



*Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos,  
Canales y Puertos.*  
**UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**



# **EVALUACIÓN/ANÁLISIS DE SISTEMAS DE PROTECCIÓN CONTRA DETRITOS**

Trabajo realizado por:  
***Ana González Fadrique***

Dirigido:  
***Daniel Castro Fresno***  
***Elena Blanco Fernández***

Titulación:  
**Grado en Ingeniería Civil**

Santander, junio de 2019

**TRABAJO FIN DE GRADO**

## ÍNDICE

### Contenido

<b>RESUMEN .....</b>	<b>IV</b>
<b>SUMMARY.....</b>	<b>VI</b>
<b>1 OBJETIVO.....</b>	<b>1</b>
<b>2 INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>2</b>
<b>2.1 FLUJO DE DETRITOS: DEFINICIÓN Y COMPOSICIÓN .....</b>	<b>2</b>
<b>2.2 CAUSAS DE LA FORMACIÓN Y DESENCADENAMIENTO .....</b>	<b>4</b>
<b>2.3 CLASIFICACIÓN DE LAS CORRIENTES DE DETRITOS.....</b>	<b>5</b>
<b>3 SISTEMAS DE PROTECCIÓN .....</b>	<b>7</b>
<b>3.1 MEDIDAS RÍGIDAS: SISTEMAS CONVENCIONALES.....</b>	<b>8</b>
<b>3.2 MEDIDAS NO ESTRUCTURALES: DESCRIPCIÓN GENERAL SEGÚN LA NORMATIVA .....</b>	<b>12</b>
3.2.1 Elementos de los sistemas de protección .....	14
3.2.2 Terminología relacionada con el cálculo de la resistencia del sistema:.....	16
3.2.3 Tipos de equipos .....	17
3.2.4 Características esenciales del producto .....	19
3.2.5 Métodos de evaluación de las características esenciales según la normativa ...	22
3.2.6 Modelización del llenado de las redes .....	29
3.2.7 Determinación de las cargas relevantes .....	32
3.2.8 Localización de las barreras.....	33
3.2.9 Vaciado y mantenimiento de las redes.....	34
<b>4 EMPRESAS QUE SE ENCUENTRAN ACTUALMENTE EN EL MERCADO DE SISTEMAS DE REDES DE PROTECCIÓN CONTRA DETRITOS .....</b>	<b>35</b>
<b>4.1 GEOBRUGG .....</b>	<b>35</b>
4.1.1 Tipos de barreras propuestas por Geobruigg.....	36
4.1.2 Componentes de las barreras de Geobruigg.....	38
4.1.3 Instalación de las barreras de Geobruigg.....	43
4.1.4 Parámetros de dimensionamiento de las redes de Geobruigg .....	51
<b>4.2 MACAFERRI.....</b>	<b>55</b>
<b>4.3 TRUMER SCHUTZBAUTEN .....</b>	<b>57</b>
<b>4.4 PFEIFER ISOFER .....</b>	<b>62</b>
4.4.1 Componentes de las redes de PFEIFER ISOFER: .....	63
4.4.2 Test en campo llevado a cabo por PFEIFER ISOFER .....	64



<b>5 ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LAS ESPECIFICACIONES DE DIFERENTES BARRERAS Y EMPRESAS .....</b>	<b>65</b>
<b>6 ANÁLISIS DAFO DE PANTALLAS DE PROTECCIÓN CONTRA DETRITOS .....</b>	<b>66</b>
<b>6.1 INTRODUCCIÓN A LOS ANÁLISIS DAFO.....</b>	<b>66</b>
<b>6.2 ANÁLISIS DAFO DE PANTALLAS DE PROTECCIÓN CONTRA EL FLUJO DE DETRITOS .....</b>	<b>68</b>
6.2.1 Debilidades .....	68
6.2.2 Fortalezas .....	69
6.2.3 Amenazas .....	70
6.2.4 Oportunidades .....	71
6.2.5 Cuadro resumen .....	71
<b>7 CONCLUSIONES.....</b>	<b>73</b>
<b>8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>75</b>
<b>8.1 REFERENCIAS DE IMÁGENES EXTERNAS DE LOS DOCUMENTOS: .....</b>	<b>77</b>
<b>ANEJO 1.....</b>	<b>78</b>

## Índice de figuras

Figura 1. Composición de los flujos de detritos .....	2
Figura 2. Corte esquemático típico de un flujo de detritos (F1).....	3
Figura 3. Dique de mampostería hidráulica (F2) .....	8
Figura 4. Dique de gaviones (F3).....	9
Figura 5. Barrera VX (F4) .....	13
Figura 6. Red de anillos llena de detritos después de una avenida .....	13
Figura 7. Esquema básico de una red de protección .....	15
Figura 8. Esquema y elementos de un equipo de protección para deslizamientos superficiales y flujo de detritos en ladera abierta .....	17
Figura 9. Esquema y elementos de un equipo de protección contra el flujo de detritos .....	18
Figura 10. Representación gráfica del primer impacto. La ola alcanza la red de malla y se produce desagüe por la base .....	30
Figura 11. Representación gráfica del segundo impacto. Sobre el material retenido en el primer impacto, el segundo empuja de nuevo con una altura de corriente $h_{fl}$ .....	30
Figura 12. Representación gráfica del tercer impacto. Una tercera ola alcanza la red .....	31
Figura 13. Representación gráfica del rebosado. Una vez que la red está llena y se produce una avenida más, el impulso sobrepasa la red .....	32
Figura 14. a) Distribución de la presión del flujo para el primer impacto, b) y c) distribución de la presión para el llenado progresivo, d) distribución de la presión en caso de rebosado e) abstracción de los valores de presión relevantes ( $ps_1$ , $ps_2$ , $pd_1$ , $pd_2$ ) y alturas de influencia ( $z_1$ , $z_2$ ) .....	33
Figura 15. Alcance mundial de Geobrugg (Sedes, asociadas y puntos de venta).....	36
Figura 16. Representación de la barrera VX de Geobrugg (7).....	37
Figura 17. Representación de la barrera UX de Geobrugg (7).....	38



Figura 18. Anillos de la red ROCCO de Geobrugg (7) .....	38
Figura 19. Postes de tipo HEB (7).....	39
Figura 20. Cables de acero de Geobrugg.....	39
Figura 21. Anillos de frenado como mecanismo disipador de energía (7).....	40
Figura 22. Diferentes tipos de anclajes ofrecidos por Geobrugg (8) .....	41
Figura 23. Anclaje de Geobrugg que permite un giro del cabezal de 30º (8).....	41
Figura 24. Protección frente a la abrasión para cables portantes (7).....	42
Figura 25. Grillete de acero (F5) .....	42
Figura 26. Sujeta cables de acero (F6) .....	43
Figura 27. Posición de los anclajes para los cables de retención. Vista planta .....	44
Figura 28. Posición de los anclajes para los cables de retención. Vista perfil .....	45
Figura 29. Representación y elementos de un perfil de abrasión .....	50
Figura 30. Área equivalente utilizada para calcular el radio hidráulico .....	52
Figura 31. Representación del volumen de material retenido .....	52
Figura 32. Simulación creada a partir de elementos finitos mediante el programa FARO (10) ..	55
Figura 33. Barrera propuesta por Trumer Schutzbauten (del tipo Debris Catcher) (13) .....	57
Figura 34. Conexión usando anclajes de acero de alta resistencia y dedos de acero para facilitar la instalación y el mantenimiento (13) .....	59
Figura 35. Placa base para donde se anclan los postes de forma articulada, conectada a la cimentación mediante tornillos (13).....	59
Figura 36. Cimentación de hormigón que se emplea para anclar los cables de apoyo, en los emplazamientos donde no hay lecho de roca (13).....	60
Figura 37. Esquema en alzado de la barrera Debris Catcher de Trumer (14) .....	60
Figura 38. Típica sección de una barrera Debris Catcher de Trumer(14).....	61
Figura 39. Esquema en alzado barrera Gully Net de Trumer (15) .....	61
Figura 40. Esquema de la barrera TS-HM-1150-ZD de Trumer (16) .....	62
Figura 41. Emplazamiento del test en campo llevado a cabo por PFEIFER ISOFER: barrera Debris Stop 200-HM (17) .....	64
Figura 42. Partes esenciales de un análisis DAFO .....	67



## RESUMEN

**Título:** Evaluación/Análisis de sistemas de protección contra detritos

**Autor:** Ana González Fadrique

**Directores:** Daniel Castro Fresno / Elena Blanco Fernández

**Convocatoria:** Junio 2019

**Palabras clave:** Detritos - Derrubios – Pantallas - Barreras – Presión de Impacto  
– Acero de alta resistencia – Redes- Cables portantes

El presente estudio consiste en la evaluación y el análisis de los sistemas que existen actualmente para la protección contra corrientes de detritos. Se define como detritos a la corriente de agua que arrastra todo tipo de materiales (materiales granulares, sueltos, tierra, lodos, restos de vegetación de pequeño tamaño y de gran tamaño, troncos de árboles, desperdicios y materiales fabricados por el hombre) que encuentra a su paso cuando recorre laderas de montañas. Cuanto mayor sea la cantidad de material fácil de arrastrar mayor será la densidad del conjunto y mayores daños podrán provocar. Para poder evitar estos daños, existen dos soluciones muy distintas: por un lado las soluciones estructurales o no flexibles, que están compuestas por diques de hormigón de gaviones, de tierra, etc. y por otro lado las soluciones no estructurales o flexibles (no quiere decir que no sean una estructura, si no que no es una estructura rígida como en el caso de las anteriores).

Las medidas flexibles se componen de una red cuyo objetivo principal es la retención del material arrastrado por el agua, dejándolo pasar. Actualmente son estas las soluciones por las que se opta, puesto que además de actuar como un filtro de material, son mucho más fáciles de instalar y de reparar en caso de que sea necesario, conllevan un coste y un impacto ambiental menor porque no conllevan ningún tipo de obra como lo hacen las medidas estructurales.

Las medidas flexibles se dividen principalmente en dos grandes grupos, en función del lugar de colocación:

- Equipo de protección contra detritos: se instalan en valles estrechos, en forma de V, que se caracterizan porque se fijan sin apoyos, a partir de anclajes en los flancos del canal.

-



- Equipo de protección para deslizamientos superficiales y flujos de detritos en ladera abierta: se sitúan en arroyos mayores y valles anchos en forma de U. Se fijan preferiblemente sobre apoyos en el lecho del canal de deslizamiento.,

Para su correcto diseño y colocación se plantean ensayos en campo que analizan los aspectos más importantes como son la presión de impacto que soportan, la altura que puede llegar a contener, la durabilidad de los componentes, las fuerzas en los anclaje y los cables, la elongación de sus componentes o la energía que son capaces de disipar sus elementos. También se han creado, a partir de los análisis en campo, programas de ordenador que permiten llevar a cabo el diseño mediante el análisis numérico.

Geobrugg, Maccaferri, Trumer y Pfeifer Isofer son cuatro empresas con gran experiencia en barreras de protección contra riesgos de la naturaleza. Cada una de ellas plantea una solución distinta a partir de la idea general, utilizando un tipo de material u otro. Geobrugg en especial, presta mucha información sobre sus equipos, dando a conocer sus especificaciones y explicaciones del proceso de diseño y de construcción. Plantea dos tipos de barreras, acordes con la clasificación general: los equipos UX para valles abiertos y los VX para valles estrechos o en forma de V. Maccaferri, sin embargo, no ofrece tanta información. Lo poco que se conoce se ha incluido en el análisis debido a que es una empresa importante en el ámbito.

Trumer y Pfeifer Isofer tienen algunas barreras en concreto que se utilizan para diferentes problemas, cuyas especificaciones han sido muy útiles para la realización del análisis comparativo.

Por último, con el análisis DAFO, se ha concluido que son soluciones muy viables económica, técnica y ambientalmente. A pesar de sus mayores inconvenientes (la falta de normalización de ensayo y de diseño y la poca accesibilidad de los lugares donde se instaladas) son capaces de disipar grandes cantidades de energía y filtrar los sólidos, dejando pasar el agua, siendo a su vez estructuras muy sencillas de instalar debido a su poco peso, en comparación con las estructuras no flexibles, de mayor tamaño y con mayor impacto ambiental.



## SUMMARY

**Title:** Evaluation / Analysis of protection systems against detritus

**Author:** Ana González Fadrique

**Directors:** Daniel Castro Fresno / Elena Blanco Fernández

**Session:** June 2019

**Key words:** Detritus - Washouts – Barriers –Impact pressure– High strength steel –  
Nets - Bearing ropes

This study will evaluate and analyze the systems that exist for protection against debris currents. Debris is defined as a stream of water that drags all kinds of materials (granular materials, separated particles, soil, mud, small and large pieces of vegetation, tree trunks, trash and manmade materials) along with it downhill. The greater the amount of easily movable material, the more will move as a conglomerate and the more damage will be caused. To avoid this, there are two different solutions: one is a structural and non-flexible solution, composed of a gabion or block of earth, etc. The other non-structural and flexible solution (not that it is not a structure, but it is not rigid as in the previous case).

The flexible solutions consist of an object that retains the debris in the flow of water, letting the water through. These solutions are most often chosen, since besides being filters, they're much easier to install and repair and they have less of a harmful environmental impact because they do not require any structural work.

The flexible solutions are divided mainly into two groups, depending on the function of the place of installation:

- Debris flow protection kit: they are placed in V-shaped valleys and narrow channels. They're fixed with anchors in the channels as opposed to by supports.
- Shallow landslide protection kit/ Open hill Debris flow kit: they're located in larger streams and in wider U-shaped valleys. They are fixed by supports in the channel bed.

To ensure their correct design and placement, field test can be done to analyze important properties such as impact pressure, maximum height containable, structural durability, forces in the anchors and in the cables, and the elongation of its components or dissipation energy.



Computer programs have also been created based on field analyses that use numerical analysis to create the designs.

Geobrugg, Maccaferri, Trumer and Pfeifer Isofer are four companies with extensive experience in natural disaster protection barriers. Each proposes a different solution, using various types of materials. Geobrugg specifically provides a lot of information about their equipment, and gives specifications and explanations about the design and construction process. It uses two types of barriers based on the general classification: UX equipment for open valleys and VX for narrow valleys or V-shaped ones. Maccaferri does not provide much information. What is known has been included in the analysis because it is an important company in this field.

Trumer and Pfeifer Isofer provide concrete barriers that are used for different problems; these have been very useful for carrying out the comparative analysis.

Finally, with the DAFO analysis, it has been concluded that they are solutions that are very economically, technically and environmentally sound. Despite its major drawbacks (lack of standardization of testing and design and poor accessibility of installation places), they are capable of dissipating large amounts of energy and filtering debris, letting the water pass, as well as being very simple to install, lightweight structures, compared to the non-flexible structures, which are larger and have a greater environmental impact.



## 1 OBJETIVO

El objetivo de este estudio se centra en evaluar y analizar las diferentes soluciones que existen para la protección contra corrientes de detritos y deslizamientos superficiales de tierra. El fin último del trabajo es realizar una comparación entre diferentes soluciones planteadas por diferentes empresas (cuatro) y estudiar las debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades del sistema más empleado hoy en día, las pantallas flexibles. Las cuatro empresas seleccionadas son Geobrug, Maccaferri, Trumer y Pfeifer Isofer, puesto que se ha encontrado información relevante sobre las soluciones que proponen.

En primer lugar se comienza explicando el concepto de corrientes de detritos, de qué están formadas y su clasificación en función de diferentes parámetros. En segundo lugar, en base a la bibliografía disponible se han dividido las soluciones en dos grandes grupos: estructurales y no estructurales.

Una vez explicado el fundamento de las dos, el trabajo se ha centrado en las segundas puesto que son las que las empresas ofrecen y a las que se acude actualmente. A partir de la normativa actual que plantea la unión europea, y las explicaciones y documentos que ofrecen las empresas elegidas, se ha hecho la comparación entre especificaciones y el análisis DAFO.



## 2 INTRODUCCIÓN

En las laderas inestables de alta montaña se pueden desencadenar, de forma inesperada, deslizamientos de tierra y material granular. Cuando el arrastre de materiales alcanza una velocidad importante, se puede desarrollar una corriente de derrubios, que puede llegar a ser catastrófica. En general, los flujos de derrubios y deslizamientos de tierra tienen potencial para causar un daño significativo a su paso, en función de su volumen.

### 2.1 FLUJO DE DETRITOS: DEFINICIÓN Y COMPOSICIÓN

El flujo de detritos (en inglés debris flow) se da como resultado de una combinación de fenómenos naturales, inundaciones o fenómenos meteorológicos que derivan en una corriente de agua que produce el arrastre en un torrente de materiales granulares, sueltos, tierra y lodos, restos de vegetación de pequeño tamaño y de gran tamaño como troncos de árboles, así como cualquier tipo de desperdicios y arrastre de materiales fabricados por el hombre. Se generan en las cuencas montañosas. Los tamaños de los sedimentos arrastrados son de muy diferentes valores, desde micrones (arcillas) hasta varios metros (bloques).

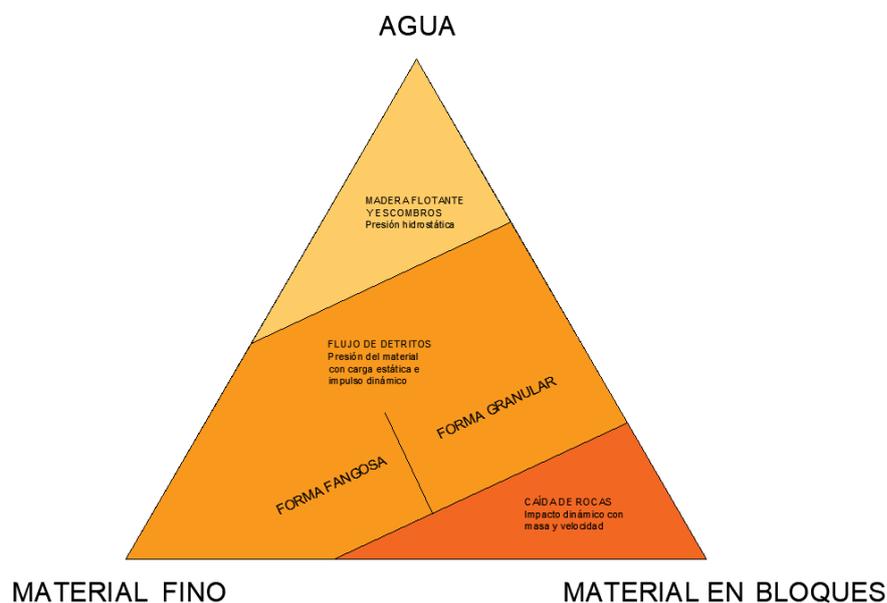


Figura 1. Composición de los flujos de detritos

Se considera como umbral inferior una concentración del 20% en volumen. Por debajo de este porcentaje se considera un flujo de agua con arrastre de convencional de carga



suspendida y carga de fondo. Su densidad varía entre un 60 y un 80 % respecto de la de los sólidos que incluye y es análoga a la densidad del hormigón mojado.

Lo común es que las concentraciones de sólidos excedan el 40% o 50% del volumen.

Además, este fenómeno, se puede asociar por su parecido al desprendimiento de rocas. A diferencia de este, el flujo de detritos actúa de forma dinámica y no puntual.

Los flujos de detritos pueden alcanzar velocidades de 20 m/s y al tener una consistencia similar a la del hormigón húmedo, están dotados de una gran capacidad destructora a su paso. Suelen ocurrir como una secuencia de frentes de ondas. La onda se divide en tres partes. El frente, el cuerpo y la cola.

El frente de onda está formado por grandes rocas clásticas

El cuerpo, que sigue al frente, es la parte donde el flujo puede ser laminar por la gran viscosidad de la mezcla.

Por último la cola de la onda donde la concentración de finos disminuye y el flujo se convierte en turbulento.

Por lo tanto, en conjunto, el tamaño del sedimento, la concentración y la viscosidad decrecen desde el frente a la cola.

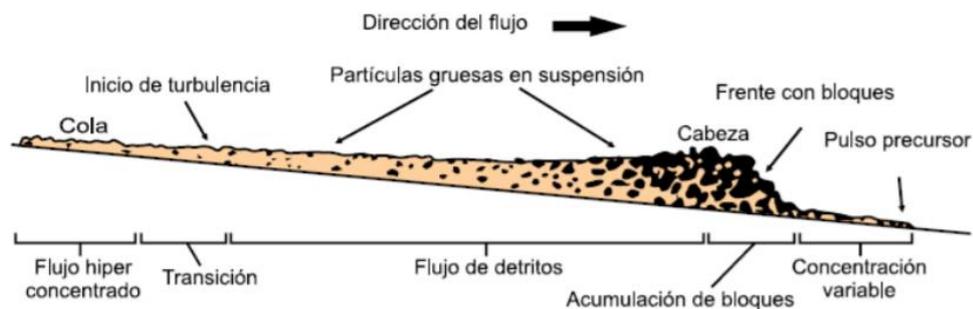


Figura 2. Corte esquemático típico de un flujo de detritos (F1)



## 2.2 CAUSAS DE LA FORMACIÓN Y DESENCADENAMIENTO

Los factores condicionantes para la formación de una corriente de detritos son muchos y muy variados, y es la suma de varios de ellos la que, en la mayoría de los casos, conlleva el desencadenamiento del fenómeno, produciendo el movimiento de las tierras. Las condiciones fundamentales que favorecen la formación de corrientes de derrubios son:

- La geología. Suelos rocosos meteorizados in situ. En general, los depósitos aluviales, coluviales, volcanoclásticos, glaciales y de escombros de falda son susceptibles a ser removidos, puesto que son depósitos permeables que infiltran con facilidad, y que al superarse en exceso su capacidad de infiltración, el agua tiene la posibilidad de escurrir con gran energía, produciendo remociones. Todas las áreas de suelos permeables y con bastante porosidad, tienen tendencia al desencadenamiento de corriente de detritos.
- Los relieves. Cuánto mayores sean las pendientes, mayor inestabilidad tendrán las laderas que aportan materiales al flujo. A partir de pendientes de 15 grados, se pueden desencadenar estos procesos.
- Incendios y deforestaciones que eliminan la vegetación de una pendiente fuerte, dejando al aire libre el suelo, y sin raíces que lo sustenten. Al eliminar las raíces del suelo, el agarre del material disminuye y el contenido de agua aumenta puesto que ya no existe vegetación que lo absorba.
- Erupciones volcánicas. Pueden derretir de forma rápida grandes cantidades de nieve y hielo en el costado de los volcanes. La repentina ráfaga de agua que se produce puede recoger los escombros y las cenizas a medida que fluye por las laderas empinadas del volcán, transportándolos de forma rápida a grandes distancias.
- El factor antrópico. El uso histórico al que se ha sometido en el suelo: construcción de carreteras, o cualquier tipo de obra, que haya conllevado la deforestación o una modificación de la estructura y el material del suelo. La actividad humana tiene grandes efectos debido a que todas las zonas que son urbanizadas reducen su capacidad de infiltración, haciendo correr el agua por la superficie arrastrando todo el material que encuentre a su paso.
- El cambio climático. Está cambiando en parte los ciclos de precipitaciones, concentrándose en algunas épocas y provocando otras de sequía. El aumento de la sequía genera más probabilidad en la aparición de incendios. Ambos efectos influyen en la aparición de corrientes de detritos.



