

Anejo VII. Medidas de control y protección.

Para desarrollar la gestión del riesgo de inestabilidades, tratada en el capítulo 6 de esta Guía, es necesario realizar un análisis de alternativas en la que habrá que tener en cuenta los condicionantes de cada caso, ya sean de tipo económico, técnico o medioambiental, para proponer aquellas que cumplan de una manera más satisfactoria todos estos condicionantes y seleccionar aquella que ofrezca un mejor cumplimiento de los criterios de coste-beneficio.

En este anejo se presenta una descripción de las diferentes medidas que son utilizadas habitualmente clasificándolas en dos grupos: medidas de corrección y estabilización de taludes y laderas, que son aquellas que de una forma activa tratan de evitar que se produzca la inestabilidad mediante la consolidación por refuerzo del talud, y medidas de control y protección de caída de rocas, que consisten en evitar que los materiales que se pudieran desprender como consecuencia del desarrollo de una inestabilidad alcancen al elemento que se necesita proteger.

Para ello se ha creado una ficha para cada una de las medidas propuestas en la que se realiza una descripción de la misma, se detallan sus características técnicas y usos y aplicaciones, ventajas e inconvenientes y se dan recomendaciones de uso. También se aporta una relación de normas que deben ser tenidas en cuenta a la hora del diseño o instalación de las soluciones. Estas normas están actualizadas con fecha de abril de 2019, por lo que se recomienda revisar su vigencia a la hora de aplicarlas, así como la revisión de otras normas que puedan ser de aplicación.

VI.1. Medidas de corrección y estabilización de taludes y laderas.

VI.1.1 Modificación de la geometría: Retalzado y excavación de cabecera.

Descripción: Consiste en modificar el talud, mediante retalzado, hasta obtener un perfil adecuado o excavar la cabecera del talud para reducir el peso de la misma.

Características técnicas: El retalzado se puede lograr por excavación o por relleno del talud. En la excavación de cabecera se aligera la parte alta del talud puesto que es la que aporta una mayor fuerza actuante sobre la masa de deslizamiento. Es importante calcular la masa que se extraerá para garantizar la estabilidad del talud y obtener el factor de seguridad requerido en cada caso.

Usos y aplicaciones: En un gran número de casos, particularmente en roturas circulares.

Ventajas: Es muy efectivo, sobre todo en suelos friccionantes. En principio constituye una opción ventajosa por su bajo coste frente a otras opciones, y la posibilidad de trasladar el peso desde la cabecera del talud al pie del mismo, mejorando su estabilidad general.

Inconvenientes: Algunos de los inconvenientes más comunes son la dificultad de acceso para realizar los trabajos de movimiento de tierras, la ripabilidad de los materiales, la disponibilidad de zonas apropiadas para el vertido de materiales y su posible reutilización.



Figura VII.1.1 Retalzado por excavación.

Recomendaciones: La modificación de la geometría del talud debe prever un sistema de drenaje adecuado y evitar la infiltración de aguas pluviales. Para la mejora del coeficiente de seguridad obtenido en función del material movilizado y del análisis comparado con otras medidas se podrán adoptar los criterios técnico-económicos para optimizar las medidas de estabilización más apropiadas.

Normativa aplicable:

Para infraestructuras de carreteras, consultar el PG-3.
Para infraestructuras ferroviarias, consultar las normas de Renfe y Adif.

VI.1 Medidas de corrección y estabilización de taludes y laderas.

VI.1.2 Modificación de la geometría: Tacones de tierra o escollera.

Descripción: Consiste en aumentar el peso al pie del talud, es la modificación que se realiza con más frecuencia en los taludes.

Características técnicas: La base del relleno debe presentar una granulometría adecuada, que garantice el drenaje del mismo.

Usos y aplicaciones: Principalmente para deslizamientos en circulares.

Ventajas: Si se combina con el descabezado del talud, se puede utilizar el material extraído en cabecera para reforzar el pie del talud, lo cual resuelve el problema del vertido de material de extracción. La construcción de tacones al pie del talud aumenta las tensiones normales sobre la superficie de rotura, mejorando la estabilidad al aumentar la resistencia al corte.

Inconvenientes: Requiere disponer de gran cantidad de espacio al pie del talud para la ejecución del tacón.



Figura VII.1.2 Tacón de escollera.

Recomendaciones: Para el drenaje de la base del talud es necesario instalar un material filtrante entre el relleno drenante y el material del talud.

Normativa aplicable:

- UNE-EN 13383-1/AC: 200VI. Escolleras. Parte 1: Especificaciones
- Guía para el proyecto y la ejecución de muros de escollera en obras de carretera. (Ministerio de Fomento, 2006).
- Recomendaciones para el diseño y construcción de muros de escollera en obras de carreteras. (Ministerio de Fomento, 1998).

4.1 Medidas de corrección y estabilización de taludes y laderas.

4.1.3 Modificación de la geometría: Bermas intermedias.

Descripción: Se trata de escalonar el talud construyendo bancos y bermas que contribuyen a evitar las roturas superficiales que afectan a todo el frente del talud.

Características técnicas: Es conveniente que las alturas del escalón sean grandes y los ángulos de escalonado suficientemente pendientes, para conseguir mayores anchos de berma, con lo que se consigue aumentar la funcionalidad de las mismas, aunque siempre teniendo en cuenta que a mayor ancho de berma, mayor riesgo de aparición de tracciones en la cresta del escalón, lo que da lugar a grietas y desprendimientos. Los anchos de berma suelen oscilar entre los 3 y los 5 metros.

Usos y aplicaciones: Indicadas para taludes de gran altura en roca, sobre todo si es una roca fácilmente meteorizable. Se utilizan también en el caso de roturas poco profundas del terreno.

Ventajas: Facilitan el proceso constructivo y las operaciones de mantenimiento del talud.
Retienen las caídas de rocas y roturas locales del talud.
Facilitan el drenaje.

Inconvenientes: En los ángulos de berma se produce una concentración de tensiones que pueden inducir a una rotura.
Al aumentar la pendiente con respecto al talud general, se puede aumentar la inestabilidad.



Figura VII.1.3 Talud con berma.

Recomendaciones: Tener en cuenta la posibilidad de instalar medidas de control de desprendimientos.

Normativa aplicable:

VI.1 Medidas de corrección y estabilización de taludes y laderas.

VI.1.4 Drenaje superficial.

Descripción: El drenaje superficial tiene por objeto canalizar las aguas de escorrentía, para evitar la erosión de la cara del talud y la infiltración de agua.

Características técnicas: El drenaje superficial se realiza mediante cunetas y zanjas de drenaje que pueden ser transversales o longitudinales e incluso en “espina de pescado” para abarcar mayor superficie.

Usos y aplicaciones: El drenaje superficial debe formar parte de cualquier medida de tratamiento de taludes con problemas de inestabilidad o susceptible de tenerlos. Es un método necesariamente complementario a cualquier otra medida que se tome en el talud.

Ventajas: Las medidas de drenaje disminuyen el agua presente en el talud, por tanto, disminuyen las presiones intersticiales que son un factor decisivo en la desestabilización de superficies de rotura y grietas de tracción. Técnicas poco costosas y fáciles de instalar. El drenaje superficial sirve también para transportar el agua extraída en los drenajes profundos.

