



# Selección y Diseño de las medidas de corrección de taludes inestables

**Emilio Trigueros**, Universidad Politécnica de Cartagena, España

**Manuel Cánovas**, Universidad Católica del Norte, Chile

**Manuel Alcaraz**, Universidad Politécnica de Cartagena, España

**José Manuel Muñoz-Camarasa**, Universidad Politécnica de Cartagena, España

## Resumen

La sobre-excavación de un talud de grandes dimensiones, con problemas de estabilidad, aparece como la medida más utilizada para corregir esta situación. En un proceso de rotura a gran escala los taludes buscan de forma natural el equilibrio trasladando parte de sus materiales a la zona anterior al pie, como si establecieran una barrera de tierras, eliminando además peso de la parte superior, de la que proceden estos materiales. Al haberse superado los valores pico, la superficie de rotura ya solamente colabora al equilibrio con la resistencia residual. Una de las medidas que reproduce ese comportamiento es la de rellenar el pie del talud creando una barrera natural de tierras en esa posición y descargando o sujetando parte de la masa superior. La ventaja, en relación con la situación de rotura, se encuentra en la conservación de la resistencia intacta de los materiales, lo que proporciona una mayor seguridad.

En este trabajo, apoyado en un conjunto de ejemplos prácticos, se plantea una metodología para seleccionar una variedad de medidas que pueden utilizarse, sobre la condición de que la situación final de diseño cumpla con las garantías de seguridad. Tal como se plantea en la minería en muchas ocasiones, se puede asumir cierta movilidad de los bloques que constituyen el macizo de roca, y remodelar las tierras inestables para buscar la geometría del talud más adecuada y evitar los riesgos de deslizamientos o desprendimientos sobre el área de trabajo.

## Abstract

The re-excavation of a large slope, with stability problems, appears as principal measure used to correct its instability. In a large slope failure, terrain naturally seek balance by transferring part of it mass to the foot slope area, establishing a land barrier, also eliminating the weight of the upper part, where these materials come from. Once the peak shear strength values have been overtaken, the breaking surface only contributes with its residual resistance. One of the measures that can reproduce this behavior is the filling of the slope's foot creating a natural barrier of lands in that position and unloading or holding part of the upper mass too. The advantage, in relation to the breaking

situation, lies in the preservation of the intact strength of the materials, which provides greater security.

In this paper, supported by a set of practical examples, the methodology proposed is to select among a variety of measures that can be used, searching that the final design situation complies with the security guarantees. As is usually suggested in mining, it is possible to assume a certain mobility of the blocks that make up the rock mass, and to remodel the unstable lands in order to find the most appropriate slope geometry to avoid the risks of landslides or rock falls on the work area.

## 1 Análisis General de un Talud

La Mecánica de Rocas va desarrollando modelos de cálculo cada vez más sofisticados, para conocer, de forma matemática, la posibilidad de que un talud se mueva. Todos los modelos son simplificaciones de la realidad física y geológica y son el resultado de la observación y análisis de un gran número de situaciones de inestabilidad producidas en la minería y las obras civiles.

La dinámica geológica va configurando los relieves en función de la capacidad y resistencia de las rocas que constituyen las laderas. De esa forma se producen roturas de los taludes naturales como una parte del ciclo geomorfológico, aunque la intervención del hombre por medio de la excavación, el aumento de las cargas sobre el terreno, o la modificación de la escorrentía superficial o subterránea es la circunstancia que mayor número de movimientos y colapsos produce.

Los modelos de rotura que se producen en los taludes homogéneos son bien conocidos y han sido clasificados desde los textos clásicos como el de Hoek & Bray (1981). Estos investigadores introducen modelos bidimensionales sencillos para calcular, mediante equilibrio límite, los factores de seguridad de las situaciones habituales en el campo de las rocas duras y diaclasadas, por una parte, y el de las rocas blandas y suelos o terraplenes por otra.

En el primer conjunto de rocas, la situación de rotura está gobernada por las juntas de la roca, los métodos de estudio son los de roturas planas o en cuñas, explicados también por Hoek & Bray, o también el modelo aplicado a la situación de vuelco de los estratos desarrollado por Goodman & Bray (1976).

En el segundo grupo de materiales, cuando las superficies de rotura evolucionan por rocas blandas, o sedimentos, suelos o terraplenes, la rotura es de tipo circular y los modelos de análisis “de fajas o rebanadas” se han ido desarrollando, pudiendo citar algunos más clásicos como los de Bisohp (1955), Jambu (1954) o Morgenstern & Price (1965).

Cuando las dimensiones de los taludes son de varias decenas de metros, o de algunos hectómetros, existe una pérdida de homogeneidad que provoca roturas de tipo mixto,

que pueden ser aproximadas a planas o circulares, según cuales sean los materiales geológicos involucrados y su disposición.

Como ejemplo, en la Figura 1, aparece un talud (talud de la cantera de Aguilones) de 160 m, con una base de rocas blandas (filitas arcillosas) deslizado en las primeras bermas de roca caliza, excavadas justamente encima del estrato blando. La roca dura aparece aquí muy alterada por el contacto mecánico y cabalgamiento geológico sobre las filitas.



