas (ligadas p. ej. a la seguridad del entorno, permisos de voladura, dificultad de suministro del explosivos, etc) que inclinan la balanza en favor de este sistema.

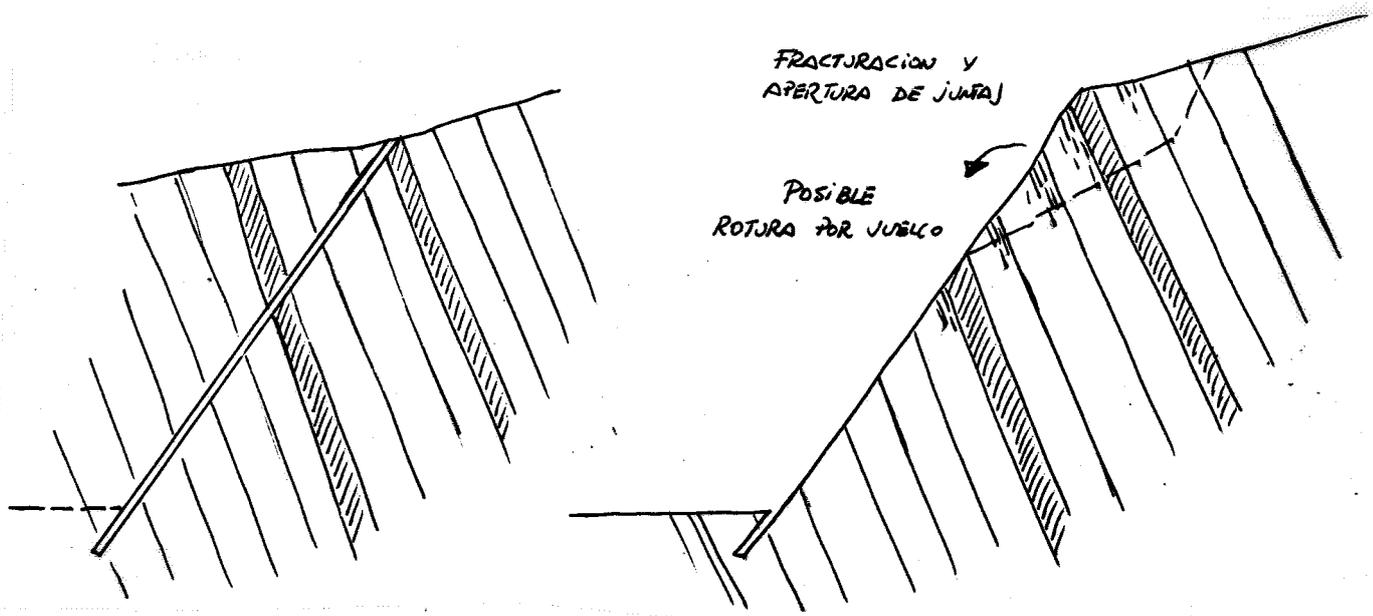


Fig. 5

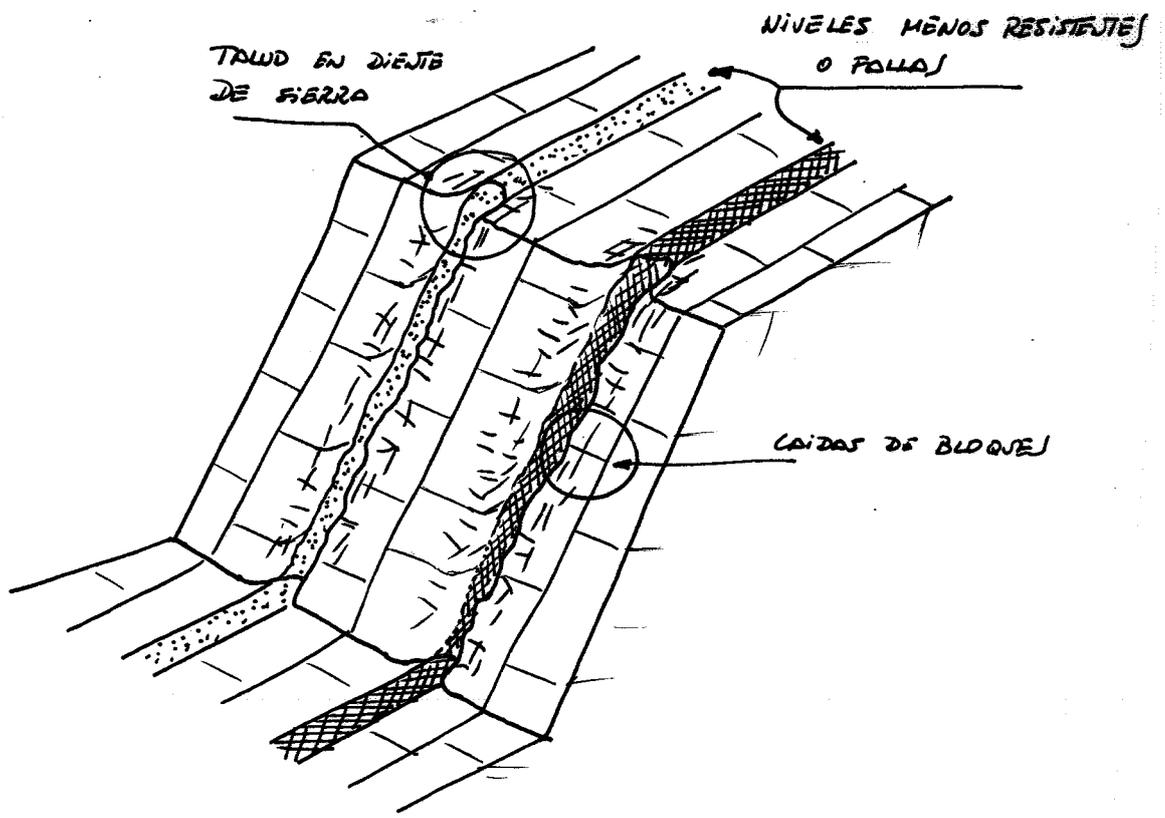


Fig. 6

1.4. Otros medios de arranque

No entra dentro del alcance de este curso hablar de otros sistemas más sofisticados o curiosos de excavación, tales como el chorro hidráulico a presión, impacto de proyectiles, excavación a base de cráteres con explosivos de gran potencia (nuclear), etc.