Inconvenientes: Si no se realiza una vigilancia activa del estado de los drenes, estos podrían quedar inutilizados por taponamiento del conducto o por derrubios.



Figura VII.1.4 Drenaje superficial.

Recomendaciones: Si existen grietas en la cabecera del talud, conviene además de la instalación de estructuras drenantes, realizar un sellado de las mismas, para evitar las presiones intersticiales que provocarían una rotura. Se debe tener en cuenta que las zonas de cabecera y en las bermas en caso de taludes escalonados, es donde se acumula más agua, por lo que son zonas que deben estar drenadas.

Normativa aplicable:

- D.G. de Publicaciones. Centro de Publicaciones. M° de Fomento (2002). Construcción de explanaciones, drenajes y cimentaciones. PG-3.

VI.1 Medidas de corrección y estabilización de taludes y laderas.

VI.1.5 Drenaje profundo.

Descripción: Mediante el drenaje profundo se extrae el agua ya presente en el macizo rocoso con el fin de abatir el nivel freático.

Características técnicas: Los drenajes profundos se clasifican en:

- Drenes horizontales o californianos, perforados desde la superficie del talud, con un diámetro entre 100 y 150 mm y 30 ó 40 metros de longitud.
- Pozos verticales, perforados desde la superficie del talud o desde una superficie superior al mismo, tienen diámetros que oscilan entre los 30 y los 150 cm.
- Galerías de drenaje, que se realizan paralelas al talud y a bastante profundidad.
- Pantallas drenantes, que consisten en pozos de gran diámetro (1,5-2 metros), unidos entre sí.

Usos y aplicaciones: Taludes susceptibles de saturación de agua o con problemas de filtraciones importantes, que generan inestabilidad por disminución de la resistencia al corte del terreno.

Ventajas: Se consigue drenar zonas profundas, eliminando las presiones intersticiales y aumentando la resistencia al corte.

Inconvenientes: requiere equipos de perforación costosos. Son sistemas complejos de construir y necesitan un mantenimiento permanente.

Recomendaciones: Se debe diseñar siempre en función del caudal a drenar, las características hidrogeológicas de los materiales y el radio de acción del elemento drenante.

Se debe garantizar que las excavaciones o perforaciones alcancen las cotas suficientemente bajas para drenar lo más eficazmente posible el macizo. Debe asegurarse la evacuación de los caudales drenados hasta zonas sin conexión hidráulica con el acuífero.

Es conveniente el uso de geotextiles para evitar la colmatación con finos.

Normativa aplicable:

- **UNE-EN 15237:2011** Ejecución de trabajos geotécnicos especiales. Drenaje vertical.
- D.G. de Publicaciones. Centro de Publicaciones. Mº de Fomento (2002). Construcción de explanaciones, drenajes y cimentaciones. PG-3.
- D.G. de Carreteras. Mº de Fomento (2004). Orden Circular 17/2003: Recomendaciones para el proyecto y construcción del drenaje subterráneo en obras de carretera.

VI.1 Medidas de corrección y estabilización de taludes y laderas.

VI.1.6 Anclajes.

Descripción: Son elementos formados por cables o barras de acero que se anclan a zonas estables del macizo, trabajan a tracción y proporcionan una fuerza contraria al movimiento y un incremento de las tensiones normales sobre la superficie de rotura. Se clasifican en:

- Activos: se tensan tras su instalación hasta su carga admisible.
- Pasivos: comienzan a trabajar al producirse el movimiento del bloque o del terreno.
- Mixtos: se tensan con una carga inferior a la carga admisible.

Características técnicas: Se distinguen tres partes esenciales, una zona de anclaje que se fija al terreno y transmite los esfuerzos, una zona libre que no se fija al terreno que la rodea pudiéndose deformar libremente al ponerse en tensión y la cabeza que es la zona de unión de la armadura con la placa de apoyo sobre la que se ejerce la acción exterior.

Las longitudes de los anclajes pueden ser muy variables, normalmente entre 15 y 40 metros y su capacidad de carga suele oscilar entre 60 y 120 toneladas por anclaje.

Usos y aplicaciones: Se utilizan para el cosido de macizos rocosos fracturados, para sujetar bloques de roca, evitar el deslizamiento de taludes, o el sostenimiento de excavaciones o estructuras de hormigón armado. Los anclajes pueden ser aislados, o se pueden unir sus cabezas mediante elementos rígidos de hormigón o acero.

Ventajas: Es un método muy utilizado para estabilizar macizos rocosos que presentan superficies de rotura profundas.

Inconvenientes: En general tiene un alto coste, dependiendo de los accesos y facilidades para su instalación. Los anclajes permanentes deben ofrecer garantías de durabilidad a largo plazo ya que pueden ser muy vulnerables a la corrosión.

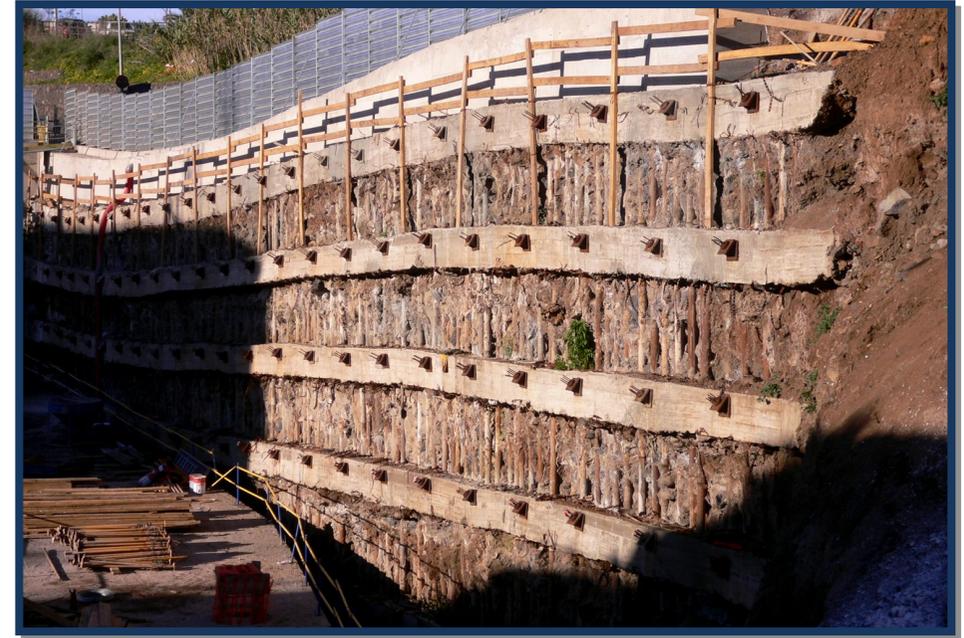


Figura VII.1.5 Anclajes unidos mediante viga de hormigón.

Recomendaciones: La ejecución y las pruebas de carga deben realizarse siguiendo las normativas vigentes y recomendaciones al efecto.

Normativa aplicable:

- UNE-EN 1537:2015. Ejecución de trabajos geotécnicos especiales. Anclajes.
- Centro de Publicaciones. Mº de Fomento (2001). Guía para el diseño y la ejecución de anclajes al terreno en obras de carretera.