Figura 1. Talud con deslizamiento por una rotura circular

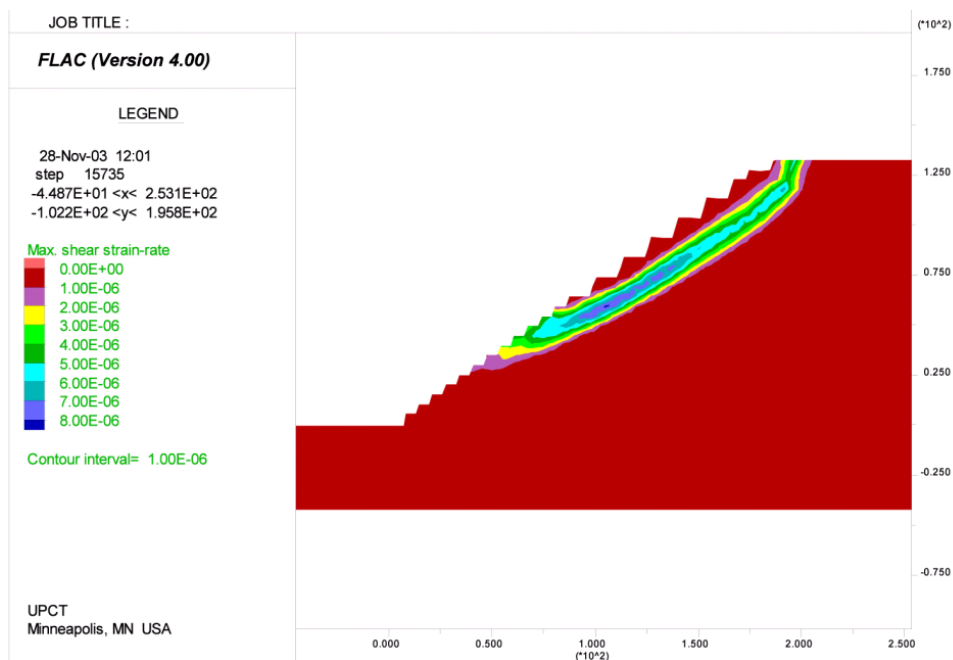


Figura 2. Tratamiento con elementos finitos del talud

En la Figura 2, una vez rediseñado el talud, con un ángulo de  $39^\circ$ , se observa cómo la superficie de máxima deformación a cizalladura se sitúa por encima de los materiales blandos, debido a la falta de resistencia de los primeros materiales duros (calizas alteradas). Esa superficie coincide de forma muy aproximada con la del círculo de rotura más desfavorables que pronostican los programas de equilibrio límite de rebanadas (SLIDE o GEOSLOPE).

Una rotura de esta naturaleza puede afectar a una altura de 80 metros de talud, apareciendo como cuestión prioritaria, para evitar el deslizamiento, la preservación de los materiales de la base.

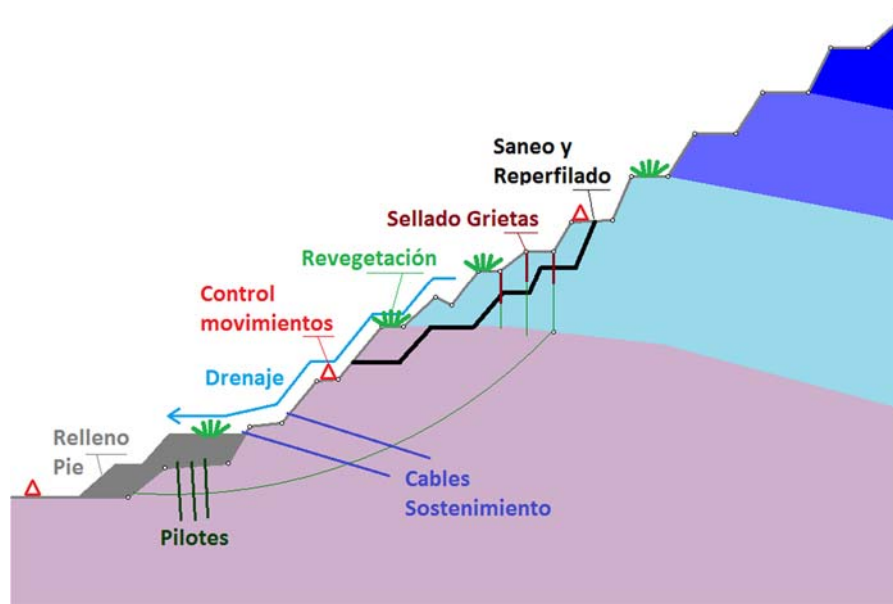


Figura 3. Acciones generales de mejora de estabilidad en un talud

Un repaso de las posibles acciones, que incluye todas las actividades que pueden aumentar la resistencia o disminuir las cargas, aparece de forma esquemática en la Figura 3 y puede ser el siguiente:

**SELLADO GRIETAS.** Con esta acción pretenderíamos un aumento de la cohesión entre los labios de las grietas de la cabecera del talud, y también la impermeabilización de estas fracturas para evitar la entrada de agua y la consiguiente presión hidrostática.

