



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



Evaluación / análisis de protección contra aludes

Trabajo realizado por:

Víctor Martínez Mata

Dirigido:

Elena Blanco y Daniel Castro

Titulación:

Grado en Ingeniería Civil

Santander, diciembre de 2019

TRABAJO FIN DE GRADO



ÍNDICE

RESUMEN	4
SUMMARY	6
CAPÍTULO I ~ CONOCIMIENTOS BÁSICOS	8
1.1. INTRODUCCIÓN	9
1.2. NIEVE	9
1.3. ALUDES	10
1.3.1 ZONAS SIGNIFICATIVAS	10
1.3.3. FACTORES QUE INFLUYEN AL DESENCADENAMIENTO	16
1.4. HISTORIA	17
1.5. PELIGROS	18
CAPÍTULO II ~ TIPOLOGÍA DE PROTECCIONES	22
2.1 TIPOLOGÍA DE PROTECCIONES	23
2.1.1 ESTRUCTURAS RIGIDAS O FLEXIBLES.....	23
2.1.2 ESTRUCTURAS POROSAS/NO POROSAS.....	25
2.1.3. ESTRUCTURAS ESTÁTICAS/DINÁMICAS.....	26
2.1.4 ESTRUCTURAS NATURALES.....	27
2.1.5 ESTRUCTURAS EN FUNCIÓN DE SU MATERIAL.....	29
2.2 PRINCIPALES PROVEEDORES EN LA ACTUALIDAD	31
2.2.1. TRUMER	32
2.2.2. GEOBRUGG.....	35
2.2.3. TAS.....	37
2.2.4. MACCAFERRI	40
CAPÍTULO III ~ MÉTODOS DE DIMENSIONAMIENTO	41
3.1. CODIGOS DE DISEÑO	42
3.2. POSICIONAMIENTO DE LAS BARRERAS	43
3.3. ALTURA DE NIEVE	44
3.3.1 ALTURA DE LA ESTRUCTURA	45
3.4. ACCIONES SOBRE LA ESTRUCTURA	46
3.4.1. PRESIÓN DE LA NIEVE.....	46
3.4.2. INCREMENTO PARA ESTRUCTURAS CON INCLINACIÓN	49
3.4.3. CARGAS “END-EFFECT”	50
3.4.4. EQUILIBRIO DE FUERZAS.....	50
3.5. DISTANCIAMIENTO ENTRE ESTRUCTURAS	52
3.6 MATERIALES	54
3.6.1 ACERO.....	54
3.6.2 MADERA	54
3.7 EVALUACION Y DISEÑO DE LA ESTRUCTURA	55



3.7.1. COMBINACION DE ESFUERZOS.....	55
3.7.2. FUERZAS INTERNAS Y REACCIONES.....	56
3.7.3. DIMENSIONAMIENTO DE REJILLAS DE METAL.....	56
3.7.4. DIMENSIONAMIENTO DE ESTRUCTURAS TIPO MALLA	57
CAPÍTULO IV ~ ANÁLISIS MULTICRITERIO	60
4.1. FACILIDAD DE TRANSPORTE Y MONTAJE	62
4.2. PRECIO/RESISTENCIA RESISTENTE	66
4.3. FIABILIDAD DEL SUMINISTRADOR	75
CAPITULO V ~ CASO PRÁCTICO	78
5.1 UBICACIÓN	79
5.2. DISEÑO	82
5.2.1 ALTURA DE LA ESTRUCTURA	82
5.2.2 PRESIÓN DE NIEVE EJERCIDA.....	83
5.2.3 TRACCIÓN DE LA MALLA	83
5.2.4 NÚMERO DE ELEMENTOS	84
5.3 ELECCIÓN DE PRODUCTO.....	86
CAPITULO VI ~ CONCLUSIONES	88
ANEXO ~ BIBLIOGRAFÍA Y LISTADO DE ILUSTRACIONES	90
BIBLIOGRAFÍA	91
LISTADO DE ILUSTRACIONES	93



RESUMEN

Título: Estudio/Análisis de sistemas de protección contra aludes.

Autor: Víctor Martínez Mata

Directores: Elena Blanco y Daniel Castro.

Convocatoria: Diciembre 2019.

Palabras claves: Pantallas -Aludes – Protección –Nieve –
Barreras –Malla metálica –Presión de nieve

El presente estudio analiza los diferentes sistemas que existen a día de hoy para combatir los aludes. Estos quedan definidos como una gran cantidad de masa que se desliza ladera abajo con gran velocidad y agresividad. Para que una avalancha de nieve tenga lugar tienen que coexistir diferentes factores (meteorológicos, debidos al relieve, accidentales, y debidos a la superficie del suelo), cuando se dan lugar dichos factores se produce una inestabilidad entre la nieve acumulada y el suelo que produce un deslizamiento. Existen tres tipos de aludes: aludes de polvo, aludes de fusión y aludes de placa; siendo estos últimos los más peligrosos por la gran cantidad de masa que arrastran. Cabe también destacar que se reconocen tres partes a lo largo de una avalancha: la zona de inicio, la zona de recorrido y la zona de depósito. Será la zona de inicio la más interesante de estudiar a la hora de evitar que estos fenómenos se lleven a cabo.

La acción preventiva se basa en colocar una estructura metálica (puede ser de otro material, pero predominan estas) en la zona de iniciación del alud, con el objetivo de retener la mayor cantidad de nieve, evitando así, que se produzca el deslizamiento por un exceso de espesor en el manto nivoso.

Existen diferentes clasificaciones para estas estructuras de contención, pero lo más habitual es clasificarlas en estructuras rígidas o flexibles. Ambas constan de unos postes base entre los que se coloca una pantalla, siendo un entramado de vigas en las estructuras rígidas, y una malla metálica en las flexibles. En la actualidad, las más utilizadas son las segundas ya que tienen un peso menor, y esto es un factor muy importante debido a que hay que transportarlas hasta lugares muy complicados.

Se puede decir que no hay una gran literatura de investigación en el diseño de este tipo de estructuras, siendo Austria y Suiza los países más desarrollados en



estas líneas de investigación. Es precisamente la institución suiza “WSL Swiss Federal Institute for Snow and Avalanches Research” quien desarrolla un código de diseño basado en diferentes aspectos del Eurocodigo denominado “Defense Structures in avalanche starting zones”. En él, se indican todos los aspectos a tener en cuenta para definir correctamente las protecciones, desde altitudes de nieve a tener en cuenta, pasando por las fuerzas que ejercen sobre la estructura o tipos de materiales a utilizar.

Este código de diseño es precisamente seguido por los diferentes suministradores que existen en el mercado actualmente. Se trata de un mercado no muy amplio, donde se puede destacar Trumer, Geobruigg, Macaferri y TAS. De entre ellos, sin duda alguna Trumer y Geobruigg tienen un mayor impacto ya que tienen una estructura más grande, y por lo tanto ofrecen más soluciones en su catálogo.

En función de los datos obtenidos de los diferentes suministradores, se realiza un análisis multicriterio. Este análisis consta de tres parámetros clave que son: facilidad de transporte y montaje, precio/resistencia y fiabilidad del suministrador. A estos valores se les asigna una ponderación de 0.19, 0.68 y 0.13 sobre cada nota individual para, de esta manera, dar diferente peso en función de la importancia obtenida en una pequeña encuesta realizada.

Se estudia solamente dos productos, uno de Trumer y otro de Geobruigg, ya que el resto de suministradores no aportaban los datos mínimos requeridos, obteniendo el de Trumer una valoración global superior.

Finalmente, se lleva a cabo un caso práctico, siendo Alto Campoo la zona elegida por su abundante y continuo flujo de turistas.

Para ello, una vez elegida la ubicación, recogemos datos de las máximas alturas de nieve alcanzadas durante los últimos años, para poder determinar nuestra altura de la estructura. A continuación, definimos la presión que dicha nieve ejerce sobre nuestra malla metálica teniendo en cuenta otros factores como el peso o el ángulo de inclinación, obteniendo un valor de $32.81 \frac{KN}{m}$, y por tanto una tracción en la malla de 11.89 KN, siendo un valor inferior a las resistencias de las mallas analizadas. Para concluir, obtenemos el número de mallas necesarias, dando un valor de treinta y ocho a lo ancho de la ladera y tres filas. Se realiza otro análisis multicriterio del caso práctico, resultando ser la malla de Geobruigg la más idónea.



SUMMARY

Title: Evaluation / Analysis of protection systems against avalanches.

Author: V́ctor Mart́nez Mata.

Directors: Elena Blanco and Daniel Castro.

Session: December 2019.

Key words: Barriers –Avalanches -Snow –Protection- Metallic mesh-
Snow pressure

The present document analyses the different current systems to cope with avalanches. These ones are defined as a huge quantity of mass that slides downslope with a big velocity and aggressiveness. In order that an avalanche takes place, some factors must coexist (meteorological factors, factor related with the relief, accidental factor or factor related with the surface), when these elements meet, an instability between the snow and the ground is produced, unchaining a sliding. There are three avalanche kinds: wet avalanches, dry avalanches and slab avalanches, being the last one the most dangerous due to the big quantity of mass dragged. It should be noted that three parts could be defined in an avalanche: the starting zone, the avalanche track and the run-out zone. The most interesting area will be the starting zone in order to avoid these phenomenons.

Preventive action is based on the colocation of a metallic structure at the starting zone with the goal of retain the biggest snow quantity, avoiding in that way, a sliding occurs because of a snow thickness excess.

There is different classification to that kind of structures, but the most usual is dividing them into rigid or flexible structures. Both have a bases posts and a retaining wall in between, these walls are formed by metallic beams on the rigid structures, and by a metallic mesh on the flexible's ones. Nowadays, flexible structures are the because they have a lowest weight, and this is a very important factor considering they have to be transported and installed at points with access very complicated.

There is no a extend bibliography for this sort of structures, being Austria and Switzerland the most developed countries in this matter. Precisely, is the Swiss institution "WSL Swiss Federal Institute for Snow and Avalanches Research" who has developed a design code called "Defense Structures in avalanche starting



zones”, it’s based on different parts of the Eurocode. All aspects to be taken into account are defined in that code, snow height, forces on the structure, materials to be used...

This code is followed for the different suppliers that exists right now in the global market. Trumer, Geobruigg, Macaferri y TAS are the most importants ones. At the same time, Trumer y Geobruigg have a big impact in the market because of their bigger structure and their bigger number of solutions provided.

An multicreterial analysis is done based on the differet data obtained from the suppliers catalogue.It’s formed by three main parameters: assembly and transport easiness, price/resistence and supplier reliabillity .These values, are multiply by a coefficient,0.19, 0.68 and 0.13, to assign more or less importance based on a survey made.

Only two products are studied, one of Trumer and another one from Geobruigg, due to the other suppliers do not give us the minimal information needed, obtaining the Tumer product a higher final valuation.

Finally, we analyze a specific zone, being Alto Campoo the selected one because of the abundant number of tourists that arrives every season. After this, we collect the maximum snow height achieved during the last years in order to design the structure height. The snow pressure is the next parameter to determinate, using some factors as the weight or the angle inclination. It’s obtained a value of $32.81 \frac{KN}{m}$, being lower than the resitences analyzed.

We get the numer of barriers needed, resulting thrtly-eight meshes per row, and three lines. Finally, we do another multicriterial analysis applying in the specific zone selected, resulting ,in this case, the spider avalanche from Geobruigg the product choosen.



CAPÍTULO I ~ CONOCIMIENTOS BÁSICOS



1.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo vamos a entrar en detalle en conocer que es un alud, su tipología y como se producen, todo ello para poder entender mejor que variables entran a jugar y, por lo tanto, poder reducir su impacto lo mayor posible.

La Real Academia Española de la lengua define como alud a una “gran masa de nieve que se derrumba de los montes con violencia y estrépito” (RAE Real Academia Española , 2019), otra definición que podemos encontrar es la de “una masa de nieve que se desliza con rapidez pendiente abajo”. Si continuamos buscando distintas definiciones todas coinciden en que se trata de una gran cantidad de masa, en este caso nieve, que tiene un movimiento brusco de las zonas de la montaña con más cota a las de menor.

Es por eso que lo primero que tenemos que conocer, es el término de “nieve”.

1.2. NIEVE

“La nieve es un hidrometeoro definido como precipitación sólida consistente en cristales de hielo, la mayoría ramificados, que caen desde una nube, en forma de copos blancos” (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015) cae desde el cielo en copos, y suelen tener un tamaño entre uno y cuatro centímetros. Esta se forma mediante el proceso de sublimación inversa, que consiste en el paso del vapor de agua que contienen las nubes, a fase sólida (Martin, 2011). Adquiere diferentes tamaños y formas, en función de la temperatura, la humedad relativa y del viento, pudiendo clasificarse según su forma en:

- Plaquetas
- Estrellas
- Agujas
- Columnas
- Nieve granulada (esta tiene una composición distinta)



Las diferentes nevadas, forman lo que se conoce como manto nivoso, que no es más que capas de nieve, unas sobre las otras. Sus propiedades más características son las siguientes:

- Cohesión
- Densidad
- Plasticidad y viscosidad
- Resistencia a la compresión.

La nieve una vez se deposita en el suelo, comienza el proceso de metamorfismo, haciendo que obtengamos unos tipos de granos u otros. Existen diferentes tipos de metamorfosis (Ansey, 1998):

- Metamorfosis de isoterma
- Metamorfosis de gradiente
- Metamorfosis de fusión.

La estabilidad del manto nivoso varía continuamente, haciendo que sea muy complejo predecir cómo y cuándo va a desplazarse el manto o una de sus capas, de ahí que resulte tan difícil conocer cuándo se va a producir un alud.

1.3. ALUDES

1.3.1 ZONAS SIGNIFICATIVAS

Los aludes se dividen en tres grandes zonas, la zona de iniciación, zona de recorrido y zona de depósito. (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015)

- Zona de inicio: Las avalanchas nacen en esta zona, ya que se trata de la zona más inestable habitualmente, debido a que suele ser la más inclinada y la que tiene mayor altitud.

- Zona de recorrido: Corresponde con la parte la que transcurre la avalancha ya desencadenada arrasando lo que encuentra en su paso y añadiéndolo a su masa. Es la zona más peligrosa y donde se alcanzan las mayores velocidades.
- Zona de depósito: Finalmente, el alud alcanza una zona final donde se acumula la nieve, y donde tiene fin el fenómeno.

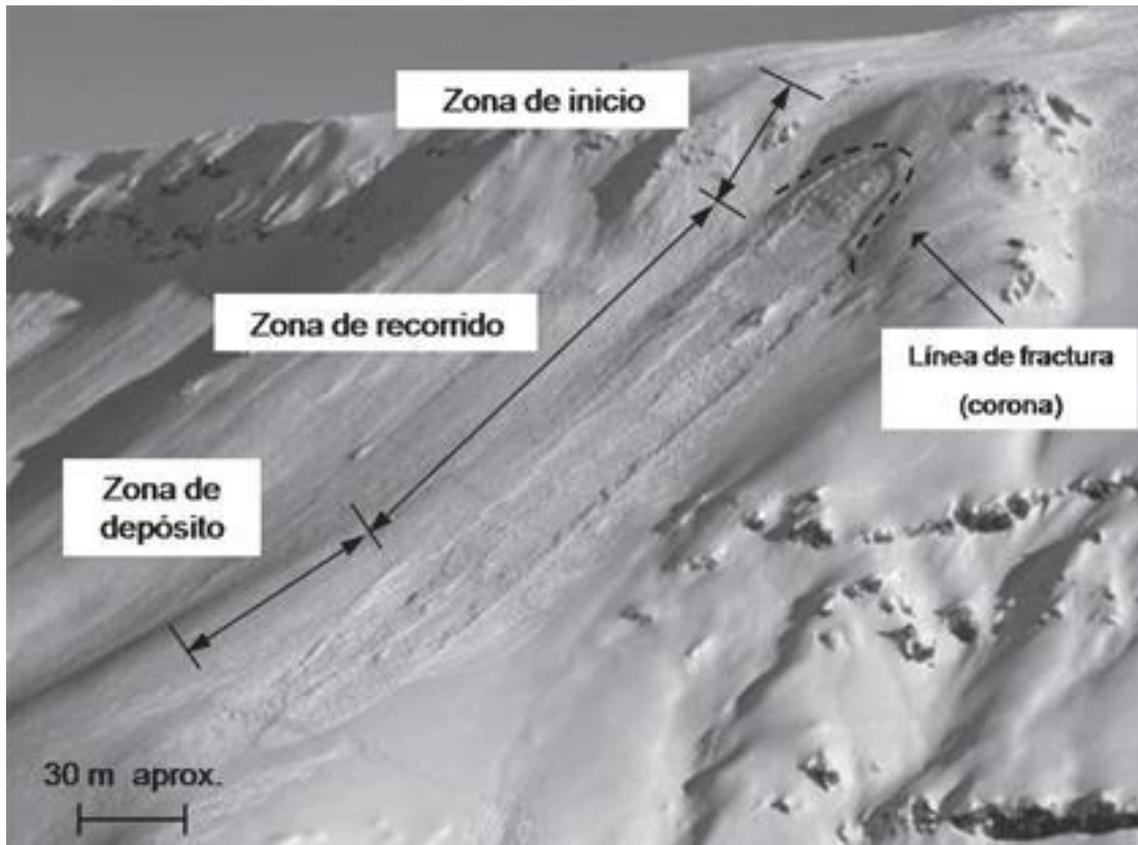


Ilustración 1: Diferentes zonas de un alud. (construcción, 2010)

1.3.2. TIPOLOGÍA

Podemos clasificar los aludes, según las características del manto, de la siguiente manera:

- Aludes de placa
- Aludes de nieve en polvo
- Aludes de fusión o de nieve húmeda.



- Aludes de placa:

Se caracterizan por ser placas de nieves compactas y densas que se desprenden al estar sobre otra capa más cohesionada. La placa que forma el alud, al ser más reciente, tiene menor cohesión que las que están debajo, esto hace que sea más frágil y pueda fracturar, y, por lo tanto, producir un alud.

Se trata sin duda de los más peligroso, ya que son los que más víctimas causan. El rango de velocidades que alcanzan oscila entre los 20 y los 50 km/h.

Es importante destacar también, que se producen habitualmente en las laderas norte de las montañas debido a que, al incidir menos el sol en esta zona, hace que la transformación del manto nivoso sea más lento o incluso inexistente. Teniendo en cuenta esto, las laderas norte serán la ubicación más importante para las protecciones.

Otro factor crítico en el desencadenamiento de los aludes es la pendiente. La capa de nieve permanece en equilibrio cuando las fuerzas de cohesión entre placas y el peso están equilibradas. Sin embargo, una pendiente excesiva puede hacer que este equilibrio se altere, favoreciendo la iniciación de la avalancha. Se estima que pendientes entre 27 y 45° son las más propensas a la formación de aludes. Valores superiores impiden que se acumule la nieve, y, por el contrario, en valores inferiores, la horizontalidad hace complicado que se produzca el fenómeno. (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015)

- Aludes de fusión o nieve húmeda:

Los aludes de fusión o nieve húmeda se producen cuando el sol y el calor, principalmente en primavera, aumentan la humedad de la nieve, haciendo que su peso aumente, y, por consiguiente, la predisponen a deslizar ladera abajo. Son menos peligrosos que los aludes de placa debido a que se producen en zonas más puntuales y momentos más esporádicos. Un efecto similar tiene la lluvia, la cual hace también que aumente el peso de la capa de nieve, y se pueda romper el equilibrio. (Ansey, 1998)

- Aludes de fusión o nieve en polvo:

Este tipo de alud está relacionado con la nieve fresca aún no transformada. Se trata de una nieve muy ligera que se mezcla con el aire formando una especie de aerosol o una gran nube de nieve suspendida en polvo. El mayor peligro de estas avalanchas no es el aplastamiento por el propio alud, sino, los elementos que pueda arrastrar (árboles, rocas...) y la posible asfixia que puede causar el polvo. (Ansey, 1998)



Ilustración 2: Alud de placa, donde se puede apreciar el inicio de la inestabilidad. (Solanas, J.C. 2016).



Ilustración 3: Alud de fusión. (García-Dihinx, J, 2015)



Ilustración 4: Alud de polvo. (Never too late blogspot, s.f.)



	Condiciones	Características y tipos	Efectos
Placa	Fuertes nevadas junto a periodos de rehielos. Formada de nieve frágil. Acción del viento.	Densidad > 200 kg/m ³ T<0°C Velocidad entre 20 y 50 km/h.	Muy violento. Altas posibilidades de causar víctimas.
Fusión	Nieve sin cohesión. Aumento de temperatura. Fuertes lluvias de primavera.	T=0°C. Velocidad baja 10-20 km/h. Alta densidad >200kg/m	Arrastra todo a su paso. Mezcla de agua, nieve, tierra. Zona de depósito importante.
Polvo	Fuertes nevadas y bajas temperaturas. Pérdida de cohesión inicial. Formada por nieve reciente.	Densidad inferior a 100 kgr/m ³ T<0°C	Zona de depósito mínima. Efecto de sobrepresión y ondas de choque delante del alud Mezcla de nieve y aire con velocidades mayores a 100 km/h.