VI.1 Medidas de corrección y estabilización de taludes y laderas.

VI.1.7 Muros.

Descripción: Los muros se emplean para reforzar la zona de pie del talud colaborando a contener empujes y a protegerlo de los procesos de erosión .

Características técnicas: hay diferentes tipos según los requerimientos que se exijan.

- *De gaviones:* son muros flexibles que trabajan por gravedad y consisten en rellenos granulares de roca no degradable contenidos en una malla de acero que le da al conjunto forma de prisma rectangular.
- *De gravedad:* que consisten en muros de hormigón que trabajan como elementos pasivos, en los que el peso propio es la fuerza estabilizadora.
- *De tierra armada:* que están formados por un paramento exterior prefabricado que puede ser de hormigón o chapas metálicas y un relleno de suelo reforzado mediante bandas o tirantes de material sintético que se enganchan al paramento y al talud.
- *Anclados:* que son muros de hormigón reforzados con anclajes para aumentar la resistencia al vuelco y al deslizamiento de la estructura.

Usos y aplicaciones: Se utilizan como elementos de contención, sostenimiento o revestimiento.

- **Contención:** Requieren excavación al pie del talud, y evitan las deformaciones superficiales del terreno.
- **Sostenimiento:** Se construyen separados del talud y se rellena el trasdós con material estabilizador.
- **Revestimiento:** protegen el terreno de la erosión y meteorización además de añadir un peso estabilizador al talud.



Figura VII.1.6 Muro de gaviones.

Recomendaciones: Es muy importante realizar una instalación de drenaje en el muro ya que excepto los de gaviones, los muros se realizan con materiales impermeables. Para el proyecto del muro es necesario diseñar adecuadamente su cimentación en terreno estable, particularmente en superficies inclinadas.

Ventajas: Los muros de gaviones permiten el drenaje del talud, además, al ser flexibles absorben mejor la energía de los impactos de la caída de rocas.

Los muros de tierra armada pueden utilizar tierra del propio talud.

Inconvenientes: Requieren excavación al pie del talud, lo puede provocar inestabilidades temporales.

Las dimensiones y el grado de anclaje del muro limitan su capacidad estabilizadora. En el caso de roturas profundas los muros no son eficaces.

Se debe proporcionar suficientes elementos de drenaje.

Las mallas que forman los muros de gaviones están expuestas a la corrosión.

Normativa aplicable:

- **UNE-EN13251:2017** Geotextiles y productos relacionados. Características requeridas para su uso en movimientos de tierras, cimentaciones y estructuras de contención.
- **UNE-EN 15258:2009** Productos prefabricados de hormigón. Elementos de muros de contención.
- **UNE 36730:2006** Gaviones y gaviones recubrimiento de enrejado de malla hexagonal de alambre de acero galvanizado o galvanizado y recubierto de PVC.
- **UNE-EN 10223-8:2014** Alambres de acero y productos de alambre para cerramientos y mallas. Parte 8: Gaviones de malla electrosoldada.
- Reglamento de Productos de Construcción (UE) N° 305/2011.



Figura VII.1.7 Muro de tierra armada en construcción.

VI.1 Medidas de corrección y estabilización de taludes y laderas.

VI.1.8 Pantallas de pilotes y micropilotes y columnas de jet-grouting.

Descripción: Se trata de ejecutar alineaciones de estos elementos separados entre sí una distancia tal que se consigue una estructura relativamente continua que atraviesa la zona inestable hasta empotrarse en la parte estable a la que transmiten los esfuerzos.

Características técnicas: La principal diferencia entre pilotes y micropilotes es su diámetro. Los pilotes tienen diámetros comprendidos entre 0,5 y 2 metros y están arriostrados en superficie mediante una viga de hormigón mientras que los micropilotes tienen diámetros menores (aproximadamente 0,12-0,15 m) y sus longitudes alcanzan los 12-20 metros. Van armados con un tubo de acero que se rellena mediante inyección de cemento. Los micropilotes también pueden ser arriostrados, y perforarse con distintas inclinaciones con respecto a la vertical. Las columnas de jet-grouting consisten en perforaciones entre 0,4 y 1 metro de diámetro, que se inyectan con cemento a alta presión a través de un varillaje que gira a gran velocidad, penetrando en el terreno circundante.

Usos y aplicaciones: Son utilizados para el sostenimiento de taludes excavados y como medida estabilizadora de deslizamientos existentes o potenciales. El jet-grouting se utiliza principalmente en suelos granulares.

Ventajas: Pueden instalarse previamente a la excavación para no afectar a la estabilidad del talud durante la construcción y lo protegen frente a otras potenciales inestabilidades. Permiten reducir el espacio empleado para la excavación así como el material extraído.

Inconvenientes: No son efectivos en deslizamientos profundos o de tipo rotacional.



Figura VII.1.8 Micropilotes.

Normativa aplicable:

- UNE-EN 16228-1:2015 Equipos de perforación y cimentación. Seguridad. Parte 1: Requisitos generales.
- UNE-EN 12716:2001 Ejecución de trabajos geotécnicos especiales. Inyecciones de alta presión. Jet grouting.
- UNE-EN 14199:2006 Ejecución de trabajos geotécnicos especiales. Micropilotes.
- UNE-EN 1536:2011+A1:2016 Ejecución de trabajos geotécnicos especiales. Pilotes perforados.
- UNE-EN 12699:2016 Realización de trabajos geotécnicos especiales. Pilotes de desplazamiento.
- CEDEX. Recomendaciones para ejecución del hormigonado de pilotes y pantallas "in situ" R-21.
- CEDEX. Carga de hundimiento por punta de pilotes en rocas. M-71.
- D.G. de Carreteras. Mº de Fomento (2005). Guía para el proyecto y la ejecución de micropilotes en obras de carretera.

VI.1 Medidas de corrección y estabilización de taludes y laderas.

VI.1.9 Medidas contra la erosión.

Descripción: Se trata de evitar la erosión superficial del talud utilizando técnicas de recubrimiento superficial como:

- Muros de revestimiento.
- Siembra de diversos tipos, con o sin acolchados.
- Hidrosiembras, tanto de especies herbáceas como leñosas.
- Mantas y redes orgánicas.

Características técnicas: Las hidrosiembras no son adecuadas para grandes pendientes. Por su parte las mallas y mantas orgánicas: retienen las capas superficiales del terreno aportando materia orgánica en su descomposición, favorecen los procesos de enraizamiento y desarrollo de la vegetación. Permiten taludes con mayor pendiente, hasta 45°. El material utilizado para la elaboración de las mallas es el yute y el coco, mientras que para las mantas se utiliza paja, coco y esparto o combinaciones de ellos.

Usos y aplicaciones: Se utilizan para prevenir la erosión superficial y para contribuir a evitar que el agua se infiltre en el talud.

Las mantas son adecuadas para taludes con pendiente y problemas erosivos fuertes. Las mallas o redes se utilizan en taludes con menor pendiente y para estabilizaciones temporales ya que se descomponen más rápido que las mantas.

Ventajas: Provocan un reducido impacto visual o incluso corrigen el impacto de la intervención.

Inconvenientes: Para la siembra se necesitan taludes algo tendidos que puedan retener el agua que necesitan las plantas.



Figura VII.1.9 Manta orgánica.