**SANEO Y REPERFILADO.** En ocasiones se planteará la eliminación de los bloques potencialmente inestables, aliviando el peso del talud en la zona superior, precisamente la que tiene un ángulo de la superficie de rotura más vertical, de manera que aquí el peso se transforma, en un elevado porcentaje, en fuerza de deslizamiento.

**RELLENO PIE.** Aquí se persigue el efecto contrario, la estabilización por aumento de peso, dado que en las rebanadas inferiores todo el peso aumenta las tensiones normales al plano de fractura y con ello la fricción. Paralelamente el aumento del espacio de bermas mejora la situación ante el riesgo de desprendimientos.

**CABLES DE SOSTENIMIENTO.** Cosido y sostenimiento de la masa del talud, incluso de algún bloque suelto. Se intenta aumentar la fricción en la posible superficie de rotura y colaborar a sujetar el peso del talud.

**REFUERZO DE BASE CON PILOTES.** La instalación de pilotes de hormigón armado permite un aumento de la resistencia cortante en la superficie de deslizamiento. Completa la acción del relleno del pie de talud.

**DRENAJE.** Regular el camino de drenaje en los taludes evita la infiltración y saturación de los rellenos de juntas y terrenos blandos. Disminuye también la erosión, un fenómeno de alteración que, a largo plazo, puede debilitar de forma definitiva la resistencia.

**REVEGETACIÓN.** Completa el efecto del drenaje para evitar la infiltración y proteger frente a la erosión, además de colaborar a la Integración paisajística y al aumento de valor ambiental.

**CONTROL DE MOVIMIENTOS.** Mediante hitos topográficos y sensores de deformación y movimiento. Aunque este control no supone un efecto mecánico, permite conocer la calidad de las acciones emprendidas así como evitar la exposición al riesgo de la maquinaria y las personas, anticipándose a los eventos catastróficos.

## 2 Proceso de aplicación del análisis de inestabilidad: ejemplo talud Aguilones

Cuando se ha de acometer la tarea de corregir un talud inestable (Trigueros 2003), se realiza una **inspección de campo (FASE 1)**, como se muestra en la Figura 4, en la que se recogen todos los síntomas relacionados con el deterioro, que han de trasladarse a la cartografía (planos u ortofotos) para tener la visión de conjunto.

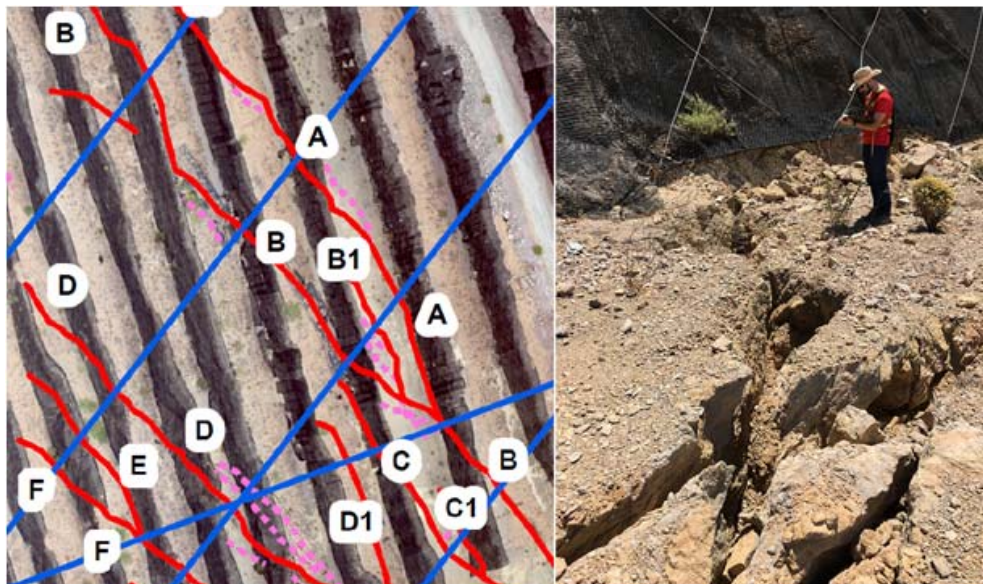


Figura 4. Resultados de una inspección sobre ORTOFOTO.

Con toda la información necesaria (incluso sondeos y ensayos mecánicos) se efectúa un **diagnóstico del deterioro (FASE 2)** que ha conducido a la situación de inestabilidad, tanto de las causas principales como de la secuencia. El diseño de un talud no siempre

tiene en cuenta los elementos que permiten el mantenimiento de las condiciones de estabilidad iniciales. Quizá algunos elementos de protección, sostenimiento o drenaje no se ejecutaron adecuadamente, o han quedado inservibles con el tiempo. También algunos elementos de control pueden haber agotado su intervalo de medida, o haberse estropeado. Zonas habilitadas para posibles desprendimientos pueden hallarse colmatadas. Pueden haberse producido agentes atmosféricos o terremotos por encima de los valores de cálculo, y un largo inventario de causas, a veces en combinación, que hay que averiguar.

