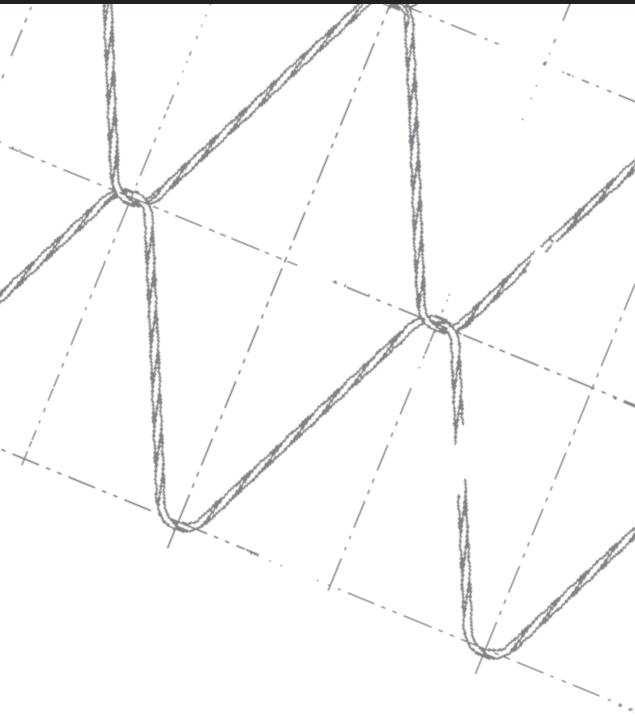


Barreras flexibles contra deslizamientos de tierras: La solución económica contra riesgos naturales.



Barreras flexibles contra deslizamientos de tierras para deslizamientos poco profundos en taludes inestables:

- su diseño constructivo ligero ahorra costes
- instalación sencilla
- igualmente adecuadas para eventos repetidos o consecutivos
- funcionamiento demostrado en ensayos de campo a escala real
- dimensionables con el programa de simulación FARO



Los deslizamientos de tierras: las causas y cómo limitar sus efectos.



En laderas de pendiente pronunciada, las capas de suelo saturadas pueden provocar deslizamientos superficiales, que surgen espontáneamente y que transcurren con una velocidad relativamente alta — hasta $10 \text{ m/s} = 35 \text{ km/h}$. Si uno de estos deslizamientos transcurre por el cauce de un río, podrá dar lugar a un deslizamiento de tierras.

Los deslizamientos de tierras pueden tener una gran fuerza destructiva, dependiendo del material que transporten. Pueden interrumpir vías de comunicación y causar grandes daños en edificios.

El clima como riesgo

Con el aumento previsto de las precipitaciones fuertes en las regiones alpinas, y el aumento de las precipitaciones invernales en combinación con las cotas de nieve cada vez más altas, habrá en el futuro más agua para la potencial formación de deslizamientos de tierras.

Los meteorólogos esperan que la probabilidad de eventos con precipitaciones extremas crezca en todo el mundo en el futuro (cambio climático global).

Las carreteras y las vías ferroviarias deberían protegerse de los deslizamientos de tierras por medio de medidas apropiadas. Los edificios expuestos también deben ser protegidos de estos deslizamientos poco profundos.



Protección contra deslizamientos de tierras: comparativa de diversas medidas.

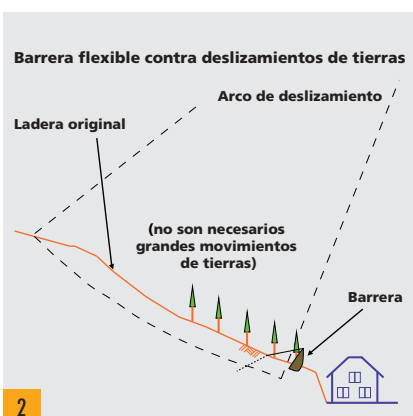
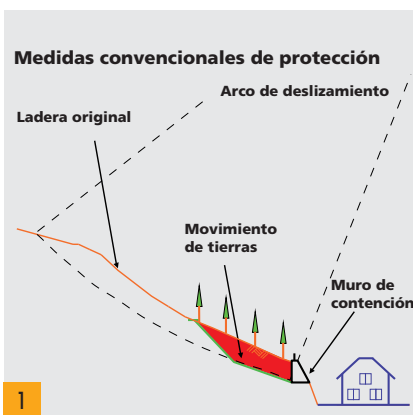
1. Medidas protectoras convencionales