Recomendaciones: Utilizar especies que se adapten a las condiciones del lugar. La plantación continua de especies herbáceas y pastos suele ser más efectiva que de especies arbóreas.

Normativa aplicable:

- UNE-EN 13253:2017 Geotextiles y productos relacionados. Características requeridas para su uso en obras para el control de la erosión (protección costera y revestimiento de taludes).
- ETA-13/0524 - Hexagonal double twisted wire meshes in rolls and hexagonal double twisted wire meshes with inserted wire ropes.
- UNE-EN 795:2012 Equipos de protección individual contra caídas. Dispositivos de anclaje (Ratificada por AENOR en octubre de 2012.)

VI.2 Medidas de control y protección contra caída de rocas.

VI.2.1 Activas o de estabilización: Eliminación de bloques y saneo.

Descripción: Consiste en la retirada de bloques inestables presentes en la superficie del talud o su cabecera, siempre que sean accesibles y cuyo volumen no sea excesivo, en cuyo caso deben plantearse otras alternativas como la fijación *in situ*. Esta medida se suele tomar como paso inicial a la hora de estabilizar una ladera o talud.

Características técnicas: El saneo se puede realizar con medios mecánicos si las zonas a tratar son accesibles o manualmente si no lo son. Para retirar los bloques manualmente es necesario que un equipo especializado en trabajos verticales escale el talud para detectar los bloques o fragmentos de roca inestables y provocar su caída.

Usos y aplicaciones: Para evitar la caída de bloques aislados que estén accesibles o en zonas cercanas a paseos, bloques de grandes dimensiones que sobresalen del talud.

Ventajas: Es una medida poco costosa que elimina eficazmente bloques o fragmentos antes de que caigan y antes de la colocación de otras medidas, evitando que estos bloques causen daños o disminuyan la eficacia de las medidas adoptadas.

Inconvenientes: En el caso de taludes o laderas bajo los cuales hay tránsito de personas o coches, se necesita cortar el acceso para evitar daños. Puede provocar el deterioro de la superficie al pie del talud, si no se realiza el saneo con cuidado. Se debe evitar que la caída de grandes bloques produzca daños en la superficie de la carretera.



Figura VII.2.1 Saneo de rocas tras un desprendimiento.

Recomendaciones: Requiere inspección frecuente de los tramos potencialmente peligrosos para retirarlos de forma controlada antes de que caigan por sí mismos. Se debe estudiar qué bloques eliminar para evitar desestabilizar otros estables hasta el momento.

Normativa aplicable:

-UNE-EN 795:2012 Equipos de protección individual contra caídas. Dispositivos de anclaje (Ratificada por AENOR en octubre de 2012.)

VI.2 Medidas de control y protección contra caída de rocas.

VI.2.2 Medidas activas o de estabilización: Voladuras.

Descripción: Consiste en introducir barrenos en perforaciones hechas en la roca para fragmentar el material rocoso y facilitar su extracción.

Características técnicas: Hay diferentes técnicas de voladura:

- *Voladura precorte:* se trata de provocar una superficie de discontinuidad en el terreno, coincidiendo con el ángulo de talud predefinido, previamente a la voladura del mismo. Es el tipo de voladura más utilizado porque previene la abertura de discontinuidades y la fisuración de la roca.
- *Voladura por barrenos con entalladura:* se realizan aberturas a lo largo del barreno para dirigir la fracturación aprovechando la concentración de las tensiones en los extremos de las entalladuras. Con esta técnica se reduce considerablemente el consumo de explosivo.
- *Voladura por cargas entubadas con aristas abiertas:* los explosivos se alojan en el interior de tubos metálicos con hendiduras laterales. El tubo concentra las tensiones en un lugar específico y protege el resto de la caña del barreno.

Usos y aplicaciones: Se utiliza para corregir la geometría del talud, o para facilitar y agilizar la eliminación de grandes bloques desprendidos que hayan provocado por ejemplo un corte de carretera.

Ventajas: Es un método rápido y eficaz que permite realizar un corte de rocas para dejar un talud de un solo plano aún cuando hay rocas duras que no se pueden cortar con ripper o retroexcavadora. Permite diseñar taludes más estables, ya que reduce el volumen de roca suelta colgada, con lo que se puede prescindir de bermas, bulones u otros tipos de soportes y acciones sobre el talud.

Inconvenientes: Pueden provocar inestabilidades con el paso del tiempo debido a la fisuración que se produce en la roca y que aumente la abertura de discontinuidades ya existentes.

Recomendaciones: Después de la retirada de bloques por voladura es conveniente realizar una limpieza y saneo para retirar los fragmentos de roca derivados de la explosión. Estudiar posibles inestabilidades provocadas por la propia voladura.

Normativa aplicable:

- UNE-EN 13630-1:2004 Explosivos para uso civil. Cordones detonantes y mechas de seguridad. Parte 1: Requisitos.
- UNE-EN 13763-1:2004 Explosivos para uso civil. Detonadores y relés. Parte 1: Requisitos.
- UNE-EN 13631-1:2006 Explosivos para uso civil. Explosivos rompedores. Parte 1: Requisitos.
- UNE 22381:1993 Control de vibraciones producidas por voladuras.
- UNE-EN 13857-1:200VI. Explosivos para uso civil. Parte 1. Terminología.
- UNE-EN 13857-3:2003. Explosivos para uso civil. Parte 3. Información a suministrar por el fabricante o su representante autorizado al usuario.

VI.2 Medidas de control y protección contra caída de rocas.

VI.2.3 Medidas activas o de estabilización: Bulonado.

Descripción: Los bulones son sistemas para anclar de manera permanente la roca al talud. Se pueden considerar anclajes pasivos de baja capacidad. Se instalan en el terreno introducidos en perforaciones rellenas con resina o mortero. El sostenimiento de la inestabilidad se consigue por medio de una placa roscada en el extremo exterior de la barra que se aprieta contra la roca.

Características técnicas: Tienen longitudes que oscilan entre los 3 y los 8 metros y diámetros que van de los 20 a los 40 mm. La carga admisible de estos bulones está entre 5 y 15 toneladas por bulón.

Usos y aplicaciones: Se utiliza en situaciones de riesgo elevado, como es la caída de bloques ya sea por vuelco o por erosión superficial. Se emplean con objeto de minimizar los desprendimientos por rotura a lo largo de fisuras superficiales.

Ventajas: Permiten anclar rocas que no se pueden retirar mediante saneo debido a sus dimensiones.

Inconvenientes: Menos efectivos en suelos o rocas blandas. Vida útil limitada por los efectos de la corrosión. La ejecución de los trabajos se complica cuando la zona a tratar es de difícil acceso.



Figura VII.2.2 Bulón.

Recomendaciones: Realizar un buen levantamiento geomecánico del talud para verificar el espesor del bloque o zona a tratar y la estabilidad del macizo que ha de soportar el anclaje del bulón, de manera que los bulones tengan las dimensiones adecuadas en cuanto a longitud y diámetro

Normativa aplicable:

- UNE 22781:1985 Bulonado. Bulones de anclaje puntual.
- UNE-EN 795:2012 Equipos de protección individual contra caídas. Dispositivos de anclaje (Ratificada por AENOR en octubre de 2012.)

VI.2 Medidas de control y protección contra caída de rocas.