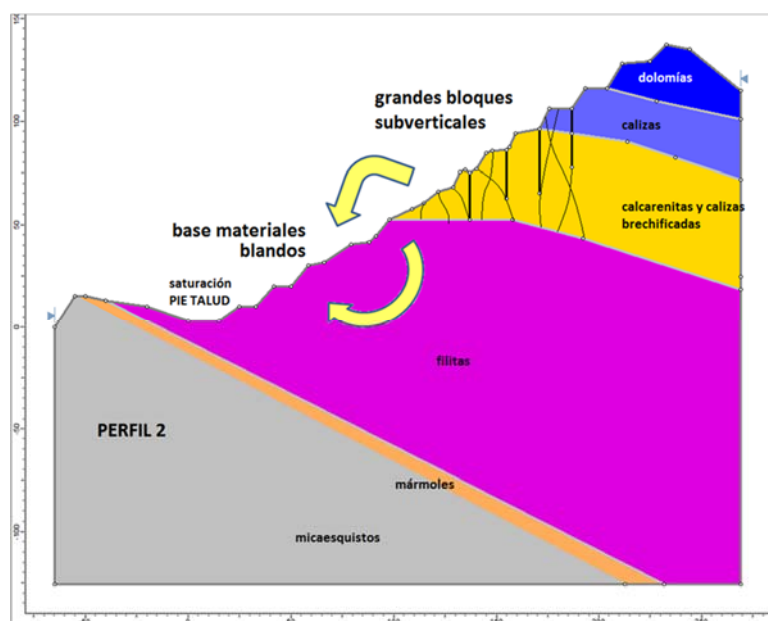


Figura 5. Diagnóstico del deterioro de un talud.

De esta forma, tal como podemos visualizar en la Figura 5, correspondiente a la situación del mismo talud (talud de Aguilones) de la figura 1, doce años después de corregir el deslizamiento, la mala ejecución de los drenajes del talud se encuentra en el inicio de su posterior deterioro. Este fallo ha provocado la saturación de los materiales de los primeros bancos, con la aparición de algunas roturas circulares que colaboran a una importante deformación de todo el conjunto que forma la base del talud. Las grandes grietas subverticales del estrato calizo se abren a causa de la distensión y asentamiento del sustrato de base, y por último se va produciendo el desprendimiento de los bloques una vez liberados.

La siguiente etapa consiste en realizar una **selección de las medidas (FASE 3)** de reparación y corrección, dentro de la necesidad de eliminar los riesgos y sin perder de vista el tiempo y la capacidad presupuestaria que exige la implantación de cada una de las medidas. La Tabla 1 muestra las principales medidas generales de corrección de un talud.

En un talud de estas dimensiones (135 m. de altura, tras la corrección del deslizamiento) y con estas características mecánicas, no caben algunos planteamientos de sostenimiento o refuerzo a gran escala, como pudieran ser el sellado de grietas, o el empernado o colocación de cables para refuerzo de los bancos. No solamente por causas económicas, sino también por las dificultades de acceso y el riesgo para personas y equipos de trabajo en la zona media del talud.

**Tabla 1. Medidas generales de corrección de un talud**

MEDIDA	Interés	Dificultades/Costes	Riesgos
1. SELLADO GRIETAS	Aumento de la cohesión entre los labios de las grietas	Mal acceso de la lechada al interior de la grieta. Bolsas de acumulación de agua y aparición de sobrepresiones. Coste Alto.	Maquinaria semi-pesada trabajando en las bermas intermedias, deterioradas. Desprendimiento y deslizamiento de bloques.
2. CABLES DE SOSTENIMIENTO	Cosido y sostenimiento de bloques.	Difícil ejecución. Complejo y Coste Alto.	Maquinaria semi-pesada trabajando en las bermas intermedias, deterioradas. Desprendimiento y deslizamiento de bloques.
3. SANEAMIENTO Y REPERFILADO	Eliminar los bloques potencialmente inestables.	Uso de explosivos, por el tamaño de los bloques. Complejo y Coste Alto. Mayores molestias Ambientales. Mayores pendientes en la cabecera del talud.	Maquinaria semi-pesada trabajando en las bermas intermedias, deterioradas. Desprendimiento y deslizamiento de bloques.
4. RELLENO PIE	Estabilización por aumento de pesos. Aumento del espacio de bermas anti-desprendimientos.	Coste Moderado.	No se trabaja en la zona de riesgo.
5. REGULACIÓN DRENAJE	Evitar la saturación de los primeros bancos.	Coste Moderado. Ejecución simultánea con el relleno.	No se trabaja en la zona de riesgo.
6. REFUERZO CON PILOTES O MICROPILOTES	Protección adicional preventiva de la coronación del talud y camino.	Coste Moderado.	No se trabaja en la zona de riesgo.
7. REVEGETACIÓN	Integración paisajística y aumento de valor ambiental.	Coste bajo.	Se puede controlar bien el riesgo con medios de trabajo en altura.
8. CONTROL DE MOVIMIENTOS	Seguimiento del deterioro. Prevención.	Coste bajo.	Se puede controlar bien el riesgo con medios de trabajo en altura.