1.3.3. FACTORES QUE INFLUYEN AL DESENCADENAMIENTO

Podemos agrupar los factores que influyen en el desencadenamiento de un alud en cuatro grupos: (Martin, 2011)

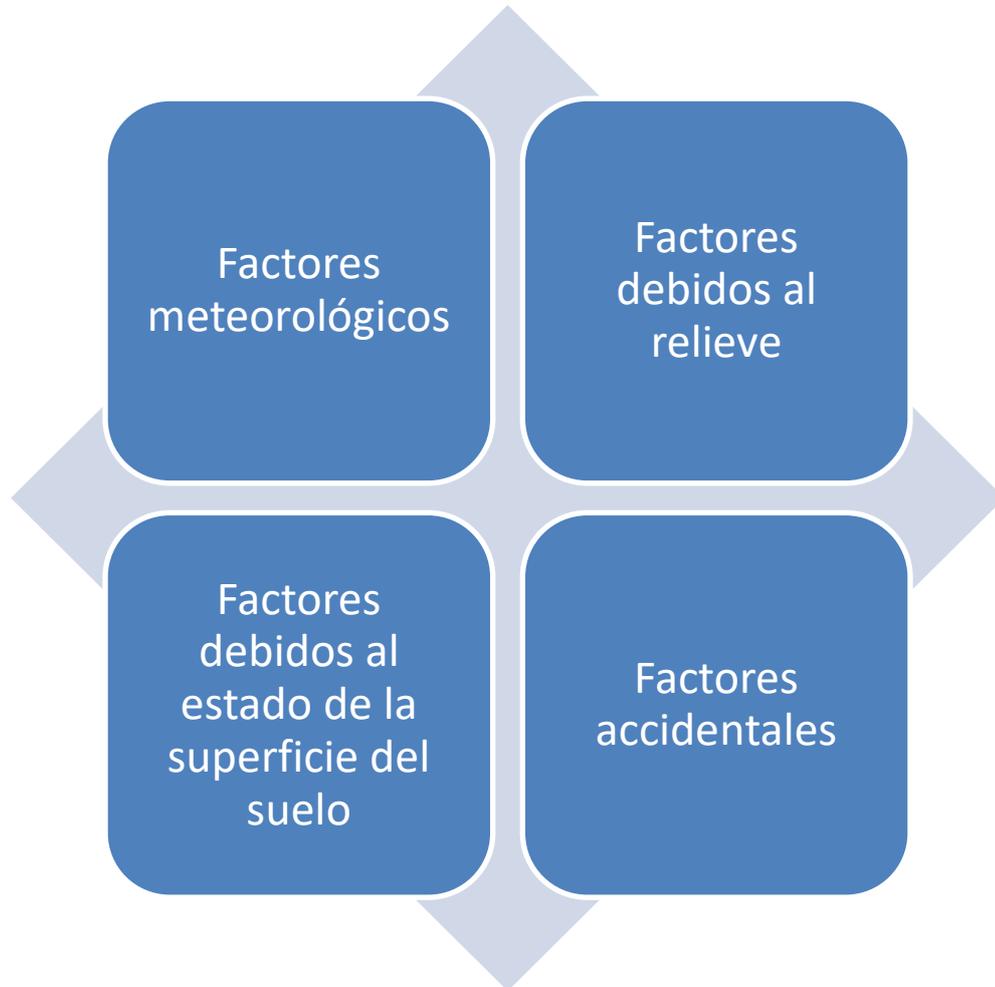


Ilustración 5: Cuadro resumen de los factores desencadenantes. Elaboración propia

a) Factores meteorológicos:

Las precipitaciones, el viento y la temperatura influyen directamente en la estabilidad del manto nivoso y, por consiguiente, en el desencadenamiento de las avalanchas.

Una nevada copiosa causa una sobrecarga de nieve o una ráfaga de viento puede crear una acumulación de nieve que conlleva un sobre espesor, siendo ambas situaciones peligrosas para la estabilidad. Por otro



lado, un cambio brusco de la temperatura, tanto en aumento como en descenso, causa inestabilidad en el manto.

b) Factores debidos al relieve:

La pendiente es uno de los factores más influyentes. Todos los estudios concluyen que las pendientes más peligrosas son las que tienen entre 30-45°. Aquellas con un ángulo mayor impiden que se pueda acumular la nieve, y, por el contrario, en pendientes muy bajas, la posibilidad en un alud es inexistente por la propia geometría.

c) Factores debidos al estado de la superficie del suelo:

La vegetación está relacionada directamente con la estabilidad de la nieve. Si existe una vegetación abundante es más complicado que se acumulen grandes cantidades de nieve. Por el contrario, superficies más rocosas y lisas favorecen el deslizamiento.

d) Factores accidentales:

Por último, agentes puntuales como caídas de rocas, pasos de animales, esquidores pueden causar movimientos, ayudando a la desestabilidad del manto. Lo mismo ocurre con posibles vibraciones, causadas por aviones, estruendos o gritos.

1.4. HISTORIA

Para hacernos una idea del gran poder que tiene una avalancha de nieve basta con echar un vistazo a la historia reciente.

En 1970 un pequeño pueblo de Perú, conocido como Yungay, sufrió la mayor avalancha conocida hasta la fecha. Se trata de un pueblo de montaña, ubicado en la cordillera Blanca de Perú, con picos de unos 6000 metros de altitud a su alrededor, siendo el Huascarán el mayor de ellos con 6768 metros de altura. El 31 de mayo, un seísmo de 7.8 grados en la escala Richter, provocó una fractura en el Huascarán, de una placa de aproximadamente 800x1000m, y una masa estimada de 50000 toneladas. Esta masa, que llegó a alcanzar los 200 km/h, sepultó el pueblo causando unas 20.000 muertes. (M.Vadillo, 2015)



1.5. PELIGROS

Para que un alud sea considerado como tal, tiene que mover una masa ḿnima de 100 metros cúbicos, en caso de que sea menor, se considera como purga (Martin, 2011). A parte de la diferencia ya citada, la gran diferencia entre ambos es que la purga es pŕcticamente inofensiva, mientras que los aludes tienen un gran peligro.

Un alud puede causar graves daños a bienes materiales, puede llevarse casas por delante; infraestructuras, anegar carreteras; y al propio medio natural, eliminando grandes cantidades de árboles o vegetaci3n a su paso. Sin embargo, son los seres humanos y animales, los que ḿs peligro corren cuando se produce un alud.

Es habitual ver en invierno, noticias de esquiadores desaparecidos o fallecidos por causa de aludes. Se estima que alrededor de 150 personas, mueren al ańo por este fen3meno. (National Geographic, 2019)

La probabilidad de supervivencia depende del tiempo que se est3 enterrado bajo la avalancha. Existe un punto clave, que es el referente al minuto 15. Si se est3 menos de un cuarto de hora bajo la avalancha, las probabilidades de sobrevivir son elevadas, alrededor de un 90%. Sin embargo, a partir de ese minuto, la probabilidad de supervivencia disminuye exponencialmente en los siguientes 35 minutos, siendo un 30% la probabilidad de sobrevivir si se est3 durante 40 minutos bajo el alud.

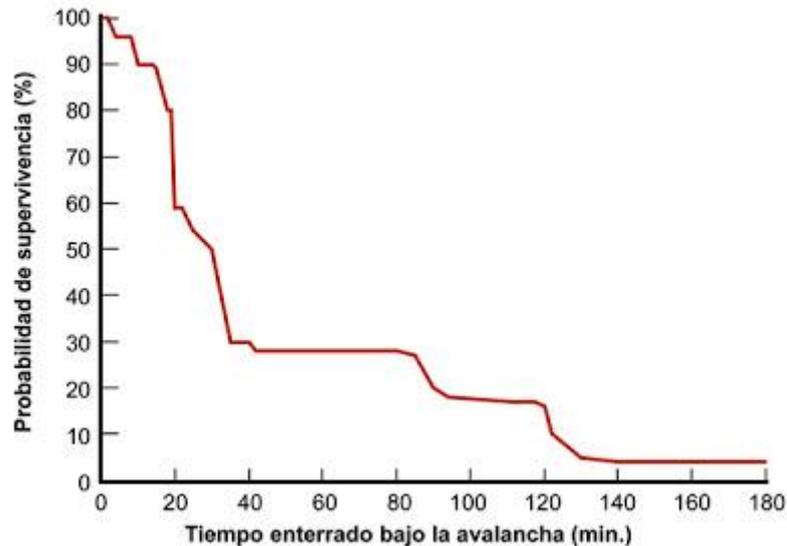


Ilustración 6: Gráfica que relaciona la probabilidad de supervivencia a un alud con el tiempo bajo este. (M.Bruggeer, 2018)

Por último, es prácticamente imposible sobrevivir un tiempo de enterramiento superior a una hora, solo hay alguna opción si nos encontramos en una burbuja de aire.

Las avalanchas arrastran una gran cantidad de masa entre la propia nieve, y demás obstáculos que se van llevando por delante e incorporan a ella. Eso hace pensar, que serán los golpes y traumatismos que te puede producir, los mayores peligros de este fenómeno. Sin embargo, un estudio llevado a cabo en 2009 por la CMAJ (Canadian medical association) demostró que esto no era así.

Recopilaron información de las muertes causadas por avalanchas entre 1984 y 2005 en Canadá, estudiando 204 muertes. Un 75% de los fallecimientos, 154 personas, fueron causados por asfixia, mientras que las muertes causadas por traumas representaban el 24%. (Canadian Medical Association, 2011)



Table 1: Cause of death as determined by autopsy or external examination for 204 avalanche fatalities in western Canada

Immediate cause of death	No. (%) of deaths				
	Autopsy		External examination*		All deaths*
Asphyxia	92	(79)	62	(71)	154 (75)
Trauma	25	(21)	23	(26)	48 (24)
Hypothermia	0	(0)	2	(2)	2 (1)
Total	117	(100)	87	(100)	204 (100)

*No significant difference in the distribution of causes of death between autopsy and external examination (2-tailed Pearson χ^2 test, $p = 0.17$).

Ilustración 7: Tabla resumen de datos de los diferentes tipos de fallecimiento al verse atrapado en un alud. (Haegeli & Falk, 2011)

-ZONAS MÁS CRÍTICAS

La AEMET (Asociación española de meteorología) publica temporalmente el denominado BPA o boletín de peligro de aludes. En este boletín, se informa sobre la situación del manto nivoso y se evalúa el nivel de peligrosidad según la “escala europea”. Esta escala asocia un número del 1 al 5, siendo 1 un riesgo débil, y 5 un riesgo muy fuerte. (Asociación Estatal de Meteorología (AEMET), 2019)

Este boletín se publica diariamente en la temporada de esquí (entre diciembre y mayo aproximadamente) para las zonas más significativas de España (Pirineos, Parque nacional de los Picos de Europa, Parque Nacional de Guadarrama, las sierras del Cordel y Peña Labra).



	Nivel de peligro	Icono	Estabilidad del manto nivoso	Probabilidad de desencadenamiento de aludes
5	Muy fuerte		El manto nivoso es, en general, muy inestable.	Son esperables numerosos aludes muy grandes, a menudo extremadamente grandes, desencadenados espontáneamente, incluso en laderas sólo moderadamente inclinadas*.
4	Fuerte		En la mayoría de laderas empinadas* el manto está débilmente estabilizado.	Es probable el desencadenamiento de aludes incluso mediante sobrecargas débiles** en muchas laderas empinadas*. En algunos casos son esperables numerosos aludes de tamaño grande y, frecuentemente, muy grande, desencadenados espontáneamente.
3	Notable		En muchas laderas empinadas* el manto nivoso está entre moderada y débilmente estabilizado.	Es posible el desencadenamiento de aludes incluso por sobrecargas débiles**, especialmente en laderas empinadas propicias*. En algunos casos, son posibles aludes de tamaño grande y, en casos aislados, de tamaño muy grande, desencadenados espontáneamente.
2	Limitado		En algunas laderas empinadas* el manto nivoso está sólo moderadamente estabilizado; en el resto de laderas está en general bien estabilizado.	Es posible el desencadenamiento de aludes sobre todo por sobrecargas fuertes**, especialmente en laderas empinadas propicias*. Es muy poco probable que se desencadenen espontáneamente aludes muy grandes.
1	Débil		El manto nivoso está en general bien estabilizado.	En general sólo es posible el desencadenamiento de aludes en laderas muy inclinadas o en terreno especialmente desfavorable* y a causa de sobrecargas fuertes**. Espontáneamente sólo pueden desencadenarse aludes pequeños o medianos.

Ilustración 8: Boletín de peligro de aludes. (AEMET)



CAPÍTULO II ~ TIPOLOGÍA DE PROTECCIONES



2.1 TIPOLOGÍA DE PROTECCIONES

La tipología de estructuras para la contención de nieve es muy diversa, se pueden clasificar de muchas maneras.

2.1.1 ESTRUCTURAS RIGIDAS O FLEXIBLES

La clasificación principal con la que vamos a trabajar nos divide las estructuras en rígidas o flexibles.

Agrupando dentro de las estructuras rígidas a los denominados puentes (snow bridges) y rastrillos (snow rakes). Las flexibles están definidas por las mallas o redes.

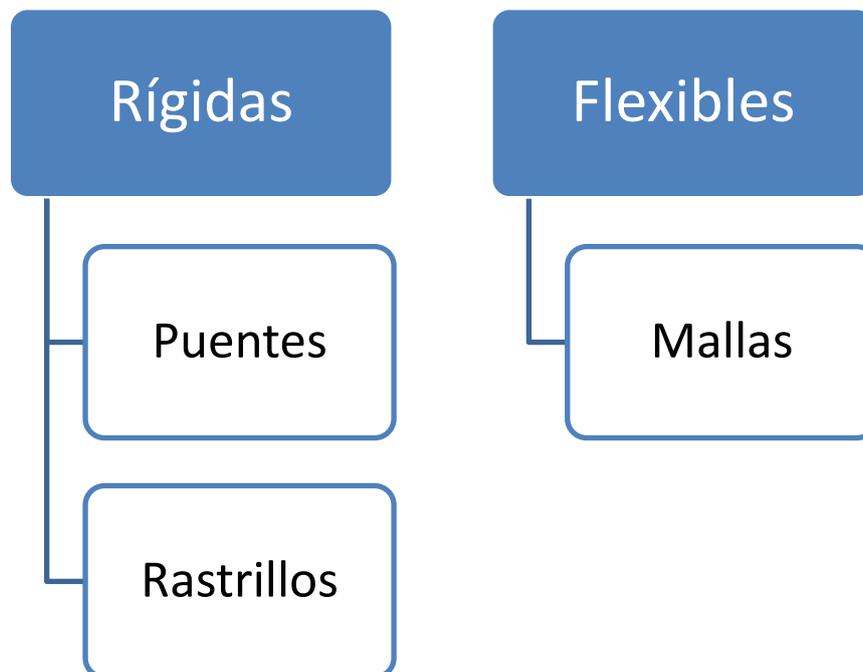


Ilustración 9: Clasificación estructuras en rígidas o flexibles. Elaboración propia

Tanto los puentes como los rastrillos son largueros colocados sobre unos montantes. La principal diferencia entre ellos está en el sentido de los largueros, los rastrillos los tienen colocados horizontalmente, mientras que los rastrillos verticalmente. Las mallas, son entramados de acero en forma de red, colgados de unos soportes verticales.



Ilustración 10: Estructura rígida de tipo puente. (Pxhere, 2019)



Ilustración 11: Estructura rígida de tipo rastrillo. (Pxhere, 2019)



Ilustración 12: Estructura flexible. (Geobrug web site, 2019)

2.1.2 ESTRUCTURAS POROSAS/NO POROSAS

Otra forma de agruparlas es según su porosidad, pudiendo ser porosos o no porosos. También se pueden ver distinguidos como sistemas masivos o compartimentados.

Los sistemas no porosos, son los más antiguos y más elementales, consisten en una gran masa contra la que choca la nieve y se acumula. Se puede decir que es una especie de “presa” para la nieve. Funciona por gravedad, siendo el peso de la estructura el elemento que más aporta al momento estabilizador.

En cuanto a los porosos, están compuestos por vigas que forman la estructura y transfieren las cargas al terreno mediante las cimentaciones. Un modelo que este en auge, es las mallas de protección por su escaso peso, que veremos más adelante.

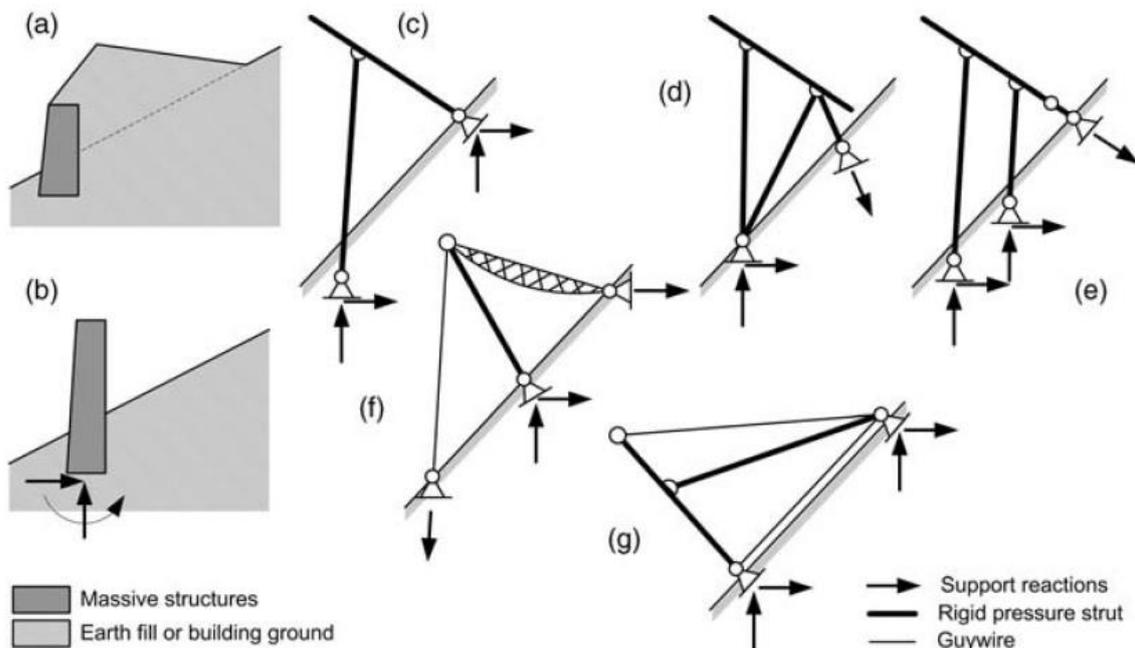


Ilustración 13: Clasificación de las diferentes estructuras de contención de nieve. (Margreth, 2015)

2.1.3. ESTRUCTURAS ESTÁTICAS/DINÁMICAS

También podemos clasificarlos en función de su acción contra la avalancha, pueden ser estructuras estáticas o estructuras dinámicas. Las estructuras de defensa estáticas se pueden considerar como medidas para la mitigación en la zona de iniciación de la avalancha. Constan de unas redes ensartadas por hilos de acero, entre unos postes, insertadas al suelo mediante unos anclajes. El objetivo principal es retener la mayor cantidad de nieve en sus redes, para así reducir el peso del manto nivoso, ya que era uno de los factores que estaba implicado en la producción de avalanchas.

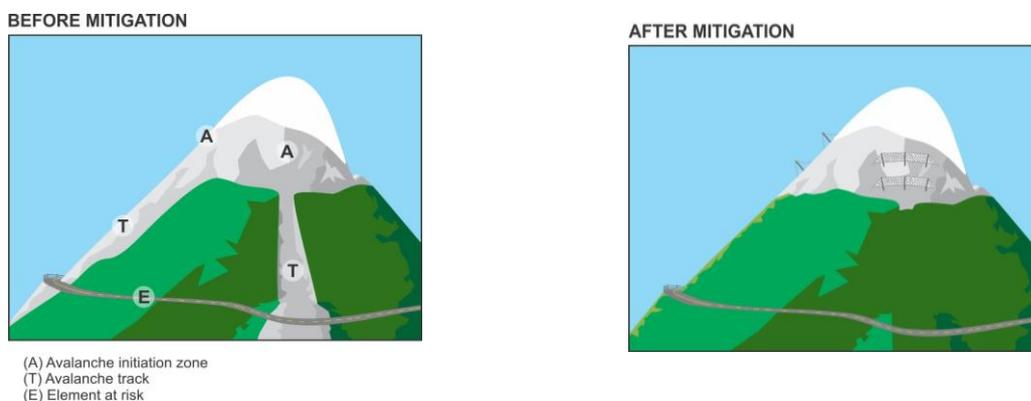


Ilustración 14: Consecuencias de colocar o no barreras protectoras. (Web de Trumer, 2019)

Por el contrario, las dinámicas, se caracterizan por entrar en contacto directo con la avalancha ya desencadenada, tratando de reducir su impacto.