Los factores desencadenantes son los que producen realmente el inicio del movimiento del suelo, y el material. El agua procedente en forma de lluvia o deshielo de nieve, se introduce entre el material, añadiendo peso y presión, y produciendo una disminución de la resistencia de los materiales, provocando que tienda al deslizamiento.

### 2.3 CLASIFICACIÓN DE LAS CORRIENTES DE DETRITOS

No existe una clasificación clara que englobe todas las características de los flujos de detritos, puesto que hay muchos factores que influyen y se producen en situaciones de muy diferentes tipos. Por lo tanto las clasificaciones que se llevan a cabo son basándose en una propiedad en concreto.

Los flujos de detritos son potencialmente destructivos debido a que causan una importante erosión de los substratos por los que deslizan, incrementando de esta manera el contenido de sedimento que transportan. Cuanto mayor se hace la cantidad de sedimento que transporta mayor poder de erosión adquieren. El incremento en su densidad y el movimiento rápido, derivan en una masa con una gran cantidad de energía.

En base a la información encontrada (1), se han llevado a cabo las siguientes clasificaciones.

En función de la velocidad. Dependiendo de la velocidad, los desprendimientos de tierras se pueden clasificar en:

- Extremadamente rápida
- Muy rápida.
- Rápida.
- Moderada.
- Lenta.
- Muy lenta.
- Extremadamente lenta.

En la formación de flujos de detritos son de importancia los rápidos y extremadamente rápidos, puestos que son las velocidades altas contra las que se diseñan los sistemas de protección.

En función del tipo de material en el depósito McMillan y Powell crearon una clasificación en 1999 en la que el factor a tener en cuenta es el tipo de depósito superficial del que deriva el flujo de detritos. Pueden ser:



Depósito Superficial	Descripción
Material Coluvial de arrastre o lavado de ladera	Masa de suelo heterogénea no consolidada depositada por la escorrentía o la ralentización del agua arrastrada por la pendiente.
Talus	Acumulación de fragmentos de roca angular en la base de un acantilado o pendiente de roca escarpada debido a la intemperie, a la desintegración y arrastre de rocas.
Fluvial	Material detrítico no consolidado depositado por un arroyo, río u otro cuerpo de agua.
Glacial	Masa de suelo heterogénea no consolidada (arcilla, limo, arena, grava, adoquines y rocas) en Proglacial (por ejemplo, glaciofluvial, glacio lacustre y glaciomarino) y depósitos glaciales (glaciofluviales, morainicos).
Regolita	Manto de fragmentos de roca sin consolidar (tamaño de grava, adoquines y rocas), arena, lecho y arcilla que cubren la roca de fondo, y se forman in situ, o casi in situ, por meteorización de la roca de fondo.

Los depósitos superficiales en los que predomina los finos, y con una buena cohesión son menos propensos a producir flujos de detritos que aquellos que están formados por partículas más gruesas. La cohesión provoca una menor permeabilidad que sobre consolida lo anterior.

En función de la topografía y las características geológicas de una localización, el flujo de detritos se clasifica en:

- **Debris flow en pendiente/ladera abierta:** crean su propio camino al pasar, previo a depositar material en las áreas bajas con menores pendientes o donde la velocidad del flujo se reduce, por cambios en la topografía. El área de depósito comprende fundamentalmente canales.
- **Debris flows canalizados:** aquellos que circulan por un canal existente, como valles, depresiones, huecos, barrancos. El flujo es generalmente de alta densidad, compuesto



por un 80% de sólidos. Pueden transportar cantos rodados de varios metros de diámetro.

Esta es la clasificación más útil para este estudio, puesto que los sistemas de protección contra las corrientes de detritos se dividen en función del tipo de canal ante el que nos encontremos.

### 3 SISTEMAS DE PROTECCIÓN

El objetivo principal de estos sistemas de protección no se centra únicamente en retener el material para que no se produzcan mayores daños pendientes abajo, sino que también busca dejar pasar el agua para que siga el flujo natural. Con la retención del material se evitarán problemas como el arrastre de suelo a su paso y también el estancamiento de futuros elementos de drenaje, tuberías, etc, por el que transcurra el agua que arrastraría el material.

Sabiendo que estos son los objetivos que buscan los sistemas de protección, se han planteado dos grandes tipos de soluciones. En primer lugar, las que conllevan el diseño y la construcción de estructuras hidráulicas (medidas estructurales), y en segundo lugar las que carecen de cualquier tipo de estructura (medidas no estructurales).

Las medidas estructurales se basan en la construcción de estructuras de hormigón y acero que soportan los esfuerzos que las cargas de detritos ejercen sobre ellas, y se diferencian en:

- Estructuras de control de erosión en cárcavas, laderas y pendientes inestables.
- Obras para la estabilización de cauces.
- Estructuras de control y retención de sedimentos
- Obras para la conducción de flujos o canalizaciones

Por otro lado, las medidas no estructurales, que consisten en sistemas flexibles que gracias a los elementos de los que están compuestos, son capaces de disipar la energía del impacto del flujo, retener los materiales y deformarse en función de los volúmenes de material que reciben. Son los sistemas más nuevos y los que se suelen implantar en la actualidad, puesto que tienen una serie de ventajas frente a los sistemas estructurales.

Nomenclatura basada en la que aparecía en los documentos estudiados (2).

### 3.1 MEDIDAS RÍGIDAS: SISTEMAS CONVENCIONALES

Los principales tipos de obras de control y retención de sedimentos convencionales, que conllevan la construcción de estructuras hidráulicas son (2):

- **Diques de hormigón o mampostería hidráulica.** Diques de gravedad y planta recta, que pueden ser de mampostería de cemento u hormigón en masa de densidades comprendidas entre los 2,3 ton/m<sup>3</sup> y 2,4 t/m<sup>3</sup>. Tienen alturas menores de 15 m y se diseñan para que la estructura sea satisfactoria, tanto desde el punto de vista estructural como desde el punto de vista económico. Consta de un cuerpo central, normalmente en forma de trapecio y un talud vertical aguas arriba e inclinado aguas abajo. Se le superponen dos coronaciones a ambos lados y un rectángulo en la base. Se instalan elementos de drenaje para disipar la presión hidrostática en caso de saturación del terreno.



Figura 3. Dique de mampostería hidráulica (F2)

- **Diques de gaviones.** Este tipo de diques se calculan imponiendo condiciones de no deslizamiento y ausencia de tracciones en el cuerpo de la obra. El perfil de menor volumen es el triangular con paramento vertical agua arriba. Conviene que el paramento de aguas arriba esté inclinado, puesto que la existencia de huecos hace que el empuje vertical del agua sobre este paramento sea menor. Es común la disposición escalonada de la parte de aguas abajo, siendo el ancho común de los escalones un metro. Los escalones concatenan impactos del flujo sobre los siguientes escalones, provocando daños en la estructura cuando el caudal de descarga arrastra



gruesos, a pesar de estar protegida la huella, con mortero de cemento. Cuando se prevea que estos caudales son altamente probables, es conveniente utilizar otro tipo de diseño, con escalones de anchuras inferiores a 0,5 metros, lo que ayuda a disminuir el golpeo del agua y los posibles arrastres del paramento de aguas abajo.



Figura 4. Dique de gaviones (F3)

- **Diques de tierra.** Son diques construidos a base de materiales sueltos, de construcción sencilla por su simpleza estructural. Se recurre a ellos por:
  - Su sencillez
  - Las ventajas de ejecución que tienen para alturas menores de 10 m.
  - Las limitadas exigencias de cimentación y conexión con ladera.
  - La correcta adaptación a las deformaciones presentes en los terrenos compresibles.

A pesar de estas ventajas presenta también serias dificultades puesto que este tipo de material, no permite que se vierta el agua directamente sobre el paramento de aguas abajo. Esto obliga al diseño de un vertedero específico, excepto si se toman precauciones especiales de impermeabilización y defensa contra la erosión del vertido. Dicha impermeabilización se puede conseguir mediante telas impermeables, geo textiles o mantas de plásticos, cubiertas de material granular de pequeño tamaño, y una capa de rocas de tamaño suficiente para que puedan resistir la tensión de rotura del agua y los detritos descargados por el vertedero.

Los diques de tierra se dividen en tres tipos: homogéneos, heterogéneos y de pantalla.



Los de pantalla no son aconsejables, para este tipo de obra, puesto que son muy costosos y requiere un elevado control de calidad.

Los de tipo homogéneo están formados por un solo tipo de material, lo suficientemente impermeable para garantizar la estanqueidad del dique, y disponer de taludes muy suaves, evitando la inestabilidad de los mismos.

Por su parte, los heterogéneos tienen un núcleo central formado por un material impermeable, cubierto de otros materiales permeables. Es el más recomendable en caso de disponer de variedad de suelos.

Se construyen con un perfil trapecial, con ambos paramentos inclinados con el fin de que sean estables en distintos estados de carga de agua. No se deben transmitir cargas excesivas a la cimentación y las filtraciones no deben estancarse ni en los cimientos, ni en los estribos, ni en el núcleo interior, para evitar su desgaste.

El espesor de la coronación debe ser tal que permita el paso de las máquinas para que compacten la tierra, durante la construcción.

- **Diques de fábrica con armazón de vigas entrelazadas.** Su disposición planimétrica puede ser rectilínea o curva de gran radio, y en general el paramento de aguas abajo es vertical y el de aguas arriba es escalonado. Se construyen con vigas de hormigón armado o de acero, enlazadas entre sí para actuar como una estructura monolítica. Se rellenan de gravas y guijarros. Se utilizan zapatas para controlar las erosiones al pie del paramento de aguas abajo o en la misma estructura por efecto de sifonamiento. Dichas zapatas deben penetrar lo suficiente en los márgenes y han de ser cubiertas con materiales impermeables. La aplicación de este tipo de diques está relacionada con cuencas de formaciones arcillosas con derrumbamientos extendidos y donde el material es poco resistente.
  
- **Diques filtrantes de hormigón prefabricado.** Este tipo de diques presenta numerosas ventajas cuando se busca el filtrado o tamizado de los materiales gruesos transportados por la corriente de agua, ubicándose en lugares donde las laderas presentan una alta inestabilidad provocada por la inconsistencia de los materiales que la constituyen, exigiendo dotar a la obra de un cierto grado de elasticidad.  
En cuanto a sus características estructurales, tanto el paramento de aguas arriba como el de aguas abajo son verticales. El cuerpo está formado por varias filas de hormigón prefabricado, superpuestas y separadas a una distancia que variará en función de la



granulometría. Queda un dispositivo selectivo y filtrante durante la vida útil de la obra, que frena, aguas arriba, los arrastres del tamaño deseado, consiguiendo una vez ya formado el aterramiento, el drenaje de las aguas superficiales y subálveas, eliminando las subpresiones que podrían poner en peligro la estabilidad de la obra.

- **Diques de elementos metálicos prefabricados.** La prefabricación ayuda a controlar los costes de la obra, puesto que los elementos a ensamblar en obra están estandarizados y existe un proyecto modular para la ejecución en serie. Se ha llevado a cabo una revisión de los elementos prefabricados y la posible aplicación de estos para otras funciones.

Por lo general, los elementos metálicos que se colocan en obra se unen mediante pernos de forma tal que se formen cajones que se rellenan con materiales sueltos. Las dimensiones rondan los 3 metros de longitud y la profundidad es variable en función de la altura de la obra y la carga que se prevé a la que estará sometida. La profundidad de los compartimentos se obtiene mediante diafragmas de longitud y espesores variables. Los cajones se colocan apoyados directamente sobre el suelo compactado y aplanado. El suelo y se rellenan con material procedente de escombreras. El dique tiene un doble objetivo: consolidar el lecho del torrente y reducir el caudal máximo de crecida. Poseen de un aliviadero pequeño que asegura que el dique no sedimente. En caso de caudales elevados, funciona como un canal de carga de agua, creando una retenida temporal.

Alguna de sus ventajas más destacables, es la ligereza de sus elementos constituyentes, que de forma independiente se encuentran alrededor de los 120 kg. Esto permite rapidez en el montaje, permitiendo la posibilidad de intercambiar elementos y uniones adaptándose el dique a las condiciones del medio. Se varían las dimensiones del aliviadero del fondo y la cubeta según los caudales que se prevean.

- **Diques reticulares y de rastrillo.** Son diques formados por un retículo de perfiles, que ocupan la parte central de dique, anclados a una zapata robusta y a las alas de fábrica. A veces el retículo es sustituido por una simple reja de acero de elementos horizontales y verticales. La retícula también se puede sustituir por un rastrillo con piezas verticales encastrados en una potente zapata de hormigón y desligadas superiormente, en función del tamaño máximo de los bloques esperados, así como la



magnitud estimada del arrastre los muros se colocan perpendiculares o en la propia dirección de la línea de flujo.

Los rastrillos funcionan como diques de consolidación, haciendo funcionar la zapata de umbral y fijando el cauce y la retícula o el rastrillo, que detienen los materiales gruesos del caudal sólidos y flotantes como troncos, raíces o ramas.

Funcionan como diques de gravedad en el caso de que quede completamente obstruido hasta el umbral de vertedero. El momento al vuelco es provocado por el empuje hidrostático y los momentos estabilizadores proceden del peso de la zapata de cimentación y el peso del agua sobre el umbral. El cálculo aproximado del retículo es simple. El comportamiento de la reja es como el de una viga empotrada en la zapata de cimentación sometida a la presión hidrostática, que actúa en una longitud igual a la distancia entre los puntos medios de dos vanos contiguos. Por el contrario, el cálculo riguroso se vuelve complejo si se considera que es una estructura hiperestática. Para llevar a cabo el cálculo se individualizan los elementos cuyo comportamiento es isostático, sobre los cuales se reparte la sollicitación de empuje hidrostático. El resto de los elementos son solo de unión y descargan una parte del empuje sobre los elementos principales. Los vínculos podrán ser de simple apoyo, empotrados o semi-empotrados.

### 3.2 MEDIDAS NO ESTRUCTURALES: DESCRIPCIÓN GENERAL SEGÚN LA NORMATIVA

Las medidas no estructurales son aquellas que están constituidos por un entramado modular de redes de acero, ancladas al fondo y a los taludes de ambos lados de la sección transversal del torrente. Son la solución fundamental que se utiliza actualmente debido a las ventajas que ofrece respecto de las soluciones rígidas que se han explicado anteriormente. No requieren ejecución de obras complementarias, tales como los caminos de acceso, no provocan destrozos del entorno de la sección, son permeables, y gracias al drenaje, se garantiza la disminución de las presiones en el trasdós de la estructura. Otra de sus características fundamentales es la resistencia a los asentamientos diferenciales por su carácter flexible. No necesita de una cimentación grande, únicamente para atar los anclajes, por lo que los fenómenos de socavación y erosión están controlados. Son ideales para los impactos dinámicos, y su coste entra dentro del razonable. (3)



Figura 5. Barrera VX (F4)



Figura 6. Red de anillos llena de detritos después de una avenida

A partir de lo que dice la normativa de la Organización Europea de Aprobación Técnica (EOTA), se van a describir los aspectos más característicos de este tipo de medidas de protección (componentes y características que medir), así como los métodos de ensayo para comprobar la eficacia en la actuación de los productos.



### 3.2.1 Elementos de los sistemas de protección

El equipo o kit de protección contra el flujo de detritos consiste de una estructura de intercepción o red, de postes de apoyo, de una base, de cables, de mecanismos disipadores de energía y de elementos de conexión, que van a ser explicados uno a uno a continuación (4).

- **Una estructura de intercepción.** Su función es soportar el impacto directo de la masa, deformándose elástica o plásticamente y transmitiendo las fuerzas a los elementos de conexión, a los soportes y a los cimientos. Sus principales componentes son:
  - Red principal: estructura portante o soporte de carga que actúa como una superficie. Las posibles familias de red existentes son:
    - La familia de redes de anillos: incluye redes de anillos de varios diámetros de acero y alambres de diferentes grados, bucles y puntos de cruce.
    - La familia de alambres o eslabones de alta resistencia, incluye redes de varias formas y dimensiones, de varios diámetros de alambres y de diversos grados de acero.
  - Otras capas: pueden existir o no. Suele ser una capa malla más fina que la red principal formada por cables o alambres de acero y conectada a la principal en lado del impacto.
- **Estructura soporte.** Su función es mantener la estructura de intercepción que por naturaleza no es rígida. Está compuesta por una serie de postes y estructuras base compuestas por diferentes materiales, geometrías y longitudes. Los postes y las estructuras base pueden ser conectadas directamente a la estructura de intercepción o mediante una estructura de conexión.
- **Elementos de conexión.** Tienen la función de transmitir las fuerzas a los cimientos. Están formados por cuerdas conectoras, cables de acero, alambres o barras de diferentes tipos de materiales y elementos disipadores de energía. Para permitir la deformación, se pueden instalar elementos en la estructura que permitan un alargamiento controlado. Los elementos de conexión se dividen en:
  - Cables superiores, intermedios e inferiores (resistencia longitudinal): elementos de resistencia que transmiten las fuerzas a los postes (en caso de que sea necesario) o directamente a la base de la estructura.



- Cables en sentido opuesto al flujo (cables de retención de la red): cables que se encuentran en la parte superior de la pendiente, que aguantan los postes y transmiten fuerzas a los anclajes.
  - Cables laterales: cables que aseguran la posición de los postes del final o para aumentar la superficie que abarca la red, a lo largo de las orillas del canal del río
  - Cables de ala: cables usados para formar una sección media en la parte superior, para el flujo desbordante y evitar problemas en los márgenes del río.
- **Mecanismo disipador de energía.** Dispositivos instalados en los cables, usados para absorber parte de la energía de impacto, permitiendo deformaciones plásticas o elásticas en el conjunto. Controlan los desplazamientos cuando se carga la red.
  - **Anclajes y cimentaciones.** Elementos de altas resistencias que transmiten las fuerzas provenientes de los cables y los postes al suelo.
  - **Protección contra la abrasión.** Componente de protección unido a los cables superiores para protegerlos contra la abrasión.
  - **Placa base.** Placa de fuerza con sensores especiales que actúan tanto de forma perpendicular para medir los esfuerzos normales como en la dirección del flujo para medir los esfuerzos cortantes, que ejerce el flujo de detritos sobre la red.

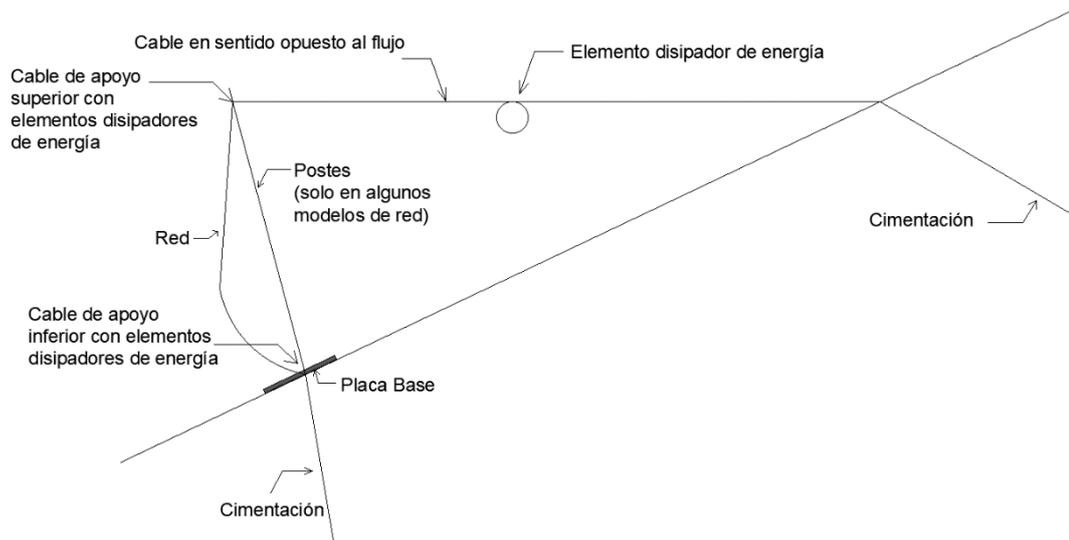


Figura 7. Esquema básico de una red de protección



### 3.2.2 Terminología relacionada con el cálculo de la resistencia del sistema:

Antes de proceder a explicar los procedimientos y métodos de evaluación de las redes, es necesario conocer la terminología que es empleada para definirlos (4).

- **Análisis numérico.** Son los modelos matemáticos que se utilizan para el diseño de las estructuras que no se diseñan a partir de pruebas en campo. Estos modelos numéricos se han creado a partir de estudios anteriores y pruebas calibradas.
- **Calibración de los métodos numéricos.** El proceso de calibración de los métodos numéricos está basado en al menos dos test reales (escala 1:1) dentro del grupo de proyectos.
- **Máxima presión de impacto ( $p_s$  medida en  $\text{kN/m}^2$ ).** Máxima presión en  $\text{kN/m}^2$  con la que la corriente de detritos va a impactar contra la red, evaluada mediante los test que se explicaran posteriormente.

Cuando se utilizan modelos numéricos para el análisis del impacto, se usan los diagramas de tiempo-presión para hallar la máxima presión, como dato inicial de entrada para el estudio.

