



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



Estudio informativo para la determinación de medidas de protección contra la caída de rocas mediante sistemas flexibles en puntos críticos del Desfiladero de la Hermida

Trabajo realizado por:

Javier Sánchez Báscones

Dirigido:

Elena Blanco Fernández

Titulación:

Grado en Ingeniería Civil

Santander, junio de 2015

TRABAJO FINAL DE GRADO



1. OBJETIVO	4
2. DESFILADERO DE LA HERMIDA	5
2.1. LOCALIZACIÓN	5
2.2. ANTECEDENTES	6
2.3. MÉTODOS EMPLEADOS	7
3. SISTEMAS DE PROTECCIÓN Y CONTENCIÓN DE ROCAS	14
4. ANÁLISIS GEOLÓGICO DEL DESFILADERO	18
5. PUNTOS CRÍTICOS	21
5.1. SELECCIÓN DE PUNTOS CRÍTICOS	21
5.1.1. PROCEDIMIENTO	21
FACTORES DE LA CAÍDA DE ROCAS	22
5.1.2. PUNTO 1:	23
5.1.3. PUNTO 2:	25
5.1.4. PUNTO 3:	28
5.1.5. PUNTO 4:	29
5.1.6. PUNTO 5:	30
5.1.7. PUNTO 6:	32
5.1.8. PUNTO 7:	33
5.1.9. PUNTO 8:	35
5.1.10. PUNTO 9:	36
5.1.11. PUNTO 10:	38
5.1.12. PUNTO 11:	39
5.1.13. PUNTO 12:	42
5.1.14. PUNTO 13:	43
5.1.15. PUNTO 14:	45
5.1.16. PUNTO 15:	46
5.1.17. PUNTO 16:	47
5.1.18. PUNTO 17:	49
5.1.19. PUNTO 18:	51
5.1.20. PUNTO 19:	52
6. CÁLCULOS TÉCNICOS	54
6.1. METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO	54
6.1.1. CÁLCULO DE CAIDA DE ROCAS EN TALUDES POCO INCLINADOS	54
6.1.2. CÁLCULO DE MALLAS EN TALUD DE ROCA:	57
6.1.3. CÁLCULO DE MALLAS SOBRE SUELOS:	64
6.1.4. CÁLCULO DE DESPRENDIMIENTOS EN TALUD VERTICAL	66
6.2. PUNTOS	68
6.2.1. PUNTO 1	68
6.2.2. PUNTO 2	70
6.2.3. PUNTO 3	73
6.2.4. PUNTO 4	82
6.2.5. PUNTO 5	85
6.2.6. PUNTO 6	88
6.2.7. PUNTO 7	95



"Estudio informativo para la determinación de medidas de protección contra la caída de rocas mediante sistemas flexibles en puntos críticos del Desfiladero de la Hermida"

TRABAJO FINAL DE GRADO
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA, 2015
JAVIER SÁNCHEZ BÁSCONES

6.2.8.	PUNTO 8.....	98
6.2.9.	PUNTO 9.....	106
6.2.10.	PUNTO 10.....	110
6.2.11.	PUNTO 11.....	111
6.2.12.	PUNTO 12.....	115
6.2.13.	PUNTO 13.....	120
6.2.14.	PUNTO 14.....	122
6.2.15.	PUNTO 15.....	126
6.2.16.	PUNTO 16.....	129
6.2.17.	PUNTO 17.....	134
6.2.18.	PUNTO 18.....	136
6.2.19.	PUNTO 19.....	138
7.	PRESUPUESTO	146
8.	PLANOS	155
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	156



1. OBJETIVO

El estudio de viabilidad de la implantación de barreras flexibles protectoras en el Desfiladero de la Hermida se realiza con el propósito de comprobar los posibles puntos inestables en los taludes que rodean la carretera. El fin último es analizar la posibilidad de desarrollar un proyecto que pueda evitar la caída de rocas a la calzada con el consiguiente daño que ocasiona:

- Accidentes de tráfico: El riesgo de que las rocas impacten contra los vehículos que transitan por la vía es bastante alta ya que esta es utilizada diariamente por un alto número de coches que se dirigen por este desfiladero hacia la comarca siendo la única vía de comunicación terrestre con el resto de la comunidad. Además, de producirse el impacto, el daño puede ser tanto económico como humano. Las altas velocidades que desarrollan las rocas hacen que en un choque contra los vehículos estos queden totalmente destruidos. Existen varios ejemplos en los que se han producido pérdidas humanas debido a estos desprendimientos. Por eso se estima oportuno realizar este estudio de viabilidad.
- Deterioro de la vía: En el caso de que no se produzca un impacto contra los vehículos, es mayor peligro es la propia vía. Los desprendimientos pueden ocasionar desde pequeños baches hasta llenar completamente la calzada impidiendo el paso de cualquier persona o destruir la calzada. Con un periodo aproximado de 2 años se producen estos sucesos en los que se requiere de equipos especiales de movimiento de tierras para poder abrir de nuevo el paso. En el caso de los baches, su importancia económica no es despreciable ya que cada cierto tiempo la vía debe ser reasfaltada por tramos debido a que pierde funcionalidad. Para evitar estos casos, se considera también urgente la realización del estudio.

Para completar el estudio de viabilidad, además de analizar qué puntos son los más críticos por su inestabilidad, se propondrán las medidas de prevención o protección elegidas para cada caso en función de las circunstancias morfológicas y geotécnicas particulares. Finalmente se estimará aproximadamente el coste total del desarrollo de todas las obras necesarias para la protección de la vía.



2. DESFILADERO DE LA HERMIDA

2.1. LOCALIZACIÓN

El desfiladero de la Hermida es una garganta por la cual transcurre el cauce del río de Deva, situado en el macizo oriental del parque nacional de Los Picos de Europa, y que se caracteriza por la altura de sus paredes rocosas en ambos márgenes del río. (Imagen 1)

A través de él discurre la carretera nacional N-621 que es la única vía de acceso a la comarca de Liébana, situada en el extremo occidental de la comunidad de Cantabria, con la capital, Santander, por lo tanto es zona de vital importancia para la economía y la vida de la comarca ya que la mayoría de los habitantes viven del turismo que atrae el parque nacional o tienen que atravesar diariamente el desfiladero para realizar sus actividades laborales. Además sirve de tránsito de la zona de costa oriental de Asturias y la occidental cántabra con la meseta por los puertos de San Glorio y Piedrasluengas. Por eso es necesario proporcionar seguridad contra los desprendimientos en el trayecto del desfiladero.

La garganta tiene una longitud de 20 kilómetros desde el punto kilométrico 154,5 hasta el PK 174,5 y atraviesa 4 municipios: Castro Cillorigo, Peñarrubia, Tresviso y Peñamellera Baja, siendo este último perteneciente al Principado de Asturias. Hay que destacar además que en la zona se encuentra una ZEPA (zona de especial protección para las aves).

Otro de los hándicaps a tener en cuenta es que debido a que es un terreno muy abrupto y sinuoso, la plataforma de la calzada es mínima y en muchas zonas, la vía no dispone de cuneta para evacuar aguas o espacio para retirar cualquier desecho producido por un desprendimiento.

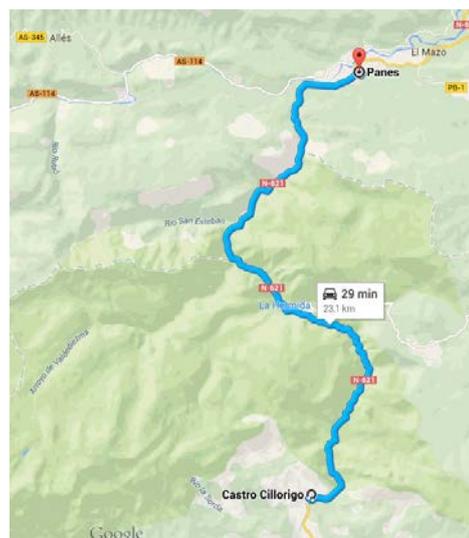


Imagen 1- Desfiladero de la Hermida



2.2. ANTECEDENTES

A lo largo de los años se han producido numerosos accidentes provocados por desprendimientos de rocas. Como ejemplo, un breve resumen de los ocurridos recientemente:

- 7 de noviembre de 2014 (1) : los desprendimientos ocurren en el punto kilométrico 160,6 de la nacional 621. Este desprendimiento se produce después de un fuerte temporal de viento y agua, por lo tanto estas parecen ser las causas de la caída.(Imagen 2)



Imagen 2- desprendimiento 7 de noviembre de 2014

- 23 de septiembre de 2014 (2): Al igual que el anterior caso, esto se produjo después de una fuerte tormenta.(Imagen 3)



Imagen 3- desprendimiento 23 de septiembre de 2014



Podemos observar como los sucesos ocurren con mucha continuidad y sobre todo después de que se produzca una inestabilidad meteorológica. En estos casos no se produjo perjuicios contra las personas que atravesaban el desfiladero en ese momento pero hay testimonios de gente que si sufrió esos desprendimientos. Otro motivo causante de los desprendimientos son los animales sueltos que pastan por el desfiladero. La mayoría de ellos son cabras ya que es un animal que puede moverse con cierta facilidad por un terreno tan difícil.

2.3. MÉTODOS EMPLEADOS

-Mallas y Redes de cable de acero:

Para la estabilización superficial de zonas críticas de los taludes se ha utilizado mallas de protección pasiva. Esta opción es una medida que sostiene el material pero no impide que se produzca el deslizamiento. Debido a esto no es necesario tener una cuneta amplia para la recepción de los materiales sueltos. En función de los empujes del terreno y de la pendiente, se podrá optar por diferentes formas de anclar la malla al terreno como por ejemplo si se prevé un círculo de rotura menor del terreno, la distancia entre anclajes puede ser mayor y la resistencia del alambre de acero menor. (Imagen 4)



Imagen 4- malla de triple torsión

Cuando las pendientes aumentan y el terreno se vuelve más inestable superficialmente existen otras medidas de protección activa como las redes de cables. Estas redes están formadas por un grupo de cables con mayor resistencia que las mallas de alambre y que se encuentran entrelazadas por unos mecanismos que mantienen la tensión en los mismos. La sujeción al



terreno se realiza mediante bulones de anclaje que dan la tensión previa a las redes, en el caso de protección activa, o que transmiten las tensiones de los empujes sobre los cables al terreno.

Las Redes pueden estar:

- Combinadas con una cuadrícula de anclajes pasivos: Los empujes del terreno entre las cuadrículas de los anclajes son los que determinan la capacidad de soporte del sistema, por lo tanto a menor espacio entre anclajes mayor resistencia.
- Combinadas con una cuadrícula de anclajes activos: Se emplean cuando los círculos de rotura o las cuñas del terreno son grandes y un anclaje pasivo quedaría dentro del círculo o aunque el bulón consiga llegar hasta el terreno estable, las dimensiones del círculo de rotura no puedan ser soportadas por la red. La distancia entre anclajes será la necesaria para garantizar que los empujes son uniformes. (Imagen 5)
- Simplemente ancladas en el terreno: utilizadas para la estabilización de grandes bloques.



Imagen 5- Red de cables combinada con malla de triple torsión

En el desfiladero estas soluciones se emplean cuando el talud a estabilizar no es muy grande porque de ser así supondría cubrir la totalidad del talud y en él existen paredes de casi 600 metros de altitud.

También se suele emplear en los laterales de la calzada por donde ocasionalmente discurren cursos de agua que bajan con una gran pendiente y desde gran altura y además transportan pequeños fragmentos de roca fracturada y erosionada. Las redes de cables proporcionan la



mayoritariamente a estos golpes y las mallas, que pueden ser de alambre acompañado de otras mallas de material no metálico, impiden el paso de las rocas o la tierra y lo dificultan también en el caso del agua. Con esto se consigue una mayor seguridad ya que la calzada queda despejada de agua que se canaliza a través de las cunetas hacia tajeas o alcantarillas cercanas. (Imagen 6)

Solo se plantea la utilización de redes de cables en grandes taludes cuando se trata de estabilizar un bloque de roca que tenga un peligro de desprenderse, aunque en este caso también sería conveniente plantearse la opción de retirar el bloque. Se estudiará cual es la opción más segura y/o barata a ejecutar.

-Red con malla suelta: cumple la misma función que las mallas cortina, dejando que el material desprendido pueda descender por el talud sin saltar la carretera y depositándose en la cuneta. Esta variedad cuenta con una red de cables gracias a la cual puede resistir los golpes en la caída de bloques más grandes que los que resisten las mallas cortina.



Imagen 6- membrana flexible colocada en el desfiladero

Pantallas:

El desfiladero posee una variedad muy amplia de pantallas tanto dinámicas como estáticas ya que es una zona extensa y tiene una morfología variada.

- Paredes verticales:

En los laterales de la carretera que tienen con un talud prácticamente vertical, se utilizan pantallas dinámicas perpendiculares a la superficie del talud de una gran altura útil, galerías



dinámicas. Se utilizan disipadores de energía en todos los cables que sustentan la estructura.

La estructura de interceptación está formada por una red de captación formada por una red de anillos que soportan a su vez a la malla secundaria o de cierre situada por el lado del impacto y que evita que los fragmentos de roca pequeños caigan sobre la vía.



Imagen 7-Pantalla dinámica en galería colocada sobre un talud vertical en el desfiladero

La estructura soporte está formada por postes colocados aproximadamente cada 10 metros, bases de acero. Estas bases son las que permiten la articulación de los postes y sirven también para conectar los anclajes con los postes, cables de soporte que soportan la red y cables de retención al monte que salen de la cabeza de los postes y mediante una eslinga se enganchan a los anclajes. (Imagen 7)

Como elementos de conexión tienen elementos disipadores de energía que transforman la energía del desprendimiento en trabajo del elemento por deformación, cables de tensión lateral para mantener la posición lateral de los postes.

La cimentación es directamente sobre la superficie del terreno ya que con esa pendiente y a esa altura es muy costoso realizar una cimentación en hormigón. Están ancladas al terreno mediante pernos que soportan todos los esfuerzos de la estructura.



- Pared vertical con pie de talud ligeramente inclinado:

En esta situación las pantallas son de altura ligeramente inferior a las anteriores debido a que en caso de desprendimiento las rocas primero impactarían contra el terreno y pierden la mayor parte de la energía y cambiando de movimiento, pasa de ser por el aire a rodar por el suelo.

Las pantallas colocadas en el desfiladero están puestas al pie de talud y muchos de los desechos de los desprendimientos no llegan a impactar con ellas. (Imagen 8)



Imagen 8- pantalla dinámica

- Vaguadas: (parte deprimida del relieve que resultaría la vía natural de aguas corrientes) rellenos de coluviales (sedimentos de roca fragmenta por el hielo y el agua y arrastrados por la gravedad o el viento)

En estas partes del desfiladero las rocas se encuentran en forma de coluviales que han sido arrastrados por la acción del agua o la gravedad y pueden ser muy inestables cuando la meteorología es adversa. Se encuentran pantallas del mismo tipo que las anteriores, también



altura más baja que la primera, pero se encuentra varias de ellas a lo largo del mismo recorrido de caída, debido a la gran cantidad de rocas que son desplazadas. El mayor problema en estos casos es la colmatación de la pantalla ya que en siguientes avenidas de roca, esta será capaz de pasar por encima de la pantalla y rodar más abajo. (Imagen 9)



Imagen 9- Pantallas dinámicas en vaguada

Se puede observar en la imagen como se encuentran en la ladera más pantallas dinámicas superpuestas a las pantallas del pie del talud.

➤ Taludes con vegetación:

En estos casos se puede observar como las protecciones se mimetizan con el entorno dando lugar a un impacto visual casi nulo. Las pantallas dinámicas se encuentran situadas entre los arbustos y árboles de mediana altura cercanos a los pies de las laderas e incluso algunas plantas utilizan las pantallas como soporte para crecer, sin dañar con ello la estructura y dando más naturalidad a la colocación de estos elementos.

Además la vegetación que se encuentra en estos taludes cumple una función resistente. Las rocas fragmentadas que se desprenden de los taludes ruedan por toda la ladera



encontrándose por el camino los árboles que actúan como obstáculos naturales que frenan o paran esos desplazamientos, restándole energía a las rocas en cada golpe. Esto permite emplear unas pantallas dinámicas con baja energía.

El único problema que plantea este tipo de barreras es su reparación. Después de un suceso en el que hayan sido destruidos varios árboles, no se puede replantar la vegetación afectada con la suficiente rapidez como para poder actuar frente a un segundo suceso de desprendimientos que acontezca en un breve espacio de tiempo después del primero. (Imagen 10)



Imagen 10- Pantalla sobre talud vegetal

➤ A pie de talud:

A los lados de la calzada se encuentran numerosas pantallas compuestas por muros de hormigón, postes de acero embebidos en el muro y malla electrosoldada o malla con redes de cables. Estas pantallas se denominan pantallas empotradas ya que las reacciones que experimentan las mallas en estos casos se deben a los momentos que se generan en los postes introducidos en el muro.

Son las primeras pantallas que se utilizaron en esta región. El muro de hormigón actúa como una pantalla estática donde se detienen y se almacenan los restos de los desprendimientos y



las mallas actúan como elementos elásticos que evitan que cualquier roca pueda sobrepasar una cierta altura en su descenso y que no alcance la carretera. (Imagen 11)



Imagen 11- Pantalla estática

En esta imagen se puede apreciar uno de los problemas de las mallas que comportan de forma elástica. Como cualquier elemento de acero, existe un límite en el que las deformaciones pasan de ser elásticas y se convierten en deformaciones plásticas, restándole eficacia así a las mallas. Pueden trabajar a mayor energía si se disponen de elementos disipadores de energía en los extremos de las pantallas o en algunos puntos centrales. Por otra parte, la red de malla electro soldada es muy rígida y resiste los impactos de forma directa y con poca deformación.

3. SISTEMAS DE PROTECCIÓN Y CONTENCIÓN DE ROCAS

Debido a la variedad de escenarios en los que se puede dar un desprendimiento de rocas las medidas de protección son también muy variadas. en el presente estudio se realiza un breve resumen de los más variados sistemas de protección. (2)

a) Cunetas o cunetones:

Se realizan a pie del talud y su utilidad viene definida por la cantidad y el volumen de los desprendimientos, a más volumen y más cantidad de desprendimientos, menos recomendable el uso. Otras condiciones para el desarrollo de este sistema pueden ser



el espacio aprovechable entre la calzada y el talud o la pendiente del mismo, debido a que a mayores pendientes, mayores velocidades de las rocas y mayor altura que pueden alcanzar en su recorrido, sobrepasando así la zona de la cuneta.

b) Membranas flexibles:

Este tipo de medida de protección se clasifica atendiendo a un factor, la resistencia que necesaria. De esta manera se puede decir que hay:

– Membranas de baja resistencia:

Dentro de estas se encuentran aquellas formadas por mallas de triple torsión y que tienen dos funciones, servir de complemento a una de alta resistencia cerrando los huecos que pueda haber y servir para la conducción de las rocas hacia la cuneta (malla cortina).

– Membranas de alta resistencia:

Aquí se engloban tres tipos de membranas, las formadas por mallas de simple torsión, las redes de cables de acero de alta resistencia y las redes de anillos de acero de alta resistencia, éstas últimas acompañadas de algún tipo de malla metálica. Todas estas soluciones deberán encontrarse adosadas y ceñidas al terreno mediante anclajes y bulones. (3)

c) Redes de cables de protección activa.

Se puede combinar con una malla de anclajes pasivos o con anclajes pasivos ayudando en la acción a desempeñar. Si se colocan aisladamente, son útiles cuando se detectan bloques con riesgo de caída, anclando los extremos de varios cables y formando un tipo de red a mayor escala que las mallas.

d) Semitúneles o túneles falsos

Son utilizados cuando la frecuencia de y la cantidad de los desprendimientos es alta y consiste en la construcción de unos túneles artificiales de hormigón armado y con cierta inclinación en la parte superior del pórtico de tal manera la rocas caen y ruedan sobre esa parte.

e) Combinación de métodos de estabilización y protección contra desprendimientos

- Remoción manual o purga: se eliminan los bloques o rocas inestables o con riesgo de caída evitando así el peligro de desprendimientos.



- Precorte: se elimina parte del talud de forma que se garantice que no hay peligro de desprendimientos posteriores.
- Modificación de la pendiente o perfilado: se modifica la morfología del talud transformándolo en un talud más estable.
- Gunitado: se proyecta hormigón sobre el talud poco firme y de esta manera se reducen los efectos de la meteorización.

f) Pantallas

Este método es muy utilizado y consiste básicamente en la construcción de barreras perpendiculares al talud que detienen totalmente a las rocas en su recorrido hacia la carretera. Se puede clasificar en 2 grandes grupos:

- Pantallas estáticas: están formadas por elementos rígidos y algunos ejemplos son:
Muros de hormigón, Caballones de tierra con cunetas colectoras, Muros de gaviones, estas pantallas necesitan un amplio espacio entre la calzada y el talud en el que construirlas ya que tienen mucho espesor o requieren de una cuneta amplia.
Pantallas de perfiles laminados y listones de madera dura
Pantallas metálicas
se requiere unos altos esfuerzos interiores para que las deformaciones sean muy pequeñas lo que limita su utilización a zonas donde la energía de las rocas desprendidas no tenga unos valores muy altos.
- Pantallas dinámicas: están formadas por elementos flexibles.
Como mínimo, estas pantallas están formadas por 3 módulos funcionales. Cada módulo trabaja solidariamente con los demás y si se sobrepasa la capacidad nominal de un módulo, solo deberá ser reparada dicho módulo, esto explica la facilidad con la que pueden ser reparadas. Dependiendo de la manera en la que disipan la energía de los choques, las pantallas dinámicas pueden ser elásticas o plásticas.
Las pantallas de deformación elástica poseen una estructura que tras el choque se deforma utilizando unos disipadores de energía que tiene una forma de muelles elásticos. Trabajan con rangos de energía hasta 500 kJ.



En cambio, las pantallas dinámicas de deformación plástica están formadas por una estructura que se deforma con el choque y disipa la energía en forma de calor por fricción y desgarros de elementos estructurales. Para frenar esta energía estas pantallas tienen unos elementos llamados disipadores de energía. Trabajan con rangos de energía de hasta 5000kJ.

Tipología de disipadores:

Disipador	Máximo Pico kN	Energía Disipada kJ	Carga Activación kN	Deformación mm	Descripción	Disipación
Enterprise	70	26	26	380	Placas unidas mediante tuercas y pernos.	Fricción
Enterprise	35	13	26	380	Placas unidas. Menor torque aplicación	Fricción
Sisyphé					Tubo con cortadores opuestos a cada extremos que cortan el tubo	Corte
Brugg	190	175		920	Anillo de tubo presionado por plomo.	Fricción
Brugg 1989	123	46	120	380	Lazo 1.5 m con dos abrazaderas. 16 mm ϕ	Fricción
Brugg 1989	182	69	182	380	Lazo 1.5 m con dos	Fricción
Tubosider	98	96	0-35	980	Dos cables que se desplazan por el interior de un tubo en sentido contrario.	Fricción
Neopreno	252	34	0	27	Neopreno con metal intercalado	Deformación
Tubo y muelle	-	-	-	-	Muelle de coche en el interior de cilindro.	Deformación

Tabla 1- tipología de disipadores (4)

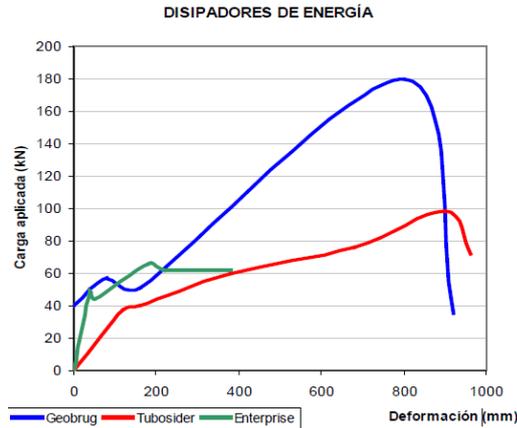


Tabla 2- Carga aplicada – deformación de los disipadores (4)

Podemos observar el comportamiento de los diferentes tipos de disipadores de energía. Los disipadores de energía más utilizados en este momento son los disipadores mixtos, trabajan por fricción y por deformación plástica.

Esta forma de detener los desprendimientos de rocas es la más resistente y la que menor coste conlleva cuando las rocas tienen una alta energía en el momento del choque.

Actualmente se tiende más por emplear elementos elástico-plásticos ya que no es posible contrarrestar los grandes esfuerzos de los choques con un comportamiento puramente elástico. De esta forma se tiende a que haya algún elemento plástico localizado con mayor predisposición a romperse y de esta manera cambiarlo cuando proceda antes que tener que reponer todo el sistema.

Existen varias clasificaciones de las pantallas dinámicas de las cuales se muestran a continuación las más importantes. No obstante, hay que tomar en cuenta que el EOTA ha definido una designación que pareciera ser la que unificará los criterios dentro del mercado.

4. ANÁLISIS GEOLÓGICO DEL DESFILADERO

En esta zona del macizo de los Picos de Europa se encuentran numerosas formaciones de diferentes tipos de roca caliza. Sobre todo se encuentran:



- Rocas calizas blancas de grano fino y en la parte superior brechoides de color rosado, con intercalaciones rojas nodulosas. Estas rocas se formaron en el carbonífero superior, más concretamente en el westfaliense. El espesor de esta capa es mayor que las demás, alrededor de 800 metros.
- Calizas laminadas de color negro y calizas grises de grano fino. Formadas también durante el carbonífero superior, son anteriores a las del westfaliense ya que su aparición tiene lugar en el namuriense. Su espesor es variable aunque se suele encontrar entre los 200 - 300 metros.

Estos dos tipos de rocas son las más presentes a lo largo de todo el desfiladero ya que se encuentra sus capas fracturadas y cabalgando unas sobre las otras desde la zona de Liébana hasta Panes. (Imagen 12)

Solo se pueden observar otros tipos de rocas creadas durante el pérmico y triásico en algunos valles comunicados con el desfiladero y que están compuestas por areniscas y limonitas rojas.

En las proximidades del río Deva, se puede encontrar depósitos sedimentarios del cuaternario como pueden ser:

- Del Pleistoceno.
 - Terrazas Fluviales: tienen un desarrollo muy escaso debido al fuerte relieve, encontrándose sólo en cursos bajos del río, en zonas llanas y anchas como Lebeña. Están constituidos por bolos de calizas y cuarcitas en una matriz arcilloso-arenosa. Su origen está relacionado a la desaparición del hielo Wurminense.
- Del Holoceno.
 - a) Conos torrenciales y depósitos de ladera: Son depósitos constituidos por bloques calcáreos con una matriz de tamaño arena que ocupa los escarpados valles de la zona, así como la mayor parte de las laderas. Son muy parecidos a los depósitos periglaciares en las alturas de los Picos de Europa, ya que se originan en la actualidad debido a la acción principal del crioclastismo.



b) Aluviones fluviales: Se encuentran representados en pequeñas extensiones en el curso bajo de los ríos, donde están constituidos por arenas y gravas con algunos cantos y bloques, principalmente calizas. En los cursos altos de los ríos, se trata de bloques grandes que ocupan exclusivamente el cauce propiamente dicho.

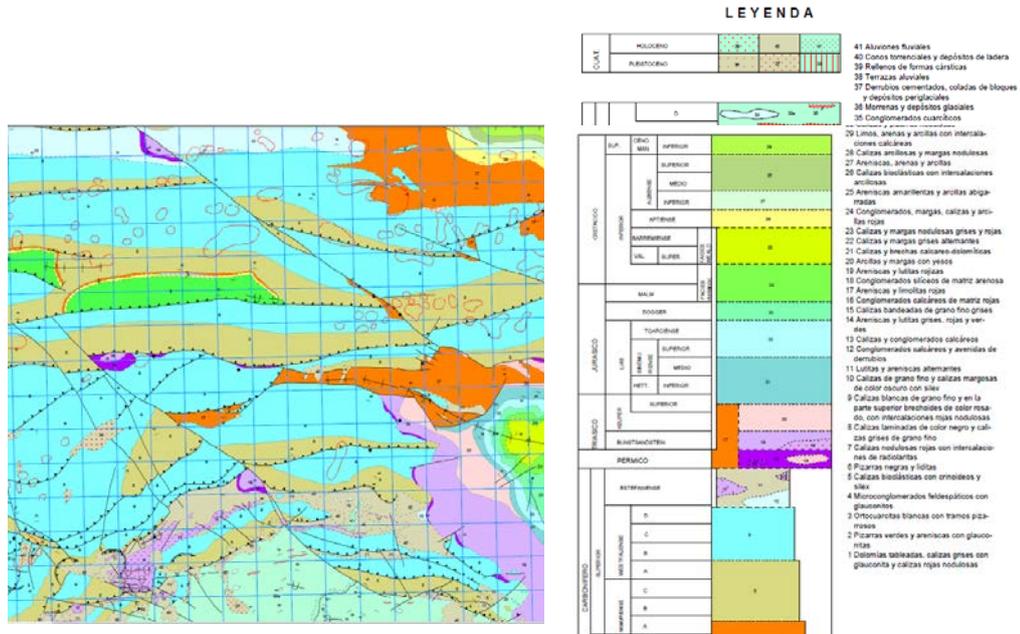


Imagen 12- Mapa geológico nº56 Careña – Cabrales (5)

Zona del mapa geológico de España en la que se encuentra la zona de estudio. El mapa está orientado con el Norte hacia arriba, situándose en la parte inferior la comarca de Liébana. (5)



5. PUNTOS CRÍTICOS

5.1. SELECCIÓN DE PUNTOS CRÍTICOS

5.1.1. PROCEDIMIENTO

La determinación de los puntos críticos se realiza de forma visual y se justifica con fotografías del terreno. La estrategia utilizada para ubicar los puntos es mediante coordenadas que se hallaran con una aplicación móvil (Polaris Navigation). Con el fin de justificar la elección de los puntos, elaboro una checklist que se rellenará en cada caso. La estructura de la lista depende de la limitación a la hora de realizar la inspección, ya que únicamente puede ser visual. (Tabla 3)

HUELLAS DE CAIDAS EN LA CALZADA	
TAMAÑO MÁXIMO DE ROCA	
OBSERVACIÓN DE ROCAS SUELTAS	
GRAVERAS PELIGROSAS	
TERRENO BLANDO CON ROCAS	
ELEVADA PENDIENTE	
MÁXIMA DISTANCIA PROBABLE DE CAÍDA	
EXISTENCIA DE GRIETAS	
DESLIZAMIENTOS ANTIGUOS	
PRESENCIA DE AGUA	
ORIENTACIÓN DE LAS DIACLASAS	
VEGETACIÓN	

Tabla 3- tabla tipo



Después de rellenar esta tabla, habrá que elegir el mecanismo de protección más adecuado (malla, red de cables, pantalla) y dependiendo de esto variará el paso a seguir.

En el caso de elegir una malla, se escogerá el tipo de malla según las propiedades del terreno en ese punto y se dimensionará para su posterior colocación.

Si se elige la red de cables, el principal aspecto a definir es su colocación y su resistencia frente a las fuerzas de las rocas inestables. En el caso de que sea más fácil la eliminación de esas rocas que la implantación de los cables, se optará por retirarlas.

Cuando la opción más ventajosa sea la instalación de pantallas, dinámicas o estáticas, los pasos a seguir para facilitar la elección del tipo de pantalla más conveniente serán:

- Calcular el bloque tipo.
- Seleccionar el peor perfil del talud.
- Hallar la energía, velocidad y altura de los bloques en un determinado punto.

FACTORES DE LA CAÍDA DE ROCAS

El movimiento de las rocas por la laderas puede ser muy variado porque depende a la altura a la que se desprenden (energía potencial), el tipo de movimiento que realizan (rebotar, rodar, deslizar o caer libremente), la velocidad a la que caen, el perfil del trayecto que recorren y la geometría de la propia roca. Un cálculo puramente energético no es muy exacto ya que se disipa energía a lo largo de la caída en los rebotes o debido al rozamiento con el terreno. Por todo esto es muy difícil hacer un estudio individualizado debido a que los factores pueden ser diferentes y se tendrían que realizar infinitos análisis de caída para un mismo talud. Por ello se tiende a realizar un estudio simplificado que nos sirva para englobar todos los casos en uno solo sin correr ningún riesgo.

Los principales factores a tener en cuenta son (4) :

RASGOS GEOMÉTRICOS	RASGOS FÍSICOS
<ul style="list-style-type: none">▪ Topografía del talud▪ Tamaño del bloque	<ul style="list-style-type: none">▪ Velocidad inicial de la caída▪ Coeficiente de restitución de la superficie del talud▪ Coeficiente de fricción al deslizamiento y la rodadura



Según el volumen de las rocas sus movimientos suelen ser (4) :

- Las piedras mayores de $0'5\text{m}^3$ deslizan
- Las piedras iguales a $0'5\text{m}^3$ tienen más velocidad
- Las piedras menores de $0'5\text{m}^3$ rebotan

5.1.2. PUNTO 1:

Coordenadas: 43°17'22.25" Norte 4°37'08.62" oeste

HUELLAS DE CAIDAS EN LA CALZADA	✓
TAMAÑO MÁXIMO DE BLOQUE (diámetro)	20 cm
OBSERVACIÓN DE ROCAS SUELTAS	✓
GRAVERAS PELIGROSAS	✗
TERRENO BLANDO CON ROCAS	✓
ELEVADA PENDIENTE	✓
MÁXIMA DISTANCIA PROBABLE DE CAÍDA	Alrededor de 4 metros
EXISTENCIA DE GRIETAS	✗
DESLIZAMIENTOS ANTIGUOS	✗
PRESENCIA DE AGUA	✓
ORIENTACIÓN DE LAS DIACLASAS	No se observan
VEGETACIÓN	✓

Tabla 5- Punto 1



"Estudio informativo para la determinación de medidas de protección contra la caída de rocas mediante sistemas flexibles en puntos críticos del Desfiladero de la Hermida"

TRABAJO FINAL DE GRADO
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA, 2015
JAVIER SÁNCHEZ BÁSCONES

La cima del talud tiene una gran altura pero en su recorrido el talud tiene varias zonas de muy baja pendiente y con vegetación arbolada que evitan que los desprendimientos que puedan ocurrir a esa elevación puedan llegar hasta la carretera.

Aun así existe el riesgo de pequeños movimientos producidos por la acción del agua ya que se puede ver una pequeña riega que aparece cuando llueve y puede arrastrar rocas que se encuentran apoyadas en suelos blandos.

Para poder evitar la caída se propone proteger el cauce del agua, así como también los taludes contiguos que también presentan rocas sueltas, con malla colgada aprovechando los aproximadamente 2 metros de cuneta de la que se dispone para acumular pequeñas cantidades de rocas.

Para la colocación se deberá desbrozar el talud al menos hasta una altura de 5 metros. El mantenimiento se basa en la retirada de las rocas de la cuneta en periodos de uno o dos meses.



