

## **Anejo VIII. Metodología de diseño de medidas de control y protección de caída de rocas.**

### **VIII.1 Verificación del informe geotécnico**

Los trabajos de esta fase, serán adicionales y complementarios a los realizados en el estudio geológico y geotécnico (capítulo 4 de la Guía) y tendrán la finalidad de verificar la información y las conclusiones asumidas o, en su caso, la de recopilar nuevos datos, así como la obtención de los parámetros intervinientes en los cálculos, que sean necesarios para el diseño de la solución que se vaya a proyectar. Los trabajos a desarrollar serán los siguientes:

- Verificación del contenido del informe geológico-geotécnico: se prestará especial atención a la definición del elemento a proteger, identificación de inestabilidades, áreas fuente, y datos geológicos y geotécnicos.

- Localización y definición detallada de todas las áreas fuente: el técnico encargado del diseño de las soluciones deberá localizar con precisión y definir las áreas fuente que serán tenidas en cuenta en la realización de los cálculos.

- Verificación de los parámetros de diseño y caracterización del macizo o talud.

Además, se realizará una recopilación de los siguientes datos para la definición de los parámetros de cálculo:

- Definición de la superficie de la ladera o talud: se tomarán datos descriptivos de su situación como presencia de vegetación, estado del macizo, etc.
- Coeficientes de restitución,  $R_t$  y  $R_n$ : los cálculos requieren establecer coeficientes de restitución para cada material que compone el talud o ladera y su localización física para introducirla correctamente en el modelo. El Cuadro VIII.1 ofrece información sobre los rangos de valores de coeficientes más frecuentemente utilizados por los expertos del sector en Canarias. Será responsabilidad del proyectista aplicar los más adecuados y justificar que los parámetros elegidos se ajustan a las características reales del talud o ladera sobre el que se diseñarán las medidas.

**Cuadro VIII.1. Coeficientes de restitución recomendados.**

Superficie de talud/ladera		Combinación datos (Sin cubierta vegetal)					
		Coeficientes de restitución					
		Rango de valores		Valor característico		Desviación estándar	
		Rt	Rn	Rt	Rn	Rt	Rn
Coladas y macizos rocosos masivos sanos (basálticos y sálicos) [RCS >= 25 MPa]		0,87-1	0,37-0,6	0,9	0,45	0,042	0,119
Coladas y macizos rocosos masivos alterados (basálticos y sálicos) [RCS <25		0,85-0,9	0,36-0,5	0,85	0,36	0,019	0,099
Materiales piroclásticos y escorias de lava	Débilmente Soldados [RCS de 1 a 10 MPa]	0,70-0,85	0,3- 0,4	0,8	0,4	0,048	0,033
	Sueltos	0,60-0,83	0,32-0,35	0,8	0,34	0,071	0,013
Depósitos aluvio-columviales		0,64-0,80	0,30-0,40	0,7	0,32	0,050	0,033
Suelos arcillosos y limosos		0,50-0,80	0,15-0,30	0,6	0,25	0,091	0,048
Suelos granulares		0,50-0,82	0,15-0,32	0,52	0,2	0,097	0,053
Rellenos antrópicos		0,48-0,82	0,20-0,40	0,49	0,2	0,102	0,062
Pavimento asfáltico		0,5	0,3	0,5	0,3		

- Coeficientes de fricción: se deben emplear los coeficientes de fricción de los distintos materiales que forman la ladera o talud.
- Rugosidad de la ladera: también es necesario definir la rugosidad de cada material que conforma la ladera.
- Tamaño y forma de los bloques o volumen de rocas que puedan desprenderse: es necesario realizar una estimación de sus dimensiones para cada área fuente.

## VIII.2 Simulación de trayectorias en 3 dimensiones y 2 dimensiones, cálculo de perfiles de energía y alturas de rebote.

El cálculo de las medidas de protección requiere de un estudio de trayectorias y energías en 2D y 3D que permita dimensionar y emplazar las soluciones correctamente con el fin de garantizar su eficacia. Este proceso se realiza mediante la aplicación de programas informáticos de simulación que modelizan las trayectorias de los bólidos que pueden sufrir desprendimientos y permiten determinar sus energías de impacto.