- **Pendiente de referencia.** Pendiente cuesta abajo que se extiende desde el kit hasta su máxima elongación, en la dirección y sentido del flujo.
- **Altura nominal.** Altura en metros del kit, medida ortogonalmente a la pendiente de referencia, entre el centro del cable del soporte inferior y el centro del cable del soporte superior, antes del impacto.
- **Elongación de la red.** Máxima distancia medida en metros entre la línea del kit vacío y la posición extrema de la red, paralela a la pendiente de referencia. Es medida o en test de campo o calculada mediante el análisis numérico, una vez producido el impacto.
- **Altura residual.** Mínima distancia medida en metros entre el cable inferior y superior, medida ortogonalmente a la pendiente de referencia después de haber completado el test antes de haber retirado el material retenido o calculado en el análisis numérico, una vez representado el último caso de carga, el cual se refiere al momento en el que el kit está completamente lleno y con la máxima presión hidrostática.

### 3.2.3 Tipos de equipos

En función de la topografía y las características del punto de localización del equipo, encontramos dos tipos de soluciones distintas:

- Equipos de protección para deslizamientos superficiales y flujo de detritos en ladera abierta.
- Equipos de protección contra el flujo de detritos.

#### 3.2.3.1 Equipo de protección para deslizamientos superficiales y flujo de detritos en ladera abierta

Son los equipos que se sitúan en arroyos mayores y valles anchos en forma de U. Se fijan preferiblemente sobre apoyos en el lecho del canal de deslizamiento.

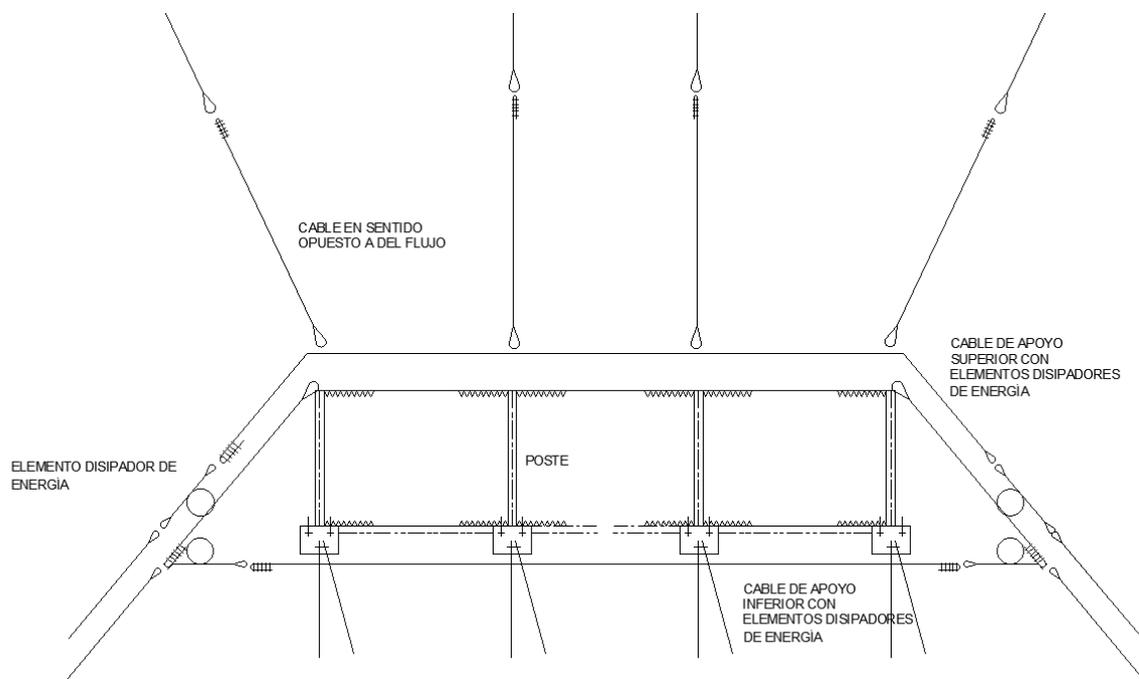


Figura 8. Esquema y elementos de un equipo de protección para deslizamientos superficiales y flujo de detritos en ladera abierta

### 3.2.3.2 Equipo de protección contra el flujo de detritos

La solución efectiva para torrentes estrechos de base triangular. Se instalan en pequeños arroyos agitados, la barrera de retención de detritos es fijada sin apoyos en los flancos del canal mediante anclajes. La red se cuelga mediante grilletes a los cables portantes superiores e inferiores, los cuales están equipados con anillos de frenado.

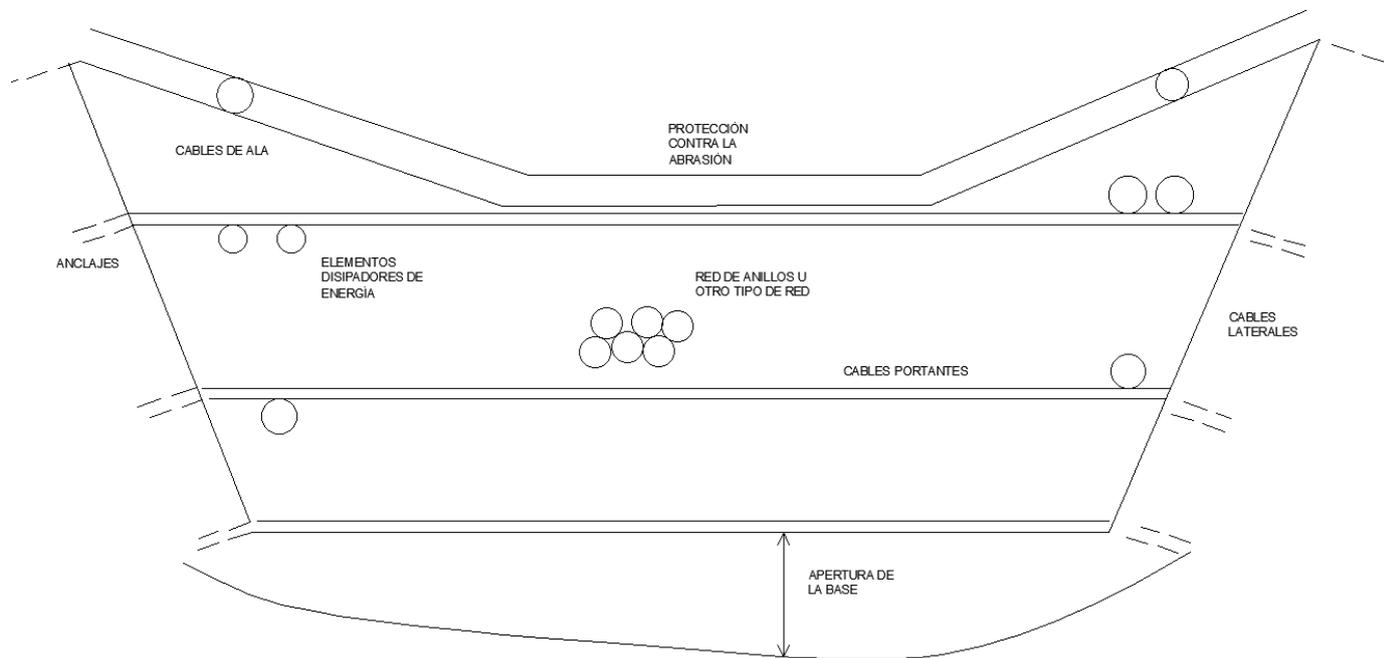


Figura 9. Esquema y elementos de un equipo de protección contra el flujo de detritos



### 3.2.4 Características esenciales del producto

En base al documento propuesto por la EOTA (Organización Europea de Aprobación Técnica) (4):

Nº	Característica esencial evaluada	Método de evaluación	Expresión y Unidades de medida
1	Máxima Presión de impacto	3.2.4.1	$p_s$ (kN/m <sup>2</sup> )
2	Altura	3.2.4.2	$Z_i$ (m)
3	Fuerzas en los cables y en los anclajes	3.2.4.3	F (kN)
4	Elongación máxima de la red	3.2.4.4	$\delta$ (m)
5	Altura residual del kit	3.2.4.5	$h_R$ (m)
6	Durabilidad	3.2.4.6	Descripción

Los métodos para la evaluación y determinación de las características de equipos pueden ser en campo o a partir del análisis numérico, cuyas especificaciones se explicaran en los puntos 3.2.5.1, 3.2.5.2 y 3.2.5.3.

#### 3.2.4.1 Máxima presión de impacto

La presión de impacto debe ser medida usando las placas de fuerza o sensores de presión de impacto, colocados en frente de la red a una distancia mínima de 1,5 metros y una distancia máxima de 5 metros, zona en la cual el flujo todavía no ha sido alterado por el impacto. Para saber la máxima presión de impacto que aguantará una red debe medirse a partir de un test de campo explicado en el punto 3.2.5.1 y 3.2.5.2, en función del equipo que se esté evaluando.

Si se realiza un test con más de un lanzamiento, la máxima presión de impacto que se debe expresar en el ETA (European Technical Assessment) se toma como la máxima presión entre todos los impactos.



En caso de que sea únicamente un lanzamiento, la máxima presión de impacto del único ensayo es la que se toma para el ETA.

El test de impacto en campo es válido si:

- No hay rupturas en los componentes de conexión, ni en la estructura de intercepción ni en la estructura soporte, y siguen conectados a las cimentaciones. Rotura de un elemento se refiere a la completa separación del componente en dos partes diferentes.

El test de impacto por análisis numérico es válido si:

- Los componentes principales (cables, estructura de intercepción, etc.) satisfacen la asistencia, haciendo uso de menos del 90% sin emplear ningún factor de seguridad.
- El alargamiento de los dispositivos de disipación de energía excede su capacidad máxima.
- Los postes cumplen con los requisitos de los códigos de diseño válidos en ese momento ( ej.: Euro código 3)

#### 3.2.4.2 Altura

Se debe producir el llenado completo del equipo, tanto en si se utiliza el análisis numérico como si se hace teste de impacto en campo.

Para el kit de protección de deslizamientos superficiales y flujo de detritos en ladera abierta, se debe llenar la red en 4 pasos de llenado, en caso de ensayo en campo. En caso de que se analicen numéricamente se puede hacer el llenado en un solo paso de llenado (un único caso de carga).

La altura se mide verticalmente desde la placa base, y se expresará en el ETA después de cada paso de llenado, tanto si es test en campo o a partir de análisis numérico.

Para el análisis del equipo de protección contra detritos se debe llenar en un solo evento.

La altura se mide verticalmente desde la placa base, y se expresará en el ETA después de cada paso de llenado, tanto si es test en campo o a partir de análisis numérico.



#### 3.2.4.3 Fuerzas en los cables y en los anclajes

Las fuerzas en los cables y en los anclajes deben evaluarse en campo por medio de los test 3.2.5.1 y 3.2.5.2, o en caso de que sea a partir del análisis numérico por medio del método 3.2.5.3.

Los diagramas de fuerza-tiempo en los cables por cualquiera de los métodos han de ser expresado en el ETA. La fuerza máxima en cada cable también ha de ser medida y expresada en el ETA.

#### 3.2.4.4 Elongación máxima

La elongación máxima debe evaluarse en campo por medio de los test 3.2.5.1 y 3.2.5.2, o en caso de que sea a partir del análisis numérico por medio del método 3.2.5.3.

La máxima elongación de la red por cualquiera de los métodos ha de ser expresada en el ETA.

#### 3.2.4.5 Altura residual del kit

La altura residual del kit debe evaluarse en campo por medio de los test 3.2.5.1 y 3.2.5.2, o en caso de que sea a partir del análisis numérico por medio del método 3.2.5.3.

La altura residual de la red por cualquiera de los métodos ha de ser expresada en el ETA.

#### 3.2.4.6 Durabilidad

La protección contra la corrosión debe ser aplicada en diferentes partes de la estructura de intercepción, soporte y componentes de conexión. El tipo y el espesor o la masa han de ser expresados en el ETA.

El fabricante puede suministrar elementos con revestimientos adicionales o materiales inoxidables: si el revestimiento no es importante en relación con el comportamiento del equipo, se puede aplicar sin necesidad de evaluarlo a partir de un test. Por el contrario, en caso de que el recubrimiento se aplique a elementos de disipación de la energía y su aplicación produzca modificaciones significativas en el comportamiento de los mismos, se llevaran a cabo test cuyo resultados se expresaran en el ETA.

Cualquier recubrimiento alternativo que se evalúe mediante un test, ha de ser incluido en el ETA.



El fabricante puede indicar un rango de temperaturas ambiente entre  $-20^{\circ}$  y  $+50^{\circ}$ , a la que quiere que se evalúe el equipo. La influencia de las temperaturas extremas deberá de ser evaluada para cada material, y anotar los resultados de los test en el ETA.

### 3.2.5 Métodos de evaluación de las características esenciales según la normativa

Existen dos métodos para evaluar los equipos según la EAD (documentación sobre los métodos y criterios aceptados en la EOTA) (4):

- Los test en campo descritos a continuación en los puntos 3.2.5.1 y 3.2.5.2, para evaluar un único producto.
- El análisis numérico a partir de métodos calibrados y verificados por el Organismo de Evaluación Técnico europeo (TAB: Technical Assesment Body). El análisis numérico se aplica a todos los tipos de productos, y es explicado en el punto 3.2.5.3.

#### 3.2.5.1 Test para el equipo de protección de deslizamientos superficiales y flujo de detritos en ladera abierta

##### - Zona de Ensayo

El emplazamiento experimental será el lugar donde se podrá acelerar una masa de escombros a las velocidades necesarias para las pruebas, e impactarla contra la red con la precisión necesaria. La pendiente cuesta abajo hacia el kit de protección debe tener la misma pendiente que los últimos 10 metros antes del impacto

##### - Equipo del test:

###### o Instalación del equipo

Se deben usar tres módulos de red con cuatro postes. El fabricante debe decidir la geometría de la estructura en relación con el manual de instalación, con la supervisión del Organismo de Evaluación Técnico europeo (TAB: Technical Assesment Body). El equipo de medida y comprobación es responsabilidad de este organismo. El diseño del anclaje también debe ser propuesto por el fabricante, que tiene que aceptar formalmente la cimentación antes de comenzar el test.



- Masa del test

La masa que se utiliza en el test debe de ser compuesta por un suelo homogéneo con un tamaño de grano máximo de 100 mm y una densidad entre 1800 kg/m<sup>3</sup> y 2200 kg/m<sup>3</sup>. La medida de la densidad, el tamaño de partícula y el contenido de agua se hace sobre muestras tomadas en la zona del test en el laboratorio (manteniéndolas en condiciones que no perturben sus características).

- Condiciones del test

El test consiste en el lanzamiento de la masa al equipo de protección para deslizamientos superficiales y flujo de detritos en ladera abierta y en medir la presión de impacto, la velocidad y la altura del flujo de la masa antes del impacto. Además, también se debe medir las fuerzas normales y cortantes detectadas en la placa de fuerza con los sensores especiales que, como se ha comentado anteriormente, actúan tanto de forma perpendicular para medir los esfuerzos normales como en la dirección del flujo para medir los cortantes. La altura del flujo se mide mediante sistemas de radar o sensores laser instalados sobre la placa de fuerza

- Procedimiento del test

Se debe impactar el área del medio y llenarse la red hasta la altura máxima residual. Se deben usar como máximo 4 fases para el llenado completo, y el volumen mínimo en cada fase será de 50 m<sup>3</sup>.

- Datos del test

La siguiente lista presenta los datos que han de ser obtenidos en todos los test que se lleven a cabo:

- Datos previos al test:

- Volumen inicial de cada fase
- Densidad de la masa del test y contenido de agua en el dispositivo de emisión
- Fotografías de la posición y construcción del equipo de protección.



- Parámetros geométricos (altura nominal, distancia del poste, línea del equipo vacío) del equipo de protección.
- La posición de referencia (posición original de la red antes del impacto)
- Datos durante el test (en cada emisión o fase)
  - Presión de impacto justo antes de la red
  - Altura del flujo
  - Altura de llenado del equipo durante el impacto.
  - Velocidad del flujo.
  - Fuerzas normales y cortantes a lo largo del test en frente del equipo.
  - Fuerzas en los anclajes.
  - Fotografías y vídeos a lo largo del test para tener un completo registro del comportamiento del equipo, incluyendo información sobre deformaciones y desviaciones.
- Datos de obtención posterior al test
  - Volumen retenido
  - Volumen desbordado en caso de que haya desbordamiento
  - Altura residual
  - Alargamiento de la red
  - Alargamiento de los elementos del mecanismo de disipación de energía
  - Descripción y fotografías para registrar los daños que ha sufrido el equipo completo.

### 3.2.5.2 Test para el equipo de protección contra flujo de detritos

#### - Zona de ensayo

El emplazamiento donde ha de tener lugar el test debe ser un canal de sección en forma de V, natural o artificial en el cual la red es instalada. El flujo de detritos puede ocurrir naturalmente o ser provocado. La inclinación del canal cuesta abajo hacia el kit de protección debe tener la misma pendiente que los últimos 10 metros antes del impacto.



- Equipo del test

o Instalación del equipo

El fabricante decide la geometría del kit que se va a instalar en el lugar del test, en acuerdo con el manual de instalación y la supervisión del TAB. La colocación de los elementos de registro y medición son responsabilidad del TAB. El diseño de los anclajes debe ser indicado por los fabricantes del kit. A su vez, los fabricantes deben de dar el visto bueno a las cimentaciones.

o Masa del test

La masa del test debe consistir en un material homogéneo de detritos con una densidad entre 1800 kg/m<sup>3</sup> y 2200 kg/m<sup>3</sup> que debe ser registrada por la placa de fuerza instalada a unos metros de distancia del equipo del test, en la zona de flujo no perturbado. Las mediciones de la fuerza normal combinadas con las mediciones de la altura del flujo permiten la determinación de la densidad del flujo que impacta a lo largo del tiempo.

- Condiciones del test

El test consiste en la supervisión del impacto del flujo de detritos en el equipo de protección y medir la presión de impacto, la velocidad y la altura del flujo antes del impacto.

- Procedimiento del test

El kit o equipo de protección debe ser golpeado y llenado hasta su máxima altura. También debe probarse el caso de desbordamiento de la red, y medir el volumen de flujo que desborda y la altura que alcanza por encima de la red.

Las placas de fuerza y los sensores de presión de impacto miden la presión con la que el flujo impacta la red y miden también la densidad y la velocidad de cada momento.

- Datos del test

La siguiente lista presenta los datos que han de ser obtenidos en todos los test que se lleven a cabo:



- Datos previos al test:
  - Volumen de impacto o de material que sobrepasa (si la emisión del flujo es artificial)
  - Densidad del flujo (si la emisión del flujo es artificial)
  - Fotografías de la posición y construcción del equipo de protección.
  - Parámetros geométricos (altura nominal, distancia del poste, línea del equipo vacío) del equipo de protección.
  
- Datos durante el test (en cada emisión o fase)
  - Presión de impacto
  - Altura de llenado de la red a lo largo del tiempo de impacto
  - Fuerzas normales y cortantes a lo largo del test en frente del equipo.
  - Fuerzas en los anclajes.
  - Fotografías y vídeos a lo largo del test para tener un completo registro del comportamiento del equipo, incluyendo información sobre deformaciones y desviaciones.
  - Volumen retenido
  
- Datos de obtención posterior al test
  - Altura residual
  - Alargamiento de la red
  - Alargamiento de los elementos del mecanismo de disipación de energía
  - Descripción y fotografías para registrar los daños que ha sufrido el equipo completo.

### 3.2.5.3 Método de diseño y de cálculo de los equipos a partir del análisis numérico

Para realizar un análisis completo de la capacidad de carga de un equipo, se hará una combinación entre los resultados hallados en los test realizados en campo y los análisis numéricos y simulaciones llevados a cabo a partir de diferentes software.

Los modelos numéricos son calibrados a partir de los test en campo que ya han sido explicados.



La finalidad principal de la creación de simulaciones numéricas es que posteriormente se pueda emplear dicho modelo numérico para probar otras geometrías (mayor altura, mayor anchura, etc.) no ensayadas y ahorrarse los elevados costes que conllevan los ensayos en campo.

El método para crear simulaciones correctas de los equipos de protección para deslizamientos superficiales y flujo de detritos en ladera abierta, consiste en los siguientes pasos:

- 1) 3 prototipos de equipo se evalúan de acuerdo con los test 3.2.5.1.
- 2) Se calibra un modelo numérico en base a estos 3 prototipos.
- 3) Análisis numérico y diseño, a partir de ciertas suposiciones.

El método para crear simulaciones correctas de los equipos de protección contra flujo de detritos, consiste en los siguientes pasos:

- 1) 2 prototipos de equipo se evalúan de acuerdo con los test 3.2.5.2.
- 2) Se calibra un modelo numérico en base a estos 2 prototipos.
- 3) Análisis numérico y diseño, a partir de ciertas suposiciones.

Una vez creado el modelo se verifica su validez:

- 1) Verificación de la actuación de los componentes.

El TAB debe comprobar:

- La integridad del kit del modelo en comparación con los kits probados (geometría, componentes usados, etc.).
- Las características de los datos de entrada para cada componente (en comparación con los kits probados).

- 2) Verificación del método de análisis

El TAB debe comprobar:

- El modelo de carga en comparación con las condiciones de impacto de los kits probados (incluidas las condiciones geométricas del material de flujo).
- La capacidad del software para realizar análisis (pseudo) dinámicos y no lineales



- 3) Verificación de los resultados del análisis numérico
- Los diagramas de tiempo-fuerza de los cables obtenidos a partir del análisis numérico deben estar en línea con los diagramas de tiempo-presión de los equipos probados en campo.
  - Comprobar la desviación entre el alargamiento medido y calculado en los elementos disipadores de energía. La desviación máxima permitida en el alargamiento de la altura neta y residual es del 30%.
  - Comprobar la desviación entre el alargamiento medido y calculado en los cables. La desviación máxima permitida en el alargamiento de la altura neta y residual es del 30%.
  - Las fuerzas máximas medidas y calculadas en los cables. La desviación máxima en las fuerzas del cable es de máximo el 15% entre los resultados medidos en pruebas de campo 1:1 y los resultados obtenidos del análisis numérico.