Imagen 13- Picadas en el punto 1



Imagen 14 Talud del punto 1

5.1.3. PUNTO 2:

COORDENADAS: 43°17'25.60' Norte 4°37'06.61" Oeste

HUELLAS DE CAIDAS EN LA CALZADA	✓
TAMAÑO MÁXIMO DE BLOQUE (diámetro)	1 metro
OBSERVACIÓN DE ROCAS SUELTAS	✓
GRAVERAS PELIGROSAS	✓
TERRENO BLANDO CON ROCAS	✗
ELEVADA PENDIENTE	✓
MÁXIMA DISTANCIA PROBABLE DE CAÍDA	15 metros
EXISTENCIA DE GRIETAS	✓



DESLIZAMIENTOS ANTIGUOS	×
PRESENCIA DE AGUA	✓
ORIENTACIÓN DE LAS DIACLASAS	Favorable al deslizamiento
VEGETACIÓN	×

Tabla 6- Punto 2

En este punto se encuentran dos situaciones distintas. Hay una pequeña vaguada por la que se supone que discurre agua cuando llueve con intensidad y en uno de los lados hay un gran talud vertical con rocas aparentemente inestables en la cumbre.

En el pie del talud por donde baja el agua hay un apilamiento de rocas con un diámetro que oscila sobre los 10mm (Imagen 16). Este pequeño montón tiene la apariencia de haber sido colocado de alguna manera al retirar estas piedras fuera de la calzada, por tanto, existe una caída continua que puede obstaculizar el tráfico aunque no deje huellas en la calzada (Imagen 18). La altura desde la que se produce el desprendimiento no será mayor de 4 o 5 metros y debido a que la pendiente no es demasiado alta y actúa también el agua, el movimiento más probable es la rodadura de la piedra.

Por otro lado hay un talud vertical en el que se observan piedras inestables a gran altura (Imagen 18), sobre unos 10 metros, y también unas picadas en la calzada que hacen pensar que ya ha habido desprendimientos anteriores. Las grietas que se encuentran en toda la pared favorecen esa inestabilidad. El sistema de protección elegido en este caso es la protección mediante redes de cables, ya que las rocas que se presentan son de un tamaño considerable y no será necesaria la utilización de mallas de acero.



Imagen 15- Localización punto 1 y 2

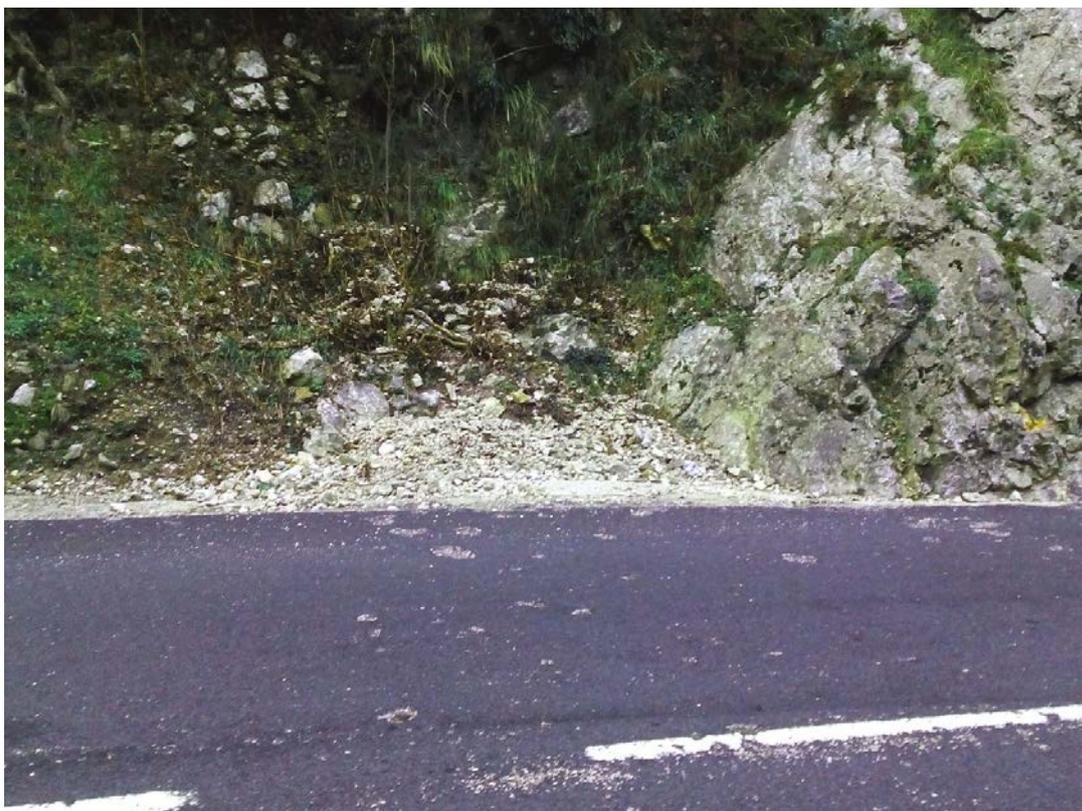


Imagen 16- depósito de fragmentos de roca en el punto 2



Imagen 18- Picadas en la carretera en el punto 2

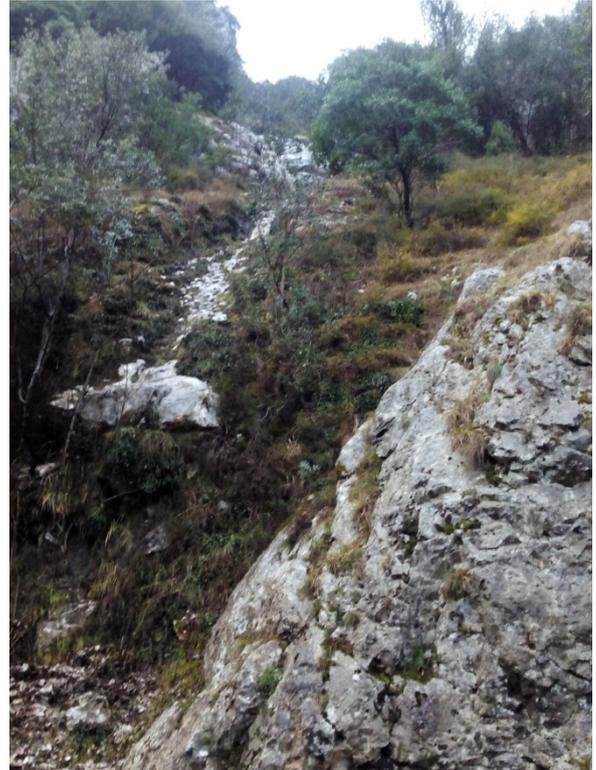


Imagen 17- talud de rocas inestables

5.1.4. PUNTO 3:

COORDENADAS: 43°17'18.41' Norte 4°37'15.76" Oeste

HUELLAS DE CAIDAS EN LA CALZADA	✗
TAMAÑO MÁXIMO DE BLOQUE	1 m ³
OBSERVACIÓN DE ROCAS SUELTAS	✓
GRAVERAS PELIGROSAS	✓
TERRENO BLANDO CON ROCAS	✗
ELEVADA PENDIENTE	✓



MÁXIMA DISTANCIA PROBABLE DE CAÍDA	
EXISTENCIA DE GRIETAS	x
DESLIZAMIENTOS ANTIGUOS	x
PRESENCIA DE AGUA	x
ORIENTACIÓN DE LAS DIACLASAS	No se observan
VEGETACIÓN	x

Tabla 7- Punto 3

El mayor peligro en este caso es la acumulación de rocas en las graveras lo que además de propiciar que las rocas lleguen más cerca de la carretera, indica que hay muchos desprendimientos en la zona. La solución adoptada en este caso será la implantación de pantallas dinámicas que eviten que esos desprendimientos lleguen hasta la carretera.

5.1.5. PUNTO 4:

COORDENADAS: 43°17'18.41" Norte 4°37'15.76" Oeste

HUELLAS DE CAIDAS EN LA CALZADA	x
TAMAÑO MÁXIMO DE BLOQUE (diámetro)	20 cm
OBSERVACIÓN DE ROCAS SUELTAS	✓
GRAVERAS PELIGROSAS	✓
TERRENO BLANDO CON ROCAS	x
ELEVADA PENDIENTE	✓
MÁXIMA DISTANCIA PROBABLE DE CAÍDA	5 metros
EXISTENCIA DE GRIETAS	x



DESLIZAMIENTOS ANTIGUOS	x
PRESENCIA DE AGUA	x
ORIENTACIÓN DE LAS DIACLASAS	No se observan
VEGETACIÓN	x

Tabla 8- Punto 4



En este punto se encuentran pequeñas piedras disgregadas por el talud que tienen una aparente inestabilidad. El mayor peligro es que estas ocupen la calzada y para evitar esto, teniendo en cuenta que el talud es pequeño, se estudia como medida de protección la colocación de membranas flexibles. (imagen 19)

imagen 19- Talud del punto 4

5.1.6. PUNTO 5:

COORDENADAS: 43.288778° Norte 4.619690° Oeste

HUELLAS DE CAIDAS EN LA CALZADA	x
TAMAÑO MÁXIMO DE BLOQUE (diámetro)	20 cm



OBSERVACIÓN DE ROCAS SUELTAS	✓
GRAVERAS PELIGROSAS	✗
TERRENO BLANDO CON ROCAS	✓
ELEVADA PENDIENTE	✓
MÁXIMA DISTANCIA PROBABLE DE CAÍDA	3 metros
EXISTENCIA DE GRIETAS	✗
DESLIZAMIENTOS ANTIGUOS	✗
PRESENCIA DE AGUA	✓
ORIENTACIÓN DE LAS DIACLASAS	No se observan
VEGETACIÓN	✓

Tabla 9- Punto 5

En esta franja de recorrido la tierra aparentemente está muy blanda y se pueden ver rocas que se pueden retirar con una mano. También se ven pequeñas piedras en los márgenes de la calzada aunque no hay cuneta. (imagen 20). Por esta razón se colocarán unas mallas metálicas adosadas con un refuerzo de redes de cables para estabilizar el terreno y que exista ningún movimiento en el talud.



imagen 20- depósitos de rocas a pie del talud





5.1.7. PUNTO 6:

COORDENADAS: 43.287306°⁰⁰ Norte 4.625356° Oeste

HUELLAS DE CAIDAS EN LA CALZADA	✘
TAMAÑO MÁXIMO DE BLOQUE	1 m ³
OBSERVACIÓN DE ROCAS SUeltas	✓
GRAVERAS PELIGROSAS	✓
TERRENO BLANDO CON ROCAS	✓
ELEVADA PENDIENTE	✓
MÁXIMA DISTANCIA PROBABLE DE CAÍDA	150 metros
EXISTENCIA DE GRIETAS	✘
DESLIZAMIENTOS ANTIGUOS	✓
PRESENCIA DE AGUA	✘
ORIENTACIÓN DE LAS DIACLASAS	No se observan
VEGETACIÓN	✓

Tabla 10- Punto 6

El punto 6 se encuentra en una ladera en la que hay un viejo camino que asciende zigzagueando por la misma entre una gran gravera. Se puede observar como las rocas llegan casi hasta la carretera y que la pendiente que forman es de casi el 100%. La única barrera que podemos observar es la que forman unos arbustos situados a pie del talud pero dadas las dimensiones de los bloques, estos no serán suficientes para frenar un desprendimiento (imagen 21).



"Estudio informativo para la determinación de medidas de protección contra la caída de rocas mediante sistemas flexibles en puntos críticos del Desfiladero de la Hermida"

TRABAJO FINAL DE GRADO
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA, 2015
JAVIER SÁNCHEZ BÁSCONES

La mejor opción en este caso, debido a la gran distancia de caída que puede ocurrir y la pendiente, es colocar una pantalla dinámica de deformación plástica.



imagen 21- Depósitos a pie del talud del punto 6

5.1.8. PUNTO 7:

COORDENADAS: 43° 17' 37.32' Norte 4° 36' 44.71" Oeste

HUELLAS DE CAIDAS EN LA CALZADA	✓
TAMAÑO MÁXIMO DE BLOQUE	1m ³
OBSERVACIÓN DE ROCAS SUELTAS	✗
GRAVERAS PELIGROSAS	✗
TERRENO BLANDO CON ROCAS	✗
ELEVADA PENDIENTE	✓
MÁXIMA DISTANCIA PROBABLE DE CAÍDA	50 metros



EXISTENCIA DE GRIETAS	✓
DESLIZAMIENTOS ANTIGUOS	✓
PRESENCIA DE AGUA	✗
ORIENTACIÓN DE LAS DIACLASAS	Favorables a la caída
VEGETACIÓN	✗

Tabla 11-Punto 7

El punto 7 se encuentra en primer lugar accediendo desde la entrada norte del desfiladero. La zona peligrosa se sitúa en el exterior de una curva donde la roca tiene un saliente que supone una amenaza al poder actuar como apoyo en el rebote de bloques que se desprenden de partes más altas del talud. (imagen 22)

La elección de este punto es obligada debido a que se hallan varias huellas de caídas en la calzada. También se observa, en la parte alta, gran cantidad de diaclasas y grietas que pueden provocar inestabilidades de las rocas produciendo desprendimientos de gran energía. Al ser un talud de gran altura y riesgo, no se puede tratar como un problema localizado con redes de cables. Por esta razón la actuación a llevar a cabo será la colocación de pantallas dinámicas.

Además, Apoyado en las pantallas que se encuentran en los laterales del punto peligroso, se pretende tapar cualquier posibilidad de caída, solapando las pantallas.



imagen 22- Talud del punto 7



5.1.9. PUNTO 8:

COORDENADAS: 43.274933° Norte 4,63699° Oeste

HUELLAS DE CAIDAS EN LA CALZADA	✓
TAMAÑO MÁXIMO DE BLOQUE	1 m ³
OBSERVACIÓN DE ROCAS SUELTAS	✓
GRAVERAS PELIGROSAS	✓
TERRENO BLANDO CON ROCAS	✗
ELEVADA PENDIENTE	✓
MÁXIMA DISTANCIA PROBABLE DE CAÍDA	350 metros
EXISTENCIA DE GRIETAS	✓
DESLIZAMIENTOS ANTIGUOS	✓
PRESENCIA DE AGUA	✗
ORIENTACIÓN DE LAS DIACLASAS	Favorables a la caída
VEGETACIÓN	✓

Tabla 12- Punto 8

El punto 8 se encuentra en una curva al final de una larga recta en sentido hacia Potes y pocos días antes a la realización de las fotos se produjo un desprendimiento que requirió de la actuación de equipos de movimiento de tierras (imagen 23). Las rocas descendieron por una vaguada donde se encuentran unas graveras y a pesar de la vegetación existente y de la pantalla dinámica que se encontraba en pie del talud, las rocas alcanzaron el río, atravesando la carretera. El suceso, que ocurrió de noche, fue presenciado por habitantes de Potes que se detuvieron antes del punto debido a que vieron las chispas producidas por el choque de las rocas al descender por la ladera.



imagen 23- Pantalla rota en el punto 8

La actuación a realizar es la colocación de pantallas dinámicas. Se estudiará la posibilidad de poner una pantalla a media ladera, en la vaguada, y otra a pie de ladera, antes de la carretera. Este método de detención de desprendimientos ya se utiliza en otros puntos del desfiladero con similares características, de esta forma evitaremos que en el caso de que las rocas con gran energía rompan la primera pantalla, puedan llegar a la carretera. Además, instalando una pantalla más arriba, se consigue que la velocidad de los bloques sean menores, por tanto, posean menos energía.

5.1.10. PUNTO 9:

COORDENADAS: 43.271713° Norte 4,636478° Oeste

HUELLAS DE CAIDAS EN LA CALZADA	✓
TAMAÑO MÁXIMO DE BLOQUE	1 m ³
OBSERVACIÓN DE ROCAS SUELTAS	✓
GRAVERAS PELIGROSAS	✗
TERRENO BLANDO CON ROCAS	✓
ELEVADA PENDIENTE	✓
MÁXIMA DISTANCIA PROBABLE DE CAÍDA	50 metros



EXISTENCIA DE GRIETAS	✓
DESLIZAMIENTOS ANTIGUOS	✓
PRESENCIA DE AGUA	✓
ORIENTACIÓN DE LAS DIACLASAS	Favorables a la caída
VEGETACIÓN	✓

Tabla 13- Puntos 9

Este punto hay 2 zonas diferenciadas por el tipo de riesgo, una zona de alto talud de roca maciza y una zona de rocas sueltas en terreno blando.

En el segundo caso la presencia de agua es un factor determinante en la inestabilidad de las rocas. Estas se encuentran en el talud vertical justo al lado de la carretera sin apenas cuneta por lo que se propone colocar una malla adosada de protección activa con redes de cables. Con esto evitamos el movimiento tanto de las rocas pequeñas como de las más grandes.(imagen 24)

En el primer caso, existen grandes grietas en diferentes partes de la pared de roca y debido a la altura del talud se estudia la colocación de pantallas dinámicas en forma de galería.



imagen 24 - Pared vertical de roca del punto 9



5.1.11. PUNTO 10:

COORDENADAS: 43.25895° Norte 4,617627° Oeste

HUELLAS DE CAIDAS EN LA CALZADA	✓
TAMAÑO MÁXIMO DE BLOQUE	1 m ³
OBSERVACIÓN DE ROCAS SUELTAS	✓
GRAVERAS PELIGROSAS	✗
TERRENO BLANDO CON ROCAS	✓
ELEVADA PENDIENTE	✓
MÁXIMA DISTANCIA PROBABLE DE CAÍDA	10 metros
EXISTENCIA DE GRIETAS	✗
DESLIZAMIENTOS ANTIGUOS	✓
PRESENCIA DE AGUA	✓
ORIENTACIÓN DE LAS DIACLASAS	No se observa
VEGETACIÓN	✓

Tabla 14- Punto 10

En esta zona la protección contra caídas de rocas desde las partes más altas del talud se encuentra cubierta por pantallas dinámicas posicionadas a más de 50 metros de la calzada, pero existe un riesgo de desprendimientos por debajo de ese punto. Entre las pantallas dinámicas y la calzada hay un talud de terreno blando con poca vegetación y que contiene una gran cantidad de rocas sueltas de diferentes tamaños. Los bloques más grandes tienen un diámetro aproximado de 2 metros y la actuación en este caso es retirando todas las rocas que supongan un peligro. La accesibilidad a las mismas no es complicada ya que no hay una elevada inclinación, así que es más fácil su eliminación que tratar de colocar una medida de protección o prevención. Las rocas más pequeñas debido a su proximidad a la calzada y su



"Estudio informativo para la determinación de medidas de protección contra la caída de rocas mediante sistemas flexibles en puntos críticos del Desfiladero de la Hermida"

TRABAJO FINAL DE GRADO
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA, 2015
JAVIER SÁNCHEZ BÁSCONES

escasa altura, también se limpiarán ya que la colocación de mallas no saldría tan rentable. (imagen 25)



imagen 25- Talud del punto 10

5.1.12. PUNTO 11:

COORDENADAS: 43.260228° Norte 4,619562° Oeste

HUELLAS DE CAIDAS EN LA CALZADA	✓
TAMAÑO MÁXIMO DE BLOQUE	3 m ³



OBSERVACIÓN DE ROCAS SUELTAS	✓
GRAVERAS PELIGROSAS	✗
TERRENO BLANDO CON ROCAS	✓
ELEVADA PENDIENTE	✓
MÁXIMA DISTANCIA PROBABLE DE CAÍDA	3 metros
EXISTENCIA DE GRIETAS	✗
DESLIZAMIENTOS ANTIGUOS	✓
PRESENCIA DE AGUA	✓
ORIENTACIÓN DE LAS DIACLASAS	Favorables a la caída
VEGETACIÓN	✓

Tabla 15- Punto 11

En este punto tiene también dos partes diferenciadas:

- Terreno blando y pequeñas rocas:

En este caso el talud es vertical con una altura aproximada de 4 metros en los que se encuentran rocas aparentemente sueltas.

Como muestra de que existen desprendimientos se observan montones de piedras en la cuneta de la carretera. Además se ven huellas de picadas en la



imagen 26- Talud con terreno blando

calzada, que pueden ser causadas por rocas que vengan con más energías de la parte superior del talud. A unos 50 metros hay pantallas dinámicas y entre ellas y el pie del talud no se observan rocas de gran tamaño, además de que existe una gran vegetación formada por árboles que sirven de freno para las rocas que desciendan por la ladera.



Por esta razón, analizando el riesgo de los desprendimientos, se llevará a cabo una colocación de mallas colgadas con una pequeña sobrealtura en el borde superior del talud para que las piedras que bajen de la parte superior de la ladera, se reconduzcan hacia la cuneta sin que puedan saltar a la carretera.

- Rocas de gran tamaño en talud con pendiente moderada:

La situación es la misma que en el caso del punto 10, las piedras pueden que pueden caer a la carretera son de gran tamaño y se encuentra en la proximidad de la carretera. La solución más apropiada es la eliminación de las mismas mediante métodos mecánicos.

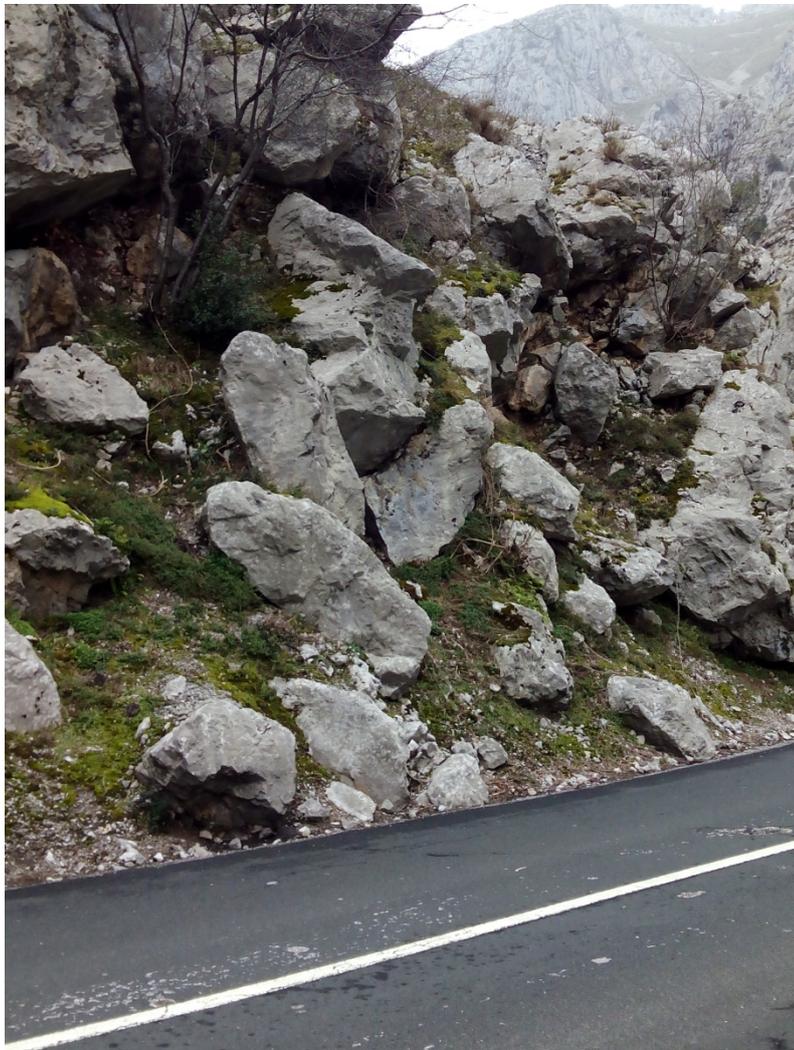


imagen 27-talud con bloques de roca sueltos



5.1.13. PUNTO 12:

COORDENADAS: 43.250637° Norte 4,600463° Oeste

HUELLAS DE CAIDAS EN LA CALZADA	✓
TAMAÑO MÁXIMO DE BLOQUE	1 m ³
OBSERVACIÓN DE ROCAS SUELTAS	✓
GRAVERAS PELIGROSAS	✗
TERRENO BLANDO CON ROCAS	✓
ELEVADA PENDIENTE	✓
MÁXIMA DISTANCIA PROBABLE DE CAÍDA	Alta
EXISTENCIA DE GRIETAS	✓
DESLIZAMIENTOS ANTIGUOS	✓
PRESENCIA DE AGUA	✗
ORIENTACIÓN DE LAS DIACLASAS	Favorables a la caída
VEGETACIÓN	✓

Tabla 16- Punto 12

En este punto se observan unas huellas de picadas en la calzada de gran tamaño con lo que se supone que los desprendimientos que se produjeron este punto tenían una gran energía, con lo que venían de lo más alto de la ladera.

Esta está formada por una pared vertical de roca en la parte superior de más de cien metros, una parte intermedia con menor pendiente en la que hay vegetación y graveras donde se depositan muchas de las rocas que se desprenden de la pared y una parte final en la que el talud vuelve a ser de una pendiente casi vertical hasta la carretera. (imagen 28)



"Estudio informativo para la determinación de medidas de protección contra la caída de rocas mediante sistemas flexibles en puntos críticos del Desfiladero de la Hermida"

TRABAJO FINAL DE GRADO
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA, 2015
JAVIER SÁNCHEZ BÁSCONES

En esta última parte, se ven muchas grietas con rocas con riesgo de caída que se estabilizarán con mallas activas y redes de cables que eviten que diferentes tamaños de roca se puedan mover y llegar a caer.

Para las rocas que puedan caer desde la parte más alta y que por tanto llevan más energía, se colocaran pantallas dinámicas en las zonas intermedias para conseguir frenarlas antes de que lleguen a la carretera.



imagen 28- Talud vertical en la parte posterior y talud de roca fragmentada en primer plano

5.1.14. PUNTO 13:

COORDENADAS: 43.248793° Norte 4,596298° Oeste

HUELLAS DE CAIDAS EN LA CALZADA	✓
---------------------------------	---





TAMAÑO MÁXIMO DE BLOQUE	x
OBSERVACIÓN DE ROCAS SUELTAS	x
GRAVERAS PELIGROSAS	x
TERRENO BLANDO CON ROCAS	x
ELEVADA PENDIENTE	✓
MÁXIMA DISTANCIA PROBABLE DE CAÍDA	150 metros
EXISTENCIA DE GRIETAS	✓
DESLIZAMIENTOS ANTIGUOS	✓
PRESENCIA DE AGUA	x
ORIENTACIÓN DE LAS DIACLASAS	No se observan
VEGETACIÓN	x

Tabla 17- punto 17



imagen 29- Talud vertical de roca del punto 13

En este punto se ve como el talud es de roca maciza y con una forma casi vertical, donde las rocas con mayor riesgo de desprendimiento se encuentran en la parte superior. En la calzada se observan huellas de picadas con un tamaño considerable que están incluso en el borde opuesto al talud. Esto se debe al alto coeficiente de restitución que tiene el rebote de las rocas que caen con la propia pared.

Debido a la gran altura, alrededor de los 70 metros, obliga a que la solución más apropiada sea la instalación de pantallas dinámicas en formas de galería.



5.1.15. PUNTO 14:

COORDENADAS: 43.246647° Norte 4,586613° Oeste

HUELLAS DE CAIDAS EN LA CALZADA	✗
TAMAÑO MÁXIMO DE BLOQUE	1 m ³
OBSERVACIÓN DE ROCAS SUELTAS	✗
GRAVERAS PELIGROSAS	✗
TERRENO BLANDO CON ROCAS	✗
ELEVADA PENDIENTE	✓
MÁXIMA DISTANCIA PROBABLE DE CAÍDA	Alta
EXISTENCIA DE GRIETAS	✓
DESLIZAMIENTOS ANTIGUOS	✗
PRESENCIA DE AGUA	✓
ORIENTACIÓN DE LAS DIACLASAS	Favorables a la caída
VEGETACIÓN	✓

Tabla 18- Punto14



imagen 30- Talud de roca del punto 14

Este punto se encuentra en un tramo donde se producen frecuentes caídas de rocas. Las zonas cercanas a este punto tienen una protección de pantallas dinámicas con se colmatan con gran rapidez, sin embargo este punto no tienen ningún tipo de protección.



La morfología de la ladera está formada por dos paredes de roca que se encuentran en una vaguada con mucha pendiente y poca vegetación. La vaguada canaliza el descenso de los posibles desprendimientos y es el punto más peligroso. (imagen 30)

Se colocarán Pantallas dinámicas a dos alturas diferentes como solución para los desprendimientos en este punto.

5.1.16. PUNTO 15:

COORDENADAS: 43.244385° Norte 4,584058° Oeste

HUELLAS DE CAIDAS EN LA CALZADA	✓
TAMAÑO MÁXIMO DE BLOQUE	1 m ³
OBSERVACIÓN DE ROCAS SUELTAS	✗
GRAVERAS PELIGROSAS	✗
TERRENO BLANDO CON ROCAS	✗
ELEVADA PENDIENTE	✓
MÁXIMA DISTANCIA PROBABLE DE CAÍDA	150 metros
EXISTENCIA DE GRIETAS	✓
DESLIZAMIENTOS ANTIGUOS	✓
PRESENCIA DE AGUA	✗
ORIENTACIÓN DE LAS DIACLASAS	Favorables a la caída
VEGETACIÓN	✓

Tabla 19- Punto15

El punto 15 está señalado por varios usuarios diarios del desfiladero como un punto con gran cantidad de desprendimientos, la mayoría de ellos de gran energía debido a la altura de la pared de roca por la que está formado el talud. Hay algo de vegetación pero que no se puede tomar en cuenta para la pérdida de energía en las caídas.



"Estudio informativo para la determinación de medidas de protección contra la caída de rocas mediante sistemas flexibles en puntos críticos del Desfiladero de la Hermida"

TRABAJO FINAL DE GRADO
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA, 2015
JAVIER SÁNCHEZ BÁSCONES

El tramo tiene una longitud aproximada de 50 metros en los que la altura del talud se encuentra entre los 80 y 100 metros. Se observan huellas de los desprendimientos de gran tamaño así como grietas en toda la pared que sugieren inestabilidad de las rocas.

La solución más apropiada debido a la cantidad de grietas y a la altura del talud será la colocación de una pantalla dinámica en forma de galería.



imagen 31- Talud de roca del punto 15

5.1.17. PUNTO 16:

COORDENADAS: 43.239075° Norte 4,581003° Oeste

HUELLAS DE CAIDAS EN LA CALZADA	✓
TAMAÑO MÁXIMO DE BLOQUE	150 metros
OBSERVACIÓN DE ROCAS SUELTAS	✓
GRAVERAS PELIGROSAS	✗
TERRENO BLANDO CON ROCAS	✗



ELEVADA PENDIENTE	✓
MÁXIMA DISTANCIA PROBABLE DE CAÍDA	50 metros
EXISTENCIA DE GRIETAS	✓
DESLIZAMIENTOS ANTIGUOS	✓
PRESENCIA DE AGUA	✗
ORIENTACIÓN DE LAS DIACLASAS	Favorables a la caída
VEGETACIÓN	✓

Tabla 20- Punto16

En este tramo encontramos dos puntos críticos en los que se producen desprendimientos de forma diferente:

- a) Descenso por pendiente más suave:

EL talud está formado por rocas sueltas sobre un terreno blando donde existe vegetación abundante.

La zona de la carretera situada bajo este talud se encuentra con muchas picadas e incluso se pueden ver fragmentos de pequeñas piedras.

La solución más apropiada para este punto es la colocación de una malla adosada al talud con una pequeña sobre elevación en la zona del terreno blando con el fin de atrapar las rocas sueltas que puedan descender por él.



imagen 32- Picadas en la carretera en el punto 16



b) Descenso por pendiente prácticamente vertical:

En este caso las rocas que se encuentran en los laterales de la carretera son la prueba de que existen desprendimientos en este punto.

La ventaja es que hay una gran zona de cuneta donde poder recepcionar las rocas que se desprenden de la ladera.

La solución que se estudia es la colocación de pantallas dinámicas o estáticas.



imagen 33- Talud vertical del punto 16

5.1.18. PUNTO 17:

COORDENADAS: 43.237485° Norte 4,57789° Oeste

HUELLAS DE CAIDAS EN LA CALZADA	✓
TAMAÑO MÁXIMO DE BLOQUE	1 m ³
OBSERVACIÓN DE ROCAS SUELTAS	✓



GRAVERAS PELIGROSAS	x
TERRENO BLANDO CON ROCAS	x
ELEVADA PENDIENTE	✓
MÁXIMA DISTANCIA PROBABLE DE CAÍDA	80 metros
EXISTENCIA DE GRIETAS	✓
DESLIZAMIENTOS ANTIGUOS	✓
PRESENCIA DE AGUA	x
ORIENTACIÓN DE LAS DIACLASAS	Favorables a la caída
VEGETACIÓN	✓

Tabla 21- Punto 17

Este punto al igual que el anterior tiene numeras picadas en la carretera y está bajo una gran pared de roca. Lateralmente, el tramo se encuentra protegido por pantallas dinámicas pero en su parte central no se haya ninguna protección.

La solución más adecuada es una pantalla dinámica que solape con las pantallas contiguas evitando que ninguna roca se pueda colar entre ambas. La gran cantidad de grietas hace imposible utilizar otro tipo de método para la protección de la calzada. Además la dimensión de la pared hace inadecuada la utilización de mallas.



imagen 34- Talud del punto 17

5.1.19. PUNTO 18:

COORDENADAS: 43.232998° Norte 4,576412° Oeste

HUELLAS DE CAIDAS EN LA CALZADA	✓
TAMAÑO MÁXIMO DE BLOQUE	0,5 m ³
OBSERVACIÓN DE ROCAS SUELTAS	✓
GRAVERAS PELIGROSAS	✗
TERRENO BLANDO CON ROCAS	✗
ELEVADA PENDIENTE	✓
MÁXIMA DISTANCIA PROBABLE DE CAÍDA	Media
EXISTENCIA DE GRIETAS	✓
DESLIZAMIENTOS ANTIGUOS	✓



PRESENCIA DE AGUA	✓
ORIENTACIÓN DE LAS DIACLASAS	Favorables a la caída
VEGETACIÓN	✓

Tabla 22- Punto 18

En este punto se hallan un conjunto de rocas con apariencia inestable en lo alto de un talud vertical de roca. Debido a la altura del talud se hace muy difícil la eliminación de las rocas con los que la solución más apropiada es la instalación de redes de cables que impidan el movimiento de estas rocas.



Imagen 35- Rocas inestables en el talud del punto 18

5.1.20. PUNTO 19:

COORDENADAS: 43.232998° Norte 4,576412° Oeste

HUELLAS DE CAIDAS EN LA CALZADA	✓
TAMAÑO MÁXIMO DE BLOQUE	1 m ³
OBSERVACIÓN DE ROCAS SUELTAS	✓



GRAVERAS PELIGROSAS	x
TERRENO BLANDO CON ROCAS	x
ELEVADA PENDIENTE	✓
MÁXIMA DISTANCIA PROBABLE DE CAÍDA	Media-Alta
EXISTENCIA DE GRIETAS	✓
DESLIZAMIENTOS ANTIGUOS	✓
PRESENCIA DE AGUA	x
ORIENTACIÓN DE LAS DIACLASAS	Favorables a la caída
VEGETACIÓN	✓

Tabla 23- Punto 19

Este talud es totalmente en roca con numerosas grietas pero no tiene una inclinación tan vertical como los demás, la pendiente es más tendida, lo que hace que los desprendimientos se muevan mediante rebotes con la pared. (imagen 36)

La peligrosidad de las grietas que se ve incrementada por la presencia de animales vivos (cabras) que al moverse por la ladera arrojan piedras y pueden desencadenar un desprendimiento.