La construcción de estructuras de desvío en forma de diques o muros reforzados en el lado interior, requiere importantes trabajos constructivos. Estas medidas son utilizables solo bajo determinadas circunstancias, especialmente en terrenos con pendiente a lo largo de carreteras y vías de ferrocarril.

2. Barreras flexibles contra deslizamientos de tierras

Capaces de detener, demostradamente, mezclas de materiales, agua y sólidos, como deslizamientos de barro y de tierras incluso en eventos repetidos. Las barreras pueden instalarse con poca inversión en materiales y mano de obra, lo cual ahorra grandes costes y tiempo de construcción.

© Schweizer Luftwaffe

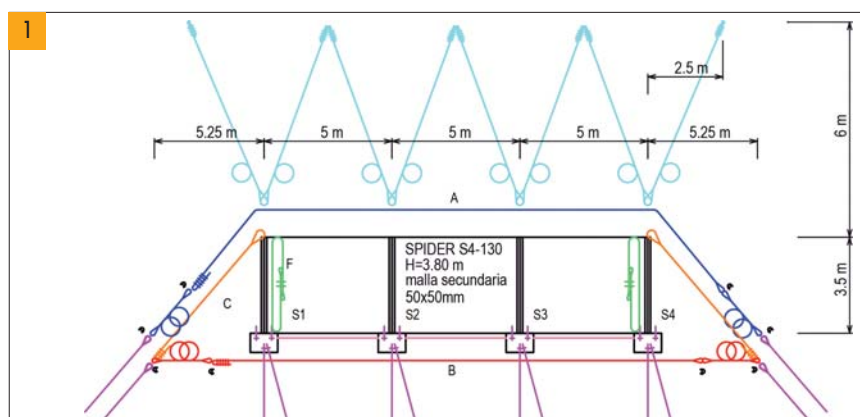


Barreras flexibles contra deslizamientos de tierras.



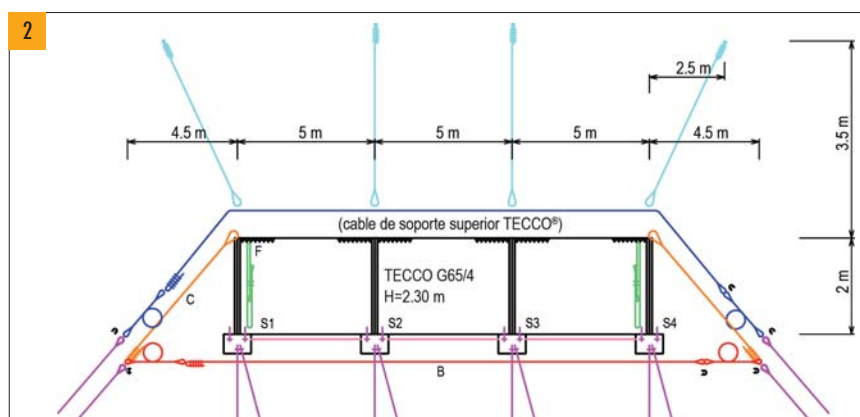
1. Barrera contra deslizamientos de tierras SL 130/150 para presiones de hasta 150 kN/m²

En la zona de riesgo se instala una barrera con red de cable espiral SPIDER® junto con una malla secundaria de 50 mm de luz, con una distancia entre postes hasta ocho metros. Los cables de retención, así como los cables de soporte inferiores y superiores en los extremos, están equipados con anillos de freno. Este tipo de construcción es adecuado para longitudes totales hasta 30 m sin divisiones de los cables de retención y una altura hasta cuatro. Resiste una presión hasta 150 kN/m².