Tanto para los equipos de protección contra deslizamientos superficiales y flujo de detritos en ladera abierta como los equipos para la protección contra flujo de detritos, los siguientes datos de entrada son las variables del análisis y diseño numérico:

- a) Postes (aunque el equipo no tenga, en cuyo caso no se incluirán como variable)
- b) El tipo de portes, dimensiones, grado de acero, distancias
- c) La designación del cable, diámetro y grado de acero.
- d) Tipo de red dentro de la familia de las redes existentes.
- e) Tipo de dispositivo de disipación de energía.

Los datos de entrada son:

- a) La geometría del kit analizado
- b) Presión de impacto seleccionada o presiones en caso de haber varias, y tiempo de impacto
- c) Altura de flujo seleccionada
- d) Densidad seleccionadas del flujo, ya sea flujo de escombros o deslizamiento de tierras
- e) Velocidad de flujo seleccionada
- f) Mecanismo de llenado seleccionado (altura de llenado a lo largo del tiempo de impacto)



- g) Proceso de desbordamiento: simulación de la fuerza de corte normal seleccionada (en caso de que sea relevante).

Los datos de salida son:

- a) La presión máxima de impacto (KN/m<sup>2</sup>)
- b) Diagramas de fuerza-tiempo en los anclajes y cables
- c) Fuerza pico en los cables
- d) Altura de llenado del kit (altura de presión de impacto en cada evento)
- e) Altura residual cuando el kit este completamente lleno
- f) Alargamiento de la red
- g) Utilización de la estructura de intercepción y cables
- h) Diseño del poste (si es relevante)
- i) Alargamiento en dispositivos disipadores de energía

El diseño completo del kit es el resultado final del análisis numérico.

### 3.2.6 Modelización del llenado de las redes

El impacto del flujo de detritos suele producirse en varias oleadas, en donde los detritos que llegan se desplazan sobre los acumulados por la red. Mientras se produce el llenado se desarrolla también el proceso de drenaje. Además, una vez que la barrera está completamente llena, se puede producir el sobrepaso en cualquiera de los eventos posteriores.

Por lo tanto, los estados de llenado por los que pasa la barrera son (5 y 6):

- **Primer impacto. La ola alcanza la red de malla y se produce desagüe por la base.**  
El frente de la avalancha alcanza la barrera de anillos instalada. Sobre el cable portante inferior soporta la presión hidrostática ( $Ph_d$ ) y un componente dinámico que se reparte sobre la altura de la corriente ( $h_{fl}$ ), que depende del peso específico, de la velocidad y del tipo del flujo de detritos.

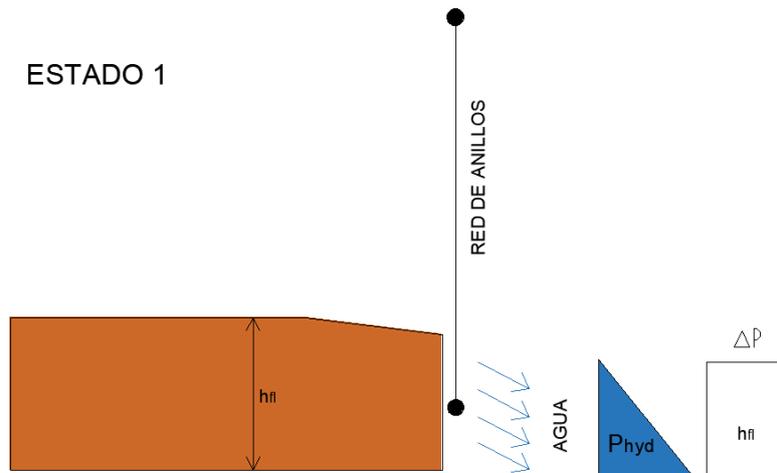


Figura 10. Representación gráfica del primer impacto. La ola alcanza la red de malla y se produce desagüe por la base

- **Segundo impacto. Sobre el material retenido en el primer impacto de ola, el segundo empuja de nuevo, con una altura de corriente  $h_{fl}$ .**

La presión hidrostática ( $P_{hyd}$ ) actúa ahora sobre la altura de llenado  $2 \cdot h_{fl}$ . El segundo impacto se produce en la zona superior de la red puesto que el flujo tiende a superar los detritos que ya se encuentran acumulados. La carga ejercida por la segunda ola produce el drenaje del material de la primera.

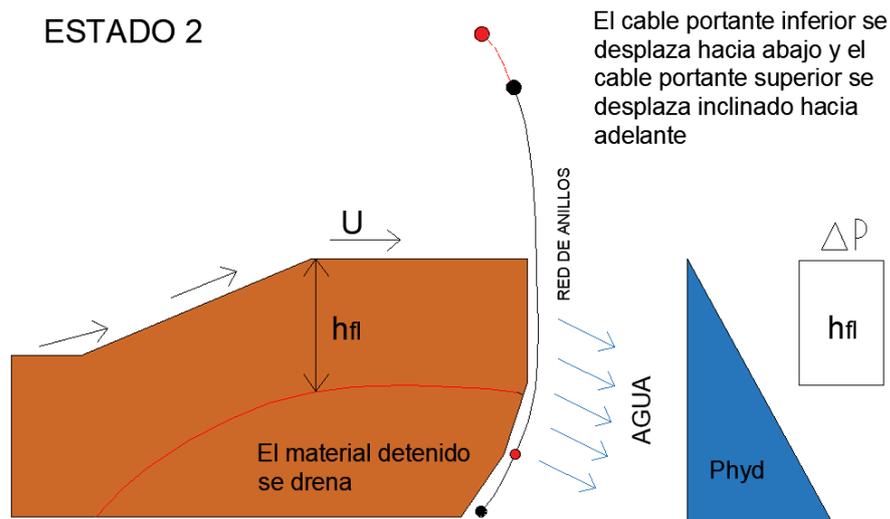


Figura 11. Representación gráfica del segundo impacto. Sobre el material retenido en el primer impacto, el segundo empuja de nuevo con una altura de corriente  $h_{fl}$



- **Tercer impacto. Una tercera ola alcanza la red.**

El número necesario de impactos de ola para que la red se llene del todo, depende de la altura de la red de la barrera y también de la altura de la corriente. Se repite la secuencia de los estados 1 y 2. La siguiente ola empuja sobre el material ya detenido. La presión hidrostática ( $P_{hyd}$ ) actúa sobre la altura de llenado y sobre la altura de la corriente ( $h_{fl}$ ) de la tercera ola. La presión hidrostática disminuye paulatinamente en función del comportamiento del desagüe, las características del material y el tiempo de llenado.

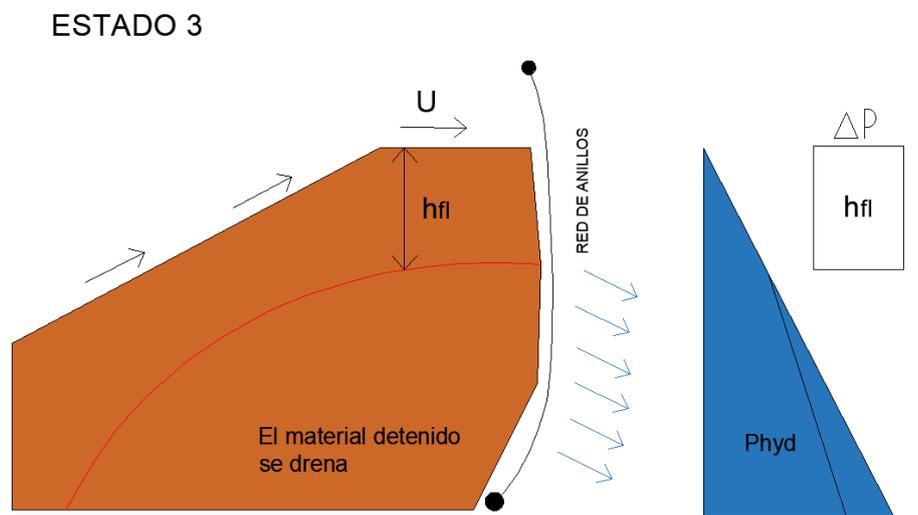


Figura 12. Representación gráfica del tercer impacto. Una tercera ola alcanza la red

- **Rebosado. Una vez que la red está llena y se produce una avenida más (cuarta, quinta, etc.), el impulso sobrepasa la red.**

Cuando se da el rebose, no se produce ningún golpe más sobre la red. Este actúa sobre la red con la carga de los detritos y su carga de empuje  $T$ . El peso de los detritos que rebosan la red y la fuerza cortante, afectan al material retenido delante de la barrera: la presión hidrostática actúa con una componente adicional procedente del esfuerzo cortante y de la carga de los escombros (+  $P_{hyd}$ ). Según cómo sea, el comportamiento drenante de la red, el material y la duración del proceso de llenado, la presión hidrostática puede reducirse.

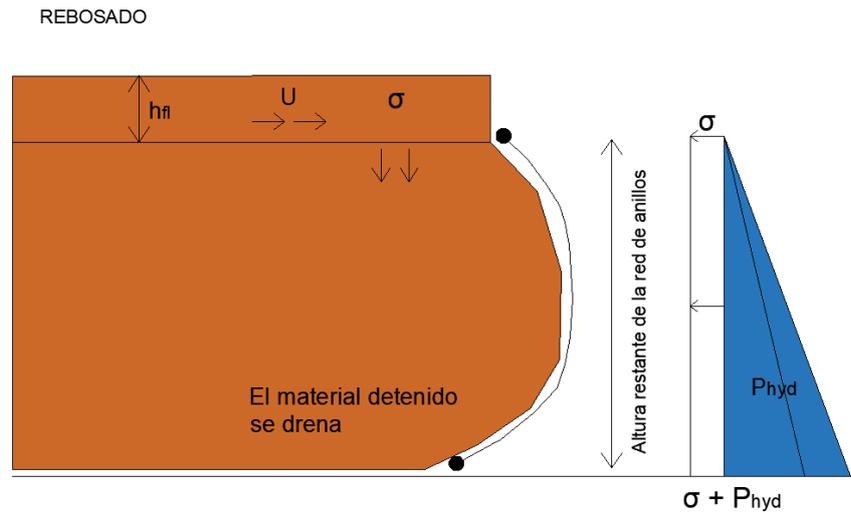


Figura 13. Representación gráfica del rebosado. Una vez que la red está llena y se produce una avenida más, el impulso sobrepasa la red

Cabe destacar que todos estos métodos son proposiciones para el diseño de las redes, pero no son métodos de obligado cumplimiento. Esto quiere decir que no todas las empresas fabricantes lo siguen para el diseño de sus soluciones.

### 3.2.7 Determinación de las cargas relevantes

Las presiones hidrostáticas e hidrodinámicas que actúan en las redes son uniformemente distribuidas en el ancho del canal, pero debe verificarse la geometría del canal para cada caso individual de acuerdo con (5):

$$P_{estática} = \rho * g * H \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

- $\rho$ = densidad de los escombros (1600-2200 kg/m<sup>3</sup>)
- $g$ = constante gravitacional (9,81 m/s<sup>2</sup>)
- $H$ = altura de llenado en cada punto

$$P_{dinámica} = \rho * v^2 * c_d \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

- $\rho$ = densidad de los escombros (1600-2200 kg/m<sup>3</sup>)
- $v$ = velocidad de impacto (m/s)
- $C_d$ = coeficiente de rozamiento



El valor de la presión de impacto medida por la placa de carga (en el tiempo del impacto) incluye tanto la componente estática como la dinámica de la presión, por lo tanto, el valor de presión máximo que se aplica al modelo de carga es  $ps1 = pstat + pdyn$ . Alternativamente, la altura de flujo para un canal, puede variar durante el proceso de llenado, por las diferentes oleadas del flujo, que han sido explicadas anteriormente.

El valor de presión de impacto aplicado al kit (dentro del proceso de calibración del modelo) en el primer impacto se muestra en la Figura 14 a) y el proceso de llenado posterior o sobretensiones se muestran en la Figura 14 b), c) y d). Se calcularán los valores  $ps1$ ,  $ps2$ ,  $pd1$  y  $pd2$  y sus puntos de acción ( $z1$  y  $z2$ ). El tiempo mínimo de impacto por transferencia de carga debe ser de 0,5 segundos.

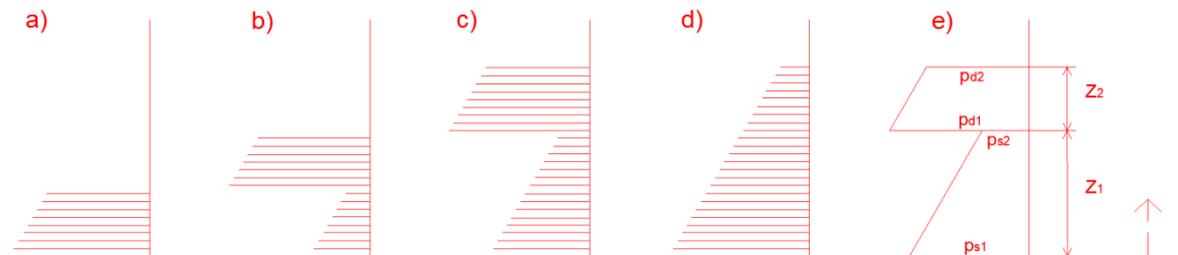


Figura 14. a) Distribución de la presión del flujo para el primer impacto, b) y c) distribución de la presión para el llenado progresivo, d) distribución de la presión en caso de rebosado e) abstracción de los valores de presión relevantes ( $ps1$ ,  $ps2$ ,  $pd1$ ,  $pd2$ ) y alturas de influencia ( $z1$ ,  $z2$ )

En el caso de desbordamiento, una tensión adicional de tracción / corte actúa en el lado superior de la barrera llena que también debe ser disipada por la barrera y toma el valor resultante de la siguiente expresión:

$$\tau = h_{fl} * \rho * g * \tan \varphi ()$$

- $h_{fl}$  = altura de flujo
- $\varphi$  = Ángulo de fricción del material de desecho

### 3.2.8 Localización de las barreras



La barrera debe ser colocada en una sección transversal tipo. La inclinación del terreno en el punto de localización, debe ser lo menor posible para reducir la velocidad de impacto y ampliar la capacidad de retención.

Aunque lo usual es que los lugares donde se colocan estos sistemas son de poca accesibilidad, conviene que sea lo más fácil posible para poder llevar a cabo inspecciones inmediatas y limpieza en caso de que sea necesario.

La zona de cimentación de la barrera debe ser lo suficientemente estable como para soportar las cargas que van a serle transmitidas.

### 3.2.9 Vaciado y mantenimiento de las redes

Es necesario comprobar el estado en el que se encuentran las barreras con regularidad, para que en el caso de que sea necesario se limpien y se reparen.

- La limpieza de una barrera está únicamente delimitada por la accesibilidad.
- En cuanto a la reparación y sustitución de elementos, es necesario reemplazar los elementos que han sufrido deformación plástica, después de haber trabajado en sucesos de gran energía.
- En caso de que el diseño de la barrera admita la permanencia de una cierta cantidad de detritos acumulados, las cargas estáticas y la corrosión han de ser especialmente controladas.

Las barreras que han trabajado deteniendo un flujo de detritos tienen que ser inspeccionadas, vaciadas y validadas para estar disponibles para nuevos sucesos. Es necesario planificar la retirada del material y su transporte a vertedero, puesto que este proceso tiene gran impacto en la medida de costes y tiempos.

Normalmente el material que se ha acumulado detrás de la barrera está compactado por efecto del arrastre. El vaciado más sencillo se da cuando se puede acceder al material por detrás. De esta forma los escombros pueden ser retirados mecánicamente sin necesidad de desmontar toda la barrera. En caso de que no sea posible, será necesario desmontar la barrera paso a paso, evacuarse el material y volver a montarse la red.



Los anillos de frenado son uno de los componentes más importantes y por lo tanto han de ser bien revisados. En caso de que se considere necesario, deben ser cambiados. Es aconsejable comprobar también la capacidad de las redes y cables que queda en el caso de que no se cambian.

## 4 EMPRESAS QUE SE ENCUENTRAN ACTUALMENTE EN EL MERCADO DE SISTEMAS DE REDES DE PROTECCIÓN CONTRA DETRITOS

El número de empresas que se dedica a la instalación de redes de protección contra el flujo de detritos no es muy alto. Se va a llevar a cabo un análisis sobre las soluciones que proponen cuatro empresas para diferentes tipos de casos, a partir de las especificaciones que proporcionan.

Previo a la realización del estudio comparativo de las pantallas que proponen estas cuatro empresas, se introducirán las características, el alcance, los métodos y las explicaciones que proponen.

### 4.1 GEOBRUGG



Geobrugg es una de las empresas líder en desarrollo y fabricación de sistemas de protección con alambres y cables de acero de alta resistencia. Los campos de aplicación de los sistemas creados por Geobrugg son la protección contra desprendimientos de rocas, la estabilización de taludes, el flujo lodo de los taludes y la protección del flujo de escombros, la protección contra avalanchas o aludes, la seguridad en túneles, la arquitectura de red, la protección contra impactos y soluciones para automovilismo (barreras deportivas para protección de espectadores).



Figura 15. Alcance mundial de Geobrugg (Sedes, asociadas y puntos de venta)  
(6)

Dentro de todos los problemas en los que se centra Geobrugg, en este estudio son de interés las soluciones que plantea para la protección contra flujos de detritos. Los equipos diseñados por Geobrugg están basados en las barreras de protección contra desprendimientos de rocas RX, aunque con algunas adaptaciones necesarias debido a la carga dinámica de flujos de detritos:

- Cables soporte de mayor tamaño y frenos con capacidad de absorción de energía mayor.
- Anclajes más resistentes.
- Protección contra la abrasión adicional de los cables y anillos de la red ROCCO.

#### 4.1.1 Tipos de barreras propuestas por Geobrugg

Existen dos tipos de barreras, dependiendo de la morfología del canal de descarga y del proyecto particular en cada caso. En ambos casos la solución planteada permite el paso del flujo del agua por la base sin impedimentos.

Los dos tipos de barreras existentes son (7):

1. Barreras VX: para canales estrechos con forma de V pronunciada

Es la solución efectiva para torrentes estrechos de base triangular. Se instalan en pequeños arroyos agitados, la barrera de retención de detritos es fijada sin apoyos en los flancos del canal mediante anclajes de cable espiral o bulones autoperforantes con cabeza flexible. La red de anillos se cuelga mediante grilletes a los cables portantes superiores e inferiores, los cuales están equipados con anillos de frenado. Este tipo de sistema de retención es adecuado en casos en los que la anchura del canal no supere los 15 metros y la altura de red no supere los 6 metros.

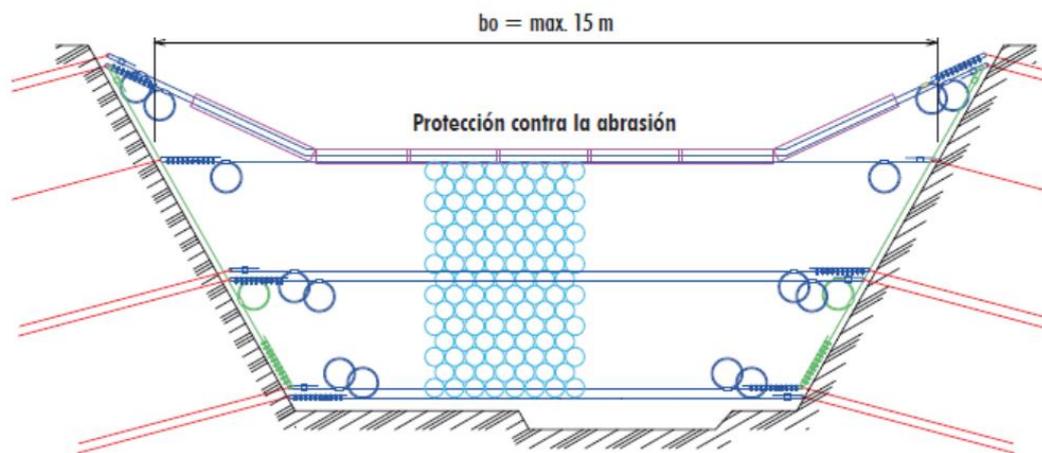


Figura 16. Representación de la barrera VX de Geobrugg (7)

## 2. Barreras UX: para canales anchos con forma de U

Es la solución para torrentes anchos. Las barreras para detritos situadas en arroyos mayores se fijan preferiblemente sobre dos apoyos en el lecho del canal de deslizamiento, y al igual que en las barreras VX, se fijan con anclajes de cable espiral o bulones autoperforantes con cabeza flexible. Este tipo de retención es indicado para anchuras de canal de hasta 25 m y alturas de barrera de hasta 6 metros.

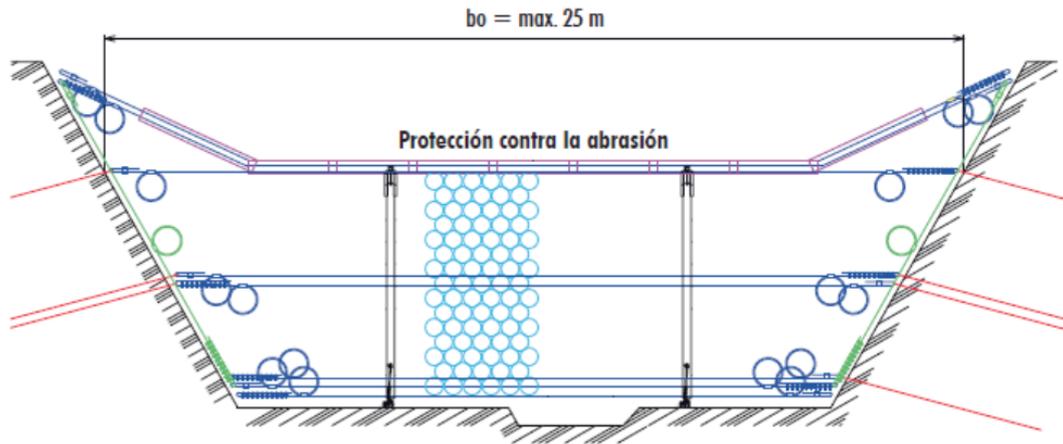


Figura 17. Representación de la barrera UX de Geobrugg (7)

#### 4.1.2 Componentes de las barreras de Geobrugg

En este apartado, no se explicará la función de cada elemento que forma la red, puesto que ya ha sido explicado anteriormente, si no que se proponen las especificaciones particulares de los elementos en las barreras de Geobrugg (referencia 3).