Hay protección a ambos lados del punto en cuestión. Se trata de pantallas dinámicas que deberán servir como apoyo para el principio y el fin de la pantalla dinámica que se debe colocar.



Imagen 36- Talud del punto 19

6. CÁLCULOS TÉCNICOS

6.1. METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO

6.1.1. CÁLCULO DE CAIDA DE ROCAS EN TALUDES POCO INCLINADOS

El análisis de los desprendimientos que se provocan en es taludes de pendiente constante pero no mayores de 70° se realiza con el programa *Colorado Rockfall Simulation Program* (CRSP) elaborado por la universidad de Colorado (EEUU). (6)

CRSP:

Este programa puede utilizarse tanto con modelos en tres dimensiones como en modelos de dos dimensiones. En este caso se realizan todos los análisis con modelos de 2 dimensiones, simplificando los cálculos ya que no existe una información detallada de los perfiles de la zona de estudio.



"Estudio informativo para la determinación de medidas de protección contra la caída de rocas mediante sistemas flexibles en puntos críticos del Desfiladero de la Hermida"

TRABAJO FINAL DE GRADO
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA, 2015
JAVIER SÁNCHEZ BÁSCONES

Este programa sirve como una herramienta analítica para evaluar los potenciales eventos de caídas de rocas y así poder determinar las medidas de atenuación o protección frente a ellas. El objetivo es simular las caídas de las rocas y obtener las fuerzas, trayectorias y alturas que ellas llevan.

El algoritmo para calcular las caídas usa una combinación de las ecuaciones generales del movimiento y métodos de elementos finitos para simular la velocidad de la roca y las fuerzas de contacto entre la roca y el talud. En vez de utilizar un coeficiente de restitución normal y otro tangencial, se utiliza un coeficiente de dureza que incluye ambos.

DEM esencialmente se basa en la solución numérica de la ecuación de movimiento y el principio de relajación dinámica, ecuaciones Cinemática se establecen para cada cuerpo discreto. Las velocidades, aceleraciones, y las posiciones de los cuerpos se actualizan mediante el cálculo de las fuerzas de contacto entre ellos. En función de los diferentes problemas físicos, programas DEM, al menos, deberían incluir los tres aspectos siguientes:

- Representación de contacto, que intenta establecer un modelo constitutivo de contacto correcto entre los cuerpos discretos.
- Representación de las propiedades de los materiales, que define las partículas o bloques para ser rígido o deformable.
- Contacto de detección y revisión de contactos, que intenta establecer ciertos datos de estructuras y algoritmos para evaluar los contactos y los tipos de contacto, como si el vértice, borde o cara de uno poliedro tocarán una entidad correspondiente en un segundo poliedro.

MODO DE EMPLEO:

Para iniciar el programa debes crear una carpeta donde se guardarán todos los datos que se desarrollen en el proyecto que vas a iniciar. Las unidades del programa por defecto no son las del sistema internacional así que se deben cambiar.

PESTAÑA PROJECT: básicamente es la pestaña donde se introduce el nombre del proyecto y demás información como puede ser el número, el nombre de la compañía, localización, coordenadas, etc. Esta información sirve para que se puedan diferenciar a posteriori las diferentes tablas de análisis que nos dan todos los puntos críticos.

PESTAÑA GEOMETRÍA DEL TALUD: En este paso se define la geometría de la superficie. Para ello podemos emplear diferentes formas de hacerlo:



- Cortar y pegar de una hoja de Excel.
- Metiendo las coordenadas manualmente.
- Metiendo los puntos gráficamente con el ratón.
- Importando datos de un archivo de geometría de pendiente LIDAR.

En este caso, introduje manualmente las coordenadas de los puntos. Sabiendo que el programa utiliza 3 coordenadas (X,Y,Z), dimensiono solo en dos coordenadas para simplificar el problema a dos dimensiones quedando la coordenada Y como una constante a lo largo de los perfiles.

PESTAÑA DE PROPIEDADES MECÁNICAS DEL TALUD: En esta pestaña nos permiten introducir diferentes materiales por los que puede estar formado el terreno con sus valores de rugosidad y dureza (en este están incluidos los coeficientes de restitución).

Una vez elegido el tipo de material, para poder poner ese material en la zona que queramos del terreno solo debemos introducir las coordenadas que bordean esa zona. El talud cambiará de color y adoptará las propiedades que hemos supuesto para ese material.

PESTAÑA DE ANÁLISIS POR PARTES: en este paso se elige una coordenada en x en la que se pretende situar la pantalla para posteriormente recoger todos los datos sobre el movimiento de las rocas al pasar por esa coordenada.

PESTAÑA DE PARÁMETROS DE LAS ROCAS: en esta pestaña se introducen las características tanto mecánicas como morfológicas de las rocas que se van a ensayar. Se introduce la zona desde donde se quiere que descendan, el número de rocas que se ensayan, el peso específico de las mismas y su forma que puede ser:

- Esfera: se dimensiona con el diámetro.
- Cilindro: se dimensiona con la longitud del cilindro.
- Disco triangular: se dimensiona con la longitud de un lado del triángulo
- Tetraedro: se dimensiona con la altura.
- Cubo: se dimensiona con la longitud de un lado del cubo

PESTAÑA DE SIMULACIÓN: En este punto es en el que directamente iniciamos el ensayo simulado de la caída de rocas. Podemos seleccionar si queremos ver al mismo tiempo un gráfico con la altura o la velocidad que llevan las rocas en cada punto.



PESATAÑA OUPUT: de aquí obtenemos los datos que nos van a servir para escoger el tipo de pantalla que debemos colocar. Las tablas nos proporcionan la velocidad, la altura o la energía con la que las rocas pasan por la coordenada anteriormente seleccionada. Especialmente útiles son los gráficos que aparecen en la parte inferior que nos muestran las relaciones entre las alturas o las velocidades con el número de rocas que se ensayan.

Posteriormente a la obtención de los datos, la energía total que se requiere se hallará mediante la ecuación de la energía cinemática utilizando la velocidad de la roca y su peso, que varía entre las rocas ensayadas en cada punto, y la altura será directamente la que muestran las tablas.

6.1.2. CÁLCULO DE MALLAS EN TALUD DE ROCA:

En los puntos en los cuales se cree conveniente la colocación de mallas sobre un talud de roca, el cálculo para el dimensionamiento de dicha malla se realizará con el programa MACRO. (7)

Este programa pertenece a la empresa maccaferri que se encarga de la instalación de medidas de protección y a desarrollado este programa para el dimensionamiento y colocación de sus mallas.

El programa es una aproximación al caso real pero la teoría no es exacta para hallar la presión necesaria para estabilizar el talud. Existen diversos métodos para el estudio de los taludes en roca y muchos programas de las empresas que instalan mallas. En este estudio utilizaremos el MACRO ya que da buenos resultados pero no es el único que se puede utilizar.

EXPLICACIÓN PRÁCTICA

Los parámetros que se deben introducir en la aplicación son los siguientes:

a) Los datos geométricos del talud de roca.

Beta: ángulo formado entre la horizontal y la cara del talud.

S: espesor inestable.

Model Fs: factor de seguridad.

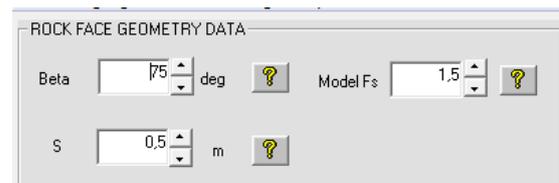


Imagen 37- interfaz de datos geométricos del talud



b) Datos geotécnicos.

Peso específico (KN/m³)

Coefficiente sísmico: se supone que no existe riesgo.

Block Fs: factor de seguridad

Alfa: ángulo formado por la grieta ideal y la pendiente del talud.

JRC: Rugosidad de la grieta (supongo siempre 0,1 quedando así por el lado de la seguridad)

JCS: Resistencia a compresión simple de la grieta. Debido a que siempre son rocas caliza, supongo una resistencia de 100 MPA obtenida de la tabla que proporciona Maccaferri.

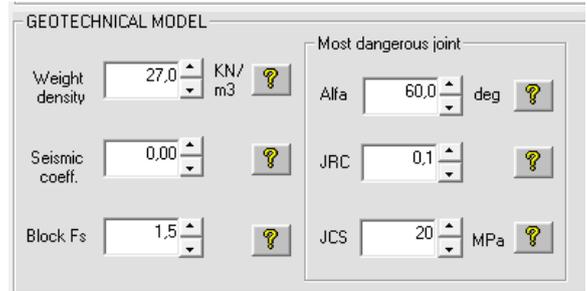


Imagen 38- interfaz de Macro de los datos geotécnicos

c) Datos de entrada del proyecto. (imagen 40)

Anchor bars pattern: distancia tanto en vertical como en horizontal entre los anclajes.

Grouting-rock adhesion: parámetros de adhesión entre las rocas y el hormigón que se inyecta con las barras de acero de los anclajes.

Anchor bar features: características de las barras de anclaje: Delta (ángulo respecto a la horizontal con el que se instalan las barras), Diámetro de la

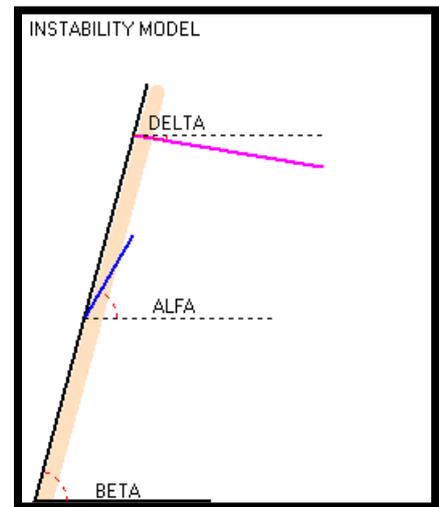


imagen 39- interfaz MACro

barra, límite elástico de la barra y el factor de seguridad de la barra.

Mesh features: características de la malla: tipo de malla y factor de seguridad.

d) Datos de salida.(imagen 41)

Nails: anclajes.

- Máximo volumen de roca por anclaje.
- Máximo peso por anclaje.
- Resistencia debida a un anclaje.

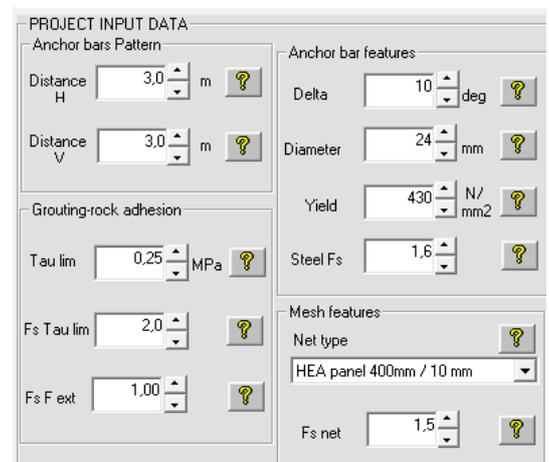


imagen 40- Interfaz de datos de entrada del proyecto



- Factor de seguridad de los anclajes.

Mesh: malla.

- Máximo volumen controlado por la malla.
- Tensión de la malla.
- Deformación esperada de la malla.
- Factor de seguridad de la malla.

Los datos de salida son los resultados de aplicar las condiciones y parámetros anteriores. Con ellos podemos saber si nuestra elección puede ser estable o si debemos modificar algo para obtener un factor de seguridad más alto. El factor de seguridad es la relación entre el estado límite último y la combinación de cargas que se dan. En este estudio utilizo un factor de seguridad de 2, de esta manera tengo un seguridad mayor de que el tipo de anclajes y de malla que se ponen son capaces de resistir las cargas de las rocas.

Nails	
Maximum rock volume per nail	4,5 m ³
Maximum weight per nail	121,5 kN
Resistance due to 1 nail	63,56 kN
F _s nail = ultimate limit state/load combinations	1,03
Mesh	
Maximum volume controlled by the mesh	1,03 m ³
Tension of the mesh	18,8 kN
Expected net deformation	0,14 m
F _s net = ultimate limit state/load combinations	6,81

imagen 41- Interfaz de datos de salida

EXPLICACIÓN TEÓRICA

Por razones de seguridad se asume que la roca está en condiciones de equilibrio límite. Así que asumiendo, las fuerzas resistentes (cohesión y fricción) tienen el mismo valor de las fuerzas actuantes (peso y agua); esto es además posible para considerar lo siguiente:

$$\text{Fuerzas de estabilidad} = \text{fuerzas motrices} = W \times \sin \lambda$$

Donde:

W= peso del volumen

λ = Inclinación de la cara donde el deslizamiento de la roca inestable puede ocurrir.

Introduciendo la contribución de la resistencia del bulón (R), la relación que describe el sistema de estabilidad podría ser:

Ecuación1:



$$Fos = \frac{Stab.forces}{Destab.forces} \cong \frac{W \cdot \text{sen} \lambda + R}{W \cdot \text{sen} \lambda} > 1.0$$

Introduciendo la acción sísmica y el factor de carga parcial para las fuerzas desestabilizadoras, la ecuación 1 sería:

$$Fos = \frac{Stab.forces}{Driving forces} = \frac{W \cdot \text{sen} \lambda - c \cdot W \cdot \text{sen} \lambda \cdot \tan \phi + R}{\gamma_{dw} \cdot W \cdot (\text{sen} \lambda + c \cdot \cos \lambda)} = 1.0$$

Donde:

c = factor de carga sísmica

ϕ = ángulo de rozamiento de la grieta

γ_{dw} = factor de carga parcial

Simplificando asumimos que $\tan \phi = 1$ (ángulo de fricción = 45°), la ecuación 2 quedaría:

$$Fos = \frac{Stab.forces}{Destab.forces} = \frac{W \cdot \text{sen} \lambda \cdot (1 - c) + R}{\gamma_{dw} \cdot W \cdot (\text{sen} \lambda + c \cdot \cos \lambda)} = 1.0$$

Esta ecuación permite determinar el factor de seguridad debido al bulón que consolida una masa de roca en el estado límite de equilibrio. La única variable de la ecuación es la inclinación del plano de deslizamiento.

EVALUACIÓN DE LA CONTRIBUCIÓN A LA RESISTENCIA DE LOS ANCLAJES

El bulón trabaja principalmente en la proximidad del plano de deslizamiento donde está sujeto a fuerzas de cortante y fuerzas de tracción. La fuerza que resiste debido al bulón a lo largo del plano de deslizamiento es:

$$R = \left[\frac{1 + \frac{m^2}{16}}{1 + \frac{m^2}{4}} \right]^{\frac{1}{2}} \cdot N_e$$

Donde:



$$m = \cotg (q + JR)$$

Θ = ángulo entre el bulón y la perpendicular a la grieta.

JR = dilatación de la superficie de deslizamiento

Ne = resistencia del bulón (condición del límite elástico) = $F_y \cdot \gamma_{dacciaio}$

F_y = Resistencia del bulón teórica

$\gamma_{dacciaio}$ = factor de reducción de la Resistencia del bulón.

El factor JR se aproxima de la siguiente manera:

$$JR \approx \frac{JRC \cdot \log \left[\frac{JCS}{\sigma} \right]}{3}$$

Donde:

σ = sliding plane tensile stress

$$JRC = \text{Rugosidad de la grieta} = JRC_0 \cdot \left[\frac{L_g}{L_0} \right]^{(-0.02 \cdot JRC_0)}$$

$$JCS = \text{Resistencia a compresión simple de la grieta} = JCS_0 \cdot \left[\frac{L_g}{L_0} \right]^{(-0.03 \cdot JRC_0)}$$

JCS0 = Resistencia a compresión simple de la muestra.

JRC0 = Rugosidad de la muestra.

L0 = longitud de la grieta.

Lg = longitud de la grieta de deslizamiento

Estos valores obviamente deben estar referidos a la grieta más desfavorable.

INESTABILIDAD DIFUSA - COMPROBACIÓN DE BULONES

La estabilidad de la parte cortical de la masa de roca es llamada inestabilidad difusa. Cada bulón debería estabilizar un peso de roca igual que:

$$JR \approx \frac{JRC \cdot \log \left[\frac{JCS}{\sigma} \right]}{3}$$



$$W = i_x \cdot i_y \cdot s \cdot \gamma$$

$i_x i_y$ = red horizontal y vertical de bulones

s = espesor de la inestabilidad difusa

γ = peso específico de la roca

INESTABILIDAD LOCAL – COMPROBACIÓN DE LA MALLA

Los bulones fijan la malla a la superficie de la roca. Entre los bulones hay bloques secundarios que podrían deslizarse a lo largo de la superficie. Esta inestabilidad entre los bulones se llama inestabilidad local.

Cuando la grieta de deslizamiento está menos inclinada que la superficie del talud la inestabilidad local aparece:

$$\beta > \alpha \quad (\beta = \text{ángulo del talud}, \alpha = \text{inclinación de la grieta})$$

El máximo bloque que puede crear tensión en un metro lineal de malla está ligado con el espesor (s) y el espacio vertical entre 2 bulones. Algunas consideraciones geométricas permiten aproximar el volumen de la roca inestable:

Si $\alpha \geq \beta - \arctan(s/i_v)$ y $\alpha < \beta$ entonces el máximo volumen será:

$$Vol = \frac{1}{2} \cdot i_v^2 \cdot \tan(\beta - \alpha)$$

Si $\alpha < \beta - \arctan(s/i_v)$ entonces el máximo volumen será:

$$Vol = i_v \cdot s - \frac{1}{2} \cdot \frac{s^2}{\tan(\beta - \alpha)}$$

Por razones de seguridad se considera que los bloques de la inestabilidad local están en equilibrio límite y se asume que la inclinación del plano de corte es $\alpha = \lambda$ y $R = 0$. Con esta condición, la máxima tensión que puede desarrollar la inestabilidad local en la malla entre los anclajes es:



F_{local} = fuerzas estabilizadoras – fuerzas desestabilizadoras =

$$vol \cdot \gamma \cdot [sen\alpha \cdot (1 - c - \gamma_{áv}) + c \cdot \gamma_{áv} \cdot \cos\alpha] \cdot i_x$$

Esta fuerza es una aproximación considerando cosas que no son reales como que la malla no se deforma. En tal situación, la malla solo puede oponer resistencia a la fuerza F_{local} que deriva de un momento eventual. Las componentes de esta fuerza se miden en el plano perpendicular y transversal y son respectivamente la fuerza de punzamiento P y la fuerza de tensión T:

$$P = F_{local} \cdot \sin(\beta - \alpha)$$

$$\rho = \arctan \frac{\Delta_{pnz}}{1.5} = \text{ángulo entre el panel de la malla deformada y el plano de deslizamiento}$$

$\Delta_{pnz} = f(P)$ = deformación del panel debido a la función experimental.

La tensión que actúa sobre el metro lineal de malla T es determinado por:

$$T = \frac{F_{local} \cdot \sin(\beta - \alpha)}{i_x \cdot \sin(\beta - \alpha - \rho)}$$

Entonces para satisfacer las condiciones de comprobación de la malla es necesario que:

$$F_{OS} = \frac{T_{rete} \cdot \gamma_{drete}}{T} \geq 1.0$$

Donde T_{rete} y γ_{drete} son respectivamente la resistencia a tensión última de malla y el coeficiente de reducción de la resistencia de la malla.

LONGITUD DE LOS BULONES

Para evaluar la longitud de los bulones es necesario tener en consideración lo siguiente:

- El bulón es la parte fundamental de la parte cortical de la masa de roca. Su longitud debería ser tan grande como para que la parte degradada del macizo esté conectada fuertemente con la parte firme del mismo.
- El acero de la barra y el grout de conexión están expuestos a la meteorología.

La longitud del bulón no debería ser menos que 2 metros y la longitud mínima teórica deriva de:

$$L_{minimum} = L_{found} + L_{lib}$$

Dónde:



$L_{\text{found}} = \text{longitud de la parte firme del macizo} = N_{\text{es}} \cdot \gamma_{\text{dnes}} \cdot \pi \cdot \phi \cdot \tau_{\text{lim}} \cdot \gamma_{\text{dtaulim}}$

$L_{\text{lib}} = \text{longitud de la parte degradada} = s \cdot \gamma_{\text{dw}} / \cos \theta$

Dónde:

N_{es} = La mayor fuerza de tracción de la inestabilidad difusa y la inestabilidad local.

γ_{dnes} = Factor de carga para N_{es} .

ϕ = diámetro del agujero para el bulón .

τ_{lim} = tensión de adherencia entre el mortero y la roca.

γ_{dtaulim} = coeficiente de reducción.

s = espesor

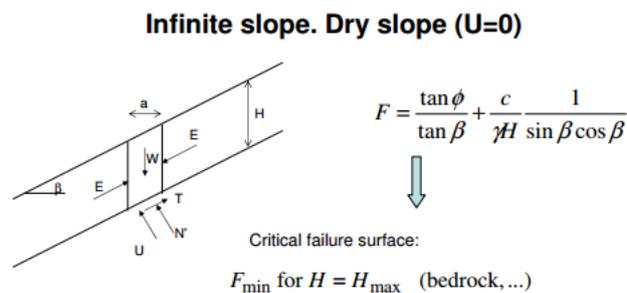
γ_{dw} = coeficiente de reducción

θ = ángulo entre el bulón y la perpendicular a la grieta.

6.1.3. CÁLCULO DE MALLAS SOBRE SUELOS:

Para la colocación de medidas de protección en los puntos críticos donde según el criterio seguido se decida instalar mallas o redes de cables y además ese terreno sea un suelo se seguirá el siguiente procedimiento:

- 1) Se tomará como modo de desequilibrio del talud el deslizamiento plano. (8)





El factor de seguridad "F" deberá ser en el estudio mayor o igual a 2. Con esto nos aseguramos que nos encontramos claramente en el lado de la seguridad.

- 2) Este deslizamiento se supone sobre terreno seco.
- 3) Se tomarán como propiedades de los materiales unos datos aproximados. La elección del material que corresponde en la tabla se hace de forma intuitiva después de una inspección visual.
- 4) Se calculará la presión por metro cuadrado necesaria para la estabilización del talud. Si el factor de seguridad no llega a 2, se añadirá una presión que ayude a conseguir ese límite. De esta forma se halla la presión de la malla que necesitamos.
- 5) Se elegirá el tipo de malla a ejecutar según la presión obtenida.

Este procedimiento es el más usual a la hora de dimensionar las mallas en suelos ya que se cubren las necesidades de estabilidad requeridas aunque el cálculo no es más que una aproximación a la teoría del deslizamiento en suelos y que la respuesta que ejerce la malla se estudia de una manera totalmente distinta.

Para la realización de estos cálculos utilizo los parámetros residuales, como el ángulo de fricción residual, ya que se asume que para cuando la malla comienza a sostener algo, ya se han producido unos desplazamientos importantes en los que se ha superado el ángulo de fricción pico. Además, debido a esta hipótesis, la cohesión no se tiene en consideración por la misma causa. Este método no es el habitualmente utilizado pero se tiene en cuenta lo que realmente sucede, la malla solo sostiene tierra que ya se encuentra en situación de rotura o movimiento, la malla no previene el movimiento como se supone en los métodos habitualmente utilizados para el dimensionamiento de estas.

Los datos del de ángulo de fricción residual que se utilizan les he escogido de un artículo de A.W. Skempton. (9)

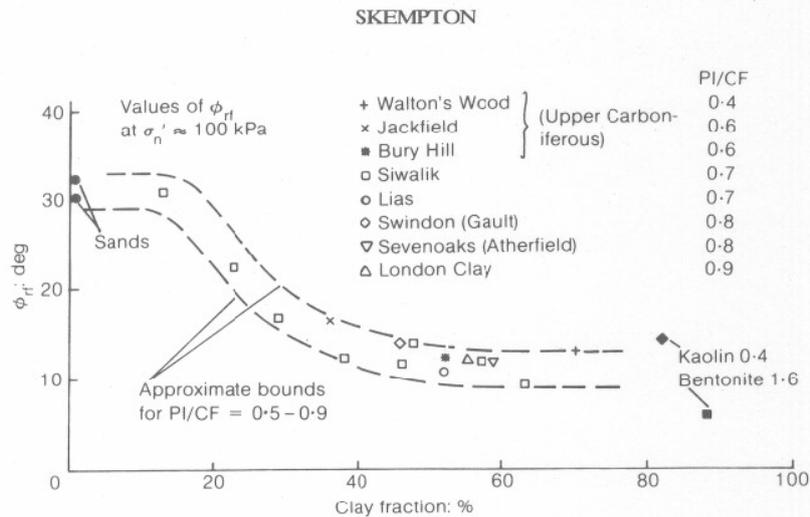


Tabla 24- Tabla de valores residuales del ángulo de rozamiento interno del terreno en función del porcentaje de arcilla (9)

6.1.4. CÁLCULO DE DESPRENDIMIENTOS EN TALUD VERTICAL

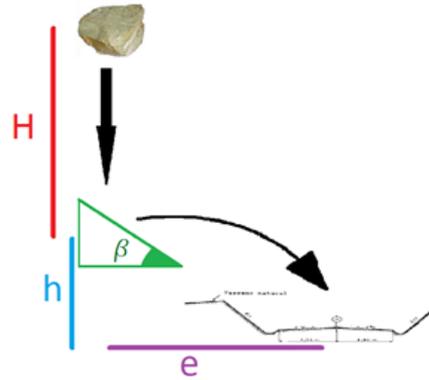
Los taludes verticales de roca son un caso de estudio independiente de todos los demás debido a que con el programa Colorado RockFall no se pueden estudiar estos desprendimientos ya que en taludes de mucha pendiente, no puede resolver las caídas.

La solución creada para poder dimensionar las pantallas en estos casos es una trayectoria ideal con un solo rebote, dando la opción de que el talud no sea perfectamente liso, y aplicando los coeficientes de restitución debidos al golpe, hallar la distancia a la que impacta la roca contra el suelo respecto al pie del talud.

Las velocidades y distancias se calculan con las ecuaciones del movimiento, tanto uniformemente acelerado como uniforme simple. Insertando estas condiciones de contorno y las ecuaciones en una hoja en el programa Microsoft Office Excel se pueden simular múltiples caídas para diferentes alturas y pendientes de rebote con lo que se pueden estudiar todos los puntos de talud vertical con la misma hoja. (Tabla 25)



DATOS	
H	200 m
h	10 m
β	60 °
K	1,04719755 rad
G	0,7
	9,8 m/s ²



ANTES DEL REBOTE		DESPUÉS DEL REBOTE		PUNTO FINAL	
T1	6,38876565 s	Vx'	54,2217668 m/s	Tf2	0,2679968 s
Vy'	62,6099034 m/s	Vy'	21,9134662 m/s	Vy	38,6270631 m/s
Vy'	31,3049517 m/s	Vy	-36,0006944 m/s	Vfinal	60,1348485 m/s
Vx'	54,2217668 m/s	VX	46,0885018 m/s	altura	12,3515709 m

Tabla 25 - Hoja de cálculo de la caída de rocas en talud vertical

Las variables que se introducen en la hoja de cálculo son:

- H: Distancia vertical que va desde donde la piedra se desprende hasta el lugar donde rebota.
- h: Distancia vertical entre el lugar donde la roca rebota y la posición final de la pantalla.
- B: ángulo que tiene la superficie donde la piedra rebota respecto a la horizontal.
- K: Coeficiente de restitución.
- G: Aceleración de la gravedad.

Y mediante las ecuaciones del movimiento podemos obtener:

- V_{final}: velocidad final con la que la roca impacta contra la pantalla
- Altura: distancia horizontal entre la pared de roca y el lugar donde impacta la roca contra la pantalla.

En el punto crítico 12 se vio que la solución mediante pantallas en galería no era suficiente para detener los desprendimientos y analizando el punto se observó que existía una pequeña zona llana bajo el talud vertical con lo que se plantea otro cálculo añadido al primero dentro de la misma hoja de Excel. De esta manera se podrá dimensionar una pantalla situada en la parte más alejada de la pared mediante el análisis de un segundo rebota contra una pendiente más suave. (Tabla 26)



Datos antes rebote	
$V_{x'}$	59,2273449 m/s
$V_{y'}$	10,407767 m/s
β	30 0,52359878
K	0,5

después del rebote		T1	1,06093445 s
V_x	59,2273449 m/s	D_v	33,0119348 m
V_y	5,20388348 m/s	$D_{horizontal}$	57,1783483 m
V_x	53,894327 m/s	H_{max}	1,38024482 m
V_y	-25,1069772 m/s	V_{final}	59,4555194 m/s

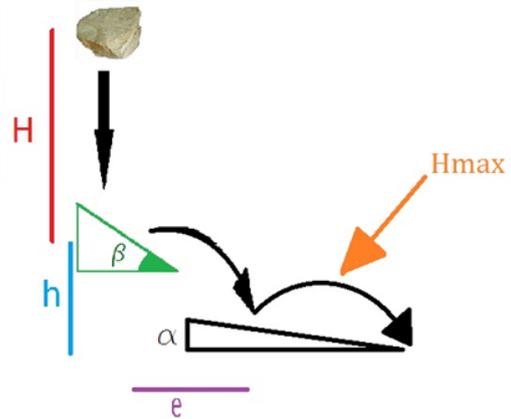


Tabla 26 - Hoja de cálculo para dimensionar la pantalla dinámica tras 3 rebotes

Las variables que se deben introducir son:

- V_x : componente horizontal de la velocidad extraída de la primera parte de la hoja de cálculo.
- V_y : componente vertical de la velocidad extraída de la primera parte de la hoja de cálculo.
- β : ángulo de la superficie donde se produce el segundo rebote.
- K: coeficiente de restitución.

6.2.PUNTOS

6.2.1. PUNTO 1

Los depósitos hallados en esta zona proceden del cuaternario. En el pleistoceno, las terrazas aluviales y en el holoceno los depósitos de laderas.

Estos suelos tienen un alto porcentaje de arenas pero también se pueden encontrar granos del tamaño de arcillas. Según observamos en el terreno, supongo que la cantidad de arcilla es inferior al 30% debido a que la mayoría de los tamaños de grano que se ven son como gravas y/o arenas.

Con este dato, según la tabla de Skempton en la que se relaciona la cantidad de arcilla con el ángulo de rozamiento interno del suelo el porcentaje de arcilla por el que está constituido, obtengo que $\phi_{residual} \geq 15^\circ$ para el peor de los casos.



Se toman 80° como máxima pendiente aunque algunas zonas tienen menos y el espesor de la capa que se puede deslizar será la variable que tomo para poder examinar el peor de los casos. El peso específico del terreno se toma de la tabla donde pone que la Arena compacta tiene 19kN/m³.

DATOS				
β	80		volumen	0,06945927
Espesor	0,4			
L	1			
Gamma y cohesión	19 kN/m ³		Peso	1,31972615
φ	15			
N	0,22916804		F	2,00582424
T	1,29967654			
Presión	9,5			

Tabla 27 - Cálculo del punto 1

La presión que nos asegura la retención del terreno es de 9,5 kN/m³, que supondría la utilización de redes de cables además de la malla. Teniendo en cuenta que en este punto hay cierto espacio de cuneta, la opción elegida será la colocación de malla colgada con lo que ahorraremos en la obra, aunque se deban realizar labores de mantenimiento cada cierto tiempo, tampoco es un coste elevado ya que el volumen que puede llegar a caer tardaría el colmatar la cuneta o dejarla inoperativa.

Tratamiento	Protección	Función	Capacidad de carga	Soporte kN/m ²	Bulón
IBERO MALLA colgada	Pasiva	Guiar desprendimientos	Nula	0 - 0,5	-
IBERO MALLA adosada	Activa	Retener desp. peq. tamaño (∅ 10-20 mm)	Limitada	0,5 - 1,5	16 - 20 mm
IBERO MALLA reforzada	Activa	Retener desp. tamaño medio (∅ 30-50 mm)	Muy baja	1,5 - 3	20 - 25 mm

Imagen 42 - tabla de valores aptos para la colocación de mallas de triple torsión (10)

La malla elegida es de protección pasiva con lo que no evita que se produzcan movimientos pero de esta manera se puede utilizar para conducir los posibles desprendimientos por el



mismo talud sin que los rebotes que se producen en la caída puedan ser un riesgo para los vehículos que circulan por la vía.