2. Barrera contra deslizamientos de tierras SL 100 para presiones hasta 100 kN/m²

Si la presión esperable es más baja (hasta 100 kN/m²), existe la posibilidad de instalar otro tipo constructivo de barrera: una malla TECCO® G65/4 con una distancia entre postes de cinco metros como máximo y una altura de dos metros. Para este tipo de construcción puede prescindirse de la malla secundaria.



Componentes bien concebidos que funcionan como un sistema integral.



La malla de cable en espiral SPIDER®

La malla de cable en espiral SPIDER® — fabricada con cable en espiral de alambre de acero de alta resistencia de 4 mm — posee una resistencia a la tracción de más de 1.770 N/mm². Esta malla de cable en espiral con forma romboidal tiene una resistencia de 220 kN/m en sentido longitudinal.



Los anillos de freno

En los cables de soporte y de retención se montan anillos de freno. Estos anillos se activan durante los eventos más importantes, y de esta forma, sin dañar los cables, absorben la energía que transmite la malla de cable en espiral SPIDER®. La carga de rotura de los cables no se ve disminuida por la activación de los frenos, de forma que la característica fuerza-recorrido puede utilizarse en todo su rango.



Los postes

Para las barreras contra deslizamientos de tierras se utilizan postes del tipo RXI, que se montan sobre una placa base con una articulación. Tienen la función de soportar y guiar los cables de los que está colgada la malla de cable en espiral SPIDER®. Para evitar dañar los cables de soporte, las correspondientes guías se fabrican redondeadas.



Los anclajes de cable en espiral

Aquello que puede doblarse, no se rompe: la cabeza de nuestros anclajes es flexible y por eso es también resistente a los golpes. El cable en espiral está realizado con alambre de acero de una resistencia de 1.770 N/mm². Nuestros anclajes de cable en espiral son muy superiores a los convencionales, sobre todo porque son adecuados para la conducción de fuerzas en la dirección de tracción, la cual puede desviarse hasta 30 grados del eje de perforación del anclaje, sin pérdidas de resistencia.



Anclaje autopercorante con cabeza Geobrigg FLEX

La cabeza FLEX absorbe las fuerzas de tracción y de cizallamiento según el mismo principio que la cabeza del anclaje Geobrigg de cable en espiral. Es resistente a los impactos y se puede montar en anclajes autopercorantes convencionales. Para la conexión del anclaje de barrena con la cabeza FLEX se precisa una base de hormigón.



Faldón de malla

Como cierre inferior para evitar el paso de material de erosión, se instala un faldón de malla entre el cable de soporte inferior y el suelo, en toda la longitud de la instalación.

Numerosas posibilidades de aplicación.



Rest and be Thankful, Escocia

El problema

El 8 de septiembre de 2009, tras fuertes lluvias en el noroeste de Escocia, un deslizamiento de tierras cortó, por segunda vez consecutiva, la importante vía de comunicación A38 a la altura del mirador „Rest and be Thankful“. Este terreno es propenso a los deslizamientos, y éstos no se pueden impedir. Se trataba de proteger, con las medidas de protección adecuadas, a los usuarios de la vía pública, a la vez que mantener ésta abierta en el caso de futuros deslizamientos.

La solución Geobrugg

En una longitud de 80 m se construyó una barrera contra deslizamientos de tierras de una altura de 4 m con la malla de cable en espiral SPIDER® y una malla secundaria con una luz de 50 mm. Además, como medida adicional se instaló una barrera contra flujos de detritos VX con red de anillos en un barranco adyacente, de 15 m de longitud y 4 m de altura, para evitar el taponamiento de un drenaje bajo la carretera.