Tampoco se plantea como adecuado un saneo mediante excavación, lo que suele ser muy habitual cuando nos enfrentamos con este tipo de inestabilidades. Esta medida requeriría el empleo de explosivos, con las consiguientes molestias y repercusiones medio ambientales, además de ser una opción de mayor coste.

Las medidas seleccionadas en este caso como más adecuadas se centrarán en el relleno y regulación de los drenajes de la zona sur. Se conseguirá con ello el aumento del peso en el pie del talud, incorporando tierras adicionales, que permitan además disponer de bermas más generosas para la recepción de posibles bloques desprendidos. Los drenajes estarán integrados en la remodelación de la zona sur y se prepararán al mismo tiempo que se realiza la actividad del relleno, con lo que la parte fundamental de la obra se puede realizar de forma conjunta.

Las zonas en las que actualmente se están acumulando los fragmentos desprendidos, plataformas en el talud lateral al sur, son suficientemente grandes para albergar futuros desprendimientos, y estos se verán limitados si se realizan las obras de corrección que se proponen.

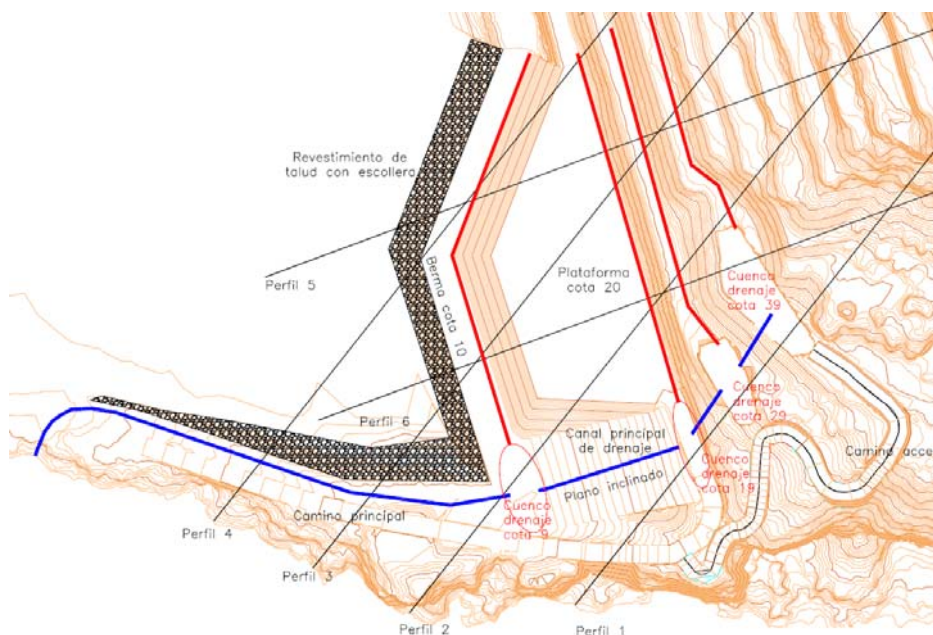


Figura 6. Acciones de estabilización proyectadas.

Como medidas adicionales y recomendables se señalan: la revegetación, el control topográfico de movimientos y el micropilotaje de la cima. De estas actuaciones el micropilotaje se plantea como una recomendación, ya que aporta una seguridad adicional en relación con la posibilidad frenar la evolución hacia la cima del agrietamiento.



La última etapa del proceso es la de **Anteproyecto y Proyecto de las actuaciones de estabilización (FASE 4)** y consiste en realizar la ingeniería de detalle para poder presupuestar y realizar la obra, tal y como se muestra en la Figura 6.

### 3 Tratamiento de la inestabilidad: ladera con materiales blandos

En la Figura 7 puede verse el talud de Puerto Lumbreras, después de producirse unos deslizamientos de tierra tras un episodio de lluvia intensa. Es una ladera natural a cuyo pie se encuentran unas viviendas, que fueron parcialmente sepultadas por los arrastres de tierra. En toda la ladera existen cuevas habitadas como viviendas y una cobertera vegetal de paleras (plantas del higo chumbo) que dificultan el acceso.



Figura 7. Talud de Puerto Lumbreras con deslizamientos sobre viviendas.

La ladera está constituida por margas y conglomerados arcillo-arenosos, que se habían humedecido en sus primeros 2-3 metros a causa de las importantes precipitaciones. El carácter arenoso favorece la rápida infiltración y saturación del terreno.

El drenaje natural de la ladera ha contribuido a que el agua se infiltre de forma preferente en algunos puntos, ocasionando abarrancamientos y algunas roturas circulares de entre 5 y 10 metros de dimensión máxima. Las grietas de tracción en las zonas altas, a la cota del Castillo, señalaban algunas roturas incipientes.