- **Estructura de intercepción: Red de anillos ROCCO.** Formada por alambre de alta resistencia a tracción (fuerza de tracción 1770 N/mm<sup>2</sup>) y un diámetro de 3 mm. Las redes de anillos, en los sistemas estándar de menor intensidad, se construyen con 12 vueltas. En los sistemas estándar de intensidad mayor con 16 vueltas. La red de anillos ROCCO se adapta fácilmente a cualquier terreno y es resistente frente a múltiples impactos. Un buen funcionamiento de los anillos resulta en menores solicitaciones a los anclajes.



Figura 18. Anillos de la red ROCCO de Geobrugg (7)

- **Estructura soporte: Postes articulados.** Para las barreras UX se emplean apoyos del tipo HEB (vigas de hierro con perfil HEB), los cuales se montan en la placa base a través de una articulación. Para la protección de estos cables, las correspondientes guías se construyen con formas redondeadas.



Los postes mantienen su posición gracias a los cables de retención. El orden de disposición de los cables en la cabeza del poste corresponde con la secuencia de instalación.



Figura 19. Postes de tipo HEB (7)

- **Elementos de conexión: Cables de apoyo y retención.** Construcción del cable de acero con DIN 3060/3064. Los cables se galvanizan, usualmente con el llamado Geobrug Supercoating, compuesto por un 95% de Zinc y un 5% de aluminio.



Figura 20. Cables de acero de Geobrug

- **Mecanismo disipador de energía: Anillos de frenado.** En los cables portantes y laterales se incorporan anillos de frenado de acero. Se activarán en eventos de gran energía para que reduzca la cantidad que debe absorber la red. Los tubos de acero protegen al cable de la corrosión y los daños mecánicos. La carga de rotura de los mismos no se ve disminuida por la activación de los frenos, de manera que la característica esfuerzo-recorrido puede aprovecharse completamente.



Figura 21. Anillos de frenado como mecanismo disipador de energía (7)

- **Anclajes y cimentación: Anclaje de cable espiral.** Los cables de apoyo y de retención están anclados al suelo o a la roca por medio de anclajes de cable espiroidal de Geobrugg. También pueden utilizarse anclajes autoperforantes (Titan o IBO). Los anclajes de cable en espiral están dotados de una cabeza flexible de resistencia de 1770 N/mm<sup>2</sup>. Garantiza que las fuerzas que no actúan directamente en la dirección de tracción puedan también transmitirse. Además de adecuarse a la orientación de los esfuerzos en la dirección de la tracción pueden desviarse hasta 30 grados con respecto del al eje de perforación sin pérdidas de la capacidad portante ni su protección contra la corrosión. Dos tubos galvanizados sobre la cabeza del anclaje más el cable en espiral galvanizado, aportan protección doble contra la corrosión. Otra ventaja de estos elementos es su fácil montaje. La marca naranja muestra hasta qué punto han de estar incorporados los anclajes a la cimentación.

Según se ve en la Figura 22:

- 1) Diseño general
- 2) Diseño recomendado para montaje en roca o en roca suelta con posterior vertido de mortero
- 3) Anclaje auto perforante con cabezal FLEX: la mejor solución, para perforaciones poco estables
- 4) Ejecuciones especiales con mayores diámetros



Figura 22. Diferentes tipos de anclajes ofrecidos por Geobrigg (8)

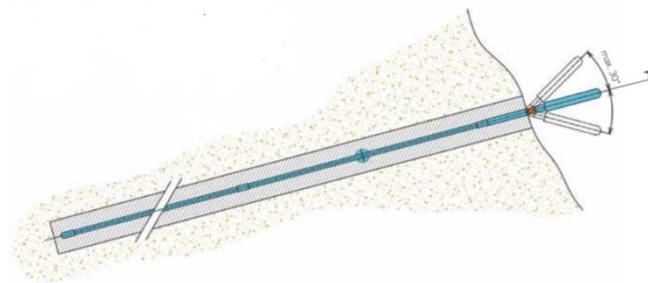


Figura 23. Anclaje de Geobrigg que permite un giro del cabezal de 30° (8)

- **Protección frente a la abrasión.** Geobrigg propone unos perfiles de acero con grilletes soldados o alas gruesas para fijarla a los cables. Mediante los grilletes, los perfiles pueden unirse y adaptarse a la deformación. Son elementos que pueden ser cambiados fácilmente en caso de desgaste.



Figura 24. Protección frente a la abrasión para cables portantes (7)

- **Placa base.** Las placas base es donde se colocan los postes. Son de acero y se colocan sobre la cimentación de hormigón. La cimentación de hormigón es fijada con anclajes de tensión y de presión en el lecho del torrente. Los postes se unen a la placa mediante una articulación. Todos los elementos que entran en contacto con los cables han de tener un acabado sin bordes cortantes para evitar causar daños a los cables.
- **Grilletes.** Se utilizan para la conexión entre la red de anillos y los cables. Garantizan que la red pueda deslizarse sobre el cable sin dañarlo. También conectan verticalmente las redes. En general el grillete está diseñado para producir una conexión más sólida que la que existe solamente con la red. Los grilletes pueden ser pegados con adhesivos para evitar así los robos.



Figura 25. Grillete de acero (F5)

- **Sujeta cables.** Los cables se suministran con lazos embutidos a un lado del cable. El extremo libre del cable se sujeta mediante abrazaderas, de acuerdo con EN1311-5. Es muy importante utilizar un número adecuado de abrazaderas teniendo en cuenta los



valores de torsión oportunos. Las abrazaderas pueden pegarse con adhesivo al igual que los grilletes, para evitar el robo de la pieza y el material.



Figura 26. Sujeta cables de acero (F6)

#### 4.1.3 Instalación de las barreras de Geobrug

La labor de instalación de estas barreras se divide en tres fases (9):

- Trabajos preliminares
- Construcción de la cimentación
- Construcción de la superestructura

##### 1) Trabajos preliminares:

###### a) Replanteo de los puntos de anclaje

El diseñador selecciona la posición de la barrera. Son preferibles las secciones menores de torrente, con taludes estables, donde se anclan las barreras. La abertura basal entre los cables de apoyo inferiores y el lecho del río tiene que ser especificada por un experto de acuerdo con la altura del flujo de detritos que se prevea. Suele variar entre 0,5 y 1 metro.

###### b) Puntos de anclaje para los cables perimetrales

El ángulo entre el cable de control y los cables de apoyo superiores debería ser entre 20 y 25 grados. Este efecto geométrico de los cables de control forma una sección de desbordamiento. La sección de desbordamiento tiene que ser inferior a la anchura máxima del lecho del río, de tal modo que el efecto de la erosión de la orilla del río pueda reducirse a lo más mínimo.



Los anclajes de apoyo superiores e inferiores hay que determinarlos de tal forma que la altura objetivo de la barrera se alcance. Los cables de apoyo intermedios se fijan en medio de la red. La línea de la barrera suele ser ortogonal a la dirección del flujo. La barrera puede inclinarse un ángulo máximo de 5 grados hacia adelante.

Se deben de macar los puntos determinados con pintura pulverizada para dejar clara su localización.

c) Puntos de anclaje para los cables de retención

Los anclajes de los cables de retención se fijan detrás de los postes con un ángulo que varía entre los 20 y 40 grados, respecto de la línea horizontal. Los postes, al igual que la red, deben tener una inclinación máxima de 5 grados, y por último, el ángulo entre los cables de retención y los postes varía entre 60 y 85 grados.

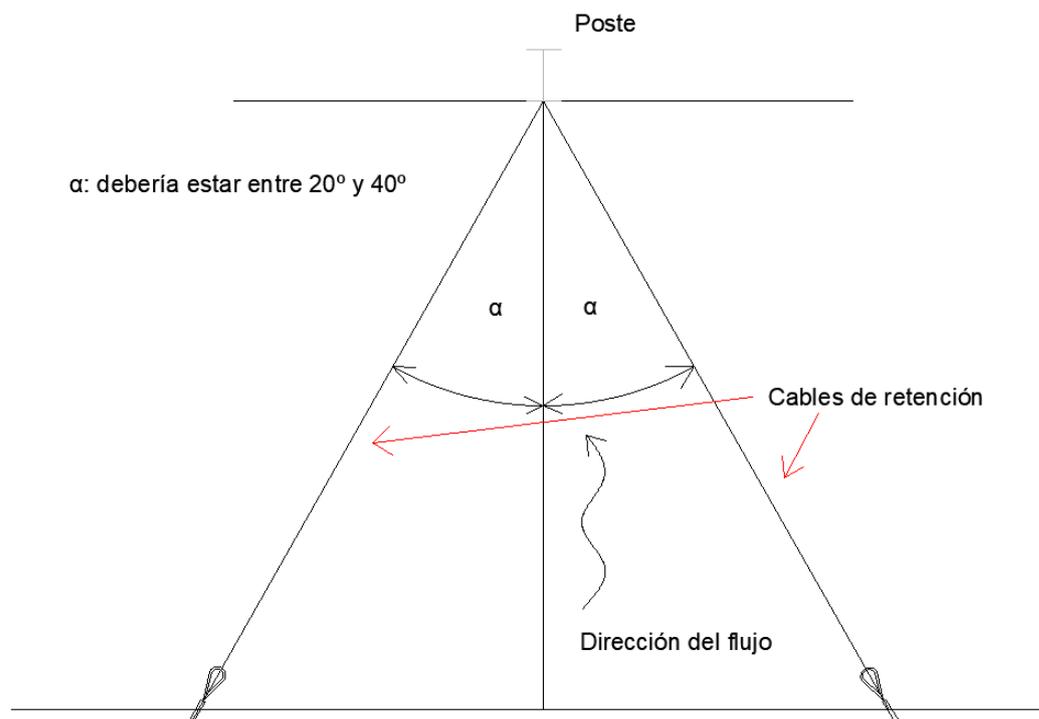


Figura 27. Posición de los anclajes para los cables de retención. Vista planta

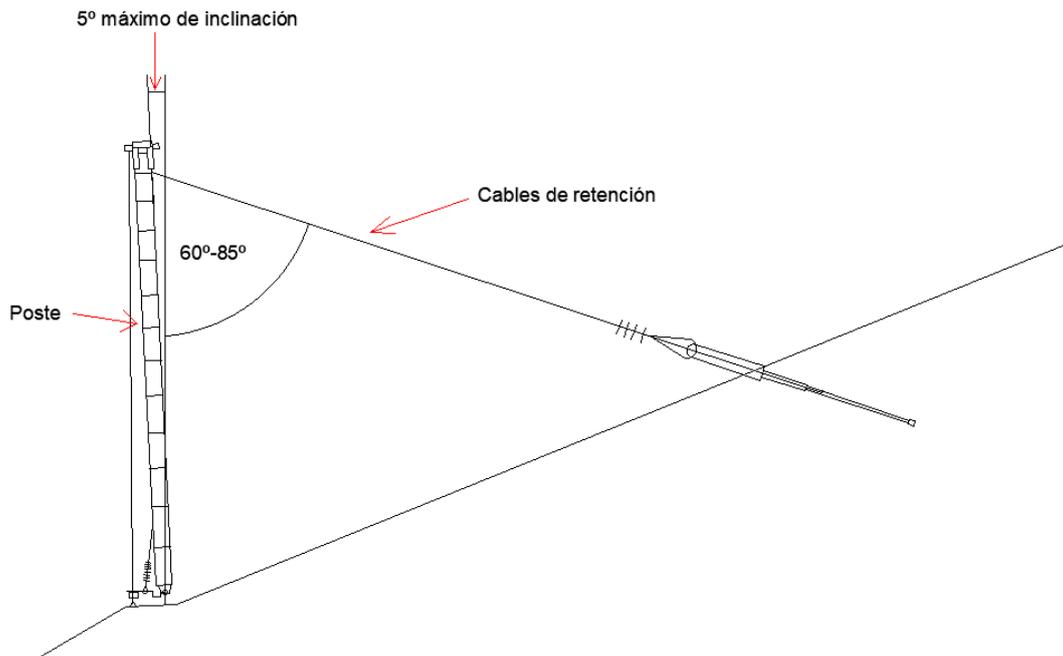


Figura 28. Posición de los anclajes para los cables de retención. Vista perfil

## 2) Construcción de la cimentación

### a) Cimentación del poste

La carga horizontal y vertical es transferida por la cimentación reforzada desde los cimientos hacia los anclajes del suelo. Un anclaje de compresión y dos de tensión anclan la cimentación del poste. El anclaje de compresión ha de ser perforado en dirección vertical y los dos anclajes de tensión han de estar contruidos a 45 grados con respecto de la dirección horizontal y 30 grados en dirección al flujo.

Es necesario instalar placas de acero cuadráticas en el extremo de los anclajes y fijarlas con una tuerca para obtener la transferencia de la carga óptima. Dos barras incorporadas en dirección vertical se encargan de conectar la cimentación y la placa base, y esta última se conecta a las barras mediante unos orificios colocados al valle.

Los pasos de instalación que se deben seguir son en orden temporal:

- Realizar el agujero de la cimentación
- Perforar el anclaje



- Encofrar la cimentación y realizar el refuerzo, colocando en la parte superior las placas de anclaje
- Incorporar las dos barras de la placa base
- Hormigonado de la cimentación. Si el cable periférico está en contacto con la cimentación, redondear el reborde de los cimientos para evitar un excesivo desgaste.
- Las tuercas no deben apretarse hasta que el cemento haya curado completamente.

b) Cables de soporte y de retención

Los anclajes de los cables de apoyo deben ser perforados en la dirección de los cables de apoyo. En caso de que fuesen necesarios varios anclajes para varios cables, basta con inclinar un anclaje 15 grados hacia atrás en la dirección del flujo y ponerlo algo más abajo que el primero. Los cabezales de los anclajes deben estar lo más cerca posible de la superficie del suelo para evitar grandes separaciones entre el cable periférico y el talud. Esta cabezas están para garantizar que las cargas que no se aplican en la dirección de la línea de anclaje también sean correctamente transmitidas, asegurándonos de que únicamente será necesario reparar y reconstruir la superestructura y no todos los anclajes y demás.

Los pasos que se deben seguir para la instalación de estos cables, en orden temporal son:

- Realizar los agujeros para la cimentación.
- Perforar los anclajes.
- En caso de utilizar anclajes auto-perforantes, se deben colocar los cabezales flexibles.
- Encofrar la cimentación y realizar el refuerzo. Los cabezales flexibles han de estar incorporados hasta la marca naranja. El borde de la cimentación del hormigón ha de redondearse, como en el caso anterior para intentar dañar los cables lo menos posible.
- Los agujeros del encofrado en torno a los cabezales flexibles han de rellenarse con espuma de polietileno.
- Hormigonar la cimentación.

c) Disposición de cabezales flexibles



Los anclajes han de instalarse de tal forma que puedan deformarse en dirección vertical y horizontal. El mejor método para que esto suceda es inclinar los cabezales 45 grados hacia adelante, de tal forma que los cables periféricos se instalen fácilmente.

### 3) Construcción de la superestructura

Al no haber postes en las barreas VX, la forma de instalación de los elementos, respecto de las barreras UX, es distinta y ha de explicarse por separado.

#### a) Instalación de los postes, cables soporte y de retención para sistema UX

Las fases en la instalación son:

- Marcar y controlar la longitud de los cables de retención y de apoyo.
- Tirar de los anillos de frenado hasta que se encuentren en la posición correcta, pueden frenarse con una cuña de madera. La posición de los anillos de frenado debe estar próxima a los anclajes, junto al talud, de modo que tengan capacidad para deformarse fácilmente.
- Fijar y elevar los cables de apoyo superiores. No se deben tensionar los cables todavía, puesto que los postes aún no se han instalado. En caso de que se vayan a instalar varios cables de apoyo, mantenerlos unidos junto a los anclajes.
- Los postes deben ser instalados mediante un helicóptero, grúa o excavadora y fijarse en la plaza base. La gaza del cable de fijación tiene que estar en dirección al valle. La junta ha de colocarse a pie del poste en el bloque de soporte. Empujar el tubo de articulación a través de los orificios de la placa base y a través de la junta, y fijarlo mediante dos pasadores de resorte. A continuación se apoyan los postes contra los cables de apoyo superiores.
- Fijar una gaza, mediante un pequeño pasador de resorte, que sujeta los cables de retención.
- Tensionar los cables de retención y tirar de los postes hasta su posición correcta.
- Llevar los cables de apoyo superiores a través del cabezal del poste y tensionarlos. Mantener los cables de apoyo unidos, mediante un grillete, lo más cerca posible de los anclajes.
- Alinear el poste en la dirección correcta.



- Tensionar los cables de retención, de modo que todos tengan la misma tensión.
- Pasar los cables periféricos a través de los cabezales flexibles y tensionarlos. Los anclajes no deben sobresalir por encima de la cimentación de hormigón.
- Verificar el número correcto de anillos de frenado e instalarlos entre los anclajes de los cables superior y medio o medio e inferior.
- Tensionar los cables inferiores. Al igual que antes, si hubiera más de un cable, unir mediante un grillete y acercar el conjunto tanto como sea posible a los anclajes.
- Tensionar los cables de apoyo medios una vez instalada la red de anillos.

b) Instalación de la barrera VX

Los pasos a seguir en la instalación de las barreras tipo VX son:

- Marcar y controlar la longitud de los cables periféricos y de apoyo.
- Tirar de los anillos de frenado hasta que se encuentren en la posición correcta. Los anillos de frenado pueden fijarse con una pequeña cuña de madera. La posición de los anillos de frenado debe estar próxima a los anclajes, junto al talud, de modo que tengan la capacidad de deformarse fácilmente.
- Tensionar los cables de apoyo superiores.
- Conectar los cables de control mediante grilletes a los cables de apoyo superiores.
- Tensionar los cables de control. Si hubiese varios cables de apoyo unir mediante un grillete tan cerca como sea posible de los anclajes.
- Pasar los cables periféricos a través de los cabezales flexibles y tensionarlos. Los lazos embutidos no deberían estar sobre la cimentación de hormigón. Verificar el número correcto de anillos de frenado e instalarlos en el centro, entre los anclajes de los cables superior y medio o medio e inferior.
- Tensionar los cables inferiores. Si hubiese varios cables de apoyo unir mediante un grillete tan cerca como sea posible de los anclajes.
- Tensionar los cables de apoyo intermedios una vez instalada la red de anillos

c) Instalación de la red de anillos



Es más fácil instalar la red de anillos utilizando un cable auxiliar o una correa de tensión, donde los instaladores pueden apoyarse.

- La red de anillos se instala fácilmente mediante barras adicionales dispuestas a través de la segunda fila de anillos. Las barras se fijan junto con la red a los cables de apoyo con ayuda de un helicóptero, grúa o excavadora.
- A continuación la primera fila de anillos debe conectarse a los cables superiores de apoyo mediante grilletes. Otra alternativa es el empleo de un cable secundario para instalar la red de anillos dispuesto a través de la segunda fila de anillos, y puede elevar mediante una grúa hasta los cables de apoyo.
- Retirar la barra y desplegar la red de anillos con ayuda de una grúa o un tráctel. Se debe tener precaución para que los anillos no se deformen. El mejor método es comenzar por la parte del medio y continuar hacia los laterales. No se debe cortar la red hasta que no haya sido unida mediante grilletes a cada cable.
- Conectar las redes mediante grilletes de  $\frac{3}{4}$ ” de tal modo que cada anillo este conectado a otros 4 adyacentes, con la excepción de los periféricos que tienen únicamente 3.
- Tras la conexión de las redes de anillos entre sí, conectar con los cables periféricos y con los cables de apoyo inferiores.
- Los anillos de frenado de los cables de apoyo inferiores se fijan hacia arriba con alambre a la red de anillos, de forma que los materiales arrastrados en los eventos, no bloqueen los anillos de frenado con piedras.
- Por último, tensar los cables intermedios y conectarlos con la red de anillos mediante grilletes de 1”.

d) Instalación de la protección contra la abrasión

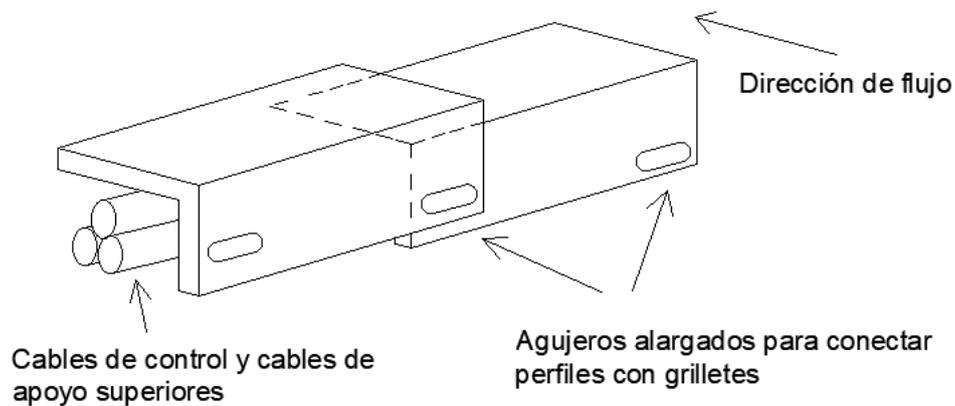


Figura 29. Representación y elementos de un perfil de abrasión

- Elevar y colocar el perfil de abrasión individual mediante la utilización de una excavadora o una grúa. El perfil de abrasión puede instalarse directamente a los cables de apoyo superiores y de control en caso de que los sean mediante grilletes soldados.
- Conectar mediante grilletes de  $\frac{3}{4}$ " a través de los orificios alargados. Los perfiles individuales deberían de solaparse entre sí. El área de solape debería ser tan grande como sea posible para permitir en caso de elongación de los anillos de frenado, que el perfil de abrasión pueda alargarse también.
- Adicionalmente, la protección frente a abrasión se fija también mediante grilletes de  $\frac{3}{4}$ ", a la fila de anillos secundaria para evitar la torsión de la protección frente al torrente.
- Fijarla entre los postes mediante un pequeño cable adicional. La distancia entre el último perfil de abrasión y el poste debería ser la menor posible.