Giampilieri, Sicilia, Italia

El problema

El 1 de octubre de 2009, tras las lluvias torrenciales de 223 mm en siete horas, se produjo en Giampilieri, Messina, un deslizamiento de tierras en varias zonas, el cual a su vez produjo un flujo de detritos. La carretera nacional SP 33 tuvo que ser cortada a causa de la gran cantidad de material que cayó sobre la misma.

La solución Geobrugg

En la parte con más pendiente de la ladera, se instalaron barreras contra flujos de detritos para proteger la carretera nacional. En la zona en la que la pendiente se reduce hasta aprox. 60 grados, se instalaron dos barreras flexibles contra deslizamientos de tierras con malla de cable en espiral SPIDER® S4/130 y malla secundaria a lo largo de 85 m. Ambas barreras tienen 3,5 m de altura y una longitud de 25 m (la primera) y 60 m (la segunda). Tras lluvias torrenciales en enero de 2010 se produjo otro deslizamiento de tierras. La más corta de las barreras contra deslizamientos detuvo con éxito unos 90 m³ de material, evitando así el corte de la carretera nacional.



2

Lake Merwin, Washington, EE.UU.

El problema

En 2008, tras una tormenta de nieve húmeda, se produjo un deslizamiento de tierras cerca de Amboy, Lake Merwin, estado de Washington, EE.UU. La carretera quedó cortada, y algunas casas más abajo de la carretera resultaron dañadas. Las masas de tierra y de roca suelta seguían poniendo en peligro la carretera y las casas.

La solución Geobrugg

Como protección contra futuros deslizamientos de tierras se instaló una barrera flexible contra deslizamientos de 3 m de altura y 15 m de longitud con malla de cable en espiral SPIDER® S4/130 y una malla secundaria. La barrera se dimensionó con el programa de simulación FARO, con una calibración a base de ensayos de campo a escala real.



3

El desafío: ¿Cómo se pueden detener 10 m³ de masa deslizante por metro lineal de barrera?

Todo depende del dimensionamiento correcto

Nuestras barreras especiales de retención deben aguantar mucho. Los deslizamientos de tierras desarrollan fuerzas enormes, que nosotros reproducimos en costosos procedimientos de ensayos y simulaciones. Los datos recogidos sobre el comportamiento del flujo y el impacto dinámico de las masas de tierra nos permiten construir las barreras flexibles de acuerdo a las respectivas cargas. El volumen de retención es sin duda decisivo: una separación óptima de los postes proporciona una mayor altura útil residual y ofrece suficiente espacio de retención.

La simulación de lo que la malla debe aguantar

En la simulación numérica calculamos las fuerzas que actúan sobre la barrera. A éstas se les añade la presión en la dirección del flujo medida en los ensayos por medio de las placas de medición de fuerzas. Las experiencias recogidas en los ensayos de campo permiten estimar esta presión dinámica. Además existe otra componente de fuerzas, aunque significativamente menor: la presión hidrostática resultante de la altura del flujo. Las magnitudes relevantes

para el dimensionamiento del impacto dinámico son la densidad inicial ρ del deslizamiento y la velocidad v en la malla de protección proyectada. Con nuestro programa de simulación FARO podemos extrapolar la presión medida en las barreras de los ensayos según diferentes configuraciones del sistema, para así llevar a cabo una simulación muy realista en cada caso.