Se apreciaban, por ese motivo, algunas entradas de casas-cueva desplomadas. Las superficies de rotura progresaban por la zona húmeda, sin invadir la zona seca del terreno. El motivo de las roturas se encontraba, por tanto en la saturación de agua, que aumenta

el peso del terreno y disminuye la tensión efectiva, con lo que el terreno se vuelve inestable.

El drenaje de la ladera era caótico e insuficiente, situación agravada por la desaparición de la cubierta vegetal. Las paleras que cubren la ladera se están secando a causa de una enfermedad y su desaparición había favorecido el deterioro, aumentando la erosión por impacto directo de la lluvia y dejando también de sostener el suelo, al morir sus raíces, quedando solamente como peso muerto adicional.

Todas las conclusiones de la inspección, que se vio complicada por las dificultades de acceso, permitieron seleccionar una serie de medidas de corrección más adecuadas (Trigueros 2012). Existían dos objetivos fundamentales, en primer lugar, regular el drenaje, puesto que el plan de trabajo podía verse afectado por una lluvia de las mismas características, o un período de lluvias prolongado (inicio del otoño) que provocara nuevos derrumbes del terreno. La segunda prioridad era la consolidación de las zonas deterioradas para evitar el encadenamiento en secuencia vertical de varias roturas, lo que conllevaría deslizamientos de grandes dimensiones.

La apertura de caminos de acceso resultaba primordial, para conseguir un ritmo de trabajo suficientemente rápido. Las únicas vías de paso estaban constituidas por sendas peatonales, muchas de ellas intransitables por la existencia de paleras, colapsos del terreno sobre las cuevas y ruinas. Una dificultad añadida a la intervención, que se tuvo que realizar sin planos de detalle, era la catalogación de la zona como bien de interés cultural, lo que hacía necesario, aun manteniendo la emergencia en las actuaciones, intentar causar la mínima repercusión sobre algunas cuevas catalogadas, para lo que existe un equipo de supervisión arqueológica.

**CAMINOS DE ACCESO:** Tanto en el pie del talud de la ladera como en las sucesivas bermas que había que ir trazando, se hizo necesaria la apertura de caminos y el reperfilado y excavación de taludes para que, dada la abrupta orografía de la ladera, pudiera acceder la maquinaria. Dada la existencia de numerosas cuevas en este nivel, y la peligrosidad que entraña la circulación de equipos semipesados sobre el camino abierto, por encima de aquellas, se procedió al hormigonado del mismo en toda su longitud.

**CORRECCIÓN HIDROLÓGICA y DRENAJES:** Se definieron varias zonas de descarga hacia donde se conducirían las aguas provenientes de la escorrentía de la ladera, corrigiendo de esta manera la situación existente, con muchos puntos de desagüe hacia el trasdós de las viviendas existentes.



Figura 8. Preparación de Accesos y drenajes.

En el pie de la ladera y de talud contiguo a la primera berma se ejecutaron cunetas revestidas de hormigón, y en cada una de las descargas definidas se construyeron arquetas de hormigón armado impermeabilizadas para retener y laminar, en la medida de lo posible, las aguas de escorrentía provenientes de la ladera. Se ejecutaron bajantes de hormigón para recoger el agua de escorrentía y evitar roturas y cárcavas. Donde las pendientes lo permitían, estas bajantes se ejecutaron con hormigón ciclópeo o mampostería careada con mortero de agarre. La Figura 8 muestra la preparación de los accesos y drenajes.

**ESTABILIZACIÓN Y CONSOLIDACIÓN:** En el pie de los taludes deslizados y en la zona del trasdós de las viviendas, se ejecutarán un muro de gunita de 10 cm. o de escollera de 300-500 kg para sostener el talud y evitar el riesgo existente de desprendimientos y arrastres sobre las edificaciones. En la zona de la descarga principal el muro de escollera se prolongó en altura hasta asegurar todo la parte del talud que había sufrido desprendimientos parciales tras las lluvias en la cercanía de las viviendas.

La colocación de escollera en los pies de talud es muy ventajosa, permitiendo reparar zonas vacías de forma muy rápida. Se coloca geotextil y grava en el trasdós del muro, lo que permite una buena laminación del drenaje, disminuyendo la energía del flujo de agua. La Figura 9 muestra un ejemplo de muro de escollera.



Figura 9. Consolidación y estabilización mediante muros de escollera

#### **4 Tratamiento de la inestabilidad: talud final en roca ornamental**

No siempre el tratamiento de las inestabilidades es el acertado. En el Proyecto Minero de roca ornamental DUQUESA, se produjo un importante colapso del talud final, que había sido precedido por un pequeño desprendimiento. La corrección del talud mediante un número importante de bulones muy tensados provocó un desprendimiento de grandes dimensiones (125.000 t).