#### 4.1.4 Parámetros de dimensionamiento de las redes de Geobrugg

Basado en la información de la referencia (3):

##### 4.1.4.1 Volumen que puede llegar a la red del kit de protección

El estudio del volumen de material que puede alcanzar la red de protección se hace a partir de los datos topográficos con los que cuentan, la experiencia, eventos anteriores que hayan tenido lugar y la observación in situ de las características y en las condiciones en las que se encuentra el lugar de emplazamiento. Las contenciones flexibles

##### 4.1.4.2 Caudal

La determinación del caudal se puede hacer mediante la expresión de Mizayama, que permite obtener el valor del flujo a partir de la clasificación entre flujo granular y fino. Para estar del lado de la seguridad, normalmente se utiliza flujo granular, puesto que nos va a dar un volumen de material arrastrado mayor.

$$Q_P = 0,135 * V_{DF}^{0,78}$$

- $Q_P$ : flujo, gasto o caudal (m<sup>3</sup>/s)
- $V_{DF}$ : volumen medio del material arrastrado(m<sup>3</sup>)

##### 4.1.4.3 Velocidad del flujo

Para la determinar la velocidad del flujo, se utiliza la expresión de Rickeman, donde se relaciona el caudal y la velocidad, a partir de la pendiente del curso.

$$v = 2,1 * Q_P^{0,33} * S^{0,33}$$

- $v$ : velocidad (m/s)
- $S$ : tangente de la pendiente del curso

También se puede emplear la expresión de Manning-Stricker para la determinación de este parámetro.

$$v = \frac{1}{n_d} * H^{0,67} * S^{0,5}$$

- $n_d$ : coeficiente de rugosidad de Manning



- $H$ : radio hidráulico (m)

La profundidad  $h$  (m) del flujo se calcula haciendo uso de la sección transversal y la descarga máxima, para que sea un sustituto de la altura  $H$ :

$$h = \frac{Q_v}{v * b}$$

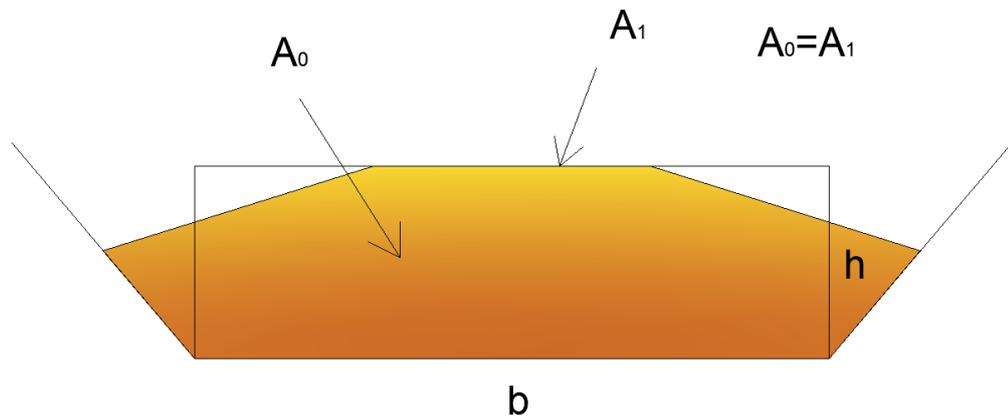


Figura 30. Área equivalente utilizada para calcular el radio hidráulico

#### 4.1.4.4 Volumen del material retenido

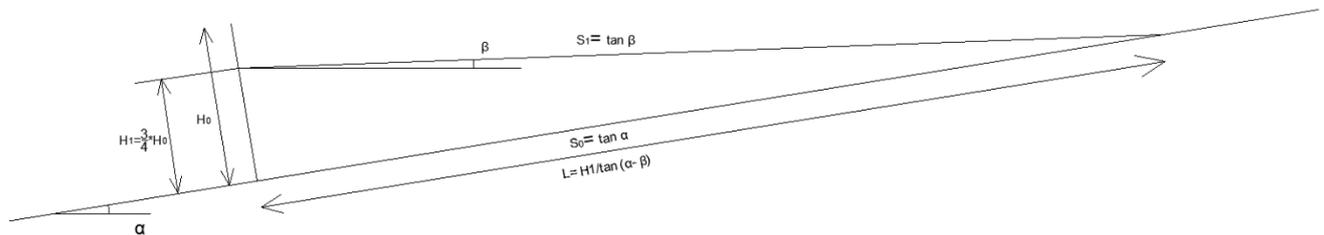


Figura 31. Representación del volumen de material retenido

Dónde:

- $S_0$ : tangente del ángulo de inclinación media de la sección longitudinal en grados ( $^{\circ}$ )
- $H_0$ : Altura inicial de la barrera (m)
- $S_1$ : Pendiente del perfil de detritos acumulado ( $^{\circ}$ )
- $H_1$ : Altura una vez llena la barrera (m)



#### 4.1.4.5 Masa activa que traslada el flujo

Debido a la permeabilidad de la barrera, hay que tener en cuenta que no todo el material que llega es acumulado en el trasdós. Se produce una selección durante el paso del flujo. El peso efectivo del material es determinado suponiendo que solo la parte acumulada actúa dinámicamente y que el llenado permanece desde que los detritos entran en contacto con la red hasta que llega al momento en que se produce la máxima deflexión de la red de anillos. El material trasladado normalmente es heterogéneo, y aunque tenga una densidad variable, se puede tomar un valor empírico medio de 23 kN/m<sup>3</sup>.

$$M_{DF} = Y_{DF} * Q_{DF} * t$$

- $M_{DF}$ : masa activa del flujo de detritos (kg)
- $Y_{DF}$ : densidad del flujo de detritos (kg/m<sup>3</sup>)
- $t$ : tiempo de impacto o frenado (s)

\*El tiempo de impacto o frenado es muy variable. Puede tomar valores desde alguna décima de segundo hasta llegar a los 4s.

#### 4.1.4.6 Determinación de la energía

A partir de los valores de velocidad y activa, se puede determinar la energía cinética del flujo en el contacto de la barrera.

$$E_k = 0,5 * M_{DF} * v^2$$

- $E_k$ : energía cinética (J)
- $M_{DF}$ : masa activa del flujo de detritos (kg)
- $v$ : velocidad (m/s)

#### 4.1.4.7 Determinación de la carga cuasi estática

Como resultado de ensayos y experiencia en varios lugares se sabe que la deflexión máxima oscila entre 2 y 4 m. A partir de ello se puede determinar la carga cuasi-estática que debe soportar la barrera. A partir de la distancia de frenado ( $d = v * t$ ) y la



velocidad ( $v = a \cdot t$ ), se puede deducir que la aceleración es  $a = \frac{v^2}{d}$ , y combinándolo con la Ley de Newton ( $F = m \cdot a$ ) se obtiene:

$$F_{QS} = 2 \cdot \frac{E_k}{d}$$

- $F_{QS}$ : carga cuasi-estática
- $E_k$ : Energía cinética
- $d$ : deflexión máxima

La integración de la fuerza en  $x$  (siendo  $x$  la deflexión) es la energía cinética.

Para calcular la máxima fuerza esperada por el flujo de detritos se debe multiplicar la fuerza cuasi-estática por un coeficiente de seguridad que suele adoptar el valor de 1,5.

$$F_{max} = F_{QS} \cdot FS$$

- FS: factor de seguridad (normalmente 1,5)

Con estos valores de energía cinética  $E_k$  y fuerza máxima se propone una solución UX /VX, que cumpla con las exigencias calculadas. Normalmente además de estos cálculos se llevan a cabo estudios más detallados a escala natural con toma de datos, que permiten realizar modelos y simulaciones por ordenador.

Esta metodología se ha establecido en un proyecto de KTI (Comisión para la tecnología e innovación), donde se ha creado un programa de ordenador para simular el impacto de rocas y flujos de detritos en barreras flexibles de anillos. El programa creado se denomina FARO y ha sido calibrado con datos de ensayos realizados a cada uno de los componentes por separado en el laboratorio y al sistema completo en campo a escala natural. Esta tecnología es muy reciente y se trabaja con estaciones monitorizadas que miden la densidad, velocidad y volumen de flujo.

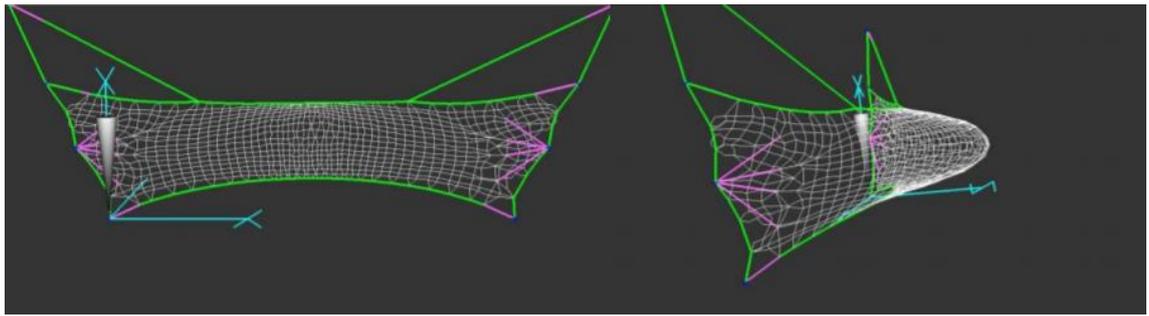


Figura 32. Simulación creada a partir de elementos finitos mediante el programa FARO (10)

## MACCAFERRI

### 4.2 MACCAFERRI

Maccaferri es una empresa multinacional italiana especializada en productos y soluciones para la industria de la construcción. Las soluciones que propone Maccaferri se utilizan para:

- Estructuras de retención
- Refuerzo de suelos
- Estabilización de terraplenes
- Trabajos hidráulicos de ríos y canales
- Protección costera
- Control de la erosión
- Mitigación de desprendimientos de rocas
- Flujos de escombros y protección contra avalanchas.

Al igual que en Geobrugg, de todas estas soluciones que proponen, en este estudio únicamente son de interés los sistemas que proponen para la protección de flujos de escombros. (11 y 12)

Por un lado, proponen los gaviones y colchones Reno, los cuales se utilizan a menudo en laderas para construir estructuras de presa. Se colocan a través de pendientes vulnerables para limitar el inicio de un flujo de escombros y frenar cuando un evento de flujo se produce. Brindan un comportamiento similar a un vertedero para los flujos de agua. Las estructuras de gaviones construidas a partir de malla de doble torsión proporcionan una solución sólida a



largo plazo de los flujos de escombros. Tienen una gran capacidad y cuando los escombros contenidos son demasiados, se puede vaciar utilizando equipos de excavación.

Las estructuras de gaviones son adecuadas cuando el acceso y el espacio sean disponibles para su aplicación. Sin embargo, cuando esto no sea posible, Macaferri propone las barreras de flujo de escombros. Estas barreras de flujo de escombros se colocan dentro de la trayectoria prevista del flujo de escombros o deslizamiento de tierra superficial, a menudo en barrancos naturales, canales o canaletas en la ladera. Son personalizadas para adaptarse a las dimensiones de cada proyecto, el material de desechos y el volumen de la corriente previstos.

Las barreras están normalmente diseñadas para estar en su lugar hasta que se restablezca la seguridad y la vegetación en las laderas donde se instalan. La barrera se puede retirar posteriormente, dejando la base intacta y se pueden volver a instalar si los riesgos de flujos de escombros aumentan en de nuevo.

Las barreras de flujo de escombros que proponen son similares a sus barreras contra caída de rocas (cercas de captura), pero incorporan elementos de absorción de energía adicionales y geometrías variables.

Utilizan combinaciones distintas de tamaño de anillos de la red para adaptarse a diferentes situaciones. Las redes de anillos de diámetro más grande, se colocan a lo largo de la parte inferior de la estructura para permitir el flujo del agua y del material pequeño a través de la barrera, mientras que las redes de anillos de menor diámetro se utilizan en la parte superior de las estructuras.

Nuestra serie DF de barreras de escombros ha sido desarrollada para contener los flujos de escombros o deslizamientos superficiales en pendientes, canales y canaletas.

Son personalizados para adaptarse a las dimensiones del proyecto. Tras el impacto por el flujo de escombros, la Barrera DF se deforma progresivamente con los frenos de compresión y sistemas de absorción de energía.

Macaferri no informa sobre las especificaciones de las barreras tal y como hace Geobruigg. Reservan la información para cada caso en el que trabajan, tanto el proceso de cálculo que siguen para el diseño de la solución, las partes que la componen y el proceso de instalación que siguen.



En la tabla comparativa entre las diferentes barreras de este estudio, se han tomado tres barreras con un número reducido de especificaciones, a partir de la única información que ha sido proporcionada por Macaferri.

### 4.3 TRUMER SCHUTZBAUTEN

TRUMER Schutzbauten es una empresa con gran experiencia en barreras de protección contra riesgos de la naturaleza. Las medidas preventivas en las que se centran son contra:

- Caída de rocas
- Aluviones
- Taludes y rocas
- Deslizamientos superficiales y corrientes de detritos
- Avalanchas



Figura 33. Barrera propuesta por Trumer Schutzbauten (del tipo Debris Catcher) (13)

Como en las empresas anteriores, el estudio se centrará en las soluciones que proponen para la protección contra los deslizamientos superficiales y el flujo de detritos. (13)

A diferencia que en los sistemas de protección contra impacto de rocas, certificados e instalado como sistemas modulares con entrada de diseño mínima parámetros y poco profundos, las barreras de deslizamiento requieren más información específica del sitio. Cada sistema está diseñado basado en información proporcionada por el ingeniero en campo, en



relación con las características físicas del material, la geometría y la naturaleza del material y el emplazamiento.

La evaluación a partir de test en campo en cada sitio es la mejor manera de llegar a una solución técnica correcta y segura.

Los sistemas que proponen pueden llevar o no postes como estructura portante.

Los sistemas que abarcan aproximadamente 12 m, se pueden construir sin el uso de postes, sin embargo, los sistemas más amplios requieren de postes tipo viga estándar o postes reforzados con cimientos de hormigón. Con o sin postes, los sistemas de flujo de escombros por Trumer son simples y rápidos de instalar.

Están diseñados para usar la menor cantidad de componentes posible para ayudar a la instalación y al posterior mantenimiento tras la ocurrencia de algún evento.

Los postes usados por Trumer son propuestos y únicamente usados para sus sistemas. Son el Lambda- Marco que elimina la necesidad de usar cuerdas de retención aguas arriba, mientras que al mismo tiempo proporciona un soporte muy robusto a la red. Reduciendo la altura neta durante un evento y la alargamiento del sistema. Otro gran beneficio es que el sistema se puede instalar en sitios no confinados topográficamente.

Se presta especial atención a la conexión puntos entre componentes móviles para asegurarse de que sean robustas y funcionales. Incluyen las conexiones de los cable portantes con los anclajes, que suelen ser fabricados con Esto incluye conexiones de cable de rodamiento a los anclajes que siempre se hacen con materiales de alta resistencia y grilletes para pivotar puntos en los postes que usan pines de gran tamaño.

Todos los componentes de acero son sumergidos en caliente.

Los cables y alambres son galvanizados con Zn-Al, siendo siempre galvanización en la clase más alta.

Para ayudar a disipar la energía durante la carga dinámica de la Se utilizan sistemas de frenos especiales que deforman plásticamente. Los elementos de freno se localizan en los puntos de anclaje y en el perímetro del sistema para facilitar su instalación y mantenimiento. Se pueden usar una gran variedad de sistemas de anclaje incluyendo anclajes de barra estándar, anclajes de cable o ancla bases de bloques. Estos puntos de conexión también pueden equiparse con equipos de vigilancia o gatillos para alarmas.



Figura 34. Conexión usando anclajes de acero de alta resistencia y dedales de acero para facilitar la instalación y el mantenimiento (13)



Figura 35. Placa base para donde se anclan los postes de forma articulada, conectada a la cimentación mediante tornillos (13)



Figura 36. Cimentación de hormigón que se emplea para anclar los cables de apoyo, en los emplazamientos donde no hay lecho de roca (13)

El posterior análisis comparativo entre las especificaciones de diferentes barreras incluirá tres soluciones propuestas por Trumer:

- Debris Catcher

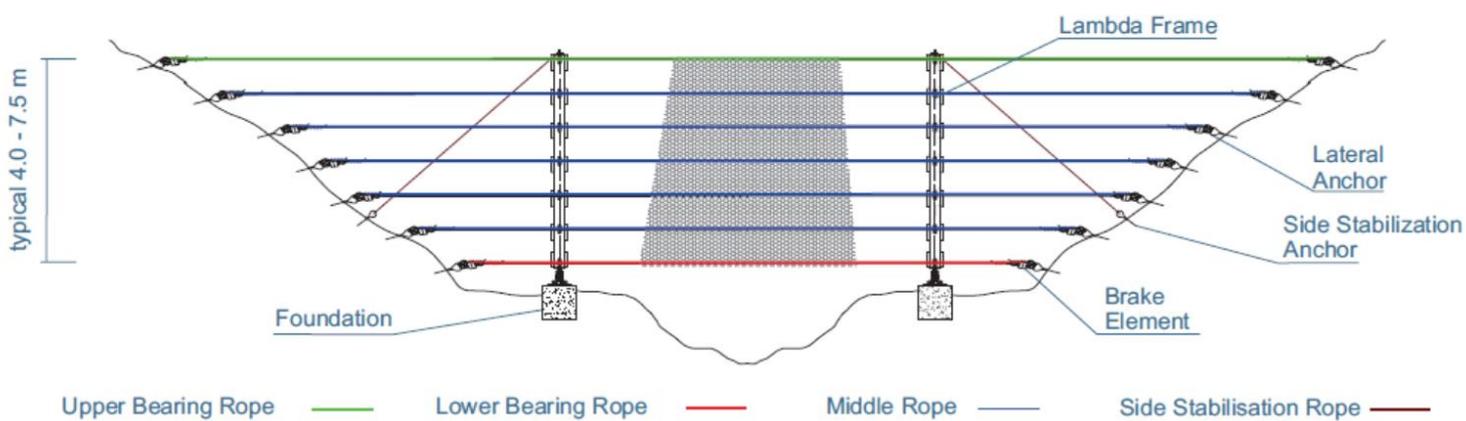


Figura 37. Esquema en alzado de la barrera Debris Catcher de Trumer (14)

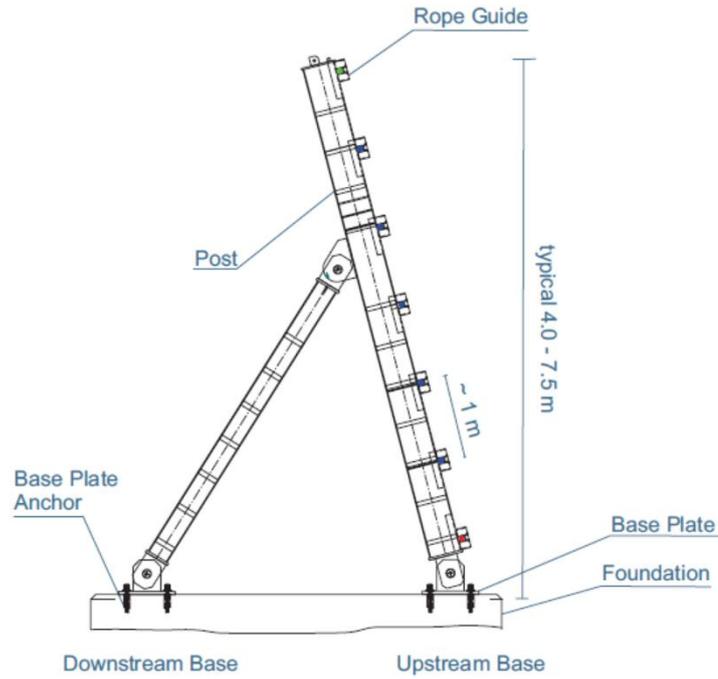


Figura 38. Típica sección de una barrera Debris Catcher de Trumer(14)

- Gully Net

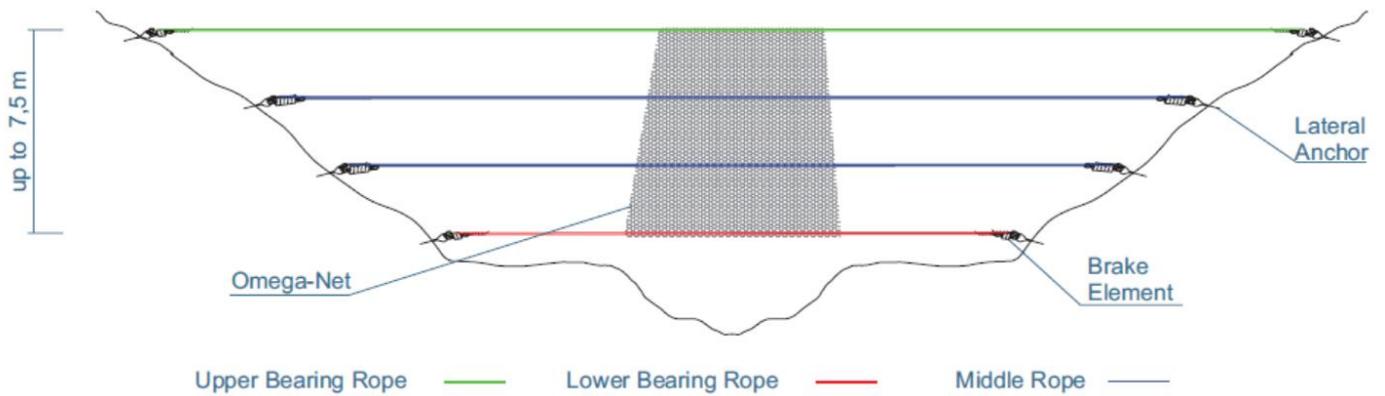


Figura 39. Esquema en alzado barrera Gully Net de Trumer (15)

- TS-HM-150-ZD

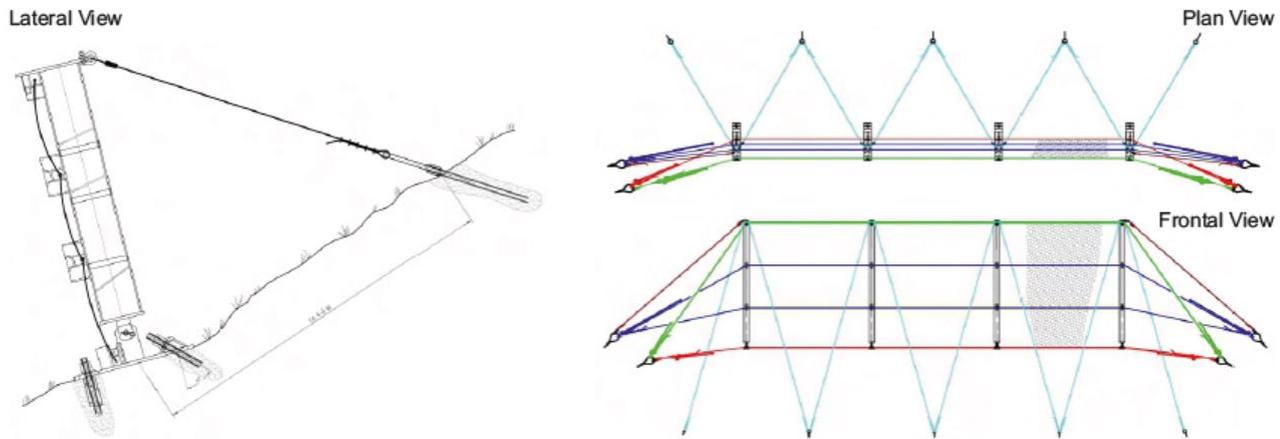


Figura 40. Esquema de la barrera TS-HM-1150-ZD de Trumer (16)

#### 4.4 PFEIFER ISOFER

PFEIFER ISOFER AG es una empresa especialista en productos de protección contra caídas de rocas desde hace décadas. La compañía, que fue fundada en 1956 y tiene su sede en Knonau, Suiza. Además de una amplia gama de productos de sistemas de protección contra desprendimientos de rocas, avalanchas y flujos de lodo, la compañía suiza distribuye otros productos de la gama PFEIFER, que abarca desde cables de grúa, cables industriales y dispositivos de elevación hasta equipos de protección y un servicio de inspección móvil para dispositivos de sujeción y equipos de amarre de carga. Además, PFEIFER ISOFER es el agente general en Suiza para las cadenas de protección de nieve y llantas de la marca Pewag.