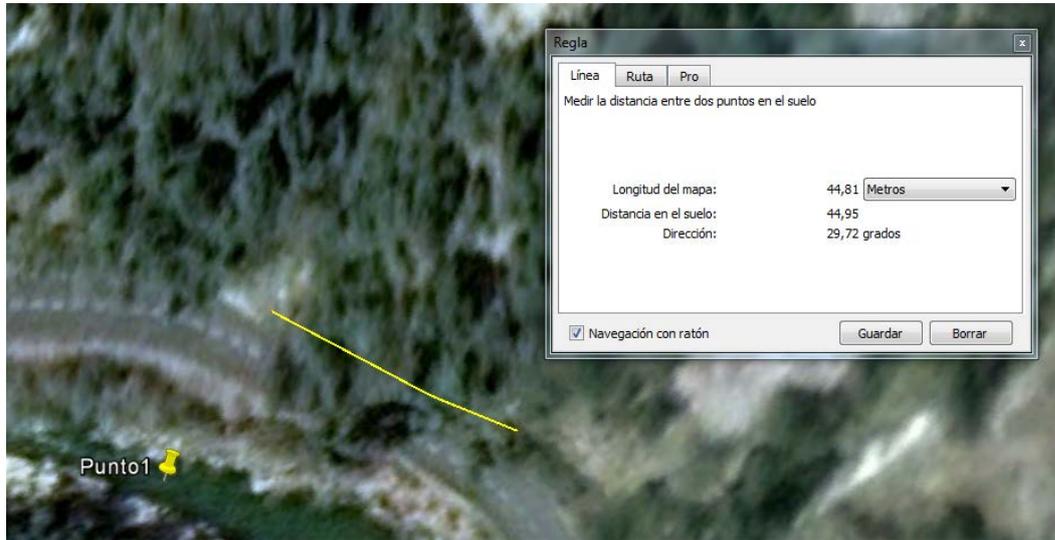


imagen 43 - Medida mediante Google Earth de la distancia longitudinal del tramo crítico del punto 1

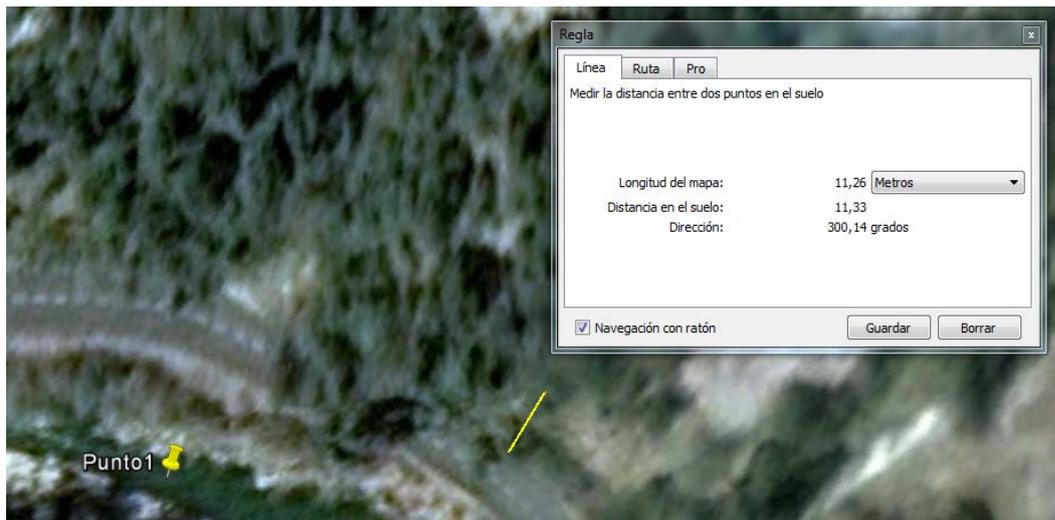


imagen 44- Medida mediante Google Earth de la anchura del tramo crítico en el punto 1

A la vista de los resultados, las dimensiones serán de:

- Longitud: 45 metros
- Anchura: 12 metros

6.2.2. PUNTO 2

Para el cálculo de este punto se utiliza el programa MACro con el que introduciendo los parámetros que se observan del terreno, las propiedades del acero por el que está compuesta



la red de cables y la colocación de la misma se puede dimensionar de forma segura la protección. (imagen 45)

Nos encontramos con un talud en roca con apariencia inestable y con las siguientes condiciones geométricas:

- Inclinación: se intuye a por la inspección visual que la pendiente es de 75° .
- Espesor inestable: supongo que el espesor es de 1 metro.
- Factor de seguridad: 1,5

Las propiedades geotécnicas son:

- Peso específico: utilizaré siempre un peso de 28 kN/m^3 como el peso de la roca caliza para dimensionar todas las medidas de protección, de esta forma me encuentro en el lado de la seguridad al elegir un peso alto.
- Alfa: la inclinación respecto a la horizontal de la grieta más inestables es de 40°
- JRC: 0,1
- JCS: 100

Los datos insertados para el correcto dimensionamiento de la red de cables son:

- Distancia entre bulones: en vertical se estima óptimo 2,5 metros y en horizontal 3 metros.
- Propiedades del bulón:
 - El ángulo de penetración del bulón desde la horizontal es de 10° .
 - El diámetro del bulón es de 28mm.
 - El límite elástico del acero es de 500 N/mm^2 .
 - El factor de seguridad es de 1,6.
- La adhesión entre el hormigón utilizado para la colocación de los bulones y la roca es de 1,7 MPa.
- El factor de seguridad para el cálculo de la adhesión es de 2.

En el correspondiente a la malla elegida para su instalación se supone una malla del tipo Steel Grid M0 con un factor de seguridad de 1,5. Aunque se instalará por mayor seguridad una red de cables de 300x300mm.



"Estudio informativo para la determinación de medidas de protección contra la caída de rocas mediante sistemas flexibles en puntos críticos del Desfiladero de la Hermida"

TRABAJO FINAL DE GRADO
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA, 2015
JAVIER SÁNCHEZ BÁSCONES

Con todos estos datos, el programa establece que los factores de seguridad del bulón y de la malla superan 1 y, por lo tanto, se asegura su estabilidad (no se requiere un factor más alto porque anteriormente se establecen otros factores que afectan al cálculo de este último).

The screenshot shows the MACRO software interface with the following sections:

- ROCK FACE GEOMETRY DATA:** Beta = 75 deg, Model Fs = 1.5, S = 1.0 m.
- GEOTECHNICAL MODEL:** Weight density = 28.0 KN/m³, Seismic coeff. = 0.00, Block Fs = 1.5, Most dangerous joint: Alfa = 40.0 deg, JRC = 0.1, JCS = 100 MPa.
- PROJECT INPUT DATA:** Anchor bars Pattern: Distance H = 3.0 m, Distance V = 2.5 m; Grouting-rock adhesion: Tau lim = 1.7 MPa, Fs Tau lim = 2.0, Fs F ext = 1.00; Anchor bar features: Delta = 10 deg, Diameter = 28 mm, Yield = 500 N/mm², Steel Fs = 1.6; Mesh features: Net type = Steel grid M0, Fs net = 1.5.
- OUTPUT:** Nails: Maximum rock volume per nail = 7.5 m³, Maximum weight per nail = 210 kN, Resistance due to 1 nail = 100.6 kN, Fs nail = ultimate limit state/load combinations = 1; Mesh: Maximum volume controlled by the mesh = 1.79 m³, Tension of the mesh = 29.12 kN, Expected net deformation = 0.45 m, Fs net = ultimate limit state/load combinations = 1.83.
- Warnings:** Nail condition satisfied, Net condition satisfied, The net resist and doesn't deform it self too much.
- NAILS DESIGN:** A diagram showing a square grid with dimensions 2.5 m (vertical) and 3.0 m (horizontal).
- INSTABILITY MODEL:** A diagram showing a slope with a failure surface. The failure surface is a straight line labeled DELTA, and the failure plane is a dashed line labeled ALFA. The angle of the failure surface with the horizontal is labeled BETA.

imagen 45- Interfaz de MACRO donde se obtienen los datos del punto 2

The screenshot shows a Google Earth interface with a measurement tool window titled "Regla". The window displays the following information:

- Linea: Ruta Pro
- Medir la distancia entre dos puntos en el suelo
- Longitud del mapa: 23,94 Metros
- Distancia en el suelo: 23,94
- Dirección: 80,65 grados
- Navigation: Navegación con ratón
- Buttons: Guardar, Borrar

The background shows an aerial view of a road with a yellow line indicating the measurement path and a yellow pin labeled "Punto2".

imagen 46- Medida mediante Google Earth de la distancia longitudinal del tramo crítico del punto 2

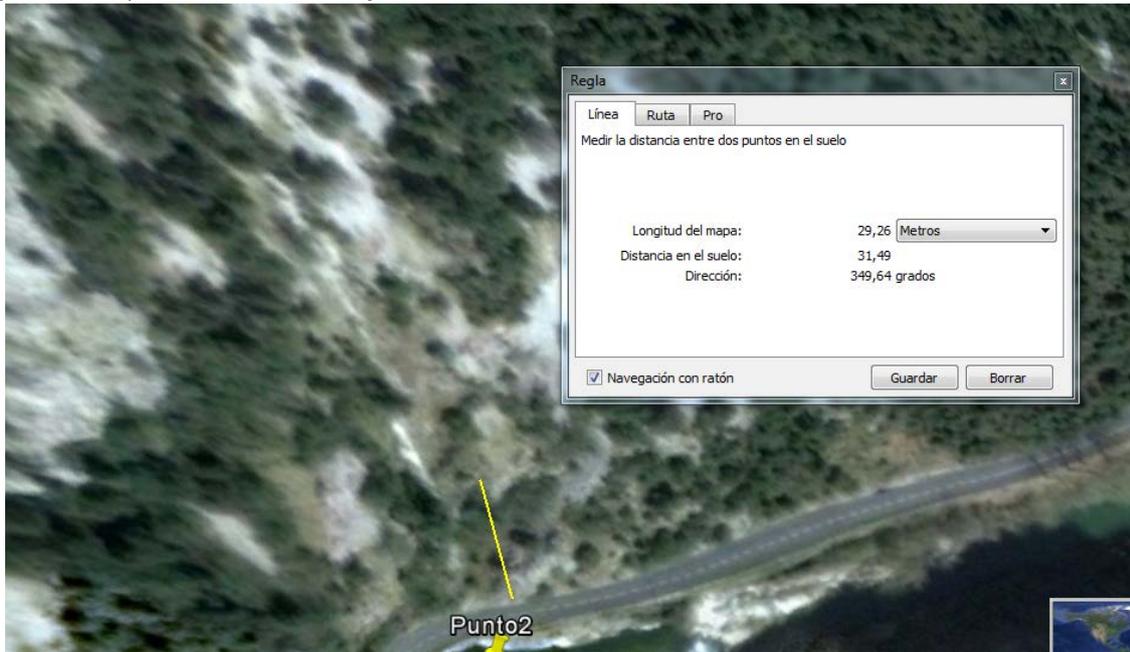


imagen 47- Medida mediante Google Earth de la anchura del tramo crítico en el punto 1

A la vista de los resultados, las dimensiones serán de:

- Longitud: 25 metros
- Anchura: 30 metros

6.2.3. PUNTO 3

La zona a estudiar en este caso como se comenta anteriormente se presentan graveras con tamaños de rocas aparentemente de 500 mm. Estas se encuentran en una zona baja cercana a la carretera, al pie de un talud con una pendiente constante y larga por la que han descendido hasta su posición final.

Por esta razón, el método a utilizar para dimensionar las medidas de protección que se deben colocar en este punto se realiza con el programa Colorado Rockfall que calcula la caída de las rocas tipo por la pendiente, facilitando una altura y una velocidad en cualquier lugar que se quiera saber.

La pendiente de la ladera se obtiene de mediante la aplicación de Google Earth para hallar las distancias y las cotas de los puntos.

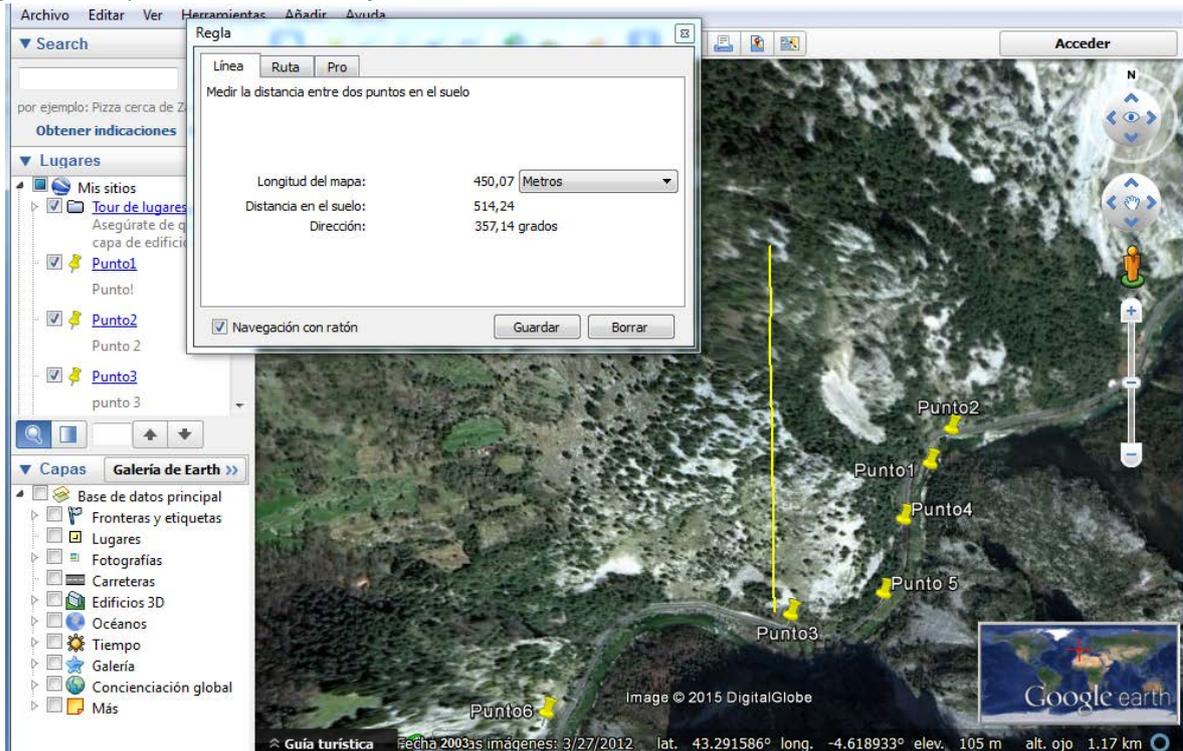


imagen 48- Cálculo de la distancia de descenso de las rocas mediante el programa Google Earth

Con la Regla del programa obtengo que la distancia entre el la base de la ladera y el punto más alto (o más alejado) desde el que puede descender un la roca en un desprendimiento es de 450 metros sobre el mapa. (imagen 48)

Para saber la cota de ambos puntos, en la parte inferior de la imagen se puede observar las coordenadas y la altitud de los puntos sobre los que se sitúa el puntero. En este caso la altitud del punto más bajo es 78 metros y la altitud desde donde es probable que se desprenda la roca más aleja es de 330 metros. (imagen 49)

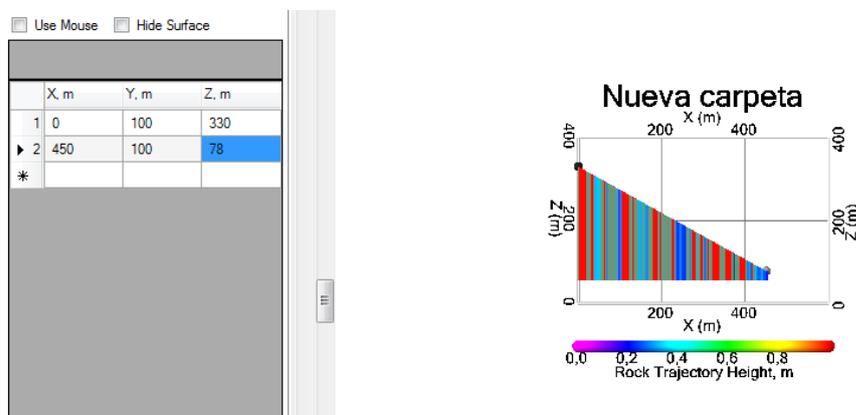


Imagen 49- Pestaña de introducción de datos del perfil de la ladera de programa CRSP



Con estos datos se puede modelar la ladera en el programa CRSP3D en la pestaña de Slope Geometry y seguidamente se pulsa el botón Build, de esta manera se puede observar la forma modelada en la pantalla. (imagen 50)

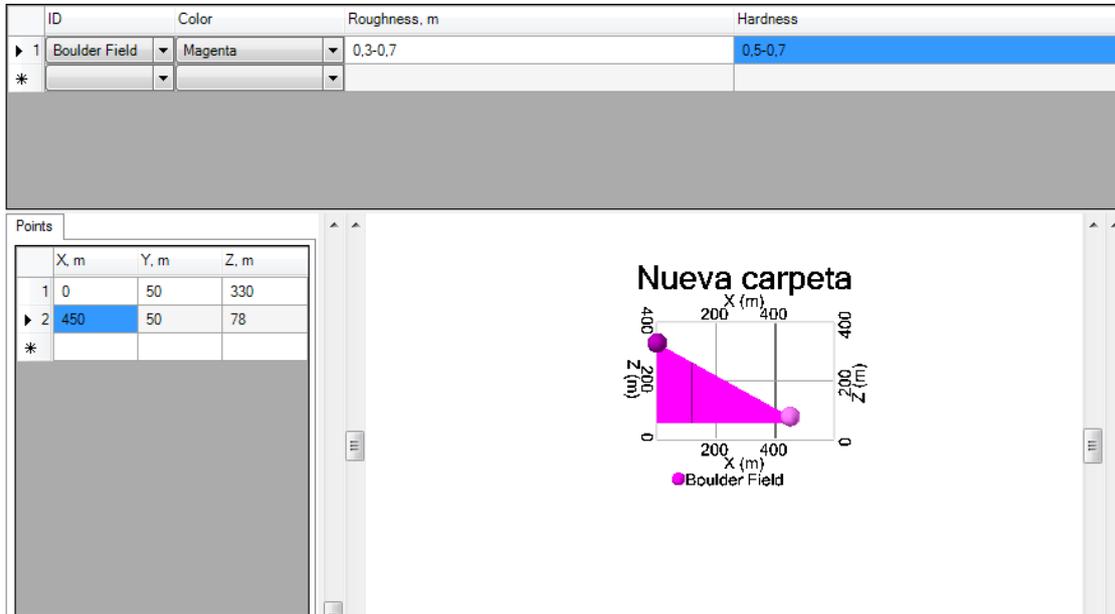


imagen 50- Pestaña de propiedades de la ladera

El siguiente paso es meter las propiedades mecánicas del terreno en la pestaña Slope Mechanical Properties. Estas propiedades son:

- Rugosidad (roughness): 0,3-0,7 esto significa que el programa calculará el descenso de las rocas con una dureza que irá variando entre esos dos valores. Estos valores son escogidos porque la pendiente es poco abrupta pero tampoco es completamente lisa.

- Dureza (hardness): 0,5-0,7 . Este factor es el que se asemeja al coeficiente de restitución en los rebotes. Se elige estos valores atendiendo a una clasificación que nos propone el manual del propio programa en el que podemos comparar el talud con unas imágenes de taludes tipo.

SLOPE MATERIAL TYPE	HARDNESS RANGE	MATERIAL DESCRIPTION
BOULDER TALUS	0.5-0.8	Talus covers > 40% of slope.



imagen 51- propiedades del talud de roca



"Estudio informativo para la determinación de medidas de protección contra la caída de rocas mediante sistemas flexibles en puntos críticos del Desfiladero de la Hermida"

TRABAJO FINAL DE GRADO
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA, 2015
JAVIER SÁNCHEZ BÁSCONES

Después de introducir estas propiedades, se requiere seleccionar que parte de la ladera tiene esas propiedades. Como en este caso la ladera es siempre igual, se coloca un punto en el extremo superior y otra en el extremo inferior, de tal manera que el programa interpreta que todo el terreno entre las dos es igual.

En este tercer paso, sitúo la sección de análisis a 50 metros del final de la pendiente, ya que en la situación real, es la posición en la que sugiero colocar la pantalla dinámica. El acceso desde la carretera es bastante fácil y justo por encima es donde se encuentran dichas graveras.

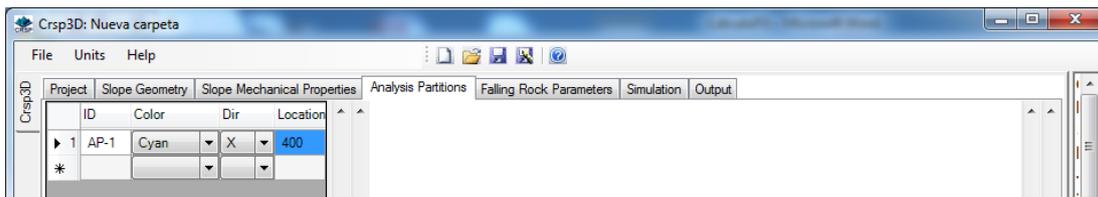


imagen 52 - Pestaña de sección de analisis

Las propiedades de la roca tipo, para el primer caso, que se puede desprender son:

- Peso específico: 28 kN/m³
- Número de rocas simuladas: 100
- Forma de la Roca: Esfera
- Diámetro de la Roca: 0,62 metros

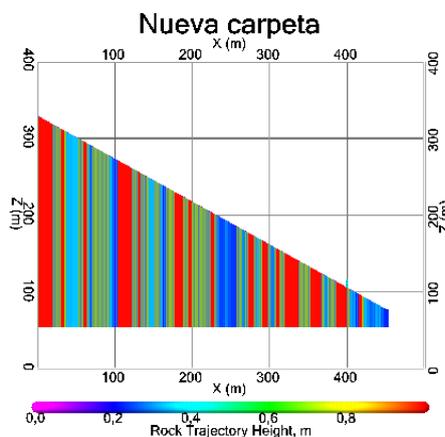
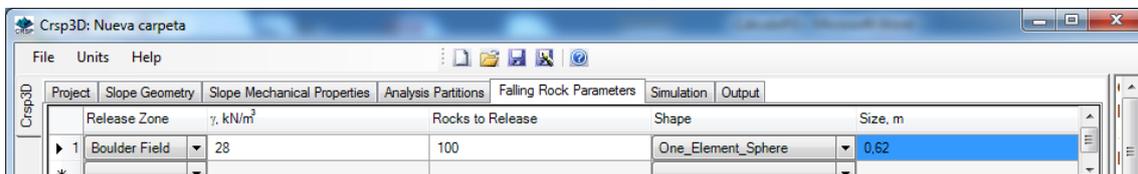


imagen 53- Pestaña de propiedades de las rocas



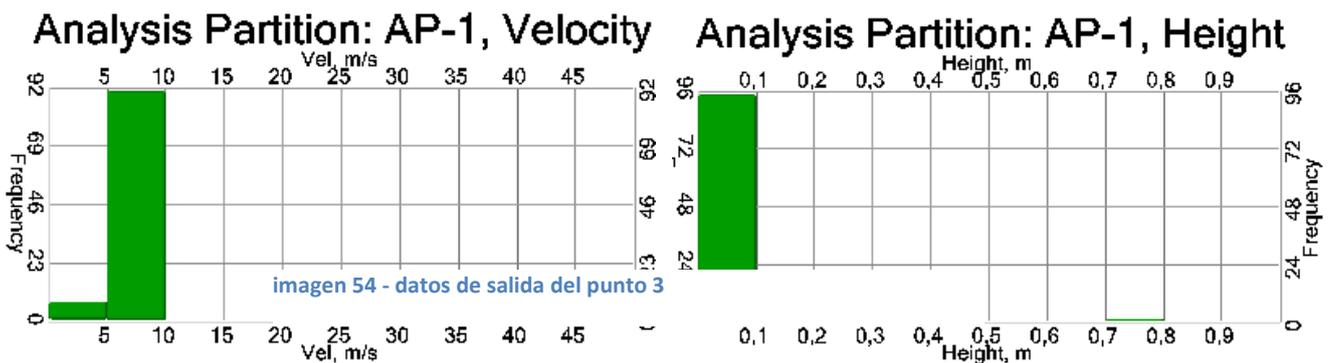
Los resultados se muestran en tablas donde se puede observar la velocidad y la altura de cada roca ensayada. Además se pueden ver gráficas que resumen en que rango se encuentran tanto las velocidades como las alturas (imagen 54). Utilizando estas últimas, sacamos los datos para dimensionar:

- Velocidad: 10 m/s
- Altura: 0,8 m (resultado) + 0,62m (diámetro) + 0,5 m (seguridad) = 1,92 metros.

La energía cinética se obtiene mediante la fórmula: $\frac{1}{2} \times masa \times velocidad^2$

- Volumen = $\frac{4 \times \pi \times r^3}{3} = 0,124 \text{ m}^3$
- Masa = Volumen x Densidad = 0,349 toneladas
- Energía = 17,4 Kjulios

Las propiedades de la roca tipo, para el segundo caso, que se puede desprender son:



- Peso específico: 28 kN/m³
- Número de rocas simuladas: 100
- Forma de la Roca: Esfera
- Diámetro de la Roca: 1 metro

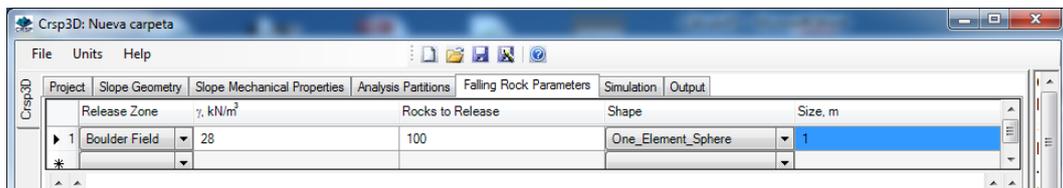
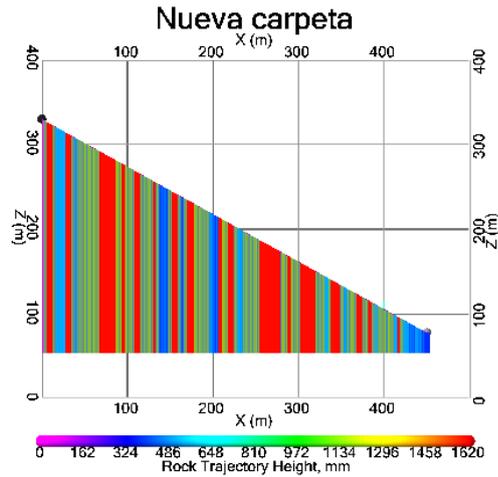


Imagen 55 - propiedades de las rocas que descienden en el segundo caso



Los resultados se muestran en tablas donde se puede observar la velocidad y la altura de cada roca ensayada. Además se pueden ver gráficas que resumen en que rango se encuentran tanto las velocidades como las alturas (imagen 56). Utilizando estas últimas, sacamos los datos para dimensionar:

- Velocidad: 15 m/s
- Altura: 0,6 m (resultado) + 1m (diámetro) + 0,5 m (seguridad) = 2,1 metros.

La energía cinética se obtiene mediante la fórmula: $\frac{1}{2} \times masa \times velocidad^2$

- Volumen = $\frac{4 \times \pi \times r^3}{3} = 0,523 \text{ m}^3$
- Masa = Volumen x Densidad = 1,466 toneladas
- Energía = 164 Kjulios

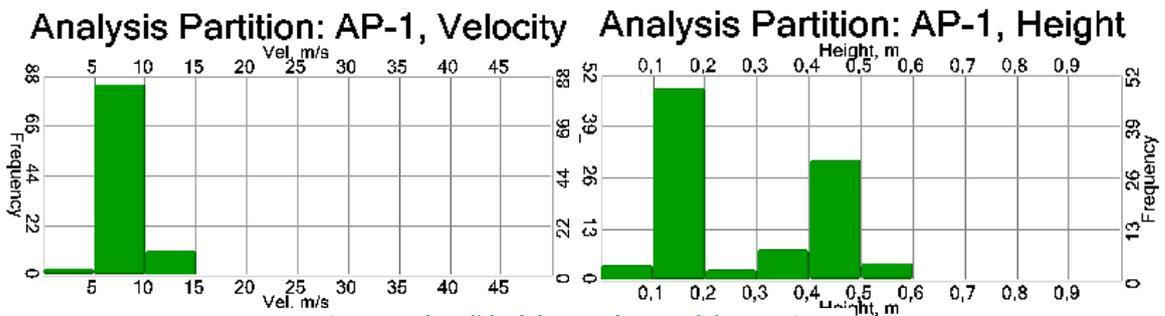


Imagen 56 - Datos de salida del segundo caso del punto 3



Las propiedades de la roca tipo, para el tercer caso, que se puede desprender son:

- Peso específico: 28 kN/m³
- Número de rocas simuladas: 100
- Forma de la Roca: Esfera
- Diámetro de la Roca: 0,31 metros

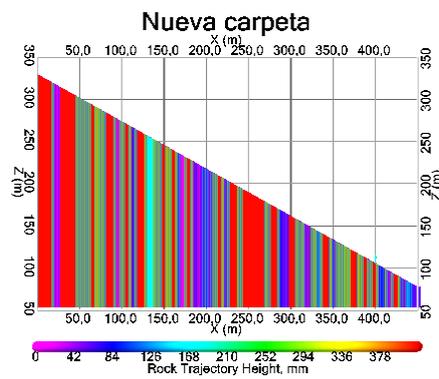
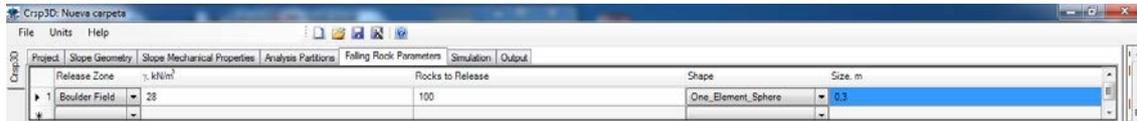


imagen 57- Pestaña de propiedades de las rocas

Los resultados se muestran en tablas donde se puede observar la velocidad y la altura de cada roca ensayada. Además se pueden ver gráficas que resumen en que rango se encuentran tanto las velocidades como las alturas. Utilizando estas últimas, sacamos los datos para dimensionar:

- Velocidad: 5 m/s
- Altura: 0 m (resultado) + 0,31m (diámetro) + 0,5 m (seguridad) = 0,81 metros.

La energía cinética se obtiene mediante la fórmula: $\frac{1}{2} \times masa \times velocidad^2$

- Volumen = $\frac{4 \times \pi \times r^3}{3} = 0,0156 \text{ m}^3$
- Masa = Volumen x Densidad = 0,0436 toneladas
- Energía = 0,545 Kjulios

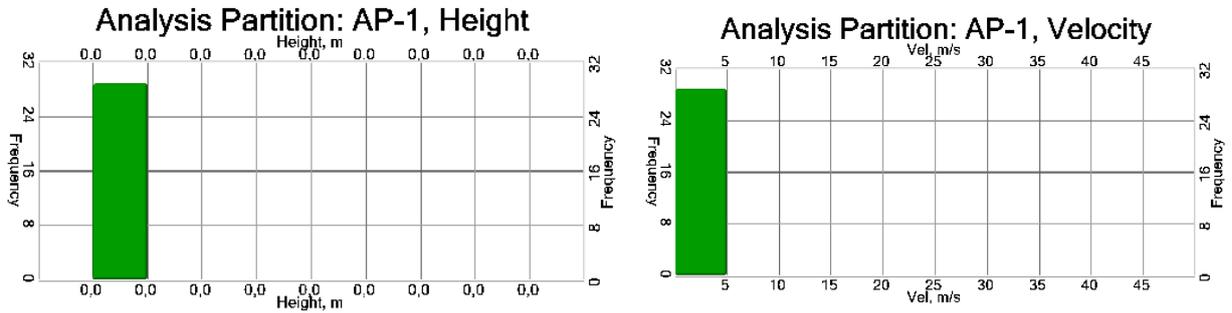


imagen 58 - datos de salida del tercer caso del punto 3

Las propiedades de la roca tipo, para el cuarto caso, que se puede desprender son:

- Peso específico: 28 kN/m³
- Número de rocas simuladas: 100
- Forma de la Roca: Esfera
- Diámetro de la Roca: 0,31 metros

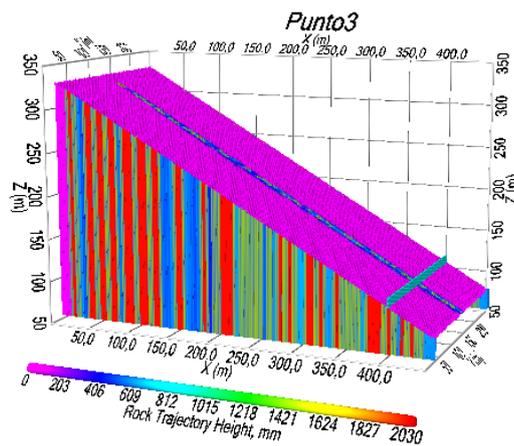
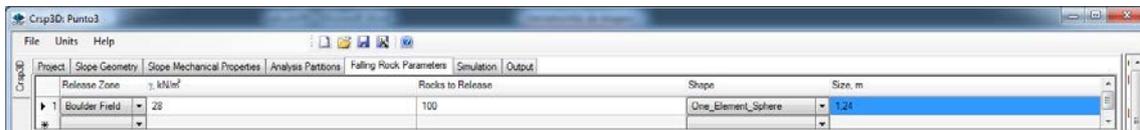


imagen 59- Pestaña de propiedades de las rocas del cuarto caso

Los resultados se muestran en tablas donde se puede observar la velocidad y la altura de cada roca ensayada. Además se pueden ver gráficas que resumen en que rango se encuentran tanto



"Estudio informativo para la determinación de medidas de protección contra la caída de rocas mediante sistemas flexibles en puntos críticos del Desfiladero de la Hermida"

TRABAJO FINAL DE GRADO
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA, 2015
JAVIER SÁNCHEZ BÁSCONES

las velocidades como las alturas (imagen 60). Utilizando estas últimas, sacamos los datos para dimensionar:

- Velocidad: 15 m/s
- Altura: 0,5 m (resultado) + 1,24m (diámetro) + 0,5 m (seguridad) = 2,24 metros.

La energía cinética se obtiene mediante la fórmula: $\frac{1}{2} \times masa \times velocidad^2$

- Volumen = $\frac{4 \times \pi \times r^3}{3} = 1 \text{ m}^3$
- Masa = Volumen x Densidad = 2,8 toneladas
- Energía = 315 Kjulios

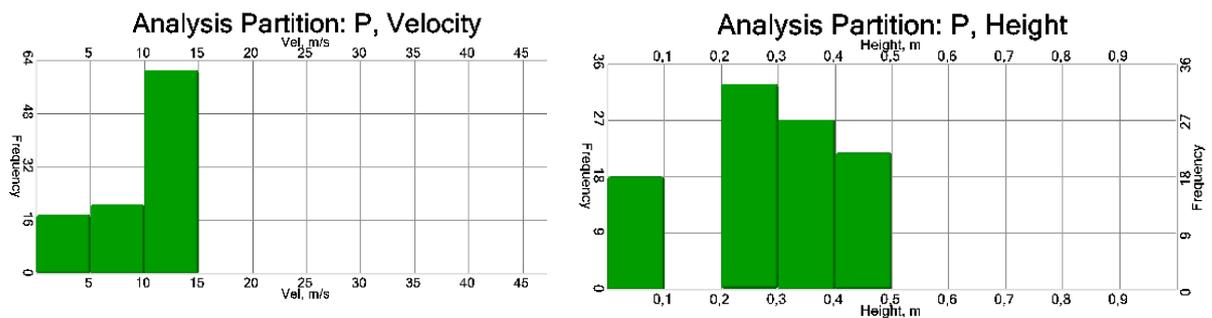


imagen 60 - Datos de salida del cuarto caso del punto 3

A la vista de los resultados, la opción elegida es una pantalla dinámica elástica de baja energía ($\geq 315 \text{ kJ}$) que tenga una altura mayor de 2,24 metros. En ambos casos, la peor situación se da con la roca de mayor volumen, por su gran velocidad y mayor masa que hacen que su energía también sea la más grande. En lo referente a la altura también se puede destacar que para rocas que tienen un volumen casi 8 veces inferior, la altura es muy parecida. La longitud sobre el terreno de las pantallas dinámicas será igual a 45 metros, con lo que se asegura que las rocas no llegan a la calzada. (imagen 61)

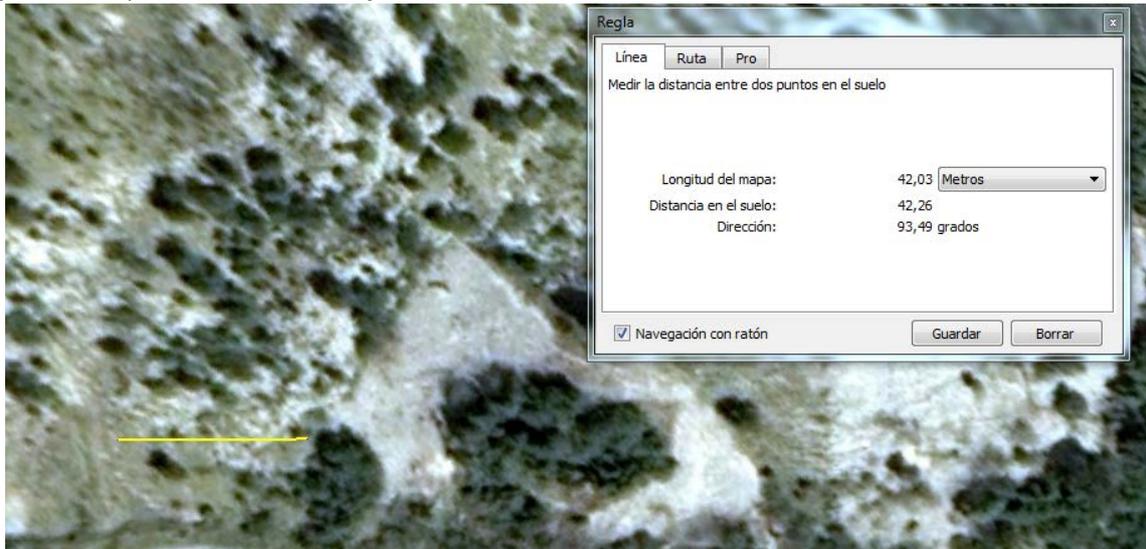


imagen 61 - Medida de la longitud sobre la que se va a colocar la pantalla dinámica mediante Google Earth

6.2.4. PUNTO 4

En este punto, la inestabilidad viene producida por el posible deslizamiento del suelo o el movimiento de pequeñas piedras sobre el mismo terreno, con lo que se estudia la colocación de mallas o redes de cables que puedan evitar cualquier peligro producido por esos movimientos.