Como es práctica habitual, una importante falla, que discurre paralelamente al talud en las cotas superiores, se mantuvo como superficie final. La falla aparecía en todo su recorrido de forma sana, sin que al atravesarla con la excavación, en la parte central del talud, se apreciaran empeoramiento de las condiciones de roca ni mayor densidad de diaclasado. Por ese motivo, se decidió hacer coincidir la cara de la falla con la del banco en la parte inferior de esos metros finales del mismo, justo en la parte en que se producía la salida lateral de la junta hacia la ladera. No se percibió, por ese motivo, la importante karstificación de la parte final, por detrás de la falla, muy cercana dorsalmente a la superficie.

En octubre de 2011, se produjo un primer desprendimiento de la base del banco en su tramo final. Afectó a una zona de unos 12 m de anchura y 18 m de altura, apareciendo en su interior una superficie de despegue con una salida aparente hacia la cara de talud en su parte más al sur (Figura 10). A su alrededor y en su parte norte se observaron una serie de fracturas subparalelas al plano de despegue, que configuraban un conjunto de bloques apilados. Se asumió que el plano de despegue salía hacia el sur por la zona pró-

xima, configurando un bloque esbelto de unas 100 t/m con superficie posterior a  $75^\circ$  a la derecha del desprendimiento, y un conjunto de bloques, alrededor de la cavidad formada por el desprendimiento, con un plano posterior a  $65^\circ$  y hasta 150 t/m de peso.



Figura 10. Desprendimiento previo en la zona final de la falla.

Con estas hipótesis, se diseñó un sostenimiento extendido a toda la superficie de la falla, considerando unas profundidades de superficie de rotura dorsal para que fuera atravesada por los bulones de entre 3 y 6 metros, creciente hacia el norte.

El talud permaneció estable, a partir del primer desprendimiento, durante un plazo de seis meses (octubre 2011-abril 2012) coincidente con el período lluvias, de a pesar de los empujes hidrostáticos, sin sostenimiento. Las tareas de sostenimiento se desarrollaron desde abril a junio de 2012, tensando los bulones desde la zona derecha hacia la zona izquierda. Trascurrido el verano, dos meses después de la colocación del sostenimiento, el talud estalló, sin roturas previas, en la madrugada del 5 de septiembre.

El análisis del trabajo del sostenimiento, en relación con las superficies dorsales, puede realizarse mediante cortes horizontales del bloque sostenido en las tres cotas de colocación de los bulones (Figura 11). La fila superior de bulones (cota 373) de la zona izquierda no llega a atravesar bien la superficie de rotura para constituir el necesario bulbo de anclaje posterior. Los bulbos son inexistentes o insuficientes para garantizar la adherencia bulón terreno, una vez cargado cada bulón a 25 t.

La zona central de bulones de 12 metros, en malla más reducida, con una carga específica elevada, empuja el conjunto de bloques cosidos hacia su dorso en el que existen juntas abiertas y rellenas de tierra y arcilla. Se produce una readaptación de los bloques

a medida que el relleno arcilloso cede (fenómeno de consolidación, si está saturado con efecto retardado).

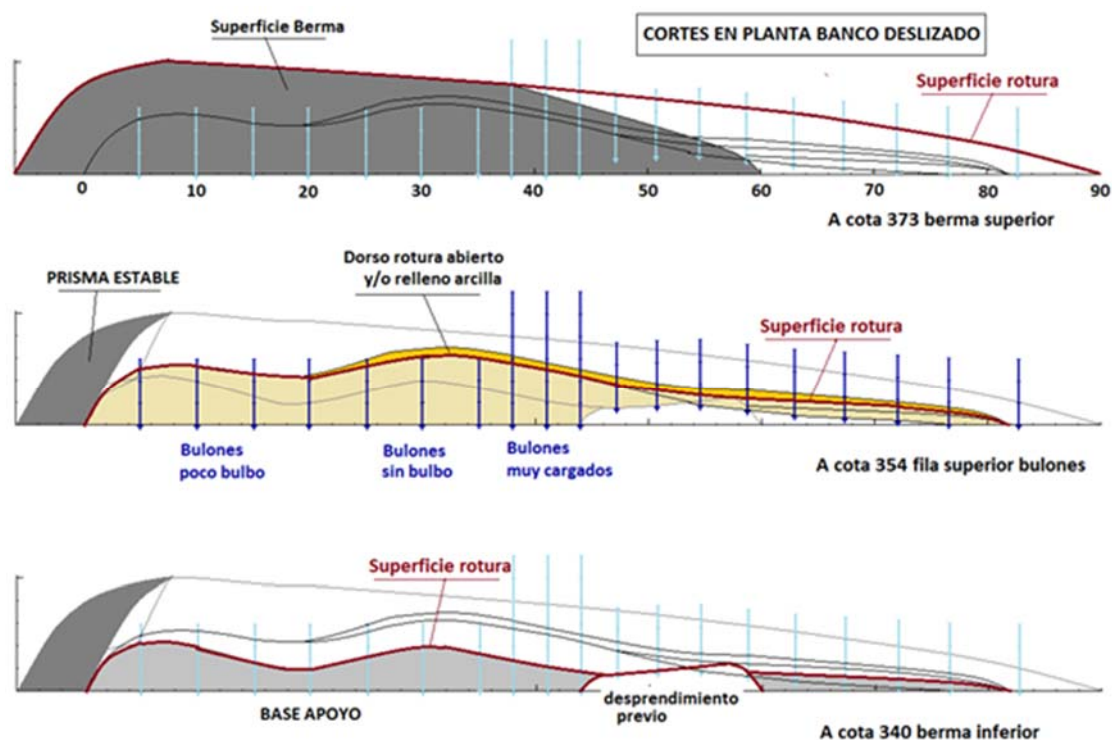


Figura 11. Desprendimiento previo en la zona final de la falla.