La investigación existente sobre estructuras dinámicas es muy limitada, hay que tener en cuenta las velocidades que pueden alcanzar las avalanchas y las cantidades de masa que puede desplazar. Es por eso, entre otros motivos, que es muy complicado diseñar estructuras que realmente resistan a este fenómeno y reduzcan sus daños.

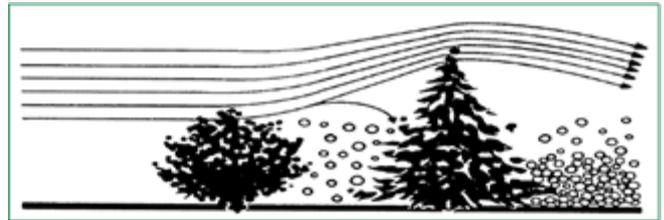
Sin embargo, las estáticas, tiene como objetivo evitar que se desencadene el alud, dando estabilidad al manto nivoso. Esto es más sencillo y es por eso, que son mucho más utilizadas.

2.1.4 ESTRUCTURAS NATURALES

En zonas donde los niveles de nieve acumulados no sean muy elevados, se pueden utilizar los sistemas naturales. No son más que árboles o vegetación con el tamaño suficiente afilados que hacen de barrera natural. De la misma manera que en las protecciones “artificiales” la separación entre cada cadena tiene que estar controlada, para que tenga un efecto óptimo.

Las principales ventajas que tienen este tipo de barreras son las siguientes (Sañudo-Fontaneda, Castro-Fresno, Coz-Díaz, & Rodríguez-Hernandez, 2011):

- Coste muy bajo de instalación.
- Mantenimiento prácticamente nulo.
- Larga durabilidad.
- Impacto ambiental prácticamente inexistente.



La densidad de la vegetación tiene un efecto similar a la porosidad en el otro tipo de estructuras, estando ligada directamente con la eficacia de la barrera.



Ilustración 15: Barrera de nieve natural. (Departamento de transporte de Wyoming, 2009)



Ilustración 16: Arbolada como barrera protectora. (Departamento de transporte de Wyoming, 2009)

2.1.5 ESTRUCTURAS EN FUNCIÓN DE SU MATERIAL

Por último cabe destacar los diferentes materiales usados a la hora de diseñar una barrera de protección contra la nieve. Los más utilizados son:

- Madera
- Acero
- Hormigón
- Plástico

Tanto la madera como el acero son sin duda los más habituales. Ambos materiales aportan la suficiente rigidez y resistencia a la estructura haciendo que tengan un gran comportamiento para este tipo de estructuras. Los puentes y rastrillos es más habitual encontrarlos en madera, ya que se tratan de protecciones más antiguas y menos sofisticadas. Por el contrario, prácticamente todo el mercado actual se desarrolla en acero.

En cuanto al plástico, es mucho menos utilizado ya que tiene peores características. Tiene alguna aplicación en barreras temporales en estaciones de esquí.

Algo similar pasa con el hormigón, su gran impacto hace que prácticamente no se use.



Ilustración 17: Barrera de plástico temporal. (Never too late blogspot, s.f.)

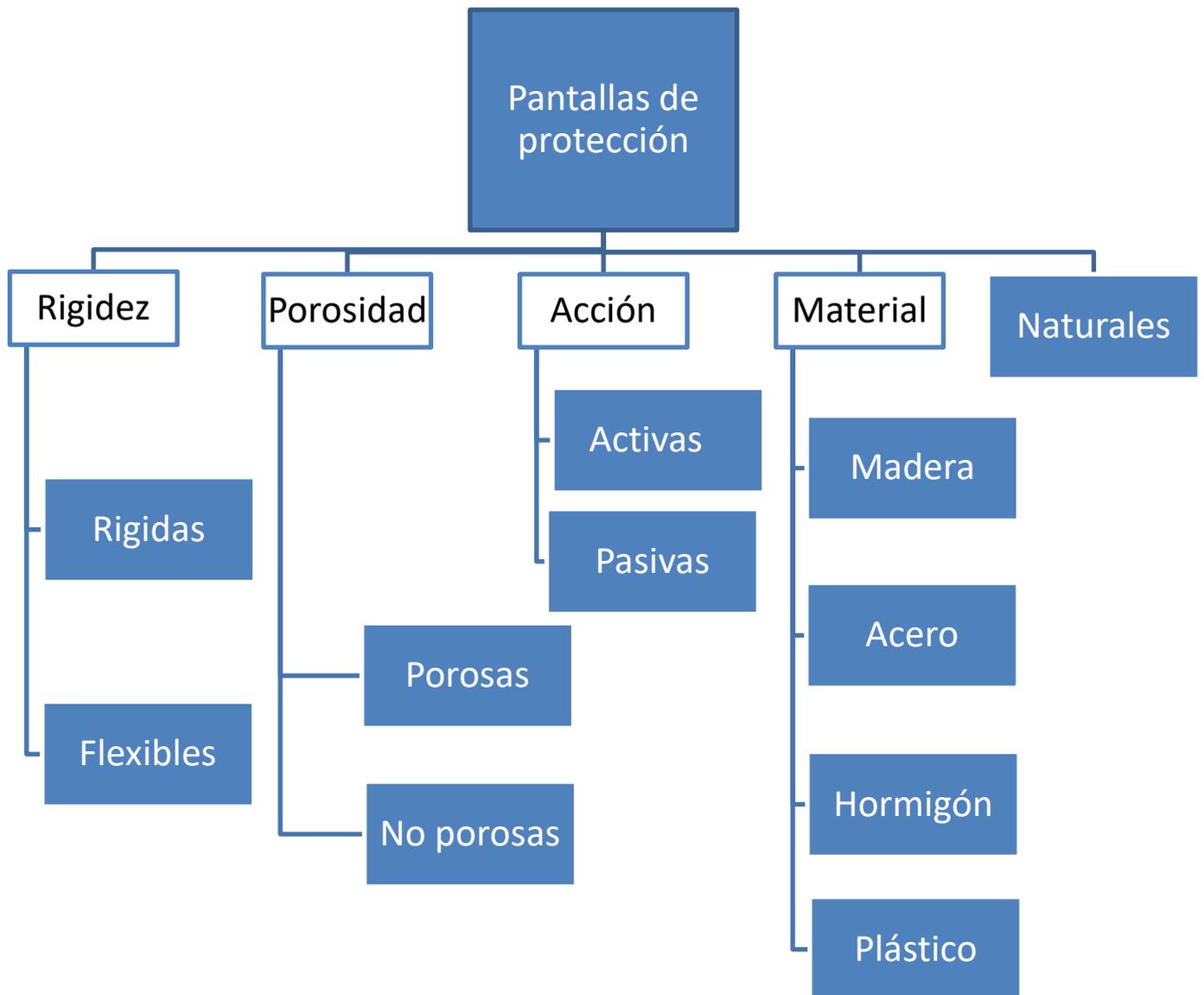


Ilustración 18: Clasificación de las pantallas de protección. Elaboración propia



2.2 PRINCIPALES PROVEEDORES EN LA ACTUALIDAD

No existe una gran variedad a la hora de elegir suministrador para una estructura de estas condiciones, debido a la baja rentabilidad que conlleva. Por lo general, nos encontramos empresas con una gran estructura dedicadas principalmente a diseño y fabricación de sistemas de protección contra desprendimientos de rocas o detritos, que tienen una pequeña rama en la protección contra avalanchas, pero sin ser esta su principal línea de negocio. La puntualidad a la hora de la necesidad de uno de estos productos y su coste, hace que al final, solo sean reclamados en ocasión muy precisas y por entidades, principalmente públicas, cuando no queda otro remedio.

Es por todo lo anterior descrito, que, tras una inmersión en el mercado actual, analizaremos los siguientes proveedores encontrados:

- Trumer
- Geobrugg
- TAS
- Macaferri



Ilustración 19: Logos de las diferentes empresas del mercado actual. Recuperado de sus respectivas páginas web oficiales.



2.2.1. TRUMER

Otro de los grandes pioneros mundiales en protecciones contra aludes es Trumer. Fue fundada en 1991 en Salzburgo bajo el nombre de Trumer Schutzbauten GmbH. Tiene una gran gama de productos para protección contra todo tipo de riesgos naturales, caídas de rocas, aluviones, deslizamientos... (Web de Trumer, 2019)

En cuanto a las protecciones contra aludes, diferencia las estructuras según sean dinámicas o estáticas. Teniendo en su catálogo los siguientes productos estáticos:

- Defensas estáticas
 - TL-SV Snow Net
 - TL-SV Snow Rake

2.2.1.1 TL-SV SNOW NET

El primero producto ofertado es el TL-SV SNOW NET, podría clasificarse también como una estructura flexible, ya que consta de una malla de acero flexible que retiene la nieve. Tiene un valor D_k característico de hasta 4.5m. La malla está hecha de acero, y tiene una disposición geométrica en forma de sección omega, siendo el entramado rectangular en la zona central, y triangular en los laterales de la malla. Hay dos opciones de malla: la primera, tiene un diámetro de hilo de 6mm con una longitud de arco de 135mm; mientras que la otra opción, nos presenta 7.5mm de diámetro y 135 mm de longitud de arco en la malla. Tienen un peso por metro cuadrado de 3.6 y 5.6 kg respectivamente. En consecuencia, de todos los detalles citados, obtenemos una capacidad de 246 kN/m para la malla 6.0/135, y 386 kN/m para la malla de 7.5/135.

Omega-Net Model	6.0/135	7.5/135
Type	Steel Wire Cable	
Rope Diameter <i>mm (in.)</i>	6.0 (0.236)	7.5 (0.295)
Rope Construction	1 x 7 Spiral	
Single Wire Diameter <i>mm (in.)</i>	2.0 (0.078)	2.5 (0.098)
Corrosion Protection**	Zn, ZnAl	
Mesh Size <i>mm (in.)</i>	~ 135 x 135 (5.3 x 5.3)	
Unit Weight <i>kg/m² (lb/ft²)</i>	~ 3.6 (0.73)	~ 5.6 (1.15)
Mesh Tensile Strength calculated <i>kN/m (lb/ft)</i>	246 (16856)	386 (26449)
Connection to Main Ropes	Threaded	
Connection to Adjacent Panel	5/16" Shackle	3/8" Shackle

Ilustración 20: Tabla resumen de las características del TL-SV Snow Net. (Web de Trumer, 2019)

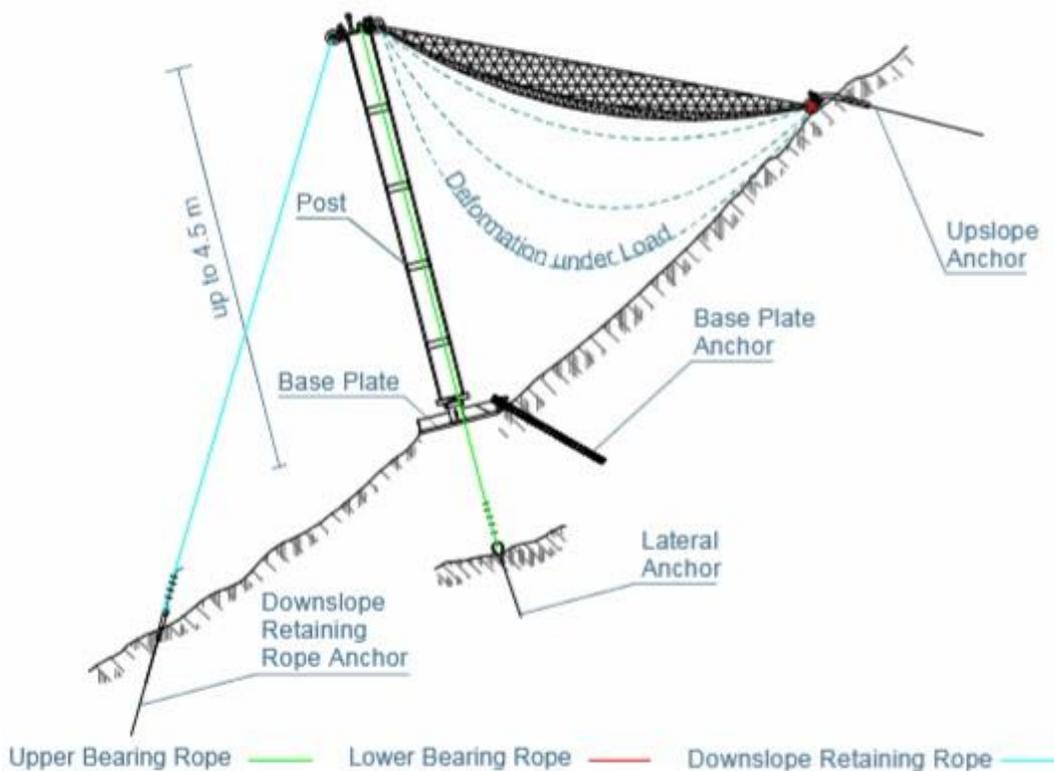


Ilustración 21: Perfil típico del producto TL-SV Snow Net. (Web de Trumer, 2019)

2.2.1.1 TL-SV SNOW RAKE

El otro producto en el catálogo es el TL-SV SNOW RAKE. En este caso también hay dos tipos de mallas de acero disponibles, pero esta vez con diámetros de 4.5 o 6.0 mm, longitudes de arco de 100 o 135 mm. Tienen unas capacidades de 154 o 246 kN/mm respectivamente, y un peso de 2.7 o 3.6 kg por metro cuadrado.

La principal diferencia entre estas dos estructuras reside en la situación inicial de la malla. En el primer producto descrito, la malla parte de una posición más horizontal al terreno, mientras que en el “rake” está colocada prácticamente en vertical y no sufre mucha deformación por el peso de la nieve.

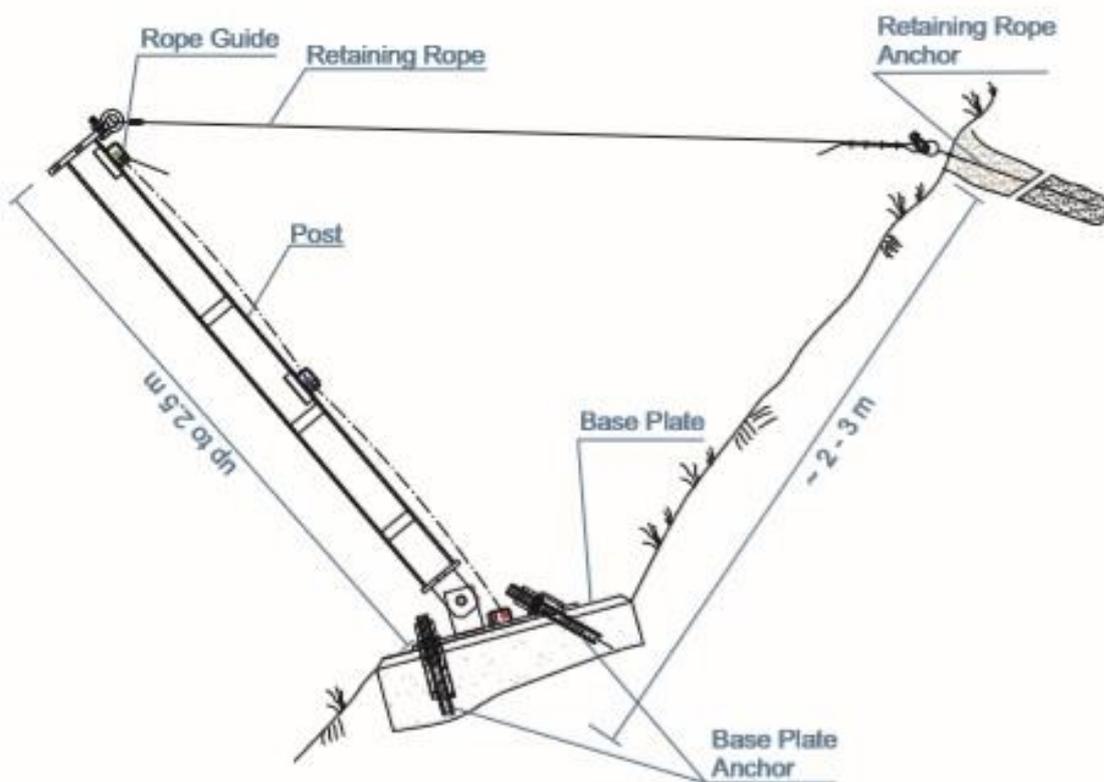


Ilustración 22: Perfil típico de una barrera de Trumer (Web de Trumer, 2019)



Omega-Net Model	4.5/100	6.0/135
Type	Steel Wire Cable	
Rope Diameter <i>mm (in.)</i>	4.5 (0.177)	6.0 (0.236)
Rope Construction	1 x 7 Spiral	
Single Wire Diameter <i>mm (in.)</i>	1.5 (0.059)	2.0 (0.078)
Corrosion Protection**	Zn	Zn, ZnAl
Mesh Size <i>mm (in.)</i>	~ 100 x 100 (3.9 x 3.9)	~ 135 x 135 (5.3 x 5.3)
Unit Weight <i>kg/m² (lb/ft²)</i>	~ 2.7 (0.55)	~ 3.6 (0.73)
Mesh Tensile Strength calculated <i>kN/m (lb/ft)</i>	154 (10552)	246 (16856)
Connection to Main Ropes	Threaded	
Connection to Adjacent Panel	1/4" Shackle	5/16" Shackle

Ilustración 23: Tabla resumen de las características del TL-SV Snow Rake. (Web de Trumer, 2019)

2.2.2. GEOBRUGG

Otra de las principales marcas punteras en el sector es Geobrug. Se trata de una empresa suiza que nace en 1951, con la primera construcción de una malla para la retención de rocas originadas por avalanchas. Desde entonces ha ido ampliando y mejorando sus productos. A día de hoy, en cuanto a la retención de nieve, oferta su malla SPIDER AVALANCHE. Se trata de una estructura flexible que está compuesta por redes de cable espiral de alta resistencia. (Geobrug web site, 2019)

Uno de los motivos por lo que destaca es por su ligereza. Hay que tener en cuenta que este tipo de estructuras tienen que colocarse en lugares con difícil acceso, a cotas altas, y donde las condiciones de trabajo son pésimas. El hecho de que tenga un peso pequeño, permite que puedan ser transportadas en helicóptero, facilitando de esta manera la colocación.

Este modelo tiene una absorción de energía de hasta 500kJ, y un valor de Dk de entre 2.5 y 4.5 metros. Además, se puede usar también como protección contra desprendimientos de rocas. Se realizará un análisis detallado de este producto en capítulos siguientes.