1.5. Utilización del material

Aunque no está ligado directamente a la estabilidad es necesario mencionar que el tamaño del material excavado puede condicionar la elección del medio de arranque.

Por ejemplo, un macizo rocoso resistente pero lo suficientemente diaclasado para poderse ripar producirá un tamaño ligado sólo a la separación entre juntas pues el tractor no podrá quizás trocear el material. Si este material fuera excesivamente grueso para su utilización habría que ir a una voladura debidamente proyectada para obtener un material más adecuado.

No obstante se puede decir que, en general, en excavaciones de buen rendimiento de los equipos, el ripado va asociado a una producción de un todo-uno con tamaños no muy grandes, mientras que si queremos obtener una zafra de mayores bloques debemos ir a una excavación con explosivos debidamente proyectada, con espaciamentos grandes entre barrenos.

2. PROGRAMACION DE LA EXCAVACION

2.1. Ideas generales

En la figura 7 se indica un esquema tipo de fases de excavación de un desmonte hasta conseguir el talud definitivo. No se incluye la fase cero correspondiente al posible precorte anterior a la excavación de cada banco (en excavaciones en roca).

Es normal empezar por la coronación del talud y excavar prácticamente todo un banco antes de comenzar el siguiente. En el caso de que los caminos de obra de acceso a un banco superior no se vean interferidos por la excavación del inferior puede simultanearse la excavación de dos bancos aunque con el lógico retranqueo de los frentes de excavación.

La altura de los bancos viene impuesta por los equipos de perforación y por la carga requerida (en el caso de voladura), así como por la maquinaria de arranque, carga y transporte.

En el caso de un terreno trailable (excavable con mototraillas) la excavación se hace prácticamente a sección plena y por bancos completos.

Es importante que un banco tenga siempre un buen acceso hasta su total excavación y cuando se estima necesario algún tratamiento final de toda la cara del talud debe dejarse un camino de acceso permanente a toda la coronación del talud.

En las laderas con posibles escorrentías importantes debe construirse una cuneta de guarda antes del comienzo de la excavación pues a posteriori puede ser mucho más costoso.

2.2. Casos en que las fases de excavación dependen de las hipótesis establecidas en el estudio de la estabilidad

Algunos ejemplos específicos ilustran esta dependencia:

En la figura 8 aparece un caso de un desmante en calizas y margas con un talud mixto compuesto de un talud inferior de 30° en la marga y uno superior de 65° en la caliza, con una berma intermedia de transición y estabilizadora frente a un hundimiento de las calizas.

En dicha excavación el contacto, difícil de replantear a priori, exigió el comienzo de la excavación por el extremo P del desmante y por el lado Q para conocer con exactitud la cota de cambio de talud.

En la figura 9 aparece el caso opuesto, con un talud más suave en la mitad superior que en la inferior, en la que el proceso de excavación debe ser el normal, es decir comenzando por la coronación.

En terrenos con nivel freático alto o con niveles permeables confinando agua, en los que se exige un drenaje del talud para garantizar su estabilidad, la altura de los bancos puede venir condicionada por la posición de dichos niveles y por la necesidad de ejecutar el sistema de drenaje antes de continuar la excavación (fig 10 y 11). Incluso el ritmo de ejecución puede depender de la efectividad del drenaje.

Analogamente, la necesidad de tratamientos estabilizadores a base de bulones, anclajes, muros o contrafuertes de refuerzo, incluso gunitado, exige una acomodación de la altura de banco a la realización de dichas obras (figura 12). En ocasiones ocurre al contrario y se diseñan los anclajes, p. ej., para las alturas de banco prevista (figura 13).

En general, puede recomendarse que, para una excavación importante ($H > 10$ m), deben irse comprobando las hipótesis establecidas a partir del reconocimiento geotécnico conforme se va descendiendo. En los casos en los que hayan quedado muchas incógnitas por resolver debe ir recalculándose el talud conforme la excavación profundiza estableciendo nuevas hipótesis de cálculo y si es necesario modificar la geometría del talud.

Esta dependencia del proceso constructivo con el estudio de la estabilidad supone a veces un serio problema para el constructor pues las posibles paradas y cambios de ritmo en el tajo no puede absorberlas con la flexibilidad requerida sobre todo