La zona izquierda de menos carga, sin trabajo en algunos bulones de la parte superior, con otros en el límite de rotura por falta de adherencia. La zona central muy cargada, va reajustando los bloques y, en ese proceso lento de reajuste, aumenta, por efecto palanca, la tensión de los bulones de la zona izquierda, al menos en fila superior, hasta que se parte o salen de su orificio de manera súbita, liberando la energía de deformación de la roca que se rompe (Figura 12).

El proceso de rotura progresa hacia la derecha, encadenando roturas por imbricación de los bloques, hasta la zona más cargada cuyos bloques son liberados lateralmente, dejando bulones desnudos con la placa intacta. Toda la zona superior, en voladizo, se desploma arrastrando la parte del pie de banco todavía estable.

En la Figura 12 puede observarse el apilamiento sucesivo de los materiales, que resulta compatible con la secuencia de rotura. Al estallido de la zona izquierda (1), que provoca la primera pila de material deslizado, le sigue el desprendimiento lateral de los pequeños bloques y tierras de la zona karstificada (2), que forma un apilamiento secundario encima del anterior, de menor dimensión de bloques. Los grandes bloques desplomados rodarían sobre la pila por último (3).



Figura 12. Secuencia de movimientos del desprendimiento.

La conclusión de este importante desprendimiento es que los sostenimientos “activos” pueden generar cargas adicionales indeseables. De igual manera, si se hubiera intentado eliminar este bloque de roca muy compacta mediante voladuras, el efecto sísmico “dinámico” de estas habría producido, sin duda, su desprendimiento.

## 5 Conclusiones

La ingeniería de taludes ha evolucionado de manera importante en las últimas décadas, de forma que, a partir de modelos relativamente simples, gracias a los programas informáticos, se pueden averiguar las causas de las inestabilidades y las secuencias de los movimientos.

Presentamos aquí tres taludes de grandes dimensiones que han sido afectados por desequilibrios, para materiales blandos, duros y mixtos, como casos que permiten establecer un guion para el análisis geotécnico.

Cuando afrontamos la labor de restablecer o mejora la estabilidad de un talud o ladera deslizados, existen una serie de posibles medidas (tabla 1) que podemos plantear. Hay que tener cuidado porque algunas de estas acciones pueden introducir nuevas cargas (pretensado, vibraciones, infiltraciones...) que también deben ser tenidas en cuenta.

La geotecnia está íntimamente ligada a los métodos de excavación, no se puede entender sin la vertiente minera: tipo de operaciones y secuencias de excavación y sostenimiento, con los plazos y costes involucrados.

## Referencias

- Bishop, A.W. (1955) The use of the slip circle in the stability analysis of earth slopes. *Geotechnique*, vol. 5, pag. 7-17.
- Goodman, R.E., Bray, J. (1976). Toppling of rock slopes. *ASCE Proc. Specialty Conf. on Rock Eng. For Foundations and Slopes*, Boulder, CO, vol 2, 201-234.
- Hoek, E., Bray, J.W. (1981). *ROCK SLOPE ENGINEERING*. Capítulo 3, pag. 28 a 34 I.M.M. Ed: Chapman & Hall. London.
- Jambu, N. (1954) Application of composite slide circles for stability analysis. *Proc. European Conference on Stability of Earth Slopes*. Stockholm, vol. 3, pag. 43-49.
- Morgenstern, N.R., Price, V.E. (1965) The analysis of stability of general slide surfaces. *Geotechnique*, vol. 15, pag. 79-93.
- Trigueros, E., García, C., Alcaraz, M. (2001). Análisis del colapso de un talud final con superficie de rotura mixta plana-circular. V Simposio nacional sobre taludes y laderas inestables. CEDEX, Mº de Fomento. Vol II Madrid.
- Trigueros, E., Sánchez, R., Alcaraz, M. (2003). Estudios geotécnicos de grandes taludes en roca. *Revista Ingeopress*. Vol 117. Pp 54-63. Madrid
- Trigueros, E., Cánovas, M., Alcaraz, M., Gónez, A. (2012). Memoria de actuaciones de emergencia en la ladera del castillo de Nogalte. Puerto Lumbreras (Murcia). Ayto. puerto Lumbreras.
- Trigueros, E., Cánovas, M., Alcaraz, M., Gónez, A. (2012). Análisis del desprendimiento y control geotécnico de labores del Proyecto Duquesa. Informe para la empresa ZELETA, S.A.