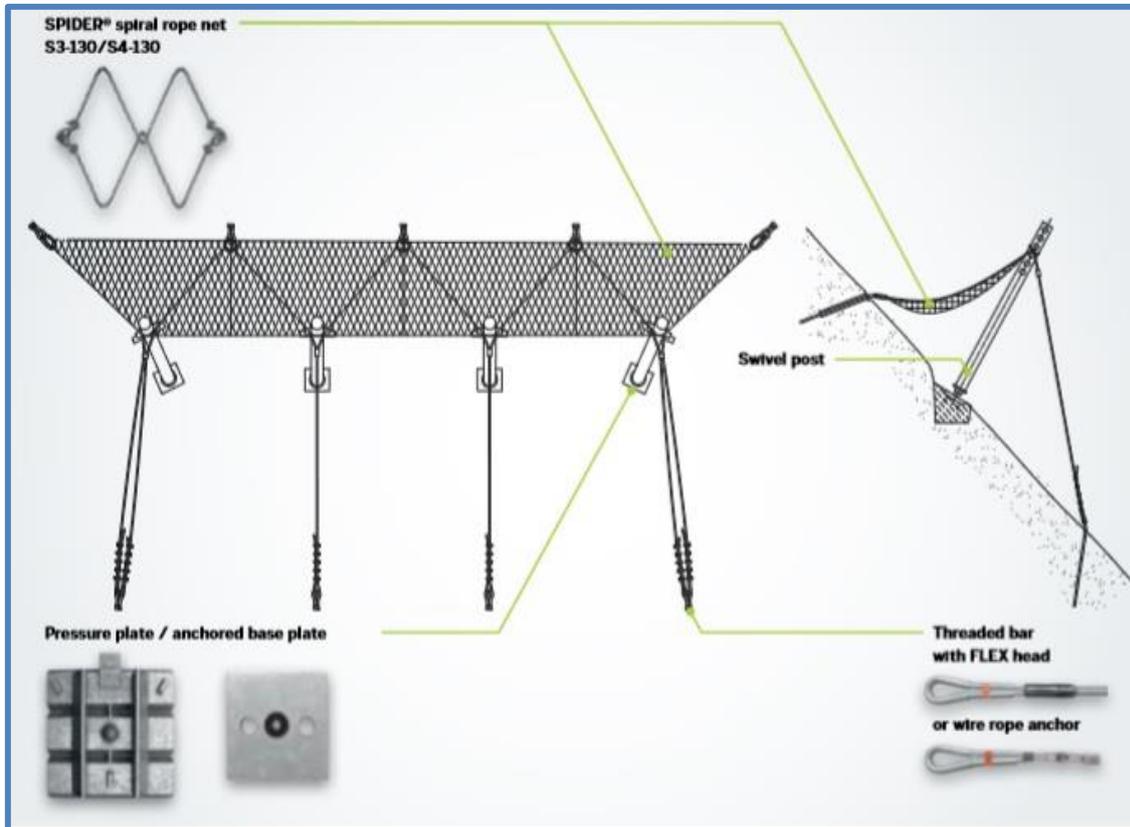


Ilustración 24: Esquema general del producto Spider Avalanche . (Geobrigg web site, 2019)



2.2.3. TAS

Se trata de una empresa con origen en Francia y con más de 20 años de experiencia en el sector. Se distingue del resto de empresas por el hecho de además de disponer estructuras para la protección contra la nieve, tiene también una gran gama de productos relacionados con el control remoto de avalanchas. Estos sistemas tienen como misión desencadenar una pequeña avalancha para estabilizar el manto nivoso cuando los parámetros sean adecuados.

En cuanto a las protecciones estructurales, encontramos los siguientes productos en su catálogo (T.A.S, 2019):

- MASSARO
- MENTA
- VELA

2.2.3.1 MASSARO

Estructuras rígidas tipo puente, es decir, consta de largueros horizontales. Pueden ser de madera o metal y están diseñadas para admitir valores de D_k entre 2 y 4,5.

2.2.3.2 MENTA

En este caso son estructuras flexibles tipo malla. Al igual, que las MASSARO también tienen un valor admisible de D_k entre 2 y 4,5.

2.2.3.3 VELA

Es el producto estrella de esta marca, en este caso es una estructura mixta, ya que junta características de las rígidas y las flexibles. Constan de una base en forma de X sobre la que hay una malla metálica. De esta base nace un soporte en perpendicular al que van a parar los anclajes.

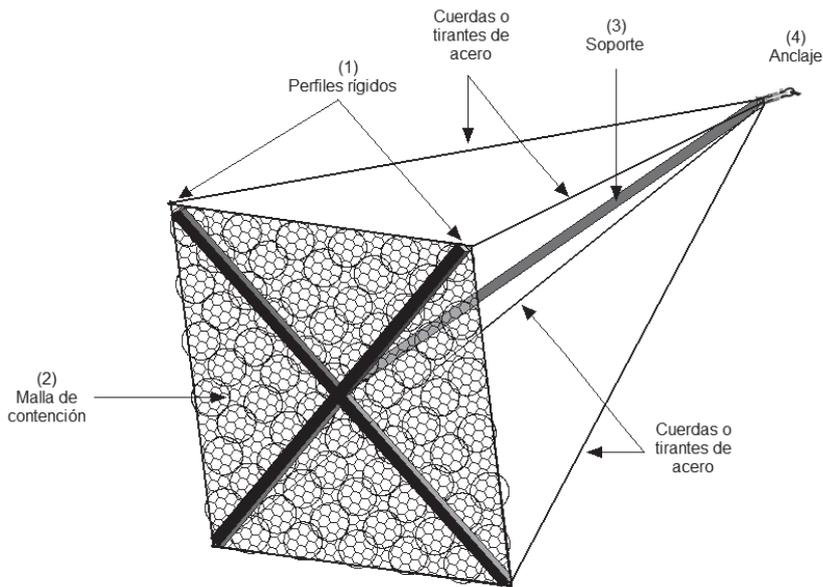


Ilustración 25: Estructura en forma de X Sañudo-Fontaneda, L. A., Castro-Fresno, D., Coz-Díaz, J. J., & Rodríguez-Hernández, O. (2011). *Classification and Comparison of Snow Fences for the Protection of Transport Infrastructures*.

Avalanche barriers
TRADITIONAL Structure

TO PREVENTIVELY RETAIN THE SNOWPACK IN AVALANCHE STARTING ZONES WITH TRADITIONAL, HELIPORTABLE, RIGID OR FLEXIBLE SOLUTIONS

MASSARO - BRIDGES & RAKES

FIELD SUPPORT SNOW FENCING / RIGID

Rigid, wooden or steel, avalanche fencing protection comprises some pillars supporting a deck when the deck is a set of horizontal bars, fencing protections are snow bridges. In the case of bars perpendicular to the ground, fencing protections are snow rakes.

Developed to comply with French standard NF P 95-303 and the Swiss Directive.

Ranges available: from R26 to R56 / from C26 to C56 / from CB26 to CB46 / from Dk2 to Dk4.5.

FUNCTIONAL ADVANTAGES		TECHNICAL SPECIFICATIONS	
<p>ADAPTABLE</p> <p>The use of individual modules allows this solution to be installed in linear or staggered positioning according to the configuration of the ground.</p> <p>Diversified installation</p> <p>IDEAL FOR COMPLEX TOPOGRAPHY</p>	<p>FUNCTIONAL</p> <p>A number of installation types are available: pencil, anchor or dead man. An optional adaptation plate can be provided for soft ground.</p> <p>Different possible implementations</p> <p>ADAPTED TO SITE WORKERS CONSTRAINTS</p>	<p>MATERIAL</p> <ul style="list-style-type: none"> - Wood - Steel on thick - Galvanized steel - Corten steel (on demand) 	<p>HEIGHT</p> <ul style="list-style-type: none"> - From 2m to 5m - Intermediate heights available on request

Ilustración 26: Fragmento del catálogo de TAS donde se muestran el producto MASSARO (T.A.S, 2019)

MENTA - NETS

MULTI ANCHORS SNOW FENCING / FLEXIBLE
Reference flexible solution made up of posts that support a set of modules of flexible triangular nets. Developed to comply with French standard NF P95-303 and the Swiss Directive.
Ranges available: from ES26 to ES56 / from Dk2 to Dk4.5.

TECHNICAL SPECIFICATIONS

<p>MATERIAL - Steel</p> <p>HEIGHT - From 2m to 5m - Intermediate heights available on request</p>	<p>STEP SPACING BETWEEN POLES - 3.5m / 4m / 5m <i>(depending of ranges)</i></p>
---	--



FUNCTIONAL ADVANTAGES

<p>OPEN This structure offers a low visual impact in both winter and summer while remaining adaptable to all types of land and topography. Landscape friendly solution ➤ SUITABLE FOR HIGHLY VISIBLE AREAS</p>	<p>LIGHTWEIGHT The very low weight of the solution leads to a real reduction in on-site routing costs and a decrease in intervention time by experienced installers. Linear mounting ➤ ADVANTAGEOUS INSTALLATION FOR EXPERIENCED WORKERS</p>
---	---

P.18

Ilustración 27: Fragmento del catálogo de TAS donde se muestra el producto MENTA. (T.A.S, 2019)

VELA

MONO ANCHOR SNOW FENCING / WITH STEEL ROD (RIGID CENTRAL AXIS)
Solution consisting of individual cruciform modules (linked together or independent) fixed to the ground to a single anchor, through one steel rod (rigid central axis).
Sized in line with the requirements of the Swiss Directive.
Ranges available: from Dk2.5 to Dk4.



FUNCTIONAL ADVANTAGES

<p>SIMPLE The use of a single anchor allows this lightweight structure (<400kg) to be intuitively assembled and installed on site extremely fast. Simplified site management ➤ POSSIBLE ASSEMBLY BY CUSTOMER</p>	<p>MODULAR Suitable for any type of terrain and topography, the installation of this solution is possible in continuous lines or in staggered positioning. « A la carte » installation ➤ IDEAL FOR ANY TYPE OF TERRAIN</p>
--	---

TECHNICAL SPECIFICATIONS

<p>MATERIAL - Galvanized steel - Raw steel</p>	<p>HEIGHT - From 2m to 4m</p>
---	--

Ilustración 28: Fragmento del catálogo de TAS donde se muestra el producto VELA (T.A.S, 2019)

2.2.4. MACCAFERRI

Macaferri es una empresa italiana fundada en 1879 bajo el nombre por aquellas fechas de 'Ditta Macaferri Raffaele, Officina da Fabbro'. Ha tenido una continua evolución desde su nacimiento, teniendo hoy en día presencia en 100 países y con unos 3000 empleados.

Tiene soluciones para una gran variedad de sectores, como pueden ser el sector de la minería, energético, transportes... entre otros. (Macaferri Web Site, 2019) En lo referente a la protección contra nieve, tiene también una pequeña gama de productos, todos ellos aprobados por el Instituto Suizo de investigación de Nieve y Avalanchas. La solución que tiene dentro de su catálogo son:

- ErdoX Snow

2.2.4.1. ERDOX SNOW

Se trata de una barrera con una estructura similar al descrito en el apartado 2.2.3.3 VELA.

Consta de un único anclaje unido a un panel en forma de cruz, que hace de retención para la nieve.

La instalación de este tipo de estructura en forma de X, tiene como ventajas principales que es una estructura con un peso inferior a 400kg y que es fácil de instalar. A demás se adapta prácticamente a todo tipo de topografías.



Ilustración 29: ERDOX SNOW VELA. (Macaferri Web Site, 2019)



CAPÍTULO III ~ MÉTODOS DE DIMENSIONAMIENTO



3.METODOLOGIAS DE DISEÑO

3.1. CÓDIGOS DE DISEÑO

Los códigos de diseño utilizados para la construcción de estructuras defensivas contra la nieve, en Europa, se basan en el eurocódigo. Este está compuesto de 10 ramas que abarca cada una, una fase diferente del diseño. Son las siguientes:

- Eurocódigo 0: Bases de Diseño Estructural (EN 1990).
- Eurocódigo 1: Acciones sobre las Estructuras (EN 1991).
- Eurocódigo 2: Diseño de Estructuras de Hormigón (EN 1992).
- Eurocódigo 3: Diseño de Estructuras de Acero (EN 1993).
- Eurocódigo 4: Diseño de Estructuras Mixtas de Acero y Hormigón (EN 1994).
- Eurocódigo 5: Diseño de Estructuras de Madera (EN 1995).
- Eurocódigo 6: Diseño de Estructuras de Albañilería (EN 1996).
- Eurocódigo 7: Diseño Geotécnico (EN 1997).
- Eurocódigo 8: Diseño Sísmico de Estructuras (EN 1998).
- Eurocódigo 9: Diseño de Estructuras de Aluminio (EN 1999).

Cada país tiene el poder de hacer pequeñas modificaciones en ciertos elementos (Ministerio de Fomento, s.f.). Es por eso que países punteros en este ámbito, como Suiza o Austria, son líderes en el diseño y se usan sus códigos muchas veces como guía (estando estos basados en el eurocódigo).

Por el contrario, tanto en Estados Unidos como Canadá, este tema no está desarrollado y, por lo tanto, ANSI (American National Standards Institute) no tiene un código propio. Las barreras llevadas a cabo en estos lugares, están basadas en los códigos europeos.

Es por eso, que para el dimensionamiento de este tipo de estructuras se sigue las directrices del “WSL Swiss Federal Institute for Snow and Avalanches Research”, pionero en este ámbito.



El siguiente capítulo está basado en la guía “Defense Structures in avalanche starting zones” publicado por el “WSL Swiss Federal Institute for Snow and Avalanches Research” en 2007, ya que es una referencia única y mundial.

3.2. POSICIONAMIENTO DE LAS BARRERAS

A la hora de diseñar nuestro sistema de defensa, es obvio que una sola estructura sería inútil, de ahí que haya que colocar numerosas para conseguir el efecto buscado. Ahora bien, estas pueden ser colocadas de diferentes maneras, teniendo cada una sus ventajas e inconvenientes.

Se distinguen entre cuatro disposiciones principales (WSL Swiss Federal Institute for Snow and Avalanches Research SLF, 2007):

- Continuas.
- Separadas, interrumpidas.
- Separadas, escalonadas.
- Separadas, combinadas.

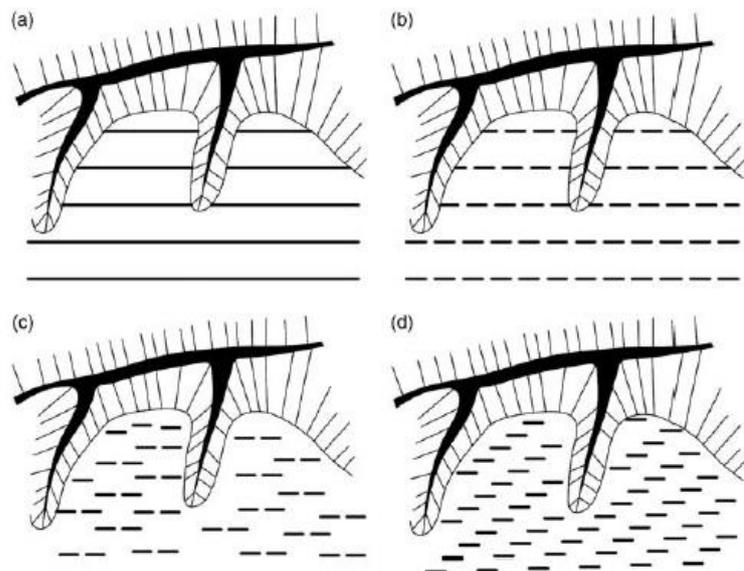


Ilustración 30: Disposiciones posibles de las barreras de protección (Margreth, 2015).



3.3. ALTURA DE NIEVE

Uno de los parámetros más importantes a la hora de calcular y diseñar una protección es la altura de nieve. Si nuestra altura de nieve supera la barrera, esta será totalmente inútil. La fórmula utilizada es la siguiente (Margreth, 2015):

$$H_{ext} = H_{max} \frac{\overline{H_{ext}}}{\overline{H_{max}}}$$

H_{max} : Máxima altura de nieve durante el invierno, en un punto concreto.

$\overline{H_{max}}$: Media de las alturas máximas de nieve, en el momento que esta se produce y sobre una zona de terreno.

H_{ext} : El valor anticipado de la altura máxima de nieve, durante un periodo de tiempo y en un punto concreto.

$\overline{H_{ext}}$: Media de las alturas máximas de nieve en un área de terreno, en el momento de ocurrencia de la cobertura extrema de nieve.

Para calcular $\overline{H_{ext}}$ se utiliza una serie de mapas donde se zonifican las distintas áreas en cuatro zonas, en función de las nevadas existentes durante los últimos años. Una vez localizada nuestra zona, se utiliza la siguiente expresión:

Zona 1: $\overline{H_{ext}} = 1.00 (0.15 \cdot Z - 20)$

Zona 2: $\overline{H_{ext}} = 1.30 (0.15 \cdot Z - 20)$

Zona 3: $\overline{H_{ext}} = 1.65 (0.15 \cdot Z - 20)$

Zona 4: $\overline{H_{ext}} = 2.00 (0.15 \cdot Z - 20)$

Sin embargo, estos mapas conllevan un gran tiempo de estudio y de recursos, es por eso por lo que solo existen en Austria y Suiza.

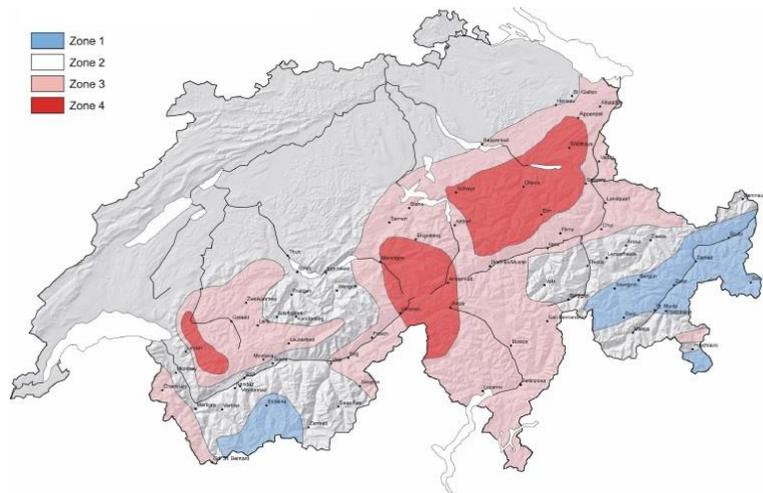


Ilustración 31: Diferentes zonas en función de la altura de nieve máxima de Suiza. (Margreth, 2015)

3.3.1 ALTURA DE LA ESTRUCTURA

La altura de la estructura (H_k) queda definida como la distancia vertical desde el borde superior de la estructura al suelo. Tiene que ser, como mínimo igual que la altura de nieve extrema:

$$H_k \geq H_{ext}$$

Otro concepto importante es la altura de la parrilla o red, conocido como B_k . Este hace referencia a la anchura de nuestra estructura.

El último concepto, que queda por introducir es la altura efectiva (D_k) que no es más que la altura de parrilla proyectada sobre la perpendicular al suelo.

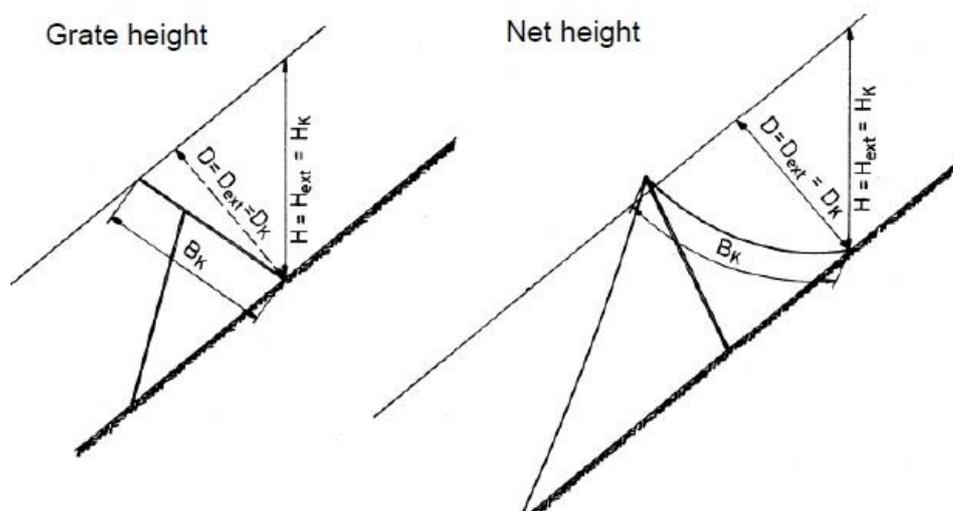


Ilustración 32: Esquema de las diferentes alturas en mallas flexibles y estructuras rígidas. (Margreth, 2015)



3.4. ACCIONES SOBRE LA ESTRUCTURA

3.4.1. PRESIÓN DE LA NIEVE

Componente paralela la pendiente

El valor de la presión que la nieve ejerce sobre la estructura depende de diferentes factores:

- S'_N : Es el componente horizontal de la presión de nieve por unidad de longitud. [kN/m].
- ρ : Es una media de la densidad de la nieve. Esta depende de la elevación y de la exposición que tenga la pendiente. Normalmente se toma el valor de 0.27 t/m³
- g : Aceleración de la gravedad [9.81 m/s²].
- H : Altura de nieve, medida en la vertical.
- K : "Creep factor" que depende directamente de la inclinación del talud y de la densidad de la nieve.
- N : "Glide factor" o factor de deslizamiento. Implica el incremento que sufre la densidad de la nieve al producirse un desplazamiento de la nieve sobre el suelo.

$$S'_N = \rho \cdot g \cdot \frac{H^2}{2} \cdot K \cdot N$$

Si asumimos una densidad de 0.27 t/m³ y un ángulo de inclinación de 45°, el cálculo se resume a la siguiente fórmula más simplificada:

$$S'_N = H_k^2 \cdot N \cdot f_c$$



Componente perpendicular a la pendiente

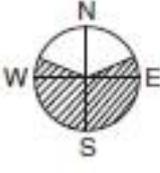
En cuanto a la componente perpendicular a la pendiente, queda definida de la siguiente manera:

$$S'_Q = S'_N \cdot \frac{a}{N \cdot \tan\varphi}$$

- a: Coeficiente que indica el tipo de nieve. Con nieve nueva, toma el valor de 0.5, y para hielo o nieve vieja se toma el valor de 0. Sin embargo, se recomienda tomar un valor mínimo de 0.35.
- φ : Gradiente de la pendiente [°].