VI.2.4 Medidas activas o de estabilización: Atado de bloques.

Descripción: Consiste en fijar un bloque de roca determinado al talud mediante una red de cable y bulones. La red de cable consiste en una malla metálica de mayores prestaciones que la malla de triple torsión.

Características técnicas: La red se compone de cables de acero galvanizado trenzado, que forman un paño de rombos interiores, cuyos vértices están fijados por medio de grapas metálicas antideslizantes.

Usos y aplicaciones: Se utiliza para retener bloques inestables apoyados sobre el talud que debido a su volumen no se aconseja su retirada mediante saneo.

Ventajas: Permite inmovilizar *in situ* bloques de roca inestables.

Inconvenientes: La dificultad de acceso puede condicionar esta solución.

Recomendaciones: Se requiere una inspección detallada con toma de datos geomecánicos del macizo para determinar la efectividad de los bulones y el dimensionado adecuado de la red de cable.



Figura VII.2.3 Atado de bloques.

Normativa aplicable:

- UNE 22781:1985 Bulonado. Bulones de anclaje puntual.
- UNE-EN 10223-3:2014 Alambres de acero y productos de alambre para cerramientos y mallas. Parte 3: Malla hexagonal de acero para aplicaciones en ingeniería civil.
- UNE-EN 12385-1:2003+A1:2008 Cables de acero. Seguridad. Parte 1: Requisitos generales.
- UNE-EN 12385-2:2004+A1:2008 Cables de acero. Seguridad. Parte 2: Definiciones, designación y clasificación.
- UNE-EN 12385-3:2005+A1:2008 Cables de acero. Seguridad. Parte 3: Información para la utilización y el mantenimiento.
- UNE-EN 795:2012 Equipos de protección individual contra caídas. Dispositivos de anclaje (Ratificada por AENOR en octubre de 2012.)

VI.2 Medidas de control y protección contra caída de rocas.

VI.2.5 Medidas activas o de estabilización: Sistema mixto de cables y malla.

Descripción: Consiste en una malla metálica de triple torsión adosada al terreno que se refuerza y se sujeta al talud con una red cable de acero anclada a la roca con bulones.
Su objetivo es evitar el movimiento de los fragmentos de rocas.

Características técnicas: Es una protección activa adosada a la superficie del terreno de forma que el contacto de la malla con el talud sea el mayor posible.

Usos y aplicaciones: Se utiliza en taludes inestables con riesgo de caída de bloques de manera generalizada.

Ventajas: Evita fijar bloques individuales.
Es un sistema económico y de instalación fácil y rápida.

Inconvenientes: No es apto para grandes bloques.
Requiere personal especializado para la instalación cuando se trate de zonas muy heterogéneas con zonas de mayor inestabilidad.
Si el cosido es deficiente la malla puede abrirse y pierde su funcionalidad.

Recomendaciones: Se debe realizar un estudio geomecánico de la ladera o talud para dimensionar los bulones y la red de malla. Se debe fijar adecuadamente la malla a la ladera.



Figura VII.2.4 Sistema mixto de cables y malla.

Normativa aplicable:

- UNE 22781:1985 Bulonado. Bulones de anclaje puntual.
- UNE-EN 10223-3:2014 Alambres de acero y productos de alambre para cerramientos. Parte 3: Malla hexagonal de acero para aplicaciones en ing civil.
- UNE-EN 10223-4:2013 Alambres de acero y productos de alambre para cerramientos y mallas. Parte 4: Malla electrosoldada.
- UNE-EN 10223-5:2013 Alambres de acero y productos de alambre para cerramientos y mallas. Parte 5: Malla anudada.
- UNE-EN 10218-2:2012 Alambres y productos trefilados de acero. Generalidades. Parte 2: Medidas y tolerancias de los alambres.
- UNE-EN 12385-1:2003+A1:2008 Cables de acero. Seguridad. Parte 1: Requisitos generales.
- UNE-EN 12385-3:2005+A1:2008 Cables de acero. Seguridad. Parte 3: Información para la utilización y el mantenimiento.
- ETA-13/0524 - Hexagonal double twisted wire meshes in rolls and hexagonal double twisted wire meshes with inserted wire ropes.

VI.2 Medidas de control y protección contra caída de rocas.

VI.2.6 Medidas activas o de estabilización: Hormigón proyectado.

Descripción: Consiste en la aplicación de una o varias capas de hormigón proyectado neumáticamente sobre la superficie del talud con el fin de evitar la degradación y alteración de su superficie rocosa, rellenar grietas y contener pequeñas inestabilidades

Cuando se requiere dotar a la solución de resistencia a la tracción, se instalan complementariamente, sobre la superficie del talud, mallas electrosoldadas o bien se añaden a la mezcla grapas de acero o fibras de vidrio.

Características técnicas: El hormigón se debe dosificar con una granulometría con un diámetro inferior a 25 mm. Cuando el tamaño máximo del árido se limita por debajo de los 8 mm, el producto se denomina gunita. En ambos casos, la granulometría debe ser continua.

El agua se mezcla con el árido y el cemento en la boquilla de la pistola o cañón de proyección. La relación agua-cemento de la mezcla debe estar entre 0,38 y 0,40, pues con una menor relación parte del cemento no llega a hidratarse y se genera una importante cantidad de polvo al proyectarlo y con una relación mayor de la indicada, disminuye la adherencia a la superficie. También suele ser conveniente añadir aditivos a la mezcla como puede ser un acelerante del fraguado.

Usos y aplicaciones: Esta técnica se utiliza para reducir la degradación, alteración o erosión de la superficie del talud y para evitar desprendimientos de alcance local y superficial.



Figura VII.2.5 Hormigón proyectado con pigmentos de coloración.

Ventajas: Es una técnica de fácil aplicación y si se ejecuta bien es una solución fiable y duradera.

Inconvenientes: Produce un fuerte impacto visual, aunque actualmente hay pigmentos que ayudan a mimetizar el hormigón proyectado con su entorno.

La mala ejecución o inadecuada decisión sobre el uso de esta medida hace que en algunos casos pierda su eficacia a corto plazo.

Recomendaciones: Para garantizar la adherencia se debe limpiar y sanear la superficie del talud. Es necesario controlar el proceso de ejecución asegurándose la correcta instalación, espesor, cubrimiento completo de la superficie a tratar, etc. ya que de lo contrario podrán darse despegues en los paños de gunitado.

La presencia de materiales arcillosos puede desaconsejar el uso de hormigón proyectado o gunita debido a problemas de adherencia.

Es necesario realizar mecinales de drenaje a lo largo de la superficie del talud, particularmente al pie del mismo.



Figura VII.2.6 Hormigón proyectado sin pigmentos de coloración.

Normativa aplicable:

-UNE-EN 934-5:2009 Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Parte 5: Aditivos para hormigón proyectado. Definiciones, requisitos, conformidad, marcado y etiquetado.

-UNE 83601:2013 Hormigón proyectado. Determinación del tiempo de fraguado.

-UNE-EN 14487-1:2008 Hormigón proyectado. Parte 1: Definiciones, especificaciones y conformidad.

-UNE-EN 14487-2:2008 Hormigón proyectado. Parte 2: Ejecución.

-UNE 83607:2014 IN Hormigón proyectado. Recomendaciones de utilización.