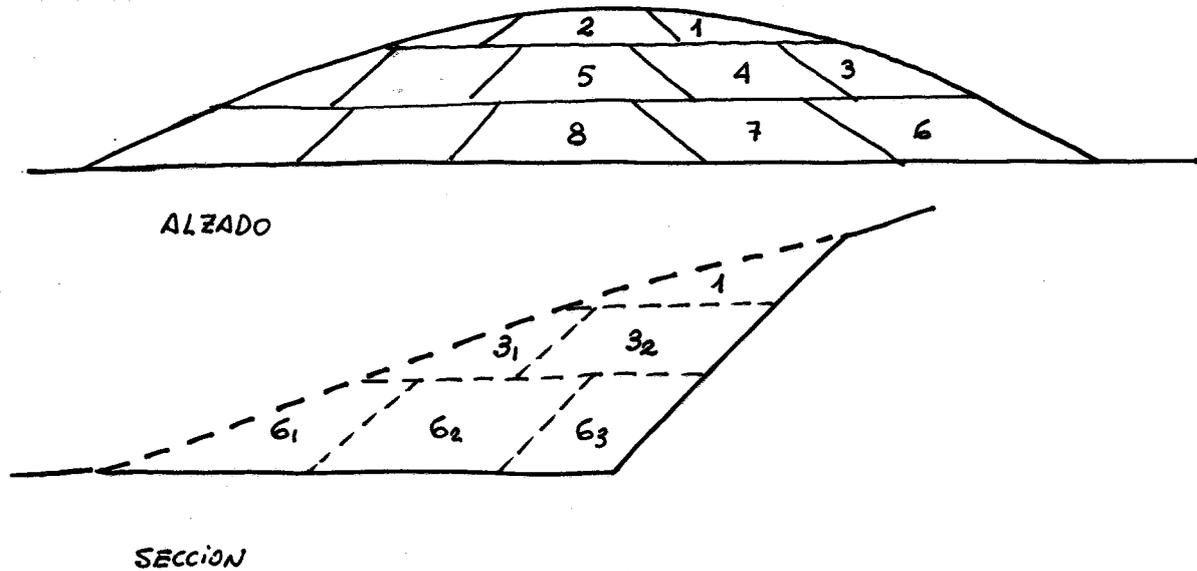


Fig 7.

19

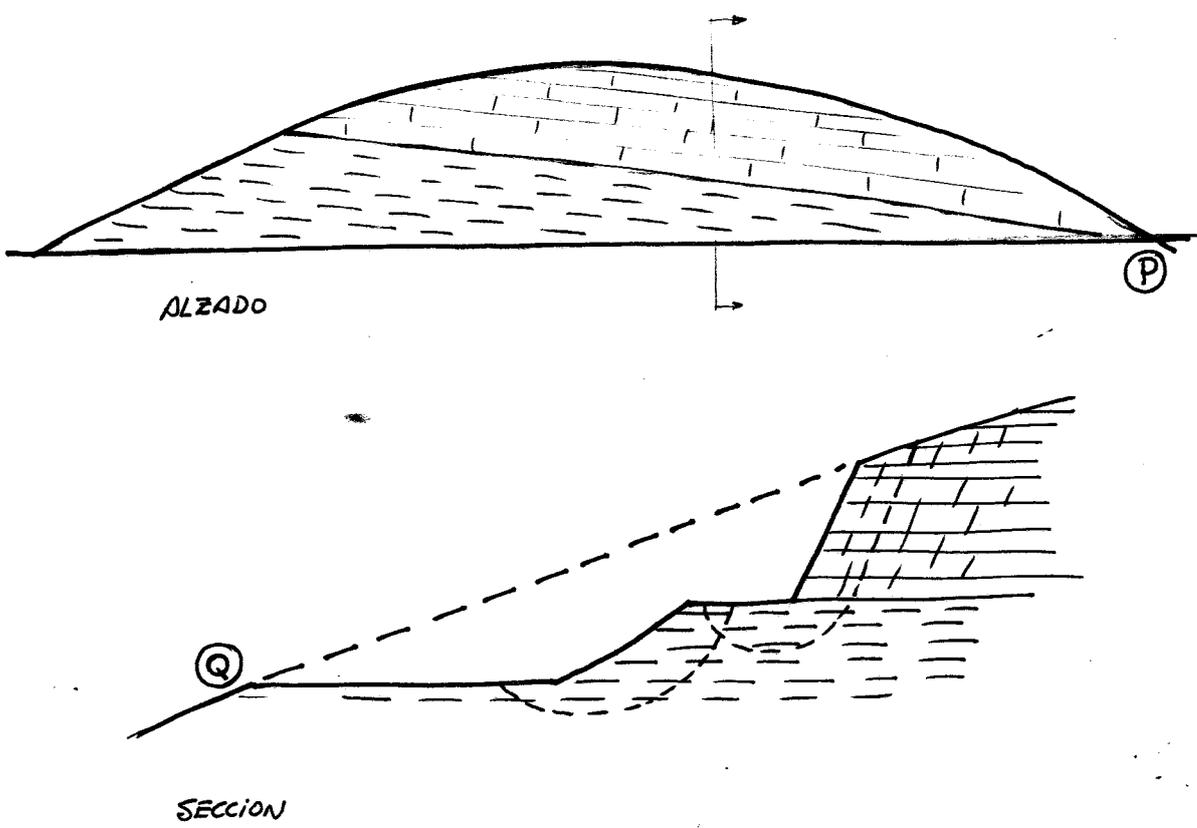


Fig 8.