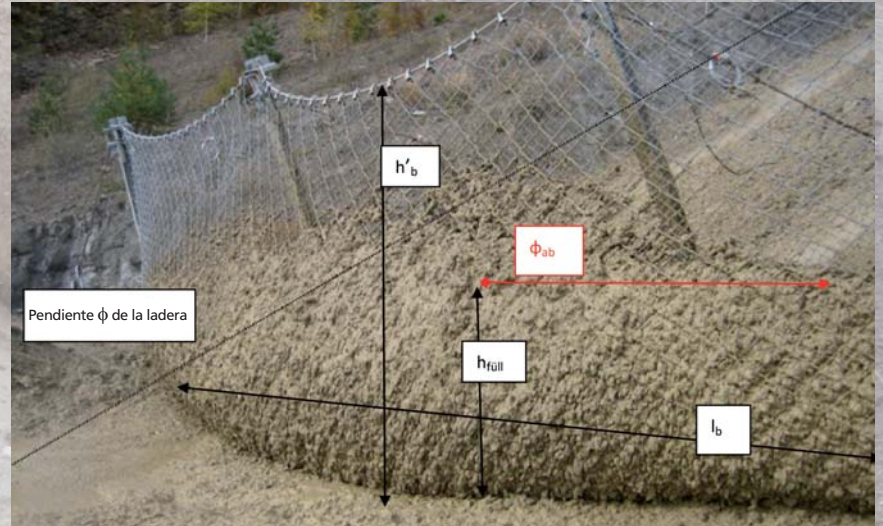
Imagen de arriba: en los ensayos de campo en Veltheim, la desviación entre simulación y medición es solo del 10% aprox., un resultado muy fiable para el impacto

dinámico de la ola del deslizamiento reproducido en el ensayo.

Bajo carga estática y con cargas repetidas

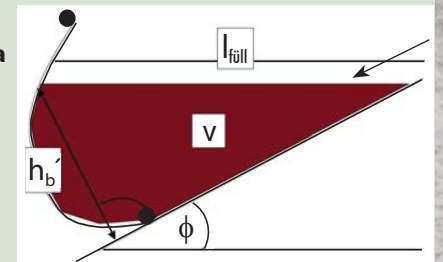
Tras el primer deslizamiento, la malla se encuentra llena con barro, tierra y detritos de forma homogénea. Tras la barrera se forma inicialmente una distribución de la presión hidrostática (P_{hyd}) en la altura del flujo (h_{flu}). Con el filtrado del agua, esta presión se reduce hasta convertirse en presión activa de la masa de tierra (P_{stat}). Si ahora se





Relaciones geométricas de una malla contra deslizamientos de tierras llena

- l_b = anchura del impacto
- ϕ_{ab} = ángulo de depósito del material
- h'_b = altura reducida de la malla tras el impacto
- h_{full} = altura de llenado de la malla contra deslizamientos de tierras
- l_{full} = longitud del prisma de retención



Esquema técnico: determinación del volumen V máximo aproximado de retención de una malla contra deslizamientos de tierras.

produce otro deslizamiento, su presión dinámica se superpone a la presión del llenado parcial ya existente (imagen de arriba).

En la simulación se puede ver como el flujo siguiente se superpone al material ya recogido. La altura de la carga sobre la barrera crece ($h_{full} + h_{fl}$).

Calcular lo incalculable ...

El volumen de retención de la malla de protección debe ser como mínimo igual o mayor que el volumen esperable de

material de flujo o material en deslizamiento.

De manera similar a los aludes de nieve, el volumen de desprendimiento se calcula a partir de la superficie de deslizamiento y la altura de la capa desprendida. Esta última se puede determinar con ayuda del mapa de riesgos o in situ con técnicas geológicas y medición de suelo.

... y reducir los efectos dañinos

Si la malla de protección dispone de un volumen insuficiente, o si la longitud de la construcción no abarca la anchura del desprendimiento, se podrá conseguir sola-