El terreno que se encuentra se encuentra con cierta vegetación y siendo depósitos de aluviales y terrazas fluviales con cierto porcentaje de arcillas, por eso es necesario la utilización de la tabla de Skempton para obtener la ϕ_{residual} del suelo.

Sobre el terreno, con la inspección visual realizada se estima que el porcentaje de arcilla del terreno puede ser cercano al 40% lo que implica que la $\phi_{\text{residual}} \geq 10^{\circ}$. Como en cálculos anteriores se estima que el valor de la cohesión es nulo debido a que para estos movimientos ya se sobrepasó el nivel de pico de los parámetros de resistencia.

El espesor no es muy grande porque la matriz de roca madre se puede observar en algunos puntos del talud y la inclinación del mismo es de 70%. El peso específico del terreno es el mismo que he utilizado para el punto 1, $\gamma=19\text{kN/m}^3$.



DATOS					
β	70		volumen	0,06840403	
Espesor	0,2				
L	1				
Gamma y cohesión	19 kN/m ³		Peso	1,29967654	
ϕ	10				
N	0,44451556		F	2,08545419	
T	1,22129646				
Presión	14				

Tabla 28 - Cálculo del punto 4

A la vista de los resultados, será necesaria la colocación de red de malla de capacidad media.
(Tabla 29)

CAPACIDADES DE CARGA

SISTEMA	CAPACIDAD	SOPORTE (kN/m ²)
IBERORED	MEDIA	9,20 - 16,13
	MEDIA - ALTA	16,16 - 24,54
	ALTA	25,15 - 58,01

Tabla 29 - Capacidad de la pantalla en función del valor de resistencia del soporte

Tipo de red (uz: en mm)	Capacidad de carga para esfuerzo concentrado (kN/m)		Capacidad de carga para esfuerzo distribuido (kN/m)		Soporte total para carga distribuida (kN) F _{uz} =1,67	
	Carga rotura (kN)	Carga trabajo (kN) F _{uz} =1,67	Carga rotura (kN)	Carga trabajo (kN) F _{uz} =1,67	Pavos: 3 x 3,0 mts	Pavos: 4 x 4 mts
300 x 300	95,33	57,08	186,90	111,92	145	194
250 x 250	114,40	68,50	209,00	125,15	191	251
200 x 200	136,00	81,44	290,70	174,07	220	309
150 x 150	-	-	-	-	345	476

Tabla 30- Tipo de red en función de la carga por soporte (11)



Ya que la carga es de 14 KN/m^2 , se pueden poner redes de $300 \times 300 \text{ mm}$ en paños de 3×3 metros ya que la carga que resisten por m^2 es de $145/(3 \times 3) = 16,11 \text{ KN/m}^2$ (con un factor de seguridad 1,67. (Tabla 30)

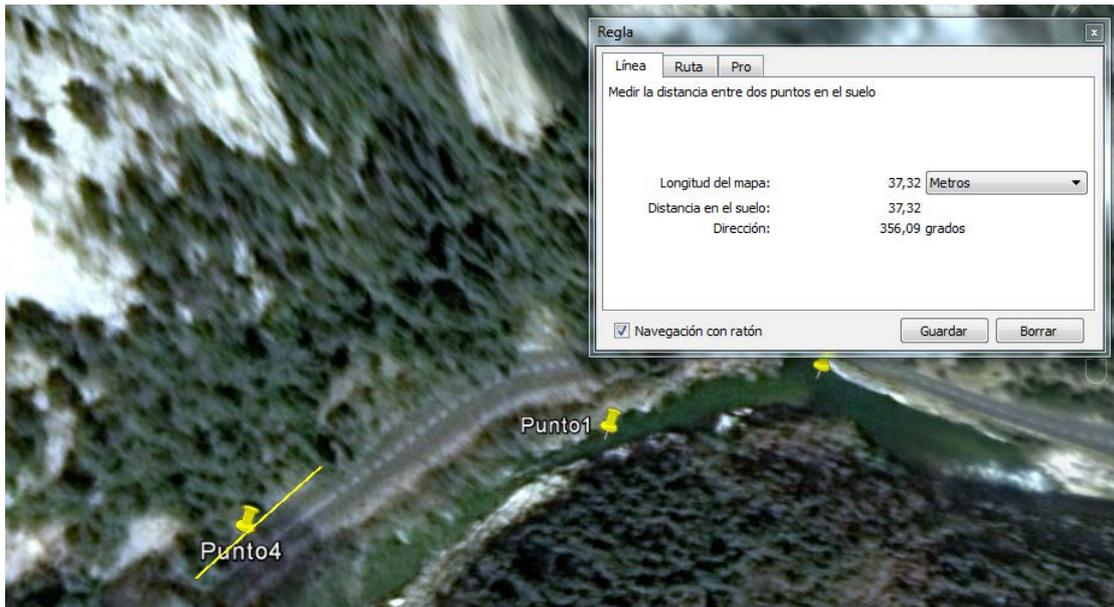


imagen 62- Medida de la distancia longitudinal crítica del punto 4 tomada mediante Google Earth



imagen 63- Medida de la anchura de la zona crítica del talud tomada mediante Google Earth



A la vista de los resultados (imagen 63), las dimensiones serán de:

- Longitud: 40 metros
- Anchura: 12 metros

6.2.5. PUNTO 5

En este punto el talud, aunque no tiene una altura elevada, tiene una inclinación cercana a los 90° . El peligro de desprendimientos se observa a plena vista con numerosas piedras de un diámetro alrededor de 100mm.

Se estudia la colocación de mallas o redes de cables. Las propiedades del terreno son:

$$\phi_{\text{residual}} = 10^\circ$$

$$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$$

El ángulo de rozamiento interno residual del suelo se obtienen con una suposición de la cantidad de arcilla que posee y la tabla de Skempton, como en los puntos anteriores y el peso específico también se utiliza el mismo. En este caso, en la inspección visual se observan un alto porcentaje de granos inferiores al tamaño de la arena, con lo que, mirando la tabla, para valores cercanos al 40% de arcilla, el terreno tiene un ángulo de resistencia interna residual igual a 10° .



DATOS				
β	89		volumen	0,01396193
Espesor	0,8			
L	1			
Gamma γ	19 kN/m ³		Peso	0,26527658
cohesión	0			
φ	10			
N	0,00462971		F	1,99745486
T	0,26523617			
Presión	3			

imagen 64 - Cálculo del punto 5

A la vista de estos resultados, la medida de protección a utilizar es una malla adosada que evita que las piedras caigan a la escasa cuneta que hay o por lo menos lo dificulta. La malla protege de forma activa y el tipo de grava que a partir del cual impide el paso es de 30-50mm con lo que puede funcionar perfectamente en este caso.

Tratamiento	Protección	Función	Capacidad de carga	Soporte kN/m ²	Bulón
IBEROMALLA colgada	Pasiva	Guiar desprendimientos	Nula	0 - 0,5	-
IBEROMALLA adosada	Activa	Retener desp. peq. tamaño (Ø 10-20 mm)	Limitada	0,5 - 1,5	16 - 20 mm
IBEROMALLA reforzada	Activa	Retener desp. tamaño medio (Ø 30-50 mm)	Muy baja	1,5 - 3	20 - 25 mm

imagen 65 - Tipo de protección en función de la aplicación que se necesite (10)

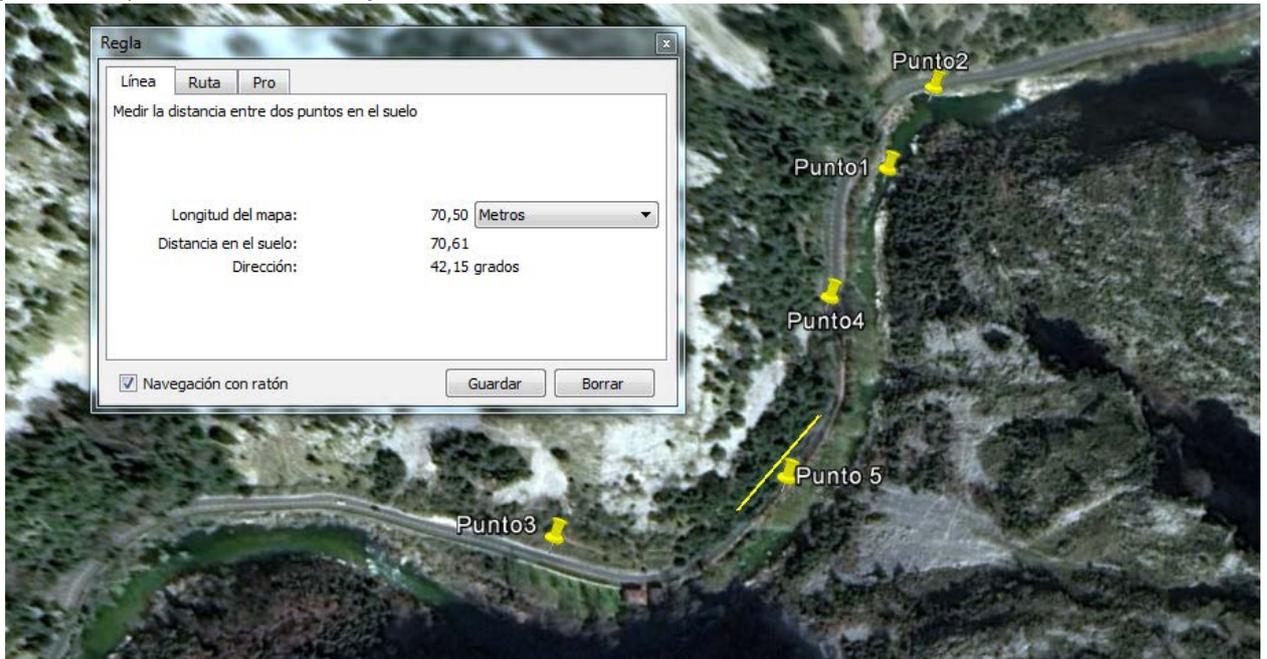


imagen 66 - Medida de la distancia longitudinal del punto 5 mediante Google Earth

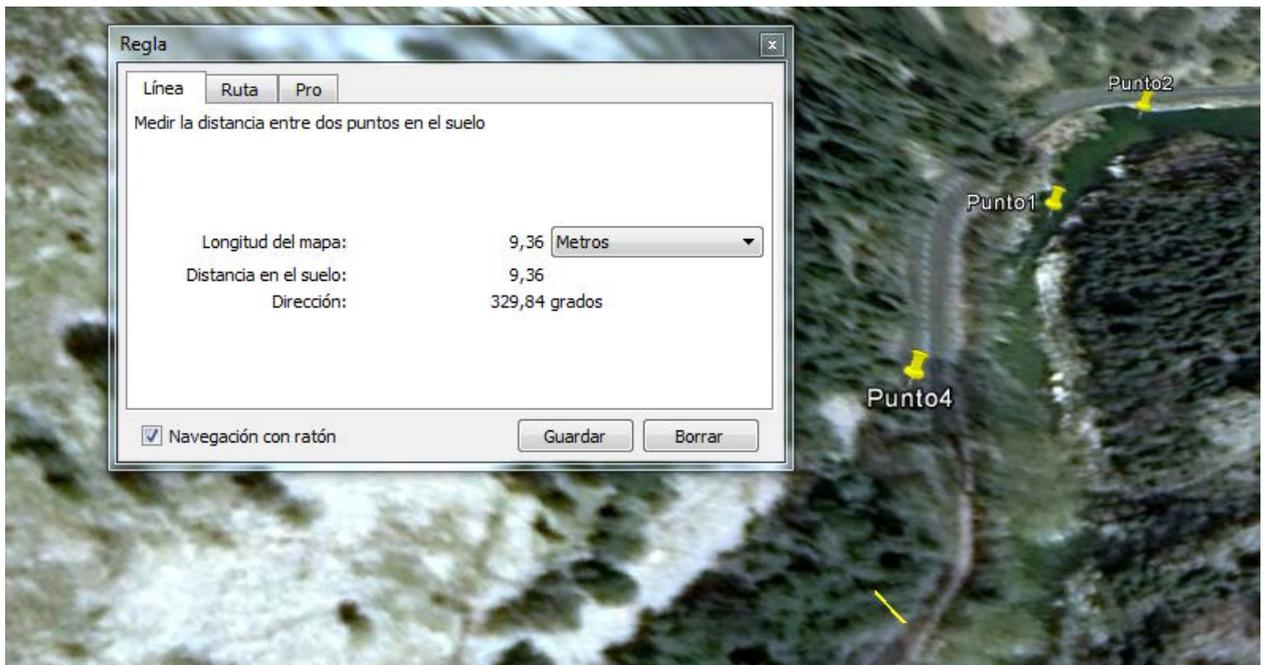


imagen 67- Medida de la anchura del punto 5 tomada mediante Google Earth

Las dimensiones del terreno son:

- Longitud: 72 metros
- Anchura: 10 metros



6.2.6. PUNTO 6

Como se comenta en los puntos críticos, este tiene una pendiente constante llena de bloques de caliza con unas dimensiones en torno a los 500mm de diámetro que se depositaron en sucesivas caídas desde las partes más altas de la montaña hasta prácticamente el pie del talud.

El estudio de las medidas de protección se realiza con el programa CRSP3D y las características geométricas del terreno se obtienen con la aplicación de Google Earth.

Así pues, las dimensiones son las siguientes:

- Altitud del punto más alto = 310 metros
- Altitud del punto más bajo = 71 metros
- Distancia en plano entre los dos puntos = 233 metros

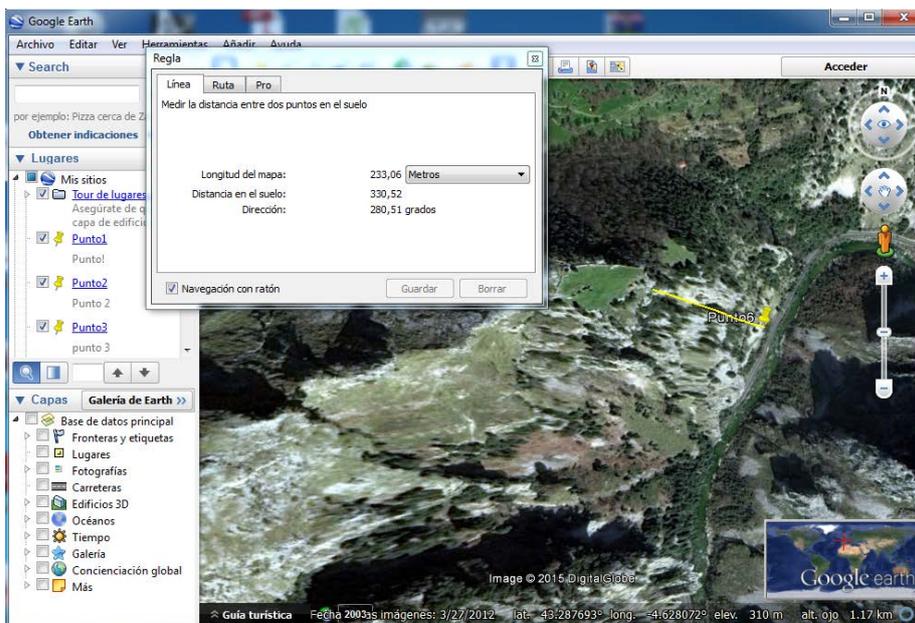


imagen 68- Distancia de descenso de las rocas del punto 6 tomada mediante Google Earth

Con estos datos se pudo modelar la ladera en el programa CRSP3D en la pestaña de Slope Geometry y seguidamente se pulsa el botón Build y sale una imagen 3D como la que se muestra a continuación (imagen 69).

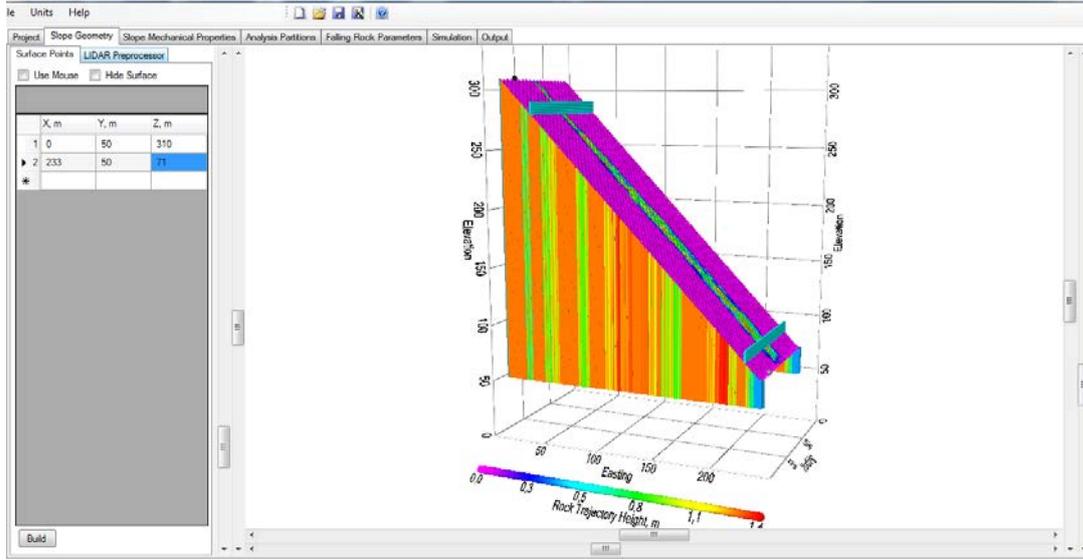


imagen 69 - Pestaña de propiedades geométricas del talud

El segundo paso es meter las propiedades mecánicas del terreno en la pestaña Slope Mechanical Properties. Estas propiedades son:

- Rugosidad (roughness): 0,3-0,7 esto significa que el programa calculará el descenso de las rocas con una dureza que irá variando entre esos dos valores. Estos valores son escogidos porque la pendiente es poco abrupta pero tampoco es completamente lisa.
- Dureza (hardness): 0,5-0,7 . Este factor es el que se asemeja al coeficiente de restitución en los rebotes. Se elige estos valores atendiendo a una clasificación que nos propone el manual del propio programa en el que podemos comparar el talud con unas imágenes de taludes tipo.

También hay que seleccionar los puntos entre los cuales estas propiedades son constantes.

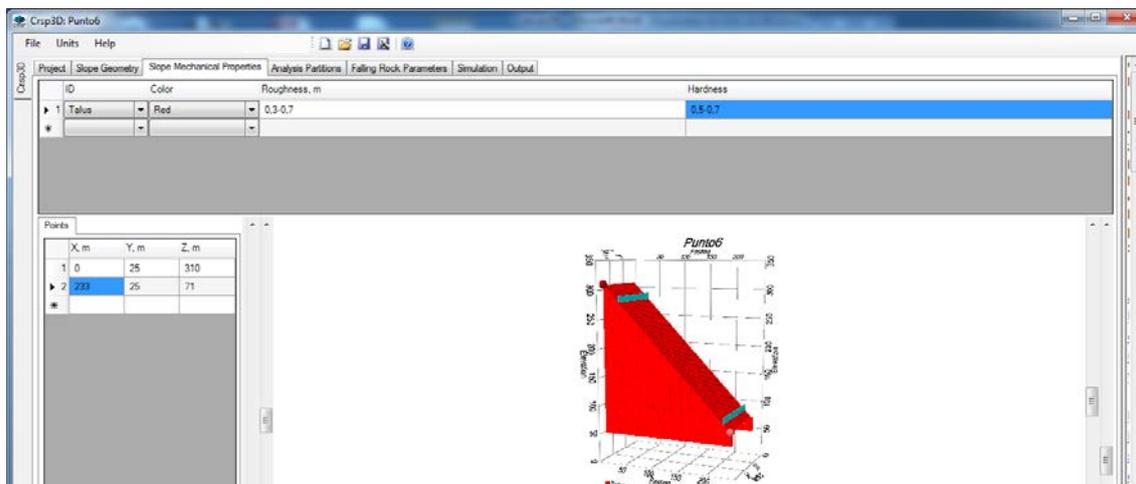


imagen 70 - Pestaña de propiedades mecánicas del talud



"Estudio informativo para la determinación de medidas de protección contra la caída de rocas mediante sistemas flexibles en puntos críticos del Desfiladero de la Hermida"

TRABAJO FINAL DE GRADO
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA, 2015
JAVIER SÁNCHEZ BÁSCONES

En este caso se analizaron dos situaciones para comparar los valores pero los resultados que posteriormente se van a utilizar son los que se sacan de la pantalla que sitúa a 13 metros del pie del talud porque es el lugar donde finalmente se pretende situar la pantalla dinámica.

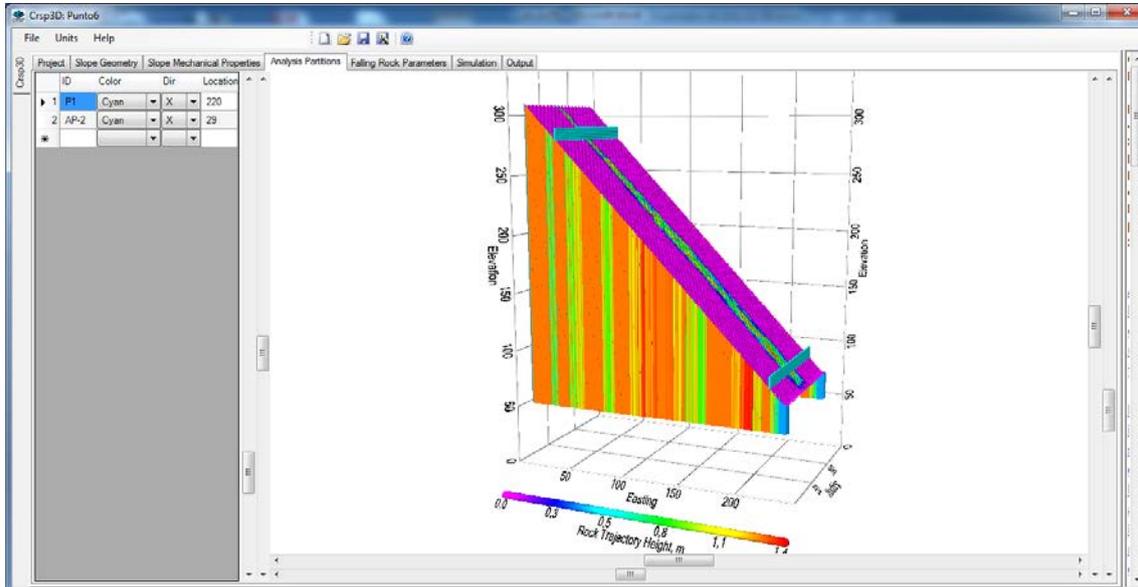


imagen 71 - Pestaña de sección de análisis del talud

Las propiedades de la roca tipo, para el primer caso, que se puede desprender son:

- Peso específico: 28 kN/m^3
- Número de rocas simuladas: 100
- Forma de la Roca: Esfera
- Diámetro de la Roca: 0,62 metros

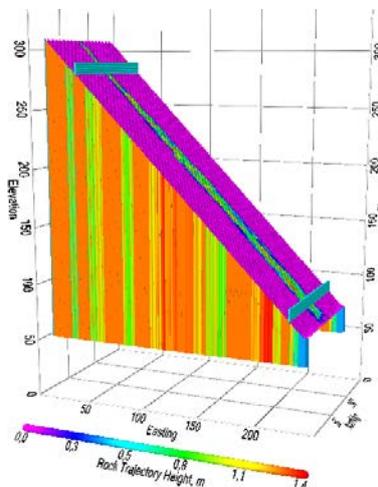


imagen 72- Pestaña de propiedades de las rocas



"Estudio informativo para la determinación de medidas de protección contra la caída de rocas mediante sistemas flexibles en puntos críticos del Desfiladero de la Hermida"

TRABAJO FINAL DE GRADO
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA, 2015
JAVIER SÁNCHEZ BÁSCONES

Los resultados se muestran en tablas donde se puede observar la velocidad y la altura de cada roca ensayada. Además se pueden ver gráficas que resumen en que rango se encuentran tanto las velocidades como las alturas. Utilizando estas últimas, sacamos los datos para dimensionar:

- Velocidad: 45 m/s
- Altura: 0,8 m (resultado) + 0,62m (diámetro) + 0,5 m (seguridad) = 1,92 metros.

La energía cinética se obtiene mediante la fórmula: $\frac{1}{2} \times masa \times velocidad^2$

- Volumen = $\frac{4 \times \pi \times r^3}{3} = 0,124 \text{ m}^3$
- Masa = Volumen x Densidad = 0,349 toneladas
- Energía = 354 Kjulios

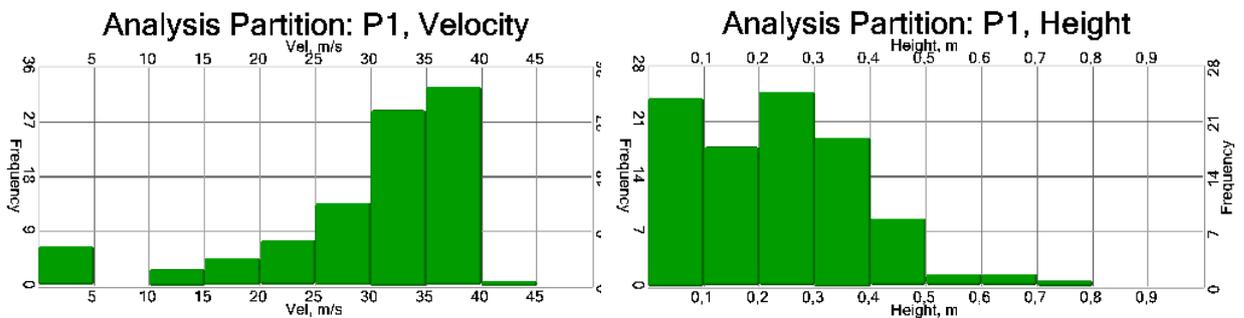


imagen 73 - Datos de salida del primer caso del punto 6

Las propiedades de la roca tipo, para el segundo caso, que se puede desprender son:

- Peso específico: 28 kN/m³
- Número de rocas simuladas: 100
- Forma de la Roca: Esfera
- Diámetro de la Roca: 1 metro



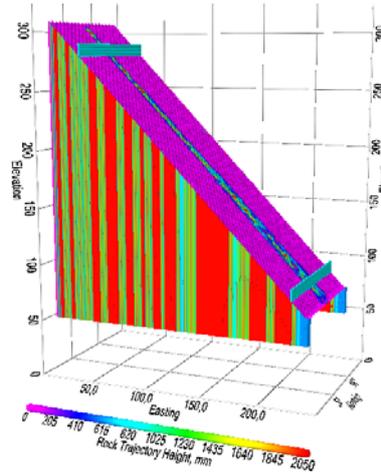


imagen 74- Pestaña de propiedades de las rocas

Los resultados se muestran en tablas donde se puede observar la velocidad y la altura de cada roca ensayada. Además se pueden ver gráficas que resumen en que rango se encuentran tanto las velocidades como las alturas. Utilizando estas últimas, sacamos los datos para dimensionar:

- Velocidad: 35 m/s
- Altura: 1,4 m (resultado) + 1 m (diámetro) + 0,5 m (seguridad) = 2,9 metros.

La energía cinética se obtiene mediante la fórmula: $\frac{1}{2} \times masa \times velocidad^2$

- Volumen = $\frac{4 \times \pi \times r^3}{3} = 0,523 \text{ m}^3$
- Masa = Volumen x Densidad = 1,466 toneladas
- Energía = 897,97 Kjulios

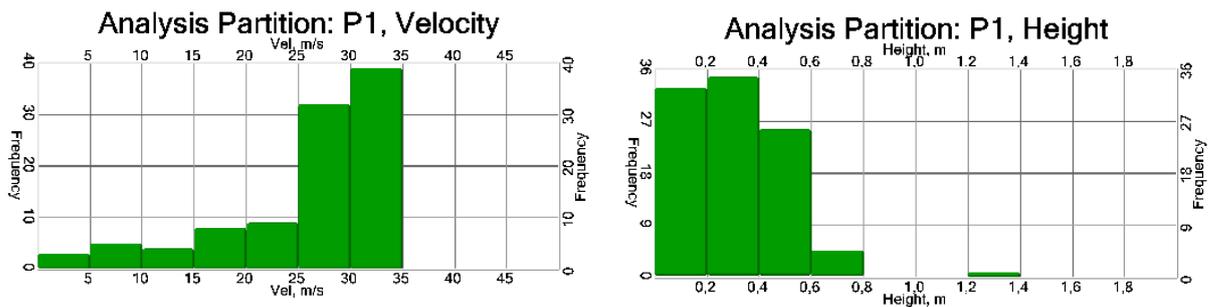


imagen 75 - datos de salida del segundo caso del punto 6

Las propiedades de la roca tipo, para el segundo caso, que se puede desprender son:

- Peso específico: 28 kN/m³
- Número de rocas simuladas: 100
- Forma de la Roca: Esfera



- Diámetro de la Roca: 0,3 metros

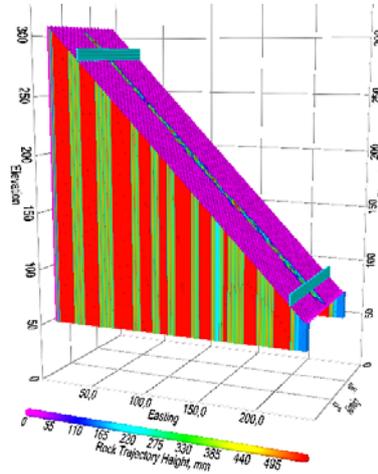
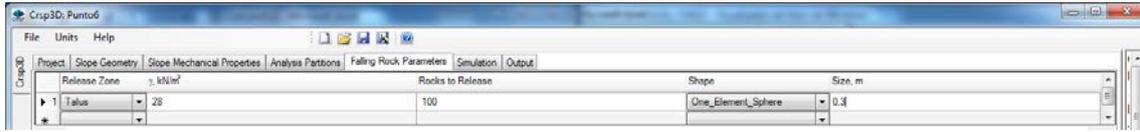


imagen 76- Pestaña de propiedades de las rocas

Los resultados se muestran en tablas donde se puede observar la velocidad y la altura de cada roca ensayada. Además se pueden ver gráficas que resumen en que rango se encuentran tanto las velocidades como las alturas. Utilizando estas últimas, sacamos los datos para dimensionar:

- Velocidad: 10 m/s
- Altura: 0,4 m (resultado) + 0,3m (diámetro) + 0,5 m (seguridad) = 1,2 metros.

La energía cinética se obtiene mediante la fórmula: $\frac{1}{2} \times masa \times velocidad^2$

- Volumen = $\frac{4 \times \pi \times r^3}{3} = 0,094 \text{ m}^3$
- Masa = Volumen x Densidad = 0,263 toneladas
- Energía = 13,19 Kjulios

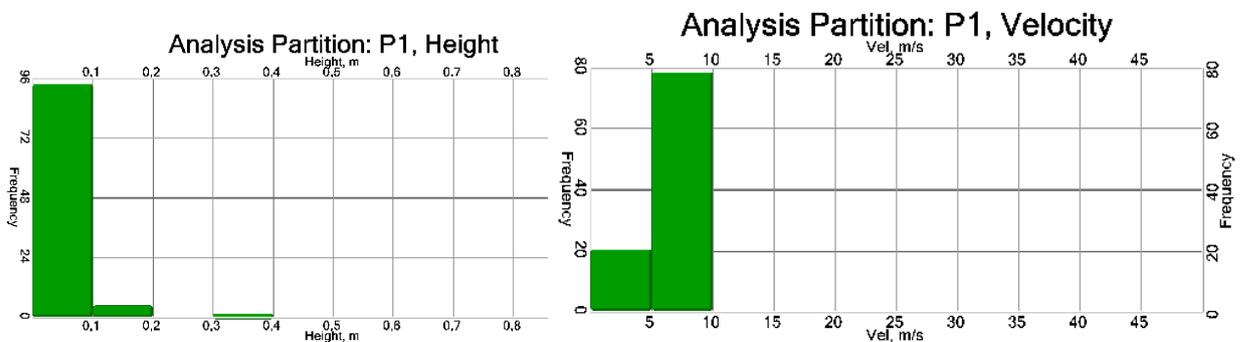


imagen 77- Datos de salida del tercer caso del punto 6



"Estudio informativo para la determinación de medidas de protección contra la caída de rocas mediante sistemas flexibles en puntos críticos del Desfiladero de la Hermida"

TRABAJO FINAL DE GRADO
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA, 2015
JAVIER SÁNCHEZ BÁSCONES

Las propiedades de la roca tipo, para el segundo caso, que se puede desprender son:

- Peso específico: 28 kN/m³
- Número de rocas simuladas: 100
- Forma de la Roca: Esfera
- Diámetro de la Roca: 1,24 metros

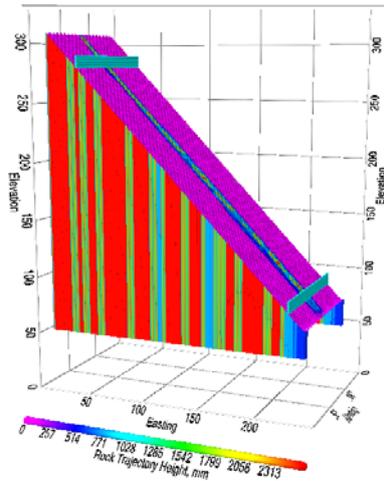
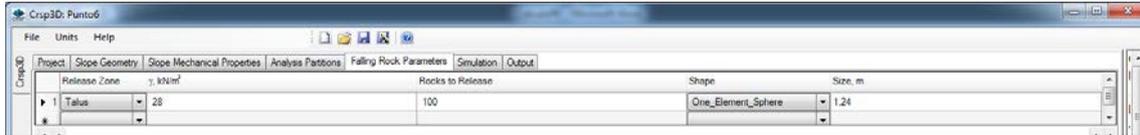


imagen 78- Pestaña de propiedades de las rocas

Los resultados se muestran en tablas donde se puede observar la velocidad y la altura de cada roca ensayada. Además se pueden ver gráficas que resumen en que rango se encuentran tanto las velocidades como las alturas. Utilizando estas últimas, sacamos los datos para dimensionar:

- Velocidad: 35 m/s
- Altura: 0,9 m (resultado) + 1,24m (diámetro) + 0,5 m (seguridad) = 2,64metros.