VI.2 Medidas de control y protección contra caída de rocas.

VI.2.7 Medidas pasivas o de protección: Mallas de guiado.

Descripción: Son mallas de alambre de acero que se tienden desde la cabecera de la ladera hasta el pie, cubriendo toda su superficie con el fin de controlar la caída de fragmentos de roca y evitar que reboten y adquieran energía para recogerlos en la base donde pueden ser fácilmente retirados.

Características técnicas: Se fijan siempre en la parte superior del talud o ladera ya sea ancladas al terreno mediante bulones o en voladizo y se mantienen separadas de la superficie para permitir que los fragmentos desprendidos caigan a la parte inferior, que termina 0,5-1 metro por encima del pie del talud para facilitar su mantenimiento. Para facilitar la recogida se pueden ejecutar al pie de talud cunetones, pantallas o unas bolsas de captación conocidas como “drape bags”.

Usos y aplicaciones: Indicadas para taludes de alta pendiente o muy extensos ya sea vertical u horizontalmente, en los que se producen desprendimientos de bloques menores que son guiados hasta el pie del talud, donde pueden ser recogidos.

Ventajas: Es adecuado para controlar pequeños fragmentos de roca inestables. La instalación es fácil y su coste es bajo.

Inconvenientes: Esta técnica no es adecuada para inestabilidades que afectan a bloques de tamaño medio o alto o a grandes volúmenes. En condiciones de mala accesibilidad los costes pueden ser importantes.

Recomendaciones: Construir, siempre que sea factible, una banqueta o cunetón de tierras como elemento de contención que facilite su mantenimiento. Las mallas hexagonales de triple torsión son las más resistentes y las más recomendables.



Figura VII.2.7 Malla de guiado.

Normativa aplicable:

- UNE 22781:1985 Bulonado. Bulones de anclaje puntual.
- UNE-EN 10223-3:2014 Alambres de acero y productos de alambre para cerramientos y mallas. Parte 3: Malla hexagonal de acero para aplicaciones en ingeniería civil.
- UNE-EN 10223-4:2013 Alambres de acero y productos de alambre para cerramientos y mallas. Parte 4: Malla electrosoldada.
- UNE-EN 10223-5:2013 Alambres de acero y productos de alambre para cerramientos y mallas. Parte 5: Malla anudada.
- UNE-EN 10218-2:2012 Alambres y productos trefilados de acero. Generalidades. Parte 2: Medidas y tolerancias de los alambres.
- UNE-EN 12385-1:2003+A1:2008 Cables de acero. Seguridad. Parte 1: Requisitos generales.
- ETA-13/0524 - Hexagonal double twisted wire meshes in rolls and hexagonal double twisted wire meshes with inserted wire rones.

VI.2 Medidas de control y protección contra caída de rocas.

VI.2.8 Medidas pasivas o de protección: Cunetones.

Descripción: Consiste en realizar una zanja o un cunetón al pie del talud, cuyo objetivo es detener la caída de fragmentos de roca procedentes del talud.

Características técnicas: Sus dimensiones dependerán del tamaño de las rocas o fragmentos a contener. En el fondo de la zanja se coloca una capa de material granular el fin de amortiguar la energía de caída de rocas evitando su rebote. En caso necesario se puede instalar una barrera o pantalla que impida que las rocas caídas sobrepasen el cunetón.

Es un buen complemento de las mallas guiadas.

Usos y aplicaciones: Taludes en roca fragmentada inestable, en el que no se puede evitar la caída de fragmentos rocosos con otras medidas.

Como complemento a las mallas de guiado.

Se utiliza también para recoger el material desprendido en roturas planas, cuñas y vuelcos.

Ventajas: En taludes en zona de tránsito se evita que las rocas o fragmentos que se desprenden caigan a la vía.

Inconvenientes: No es adecuado en taludes que favorecen el rebote de las rocas o de sus fragmentos porque exigiría disponer de una gran superficie libre a pie de talud.

En determinadas condiciones esta medida puede provocar un aumento de la inestabilidad al pie del talud.

Es necesario realizar un mantenimiento periódico para evitar que se colmate.



Figura VII.2.8 Cunetón.

Recomendaciones: Se debe realizar un estudio de las posibles trayectorias de los elementos que susceptibles de desprendimiento, a fin de realizar un correcto dimensionado del cunetón.

Normativa aplicable:

Para infraestructuras de carreteras, consultar el PG-3.

Para infraestructuras ferroviarias, consultar las normas de Renfe y Adif.

VI.2 Medidas de control y protección contra caída de rocas.

VI.2.9 Medidas pasivas o de protección: Muros de contención.

Descripción: Muros de hormigón que se construyen tanto al pie como en cualquier tramo de la ladera o talud de excavación en roca donde sean necesarios. Retienen rocas que no deben ser removidas, porque podrían causar mayores inestabilidades.

Características técnicas: Se construyen de hormigón *in situ* o con hormigón proyectado reforzado con mallas de acero en varias capas. Se pueden fijar al terreno mediante anclajes. Como el resto de muros y estructuras impermeables, es necesario instalar un sistema de drenaje para dar salida al agua del trasdós.

Usos y aplicaciones: Para estabilizar o prevenir zonas inestables o con deslizamientos de escasa profundidad, o como medida complementaria a otras.

Ventajas: En determinadas condiciones pueden resultar más económicas frente a otras medidas. Permiten proporcionar una elevada rigidez en el pie de los taludes cuando así lo requieran sus condiciones de estabilidad. Ofrecen un frente de protección continuo a lo largo del pie del talud frente a empujes laterales, siempre que estos no excedan la resistencia del muro o bien la inestabilidad se sitúe por debajo de su pie.

Inconvenientes: Su diseño debe ser efectivo frente a los empujes activos y pasivos y de presiones intersticiales. La cimentación debe proporcionar estabilidad suficiente frente al deslizamiento y vuelco.

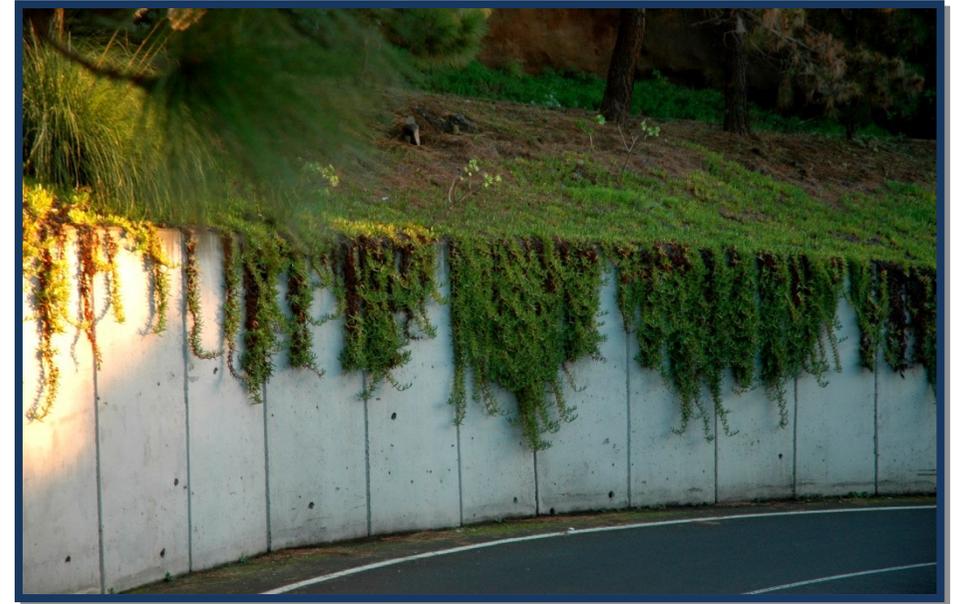


Figura VII.2.9 Muro de contención.