18

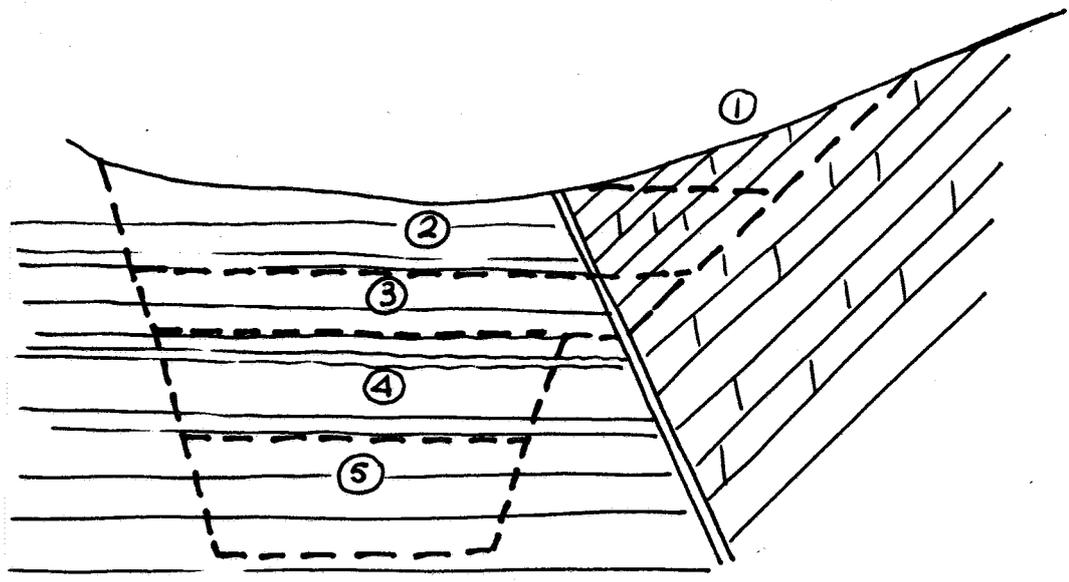
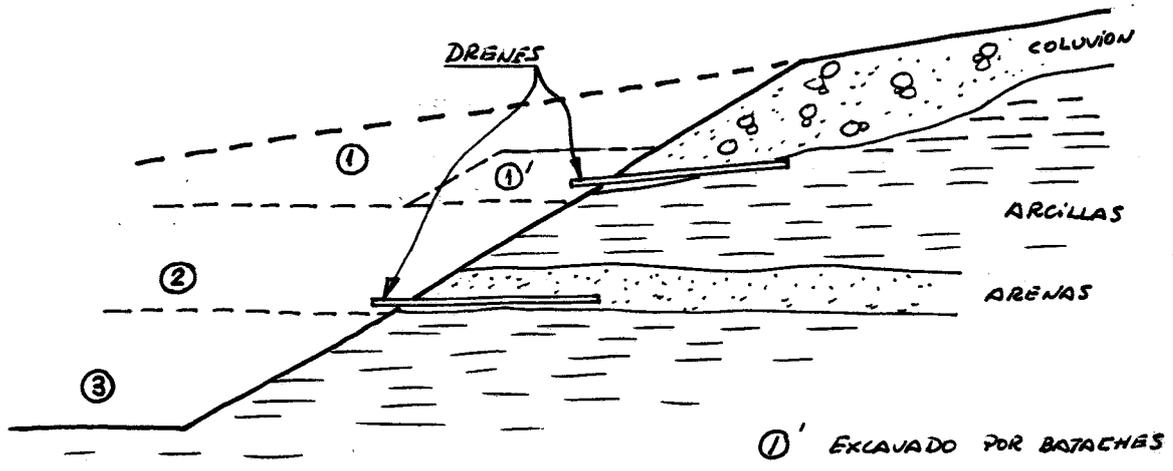


Fig 9



①' EXCAVADO POR BATACHAS

Fig 10

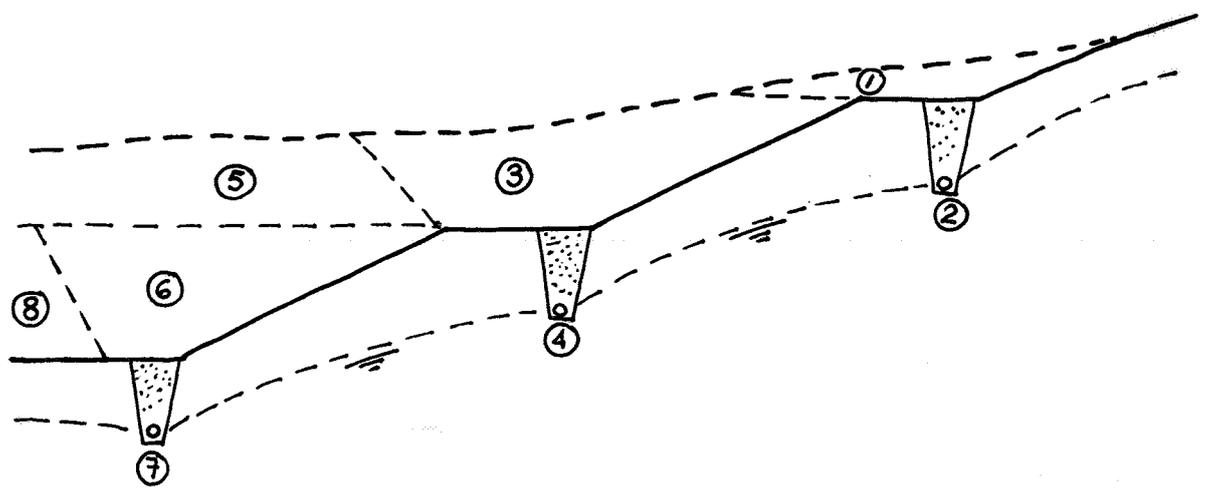
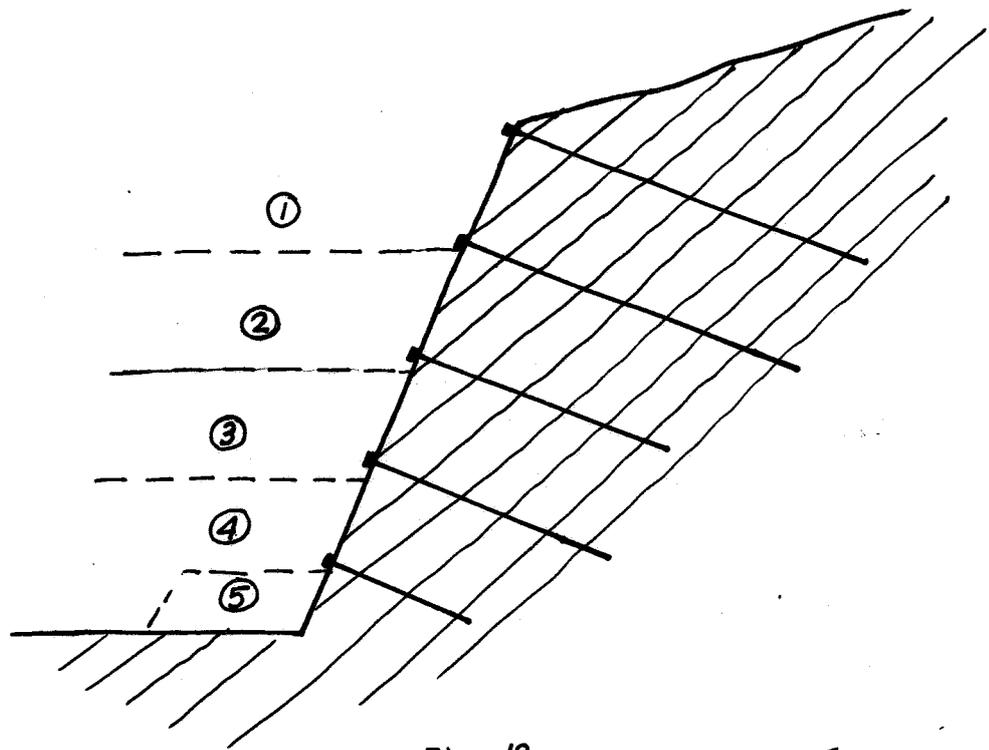
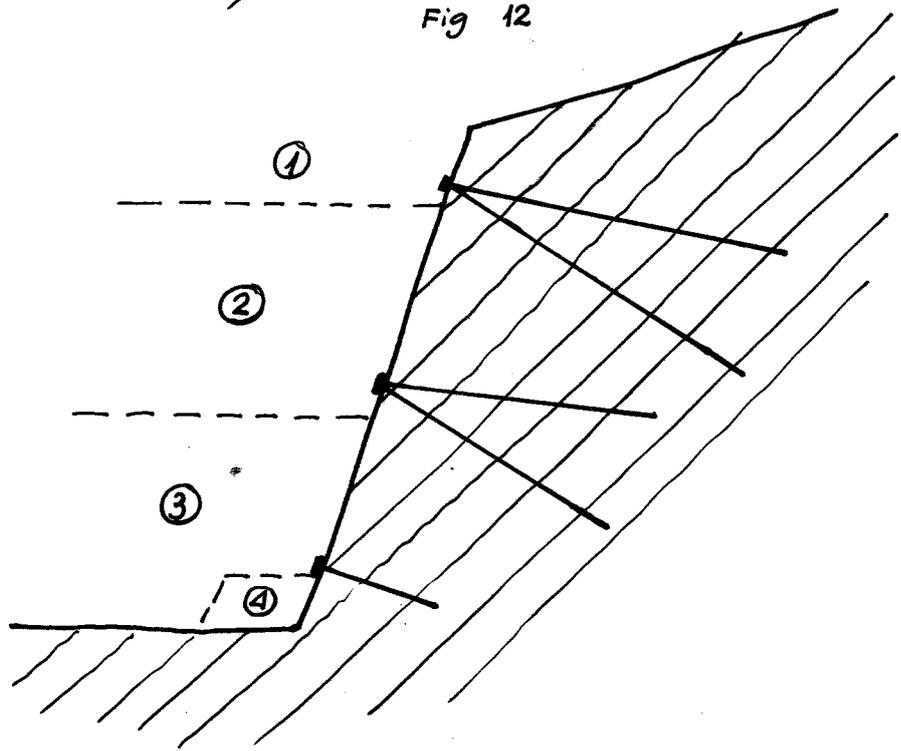