La energía cinética se obtiene mediante la fórmula: $\frac{1}{2} \times masa \times velocidad^2$

- Volumen = $\frac{4 \times \pi \times r^3}{3} = 1 \text{ m}^3$
- Masa = Volumen x Densidad = 2,8 toneladas
- Energía = 1715 Kjulio

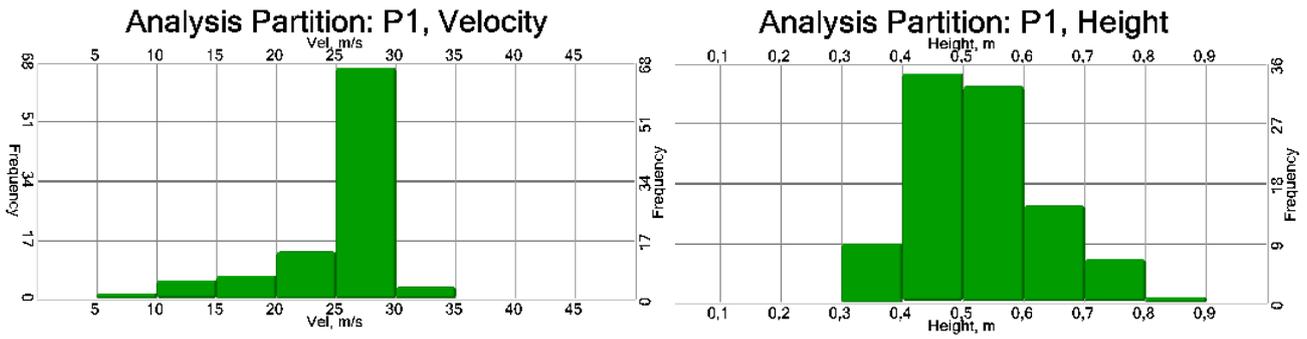


imagen 79 - Datos de salida del cuarto caso del punto 6

En este caso, la opción que da los valores más desfavorables es la última. Consigue mucha más energía, debido a su velocidad y a su masa, y la altura es muy elevada. Se considerará colocar pantallas dinámicas elasto-plásticas que aguanten una energía en el desprendimiento superior a los 1715 Kjulios y una altura mayor que 2,64 metros. La longitud de la pantalla será de 48 metros.

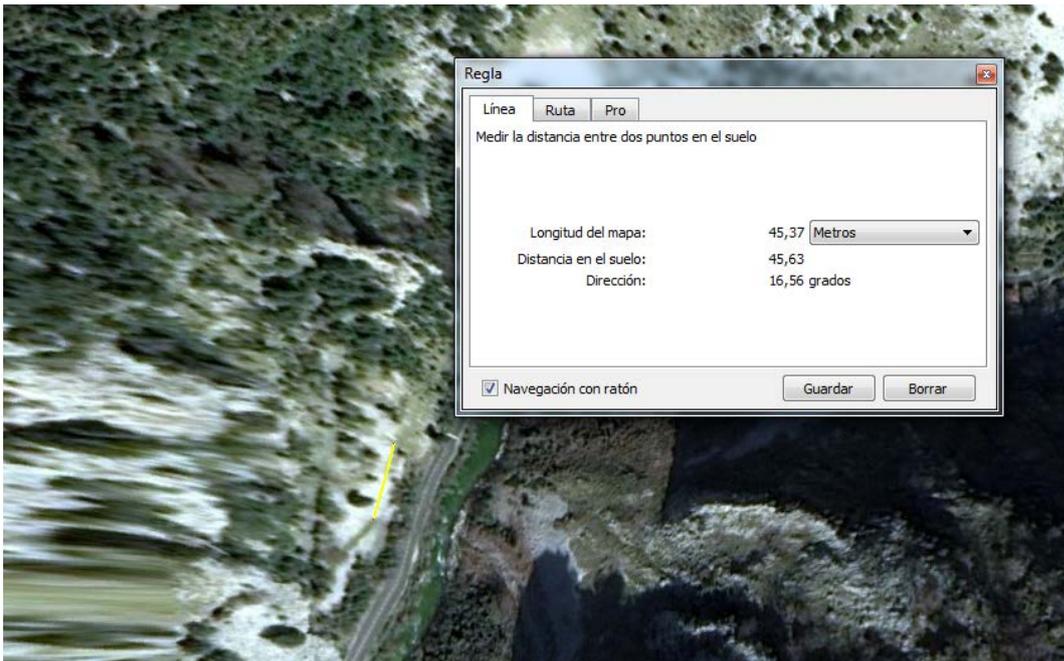


imagen 80 - Distancia longitudinal sobre la que se colocará la pantalla medida mediante Google Earth

6.2.7. PUNTO 7

Como se explica en el punto crítico 7 se estudia la colocación de pantallas dinámicas en galería de tal forma que, siendo el talud prácticamente vertical, los desprendimientos queden retenidos por las galerías antes de que puedan invadir la carretera.



Por lo tanto, el método de análisis de la caída de las rocas será mediante la hoja de excel preparada para calcular con movimientos uniformes las trayectorias de estas.

Los parámetros que se definen en este caso después de la inspección visual son:

- Altura antes del rebote (H): 40 metros
- Altura desde el rebote hasta el impacto con la carretera (h): 20 metros
- Ángulo de la cara donde rebota la roca (β): 85°
- Coeficiente de restitución de la pared de roca (K): 0,7
- Aceleración de la gravedad (G): $9,8 \text{ m/s}^2$

Se decide este coeficiente de restitución porque la roca lisa tiene la capacidad de reflejar mucha energía y con este valor, además, estamos más cerca del lado de la seguridad.

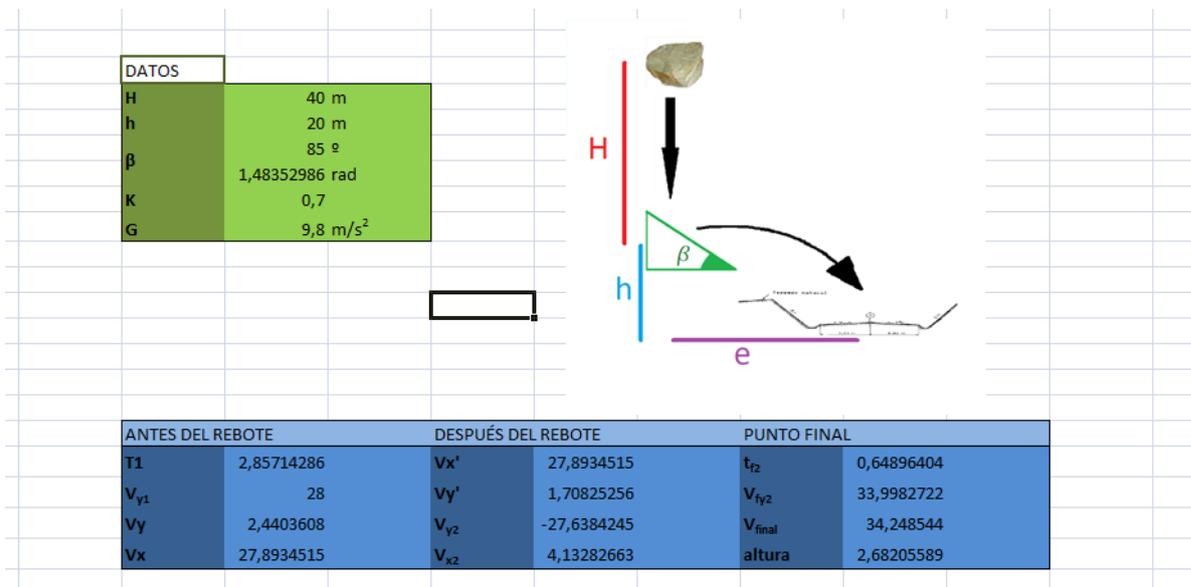


Tabla 31- Cálculo del primer caso del punto 7

En este caso se realizan dos estudios porque hay dos situaciones que se puede dar en función del ángulo y la inclinación del rebote.

Los parámetros que se definen el segundo caso son:

- Altura antes del rebote (H): 40 metros
- Altura desde el rebote hasta el impacto con la carretera (h): 2,5 metros
- Ángulo de la cara donde rebota la roca (β): 60°
- Coeficiente de restitución de la pared de roca (K): 0,7



- Aceleración de la gravedad (G): 9,8 m/s²

Se decide este coeficiente de restitución porque la roca lisa tiene la capacidad de reflejar mucha energía y con este valor, además, estamos más cerca del lado de la seguridad. El ángulo es de 60° ya que se observan grandes salientes en la misma pared que pueden hacer rebotar las rocas una distancia importante.

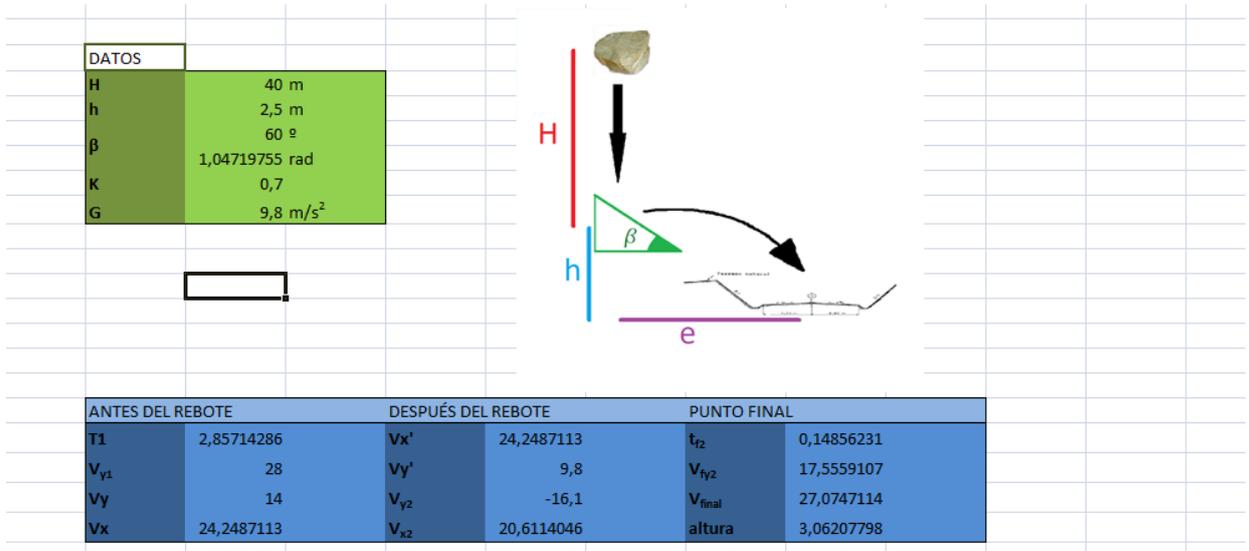


Tabla 32 - Cálculo del segundo caso del punto 7

A la vista de los resultados, los que interesan para el dimensionamientos de las pantallas dinámicas son:

- Altura (o distancia de separación desde la pared) a la que impacta la roca = 3,06 metros
- Velocidad de impacto = 27,074 m/s

Con estos datos podemos calcular:

- Energía de la pantalla: $\frac{1}{2} \times masa \times velocidad^2 =$
 $1/2 \times 2,8 \text{ toneladas} \times 27,074^2 \text{ m/s} = 1026,2 \text{ kJulios}$
- Altura de la pantalla dinámica = altura efectiva de la pantalla + banda de ancho no útil medida desde el plano vertical = 3,06 + 0,24 = 3,30 metros
- Longitud de la pantalla para instalar = Longitud de pantalla útil + banda de ancho no útil = 61,97 + 3,03 = 65 metros



Tabla 33- Longitud sobre la que se colocará la pantalla dinámica medida mediante Google Earth

Como se puede ver, la opción más desfavorable es la segunda porque para un ángulo más pequeño respecto a la horizontal, la altura es mayor. Por esto, la pantalla deberá colocarse a mayor altura respecto a la carretera.

6.2.8. PUNTO 8

La zona en la que nos encontramos, como se explica anteriormente tiene un gran peligro debido a la cuenca que se forma entre dos laderas y que hace que cualquier desprendimiento que surja en ellas, acabe desembocando en este punto.

Anteriormente al desprendimiento que sucedió antes de la elaboración del estudio, en el punto existía una pantalla dinámica que no pudo frenar la caída de rocas e invadieron la calzada.

Por esta razón, es apropiado colocar como mínimo otra hilera de pantallas y también se estudiará la colocación de una segunda en un punto de media ladera, de esta forma es menos probable que otro desprendimiento supere las dos barreras.

El estudio de las medidas de protección se realiza con el programa CRSP3D y las características geométricas del terreno se obtienen con la aplicación de Google Earth.

Así pues, las dimensiones son las siguientes:

- Altitud del punto más alto = 450 metros
- Altitud del punto más bajo = 100 metros



- Distancia en plano entre los dos puntos = 494 metros

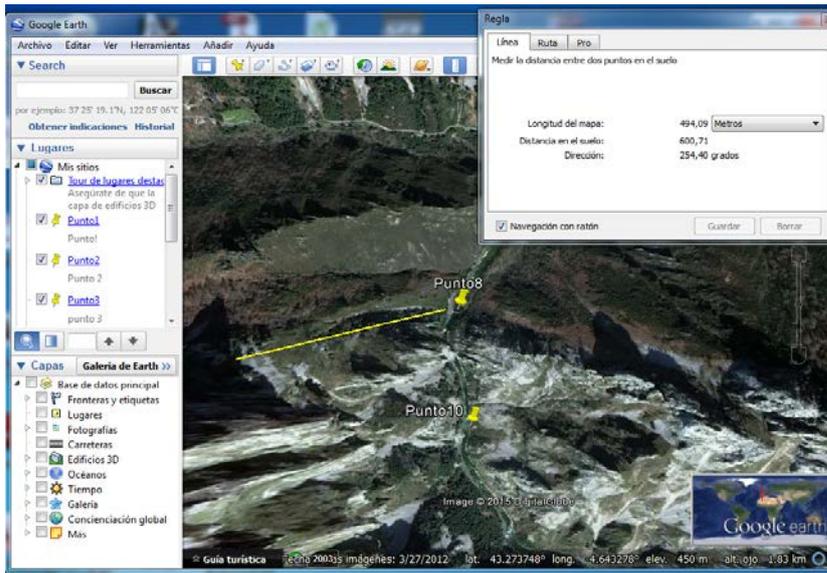


imagen 81- Distancia de descenso de rocas del punto 8 medida mediante Google Earth

Con estos datos se puede modelar la ladera en el programa CRSP3D en la pestaña de Slope Geometry y seguidamente se pulsa el botón Build y sale una imagen 3D como la que se muestra a continuación.

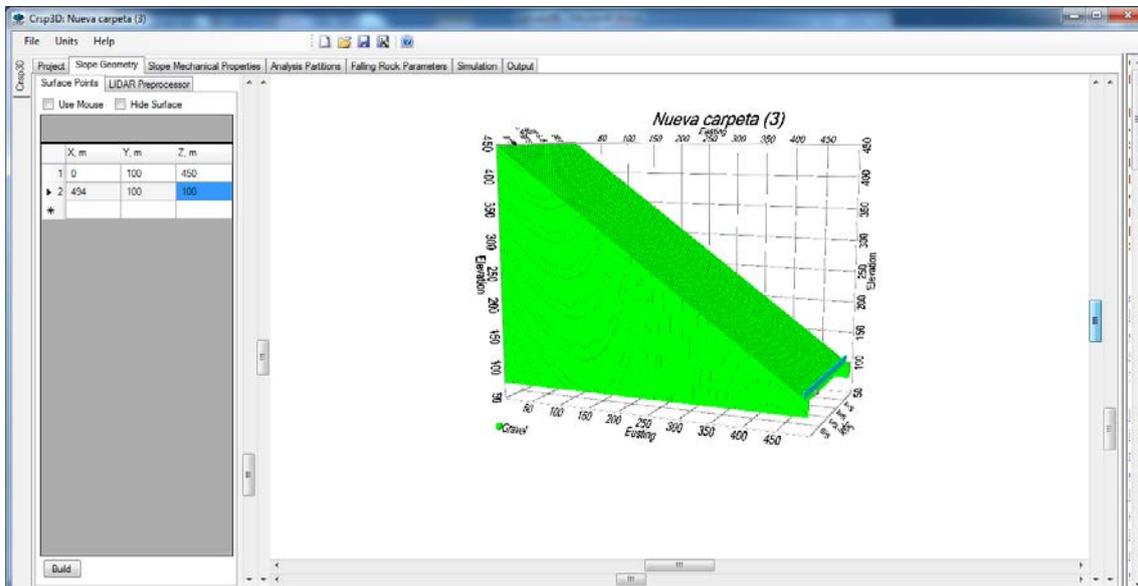


imagen 82- Pestaña de propiedades geométricas del talud

El segundo paso es meter las propiedades mecánicas del terreno en la pestaña Slope Mechanical Properties. Estas propiedades son:

- Rugosidad (roughness): 0,3-0,7 esto significa que el programa calculará el descenso de las rocas con una dureza que irá variando entre esos dos valores. Estos valores son escogidos porque la pendiente es poco abrupta pero tampoco es completamente lisa.



- Dureza (hardness): 0,5-0,7 . Este factor es el que se asemeja al coeficiente de restitución en los rebotes. Se elige estos valores atendiendo a una clasificación que nos propone el manual del propio programa en el que podemos comparar el talud con unas imágenes de taludes tipo.

También hay que seleccionar los puntos entre los cuales estas propiedades son constantes.

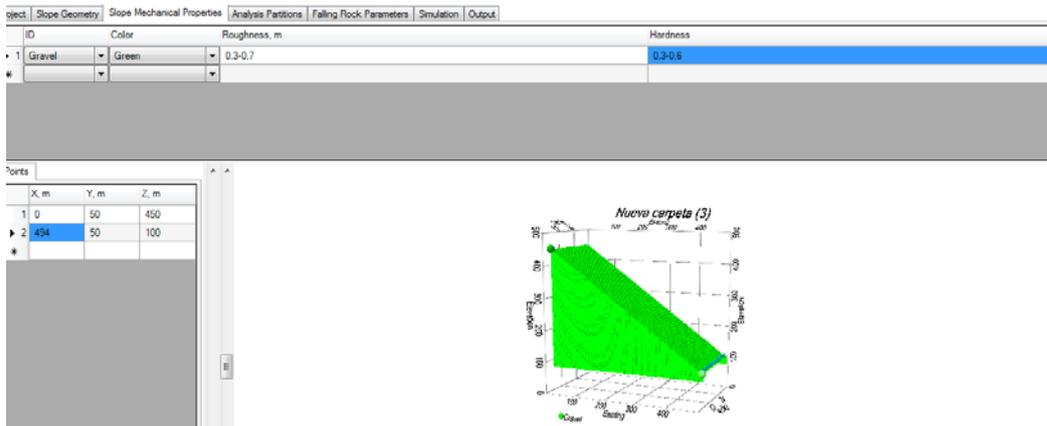


imagen 83- Pestaña de propiedades mecánicas del talud

La sección de análisis la sitúo a pie del talud, donde se colocará la pantalla dinámicas.

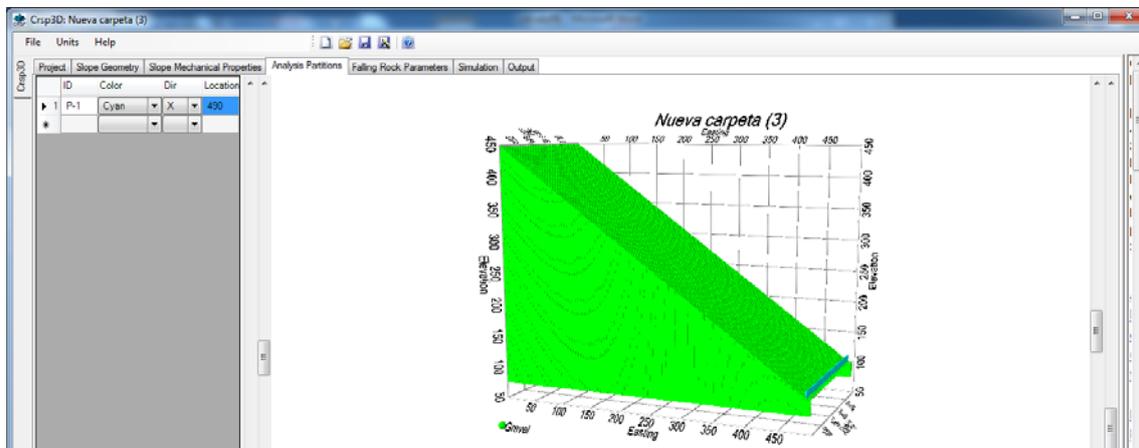


imagen 84 - Pestaña de sección de analisis

Las propiedades de la roca tipo, para el primer caso, que se puede desprender son:

- Peso específico: 28 kN/m³
- Número de rocas simuladas: 100
- Forma de la Roca: Esfera
- Diámetro de la Roca: 0,62 metros

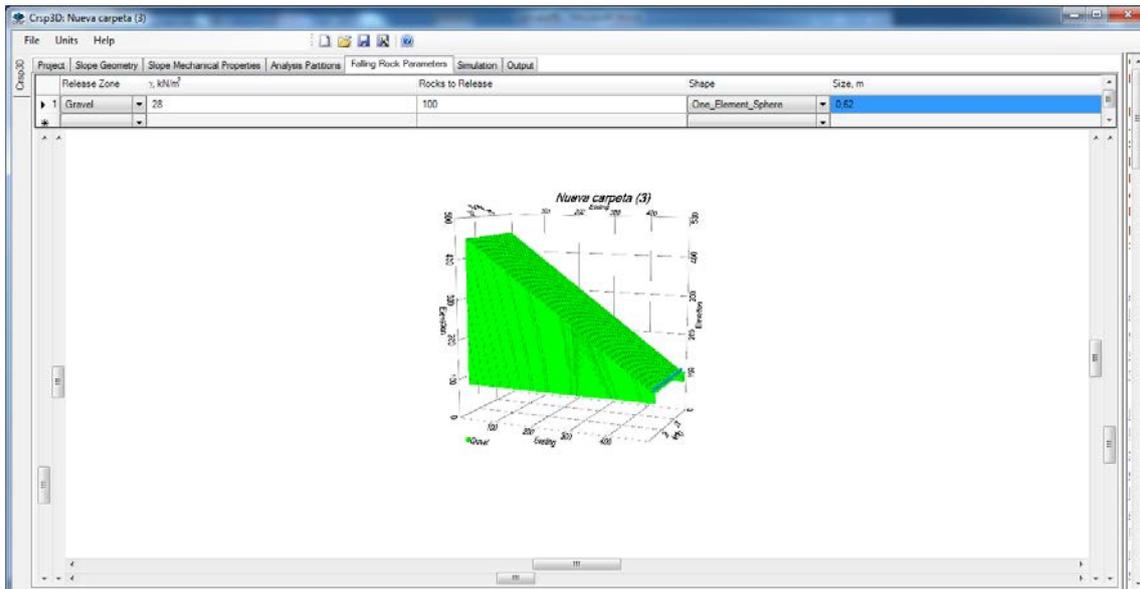


imagen 85 - Pestaña de propiedades de las rocas del primer caso

Los resultados se muestran en tablas donde se puede observar la velocidad y la altura de cada roca ensayada. Además se pueden ver gráficas que resumen en que rango se encuentran tanto las velocidades como las alturas. Utilizando estas últimas, sacamos los datos para dimensionar:

- Velocidad: 10 m/s
- Altura: 0,4 m (resultado) + 0,62m (diámetro) + 0,5 m (seguridad) = 1,52 metros.

La energía cinética se obtiene mediante la fórmula: $\frac{1}{2} \times masa \times velocidad^2$

- Volumen = $\frac{4 \times \pi \times r^3}{3} = 0,124 \text{ m}^3$
- Masa = Volumen x Densidad = 0,349 toneladas
- Energía = 17,4 Kjulios

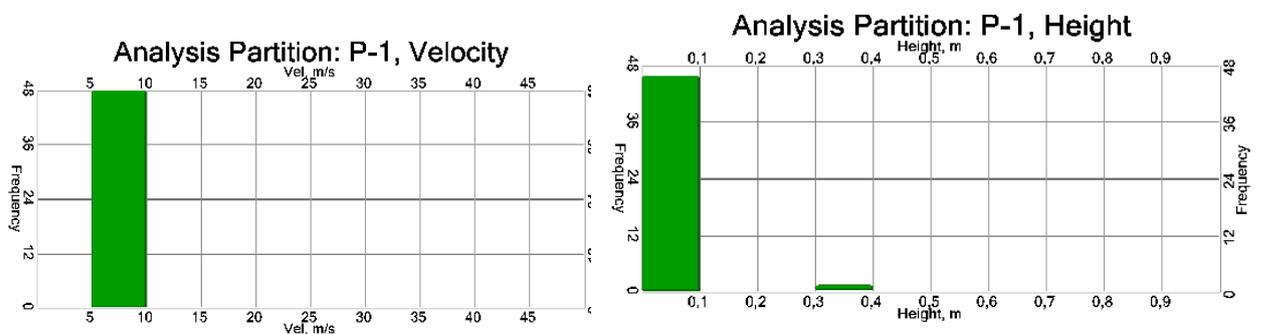


imagen 86- datos de salida del primer caso



Las propiedades de la roca tipo, para el primer caso, que se puede desprender son:

- Peso específico: 28 kN/m³
- Número de rocas simuladas: 100
- Forma de la Roca: Esfera
- Diámetro de la Roca: 1 metros

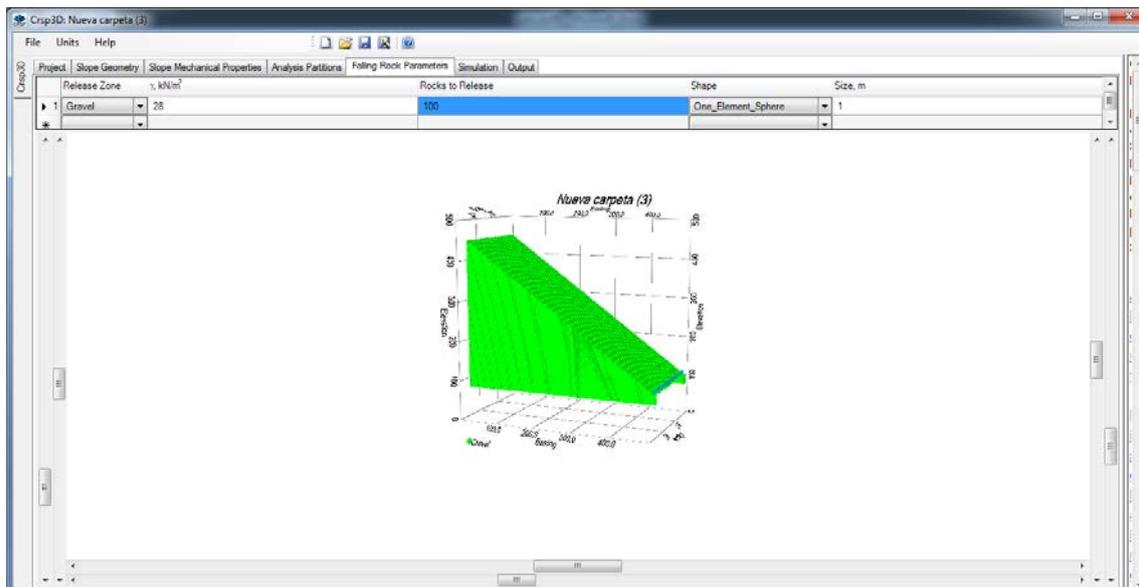


imagen 87- Pestaña de propiedades de las rocas

Los resultados se muestran en tablas donde se puede observar la velocidad y la altura de cada roca ensayada. Además se pueden ver gráficas que resumen en que rango se encuentran tanto las velocidades como las alturas. Utilizando estas últimas, sacamos los datos para dimensionar:

- Velocidad: 10 m/s
- Altura: 0,7 m (resultado) + 1m (diámetro) + 0,5 m (seguridad) = 2,2 metros.

La energía cinética se obtiene mediante la fórmula: $\frac{1}{2} \times masa \times velocidad^2$

- Volumen = $\frac{4 \times \pi \times r^3}{3} = 0,523 \text{ m}^3$
- Masa = Volumen x Densidad = 1,466 toneladas
- Energía = 73 Kjulios

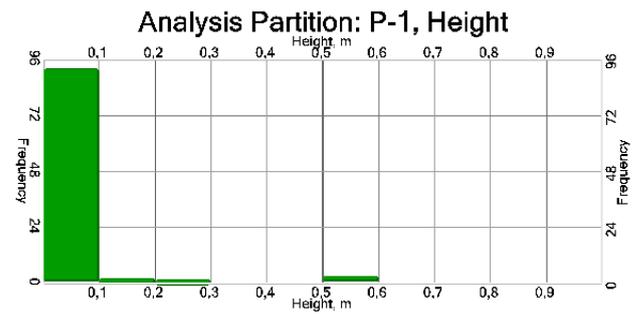
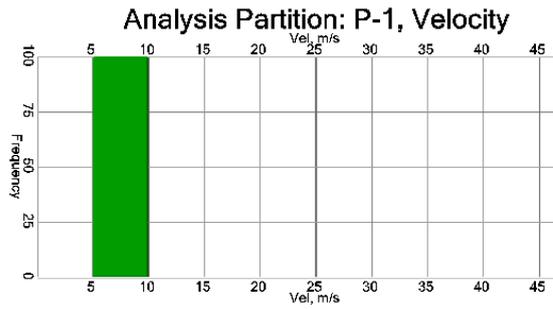


imagen 88 - datos de salida del segundo caso

Las propiedades de la roca tipo, para el primer caso, que se puede desprender son:

- Peso específico: 28 kN/m^3
- Número de rocas simuladas: 100
- Forma de la Roca: Esfera
- Diámetro de la Roca: 0,3 metros

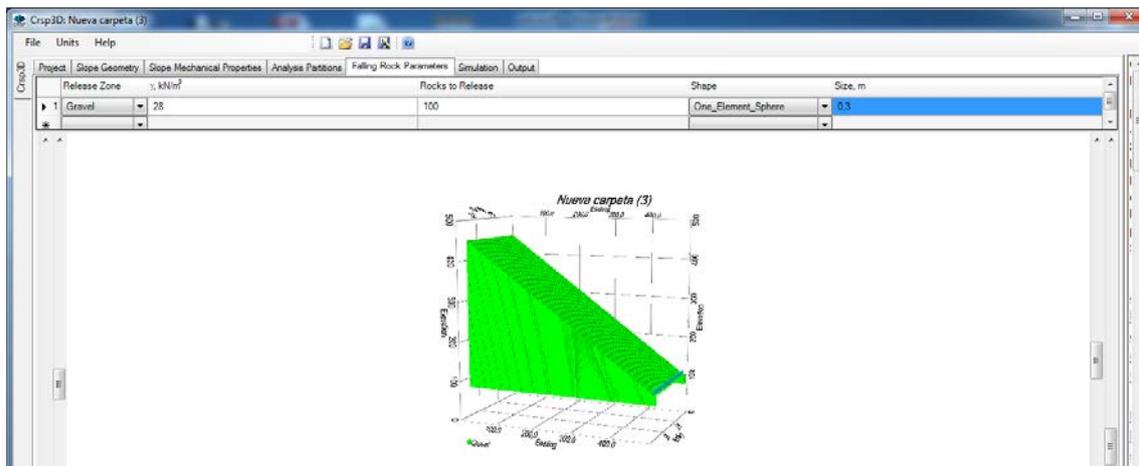


imagen 89- Pestaña de propiedades de las rocas del tercer caso

Los resultados se muestran en tablas donde se puede observar la velocidad y la altura de cada roca ensayada. Además se pueden ver gráficas que resumen en que rango se encuentran tanto las velocidades como las alturas. Utilizando estas últimas, sacamos los datos para dimensionar:

- Velocidad: 5 m/s
- Altura: 0,2 m (resultado) + 0,3 m (diámetro) + 0,5 m (seguridad) = 1 metro.



La energía cinética se obtiene mediante la fórmula: $\frac{1}{2} \times masa \times velocidad^2$

- Volumen = $\frac{4 \times \pi \times r^3}{3} = 0,141 \text{ m}^3$
- Masa = Volumen x Densidad = 0,04 toneladas
- Energía = 0,5 Kjulios

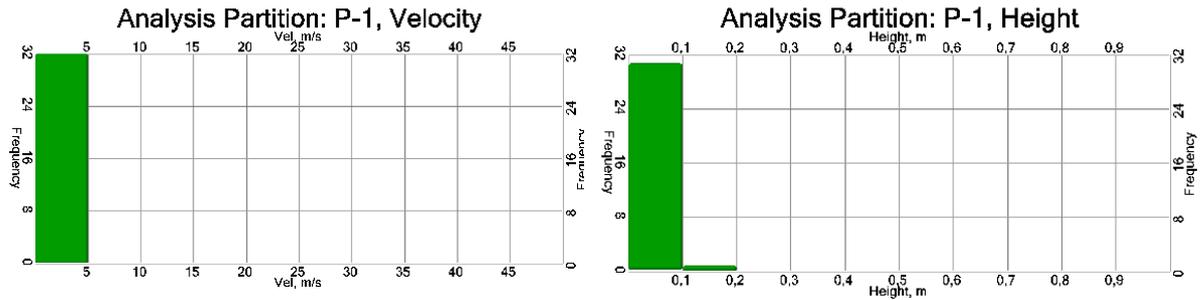


imagen 90 - datos de salida del tercer caso

Las propiedades de la roca tipo, para el primer caso, que se puede desprender son:

- Peso específico: 28 kN/m³
- Número de rocas simuladas: 100
- Forma de la Roca: Esfera
- Diámetro de la Roca: 1,24 metros

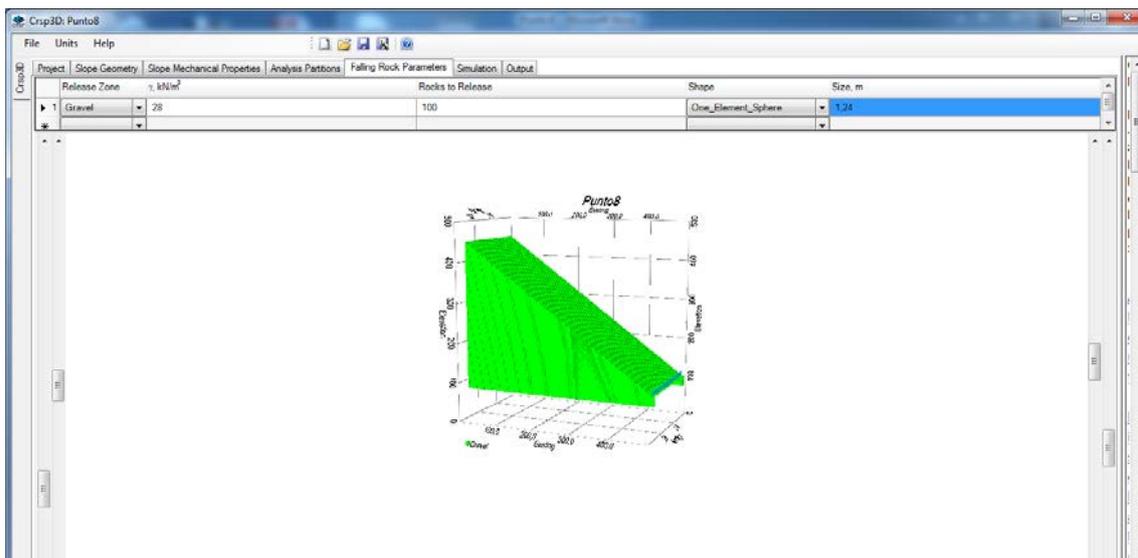


imagen 91- Pestaña de propiedades de las rocas del cuarto caso



Los resultados se muestran en tablas donde se puede observar la velocidad y la altura de cada roca ensayada. Además se pueden ver gráficas que resumen en que rango se encuentran tanto las velocidades como las alturas. Utilizando estas últimas, sacamos los datos para dimensionar:

- Velocidad: 15 m/s
- Altura: 0,8 m (resultado) + 1,24 m (diámetro) + 0,5 m (seguridad) = 2,54 metros.