Recomendaciones: Se debe asegurar que la estructura contenga la superficie de deslizamiento. Las medidas de drenaje del talud o ladera son fundamentales y deberán ser diseñadas en condiciones adecuadas a las previsibles a largo plazo.

Normativa aplicable:

- UNE-EN13251:2017 Geotextiles y productos relacionados. Características requeridas para su uso en movimientos de tierras, cimentaciones y estructuras de contención.
- UNE-EN 15258:2009 Productos prefabricados de hormigón. Elementos de muros de contención.

VI.2 Medidas de control y protección contra caída de rocas.

VI.2.10 Medidas pasivas o de protección: Barreras o pantallas de protección.

Descripción: Están compuestas por elementos rígidos con los que se pretende interceptar rocas o fragmentos de ellas que puedan desprenderse del talud o ladera y se basan en la robustez o inercia de sus componentes.

Características técnicas: Resisten bajas energías, en general hasta 70 kJ. Están formadas por elementos metálicos como las mallas de acero electrosoldadas o de alambre trenzado. Los postes rígidos pueden estar formados por perfiles de acero que se empotran en muros, bases de hormigón o directamente al terreno.

Usos y aplicaciones: Se utilizan para retener bloques pequeños o medianos y con baja energía de impacto.

Ventajas: Son más económicas que las pantallas dinámicas, tanto el material como la instalación, que además es rápida.

Inconvenientes: Los postes son vulnerables a impactos importantes debido a su rigidez. Uso limitado a desprendimientos menores, es decir, de baja energía y tamaño pequeño de bloques.

Recomendaciones: Limitación de uso por la capacidad de absorción de energía de impacto y altura. Requiere un estudio de las trayectorias de los elementos que deba contener, así como la altura de rebote.



Figura VII.2.10 Pantallas de protección.

Normativa aplicable:

- UNE-EN 10223-3:2014 Alambres de acero y productos de alambre para cerramientos y mallas. Parte 3: Malla hexagonal de acero para aplicaciones en ingeniería civil.
- UNE-EN 10223-4:2013 Alambres de acero y productos de alambre para cerramientos y mallas. Parte 4: Malla electrosoldada.
- UNE-EN 10223-5:2013 Alambres de acero y productos de alambre para cerramientos y mallas. Parte 5: Malla anudada.
- UNE-EN 10034:1994 Perfiles I y H de acero estructural. Tolerancias dimensionales y de forma. (Versión oficial EN 10034:1993).

VI.2 Medidas de control y protección contra caída de rocas.

VI.2.11 Pasivas o de protección: Pantallas o barreras dinámicas.

Descripción: Se instalan perpendicularmente al eje de la trayectoria probable de las rocas, con el objeto de interceptarlas y retenerlas.

La pantalla dinámica es un sistema flexible que se opone a la fuerza de la masa de la roca desprendida que cae en el momento del impacto, absorbiendo gran cantidad de su energía cinética mediante la deformación de sus elementos.

Están compuestas por postes metálicos articulados en su base y disipadores de energía. En su base disponen de un elemento de cierre formado por una red de cables de elevada capacidad de deformación. La transmisión de las fuerzas de reacción a los demás elementos se realiza mediante dos cables longitudinales, uno en la parte superior del poste y otro cerca de la base.

Hay dos clases de barreras dinámicas según el tipo de deformación: elástica y elasto-plástica. La diferencia entre ellas radica en el disipador de energía, muelles elastómeros en las primeras y de fricción o por cortante en las segundas.

Características técnicas: La capacidad nominal de absorción de energía varía según el tipo de pantalla, siendo las elásticas apropiadas para bajas energías y las elasto-plásticas más indicadas para absorber energías altas.

Usos y aplicaciones: Retención de bloques desprendidos en algún punto de su trayectoria, para evitar que lleguen al pie del talud.

Ventajas: Se pueden instalar en cualquier punto de la trayectoria de los posibles elementos desprendidos reteniendo elementos que no se pueden estabilizar *in situ* por encontrarse en zonas de difícil acceso.

Inconvenientes: Es una medida en general de alto coste.



Figura VII.2.11 Pantalla dinámica.

Recomendaciones: Requiere un estudio de las trayectorias de posibles desprendimientos, cálculo de las energías de impacto y alturas de rebote, así como un análisis que determine las posibles áreas fuentes.

Normativa aplicable:

- UNE-EN 10034:1994 Perfiles I y H de acero estructural. Tolerancias dimensionales y de forma. (Versión oficial EN 10034:1993).
- ETAG 027 Guideline for European technical approval of falling rock protection kits.
- Guideline for the approval of rock protection kits. FOEN (Suiza).

VI.2 Medidas de control y protección contra caída de rocas.

VI.2.12 Medidas pasivas o de protección: Muros pantalla.

Descripción: Se trata de muros de hormigón armado contruidos *in situ* cuya cimentación se realiza mediante zanjas excavadas en el terreno por debajo de la superficie de rotura, por lo que confiere gran estabilización al talud, similar a las pantallas de pilotes, con la diferencia de que el muro es un elemento continuo y reparte mejor los esfuerzos.

Características técnicas: El muro puede alcanzar una profundidad de 40 metros, dependiendo de la maquinaria de excavación. Se debe contar con un estrato inferior estable y resistente. Para evitar problemas de estabilidad durante la construcción, la excavación se realiza por paños de entre 3 y 6 metros de longitud y el ancho de la zanja está entre 0,45 y 1 metro.

Usos y aplicaciones: Para terrenos en los que la superficie de rotura se encuentra a grandes profundidades y el material es fácilmente excavable.

Ventajas: La cimentación por debajo de la superficie de rotura garantiza la estabilidad del conjunto y evita el vuelco del muro por empuje del terreno..

Inconvenientes: En terrenos con estratos muy duros o rocosos se necesitan medios de excavación costosos. La excavación de la zanja puede provocar inestabilidades durante la construcción.



Figura VII.2.12 Muro pantalla.

Recomendaciones: En casos de sustratos inferiores muy duros es más recomendable la construcción de una pantalla de pilotes.

Normativa aplicable:

-UNE-EN 1538:2011+A12016 Ejecución de trabajos geotécnicos especiales. Muros-pantalla.

VI.2 Medidas de control y protección contra caída de rocas.

VI.2.13 Medidas pasivas o de protección: Falsos túneles.

Descripción: Se trata de estructuras de hormigón que se construyen a modo de túnel para proteger carreteras u otras vías de los desprendimientos de roca o avalanchas.