El valor del factor de deslizamiento o “glide factor”, que es necesario en ambas componentes de la presión de nieve, se obtiene mediante la siguiente tabla:



Soil Classes	Glide Factor N	
	Exposure	Exposure
		
	WNW-N-ENE	ENE-S-WNW
Class 1		
Rough boulder debris ($d^* \geq 30$ cm).		
Terrain with strong presence of small and large boulders.	1.2	1.3
Class 2		
Areas covered with larger alder bushes or dwarf pine at least 1 metre in height. Humps overgrown with turf and low bushes (height of humps more than 50 cm). Strongly developed cow paths. Large boulders (d^* approx. 10–30 cm).	1.6	1.8
Class 3		
Short-stalked turf, interspersed with small bushes (heather, Alpine roses, bilberries, alder bushes, dwarf pine less than 1 m in height). Fine boulders ($d^* \leq 10$ cm) interspersed with turf and small bushes. Weakly developed humps overgrown with turf and small bushes up to 50 cm height, also interspersed with smooth turf and small bushes. Turf with little developed cow paths.	2.0	2.4
Class 4		
Smooth, long-stalked closed turf. Smooth rock plates with layering parallel to the slope. Smooth slope debris mixed with earth. Swampy depressions.	2.6	3.2

d^* is the average block size, which is essential for the roughness of the soil surface.

Ilustración 33: Diferentes factores de deslizamiento en función del tipo de suelo y de la orientación de la ladera. (Margreth, 2015)

3.4.2. INCREMENTO PARA ESTRUCTURAS CON INCLINACIÓN

Por último, hay, en estructuras no horizontales, que son la mayoría, hay que tener también en cuenta el valor del peso del bloque de nieve. Este valor se tiene en cuenta mediante la siguiente expresión:

$$G' = 1.5 \cdot D_k^2 \cdot \tan \delta \text{ [kN/m]}$$

Donde D_k es el espesor efectivo del manto de nieve, y δ el ángulo formado entre la superficie del soporte y la normal a la inclinación.

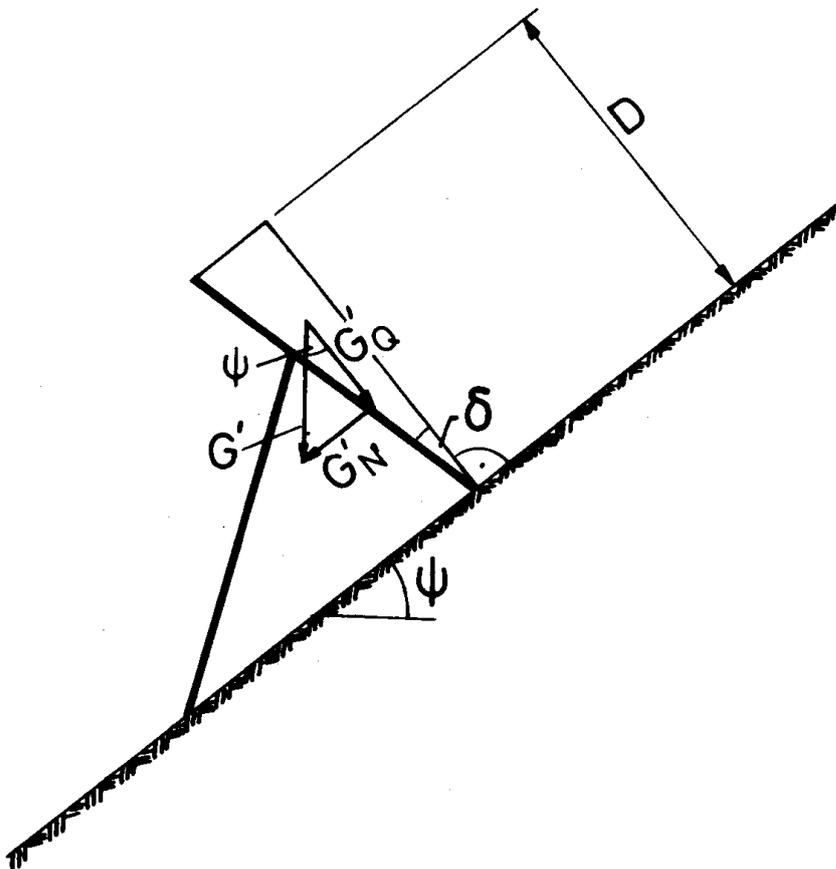


Ilustración 34: Componentes del peso de nieve actuantes sobre la estructura. (Margreth, 2015)



3.4.3. CARGAS “END-EFFECT”

Este fenómeno consiste en un incremento de la carga debido a la acumulación de nieve.

Este aumento de masa de nieve, se produce en lugares de la estructura donde la deformación de esta es limitada. Se pueden llegar a alcanzar valores de 5 veces el inicial y es, por lo tanto, un efecto importante a tener en cuenta a la hora de diseñar y dimensionar nuestra estructura. Esta carga, representada como S'_R , se añade a la componente paralela a la pendiente como:

$$S'_R = f_R \cdot S'_N$$

- f_R : Factor end-effect

$$f_R = (0.92 + 0.65N) \cdot \frac{A}{2} \leq (1.00 + 1.25N)$$

A: Separación lateral entre estructuras a lo ancho de la superficie [m].

N: “Glide factor”.

3.4.4. EQUILIBRIO DE FUERZAS

Tras estudiar las fuerzas principales que afectan a la estructura y su dirección, podemos resumirlas en el siguiente esquema:

En el que habría que añadir la componente S'_R en la dirección paralela a la pendiente.

Fuerzas \perp a la pendiente:

$$S'_Q + G'_Q$$

Fuerzas \parallel a la pendiente:

$$S'_N + G'_N + S'_R$$

Por lo tanto la resultante R' será:

$$R' = \sqrt{(S'_Q + G'_Q)^2 + (S'_N + G'_N + S'_R)^2}$$

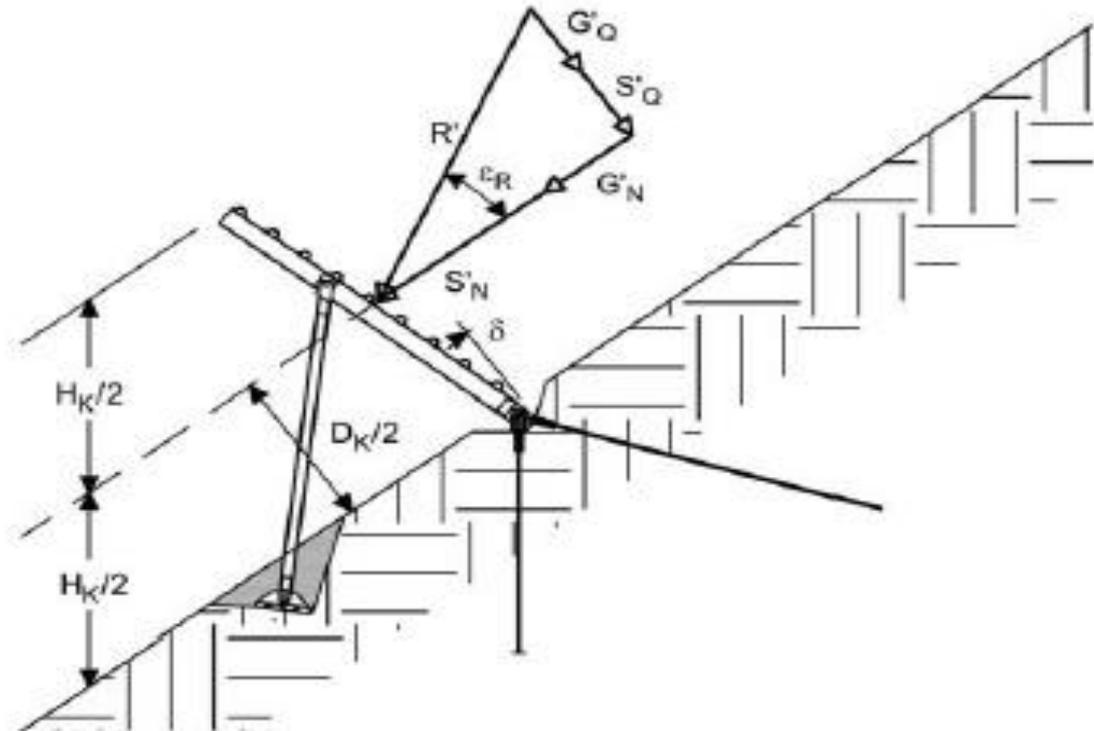


Ilustración 35: Esquema de las fuerzas de presión y peso de la nieve sobre la barrera. (Margreth, 2015)

3.4.5. DISTRIBUCION DE CARGAS SOBRE LA REJILLA

La distribución de presiones en la rejilla de la estructura viene dado por un modelo lineal de valor p_h . Este valor se obtiene utilizando la siguiente expresión:

$$p_h = \frac{R' \cdot \cos(\delta - \epsilon_R)}{0.77 \cdot B_k}$$

donde:

R' : Resultante de la presión de la nieve.

δ : Inclinación de la rejilla.

B_k : Altura de la rejilla.

ϵ_R : Angulo entre R' y la línea de la pendiente.

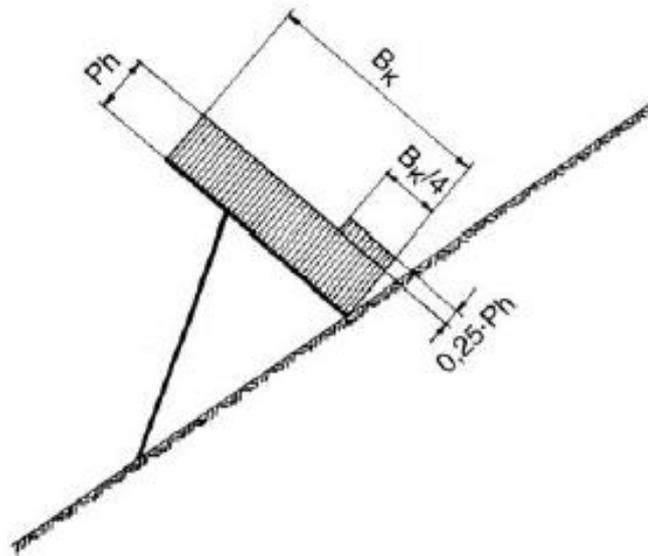


Ilustración 36: Distribución de cargas en una rejilla. (Margreth, 2015)

Se puede observar en la figura, como hay un incremento en la distribución en la zona más cercana al suelo. Esto es debido al deslizamiento de la nieve hacia abajo, y por lo tanto hay que cubrir este fenómeno, para ello se incrementa en un 25% el valor de p_h en la zona más próxima al suelo. Concretamente, este incremento se lleva a cabo a lo largo de un cuarto del valor de la altura de parrilla.

También hay que tener en cuenta la fuerza transversal que se produce debido a la deformación de la masa de nieve. Esta, se calcula de la siguiente forma:

$$q_h = \frac{R' \cdot \sin(\varepsilon_R - \delta)}{0.77 \cdot B_k} \geq 0.2 \cdot p_h$$

3.5. DISTANCIAMIENTO ENTRE ESTRUCTURAS

A la hora de optimizar el rendimiento de nuestro sistema de defensas, es muy importante dar con la distancia que tiene que haber entre cada barrera individual a lo largo de la pendiente (como se puede observar en la figura 36). Un cálculo de esta distancia equivocado, podría causar tanto un excesivo impacto económico, si la



distancia obtenida es menor a la necesaria; como una ineficacia de la defensa si nuestra separación es mayor a la requerida.

La distancia de separación (L) se calcula de la siguiente manera:

$$L = f_l \cdot H_k$$

EL factor f_l depende de tres variables: la inclinación de la pendiente, la fricción entre la nieve y el suelo; y, por último, el factor de deslizamiento. Por otro lado, H_k es la altura de la estructura.

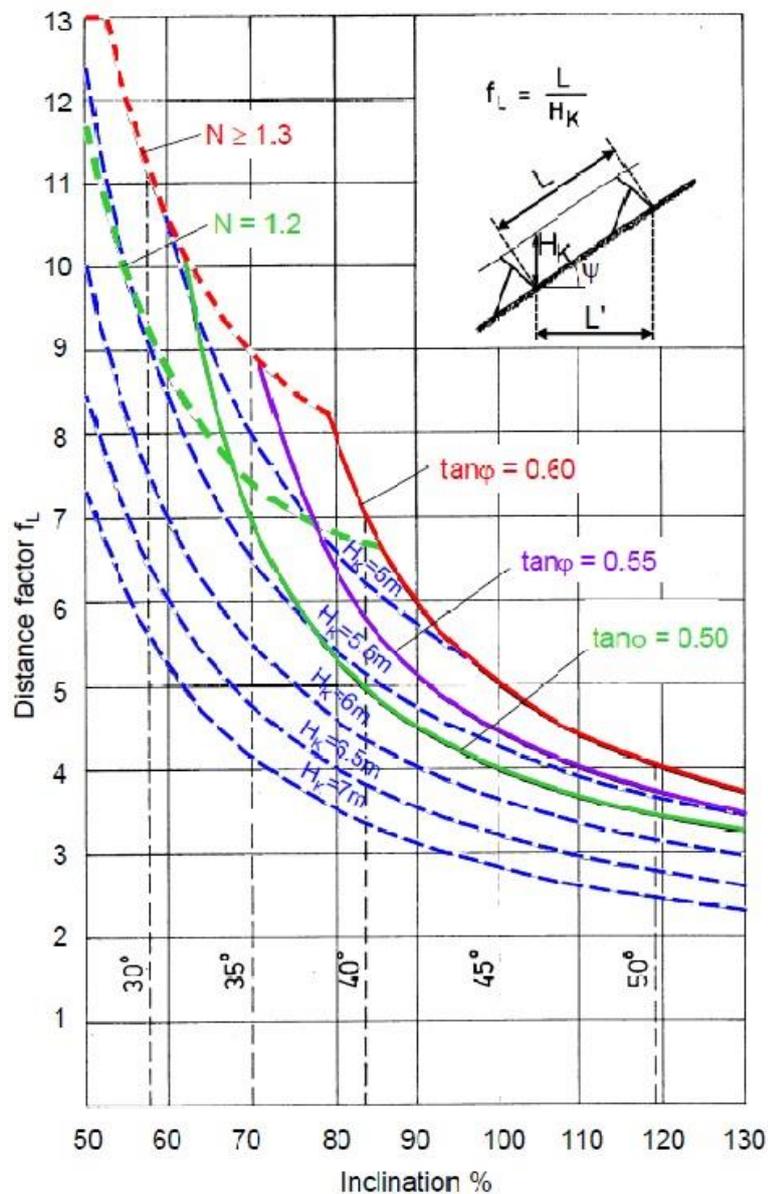


Ilustración 37: Relación entre inclinación y distancia entre barreras (Margreth, 2015)



Como se puede observar en la gráfica, cuanto menor sea la inclinación de la pendiente y mayor la altura de la estructura, más distancia entre barreras podemos dejar.

3.6 MATERIALES

Como ya se ha indicado anteriormente, los materiales más comunes a la hora de fabricar estas estructuras son la madera y el acero.

3.6.1 ACERO

El acero se utiliza en estructuras compartimentadas principalmente, para las vigas y soportes se utilizan perfiles laminados en caliente. Sin embargo, en las vigas transversales es habitual encontrar perfiles omegas estampados en frío. Habitualmente, se usan aceros de calidades en el rango de S235JR a S355JR, cualquier material de calidad superior (J0 o J2) también serían aceptables, aunque habría que estudiar la rentabilidad económica.

3.6.2 MADERA

La madera que se usa suele tener sección circular o semicircular y con unos diámetros máximos de 25 cm. Sin embargo, secciones cuadradas también se utilizan, aunque en menor medida. Maderas de pino, piceas o abetos son las más comunes.



3.7 EVALUACIÓN Y DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

3.7.1. COMBINACIÓN DE ESFUERZOS

Como indican todos códigos de diseño, entre ellos Instrucción de Acero Estructural (EAE), que es una extrapolación del eurocódigo, los esfuerzos a tener en cuenta se dividen en tres grupos: Cargas permanentes, sobrecargas de uso y cargas puntuales. Algo similar nos indica la figura (41), donde tenemos el peso de la estructura como carga permanente; la presión de la nieve o el viento como sobrecargas; y, por último, situaciones puntuales como terremotos o caídas de rocas. Todas estas cargas irán mayoradas con sus correspondientes valores en función de la situación propuesta.

Design Situation	AC	Actions combined with another		
		Permanent action	Changeable action	Exceptional action
DS1	AC1	Dead weight	—	—
	AC2a	Dead weight ^(c)	Snow pressure ^(a)	—
	AC2b	Dead weight ^(c)	Snow pressure ^(b)	—
DS2	AC3	Dead weight	Wind	—
DS3	AC4	Dead weight ^(c)	—	Earthquake
	AC5	Dead weight ^(c)	Snow pressure	Avalanche action
	AC6	Dead weight ^(c)	—	Rock fall
	AC7	Dead weight ^(c)	—	Snow pressure ^(d)
	AC8	Dead weight ^(c)	—	Foundation soil deformation

Ilustración 38: Fuerzas a tener en cuenta en el dimensionamiento. (Margreth, 2015)



3.7.2. FUERZAS INTERNAS Y REACCIONES

Uno de los objetivos más importantes a la hora de diseñar una estructura de contención de nieve, es que hay cuatro variables que tienen que alcanzar un equilibrio entre ellas. Se trata de las siguientes:

- Peso y facilidad de montaje: Estos dos factores van unidos ya que dependen el uno del otro. Como ya se ha dicho estas estructuras son transportadas y montadas en lugares muy poco accesibles, por lo que hay que buscar materiales ligeros pero resistentes para facilitar este proceso.
- Esfuerzos y reacciones: La nieve ejerce una gran fuerza a la estructura y hay que ser capaz de transmitir dichos esfuerzos a través de la estructura de una forma adecuada, con el fin de tratar de reducir las reacciones ejercidas al terreno lo máximos posible.



Ilustración 39: Parámetros a tener en cuenta en el diseño. Elaboración propia

3.7.3. DIMENSIONAMIENTO DE REJILLAS DE METAL

A la hora de dimensionar las vigas transversales de la rejilla tenemos que estudiar cada trozo de sección individualmente. La sección tipo de un perfil tiene omega tiene la siguiente forma:

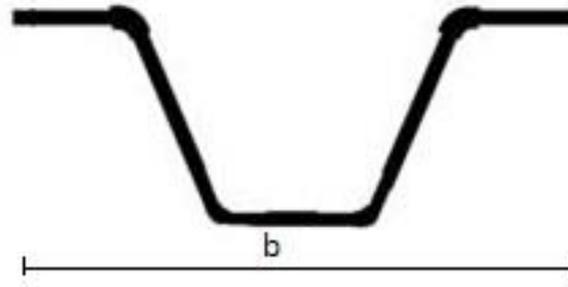


Ilustración 40: Sección tipo omega. Elaboración propia

El valor “b” es la anchura del perfil y es el valor que nos va a dimensionar nuestra rejilla, de tal forma que el valor de carga lineal asumible por cada sección viene dado por la siguiente expresión:

$$P'_b = P'_h \cdot b = q_h \cdot b \geq 0.2 \cdot p'_b$$

P'_h : Presión de nieve efectiva perpendicular al plano de la rejilla.

b : ancho útil de la sección.

q_h : carga transversal.

Hay que prestar especial atención tanto a la viga más superior y a la más inferior de nuestra rejilla, ya que estas en principio tendrían un área contribuyente menor. Finalmente, habría que dimensionar también el torsor que afecta a la sección, ya que la carga transversal (q'_b) actúa en la parte superior de la sección omega y no en el centro de gravedad.

3.7.4. DIMENSIONAMIENTO DE ESTRUCTURAS TIPO MALLA

Para este dimensionamiento, calcularemos la presión de nieve de la misma forma que para estructuras rígidas. La componente paralela (S'_N) estará minorada por el factor 0.8 para tener en cuenta la flexibilidad de la estructura. La componente perpendicular (S'_Q) y transversal (S'_S) no se tendrán en cuenta. Es por lo tanto que el peso de la nieve (G') tendrá mayor efecto en esta variedad de cálculo.