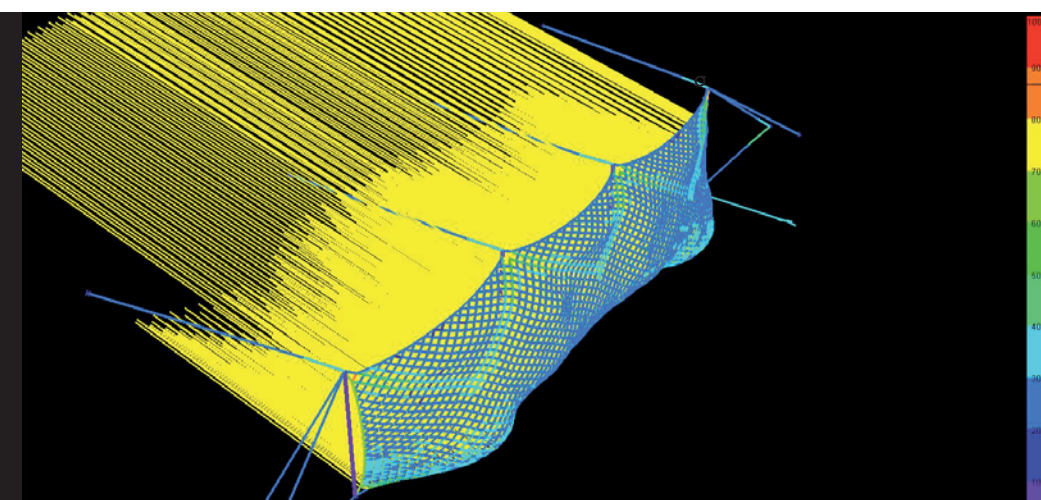
mente una protección reducida contra deslizamientos de tierras. En tal caso se calcula la diferencia entre el volumen de desprendimiento y el de retención. Con los datos de este volumen residual y la velocidad del proceso de deslizamiento y/o arrollamiento de la malla, se evaluarán los efectos destructivos nuevamente, y la construcción de la red se optimizará en consecuencia.

Lo decisivo es el volumen de retención

Para la determinación del volumen en mallas contra deslizamientos de tierras, se compara la altura dada tras el proceso de llenado $h'_b = 3/4 \cdot h$ de la barrera con la altura h de la instalación. Suponiendo que la altura de la malla h'_b reducida tras un impacto, se mide en vertical respecto de la ladera, y despreciando el volumen en la panza deformada de la red, el volumen de retención V de una malla contra deslizamientos de tierras sería:

$$V = \frac{1}{2} \cdot h'_b \cdot l_{full} \cdot l_b = \frac{1}{2} \cdot \frac{3}{4} h_b \cdot \frac{3}{4} \frac{h_b}{\sin \phi} \cdot l_b$$

$$= \frac{9}{32 \cdot \sin \phi} \cdot h_b^2 \cdot l_b \quad [\text{m}^3]$$



Vida útil y facilidad de mantenimiento: dos aspectos decisivos.



Duración...

Las barreras flexibles contra deslizamientos de tierras se colocan en laderas con pendiente, donde pueden producirse deslizamientos superficiales, preparadas para detener grandes masas de tierras mezcladas con agua. Puesto que en esta «fase de espera» no fluye agua ni material por encima ni a través de las barreras, éstas son en principio tan duraderas como las construcciones de obra contra impactos de roca o aludes.

...gracias a una superior protección contra la corrosión.

Para conseguir una mayor vida útil y más alta resistencia contra la corrosión local, todos los componentes de acero se entregan galvanizados. Los cables y redes están recubiertas con el tratamiento de Zinc/Aluminio GEOBRUGG SUPERCOATING®.

Tras un evento...

Las barreras que hayan retenido un deslizamiento de tierras, deben ser inspeccionadas, vaciadas y sometidas a un mantenimiento (figura 1), para volver a restaurar y asegurar el volumen de retención (figura 2). Para ello se

deberá planificar sobre todo la retirada del material, ya que ello causa la mayor parte de la energía y los costes de la operación. Según la experiencia acumulada, el desmontaje y nuevo montaje de la barrera es mucho menos costoso que dicha retirada.

...vaciado y mantenimiento.

El vaciado es más fácil si la barrera es accesible desde la parte trasera. Sin embargo, lo más frecuente es el vaciado desde la parte frontal, puesto que el material acumulado tras la barrera será de gran densidad y resistencia, ya que el mismo se comprime durante el desprendimiento. Sin embargo, también se puede retirar el material con una excavadora desde la parte frontal, sin tener que desmontar la barrera (figura arriba).