Fig 11



20

Fig 12



21

Fig 13

en obras en las que el tajo de excavación es único, y no puede alternar la utilización de los equipos en otro tajo de excavación.

Este aspecto debería contemplarse en todos los proyectos de excavación de tal forma que el precio del m³ excavado incluya las posibles interrupciones para obras complementarias. En cualquier caso, éstas deben especificarse con el máximo detalle con el fin de que el constructor pueda presupuestar adecuadamente la obra.

En algún caso (drenajes, bulones) estas obras de estabilización pueden esperar a que finalice la excavación si son necesarias a medio o largo plazo. En ese caso debe analizarse comparativamente el costo de su ejecución durante la excavación o al final, aunque en este caso se exijan unos medios auxiliares costosos (andamios, grúas, etc). También es cierto que en muchas ocasiones solo al final de la excavación es cuando se descubren las zonas con problemas.

2.3. Taludes provisionales

Un aspecto muy importante durante el proceso de excavación es el de los taludes de los sucesivos frentes de excavación.

En frecuentes ocasiones ocurre que el constructor excava la caja dejando taludes más verticales que los del contorno final (Hay veces que por desgracia las voladuras suaves de un recorte no pueden deshacer el daño hecho por una voladura de destroza muy cerca del contorno).

Cuando el talud diseñado viene impuesto por su estabilidad a largo plazo, podría ocurrir que el terreno admita taludes más fuertes durante la construcción sobre todo si son de menor altura.

Veamos algunos supuestos:

Taludes condicionados por roturas planas (por una o más juntas de discontinuidad). En general relativos a rocas sanas o meteorizadas diaclasadas con buzamientos de juntas hacia la excavación u oblicuos.

En este caso los taludes de los frentes de excavación pueden ser más fuertes bajo el punto de vista de no mermar la estabilidad del talud de contorno (figura 14) aunque aquellos taludes sean inestables.

Taludes condicionados por roturas por vuelco de estratos (toppling). Relativos a rocas algo o muy meteorizadas, o sanas pero muy tableadas con buzamientos de juntas hacia el macizo.

En los taludes condicionados por vuelco de estratos, el talud de los frentes próximos al contorno influye en su estabilidad.

En la figura 15 puede verse un esquema donde el talud del banco I $\alpha = 75^\circ$, mayor que el talud crítico que puede ocasionar el vuelco, inestabiliza toda la cuña rayada (del talud final).

Taludes condicionados por roturas de tipo circular o quebradas. Relativos en general, a suelos o a rocas muy alteradas o fracturadas.

Caso similar al anterior en cuanto a consecuencias, pues la inestabilidad de un talud provisional de un frente de excavación próximo y su consiguiente rotura (o inicio de rotura) puede alterar las condiciones originales del macizo, con lo que el talud proyectado para el contorno no es estable y hay que retranquearlo o suavizarlo (figura 16).