Por otro lado, las tensiones en la malla (S) pueden calcularse de la siguiente manera:

$$S = \sqrt{S_H^2 + S_V^2} = \sqrt{\left(\frac{p'_h \cdot s^2}{8f}\right)^2 + \left(\frac{p'_h \cdot s}{2}\right)^2}$$

Siendo:

S: Longitud del cable

F: flecha producida en el cable (se toma el 15% de la longitud del cable).

p'_h : carga normal lineal de la presión de nieve (3.4.5).

Necesitando conocer también las siguientes expresiones:

$$p_h = \frac{R' \cdot \cos(\delta - \epsilon r)}{0.77Bk}$$

$$R' = \sqrt{(S'_N + G'_N)^2 + (S'_Q + G'_Q)^2}$$

Donde δ es el ángulo formado por la estructura y la vertical, que en este tipo de mallas suele ser 30° . A su vez, ϵr es otro ángulo formado esta vez, por las diferentes componentes de la presión de nieve y el peso. Los demás valores que entran a jugar ya han sido descritos anteriormente.

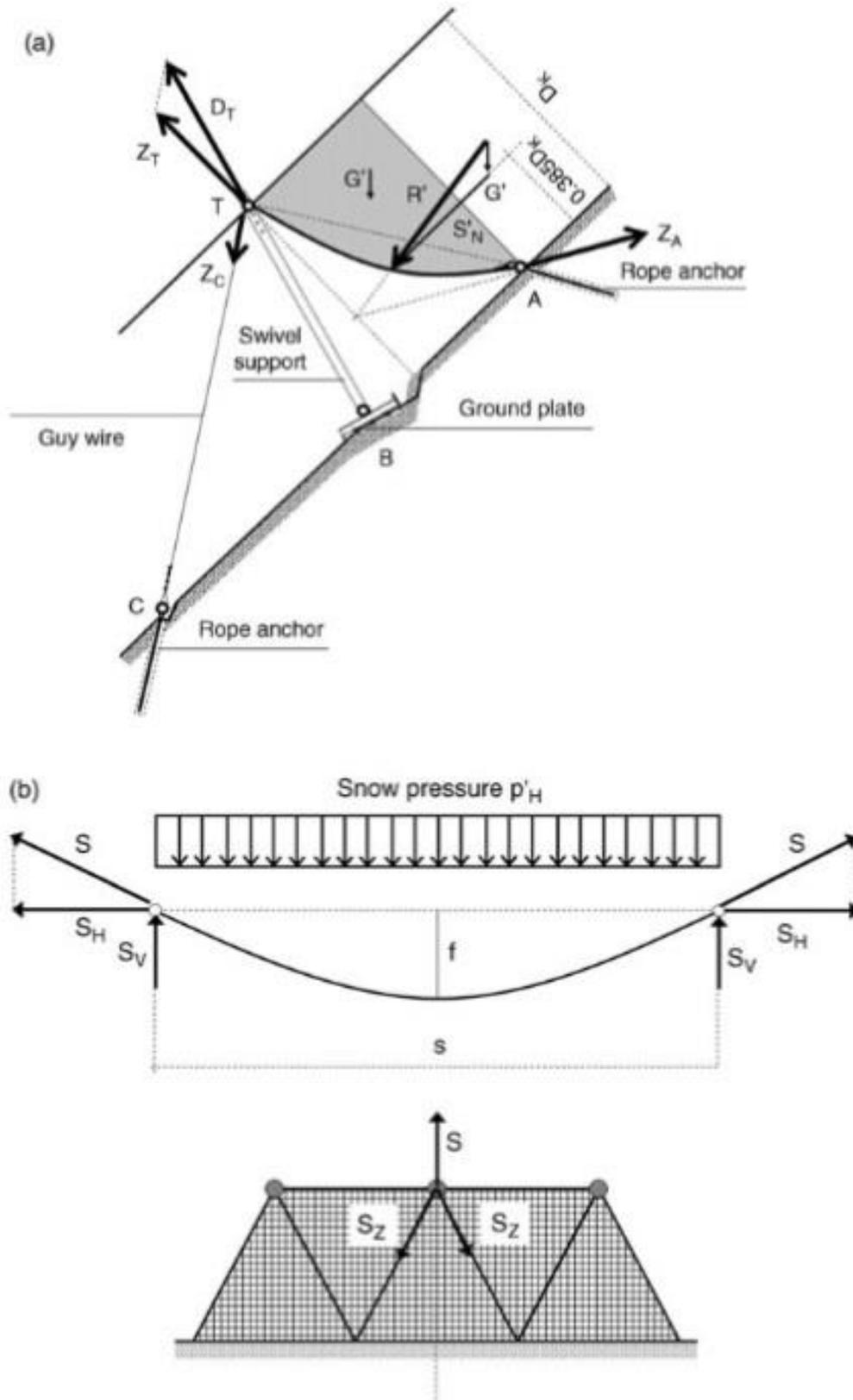


Ilustración 41: Fuerzas actuantes sobre una estructura tipo red. (Margreth, 2015)



CAPÍTULO IV ~ ANÁLISIS MULTICRITERIO



4-ANÁLISIS DE PRODUCTO MULTICRTERIO

El objetivo de este capítulo es realizar un análisis multicriterio de los diferentes suministradores analizados en el capítulo II, con el fin de dar una valoración a cada uno de ellos.

Se van a estudiar tres criterios que serán:

- Facilidad de transporte y montaje.
- Precio/resistencia
- Fiabilidad del suministrador.

A cada suministrador, y por cada criterio se le asignará una valoración del 1 al 10, que una vez puestas todas en común nos dará la evaluación final. Esta valoración individual, se multiplicará por un coeficiente que los ponderará, siendo la suma de todos los productos la nota final.

De los cuatro proveedores vistos anteriormente, solamente analizaremos dos de ellos Trumer y Geobruigg, al ser los únicos que nos ofrecen la información mínima necesaria para poder realizar dicho análisis. En concreto vamos a estudiar los siguientes productos: TRUMER TS-LV SNOW NET y GEOBRUGG SPIDER AVALANCHE. He seleccionado estos dos productos ya que en la actualidad son los más utilizados, y porque son similares y podemos observar mejor sus diferencias y similitudes.

La sección de estudio será parecida, pero debido a la geometría de cada producto, no será la misma. Trumer tiene un producto con una red metálica rectangular mientras que la de Geobruigg es triangular. Por lo tanto, tendremos una red metálica con una separación entre postes de 4 metros con sus dos postes correspondientes, y los anclajes que necesiten.

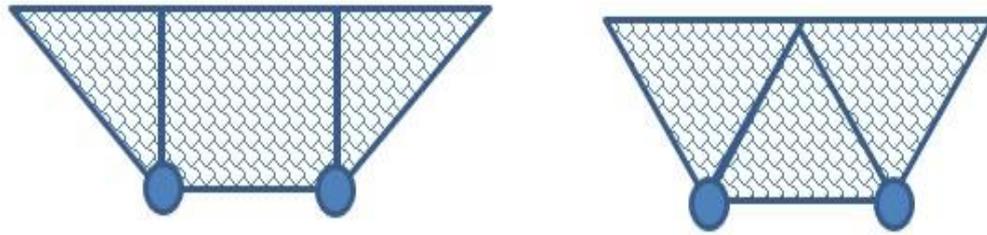


Ilustración 42: Geometría de red de Trumer y Geobruigg. Elaboración propia

4.1. FACILIDAD DE TRANSPORTE Y MONTAJE

Como su propio nombre indica vamos a analizar la facilidad que nuestras estructuras tienen primero para ser transportadas, y una vez en lugar elegido, para ser montadas. Este criterio se considera principal debido a los pintorescos lugares donde hay que acceder para montarlas. Cotas altas, con accesos inadecuados o incluso inexistentes, y temperaturas bajas hacen que el nivel de complejidad, en todo lo relacionado con la logística, sea elevado.

Por todo lo descrito, hay un factor completamente prioritario que es el peso de la estructura. Hay que encontrar un tándem de equilibrio entre el peso y la capacidad resistente de la estructura ya que normalmente están relacionadas. Una gran estructura, con un gran peso y volumen, es obvio que nos va dar una mayor capacidad de resistencia ante la nieve que una más pequeña y con menor peso.

Para aquellos suministradores, que no proporcionan el peso de sus productos en el catálogo, se hará una estimación en función de la geometría y de los materiales utilizados habitualmente.

TRUMER TS-LV SNOW NET:

El catálogo de Trumer nos indica el peso de la malla de acero utilizada en el TS-LV Snow Net siendo este de 5.6 kg/m². Estas redes suelen distanciarse unos 4m entre postes, y tienen una altura de unos 6 metros, por lo tanto, tendríamos



aproximadamente unos 24 metros cuadrados de malla entre cada poste, más la red lateral que consta de unos 12 metros cuadrados por cada lado, haciendo un total de 48 metros cuadrados.

A esto hay que añadir el peso del poste que hace de soporte el cual no viene indicado. Sin embargo, si nos indica que se trata de un perfil HEA o HEB. Para ponernos en la situación más desfavorable analizaremos el perfil HEB ya que tiene mayor peso que el HEA. Según el prontuario de la ilustración 46 y escogiendo un valor medio (HEB 300) podemos estimar que tiene un peso de 117 kg/m. La altura de estos postes suele ser como mucho de 4.5 metros.

Perfil	Dimensiones							Términos de sección										Agujeros			Peso	
	h mm	b mm	e mm	e ₁ mm	r ₁ mm	h ₁ mm	u mm	A cm ²	S _x cm ²	I _x cm ⁴	W _x cm ³	i _x cm	I _y cm ⁴	W _y cm ³	i _y cm	I _z cm ⁴	I _z cm ⁴	w mm	w ₁ mm	a mm	p kg/m	
HEB 100	100	100	6,0	10,0	12	56	567	26,0	52,1	450	90	4,16	167	33	2,53	9,34	3,375	55	—	13	20,4	P
HEB 120	120	120	6,5	11,0	12	74	686	34,0	82,6	864	144	5,04	318	53	3,06	14,90	9,410	65	—	17	26,7	P
HEB 140	140	140	7,0	12,0	12	92	805	43,0	123,0	1.509	216	5,93	550	79	3,58	22,50	22,480	75	—	21	33,7	P
HEB 160	160	160	8,0	13,0	15	104	918	54,3	177,0	2.492	311	6,78	889	111	4,05	33,20	47,940	85	—	23	42,6	P
HEB 180	180	180	8,5	14,0	15	122	1.040	65,3	241,0	3.831	426	7,66	1.363	151	4,57	46,50	93,750	100	—	25	51,2	P
HEB 200	200	200	9,0	15,0	18	134	1.150	78,1	321,0	5.696	570	8,54	2.003	200	5,07	63,40	171,100	110	—	25	61,3	P
HEB 220	220	220	9,5	16,0	18	152	1.270	91,0	414,0	8.091	736	9,43	2.843	258	5,59	84,40	295,400	120	—	25	71,5	P
HEB 240	240	240	10,0	17,0	21	164	1.380	106,0	527,0	11.259	938	10,30	3.923	327	6,08	110,00	486,900	90	35	25	83,2	P
HEB 260	260	260	10,0	17,5	24	177	1.500	118,4	641,0	14.919	1.150	11,20	5.135	395	6,58	130,00	753,700	100	40	25	93,0	P
HEB 280	280	280	10,5	18,0	24	196	1.620	131,4	767,0	19.270	1.380	12,10	6.595	471	7,09	153,00	1.130.000	110	45	25	103,0	P
HEB 300	300	300	11,0	19,0	27	208	1.730	149,1	934,0	25.166	1.680	13,00	8.563	571	7,58	192,00	1.688.000	120	50	25	117,0	P
HEB 320	320	300	11,5	20,5	27	225	1.770	161,3	1.070,0	30.823	1.930	13,80	9.239	616	7,57	241,00	2.069.000	120	50	25	127,0	P
HEB 340	340	300	12,0	21,5	27	243	1.810	170,9	1.200,0	36.656	2.160	14,60	9.690	646	7,53	278,00	2.454.000	120	50	25	134,0	P
HEB 360	300	300	12,5	22,5	27	261	1.850	180,6	1.340,0	43.193	2.400	15,50	10.140	676	7,49	320,00	2.883.000	120	50	25	142,0	P
HEB 400	400	300	13,5	24,0	27	298	1.930	197,8	1.620,0	57.680	2.880	17,10	10.819	721	7,40	394,00	3.817.000	120	50	25	155,0	P
HEB 450	450	300	14,0	26,0	27	344	2.030	218,0	1.990,0	79.887	3.550	19,10	11.721	781	7,33	500,00	5.258.000	120	50	25	171,0	P
HEB 500	500	300	14,5	28,0	27	390	2.120	238,6	2.410,0	107.176	4.290	21,20	12.624	842	7,27	625,00	7.018.000	120	45	28	187,0	C
HEB 550	550	300	15,0	29,0	27	438	2.220	254,1	2.800,0	136.691	4.970	23,20	13.077	872	7,17	701,00	8.856.000	120	45	28	199,0	C
HEB 600	600	300	15,5	30,0	27	486	2.320	270,0	3.210,0	171.041	5.700	25,20	13.530	902	7,08	783,00	10.965.000	120	45	28	212,0	C

Ilustración 43: Prontuario de perfiles HEB (Instrucción de Aceros Estructurales. EAE, 2011)

Por lo tanto, obtendríamos el siguiente peso:

$$P_T = P_{malla} + P_{poste} =$$

$$[48(m^2) \times 5.6 \left(\frac{kg}{m^2}\right)] + [4.5(m) \times 117 \left(\frac{kg}{m}\right) \times 2] = 1321.8 \text{ kg}$$

GEOBRUGG SPIDER AVALANCHE:

De igual manera que otros productos en forma de malla, el SPIDER AVALANCHE de Geobrugg está compuesto por una red metálica y un poste sobre el que se sostiene la malla, y se transmiten sus cargas. En este caso, la red utilizada es la denominada red SPIDER que en sus especificaciones (ilustración 47) indica que tiene un peso de 2.9 kg/m². Debido a su forma triangular la superficie de malla total es de 36 m².



DATOS TÉCNICOS

Red SPIDER® S3 – 130 de alambre espiral de acero de alta resistencia

Red SPIDER®	
Forma:	romboidal
Dimensiones:	$x \cdot y = 164 \cdot 270 \text{ mm (+/- 5\%)}$
Diámetro del círculo inscrito en el rombo:	$D_i = 130 \text{ mm (+/- 5\%)}$
Ángulo de la malla:	$\epsilon = 47^\circ$
No. de rombos longitudinal:	$m = 3,7 \text{ uds/m}$
No. de rombos transversal:	$n = 6,1 \text{ uds/m}$

Alambre de acero	
Diámetro del alambre:	$D_w = 3,0 \text{ mm}$
Límite elástico:	$f_s \geq 1770 \text{ N/mm}^2$
Material:	acero de alta resistencia
Resistencia a tracción:	$Z_w = 12,5 \text{ kN}$

Protección contra la corrosión *)	
Tipo:	GEOBRUGG SUPERCOATING®
Composición:	95% Zn / 5% Al
Cobertura:	min. 150 g/m ²

Cable trenzado de acero	
Diámetro del cable trenzado:	$D_c = 6,5 \text{ mm}$
Composición:	1 x 3

Capacidad de carga (versión estándar)	
Resistencia a tracción de la red:	$z_s \geq 220 \text{ kN/m (**)}$
Resistencia a punzonamiento:	$D_{it} \geq 230 \text{ kN} / 300 \text{ kN (**)}$
Capacidad de soporte a cortante:	$P_{it} \geq 115 \text{ kN} / 150 \text{ kN (**)}$
Capacidad de soporte frente a esfuerzos paralelos al talud:	$Z_{it} \geq 45 \text{ kN} / 70 \text{ kN (**)}$
Elongación longitudinal en ensayo a tracción directa:	$\delta < 10 \% (**)$
Clasificación de acuerdo con EAD 230025-00-0106	grupo 2, clase B (P33) grupo 1, clase B (P66)

Rollos estándar de red SPIDER®	
Ancho de rollo:	$b_{rol} = 3,5 \text{ m}$
Largo del rollo:	$l_{rol} = 20 \text{ m}$
Superficie total por rollo:	$A_{rol} = 70 \text{ m}^2$
Peso por m ² :	$g = 2,9 \text{ kg/m}^2$
Peso por rollo:	$G_{rol} = 203 \text{ kg}$
Extremos de la malla:	anudados sobre sí mismos

*) Además de la versión estándar de alambre de acero de alta resistencia con recubrimiento Zn / Al, también está disponible en acero inoxidable (INOX) 1.4462 (AISI 318), resistente al agua de mar.

**) Según EAD 230025-00-0106 y refiriéndose al Informe de Ensayo de fecha 01/2014 del TÜV Rheinland LGA empleando placa spike P33 / P66.

Ilustración 44: Datos técnicos de la red SPIDER (Geobrugg web site, 2019)



En cuanto al poste, no tenemos ninguna referencia ni indicación en el catálogo, así que asumiremos que es un perfil igual que el usado en el apartado anterior. De tal manera que:

$$P_G = P_{malla} + P_{poste} = [36(m^2) \times 2.9 \left(\frac{kg}{m^2}\right)] + [4.5(m) \times 117 \left(\frac{kg}{m}\right)] \times 2 = 1157.4 \text{ kg}$$

En ambos productos, deberíamos tener en cuenta el peso de las placas de fijación y de los anclajes correspondientes, los cuales son poco significativos en comparación con las partes ya analizadas. Sin embargo, por seguridad, vamos a considerar un incremento de 15kg.

Por los descrito anteriormente, y al ser el producto de Trumer de inferior peso, será este el que tenga una valoración mayor en este apartado.

Producto	Peso (kg)	Valoración
TRUMER TS-LV SNOW NET	1321.8	8
GEOBRUGG SPIDER AVALANCHE	1157.4	10



4.2. PRECIO/CAPACIDAD RESISTENTE

En este apartado vamos a crear un parámetro denominado precio/ resistencia para poder relacionar el precio de la malla y sus demás complementos, con la resistencia que es capaz de soportar. Analizaremos los dos parámetros por separado, para luego poder unirlos teniendo un parámetro con unas unidades de €/Kn*m².

Los entramados metálicos en forma de malla se caracterizan por dos propiedades físicas principales: la resistente a tracción, fuerzas en el plano de la malla; y la capacidad a punzonamiento, fuerzas en el plano perpendicular. Ambas están relacionadas con el diámetro del hilo que forma la malla, y por el tamaño de apertura de esta. También influye directamente el material.

Sin embargo, es mucho más común el uso de la resistencia a tracción como valor de análisis ya que los ensayos para determinar esta propiedad están mucho más estandarizados que los relacionado con el punzonamiento.

Los dos productos analizados, tienen dos opciones de mallas, hemos elegido aquella que tiene un valor de diámetro más próxima a 3.0 mm.

La red del TRUMER TS-LV SNOW NET de Trumer, es una red con forma de omega y con las características ya descritas en 2.2.1. La capacidad resistente que tiene este producto según sus datos del catálogo es de 386 KN/m.

Por otro lado, tenemos el SPIDER AVALANCHE de Geobrugg, el cual tiene una capacidad de 220 KN/m. La diferencia puede estar en la apertura de malla ya que la de Trumer es más cerrada por lo tanto implicaría una mayor resistencia.

Para tener un análisis más coherente, y ya que nuestra malla se caracteriza por su superficie en m² y no por su longitud lineal, vamos a usar el valor de la resistencia a presión en KN/m². Dicho valor está se obtiene simplemente al suponer un metro cuadrado de sección y multiplicarlo por la resistencia a tensión correspondiente, de tal forma que obtendríamos los siguientes valores de capacidad resistente a presión:



Producto	Capacidad resistente(KN/m ²)
TRUMER TS-LV SNOW NET	386
GEOBRUGG SPIDER AVALANCHE	220

Para tener un enfoque un poco global en cuanto a costes de un proyecto de este tipo, podemos analizar un estudio realizado por el departamento de transportes de Estados Unidos. El problema que trataban de solucionar es el coste mínimo una o dos veces al año de una carretera en Wyoming por avalanchas. Para evitarlo decidieron utilizar unas barreras rígidas para mitigar estos fenómenos. Estimaron el coste total en 1.16 millones de euros, este consistía en la colocación de 70 estructuras. De ese precio total aproximadamente solo el 25% correspondía a las estructuras y otro 20% al anclaje de estas. El resto del coste viene de la instalación, transporte, estudios etc... (Departamento de transporte de Wyoming, 2009)

El precio es posiblemente el factor más determinante en cualquier ámbito. Ninguno de los suministradores analizados da información relativa a ello, es por eso por lo que trataremos de hacer una aproximación lo más exacta posible. Para ello vamos a estudiar los tres componentes principales de estas estructuras: la red metálica, el poste de sujeción y los anclajes.