La energía cinética se obtiene mediante la fórmula: $\frac{1}{2} \times masa \times velocidad^2$

- Volumen = $\frac{4 \times \pi \times r^3}{3} = 1 \text{ m}^3$
- Masa = Volumen x Densidad = 2,8 toneladas
- Energía = 315 Kjulios

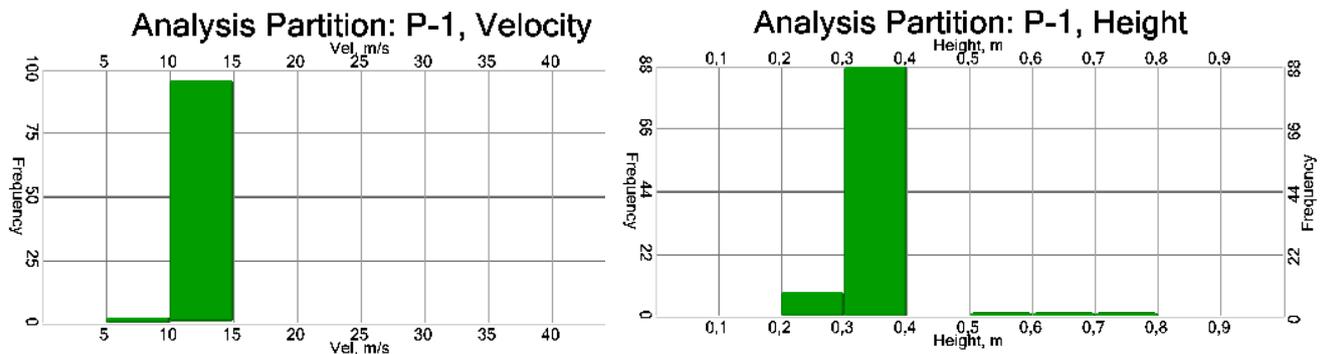


imagen 92- Datos de salida del cuarto caso

De todas las alternativas la que peor resultados da tanto para altura como para energía que debe disipar la pantalla es el último caso en el que se ensaya una roca de 1 m^3 . En este caso en especial, debido al historial de caídas, se propone colocar una pantalla dinámica a media ladera de alta resistencia y una pantalla estática a pie de la carretera. El objetivo es que la mayoría de los desprendimientos no alcancen grandes velocidades y la pantalla estática permita parar las rocas que sobrepasen la primera. La altura de las dos pantallas será mayor de 2,54 metros y la anchura de la que se encuentra en la posición más alta será de 50 metros más una anchura de banda no útil. En la de abajo la anchura no tiene que ser tan grande ya que la cuenca por la que discurren los aluviones se va estrechando a medida que desciende, de esta manera, la anchura elegida es de 10 metros.

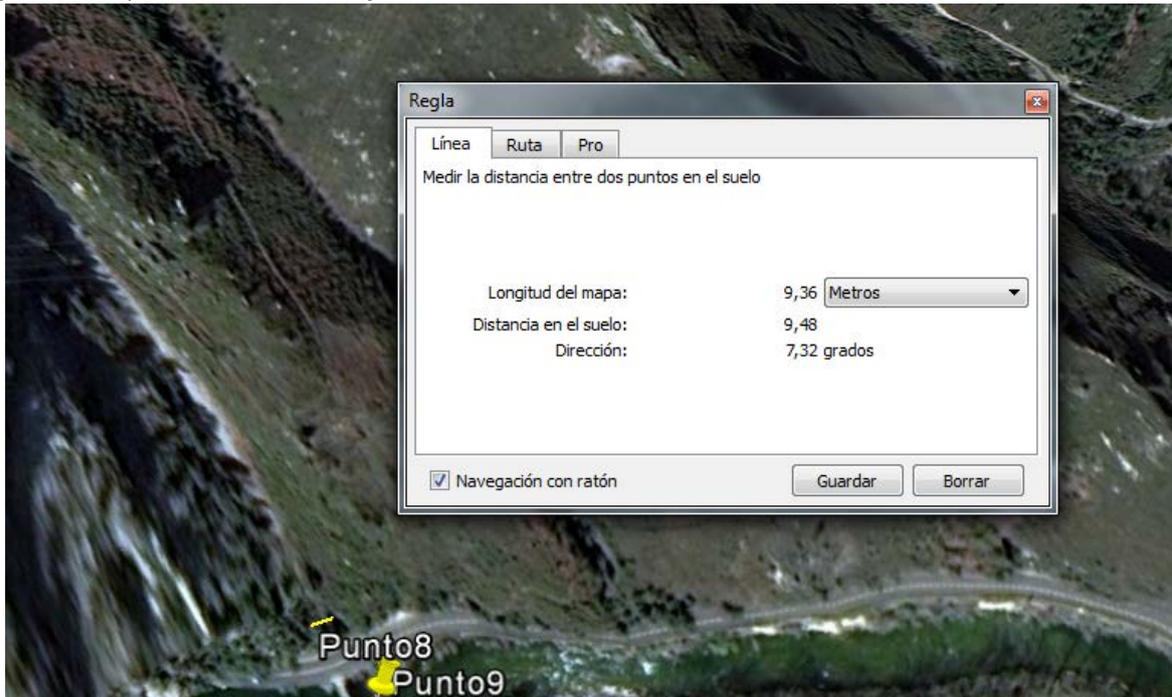


imagen 93 - Distancia Longitudinal sobre la que se propone la colocación de la pantalla dinámica medida mediante Google Earth

6.2.9. PUNTO 9

Como se comenta anteriormente sobre este punto, existen dos situaciones con diferentes características y solución:

Primer caso:

Para el cálculo del primer caso se utiliza el programa MACro con el que introduciendo los parámetros que se observan del terreno, un talud prácticamente vertical, las propiedades del acero del que está hecho la red de cables y la colocación de la misma se puede dimensionar de forma segura la protección.

El talud de roca que se observa en este punto tiene las siguientes condiciones geométricas:

- Inclinación: se intuye a por la inspección visual que la pendiente es de 85° .
- Espesor inestable: supongo que el espesor es de 1 metro.
- Factor de seguridad: 1,5

Las propiedades geotécnicas son:

- Peso específico: 28 kN/m^3 .



- Alfa: la inclinación respecto a la horizontal de la grieta más inestables es de 50°
- JRC:1
- JCS:100

Los datos insertados para el correcto dimensionamiento de la red de cables son:

- Distancia entre bulones: en vertical se estima óptimo 2,5 metros y en horizontal 2,9 metros.
- Propiedades del bulón:
 - El ángulo de penetración del bulón desde la horizontal es de 0° .
 - El diámetro del bulón es de 28mm.
 - El límite elástico del acero es de 500 N/mm^2 .
 - El factor de seguridad es de 1,6.
- La adhesión entre el hormigón utilizado para la colocación de los bulones y la roca es de 1,7 MPa.
- El factor de seguridad para el cálculo de la adhesión es de 2.

En lo correspondiente a la malla elegida para su instalación se supone una malla del tipo Steel Grid M0 con un factor de seguridad de 1,5.

Con todos estos datos el programa establece que los factores de seguridad del bulón y de la malla superan 1 y, por lo tanto, se asegura su estabilidad (no se requiere un factor más alto porque anteriormente se establecen otros factores que afectan al cálculo de este último).

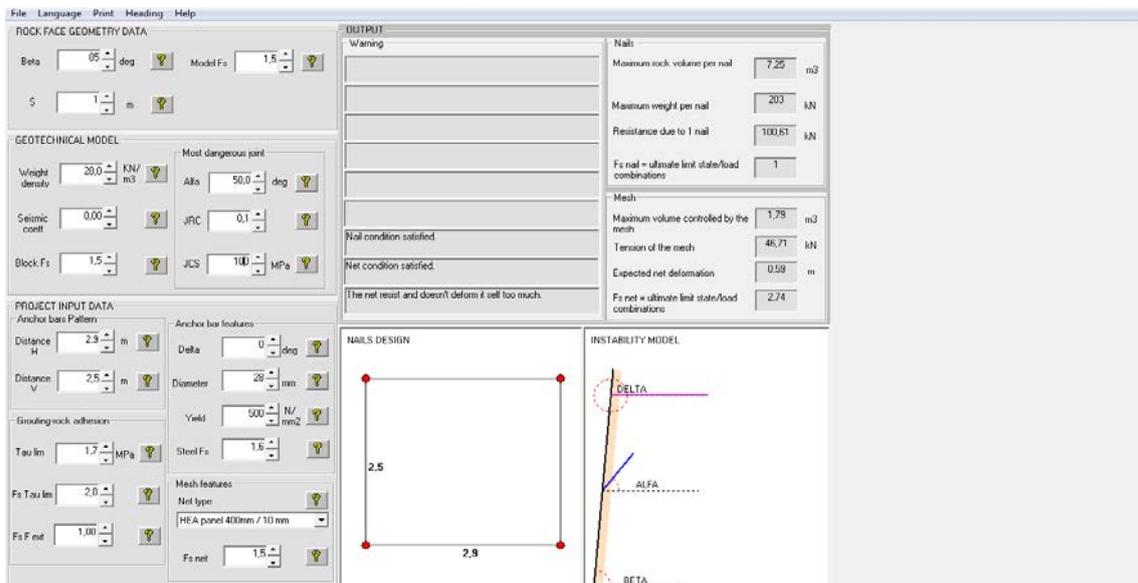


imagen 94- Interfaz de cálculo del punto 9 del programa MACro



La longitud de la malla a colocar será igual a la calculada mediante la aplicación de Google

Earth:

- Longitud = 86 + banda de ancho no útil = 90 metros
- Anchura sobre el talud = 5 metros.

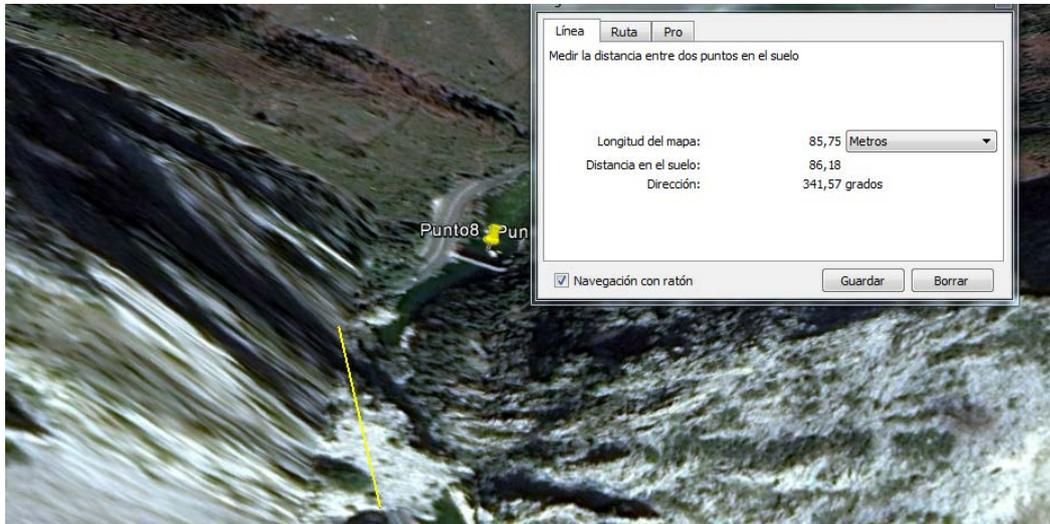


imagen 95 - Medida longitudinal de la distancia sobre la que se va a colocar la malla medida mediante Google Earth

Segundo caso:

El estudio de este caso se basa en la colocación de una medida de protección que pueda evitar que las rocas que se desprenden a gran altura del talud vertical y no impacten contra la vía. El movimiento más peligroso que se puede dar es que la roca a mayor altura rebote una vez sobre una cara que tenga un ángulo ligeramente a la pared vertical y consiga separarse de forma peligrosa de la ladera.

Por lo tanto, el método de análisis de la caída de las rocas será mediante la hoja de excel preparada para calcular con movimientos uniformes las trayectorias de estas.

Los parámetros que se definen en este caso después de la inspección visual son:

- Altura antes del rebote (H): 50 metros
- Altura desde el rebote hasta el impacto con la carretera (h): 5 metros
- Ángulo de la cara donde rebota la roca (β): 75°
- Coeficiente de restitución de la pared de roca (K): 0,7
- Aceleración de la gravedad (G): $9,8 \text{ m/s}^2$



Se decide este coeficiente de restitución porque la roca lisa tiene la capacidad de reflejar mucha energía y con este valor, además, estamos más cerca del lado de la seguridad.

DATOS	
H	50 m
h	5 m
β	75 e
K	1,30899694 rad
G	0,7
	9,8 m/s ²

ANTES DEL REBOTE		DESPUÉS DEL REBOTE		PUNTO FINAL	
T1	3,19438282	Vx'	30,2382613	t _z	0,17484514
V _{y1}	31,3049517	Vy'	5,67162239	V _{fy2}	29,453476
Vy	8,1023177	V _{y2}	-27,7399937	V _{final}	32,3190307
Vx	30,2382613	V _{x2}	13,3046045	altura	2,32624538

Tabla 34 - Cálculo del punto 9

A la vista de los resultados, los que interesan para el dimensionamientos de las pantallas dinámicas son:

- Altura (o distancia de separación desde la pared) a la que impacta la roca = 2,32 metros
- Velocidad de impacto = 32,31 m/s

Con estos datos podemos calcular:

- Energía de la pantalla: $\frac{1}{2} \times masa \times velocidad^2 =$
 $1/2 \times 2,8 \text{ toneladas} \times 32,31^2 \text{ m/s} = 1461 \text{ kJulios}$
- Altura de la pantalla dinámica = altura efectiva de la pantalla + banda de ancho no útil medida desde el plano vertical = 2,5 metros
- Longitud de la pantalla para instalar = Longitud de pantalla útil + banda de ancho no útil = 75 metros + 5 metros= 80 metros

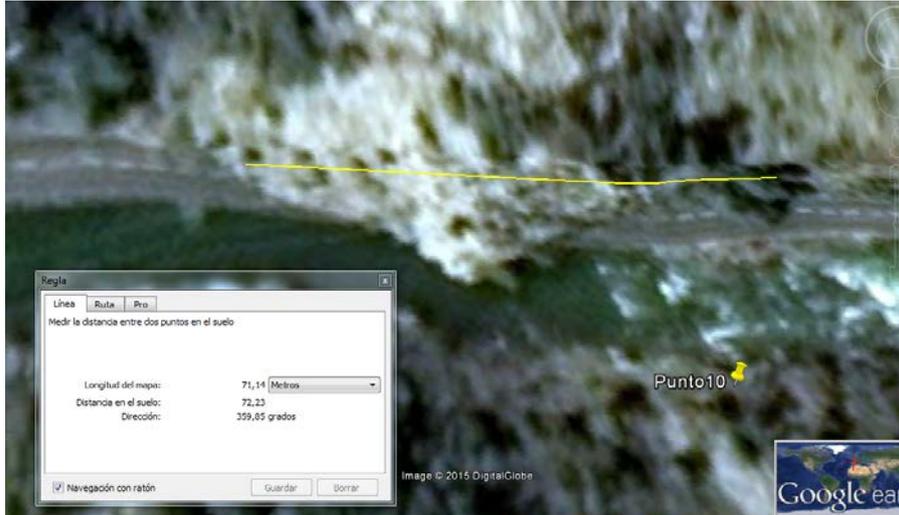


imagen 96 - Distancia longitudinal sobre la que se colocará la pantalla medida mediante Google Earth

6.2.10. PUNTO 10

Como se comenta en el apartado de puntos críticos, el punto 10 presenta una serie de rocas con apariencia inestable en el talud, cerca de la calzada. Por lo tanto, la medida de prevención que se elige en este caso es la retirada de esas rocas mediante un movimiento de rocas que nos permita dejar despejada la zona del talud en peligro. Se considera que el terreno es de tránsito ya que la roca está muy disgregada.

Se supone que el volumen que se desea quitar es igual a un prisma de base triangular y de altura la longitud de la zona inestable. La altura de la base, que se supone mediante la inspección visual, es igual a 2 metros.

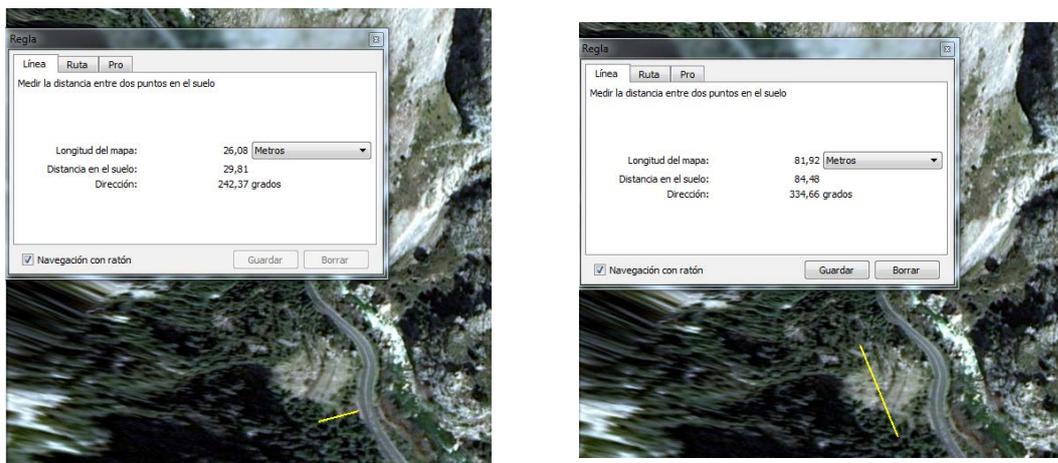


imagen 97 - distancias vertical y horizontal medidas mediante Google Earth

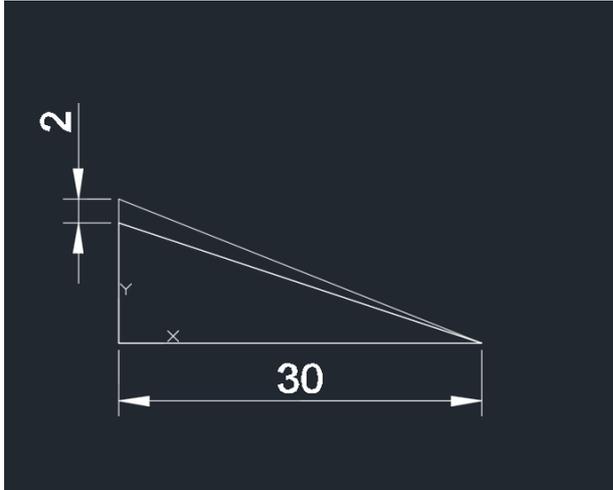


imagen 98 - representación gráfica del volumen de tierra supuesto realizada con el programa Autocad

$$\text{Volumen total} = 85 \times (30 \times 2) / 2 = 2550 \text{ m}^3$$

6.2.11. PUNTO 11

En este punto se encuentran dos situaciones distintas, por una parte una parte de la ladera menos inclinada pero con grandes rocas y otra prácticamente vertical pero de poca altura.

Para empezar, por encima de este punto, a unos 50 metros, se encuentran unas pantallas dinámicas colocadas recientemente y que evitan que cualquier desprendimiento que pueda suceder por encima, llegue a la calzada.

El riesgo existe por debajo de esas pantallas, ya que la zona se encuentra desprotegida y parece inestable a simple vista. Debido a esos dos casos que se encuentran en el mismo punto, el estudio se realizará de forma independiente.

Primer caso:

En este caso se estudia la estabilidad de un talud vertical de 4 metros de un terreno formado por una matriz caliza-arenosa, que posiblemente su formación se deba al depósito de aluviones que descendieron por la ladera, y arcillas, aunque a simple vista se observan sobre todo granos más grandes, más típicos de suelos arenosos compactos.



Por esta razón he decidido que el porcentaje de arcilla en este caso es menor del 10% y de esta forma, mediante la tabla de Skempton, he obtenido que en el peor de los casos el ángulo de rozamiento interior residual es de 28°.

La pendiente de cálculo será 85°, el peso específico es $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ y la cohesión como en todos los casos estudiados será nula.

DATOS			
β	85 °	volumen	0,08715574 m3
Espesor	1 m		
L	1 m		
Gamma y cohesión	19 kN/m3 0 kN/m2	Peso	1,65595911 kN
φ	28 °		
N	0,14432635 kN		
T	1,64965769 kN	F	1,9804086
Presión	6 kN/m2		

Tabla 35- Cálculo del punto 11

El espesor no es demasiado grande ya que se observa que la principal inestabilidad es superficial, ya que el talud mantiene su forma, solo se desprenden pequeñas rocas de 100mm de diámetro.

Por esta razón y a la vista de los resultados se recomienda colocar una malla colgada con un cable en la parte inferior del talud que evite que las posibles rocas que caigan puedan acabar en la vía y que su mantenimiento y retirada de rocas sea fácil de llevar a cabo. La presión no es la suficiente para recomendar la colocación de redes de cables y resulta más económico colocar la malla colgada que adosada porque la frecuencia de caída de rocas no es muy grande.

La colocación se realiza sin bulones pero se colocan unos postes en lo alto de la malla de alambre de triple torsión para sujetar la red y de la misma manera dejar un espacio de 50 cm de forma que si cae una piedra de parte más alta de la ladera, por debajo de las pantallas dinámicas, se pueda introducir entre la malla y el talud y se deposite en la parte baja de la misma sin ningún peligro de que acceda a la vía.

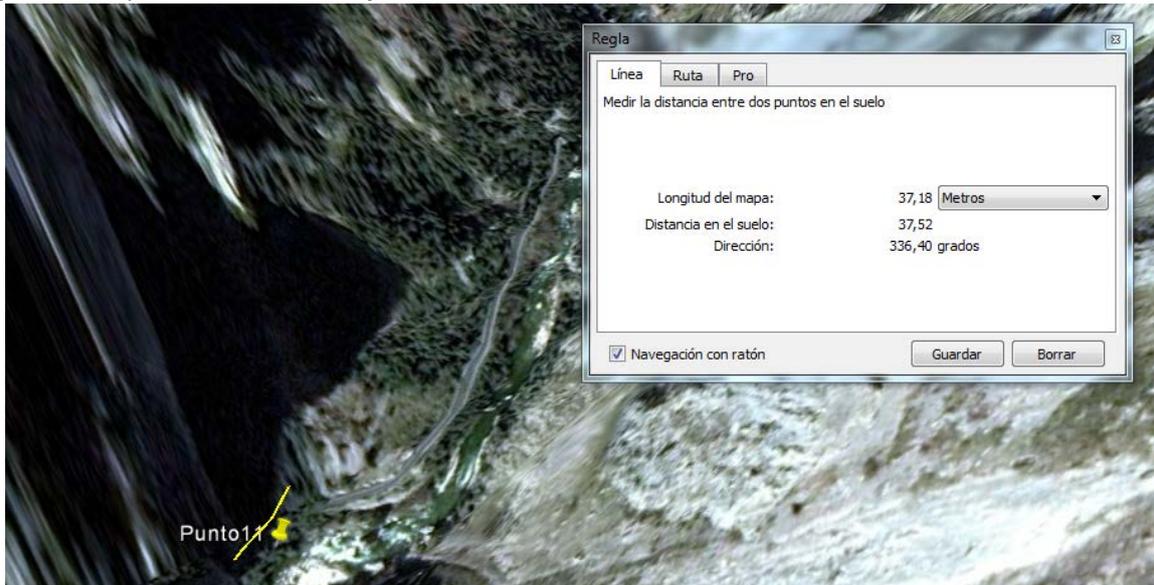


imagen 99- distancia longitudinal sobre la que se colocará la malla medida mediante Google Earth

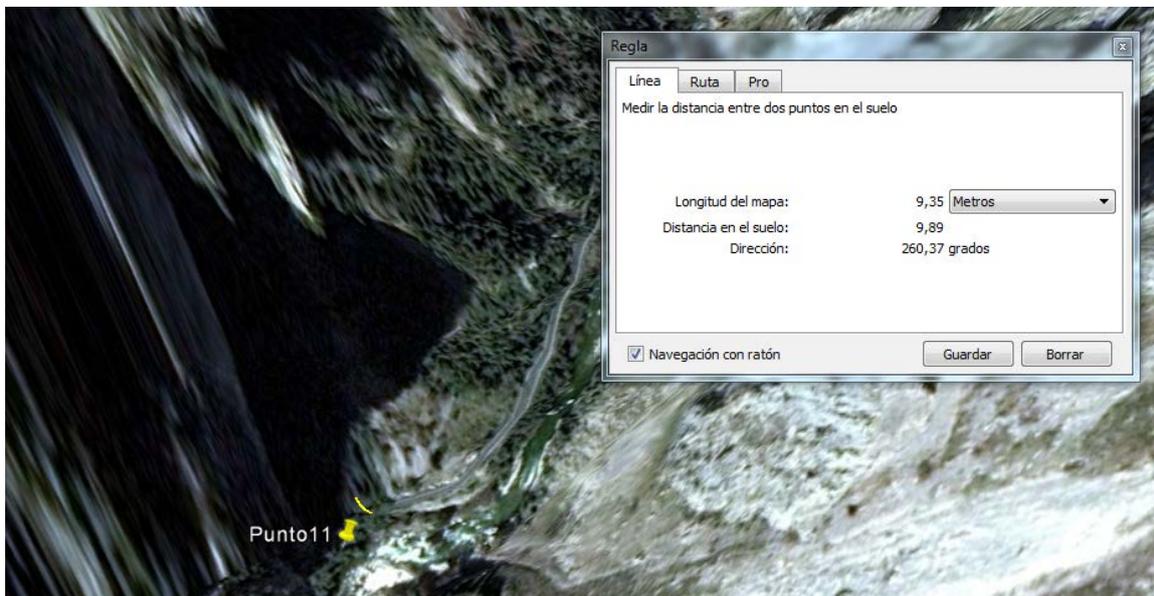


imagen 100 - Anchura sobre la que se colocará la malla de triple torsión

Las características de la malla en este caso son:

- Longitud: 40 metros
- Anchura: 10 metros
- Tipo de malla: triple torsión



Segundo caso:

Este caso es totalmente diferente y al igual que en el punto 10, se recomienda la retirada de las rocas mediante el movimiento de tierras utilizando camiones que las acarren hasta un vertedero, para eso deben ser camiones aptos para la conducción por carretera, y excavaras y cargadoras que realizarían sus operaciones sobre el mismo talud. Este talud tiene una inclinación de aproximadamente 45° y las rocas potencialmente peligrosas se encuentran sobre la superficie o semienterradas en las proximidades de la vía.

Es posible que para realizar la carga y el transporte se tenga que romper las mismas mediante una excavadora con un martillo hidráulico y se necesita también restringir el tráfico durante varios minutos cuando se tenga que cargar el camión.

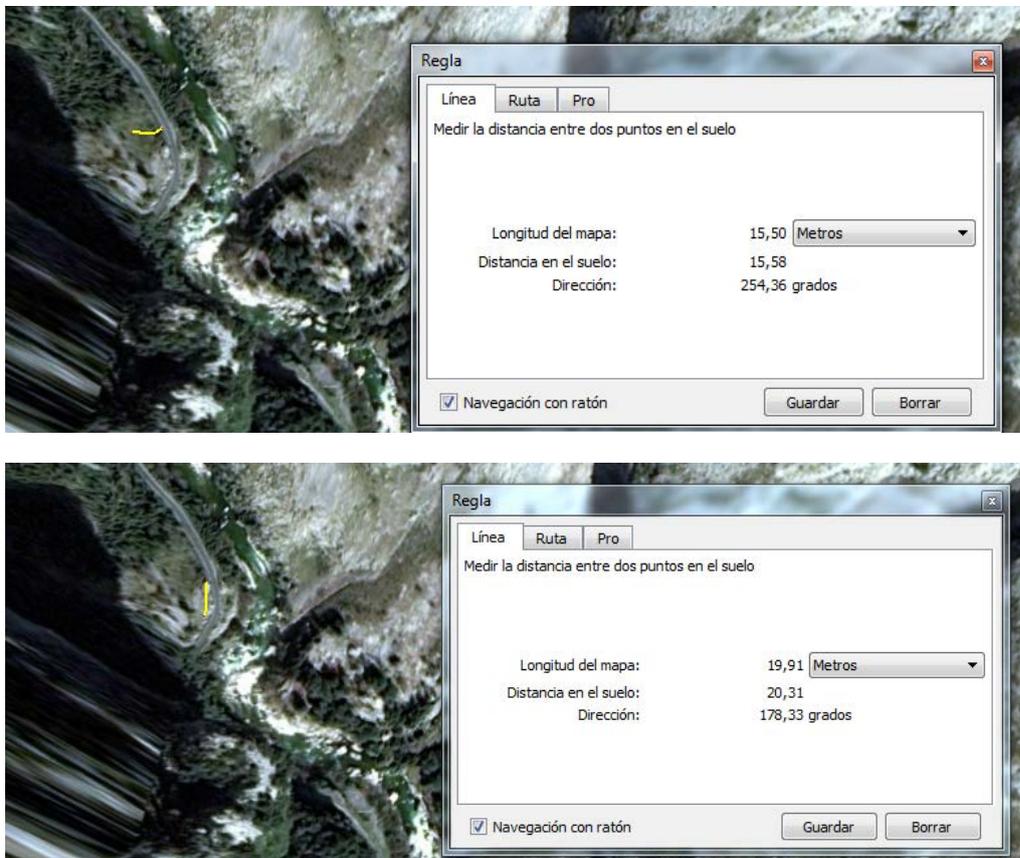


imagen 101 - Distancias de cálculo del volumen de roca a remover

Se supone que el volumen a remover de roca en este punto es un prisma rectangular de base 15 x 20 metros y de altura igual a 2,5 metros con lo que nos queda un volumen igual a 400 m^3



6.2.12. PUNTO 12

La distinta morfología del talud en este punto hace que se encuentren distintas zonas de inestabilidad con soluciones también diferentes y que se deben abordar por separado.

Primer caso:

En este primer caso se decide que la solución más ventajosa es la colocación de malla de triple torsión ancladas al terreno ya que se observan piedras inestables cerca de la carretera. Para el cálculo de este punto se utiliza el programa MACro con el que se puede obtener la malla necesaria para resistir los esfuerzos con un margen de seguridad.

Nos encontramos con un talud en roca con apariencia inestable y con las siguientes condiciones geométricas:

- Inclinación: se intuye a por la inspección visual que la pendiente es de 85° .
- Espesor inestable: supongo que el espesor es de 2,5 metro.
- Factor de seguridad: 1,5

Las propiedades geotécnicas son:

- Peso específico: se utiliza siempre un peso de 28 kN/m^3 .
- Alfa: la inclinación respecto a la horizontal de la grieta más inestables es de 30°
- JRC: 0,1
- JCS: 100

Los datos insertados para el correcto dimensionamiento de la red de cables son:

- Distancia entre bulones: en vertical se estima óptimo 1,7 metros y en horizontal 1,7 metros.
- Propiedades del bulón:
 - El ángulo de penetración del bulón desde la horizontal es de 0° .
 - El diámetro del bulón es de 28mm.
 - El límite elástico del acero es de 500 N/mm^2 .
 - El factor de seguridad es de 1,6.
- La adhesión entre el hormigón utilizado para la colocación de los bulones y la roca es de 1,7 MPa.
- El factor de seguridad para el cálculo de la adhesión es de 2.



"Estudio informativo para la determinación de medidas de protección contra la caída de rocas mediante sistemas flexibles en puntos críticos del Desfiladero de la Hermida"

TRABAJO FINAL DE GRADO
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA, 2015
JAVIER SÁNCHEZ BÁSCONES

En los correspondientes a la malla elegida para su instalación se supone una malla del tipo Steel Grid M0 con un factor de seguridad de 1,5.

Con todos estos datos el programa establece que los factores de seguridad del bulón y de la malla superan 1 y, por lo tanto, se asegura su estabilidad (no se requiere un factor más alto porque anteriormente se establecen otros factores que afectan al cálculo de este último).