Los componentes sujetos a mantenimiento son sobre todo los anillos de freno: deberán comprobarse tras cada evento y reemplazarse si fuese necesario. Además, se recomienda revisar el perfecto estado de funcionamiento de mallas y cables.





Decisivo para la propiedad, el proyectista y el constructor:

Un montaje fácil y sencillo

- El material se entrega prefabricado y puede depositarse con helicóptero en los lugares más inaccesibles.
- La instalación no precisa maquinaria pesada de construcción.
- Para el anclaje es suficiente un carro perforador ligero y anclajes ligeros de tracción.
- No hay grandes movimientos de tierras, y no se necesita pista de acceso.

Respeto al medio ambiente

- El impacto es mínimo para la naturaleza, constructiva y visualmente, siendo apenas visible desde la distancia, al contrario que las construcciones convencionales.
- El balance de CO₂ es significativamente mejor que con construcciones de hormigón.



Economía

- La reducción de daños conseguida, en caso de un evento, es sustancialmente más alta que con otras alternativas.
- El transporte y el montaje son mucho menos costosos que en construcciones de hormigón

Larga vida útil

- El concepto anticorrosión GEOBRUGG SUPER-COATING® para cables y redes, junto con el

galvanizado de los soportes, placas de base y anillos de freno, garantizan una larga vida útil.

Mantenimiento sencillo tras un evento

- El material acumulado puede retirarse con una excavadora, o bien manualmente tras el desmontaje/elevación de la red.

Las variantes del sistema de un vistazo.

Barrera contra deslizamientos de tierras con malla de cable en espiral SPIDER®

Referencia	SL 130	SL 150
Altura constructiva	hasta 4 m	hasta 4 m
Distancia entre postes	8 m	5 m
Resistencia	130 kN/m ² *	150 kN/m ² *

Barrera contra deslizamientos de tierras con malla TECCO®

Referencia	SL 100	
Altura constructiva	hasta 2 m	
Distancia entre postes	5 m	
Resistencia	100 kN/m ² *	

El fabricante se reserva el derecho de modificar las características técnicas * Presión medida de la mezcla de aluvión desprendida en el ensayo bajo tutela de la WSL

Geobrugg, su socio de confianza

El cometido de nuestros ingenieros (y socios) es analizar con usted el problema en detalle en colaboración con estudios de ingeniería locales y, a continuación, ofrecer soluciones. Una planificación minuciosa, no es lo único que puede esperar de nosotros. Gracias a nuestras propias plantas de producción, presentes en tres continentes, no sólo podemos garantizar rutas y plazos de distribución cortos, sino también un óptimo asesoramiento sobre el terreno. A fin de evitar problemas durante la ejecución, suministramos en la zona de obras los componentes del sistema prefabricados y claramente identificados. Podrá

contar con nuestro asesoramiento profesional, desde la instalación y el montaje de la obra, hasta su recepción.

Responsabilidad del producto

Los desprendimientos de rocas, deslizamientos, avalanchas o aluviones de tierras, son fenómenos naturales, y por tanto imprevisibles. Por lo tanto, con métodos científicos, no es posible evaluar y garantizar la seguridad absoluta de personas e infraestructuras. Esto significa que para garantizar la seguridad perseguida es imprescindible supervisar y mantener regularmente y en la debida forma los sistemas de protección. Por otro lado,

el grado de protección puede verse disminuido por circunstancias como: la superación de la capacidad de carga prevista para el sistema, la no utilización de componentes originales o la corrosión por polución ambiental o cualquier otra influencia ajena.



Geobrugg AG

Geohazard Solutions
Aachstrasse 11 • CH-8590 Romanshorn • Suiza
Tel. +41 71 466 81 55 • Fax +41 71 466 81 50
www.geobrugg.com • info@geobrugg.com

Una empresa del grupo BRUGG
Certificada según ISO 9001