Red metálica:

Para estudiar el precio de la red metálica, tenemos que extrapolar nuestra red con las usadas en las protecciones para las caídas de rocas. Estos productos, son mucho más utilizados y conocidos, y, por lo tanto, existe un mayor mercado. El funcionamiento es prácticamente el mismo que el de una barrera contra la nieve, constan de una malla metálica que hace de obstáculo al desprendimiento de rocas. Su precio lo vamos a calcular utilizando el estándar que nos facilita el Ministerio de Fomento con el documento "Base de precios de referencia de la dirección general de carreteras en la Orden Circular 37/2016.

En el capítulo de geotecnia, incluye un apartado de “Barreras Dinámicas”, donde vienen indicados los precios de este tipo de barreras para un diámetro de 3.0 mm y su capacidad de absorción de energía.

El diámetro coincide con el de nuestros productos, sin embargo, la capacidad de absorción no es un parámetro indicado por el proveedor en los productos de protección de avalanchas.

No obstante, las diferentes barreras dinámicas de los suministradores están formadas por las mismas redes metálicas que las usadas en las barreras anti nieve. Por lo tanto, utilizaremos el valor de la capacidad de absorción de las barreras dinámicas anti rocas, que usen las redes metálicas analizadas, como valor de las protecciones para aludes.

En el caso del TRUMER TS-LV SNOW NET utiliza una red denominada OMEGA NET 7.5/135. Esta misma red es usada en su producto TS-500-ZD (ilustración 46) el cual tiene una capacidad de absorción de 500kJ, y como se puede observar en la imagen xx, una disposición muy similar al TRUMER TS-LV SNOW NET.



Ilustración 45: Recuperado de <https://trumer.ca/products/rockfall-fences/hinged-post-systems/ts-500-zd/>



Geobrugg utiliza su formato de red SPIDER S3-130, y si nos indica en el catálogo del SPIDER AVALACNHE que tiene una capacidad de 500kJ.

Por lo tanto, tenemos usaremos el precio de 231.95 €/m² que es el indicado en el cuadro de precios (Ilustración 48) para una barrea dinámica de 3.0 mm de diámetro y una capacidad de absorción de 500kJ.

m² **PROTECCIÓN DE TALUD CON BARRERA DINÁMICA CONTRA CAÍDAS DE PIEDRAS CON UNA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE 500 kJ CON MALLA DE ACERO GALVANIZADO DE 3 mm DE DIÁMETRO, Y SOPORTE METÁLICO ARTICULADO PARA CUALQUIER PENDIENTE.**

Enero 2016

Pág.: 146 / 345

TERIO MENTO		BASE DE PRECIOS DE REFERENCIA DE LA DGC Justificación de precios			
Cantidad	Ud	Descripción	Precio	Subtotal	Importe
0,1000	h	Encargado	20,96	2,10	
0,2500	h	Oficial 1*	20,36	5,09	
0,4300	h	Oficial 2*	17,20	7,40	
0,4300	h	Ayudante	16,87	7,25	
0,4000	h	Peón ordinario	16,60	6,64	
1,0000	m ²	BARRERA DINÁMICA PARA PROTECCIÓN DE TALUDES CONTRA CAIDAS DE PIEDRAS CON UNA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE 500 kJ	180,84	180,84	
0,1700	h	Martillo picador neumático. De 30 kg de masa	0,73	0,12	
0,2300	h	Compresor estacionario de pistones. Presión normal (700 kPa). De 10 m ³ /minuto de caudal	10,53	2,42	
0,0700	h	Inyectoras hidráulicas (con grupo). De 120 litros/minuto	33,02	2,31	
0,0800	h	Camión. Con caja fija y grúa auxiliar. Para 16 t	58,08	4,65	
				Mano de Obra	28,48
				Maquinaria	9,50
				Material	180,84
				6% C.I.y redondeos	13,13
				Total partida	231,95 €

Ilustración 46: Desglose del precio de las redes dinámicas. (Ministerio de Fomento, s.f.)

Precio Trumer: 48m² x231.95= 11 133.6 €

Precio Geobrugg: 36m² x231,95=8 350,2 €



Poste de sujeción:

La altura del poste está condicionada directamente por la altura de nieve (D_k) que se contemple en la fase de diseño. Como este valor suele tener valores máximos de 4.5 metros, será este el valor que tomemos como longitud de nuestro perfil.

Trumer nos indica que utiliza perfiles HEB para la estructura, y en el código diseño está indicado que tiene que ser un acero con una calidad mínima de S275. Un acero de esta calidad, según el cuadro de precios del Ministerio de Fomento, tiene un valor de 2.81 €/kg, y según lo indicado en el apartado 4.1 el peso medio de estos perfiles es de 117 kg/m. Por lo tanto, el precio por metro es de 328.7 €/m.

Anclajes:

Los anclajes son aquellos elementos destinados a transmitir las fuerzas a tracción de la estructura al suelo. Pueden clasificarse de la siguiente manera:

Vida útil y tipo de inyección	Tirante de cables	Tirante de barra
Provisional IU	Tipo 1	Tipo 5
Provisional IR	Tipo 2 A	Tipo 6 A
Provisional IRS	Tipo 2 B	Tipo 6 B
Permanente IU	Tipo 3	Tipo 7
Permanente IR	Tipo 4 A	Tipo 8 A
Permanente IRS	Tipo 4 B	Tipo 8 B

Los anclajes IU son usados para terrenos cohesivos muy duros, suelos granulares o en rocas. Los de tipo IR, en rocas fisuradas blandas o en aluviales granulares. Por último, los de tipo IRS se recomienda su uso en suelos finos y con una consistencia media-baja.

En cuanto al uso de tirantes de cable o de barra, los primeros son recomendados para terrenos que puedan sufrir movimientos. A pesar de esto, los fabricantes usan anclajes de barras en sus hojas técnicas, por lo tanto, usaremos estos. Por



lo tanto, vamos a utilizar anclajes tipo 7, ya que son los más adecuados para nuestro terreno y los que utilizan los suministradores, con una longitud de 2 metros para nuestro análisis.

Por lo general, una barrera para protección de nieve, presenta cuatro tipos de anclajes: anclajes del poste, anclajes superiores, anclajes inferiores y anclajes laterales.

El producto SPIDER AVALANCHE de Geobrugg presenta el siguiente esquema de anclajes:

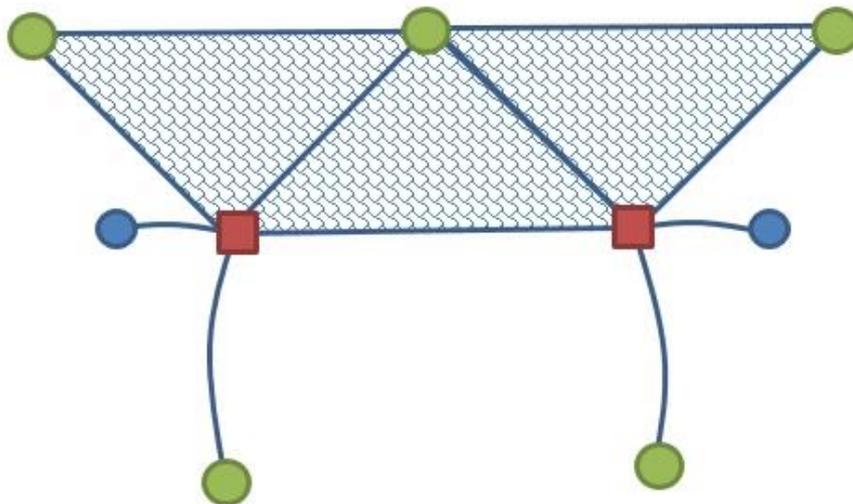


Ilustración 47: Anclajes en la red SPIDER. Elaboración propia

Estando marcados en verde los anclajes superiores e inferiores y en azul los laterales. La principal ventaja del SPIDER AVALANCHE es que no necesita de un anclaje tradicional en las placas base de los postes, ya que tiene otro método más novedoso para su estabilidad.

Por el contrario, la estructura analizada de Trumer, presenta una mayor necesidad de anclajes por su geometría, y a diferencia de Geobrugg si requiere

de un anclaje en la placa base .Queda detallado de la siguiente manera:

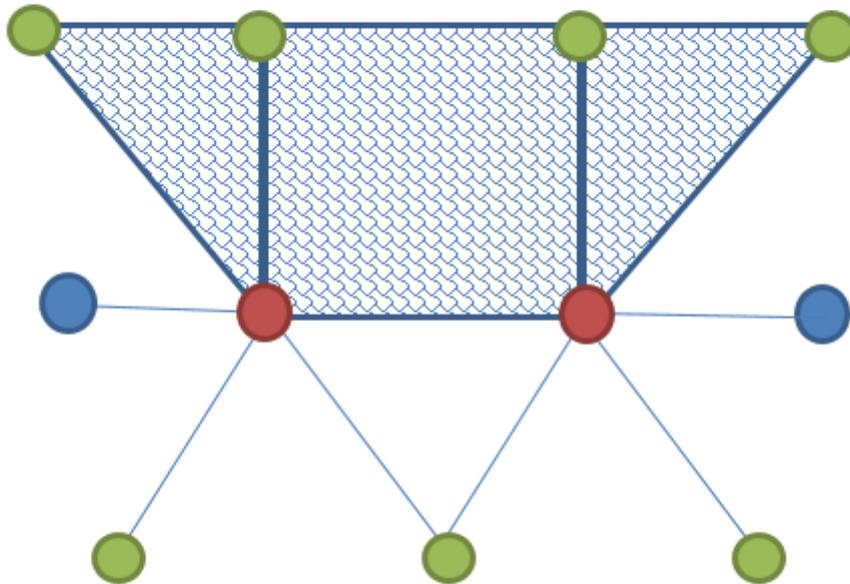


Ilustración 48: Anclajes en la red Trumer. Elaboración propia

Una vez que tenemos definido el número de anclajes, ya podemos entrar al cuadro de precios:

04.02.05.20	675.1200	m	ANCLAJE TIPO 7 (Ø40), PROBADO Y ACEPTADO // EMPLAZAMIENTOS, PERFORACIÓN, SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DEL TIRANTE, INYECCIÓN Y MATERIAL AUXILIAR (CENTRADORES, SEPARADORES, TUBOS, ETC).	105,21 €
CIENTO CINCO EUROS CON VEINTIUN CÉNTIMOS				

Ilustración 49: Precio de anclaje tipo 7. (Ministerio de Fomento, s.f.)

Los fabricantes recomiendan diámetros de 32 mm, sin embargo, como la otra opción que nos da el cuadro de precios es de 25mm, por estar del lado de la seguridad, he elegido la opción de 40 mm. Utilizaremos una longitud de 2 m para cada anclaje.



Modelo	Numero de anclajes	Precio(€/m)	Total(€)
TRUMER TS-LV SNOW NET	11	105.21	2 314.62
SPIDER AVALANCHE	7	105.21	1 472.94

Teniendo en cuenta todos los elementos descritos anteriormente, podemos realizar la siguiente tabla:

Modelo	Red metálica	Perfiles	Anclajes	Precio total(€)
TRUMER TS-LV SNOW NET	11 133.6	2 116	2 314.62	15 564.22
SPIDER AVALANCHE	8 350.2	2 116	1 472.94	11 939,14

Finalmente, para relacionar el precio con la resistencia a presión, necesitamos calcular el precio por metro cuadrado de malla, ya que la presión viene en unidades por m² de red. De tal manera, obtendríamos los siguientes valores de precio por metro cuadrado teniendo en cuenta que la red de Trumer tiene 48 metros cuadrados por los 36 de la de Geobrugg:

Precio Trumer (€/m²): 324,25 €/m²

Precio Geobrugg(€/m²): 331,64 €/m²



Una vez que tenemos el precio por metro cuadrado, dividiendo entre la resistencia calculada obtendríamos:

Modelo	Precio/Resistencia	Valoración
TRUMER TS-LV SNOW NET	0.840 $\frac{\text{€}}{\text{KPa}\cdot\text{m}^2}$	9.5
SPIDER AVALANCHE	1,5 $\frac{\text{€}}{\text{KPa}\cdot\text{m}^2}$	8

Analizando los resultados obtenidos, podemos ver como es más barato la red de Trumer a la hora de conseguir un KPa de resistencia en un metro cuadrado de malla, de ahí que tenga una mejor valoración.



4.3. FIABILIDAD DEL SUMINISTRADOR

En este apartado, analizaremos de una forma un poco más subjetiva la estructura general y la fiabilidad que facilita el suministrador. Para ello tendremos en cuenta entre otros indicadores, el tamaño de la empresa, catálogo de productos, capacidad para realizar ensayos, proyectos llevados a cabo...

Trumer ofrece soluciones en diferentes ámbitos aparte de en la estabilidad de nieve. Tiene experiencia en protección anti desprendimientos, en estabilización de taludes o barreras contra detritos. Otro factor importante es la calidad del producto, la organización en sí, tiene la certificación ISO 9001, además todos sus diseños son evaluados y aprobados por el WSL Swiss Federal Institute for Snow and Avalanches Research SLF. En lo referente a su catálogo de productos, este contiene una variedad bastante amplia en cada sector, contiene diferentes tamaños de barreras, de redes, distintos tipos de estructuras ... En conclusión, se trata de una empresa con una gran estructura.

Por su parte, Geobrugg, tiene también una gran estructura. Consta, al igual que Trumer, con experiencia en todo tipo de sectores relacionados con la estabilidad en la ingeniería civil. Tiene una gran extensión internacional estando presente en varios países y con socios en más de 50 países. Su oferta de productos, es también amplia en todos los sectores que trabaja, sin embargo, ofrece una cantidad menor de soluciones que Trumer. Por contra, facilita mucha más información técnica de sus productos, hojas técnicas, videos de ensayos, planos ... información que hace mucho más fácil su análisis. Es por esto último que, bajo mi punto de vista, Geobrugg destaca un poco por encima de Trumer en este apartado.

Proveedor	Valoración
TRUMER	9
GEOBRUGG	10



4.4. CONCLUSIONES

Finalmente, con todas las valoraciones individuales obtenidas, vamos a proceder a realizar el análisis final. De los tres factores analizados y debido a que no todos tienen el mismo impacto, voy a asignar un coeficiente de mayoración a cada uno en función de su peso sobre el total. Para ello se ha realizado una pequeña encuesta a Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos; Ingenieros Civiles y estudiantes de ingeniería civil. En la citada encuesta, se les daba un total de 100 puntos que tenían que repartir entre los diferentes factores en función de su importancia.

	Facilidad de transporte/montaje	Precio/Resistencia	Fiabilidad del suministrador
Ing.1	20	60	20
Ing.2	15	80	5
Ing.3	20	60	20
Estudiante 1	20	65	15
Estudiante 2	20	75	5
Totales	95	350	65
Valores medios	19	68	13

Se puede observar una tendencia a dar mayor importancia al parámetro precio/resistencia ya que, como me comentaba alguno de los ingenieros encuestados, en una estructura de este tipo está en juego la vida de las personas muchas veces, y asegurar una resistencia óptima es lo primordial.

Con los datos recogidos, obtendremos los coeficientes por los que multiplicaremos las valoraciones individuales realizadas en los anteriores apartados. Para crear el coeficiente simplemente utilizaremos los valores medios obtenidos, y los dividiremos entre 100. La máxima puntuación obtenible es de 10, y la menor de 0.



Valoración	Montaje/Peso	Coef	Precio/Resist.	Coef	Fiabilidad	Coef
TRUMER TS-LV SNOW NET	8	0.19	9.5	0.68	9	0.13
SPIDER AVALANCHE	10	0.19	8	0.68	10	0.13

Valoración	Montaje/Peso	Precio/Resist.	Fiabilidad	Total
TRUMER TS-LV SNOW NET	1.52	6.46	1.17	9.15
SPIDER AVALANCHE	1.90	5.44	1.30	8.64

Con los baremos marcados, obtenemos que la red de Trumer tiene mejor valoración (9.15/10) que la malla de Geobrug (8.64/10). La diferencia está principalmente por el valor del precio/resistencia, donde el mejor comportamiento de Trumer decanta la balanza finalmente a su favor.



CAPÍTULO V ~ CASO PRÁCTICO

5.1 UBICACIÓN

Para este análisis he decidido estudiar la zona de Alto Campoo. Este municipio consta de unos 2000 habitantes aproximadamente, sin embargo, en la temporada de nieve la estación de esquí de Alto Campoo recibe mínimo 60.000 visitas, es por eso que se trata de un lugar interesante de cara a colocar estructuras de contención de aludes.



Ilustración 50: Mapa físico de Cantabria. (Gobierno de Cantabria, 2019)



Ilustración 51: Mapa físico del municipio Hermandad de Campoo de Suso. (Gobierno de Cantabria, 2019)



Ilustración 52: : Mapa físico del municipio Hermandad de Campoo de Suso II. (Gobierno de Cantabria, 2019)

El primer análisis que tenemos que realizar está relacionado con la orografía, tenemos que estudiar que pendientes tiene la zona para poder identificar aquellas más peligrosas. Para ello, utilizamos un mapa de pendientes como el de la ilustración 56:

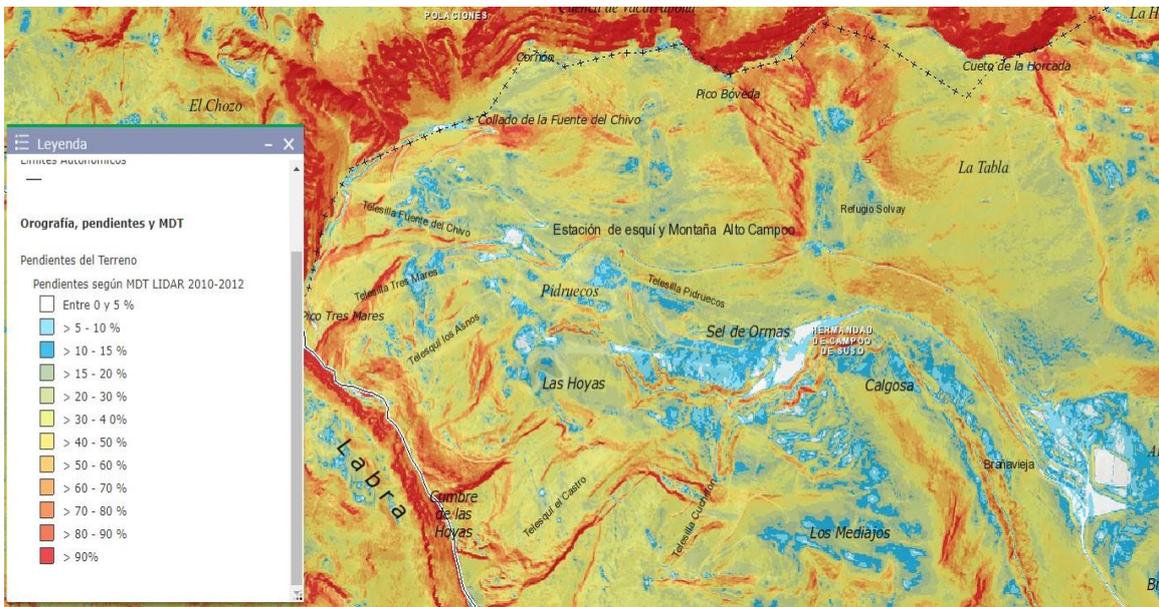


Ilustración 53 :Mapa de pendientes de la estación de esquí de Alto Campoo (Gobierno de Cantabria, 2019)

Nos interesa analizar las zonas con una pendiente entre 30 y 40% ya que son las más propensas a sufrir desprendimientos de nieve, en nuestro mapa son aquellas con un color amarillo, como se puede apreciar en la leyenda.

En concreto he elegido la ladera existente entre Pico Bóveda y el Collado de la Fuente del Chivo ya que tiene una pendiente peligrosa, y está orientada al sur lo que la hacen propensa a sufrir aludes.