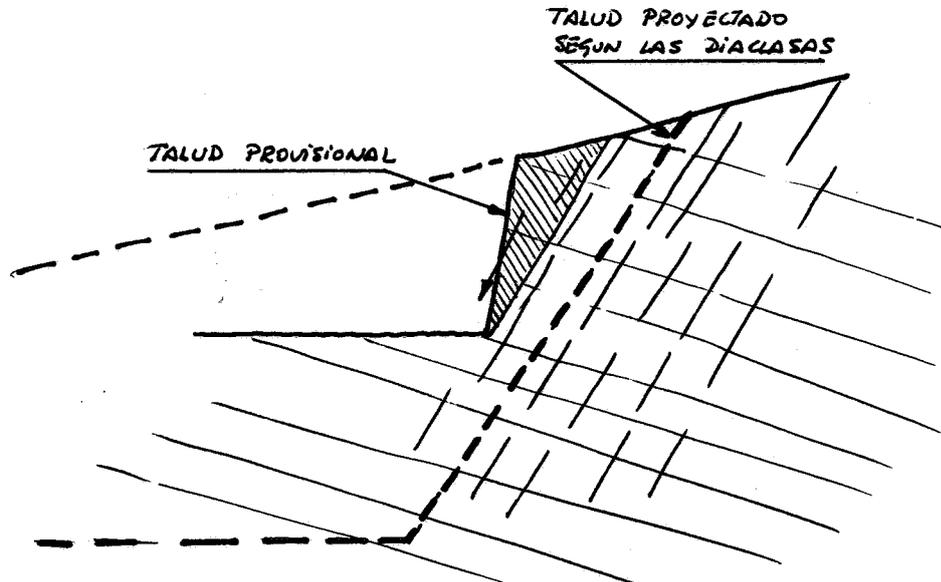


Fig 14

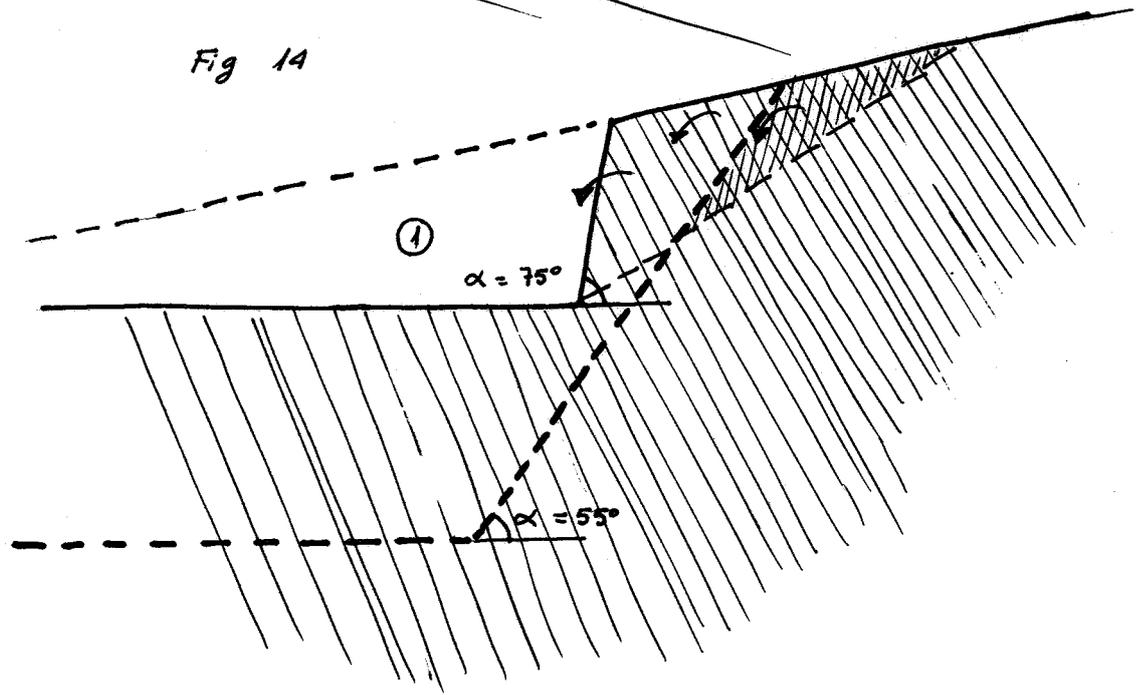


Fig 15

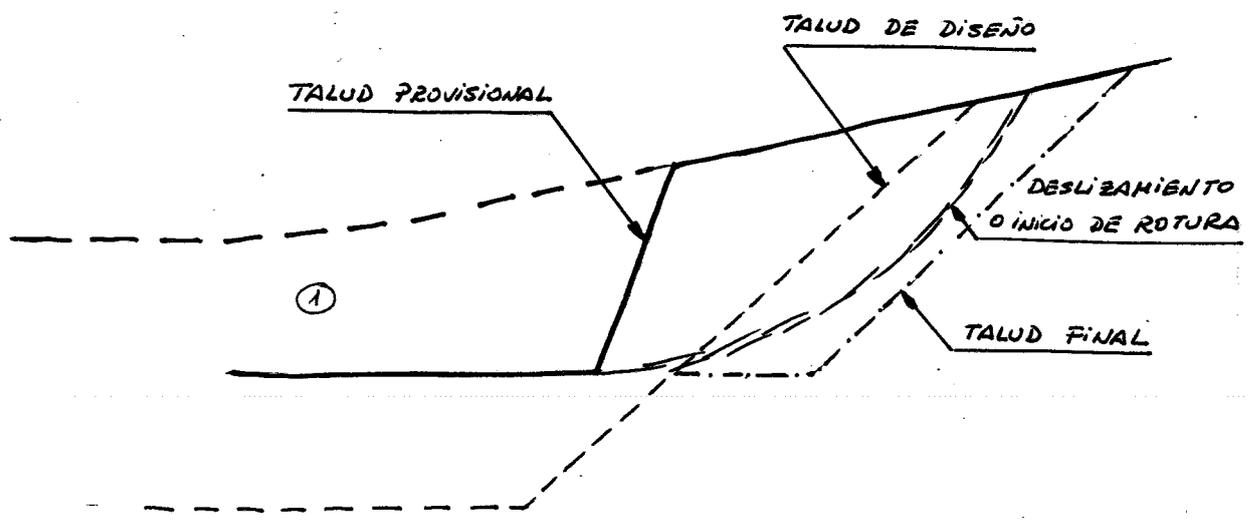


Fig 16

3. VIABILIDAD DEL TALUD DISEÑADO

3.1. Taludes con bermas o escalonados

No entramos en la comparación, bajo el punto de vista estético o funcional frente a caída de piedras, de los taludes con bermas frente a los taludes uniformes.