Estos procedimientos tienen implícitos una serie de condicionantes debidos a las configuraciones de los programas de cálculo y a la propia incertidumbre asociada a la toma de datos, consideraciones y suposiciones que deberán especificarse en cada caso. Dichos condicionantes e incertidumbres incluyen, entre otros, los siguientes:

- Se trata de un método de cálculo probabilístico, por tanto no puede conducir a resultados determinísticos.
- Existe un cierto grado de incertidumbre en cuanto a la forma del bloque.
- Lo mismo ocurre con la geometría de la superficie por lo que se exige emplear una cartografía con la mayor resolución posible (mínimo E: 1:1000)
  - Los resultados pueden diferir si se considera o no de la fragmentación del bloque durante la caída.
  - El comportamiento mecánico de la superficie en el impacto (coeficientes de restitución tangencial ( $R_t$ ), y normal ( $R_n$ ), coeficiente de fricción ( $\Phi$ ) y rugosidad).
  - La localización geográfica de los diversos materiales que forman la superficie del talud con sus correspondientes coeficientes.

A continuación se describirán los criterios a tener en cuenta para el cálculo durante el proceso de modelización de trayectorias.

### **VIII.2.1. Datos de partida:**

Para poder realizar el análisis de trayectorias, hay que definir previamente algunos parámetros necesarios para el desarrollo de los cálculos. Tendrán que determinarse y justificar los criterios adoptados para ello sobre:

- Las áreas fuente y sus perfiles principales. Para cada área fuente, se tomarán los datos necesarios para obtener el perfil preciso de la ladera.
- El tipo de movimiento esperado. Caída Libre, Rebote, Rodamiento y Deslizamiento.
- Los parámetros geotécnicos de la superficie del talud o ladera: coeficientes de restitución tangencial y normal, ángulo de fricción y rugosidad.
- La determinación de los bloques extremo y ordinario para cada área fuente.
- El análisis de la influencia en el cálculo de la forma del bloque y, si procede, de la posible fragmentación de éste durante su caída.

### VIII.2.2. Hipótesis de trabajo. Bloque extremo y bloque ordinario.

La selección del elemento que se empleará para dimensionar una solución pasiva vendrá condicionada por su capacidad de soportar dos niveles de energía simultáneamente: la máxima prevista de impacto que deberá ser capaz de contener y la de servicio debida a desprendimientos de tipo recurrente que además de contener deberá ser capaz de mantenerse en servicio sin mermar su capacidad de retener la máxima prevista. Estas dos hipótesis deben ser contempladas tanto para el análisis en 2D como en 3D.

- **Hipótesis de bloque extremo:** el bloque extremo será aquel bloque pésimo o más desfavorable (mayor volumen) detectado en cada una de las áreas fuente, debiendo estimarse su masa, forma y peso específico. Con él se establecerá la energía máxima de impacto que debe absorber el elemento de protección sin ser rebasado ni entrar en contacto con el elemento a proteger.

- **Hipótesis de bloque ordinario:** el bloque ordinario será aquel tamaño de bloque esperado de forma recurrente y periódica. Debe estimarse al menos su masa, peso específico y forma. Será como mínimo un 10% del bloque extremo más desfavorable. Con él se define el nivel máximo de energía que debe acreditar la pantalla para su adecuado comportamiento en condiciones de servicio. Esta hipótesis será de aplicación únicamente para el caso de que el sistema de protección definido consista en barreras flexibles.

### VIII.2.3. Análisis a realizar.

Para cada una de las áreas fuente detectadas se realizarán un mínimo de 50 eventos por simulación para el bloque extremo y otras tantas para el bloque ordinario con las siguientes características:

- Un análisis en 3D para definir la ubicación y el trazado en planta del sistema garantizando un porcentaje de interceptación del 100%.

- Un análisis en 2D que fundamentará el dimensionamiento de la barrera en cuanto a la energía máxima de impacto y la altura de diseño a través de la obtención de los perfiles de energía. Sobre dichos perfiles se deberá ajustar la ubicación de los sistemas definida en el análisis en 3D y comprobar el porcentaje de trayectorias no interceptadas

(*passing rocks*). En cualquier caso se deberá comprobar que el porcentaje de afección al elemento a proteger es del 0%.