Características técnicas: La estructura, de hormigón armado, debe ser diseñada para resistir la caída de rocas de acuerdo con el análisis de desprendimientos. En la parte superior se dispone un “colchón de impacto” formado por material granular, con el fin de disipar la energía de choque y evitar el rebote. El apoyo de la parte interna de la estructura se realiza sobre el talud, sin embargo, la parte externa puede conllevar cimentaciones complejas debido a la pendiente del terreno.

Usos y aplicaciones: De aplicación en condiciones específicas de emplazamiento topográfico y donde se prevean importantes y frecuentes caídas de rocas.

Ventajas: Ofrecen buena protección de las vías, siendo una protección muy segura y duradera.

Inconvenientes: Es una solución de alto coste. En taludes con alta pendiente la cimentación de lado externo puede ser muy compleja.

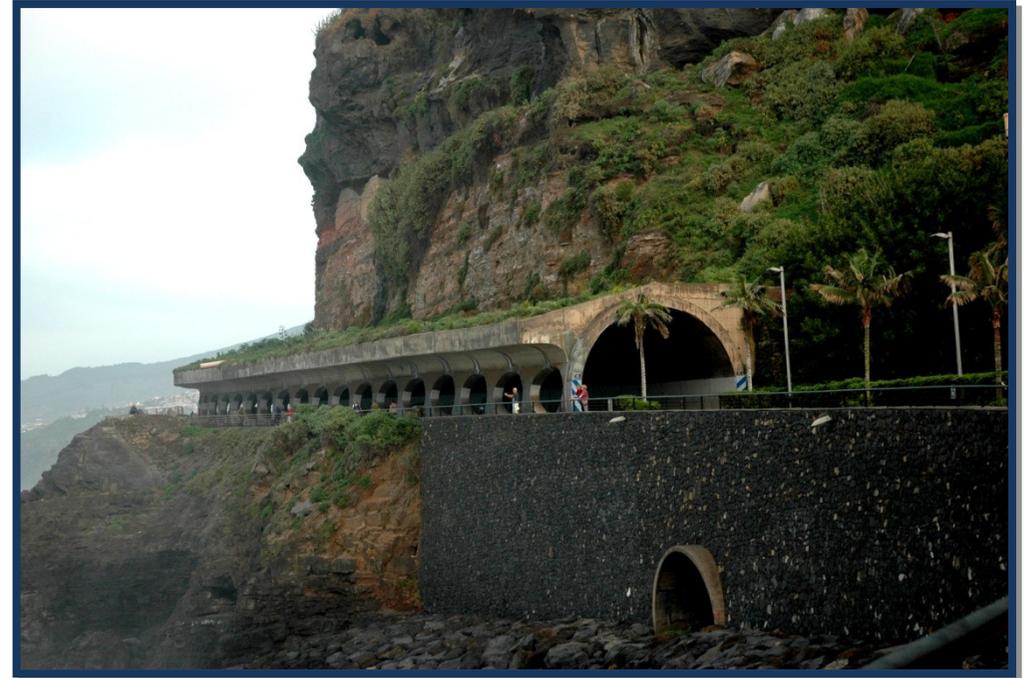


Figura VII.2.13 Falso túnel.

Recomendaciones: Es necesario realizar un análisis coste-beneficio con respecto a otras posibles soluciones, antes de decidir su implantación.

Normativa aplicable:

-UNE-EN 13491:2013 Barreras geosintéticas. Requisitos para su utilización como membranas de impermeabilización frente a fluidos en la construcción de túneles y estructuras subterráneas.

VI.2 Medidas de control y protección contra caída de rocas.

VI.2.14 Medidas pasivas o de protección: Voladizos y galerías dinámicas.

Descripción: Son barreras dinámicas colocadas horizontalmente a modo de pórtico para proteger una vía de la caída libre de bloques.

Características técnicas: Tienen las mismas características que las barreras dinámicas verticales, pero carecen del sistema de protección de golpes en la unión articulada entre el poste y la base. Además se les añade una sujeción de seguridad consistente en un cable de acero que soporta el extremo del poste a la base en caso de fallo en la unión debido al impacto de una roca.

Usos y aplicaciones: Recomendables en taludes muy pendientes y de difícil instalación de otras medidas.

Ventajas: Proporciona una cubierta continua frente a la caída de rocas. Tiene menor impacto visual frente a estructuras de hormigón. Es de fácil instalación y mantenimiento, y puede ser reforzada.

Inconvenientes: Su eficacia depende de la energía de impacto para la que este diseñada. Precisa mantenimiento y recogida de rocas caídas.

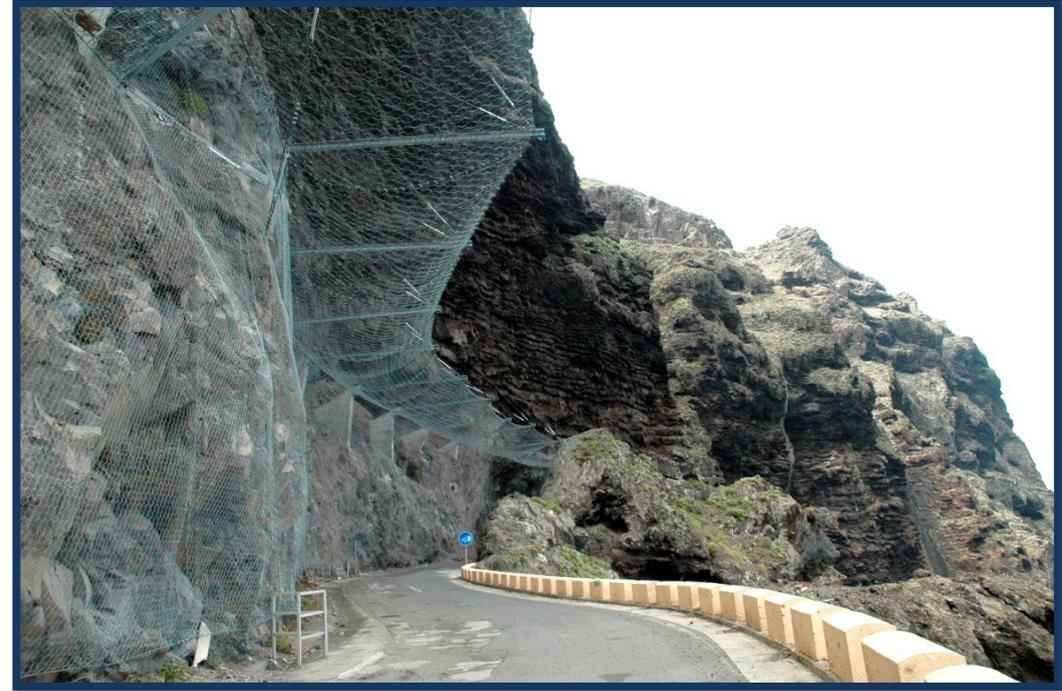


Figura VII.2.14 Galería dinámica.

Recomendaciones: Es muy importante estudiar la altura a la que se instala la galería, ya que debe respetar el gálibo mínimo, incluso tras un desprendimiento.

Normativa aplicable:

- UNE-EN 10034:1994 Perfiles I y H de acero estructural. Tolerancias dimensionales y de forma. (Versión oficial EN 10034:1993).
- ETAG027 Guideline for European technical approval of falling rock protection kits
- Guideline for the approval of rock protection kits. FOEN (Suiza).