En primer lugar desarrollaron soluciones para la protección contra el desprendimiento de rocas. Las barreras de caída de rocas de Isostop se han empleado en numerosos desprendimientos de tierras y han demostrado de manera positiva la protección que ofrecen contra los taludes. PFEIFER ISOFER desarrolló posteriormente un sistema para la protección contra el flujo de detritos, que fue probada con éxito en una prueba a escala 1: 1 en el verano de 2012. El sistema Debris Stop 200-HM consiste en una serie de pilares HE montados con bisagras que se apoyan en las cuerdas de retención, los elementos de freno, las cuerdas portantes superior e inferior y una red conocida como FLEXNET. Los frenos en las cuerdas



portantes y los cabezales de los postes aseguran que la energía se disipe según sea necesario. Las cargas pueden ser transferidas al suelo por las diferentes opciones de productos de anclaje. A una altura de 3,5 m, el sistema puede soportar una presión de hasta 200 kN/ m<sup>2</sup>, por lo que este sistema de diseño compacto es claramente superior a las medidas de protección convencionales. (17).

#### 4.4.1 Componentes de las redes de PFEIFER ISOFER:

- **FLEXNET (elemento patentado por PFEIFER ISOFER).** Las nuevas FLEXNET se caracterizan por una alta absorción de energía y también por una gran flexibilidad. Impactado por el flujo de escombros, FlexNet drena el material de escombros y minimiza la carga en el sistema. Sus especificaciones se analizarán en la tabla comparativa.
- **Elemento de rotura (elemento patentado por PFEIFER ISOFER).** El elemento clave del sistema de Stop Debris es el elemento de freno con curso de fuerza lineal a lo largo de toda la trayectoria del freno. Su construcción simple y su bajo peso permiten un fácil manejo.
- **Anclaje de la red.** Para el correcto deslizamiento de la red, con protección en los cables de soporte, y una instalación más rápida, la red de la barrera se fija mediante grilletes. Cuando es necesario llevar a cabo tareas de mantenimiento, las secciones de red se pueden abrir fácilmente y el sistema se puede descargar.
- **Postes y placa base.** Los perfiles se utilizan en el diseño de la serie Debris Stop. Por lo tanto, el peso del transporte y la instalación es comparativamente bajo, lo que es un beneficio especial para la instalación de helicópteros.
- **Anclajes.** Para anclar el sistema se ofrecen varios tipos de anclajes: anclajes de cable en espiral, placa de arco para varillas de anclaje y anclaje de oreja para varillas de anclaje.
- **Transporte y embalaje de la red.** La red Debris FLEXNET se puede plegar fácilmente durante la producción, por lo que el espacio para el transporte y el almacenamiento se reduce enormemente.

#### 4.4.2 Test en campo llevado a cabo por PFEIFER ISOFER

El sistema Debris Stop 200-HM ha demostrado su capacidad contra deslizamientos de tierra poco profundos a partir de experimentos. Un total de 50 m<sup>3</sup> de material de flujo de escombros con una densidad de aproximadamente se vertieron 1.900 kg / m<sup>3</sup> en un tobogán con una longitud de 55 m. El sistema de prueba se construyó en una pendiente pronunciada (en exceso de 40 °) con el objetivo de lograr una velocidad similar a la de los flujos de escombros (10 m/s). Otra característica típica de los flujos de escombros es la liberación repentina de la masa deslizante. Para abrir las escotillas del contenedor al mismo tiempo, las cuerdas que las mantenían en su lugar se cortaron en detonaciones controladas y el material se soltó repentinamente. Se recopilaron un total de 10 celdas de carga con una tasa de muestreo de 1,200 mediciones por segundo. Se instalaron dos cámaras de alta velocidad en las posiciones frontal y lateral para que el proceso de llenado se pudiera monitorear lo más cerca posible.



Figura 41. Emplazamiento del test en campo llevado a cabo por PFEIFER ISOFER:  
 barrera Debris Stop 200-HM (17)



## 5 ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LAS ESPECIFICACIONES DE DIFERENTES BARRERAS Y EMPRESAS

En la tabla adjunta en el anejo 1, se recogen las especificaciones de algunas de las barreras de las cuatro empresas que han sido comentadas anteriormente.

Para encontrar especificaciones sobre ellas, ha sido necesario realizar un proceso de búsqueda de información exhaustivo. La mayoría de las empresas partícipes en este mercado, no ofrecen las especificaciones para evitar comparaciones y copias. A pesar de estas dificultades, se han seleccionado finalmente 17 equipos, algunos con más y otros con menos información.

En el caso de Geobruigg, la mayoría de los datos son conocidos. Son redes de acero de alta resistencia, con pesos variables entre 5,2 y 11,4 kg/m<sup>2</sup> en función del tipo de red ROCCO que se emplee. En comparación con las pantallas de Trumer, los equipos de Trumer tienen mayor altura en la mayoría de los casos, y, para prácticamente el mismo rango de pesos (5,6 y 10,5 kg/m<sup>2</sup>), mayores resistencias a tracción y mayores presiones de impacto. Estas características hacen que estén en ventaja, sobre las de Geobruigg.

El rango de pesos de todas la barreras está entre 5,6 y 11,4 kg/m<sup>2</sup>.

El peso y la resistencia son dos de los parámetros más importantes para hacer comparaciones. Si el sistema tiene menor peso, es más fácil de instalar y conlleva el uso de menor cantidad de material. Además siempre se busca que los equipos tengan las mayores resistencias posibles. Por eso un sistema se convierte en competitivo cuando con pesos menores, consigue resistencias mayores.

La pantalla más alta es la Gully Net propuesta por Trumer con una altura de más de 7,5 m y la mínima en las pantallas de Geobruigg de 2m.

Es común de casi todos los equipos la utilización de recubrimientos de zinc y aluminio para proteger y asegurar la resistencia de los elementos de acero, tanto cables como redes, etc.

La pantalla Isofer Debris Stop 200-HM acepta una gran presión de impacto (200 kN/m<sup>2</sup>), pero el peso de la red no ha sido posible conocerlo, por lo tanto no se puede hacer una comparación completa.

Todas las presiones de impacto oscilan entre 60 y algo más de 275 kN/m<sup>2</sup>, valor alcanzado por las barreras de TS-HM-1150-ZD de Trumer.



Maccaferri no tiene disponibles las especificaciones en la página web, ofreciéndolas directamente a los clientes, en función de cada proyecto. Es necesario comentar que a pesar de haber intentado entrar en contacto con ellos, ha sido imposible la obtención de más datos de los incluidos en la tabla, que fueron encontrados en la página web propia de Estados Unidos.

El precio de los diferentes equipos sería un dato fundamental para completar este estudio, con el que compararlos, sin embargo, no se han encontrado datos de ninguna empresa, sobre precios exactos, o al menos alguna estimación básica.

## 6 ANÁLISIS DAFO DE PANTALLAS DE PROTECCIÓN CONTRA DETRITOS

### 6.1 INTRODUCCIÓN A LOS ANÁLISIS DAFO

El análisis DAFO, también llamado análisis FODA, es una herramienta de estudio de la situación de una empresa, institución, proyecto o persona en un momento determinado, analizando las características internas y externas del entorno en el que se desarrollan, para mejorar su rentabilidad, funcionamiento y posicionamiento. (Referencias 20 y 21)

Las características internas se refieren a las Debilidades y Fortalezas, mientras que las externas se refieren a las Amenazas y Oportunidades.

Permite diseñar la estrategia en la que se basará la empresa, institución, proyecto o persona para afrontar su futuro tanto a corto, como a medio y largo plazo.

Es una técnica que fue originalmente propuesta por Albert S. Humprey durante los años sesenta y setenta en Estados Unidos. Tenía como objetivo descubrir por qué fallaba la planificación corporativa, y resultó en una revolución en el campo de la estrategia empresarial.

Ayuda principalmente a tomar decisiones frente a:

- La búsqueda nuevas soluciones a problemas.
- La identificación de obstáculos que impidan alcanzar objetivos.
- La decisión de qué dirección es adecuada para seguir.
- La indicación de las posibilidades y limitaciones de cambiar algo.

### ANÁLISIS INTERNO



El estudio interno se centra en encontrar debilidades y fortalezas de lo que se está estudiando. El primer grupo para intentar mejorarlas y el segundo grupo para impulsarlas y mantenerlas.

Es necesario analizar la situación actual propia y la situación actual de los competidores para ver en que se es inferior y en que se es superior.

- Debilidades: son los aspectos limitadores de la capacidad de desarrollo de un negocio, empresa, etc.
- Fortalezas: es el conjunto de recursos internos, posesiones y ventajas competitivas de un negocio, empresa, etc.

### ANÁLISIS EXTERNO

El análisis externo es el que se refiere al entorno o a la competencia. Incluye aspectos que no dependen directamente de la empresa o de lo analizado. Son aspectos muy reveladores e importantes a la hora de definir estrategias para disminuir las amenazas a las que se enfrenta, y aprovechar las oportunidades que se le ofrecen.

- Amenazas: son los factores externos que pueden dificultar los objetivos que se deben cumplir.
- Oportunidades: son los factores externos que pueden otorgar al sistema de una ventaja competitiva sobre el resto de sistemas del mismo tipo.

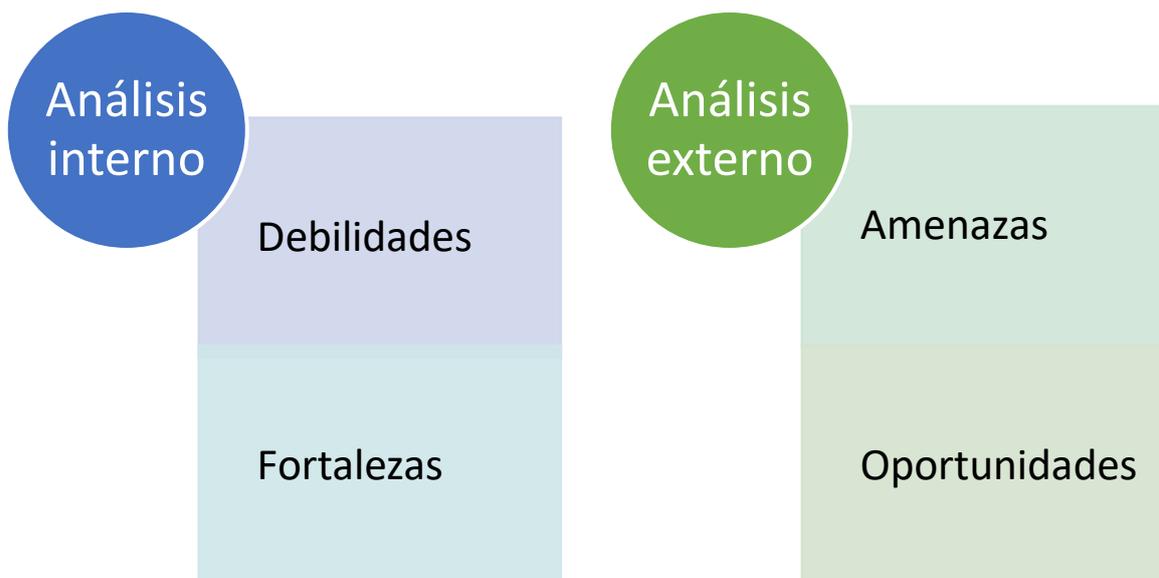


Figura 42. Partes esenciales de un análisis DAFO



Existen diferentes tipos de DAFOS en función de cual sea el objeto de estudio, pero en este estudio, vamos a centrarnos en el análisis DAFO de las barreras de protección contra detritos.

## 6.2 ANÁLISIS DAFO DE PANTALLAS DE PROTECCIÓN CONTRA EL FLUJO DE DETRITOS

A partir del estudio que se ha llevado a cabo sobre las barreras de protección contra el flujo de detritos, se plantea una tabla con las diferentes debilidades, fortalezas, amenazas y oportunidades que estos sistemas tienen.

### 6.2.1 Debilidades

- Son sistemas que se implantan en montañas y laderas. Por lo tanto, su instalación conlleva trabajar en lugares poco accesibles, provocando un aumento en el coste y una disminución en la seguridad de los trabajadores. Normalmente no se puede acceder con maquinaria muy grande y pesada, provocando la necesidad de tener que buscar otros medios de transporte para la movilización de los componentes y herramientas necesarias para su colocación.
- Los trabajadores suelen trabajar en situaciones de riesgo debido a que han de montar las redes de forma manual. Utilizar todo tipo de equipos que aseguren su seguridad (cascos, arneses, protecciones, etc.).
- Muchas veces la climatología durante el proceso de instalación y sobre todo durante el proceso de vaciado, es adversa. Son lugares donde se producen precipitaciones y eventos de avenidas de agua de forma más o menos frecuente.
- Existe el riesgo de desprendimiento durante el período de instalación, pudiendo producir la pérdida de los materiales ya trasladados e instalados, o poniendo en riesgo la seguridad de los trabajadores.
- Debido a los riesgos que existen, es necesario que los trabajadores estén altamente cualificados y conozcan con detalle los sistemas y los riesgos a los que se exponen. Deben tener extensos conocimientos sobre el tipo de sistema que están instalado y saber tomar decisiones en momentos críticos.
- La necesidad de un control continuo del estado de las redes, para asegurar su correcto funcionamiento. Una vez instaladas, deberá ser comprobado cada poco tiempo que sus elementos siguen funcionando correctamente. Se debe prestar especial atención cuando se han producido eventos de flujo de detritos y comprobar si es necesario



llevar a cabo la sustitución de algunos de los elementos, de toda la red o únicamente proceder al vaciado de la red.

- Cada sistema es distinto basado en las condiciones particulares de cada situación (naturaleza del material de los eventos, características del suelo de colocación, pendiente del terreno, ancho del valle, cantidad de energía que es necesario disipar, etc.), por lo que no hay un sistema aplicable a todas las situaciones.
- Impacto visual del paisaje. Suelen ser sistemas bastante visibles, que aunque no afectan de forma muy negativa al medio ambiente si afectan en la vista del paisaje.

### 6.2.2 Fortalezas

- Los elementos que constituyen las barreras son altamente duraderos. Están compuestos por acero de alta resistencia en muchos casos y materiales de buena calidad, que soportan situaciones extremas de carga, de humedad (debido al agua que traspasa las redes) y de climas adversos.
- Tienen un impacto medioambiental muy bajo, mucho menor que el de los sistemas convencionales, que conllevan la construcción de estructuras de hormigón, de fábrica, de mampostería, de gaviones o arenas y tierras. Al estar compuestas por elementos de acero, y ser de poco tamaño no requieren de eliminación de terrenos por excavaciones, encofrados y hormigonados.
- Acorde al menor impacto ambiental, deriva una menor invasión de la pendiente natural. Se instalan los elementos de protección en ella, pero en ningún momento se modifican las condiciones en las que se encuentra la pendiente del terreno.
- La instalación es muy rápida. Son elementos que tienen un orden de instalación programado y de poca dificultad. Se instala con un mínimo de materiales y esfuerzo.
- Diseño simple, funcional y flexible. Está formado por elementos muy flexibles con respecto a la adaptación a la topografía y también cuando están trabajando. Sus elementos se deforman de forma elástica y plástica, adaptándose a diferentes situaciones de carga y disipando grandes cantidades de energía.
- A pesar de tener que estar comprobando su estado de forma continua, son muy sencillas de mantener, de reemplazar y de arreglar. Además su vaciado es muy sencillo.
- Son sistemas que están protegidos contra la corrosión y por lo tanto trabajan bien en ambientes húmedos y cuando son mojados por las corrientes de agua y derrubios.



- Una de las principales fortalezas de las redes es la capacidad para filtrar la materia sólida dejando pasar el agua, pudiendo esta continuar su flujo natural.
- Se han desarrollado ensayos para probar los elementos de los equipos de protección.
- A partir de la repetición de ensayos en campo, se han creado modelos matemáticos y herramientas informáticas que usan análisis numéricos, para el correcto dimensionamiento para cada caso.
- No suponen un gran obstáculo para animales, puesto que solo se modifica el perfil donde se encuentra la red, pero no la parte anterior ni la posterior.
- 

### 6.2.3 Amenazas

- La aparición de materiales nuevos como fibras de carbono o fibras de vidrio, que a base de investigación podrían acabar sustituyendo las soluciones de acero actuales.
- El vandalismo. El robo de los materiales que componen las redes y los elementos disipadores de energía. El acero tiene valor económico y aunque normalmente los sistemas se implantan en zonas poco accesibles, aquellos equipos que sean accesibles corren el riesgo de ser desmontados o al menos ser desvalijados.
- Falta de normativa de ensayo armonizada. Cada sistema es la solución para un problema determinado, y cada empresa propone una solución distinta, en base a unos mismos elementos, que forman el equipo. Sin embargo, no existe una normativa de ensayo que explique realmente cómo actuar en cada momento.
- Diferencia entre la normativa de países distintos. Cada país tiene unas exigencias diferentes, y por lo tanto se plantean dificultades para que empresas de unos países tengan poder de aplicación de sus soluciones en países extranjeros. En Europa están normalizados algunos sistemas, pero fuera de este continente, no existe una normativa general.
- Entrada de competencia desleal con baja formación y con soluciones menos seguras. Además, en muchos casos, la empresa fabricante no es la misma que la empresa de montaje de la red en campo. Esto puede llevar a que un buen producto, no trabaje como estaba pensado debido al mal montaje. Los fabricantes han de asegurarse de que la empresa de montaje que contraten tenga experiencia y conocimiento.
- Falta de personal cualificado, por disminución del interés de trabajo en sitios poco accesibles y con alto riesgo para los trabajadores.



- Los lugares donde se necesita la instalación de pantallas, muchas veces son países que actualmente se consideran economías emergentes, y por lo tanto no tienen dinero público para emplearlo en estos sistemas. Podrían ser lugares en los que las empresas tuvieran buen negocio, y capacidad de desarrollo de nuevas soluciones para las diferentes situaciones.

-

#### 6.2.4 Oportunidades

- Hay pocas empresas en el mercado que ofrezcan soluciones de protección contra las corrientes de detritos, por lo tanto la competencia entre unas y otras es baja.
- La concienciación por el impacto al paisaje cada vez es mayor, y estas soluciones son una manera de provocar el mínimo impacto posible.
- Aumento de la investigación para realizar mejoras en los sistemas actuales y creación de nuevos métodos de programación, análisis numéricos, y formas de diseño y dimensionamiento de las redes. El continuo desarrollo tecnológico en el que vivimos actualmente apoya la creación de formas de mejora.
- El alcance de las empresas en los clientes es mayor, puesto que se apoyan en páginas web para darse a conocer y dar a conocer las especificaciones de las soluciones que propone. Para el cliente es más sencillo acceder a ellas.
- Son sistemas que suelen satisfacer las necesidades de los clientes, y por lo tanto aumentan la credibilidad de las empresas que los proponen, investigan e instalan.
- Las empresas que se dedican a diseñar pantallas de protección contra detritos también suelen dedicarse a crear sistemas de protección contra otros problemas relacionados con la estabilidad del suelo, la caída de rocas, avalanchas de nieve, etc. Esto hace de ellas que sean empresas de gran alcance con grandes oportunidades de crecimiento económico y tecnológico.
- El cambio climático deriva en un aumento del número de precipitaciones. Las precipitaciones son una de las causas más importantes para el desencadenamiento de flujos de detritos, por lo tanto a mayor número de precipitaciones intensas, mayor será la necesidad de los sistemas de protección y mayor será la demanda a empresas.