Tan solo mencionaremos el riesgo existente de no poder conseguir a veces la geometría escalonada prevista en las excavaciones en roca. Debe pensarse que la berma que se diseña corresponde al pie del talud de cada banco donde la carga de fondo deja, o puede dejar, en un alto estado de fracturación dicha esquina rocosa con el consiguiente riesgo de caída (figura 17). Una mayor anchura de la berma mejoraría la permanencia de la esquina pero aumentaría el volumen de la excavación.

Sin embargo, existen casos donde el proceso constructivo puede imponer la ejecución de bermas a mitad de altura. Tal es el caso de independizar la excavación frente a la realización de un anclaje o bulonado a dos o tres niveles. El coste de la sobreexcavación puede compensar a veces la independencia de los equipos (figura 18).

Otro caso análogo es el de la figura 11, donde la ejecución de los drenajes obliga al escalonado del talud.

En taludes en roca en los que una junta muy tendida con baja resistencia al corte obliga a un talud muy suave (caso de no anclarse) (figura 19) la excavación con explosivos no deja un buen talud por dos razones fundamentalmente:

Por una parte, la perforación de los barrenos de contorno es complicada por la dificultad de operación que presentan algunos equipos para esas inclinaciones; el resultado es que se tiende a ir a barrenos más verticales escalonando el contorno con el consiguiente riesgo de deslizamiento. Por otra parte los tiros de destroza en las proximidades del contorno pueden romper la roca ocasionando descalces en la apertura del banco.

3.2. Calidad geométrica de la perforación de contorno

El último ejemplo ilustra adecuadamente la importancia que tiene la calidad de un buen acabado de la geometría del talud.

La figura 20 representa otro caso de defectos en la perforación -falta de paralelismo de los barrenos- que puede inestabilizar localmente un talud.