Ilustración 54: Zona de estudio. (Gobierno de Cantabria, 2019)

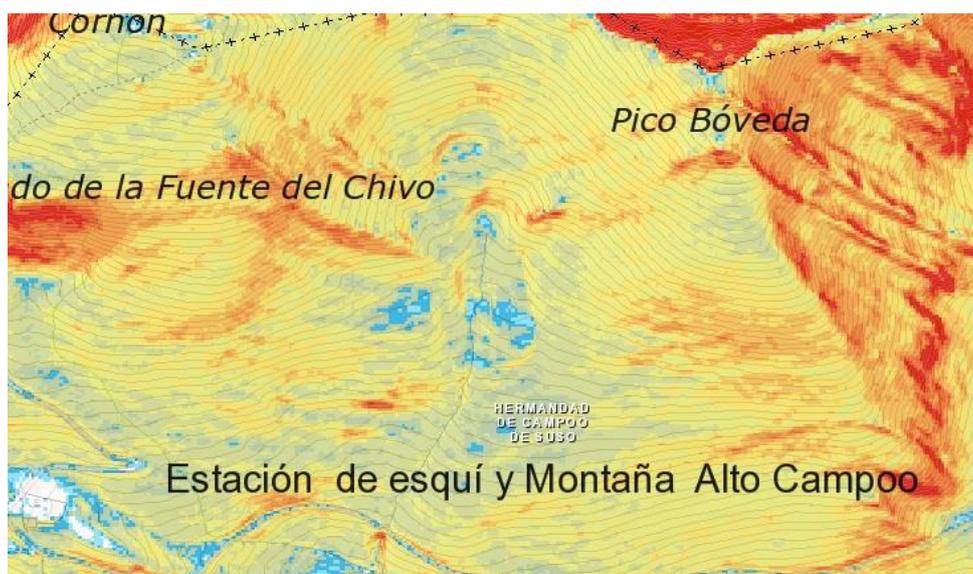


Ilustración 55: Mapa de pendientes de la zona de estudio. (Gobierno de Cantabria, 2019)



5.2. DISEÑO

5.2.1 ALTURA DE LA ESTRUCTURA

El objetivo es realizar un diseño básico de una estructura de contención de nieve para esta zona, con el fin de poder evitar aludes en potencia. Lo primero que tenemos que conocer es que niveles de nieve se suelen dar en la zona de estudio. Para ello vamos a coger el valor máximo del espesor de nieve durante las últimas diez temporadas:

Temporada	Espesor de nieve máximo (cm)
18-19	180
17-18	300
16-17	70
15-16	200
14-15	300
13-14	120
12-13	180
11-12	150
10-11	90
09-10	200

Con estos valores vamos a tratar de obtener, utilizando los criterios de diseño establecidos en el apartado 3.3, la altura de nieve necesaria y por lo tanto la altura de nuestra estructura.

$$H_{ext} = H_{max} \frac{\overline{H_{ext}}}{\underline{H_{max}}}$$

Sin embargo, para conocer todos estos valores necesitaríamos de tomar medidas en la ladera de estudio. Como esto no es posible, y para este análisis, vamos a utilizar el máximo valor de nieve registrado que es 300 cm, sobredimensionado medio metro, por lo tanto, obtendríamos 3.5m.



5.2.2 PRESIÓN DE NIEVE EJERCIDA

Para obtener este valor, seguimos el apartado 3.7.2. Este nos indica que para mallas despreciamos los valores de $S'Q$ y $S'S$, utilizando solo $S'N$ al cual multiplicaremos por 0.8. Este valor se obtiene de la siguiente manera:

$$S'_N = Hk^2 \cdot N \cdot f_c$$

Donde Hk es la altura vertical de la estructura, la cual se obtiene dividiendo H entre el coseno del ángulo de la pendiente que es 45, obteniendo un valor de 4.95m. N es el glide factor que tomaremos como 3.2 para estar del lado de la seguridad y f_c un parámetro relacionado con la cota a la que se sitúe la estructura, obtenido un valor de 1.1. Por lo tanto, obtenemos una presión de nieve de 86.24 KN/m.

5.2.3 TRACCIÓN DE LA MALLA

De la misma manera que el anterior apartado, tomamos como referencia el apartado 3.7.2:

$$S = \sqrt{S_N^2 + S_V^2} = \sqrt{\left(\frac{p_h \cdot s^2}{8f}\right)^2 + \left(\frac{p_h \cdot s}{2}\right)^2}$$

$$p_h = \frac{R' \cdot \cos(\sigma - \epsilon r)}{0.77Bk}$$

$$R' = \sqrt{(S'_N + G'_N)^2 + (S'_Q + G'_Q)^2}$$

El valor de la resultante R' , es la combinación de la presión de nieve y el peso sobre la estructura. Dicha presión de nieve ya ha sido obtenida anteriormente, en lo que respecta al peso se obtiene de la siguiente manera:

$$G' = 1.5Dk^2 \cdot \tan(\varphi) = 1.5 \cdot 12.25 \cdot \tan(30) = 10.608 \text{ KN/m}$$

Al descomponer la fuerza obtenemos dos componentes a 45 grados con un valor de 7.5.



Ya podemos obtener, por lo tanto, el valor de la resultante:

$$R' = \sqrt{(86.24 + 7.5)^2 + (0 + 7.5)^2} = 94.04 \left[\frac{KN}{m} \right]$$

Tomamos un valor de 30 grados para el ángulo de inclinación de la estructura respecto a la vertical; y un valor de 10.11 para ϵ_r , obtenido de la tangente entre las componentes de la resultante. Por lo tanto:

$$p_h = \frac{94.04 \cdot \cos(30 - 10.11)}{0.77 \cdot 3.5} = 32.83 \left[\frac{KN}{m^2} \right]$$

Finalmente, calculamos el valor de la tracción ejercida en la malla. Para ello tenemos que utilizar el valor obtenido anteriormente junto a la longitud de la altura del cable 3.5 metros y el valor del asiento producido en este por la carga que se estima que es de 0,15 veces la longitud del cable. Por lo tanto, obtendríamos:

$$S = \sqrt{S_N^2 + S_V^2} = \sqrt{\left(\frac{p_h \cdot s^2}{8f} \right)^2 + \left(\frac{p_h \cdot s}{2} \right)^2} = \sqrt{\left(\frac{32.83 \cdot 3.5^2}{8 \cdot 0.15 \cdot 3.5} \right)^2 + \left(\frac{32.83 \cdot 3.5}{2} \right)^2} = 111.89 \text{ KN}$$

Siendo este valor inferior a los valores que ofrecían los diferentes suministradores en sus catálogos.

5.2.4 NÚMERO DE ELEMENTOS

Una vez definida la altura de la estructura y la presión de nieve ejercida, el siguiente paso es analizar el ancho de la ladera que en este caso es de 300 metros. La distancia entre elementos en una misma fila está limitada por el código a 2 metros.

A esto hay que añadir que se suelen disponer dos o tres redes juntas para maximizar el rendimiento, teniendo en cuenta que la distancia entre postes era de 4 metros, nos darían 12 metros de malla útil, más la malla lateral de 4 metros por cada lado como se ha indicado en el apartado 4.1. En conclusión:



$$\text{Número de mallas (4m)} = \frac{300}{4 + 2} = 38$$

Finalmente, nos quedaría el número de filas a disponer sobre la ladera. Para ello, utilizamos la ilustración 40, del apartado 3.5. Necesitamos conocer el valor de H_K , que sería la altura D_K , en nuestro caso 3.5 metros (3 metros + 0.5 de sobredimensionamiento) dividido entre el seno de 60 grados considerando una inclinación de 45. Por lo tanto, obtendríamos un valor de 4 metros. Con ese valor de H_K de 4 y entrando en la gráfica de la ya citada ilustración 40, obtenemos un valor f_L de 5. Por último, el valor requerido L es igual al producto entre f_L y H_K , siendo la distancia entre filas de estructuras para nuestro caso igual a 25 metros. H_K .

Teniendo en cuenta, que la altura de la ladera a estudiar es de aproximadamente 100 metros, con el distanciamiento calculado tendríamos que disponer 3 filas de barreras.

En cuanto al producto a utilizar, cualquiera de las dos mallas analizadas en el capítulo 4 podrían ser válidas, sin embargo, ya que el análisis multicriterio dio como mejor opción la de Trumer, esta sería la más adecuada. En caso de querer hacer un análisis económico global de las estructuras, habría que tener en cuenta que la altura de poste usada para el análisis multicriterio es de 4.5 metros, mientras que la usada en este caso es de 3.5 por lo que el precio sería diferente.

En resumen, podríamos agrupar los datos de dimensionamiento obtenidos de la siguiente manera:

Producto	Altura de poste(m)	Distanciamiento(m)	Número de redes por fila	Número de filas
TRUMER TS-LV SNOW NET	3.5	25	38	3



5.3 ELECCIÓN DE PRODUCTO

Una vez obtenido la tracción a la que está sometida la membrana, tenemos que elegir que producto vamos a utilizar. Para ello lo primero es analizar las capacidades resistentes de las soluciones propuestas por los suministradores. Los datos que hemos ido recopilando son los siguientes:

Valoración	Capacidad resistente	Fuerza ejercida por la nieve	Factor de seguridad
TRUMER TS-LV SNOW NET	386	112	3.44
SPIDER AVALANCHE	220	112	1.96

Como se puede observar ambos productos cumplen en cuanto a capacidad resistente, teniendo diferentes factores de seguridad. Por lo tanto, esta no será una condición restrictiva a la hora de elegir el producto.

Para ello, podemos utilizar los criterios usados en el análisis multicriterio realizado en el apartado 4, con el pequeño matiz que, al cumplir ambos productos a la capacidad resistente, cambiaremos el parámetro que lo analizaba, precio-resistencia, por un parámetro simplemente de costes. Por lo tanto, tendremos tres factores, facilidad de transporte y montaje, costes y fiabilidad del suministrador. Les daremos una nota individual del 1 al 10, que luego ponderaremos con los coeficientes pertinentes. De estos tres parámetros, solo cambiará la valoración del de costes ya que la capacidad resistente no interviene en ninguno de los otros dos.

En cuanto al coste, recuperando la siguiente tabla del apartado cuatro, podemos observar como el modelo de Geobrugg es más barato.



Modelo	Red metálica	Perfiles	Anclajes	Precio total (€)
TRUMER TS-LV SNOW NET	11 133.6	2 116	2 314.62	15 564.22
SPIDER AVALANCHE	8 350.2	2 116	1 472.94	11 939,14

Por lo tanto, tendrá una valoración mayor que el de Trumer.

Finalmente, tenemos la siguiente valoración final (sobre 10):

Valoración	Montaje/Peso	Coef	Precio	Coef	Fiabilidad	Coef
TRUMER TS-LV SNOW NET	8	0.19	7.55	0.68	9	0.13
SPIDER AVALANCHE	10	0.19	9	0.68	10	0.13

Multiplicando las valoraciones por los coeficientes obtenemos:

Valoración	Montaje/Peso	Precio.	Fiabilidad	Total (sobre 10)
TRUMER TS-LV SNOW NET	1.52	5.1	1.17	7.79
SPIDER AVALANCHE	1.90	6.12	1.30	9.32

En vista de los resultados obtenidos, para nuestro caso concreto analizado, la solución de Geobrugg, Spider avalanche, es la recomendada.



CAPITULO VI ~ CONCLUSIONES



Tras el estudio realizado y los diversos análisis llevados a cabo podemos llegar a diversas conclusiones:

- Los dos productos analizados tienen suficiente resistencia para soportar un caso no muy exigente como el estudiado en el capítulo cinco, dejando además margen en cuanto a términos de resistencia para otros posibles efectos que causasen incrementos de la presión en la red como pueden ser arrastre de troncos o maderas, o cualquier otro tipo de objeto no deseado.
- El producto de Geobrug, spider avalanche, resulta más conveniente para el caso práctico analizado, principalmente por la geometría que presenta la malla que hace que al final sea más barato.
- Solo aquellos países con un interés excesivo en el tema tratado tienen unos criterios de diseños claros y unificados. Países pequeños como Austria y Suiza están en la cabeza en la investigación en este tipo de productos.
- Se trata de una línea de investigación cara, la exclusividad de suministradores, los lugares donde se ubican estos equipos, la recogida de datos necesaria para hacer un buen proyecto, hacen entre otros factores que hablemos de proyectos con un coste económico elevado. Debido a esto, solo países con una buena economía y un interés elevado.
- Hay un mercado bastante monopolizado por un par de marcas las cuales ofrecen las suficientes soluciones a la hora de mitigar avalanchas. Sin embargo, debido a su exclusividad hace que se eleven los precios de las diferentes barreras.



ANEXO ~ BIBLIOGRAFÍA Y LISTADO DE ILUSTRACIONES



BIBLIOGRAFÍA

- Canadian Medical Association. (2011). Obtenido de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3080528/>
- Ansey, C. (1998). *Guide neige et avalanches*.
- Asociación Estatal de Meteorología (AEMET). (2019). *AEMET website*. Obtenido de www.aemet.es/es/eltiempo/prediccion/montana/boletin_peligro_aludes
- construcción, R. d. (2010).
- Departamento de transporte de Wyoming. (2009). *Snow Supporting Structures For Avalanche Hazard Reduction*. Wyoming.
- Geobruigg web site. (2019). Obtenido de https://www.geobruigg.com/es/Prevencion-de-aludes-77546,7858.html?branche_id=59494
- Gobierno de Cantabria. (2019). *Mapas Cantabria*.
- H, F. M. (2018).
- Haegeli, P., & Falk, M. (2011). Comparison of avalanche survival patterns in Canada and Switerland. <https://www.newenglandshakespeare.org/>. (s.f.).
- Instrucción de Aceros Estructurales.EAE*. (2011).
- Lugares de nieve. (2016).
- M.Vadillo, J. L. (2015). *Periódico "El Mundo"*. Obtenido de <https://www.elmundo.es/internacional/2015/05/06/5548f738268e3e12348b4580.html>
- Maccaferri Web Site*. (2019). Obtenido de <https://www.maccaferri.com/>
- Margreth, S. (2015). The Technical Avalanche Protection Handbook. En S. Margreth, *The Technical Avalanche Protection Handbook* (págs. 177-254).
- Martin, F. L. (2011). *Apuntes sobre el manto nivoso y la generación de aludes*.
- Mery, J. (2010).
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. (2015). *La guía de aludes*. Madrid.
- Ministerio de Fomento. (s.f.). Obtenido de Web Ministerio de Fomento: <https://www.fomento.gob.es/organos-colegiados/marcado-ce-y-eurocodigos/eurocodigos>
- National Geographic*. (2019). Obtenido de <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/avalanchas>
- Never too late blogspot. (s.f.).



- Nieto, P., Díaz, J. C., D.Castro-Fresno, & Muñoz, F. (2009). *Numerical simulation of the performance of a snow fence with airfoil snow plates by FVM*.
- Pxhere. (2019). *Pxhere*.
- RAE Real Academia Española . (2019). Obtenido de <https://dle.rae.es/>
- Sañudo-Fontaneda, L. A., Castro-Fresno, D., Coz-Díaz, J. J., & Rodriguez-Hernandez, o. (2011). *Classification and Comparison of Snow Fences for the Protection of Transport Infrastructures*.
- T.A.S. (2019). *TAS Web Site*. Obtenido de www.tas.fr/en/products
- United States Department of transportation. (2009). *Snow supporting structures for avalanche hazard reduction*.
- Web de Trumer. (2019). Obtenido de <https://trumer.ca/>
- WSL Swiss Federal Institute for Snow and Avalanches Research SLF. (2007). *Defense structures in avalanches starting zone*. Berna.



LISTADO DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1:Diferentes zonas de un alud. (construcción, 2010)	11
Ilustración 2:Alud de placa, donde se puede apreciar el inicio de la inestabilidad.(Solanas,J.C.2016).	13
Ilustración 3:Alud de fusión. (García-Dihinx,J,2015)	14
Ilustración 4:Alud de polvo. (Never too late blogspot, s.f.).....	14
Ilustración 5:Cuadro resumen de los factores desencadenantes. Elaboración propia .	16
Ilustración 6:Gráfica que relaciona la probabilidad de supervivencia a un alud con el tiempo bajo este. (M.Bruggeer, 2018).....	19
Ilustración 7: Tabla resumen de datos de los diferentes tipos de fallecimiento al verse atrapado en un alud. (Haegeli & Falk, 2011)	20
Ilustración 8: Boletín de peligro de aludes. (AEMET)	21
Ilustración 9:Clasificación estructuras en rígidas o flexibles. Elaboración propia.....	23
Ilustración 10:Estructura rígida de tipo puente. (Pxhere, 2019).....	24
Ilustración 11:Estructura rígida de tipo rastrillo. (Pxhere, 2019)	24
Ilustración 12:Estructura flexible. (Geobruigg web site, 2019).....	24
Ilustración 13:Clasificación de las diferentes estructuras de contención de nieve. (Margreth, 2015)	25
Ilustración 14:Consecuencias de colocar o no barreras protectoras. (Web de Trumer, 2019)	26
Ilustración 15:Barrera de nieve natural. (Departamento de transporte de Wyoming, 2009)	28
Ilustración 16:Arbolada como barrera protectora. (Departamento de transporte de Wyoming, 2009).....	28
Ilustración 17: Barrera de plástico temporal. (Never too late blogspot, s.f.).....	29
Ilustración 18:Clasificación de las pantallas de protección. Elaboración propia.....	30
Ilustración 19:Logos de las diferentes empresas del mercado actual. Recuperado de sus respectivas páginas web oficiales.	31
Ilustración 20: Tabla resumen de las características del TL-SV Snow Net. (Web de Trumer, 2019)	33
Ilustración 21: Perfil típico del producto TL-SV Snow Net. (Web de Trumer, 2019).....	33
Ilustración 22: Perfil típico de una barrera de Trumer (Web de Trumer, 2019).....	34
Ilustración 23: Tabla resumen de las características del TL-SV Snow Rake. (Web de Trumer, 2019).....	35
Ilustración 24: Esquema general del producto Spider Avalanche . (Geobruigg web site, 2019)	36
Ilustración 25:Estructura en forma de X Sañudo-Fontaneda, L. A., Castro-Fresno, D., Coz-Díaz, J. J., & Rodríguez-Hernandez, o. (2011). <i>Classification and Comparison of Snow Fences for the Protection of Transport Infrastructures</i>	38
Ilustración 26: Fragmento del catálogo de TAS donde se muestran el producto MASSARO (T.A.S, 2019).....	38
Ilustración 27: Fragmento del catálogo de TAS donde se muestra el producto MENTA. (T.A.S, 2019)	39
Ilustración 28: Fragmento del catálogo de TAS donde se muestra el producto VELA (T.A.S, 2019)	39
Ilustración 29: ERDOX SNOW VELA. (Maccaferri Web Site, 2019).....	40
Ilustración 29:Disposiciones posibles de las barreras de protección (Margreth, 2015).	43
Ilustración 30: Diferentes zonas en función de la altura de nieve máxima de Suiza. (Margreth, 2015)	45
Ilustración 32:Esquema de las diferentes alturas en mallas flexibles y estructuras rígidas. (Margreth, 2015)	45



Ilustración 33: Diferentes factores de deslizamiento en función del tipo de suelo y de la orientación de la ladera. (Margreth, 2015)	48
Ilustración 34: Componentes del peso de nieve actuantes sobre la estructura. (Margreth, 2015)	49
Ilustración 34: Esquema de las fuerzas de presión y peso de la nieve sobre la barrera. (Margreth, 2015)	51
Ilustración 36: Distribución de cargas en una rejilla. (Margreth, 2015)	52
Ilustración 36: Relación entre inclinación y distancia entre barreras (Margreth, 2015)	53
Ilustración 37: Fuerzas a tener en cuenta en el dimensionamiento. (Margreth, 2015)	55
Ilustración 39: Parámetros a tener en cuenta en el diseño. Elaboración propia	56
Ilustración 40: Sección tipo omega. Elaboración propia	57
Ilustración 41: Fuerzas actuantes sobre una estructura tipo red. (Margreth, 2015)	59
Ilustración 42: Geometría de red de Trumer y Geobrug. Elaboración propia	62
Ilustración 43: Prontuario de perfiles HEB (Instrucción de Aceros Estructurales. EAE, 2011)	63
Ilustración 44: Datos técnicos de la red SPIDER (Geobrug web site, 2019)	64
Ilustración 44: Recuperado de https://trumer.ca/products/rockfall-fences/hinged-post-systems/ts-500-zd/	68
Ilustración 46: Desglose del precio de las redes dinámicas. (Ministerio de Fomento, s.f.)	69
Ilustración 47: Anclajes en la red SPIDER. Elaboración propia	71
Ilustración 48: Anclajes en la red Trumer. Elaboración propia	72
Ilustración 49: Precio de anclaje tipo 7. (Ministerio de Fomento, s.f.)	72
Ilustración 50: Mapa físico de Cantabria. (Gobierno de Cantabria, 2019)	79
Ilustración 51: Mapa físico del municipio Hermandad de Campoo de Suso. (Gobierno de Cantabria, 2019)	79
Ilustración 52: : Mapa físico del municipio Hermandad de Campoo de Suso II. (Gobierno de Cantabria, 2019)	80
Ilustración 53: Mapa de pendientes de la estación de esquí de Alto Campoo (Gobierno de Cantabria, 2019)	80
Ilustración 54: Zona de estudio. (Gobierno de Cantabria, 2019)	81
Ilustración 55: Mapa de pendientes de la zona de estudio. (Gobierno de Cantabria, 2019)	81