### VIII.3. Criterios de diseño del sistema de protección:

Obtenidos los resultados de trayectorias y energías, tanto para el análisis 2D como 3D, de las hipótesis de bloques extremos y ordinarios de todas las áreas fuente correspondientes a cada sector, se diseñará la solución de protección, según:

- El bloque pésimo de cada sector, que será el bloque extremo más desfavorable en función de su energía.
- El bloque ordinario, que será el de mayor energía media calculada.
- La altura de diseño será la más desfavorable obtenida mediante los cálculos para bloque pésimo y bloque ordinario ( $H_{m\acute{a}x}$ ) más la dimensión del bloque considerado pésimo.

#### VIII.3.1. Criterios a tener en cuenta para el diseño de barreras dinámicas.

En el caso de que la solución adoptada consista en la instalación de barreras dinámicas deberá considerarse en la selección del elemento su capacidad para garantizar un nivel de absorción de energía y una elongación suficientes para cumplir con los requisitos de cada situación establecidos de la siguiente manera:

**Energía de diseño.** De acuerdo con la normativa europea (ETAG-27), la energía de diseño vendrá condicionada por el cumplimiento simultáneo de los siguientes requisitos:

- La energía máxima de impacto obtenida en las simulaciones deberá ser inferior a la MEL certificada para dicho sistema.
- La energía media de impacto obtenida en las simulaciones bajo el criterio de bloque ordinario no deberá superar a la SEL certificada para dicho sistema.

La normativa Europea ETAG-27 (EOTA) define los niveles de energía MEL y SEL de la siguiente manera:

- MEL: Es el Máximo Nivel de Energía (*Maximum Energy Level*). Se define como la energía cinética de un bloque regularizado en el momento de impacto con la red de la barrera, que permita que la barrera intercepte el bloque sin sobrepasarla y que la

elongación o distancia de frenado producida no alcance el elemento a proteger, siendo  $MEL \geq 3 \cdot SEL$ .

-SEL: Es el Nivel de Energía de Servicio (*Service Energy Level*). Se define como la energía cinética de un bloque tipo en el momento del impacto con la red de la barrera, que permita que esta continúe en servicio siendo  $SEL = 1/3 MEL$ .

**Elongación máxima.** También se deberá comprobar que la separación de la barrera con respecto al elemento a proteger sea mayor o igual a la elongación máxima (braking distance) certificada para el ensayo MEL según declaración de prestaciones del mercado CE más una distancia de seguridad que vendrá impuesta por condicionantes operativos o funcionales de la propia vía (despeje lateral o gálibo horizontal, altura libre o gálibo vertical). Así pues, se deberá cumplir, según su caso que:

$$D \geq E + DS$$

Con:

D = Distancia o separación entre la barrera y elemento a proteger adoptando como elementos de referencia los siguientes:

- El borde exterior del carril contiguo al talud o ladera, para medidas laterales.
- La rasante del pavimento en el punto más desfavorable de la plataforma (calzada+arcenes), para medidas verticales.

E = Elongación máxima de la barrera durante la retención para ensayo MEL

DS = Distancia de seguridad considerando los siguientes valores:

- Despeje lateral  $DS \geq$  Ancho arcén exterior contiguo (mínimo 0,50 m)
- Altura libre  $DS \geq 5$  m

Imagen VIII.1. Distancia de seguridad lateral.