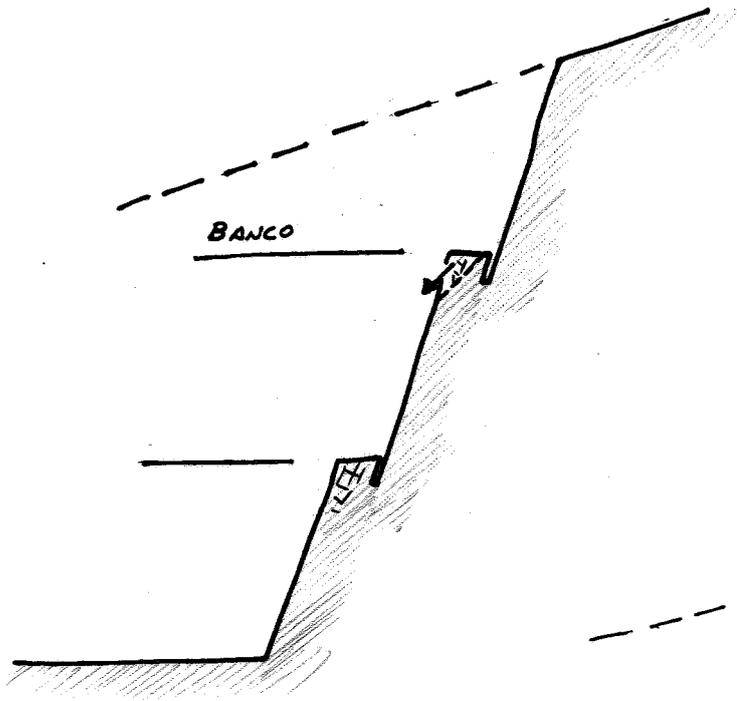


Fig 17

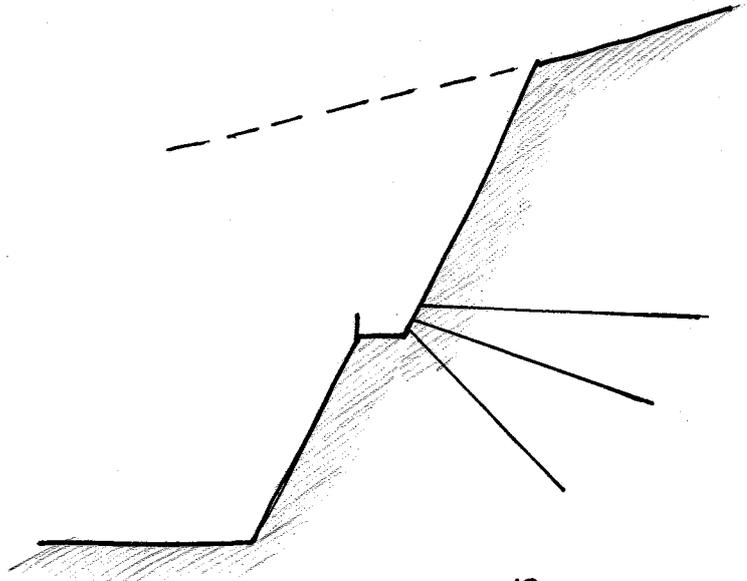


Fig 18

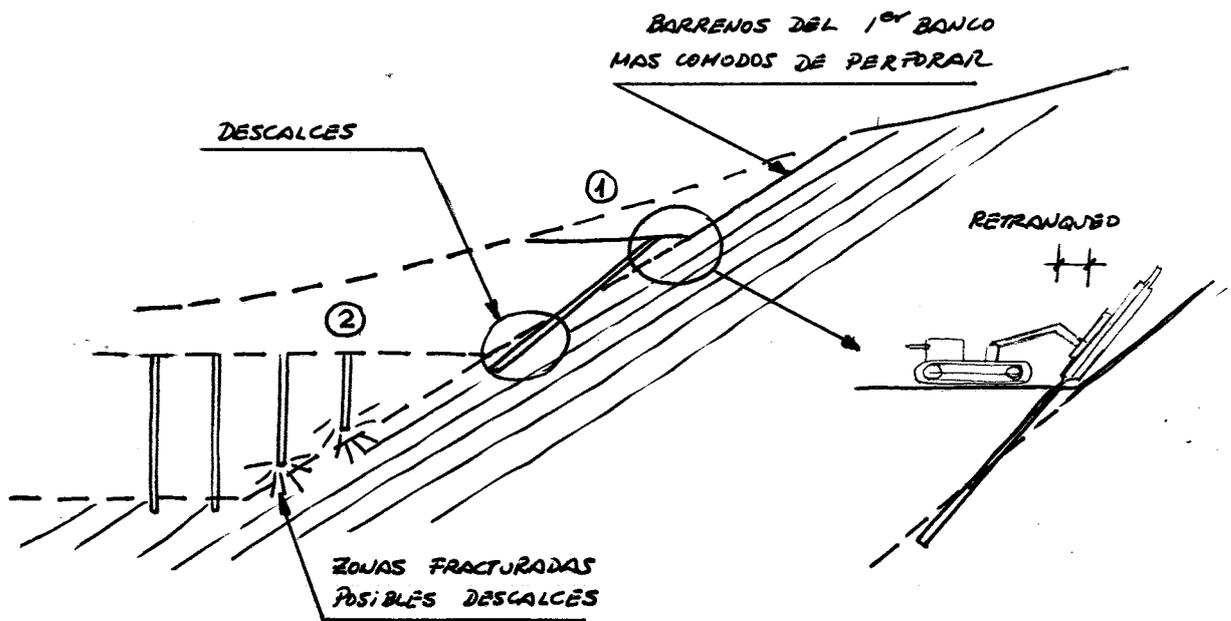
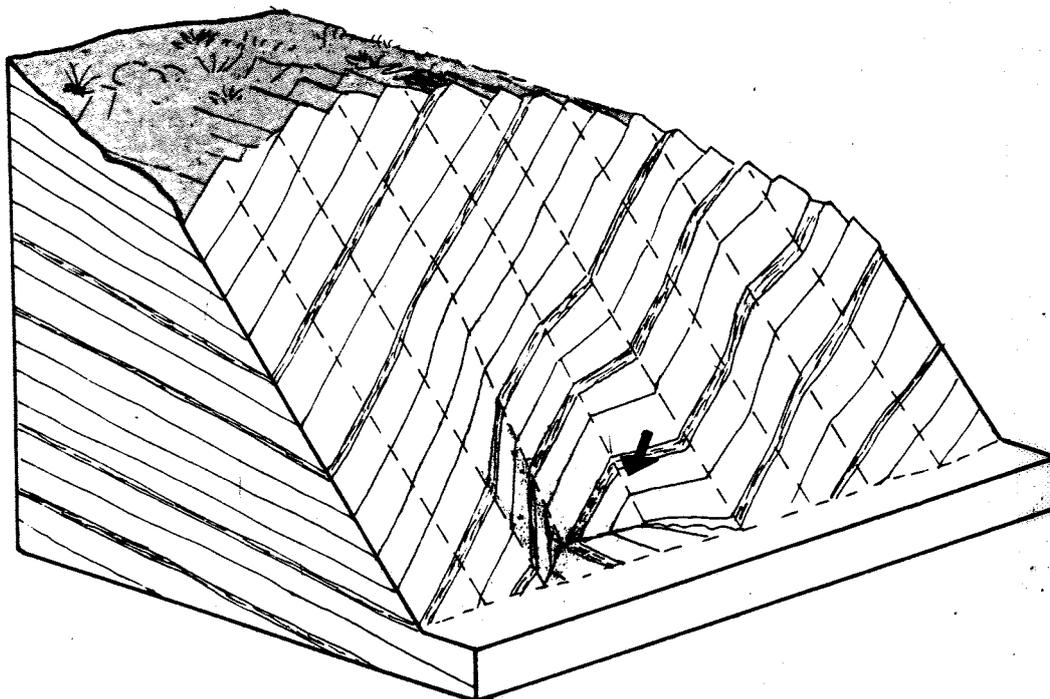


Fig. 19



ESQUEMA DE DESLIZAMIENTO POR DESCALCE DE ESTRATOS DEBIDO
A UNA GEOMETRIA IRREGULAR DEL CORTE.

Fig. 20.-

4. CONCLUSION

Se han expuesto una serie de ideas acerca de los medios y procesos de excavación y del comportamiento del terreno frente a las situaciones que se producen.

Para el estudio de estabilidad de un talud se establecen unas hipótesis acerca de las características del terreno obtenidas de un reconocimiento geotécnico más o menos detallado.

Pero de poco valen estas hipótesis si el proceso constructivo altera las características del terreno o si durante la excavación se producen situaciones más desfavorables que las previstas.

Por lo tanto todo estudio de estabilidad de un talud debería ir acompañado de unas recomendaciones de ejecución en cuanto al sistema más adecuado para "arrancar" el terreno y a las fases de construcción previstas. Una vigilancia continua durante las sucesivas fases de excavación es necesaria para ir comprobando las hipótesis establecidas y verificar el comportamiento del terreno. Estas comprobaciones permitirán, en caso necesario, hacer a tiempo las posibles modificaciones para garantizar la estabilidad del talud.