#### 6.2.5 Cuadro resumen



	<b>ANÁLISIS INTERNO</b>	<b>ANÁLISIS EXTERNO</b>
<b>POSITIVO</b>	<p style="text-align: center;"><b><u>FORTALEZAS</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Elementos altamente duraderos</li> <li>2. Bajo impacto medioambiental</li> <li>3. No se modifica la pendiente del terreno</li> <li>4. Instalación rápida</li> <li>5. Elementos flexibles que disipan altas cantidades de energía</li> <li>6. Facilidad de mantenimiento y reemplazamiento de piezas</li> <li>7. Resistentes frente a la corrosión</li> <li>8. Elementos filtrantes: dejan pasar el agua reteniendo únicamente el material</li> <li>9. Existencia de ensayos para probar las redes</li> <li>10. Modelos matemáticos y herramientas informáticas</li> <li>11. Poca afección al hábitat de los animales</li> </ol>	<p style="text-align: center;"><b><u>OPORTUNIDADES</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pocas empresas en el mercado</li> <li>2. Cada vez mayor concienciación sobre el impacto en el paisaje</li> <li>3. Apoyo a la investigación y continuo desarrollo tecnológico</li> <li>4. Facilidad de búsqueda y contacto a través de las páginas web</li> <li>5. Satisfacción de las necesidades de los clientes</li> <li>6. Oportunidades de crecimiento económico y tecnológico para las empresas</li> <li>7. Cambio climático y aumento del número de precipitaciones intensas</li> </ol>
<b>NEGATIVO</b>	<p style="text-align: center;"><b><u>DEBILIDADES</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Zonas de difícil acceso</li> <li>2. Dificultad en el transporte de los elementos constituyentes</li> <li>3. Situaciones que ponen en riesgo la seguridad de los trabajadores.</li> <li>4. Climatología adversa</li> <li>5. Riesgo de desprendimientos</li> <li>6. Alta cualificación de los trabajadores</li> <li>7. Control continuo del estado de las redes</li> <li>8. Diseños específicos para cada emplazamiento</li> <li>9. Impacto visual en el paisaje</li> <li>10. Falta de información sobre su coste</li> </ol>	<p style="text-align: center;"><b><u>AMENAZAS</u></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Aparición de materiales nuevos, que sustituyen los originales</li> <li>2. El vandalismo</li> <li>3. Falta de normativa de ensayo armonizada</li> <li>4. Diferencia entre la normativa de países distintos</li> <li>5. Entrada de competencia desleal con baja formación: diferencia entre empresas fabricantes y empresas de montaje</li> <li>6. Falta de personal cualificado</li> <li>7. Lugares de instalación con en proceso de desarrollo</li> </ol>



## 7 CONCLUSIONES

El objetivo del presente trabajo era la evaluación y el análisis de sistemas de protección contra detritos. Una vez realizado el estudio sobre que son los detritos, la clasificación de las corrientes de detritos que se pueden producir y los dos grandes grupos que existen como solución al problema (estructurales y no estructurales), se ha centrado el estudio en las no estructurales por ser a las que se suele acudir para controlar las avenidas de derrubios y las más importantes actualmente.

Se denominan grupos no estructurales o flexibles porque en vez de estar formados por una estructura rígida de hormigón, suelen estar compuestas de una red de acero que puede deformarse con más facilidad para disipar la energía de impacto con la que llegan las corriente.

A su vez, las medidas flexibles se agrupan en dos tipos de equipos, en función de las características del lugar de emplazamiento. En caso de valles abiertos, equipos de protección contra deslizamientos superficiales y flujos de detritos en ladera abierta; y en caso de valles más cerrados en forma de V, equipos de protección contra flujos de detritos.

Todos los equipos comparten una serie de elementos comunes y algunos específicos como pueden ser los postes (en caso de valles abiertos), que han de ser dimensionados en función del lugar de colocación y la cantidad de carga y detritos que van a tener que soportar. A pesar de este parecido, no existe todavía una normativa de obligado cumplimiento para todos los sistemas. Esto hace de ellos, sistemas difíciles de estudiar y comparar. Además, las empresas tienen por lo tanto libertad en su diseño y en mostrar o no las especificaciones de los equipos que proponen. En muchos casos, como es el de Maccaferri no ofrecen prácticamente información.

Por el contrario, otras las tres empresas que han sido seleccionadas y analizadas en el estudio, han permitido que se puedan comparar

Trumer propone las barreras con mejor relación peso/resistencia a tracción, que como ya se ha visto son dos de las características fundamentales. Geobrug ha creado sistemas avanzados de cálculo y se considera una empresa líder por las aportaciones que ha hecho a los sistemas de diseño, a los diseños propiamente y al uso de materiales. Geobrug tiene los tipos de barreras bien clasificados en función del tipo de localización donde se vaya a instalar y para cada tipo, varias dimensiones distintas.



Como ya se ha explicado anteriormente en durante el estudio realizado en el trabajo no se ha podido acceder a información sobre el coste de estas barreras, únicamente se puede afirmar que las medidas flexibles son más económicas que las medidas estructurales de mitigación de flujos contra detritos.

El análisis DAFO realizado lleva a concluir que las redes son equipos con muchas ventajas frente a los sistemas estructurales, aunque existen ciertos aspectos que deberían de mejorarse y tenerse en cuenta.

Algunas de las ventajas más determinantes son el bajo impacto ambiental que producen, la capacidad de filtrar el material dejando pasar el agua, disminuyendo así la presión que se ejerce sobre el sistema y la alta capacidad de disipación de energía de los elementos que las componen.

Por el contrario las desventajas más relevantes son la falta de normativa de debido cumplimiento que hace de ellas sistemas muy variables, y algo menos seguros, la poca accesibilidad de los lugares donde se instalan y la deslealtad de las empresas de montaje hacia las empresas de fabricación, que pueden crear un buen producto pero si no es bien instalado, puede no cumplir con los requisitos a los que se le expone.

Se pueden proponer algunas ideas de mejora como son:

- Instalación de cámaras que eviten tener que ir al lugar donde está colocada la red, para revisar y comprobar su estado. Como son equipos que necesitan revisado continuado, se podría llevar a cabo la labor sin que haya que acceder hasta el emplazamiento, reduciendo tiempo y costes de mantenimiento. Cuando se vea que la barrera ha sufrido tras algún impacto o algún evento, ya se accede al lugar.
- Intentar crear una norma de debido cumplimiento entre las empresas del sector en los diferentes países.
- Proteger mediante algún sistema de atadura los elementos de acero para evitar que sean robados, puesto que son de alto coste.
- Comprobar siempre y asegurar la seguridad de los trabajadores que instalan la red. Usar cascos, arneses, etc., en caso de que sea necesario.

Para concluir, son sistemas muy efectivos, porque realizan bien la labor que se les encomienda, por lo tanto, un impulso en la investigación para mejorar los puntos débiles vendría bien y un apoyo a las empresas que se dedican a ello.



## 8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Nettleton, I.M., Martin, S., Hencher S., Moore R. (2005) *SCOTISH ROAD NETWORK LANDSLIDES STUDY, DEBRIS FLOW TYPES AND MECHANISMS*
2. Luis Fonseca, R. (2010) *APLICACIÓN DE MEMBRANAS FLEXIBLES PARA LA PREVENCIÓN DE RIESGOS NATURALES*, Capítulo 3: Protección contra corrientes de derrubios, Geobrugg Ibérica, S.A., Madrid.
3. Luis Fonseca, R., Raïmat Quintana, C., Wartmann, S., Laguna Megal, L.M. (2010) *APLICACIÓN DE MEMBRANAS FLEXIBLES PARA LA PREVENCIÓN DE RIESGOS NATURALES*, Capítulo 13: Sistemas flexibles de protección contra torrentes de detritos, Geobrugg Ibérica, S.A., Madrid.
4. EOTA: EUROPEAN ASSESMENT DOCUMENT- *FLEXIBLE KITS FOR RETAINING DEBRIS FLOWS AND SHALLOW LANDSLIDES/OPEN HILL DEBRIS FLOWS* (2016)
5. Volkwein, A. (2014) *FLEXIBLE DEBRIS FLOW BARRIERS, DESIGN AND APPLICATION*, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research WSL, CH-8903, Birmensdorf.
6. Geobrugg. *BARRERAS DE REDES DE ANILLOS DE ALTA RESISTENCIA. LA SOLUCIÓN MÁS ECONÓMICA CONTRA LOS FLUJOS DE DETRITOS.*
7. Geobrugg. *BARRERAS FLEXIBLES DE ANILLOS PARA RETENCIÓN DE FLUJOS DE DETRITOS: LA SOLUCIÓN ECONÓMICA.*
8. Geobrugg. *ANCLAJE DE CABLE ESPIROIDAL Y CABEZAL FLEX. ANCLAJES FIABLES, FLEXIBLES Y RESISTENTES A LA ROTURA.*



9. Roth, A., Denk, M., Wendeler, C., Luis Fonseca, R. (2010) *APLICACIÓN DE MEMBRANAS FLEXIBLES PARA LA PREVENCIÓN DE RIESGOS NATURALES*, Capítulo 14: Metodología para la instalación de los sistemas de Geobrug VX/UX para la protección contra corrientes de derrubios, Geobrug Ibérica, S.A., Madrid.
10. Corinna Wendeler, MSc. (2010) *SOFTWARE MANUAL FOR DEBFLOW*, Geobrug, Suiza.
11. Maccaferri Iberia. *BARRERAS PARA FLUJOS DE DERRUBIOS*. Maccaferri Iberia, sin fecha [consulta: 13 junio 2019].  
Disponible en: <https://www.maccaferri.com/es/soluciones/barreras-para-flujos-de-derrubios/>
12. Maccaferri Iberia. *BARRERAS FLUJO DE ESCOMBROS*. Maccaferri Iberia, sin fecha [consulta: 13 junio 2019]  
Disponible en: <https://www.maccaferri.com/es/productos/barreras-flujo-de-escombros/>
13. Trumer Schutzbauten. *DEBRIS FLOW AND SHALLOW LANDSLIDE MITIGATION*.
14. Trumer Schutzbauten (2014) *DEBRIS FLOW PROTECTION SYSTEM Debris Catcher*, Vancouver (Canada).
15. Trumer Schutzbauten (2014) *DEBRIS FLOW PROTECTION SYSTEM Gully Net-Data Sheet*, Vancouver (Canada).
16. Trumer Schutzbauten (2014) *SHALLOW LANDSLIDE PROTECTION SYSTEM TS-HM-150-ZD-Data Sheet*, Austria.
17. Pfeifer Isofer. *DEBRIS STOP 200-HM PROTECTION BARRIER AGAINST SPONTANEOUS SHALLOW LANDSLIDES*.
18. Geobrug. *DATOS TÉCNICOS. Red de anillos de acero 7/3/300 12/3/300 16/3/300 19/3/3000*



19. Maccaferri-USA (2014) *TECHNICAL DATA SHEET. AC.RO. SYSTEM- DEBRIS FLOW BARRIER.*
20. Dirección general de industria y de la pequeña y mediana empresa. *HERRAMIENTA DAFO.* Ministerio de Industria, comercio y turismo, Gobierno de España, sin fecha [consulta: 13 junio 2019].  
Disponible en: <https://dafo.ipyme.org/>
21. Martin, J. *CLAVE PARA HACER UN BUEN ANÁLISIS DAFO (O FODA).* Universidad Complutense de Madrid, Madrid, 10 junio 2019 [consulta: 13 de junio 2019] Disponible en: <https://www.cerem.es/blog/claves-para-hacer-un-buen-dafo-o-foda>

## 8.1 REFERENCIAS DE IMÁGENES EXTERNAS DE LOS DOCUMENTOS:

F1:

Fuente: [https://www.google.com/url?sa=i&source=imgres&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiYuliVz\\_biAhXnxoUKHRExAgwQjRx6BAGBEAQ&url=http%3A%2F%2Frepoitorio.uchile.cl%2Fbitstream%2Fhandle%2F2250%2F152982%2FMetodolog%25C3%25ADa-para-evaluar-la-amenaza-de-flujos-de-detritos-utilizando-un-an%25C3%25A1lisis-jer%25C3%25A1rquico-de-procesos-y-el-software.pdf%3Fsequence%3D1%26isAllowed%3Dy&psig=AOvVaw2X7Xxe17eLsk9Vs25r6g8-&ust=1561070564181147](https://www.google.com/url?sa=i&source=imgres&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiYuliVz_biAhXnxoUKHRExAgwQjRx6BAGBEAQ&url=http%3A%2F%2Frepoitorio.uchile.cl%2Fbitstream%2Fhandle%2F2250%2F152982%2FMetodolog%25C3%25ADa-para-evaluar-la-amenaza-de-flujos-de-detritos-utilizando-un-an%25C3%25A1lisis-jer%25C3%25A1rquico-de-procesos-y-el-software.pdf%3Fsequence%3D1%26isAllowed%3Dy&psig=AOvVaw2X7Xxe17eLsk9Vs25r6g8-&ust=1561070564181147)

F2:

Fuente: <https://diquesdegavion.files.wordpress.com/2014/08/dique-532.jpg>

F3:

Fuente: <https://diquesdegavion.files.wordpress.com/2014/08/oct-0401.jpg>

F4:

Fuente: <https://www.google.com/url?sa=i&source=images&cd=&ved=2ahUKEwjIhsG6qcHiAhUGnhQKHeSdDNMQjRx6BAGBEAU&url=http%3A%2F%2Fwww.archiexpo.com%2Fprod%2Fgeobrugg-ag%2Fproduct-67543-433586.html&psig=AOvVaw2SEOnliyRZEBkDBpa2a8vY&ust=1559239362298890>

F5:

Fuente: <https://ferreteriavidri.com/images/items/large/7271.jpg>

F6:

Fuente: [http://www.leroymerlin.es/img/r25/42/4210/421001/estribo/18610053\\_z1.jpg](http://www.leroymerlin.es/img/r25/42/4210/421001/estribo/18610053_z1.jpg)



ANEJO 1  
 TABLA DE ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LAS ESPECIFICACIONES DE DIFERENTES BARRERAS Y EMPRESAS



Empresa	Nombre de la barera	Tipo de pantalla	Presión de impacto (kN/m2)	Altura (m)	Ancho (espacio entre postes) (m)	Red						Red Secundaria			Elementos de conexión- Cables				Estructura Soporte			Aprobado			
						Tipo	Material de los anillos (Diámetro del alambre mm)	Diámetro de los cables (mm)	Protección contra la corrosión	Tamaño aproximado (mm*mm)	Peso red (kg/m2)	Resistencia tracción (kN/m)	Tipo	Tamaño (mm*mm)	Diámetro del cable (mm)	Portante Superior	Portante Medio	Portante Inferior	Retención	Lateral	Tipo de poste		Guías de los cables	Placa base	
TRUMER	Debris Catcher	Pantalla de protección contra el flujo de detritos	Más de 150	4-7,5	ilimitado (4-12)	7,5/135	Alambre de acero (3)	7,5	Zn ó 2nAl	135*135	5,6	386	N/A			Diámetro: 24 mm Elemento de rotura: AVT phx	Diámetro: 24 mm Elemento de rotura: AVT phx	Diámetro: 24 mm Elemento de rotura: AVT phx	N/A	N/A	Lambda Frame cada 0,5 m	Integradas	4 anclajes	EOTA	
	Gully net	Pantalla de protección contra el flujo de detritos	Más de 150	Más de 7,5	-	9,0/185	Alambre de acero (3)	9	Zn ó 2nAl	185*185	6,8	465	N/A			Diámetro: 24 mm Break element: AVT phx	Diámetro: 24 mm Break element: AVT phx	Diámetro: 24 mm Break element: AVT phx	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	EOTA	
	TS-HM-150-ZD	Pantalla para deslizamientos superficiales y flujo de detritos en ladera abierta	Más de 275	3,5	15 (3 espacios * 5m/espacio)	9,0/185	Alambre de acero (3)	9	Zn ó 2nAl	180*180	10,5	756	Rectangular netting	60*60	3,1	Cantidad por segmento de red: 2 Diámetro: 24 mm Nº de elementos de rotura por cable: 2 Elemento de rotura: GDVI 45-12-130 120*8-1500	Cantidad por segmento de red: 2 Diámetro: 22 mm Nº de elementos de rotura por cable: 1 Elemento de rotura: GDVI 45-12-130 120*8-3000	Cantidad por segmento de red: 2 Diámetro: 24 mm Nº de elementos de rotura por cable: 2 Elemento de rotura: GDVI 45-12-130 120*8-1500	Diámetro: 24 mm	N/A	HEA 280 cada 0,5 m	Integradas	82*400 mm 3 anclajes	EOTA	
GOMBRUG	VX	VX060-HH	Pantalla de protección contra el flujo de detritos	60	2-4	10	ROCCO 7/3/300	Alambre de acero de alta resistencia (resistencia a tarccción 1770 N/m2 ) (3)	10	Geobrugg Supercosting 95%Zn 5%Al	300	5,2	138	N/A			Cable de acero con DIN 3060/3064	Cable de acero con DIN 3060/3064	Cable de acero con DIN 3060/3064	N/A	N/A	N/A	N/A	EOTA CE TSUS	
		VX080-HH	Pantalla de protección contra el flujo de detritos	80	2-4	15	ROCCO 12/3/300	Alambre de acero de alta resistencia (resistencia a tarccción 1770 N/m2 ) (3)	14	Geobrugg Supercosting 95%Zn 5%Al	300	8,7	276	N/A			Cable de acero con DIN 3060/3064	Cable de acero con DIN 3060/3064	Cable de acero con DIN 3060/3064	N/A	N/A	N/A	N/A	EOTA CE TSUS	
		VX100-HH	Pantalla de protección contra el flujo de detritos	100	5-6	15	ROCCO 16/3/300	Alambre de acero de alta resistencia (resistencia a tarccción 1770 N/m2 ) (3)	15	Geobrugg Supercosting 95%Zn 5%Al	300	11,4	386	N/A			Cable de acero con DIN 3060/3064	Cable de acero con DIN 3060/3064	Cable de acero con DIN 3060/3064	N/A	N/A	N/A	N/A	EOTA CE TSUS	
		VX140-HH	Pantalla de protección contra el flujo de detritos	140	2-4	15	ROCCO 16/3/300	Alambre de acero de alta resistencia (resistencia a tarccción 1770 N/m2 ) (3)	15	Geobrugg Supercosting 95%Zn 5%Al	300	11,4	386	N/A			Cable de acero con DIN 3060/3064	Cable de acero con DIN 3060/3064	Cable de acero con DIN 3060/3064	N/A	N/A	N/A	N/A	EOTA CE TSUS	
		VX160-HH	Pantalla de protección contra el flujo de detritos	160	5-6	15	ROCCO 16/3/300	Alambre de acero de alta resistencia (resistencia a tarccción 1770 N/m2 ) (3)	15	Geobrugg Supercosting 95%Zn 5%Al	300	11,4	386	N/A			Cable de acero con DIN 3060/3064	Cable de acero con DIN 3060/3064	Cable de acero con DIN 3060/3064	N/A	N/A	N/A	N/A	EOTA CE TSUS	
	UX	UX060-HH	Pantalla para deslizamientos superficiales y flujo de detritos en ladera abierta	60	2-4	25	ROCCO 12/3/300	Alambre de acero de alta resistencia (resistencia a tarccción 1770 N/m2 ) (3)	14	Geobrugg Supercosting 95%Zn 5%Al	300	8,7	276	N/A			Cable de acero con DIN 3060/3064	Cable de acero con DIN 3060/3064	Cable de acero con DIN 3060/3064	N/A	N/A	Perfil HEB 160	N/A	N/A	EOTA CE TSUS
		UX100-HH	Pantalla para deslizamientos superficiales y flujo de detritos en ladera abierta	100	2-4	25	ROCCO 12/3/300	Alambre de acero de alta resistencia (resistencia a tarccción 1770 N/m2 ) (3)	14	Geobrugg Supercosting 95%Zn 5%Al	300	8,7	276	N/A			Cable de acero con DIN 3060/3064	Cable de acero con DIN 3060/3064	Cable de acero con DIN 3060/3064	N/A	N/A	Perfil HEB 200	N/A	N/A	EOTA CE TSUS
		UX120-HH	Pantalla para deslizamientos superficiales y flujo de detritos en ladera abierta	120	5-6	24	ROCCO 16/3/300	Alambre de acero de alta resistencia (resistencia a tarccción 1770 N/m2 ) (3)	15	Geobrugg Supercosting 95%Zn 5%Al	300	11,4	386	N/A			Cable de acero con DIN 3060/3064	Cable de acero con DIN 3060/3064	Cable de acero con DIN 3060/3064	N/A	N/A	Perfil HEB 240	N/A	N/A	EOTA CE TSUS
		UX160-HH	Pantalla para deslizamientos superficiales y flujo de detritos en ladera abierta	160	2-4	25	ROCCO 16/3/300	Alambre de acero de alta resistencia (resistencia a tarccción 1770 N/m2 ) (3)	15	Geobrugg Supercosting 95%Zn 5%Al	300	11,4	386	N/A			Cable de acero con DIN 3060/3064	Cable de acero con DIN 3060/3064	Cable de acero con DIN 3060/3064	N/A	N/A	Perfil HEB 220	N/A	N/A	EOTA CE TSUS
		UX180-HH	Pantalla para deslizamientos superficiales y flujo de detritos en ladera abierta	180	5-6	24	ROCCO 16/3/300	Alambre de acero de alta resistencia (resistencia a tarccción 1770 N/m2 ) (3)	15	Geobrugg Supercosting 95%Zn 5%Al	300	11,4	386	N/A			Cable de acero con DIN 3060/3064	Cable de acero con DIN 3060/3064	Cable de acero con DIN 3060/3064	N/A	N/A	Perfil HEB 260	N/A	N/A	EOTA CE TSUS
	MACOMBI	Barrier OM CTR 20/04/A DF	Pantalla para deslizamientos superficiales y flujo de detritos en ladera abierta	-	4-5	10-30	DT net	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		Barrier OM CTR 30/04/A DF	Pantalla para deslizamientos superficiales y flujo de detritos en ladera abierta	-	5-6	10-30	DT net	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Barrier OM CTR DF		Pantalla de protección contra el flujo de detritos	-	Geometría en función del proyecto	10-30	DT net	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SOBRE	Isoler Debris Stop 200-HM	Pantalla para deslizamientos superficiales y flujo de detritos en ladera abierta	200	3,5	-	FLEXNET	Cable de acero EN-12385-4	12	Zn EN10244	-	-	-	Hexagonal Wire Mesh	80*100	2,7 (recubrimiento de zinc)	Diámetro: 22mm Acero: EN-12385-4 Elemento de rotura: Rope brake 18-24 mm	N/A	N/A	Diámetro: 22mm Acero: EN-12385-4	Diámetro: 24mm Acero: EN-12385-4	Perfil HEB-200, con protección de zinc	-	Type Looseground/Rock con protección de zinc	TSUS European Testing Institute	