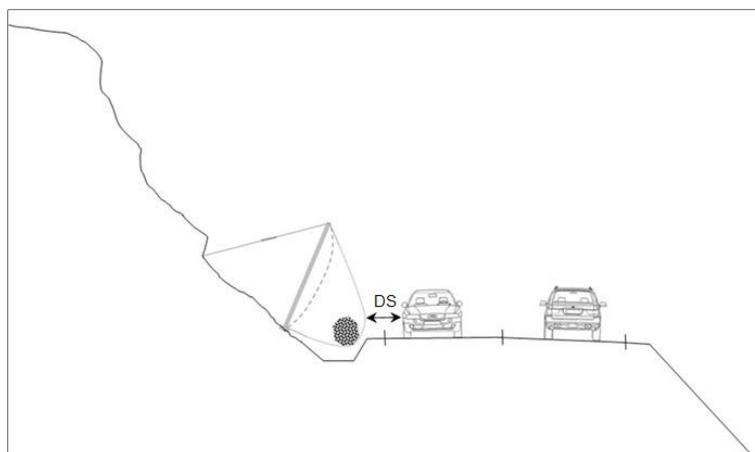
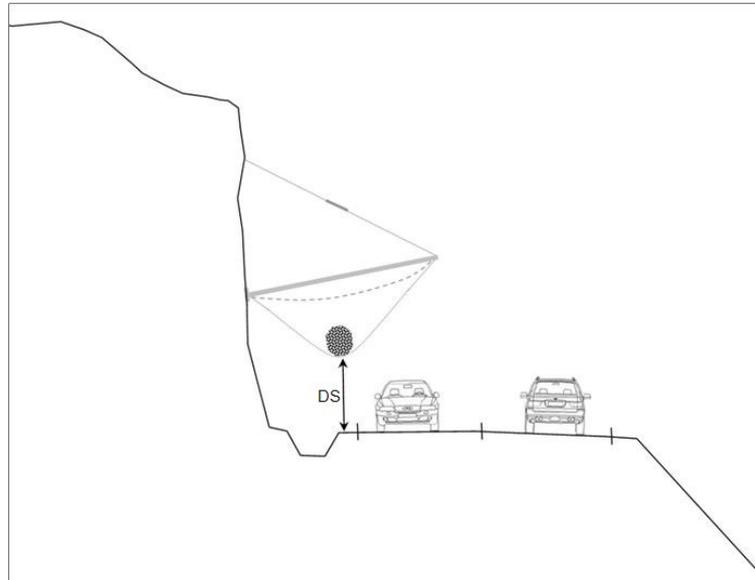


Imagen VIII.2. Distancia de seguridad vertical.



#### VIII.4. Coeficientes de seguridad a aplicar a los sistemas de protección.

Los factores de seguridad a aplicar en el análisis de estabilidad de taludes o excavaciones permanentes varían según las distintas fuentes. Así, en las guías suizas (2001) el factor de seguridad para taludes y estructuras de contención varía de 1,5 a 2 dependiendo del grado de fiabilidad del procedimiento de cálculo y la representatividad de los datos, para la cimentación de estructuras de protección tales como anclajes, cimentación de postes, etc estas guías recomiendan un coeficiente de seguridad de 1,3. En el manual de diseño del Cuerpo de Ingenieros de EEUU se recomienda un factor de seguridad mayor o igual a 1,5 para taludes permanentes y de 1,2 a 1,3 para taludes temporales. Hoek (1997) recomienda  $FS \geq 1,5$  para taludes permanentes. En cualquier caso se deben seguir las recomendaciones establecidas en el Eurocódigo 7.

#### VIII.5. Mantenimiento y conservación de los sistemas de protección.

Durante el proceso de selección del tipo de sistema de protección más adecuado debe comprobarse el cumplimiento de todos los candidatos de los requisitos anteriores y seleccionar aquel que, de entre ellos, garantice un mayor periodo de vida útil en las

condiciones ambientales en que se encuentra el talud y que permita llevar a cabo las posteriores labores de conservación y mantenimiento con mayor facilidad o menor coste.

Para el correcto funcionamiento, mantenimiento y conservación de cualquiera de los sistemas de protección instalados en la ladera o talud, será necesario establecer un plan de acción que prevea al menos los siguientes puntos:

- Establecimiento de inspecciones periódicas (mínimo anualmente) para verificar el correcto funcionamiento de los sistemas instalados.
- Sustitución de elementos dañados o deteriorados.
- En ubicaciones remotas o de muy difícil acceso, prever la instalación de sistemas de alerta frente a impactos.

Por otro lado, los requerimientos relativos a la vida útil o durabilidad del sistema pueden condicionar la elección del sistema de protección o los materiales que lo conforman.

- Vida útil  $\geq 25$  años sin impacto y condiciones ambientales normales.
- Vida útil  $\geq 10$  años sin impacto y condiciones ambientales agresivas.

#### **VIII.6. Control de calidad y documental.**

Se deberá realizar un control de calidad de ejecución y de documentación de los sistemas, que como mínimo incluirá los siguientes puntos:

- Certificados de calidad. Marcado CE.
- Fichas de características técnicas de los distintos elementos o dispositivos.
- Manual de instalación del fabricante.
- Ensayos de control (in situ y en laboratorio).
- Certificado del fabricante de la correcta instalación de la barrera.