The screenshot displays the MACRO software interface, divided into several sections:

- ROCK FACE GEOMETRY DATA:** Beta = 85 deg, Model Fs = 1,5, S = 2,5 m.
- GEOTECHNICAL MODEL:** Weight density = 28,0 KN/m³, Seismic coeff. = 0,00, Block Fs = 1,5, Most dangerous joint: Alfa = 30 deg, JRC = 0,1, JCS = 100 MPa.
- PROJECT INPUT DATA:** Anchor bars Pattern: Distance H = 1,7 m, Distance V = 1,7 m; Grouting-rock adhesion: Tau lim = 1,7 MPa, Fs Tau lim = 2,0, Fs F ext = 1,00; Anchor bar features: Delta = 0 deg, Diameter = 28 mm, Yield = 500 N/mm², Steel Fs = 1,6; Mesh features: Net type = Steel grid M0, Fs net = 1,5.
- OUTPUT:** Warning section with "Nail condition satisfied" and "Net condition satisfied".
- Nails:** Maximum rock volume per nail = 7,225 m³, Maximum weight per nail = 202,3 kN, Resistance due to 1 nail = 100,58 kN, Fs nail = ultimate limit state/load combinations = 1.
- Mesh:** Maximum volume controlled by the mesh = 2,06 m³, Tension of the mesh = 18,44 kN, Expected net deformation = 0,4 m, Fs net = ultimate limit state/load combinations = 2,89.
- NAILS DESIGN:** A square diagram with side length 1,7 m.
- INSTABILITY MODEL:** A diagram showing a rock face with parameters DELTA, ALFA, and BETA.

imagen 102- Interfaz de cálculo del punto 12 mediante MACRO

Con lo calculado las dimensiones son:

- Longitud: 23,63 metros + margen de seguridad = 25 metros
- Anchura: 48,93 metros + margen de seguridad = 50 metros
- Tipo de malla: red de cables de paños de 300 x 300

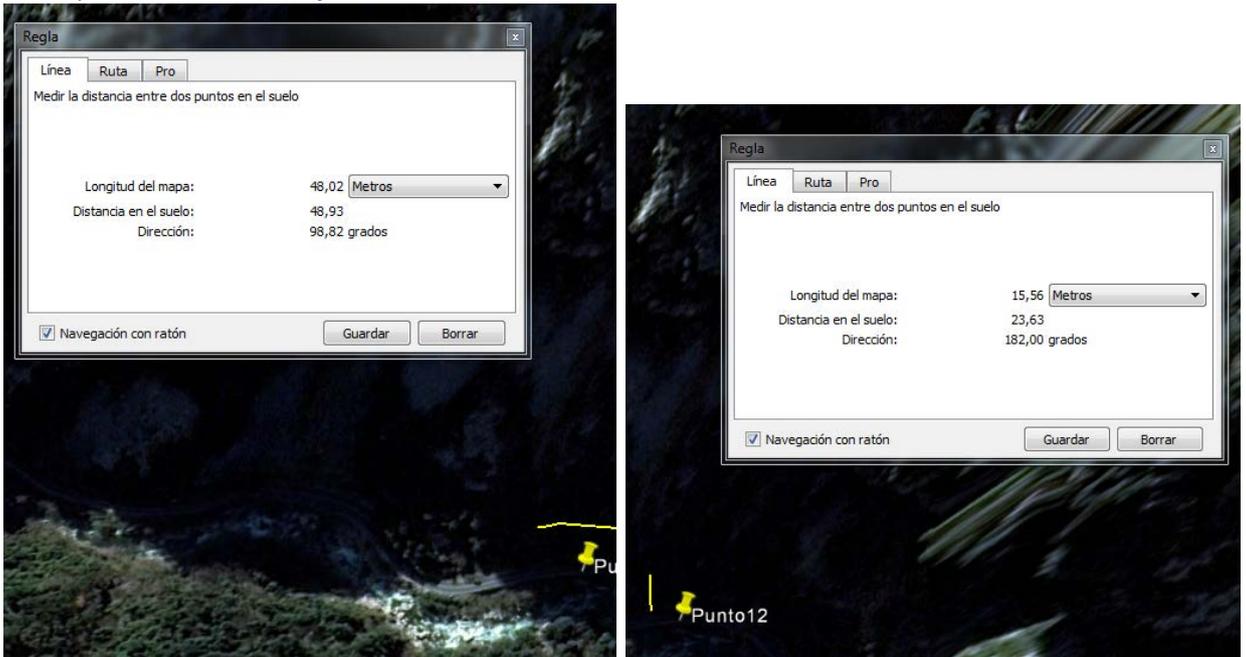


imagen 103- Distancias de cálculo medidas mediante el programa Google Earth

Segundo caso:

El estudio de este caso tiene algo peculiar que les diferencia de los otros casos en los que se propone como solución la colocación de pantallas dinámicas. Al haber excesiva pendiente no se puede emplear el programa Colorado Rock Fall pero además las alturas de rebote que pueden suceder atendiendo a las características morfológicas del talud son demasiado elevadas por lo que la colocación de pantallas en galería es poco útil. Aprovechando que entre el talud vertical y la calzada hay una zona llana donde se encuentra un extenso depósito de anteriores desprendimientos, se estudiará como posible zona de colocación de la pantalla el punto más alejado del talud vertical, donde termina la gravera.

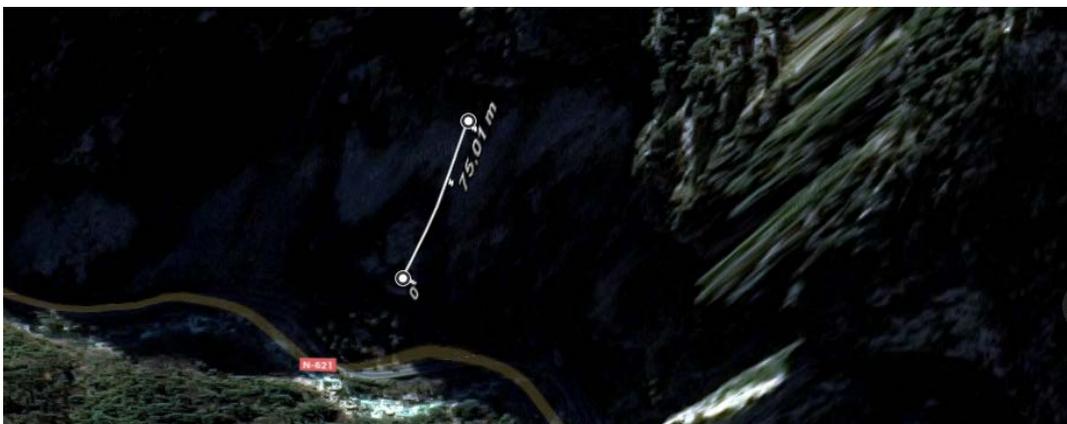


imagen 104 - Distancia de la zona llana calculada mediante Google Earth



Por lo tanto, el método de análisis de la caída de las rocas será mediante la hoja de Excel preparada para calcular con movimientos uniformes las trayectorias de estas, añadiendo esta vez una pequeña modificación que permite evaluar la altura que alcanza la piedra respecto del suelo, la distancia horizontal que recorre y la velocidad final después de un segundo rebote contra la zona con menos pendiente donde se encuentran los depósitos de roca.

Los parámetros que se definen en este caso después de la inspección visual son:

- Altura antes del rebote (H): 200 metros
- Altura desde el rebote hasta el impacto con la carretera (h): 10 metros
- Ángulo de la cara donde rebota la roca (β): 60°
- Coeficiente de restitución de la pared de roca (K): 0,7
- Aceleración de la gravedad (G): $9,8 \text{ m/s}^2$

Se decide este coeficiente de restitución porque la roca lisa tiene la capacidad de reflejar mucha energía y con este valor, además, estamos más cerca del lado de la seguridad.

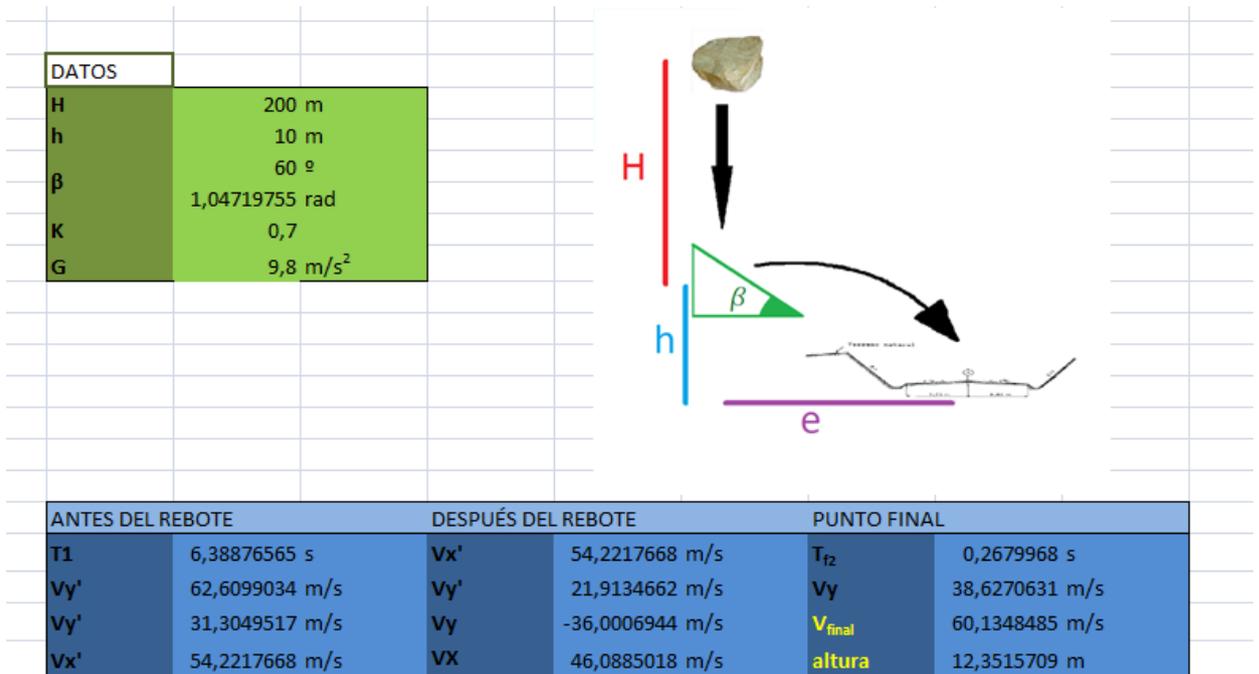


imagen 105- Cálculo del punto 12, primer rebote

Una vez realizado el primer rebote contra la parte más baja del talud vertical que tiene unos pequeños salientes con una inclinación aproximada de 60° , estudiaremos como rebota contra la parte donde se encuentra la gravera que tiene las siguientes propiedades:

- Inclinación: 30°



- Coeficiente de restitución: 0,5

Se elige este coeficiente porque el depósito se encuentra muy fragmentado y absorbe más energía que una pared lisa de roca. Eligiendo 0,5 nos encontramos en el lado de la seguridad.

Datos antes rebote			
Vx'	59,2273449 m/s		
Vy'	10,407767 m/s		
β	30	0,52359878	
K	0,5		
después del rebote		T1	1,06093445 s
V _{x'}	59,2273449 m/s	Dv	33,0119348 m
V _{y'}	5,20388348 m/s	D _{horizontal}	57,1783483 m
V _x	53,894327 m/s	H _{max}	1,38024482 m
V _y	-25,1069772 m/s	V _{final}	59,4555194 m/s

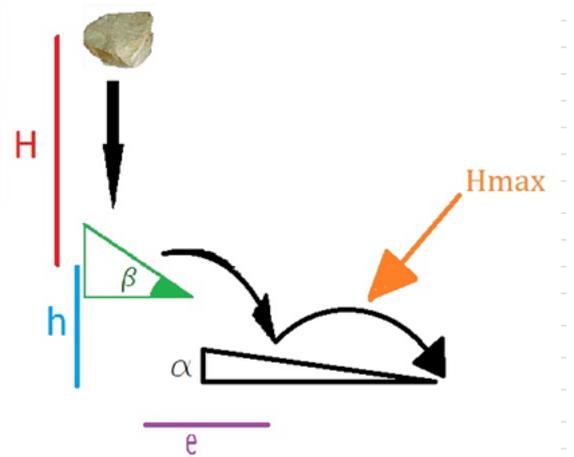


imagen 106 - Cálculo del segundo rebote del punto 12

A la vista de los resultados, los que interesan para el dimensionamientos de las pantallas dinámicas son:

- Altura máxima sobre la perpendicular al terreno = 1,38 metros
- Velocidad de impacto = 59,46 m/s

Con estos datos podemos calcular:

- Energía de la pantalla: $\frac{1}{2} \times masa \times velocidad^2 =$
 $1/2 \times 2,8 \text{ toneladas} \times 59,46^2 \text{ m/s} = 4949 \text{ kJulios}$
- Altura de la pantalla dinámica = altura efectiva de la pantalla + banda de ancho no útil medida desde el plano vertical = 2 metros
- Longitud de la pantalla para instalar = Longitud de pantalla útil + banda de ancho no útil = $41,29 + 3,71 = 45 \text{ metros}$.

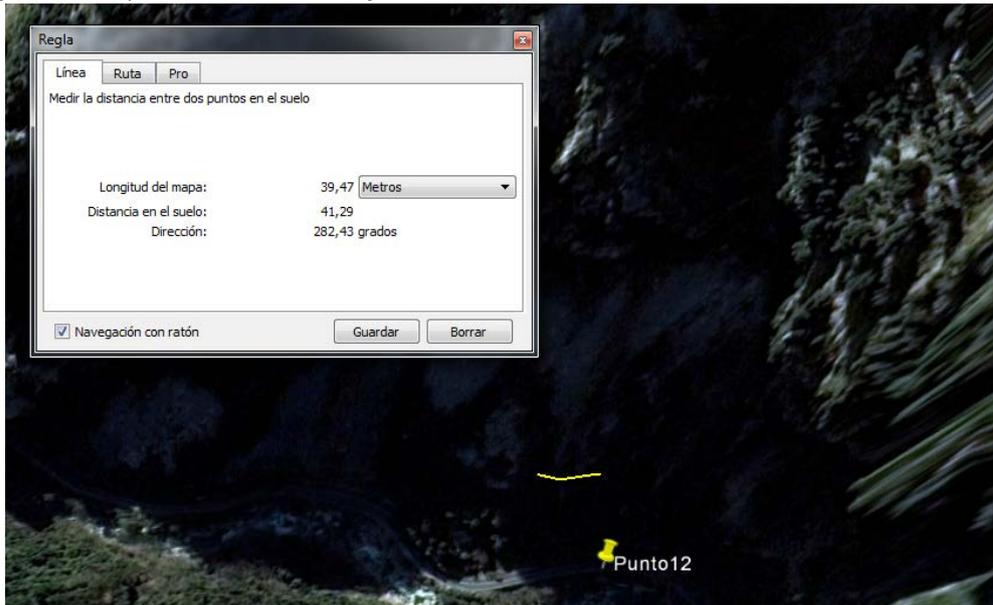


imagen 107- Distancia longitudinal sobre donde se situará la pantalla, medida mediante Google Earth

6.2.13. PUNTO 13

En el punto crítico 13, la opción elegida para la detención de los desprendimientos es la de una pantalla dinámica en galería ya que el talud tiene una elevada pendiente y la máxima altura de caída es en torno a los 150 metros.

Por lo tanto, el método de análisis de la caída de las rocas será mediante la hoja de Excel preparada para calcular con movimientos uniformes las trayectorias de estas.

Los parámetros que se definen en este caso después de la inspección visual son:

- Altura antes del rebote (H): 150 metros
- Altura desde el rebote hasta el impacto con la carretera (h): 8 metros
- Ángulo de la cara donde rebota la roca (β): 80°
- Coeficiente de restitución de la pared de roca (K): 0,7
- Aceleración de la gravedad (G): $9,8 \text{ m/s}^2$

Se decide este coeficiente de restitución porque la roca lisa tiene la capacidad de reflejar mucha energía y con este valor, además, estamos más cerca del lado de la seguridad. La pared no es completamente vertical pero no tiene ningún tipo de saliente que pueda incrementar el rebote, por esta razón se decide poner como ángulo de rebote 80° .

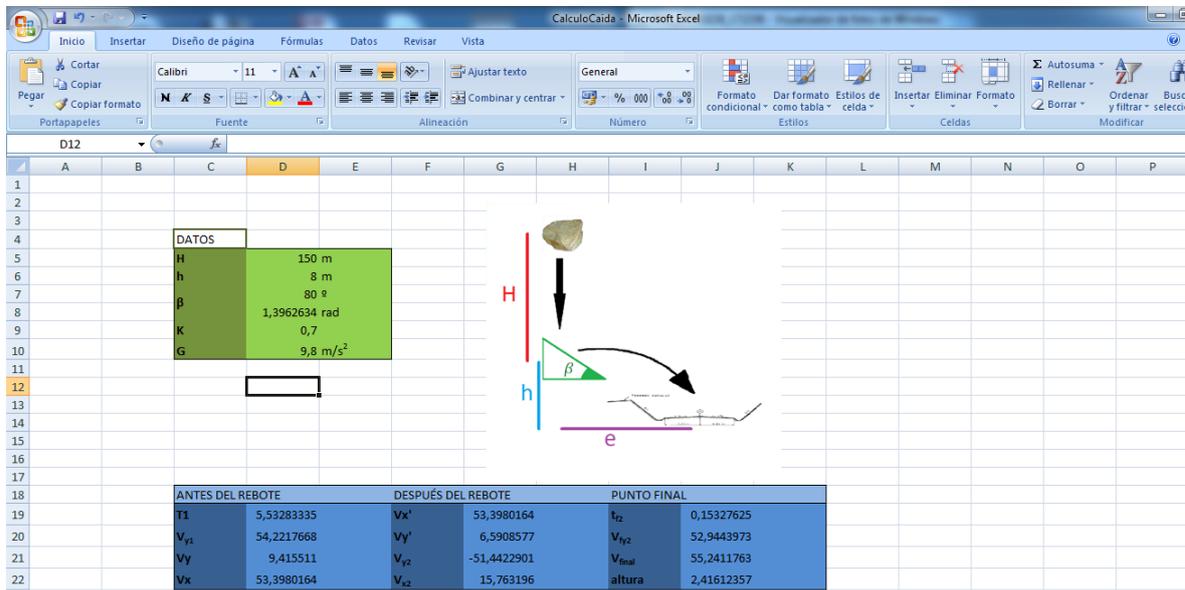


imagen 108 - Cálculo del punto 13

A la vista de los resultados, los que interesan para el dimensionamientos de las pantallas dinámicas son:

- Altura (o distancia de separación desde la pared) a la que impacta la roca = 2,41 metros
- Velocidad de impacto = 55,24 m/s

Con estos datos podemos calcular:

- Energía de la pantalla: $\frac{1}{2} \times masa \times velocidad^2 =$
 $1/2 \times 2,8 \text{ toneladas} \times 55,24^2 \text{ m/s} = 4272 \text{ kJulios}$
- Altura de la pantalla dinámica = altura efectiva de la pantalla + banda de ancho no útil medida desde el plano vertical = 2,41 + 0,29 = 2,70 metros
- Longitud de la pantalla para instalar = Longitud de pantalla útil + banda de ancho no útil = 105 (la distancia ya se encuentra sobredimensionada)



imagen 109- Distancia longitudinal sobre la que se situará la pantalla dinámica

6.2.14. PUNTO 14

En este punto se analizan dos posibles opciones de actuación. En los dos casos la medida de protección a emplear es la colocación de pantallas dinámicas en forma de galería, la diferencia entre las dos opciones radica en la altura a la que ambas se colocan. El punto se localiza en una vaguada y estudio la colocación a media ladera donde hay una pequeña zona con poca pendiente y la colocación a pie de talud.

Por lo tanto, el método de análisis de la caída de las rocas será mediante la hoja de excel preparada para calcular con movimientos uniformes las trayectorias de estas.

1ª opción

Los parámetros que se definen el primer caso después de la inspección visual son:

- Altura antes del rebote (H): 150 metros
- Altura desde el rebote hasta el impacto con la carretera (h): 5 metros
- Ángulo de la cara donde rebota la roca (β): 65°
- Coeficiente de restitución de la pared de roca (K): 0,7
- Aceleración de la gravedad (G): $9,8 \text{ m/s}^2$

Se decide este coeficiente de restitución porque la roca lisa tiene la capacidad de reflejar mucha energía y con este valor, además, estamos más cerca del lado de la seguridad.

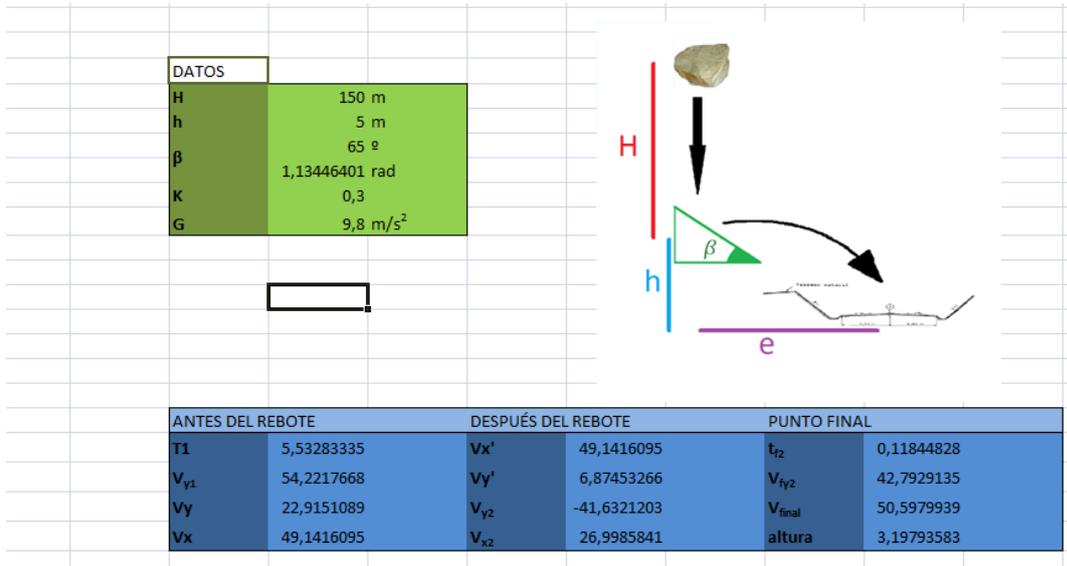


imagen 110- Cálculo del punto 14

A la vista de los resultados, los que interesan para el dimensionamientos de las pantallas dinámicas son:

- Altura (o distancia de separación desde la pared) a la que impacta la roca = 3,19 metros
- Velocidad de impacto = 50,59 m/s

Con estos datos podemos calcular:

- Energía de la pantalla: $\frac{1}{2} \times masa \times velocidad^2 =$
 $1/2 \times 2,8 \text{ toneladas} \times 50,59^2 \text{ m/s} = 3583 \text{ kJulios}$
- Altura de la pantalla dinámica = altura efectiva de la pantalla + banda de ancho no útil medida desde el plano vertical = 3,19 + 0,21 = 3,40 metros
- Longitud de la pantalla para instalar = Longitud de pantalla útil + banda de ancho no útil = 85 metros (incluye la longitud de ancho no útil).

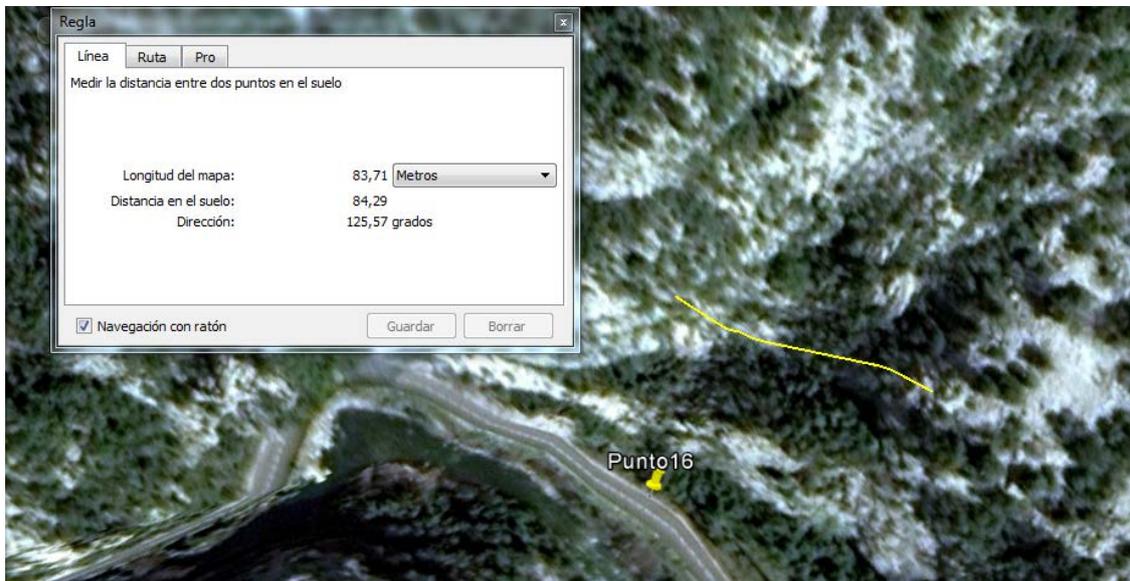


imagen 111- Distancia longitudinal sobre la que se colocará la pantalla

2ª opción

Los parámetros que se definen en este caso después de la inspección visual son:

- Altura antes del rebote (H): 150 metros
- Altura desde el rebote hasta el impacto con la carretera (h): 20 metros
- Ángulo de la cara donde rebota la roca (β): 85°
- Coeficiente de restitución de la pared de roca (K): 0,7
- Aceleración de la gravedad (G): $9,8 \text{ m/s}^2$

Se decide este coeficiente de restitución porque la roca lisa tiene la capacidad de reflejar mucha energía y con este valor, además, estamos más cerca del lado de la seguridad. Este ángulo refleja que la roca ha superado la zona con menos pendiente en su caída.

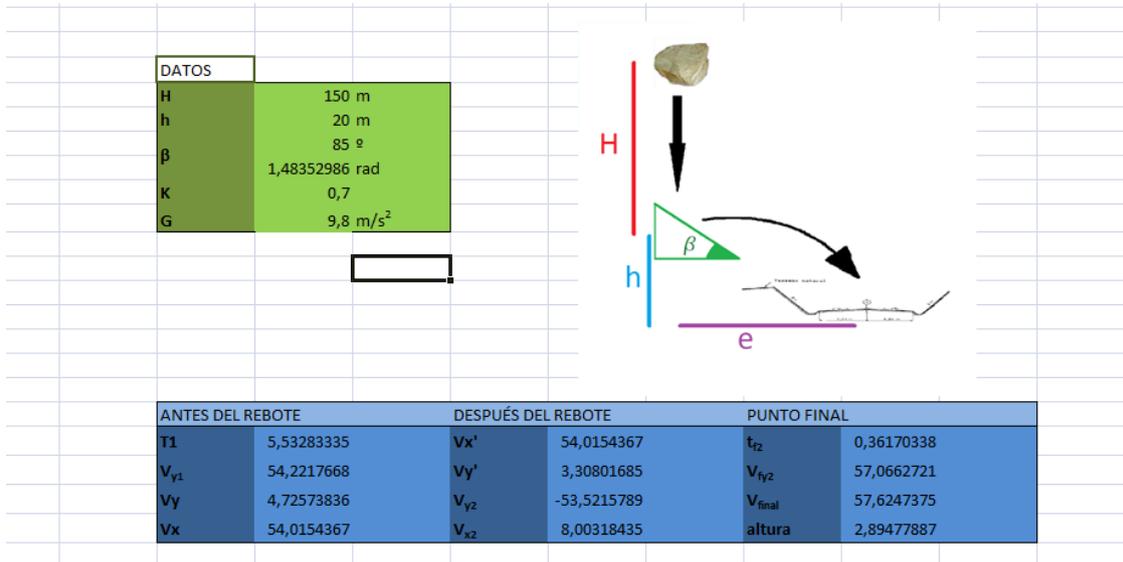


imagen 112- Cálculo de la segunda opción del punto 14

A la vista de los resultados, los que interesan para el dimensionamientos de las pantallas dinámicas son:

- Altura (o distancia de separación desde la pared) a la que impacta la roca = 2,9 metros
- Velocidad de impacto = 57,63 m/s

Con estos datos podemos calcular:

- Energía de la pantalla: $\frac{1}{2} \times masa \times velocidad^2 =$
 $1/2 \times 2,8 \text{ toneladas} \times 57,63^2 \text{ m/s} = 4649,7 \text{ kJulios}$
- Altura de la pantalla dinámica = altura efectiva de la pantalla + banda de ancho no útil medida desde el plano vertical = 2,9 + 0,2 = 3,1 metros
- Longitud de la pantalla para instalar = Longitud de pantalla útil + banda de ancho no útil = 106 + 4 = 110 metros

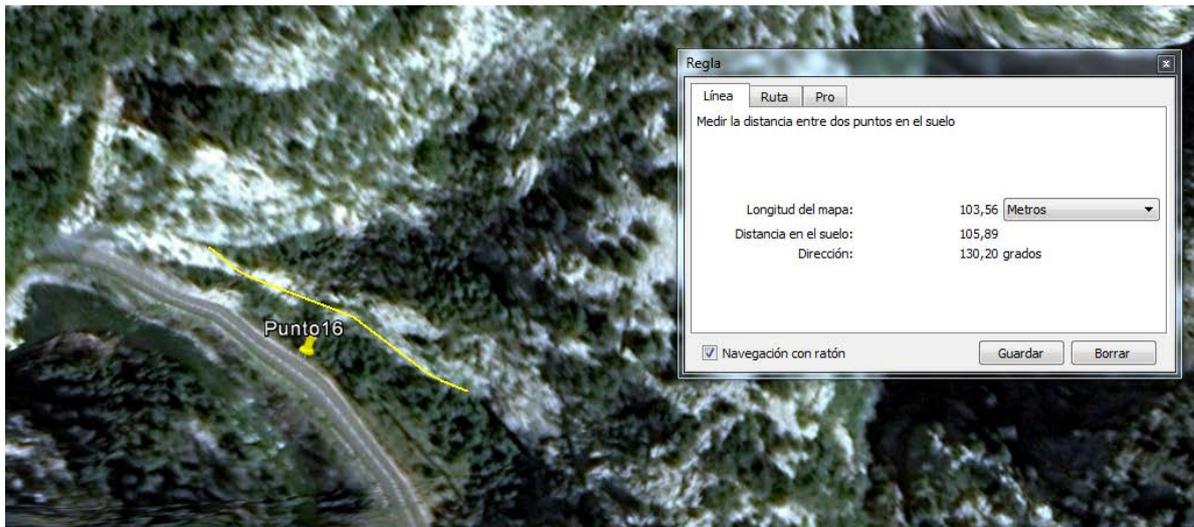


imagen 113- Longitud sobre la que se posicionará la pantalla, medida mediante google earth

En este caso el problema radica en que se pueden producir ambas situaciones y si ocurre el segundo caso, la roca puede superar la primera barrera. Por esta razón en este punto se propone colocar las dos filas de pantallas con el fin de poder detener todos los tipos de desprendimientos que ocurran en este punto.

6.2.15. PUNTO 15

Este caso tiene dos enfoques diferenciados. En ambos, la solución que se propone es la colocación de una pantalla dinámica en galería ya que el talud del terreno es prácticamente vertical aunque en la zona inferior la pendiente es un poco más suave.

Por lo tanto, el método de análisis de la caída de las rocas será mediante la hoja de excel preparada para calcular con movimientos uniformes las trayectorias de estas.

En el primer caso se analiza la caída de la roca y el rebote contra un talud más vertical a media ladera. Los parámetros que se definen después de la inspección visual son:

- Altura antes del rebote (H): 130 metros
- Altura desde el rebote hasta el impacto con la carretera (h): 20 metros
- Ángulo de la cara donde rebota la roca (β): 89°
- Coeficiente de restitución de la pared de roca (K): 0,7



- Aceleración de la gravedad (G): 9,8 m/s²

Se decide este coeficiente de restitución porque la roca lisa tiene la capacidad de reflejar mucha energía y con este valor, además, estamos más cerca del lado de la seguridad.

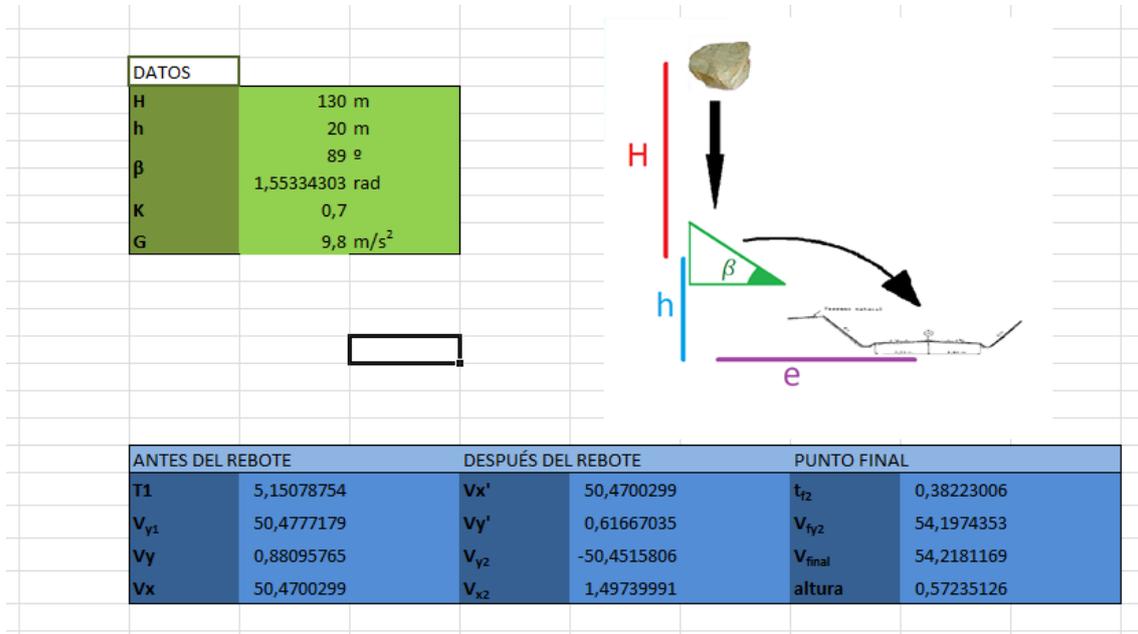


imagen 114- Cálculo del punto 15

A la vista de los resultados, los que interesan para el dimensionamientos de las pantallas dinámicas son:

- Altura (o distancia de separación desde la pared) a la que impacta la roca = 0,58 metros
- Velocidad de impacto = 54,22 m/s

Con estos datos podemos calcular:

- Energía de la pantalla: $\frac{1}{2} \times masa \times velocidad^2 =$
 $1/2 \times 2,8 \text{ toneladas} \times 54,22^2 \text{ m/s} = 4115,8 \text{ kJulios}$
- Altura de la pantalla dinámica = altura efectiva de la pantalla + banda de ancho no útil medida desde el plano vertical = 0,58 + 0,42 = 1 metro
- Longitud de la pantalla para instalar = Longitud de pantalla útil + banda de ancho no útil =

En el segundo caso se analiza la caída de la roca y el rebote contra un talud ligeramente más suave y a poca distancia de la carretera. Los parámetros que se definen después de la inspección visual son:



- Altura antes del rebote (H): 145 metros
- Altura desde el rebote hasta el impacto con la carretera (h): 5 metros
- Ángulo de la cara donde rebota la roca (β): 80°
- Coeficiente de restitución de la pared de roca (K): 0,7
- Aceleración de la gravedad (G): $9,8 \text{ m/s}^2$

Se decide este coeficiente de restitución porque la roca lisa tiene la capacidad de reflejar mucha energía y con este valor, además, estamos más cerca del lado de la seguridad.

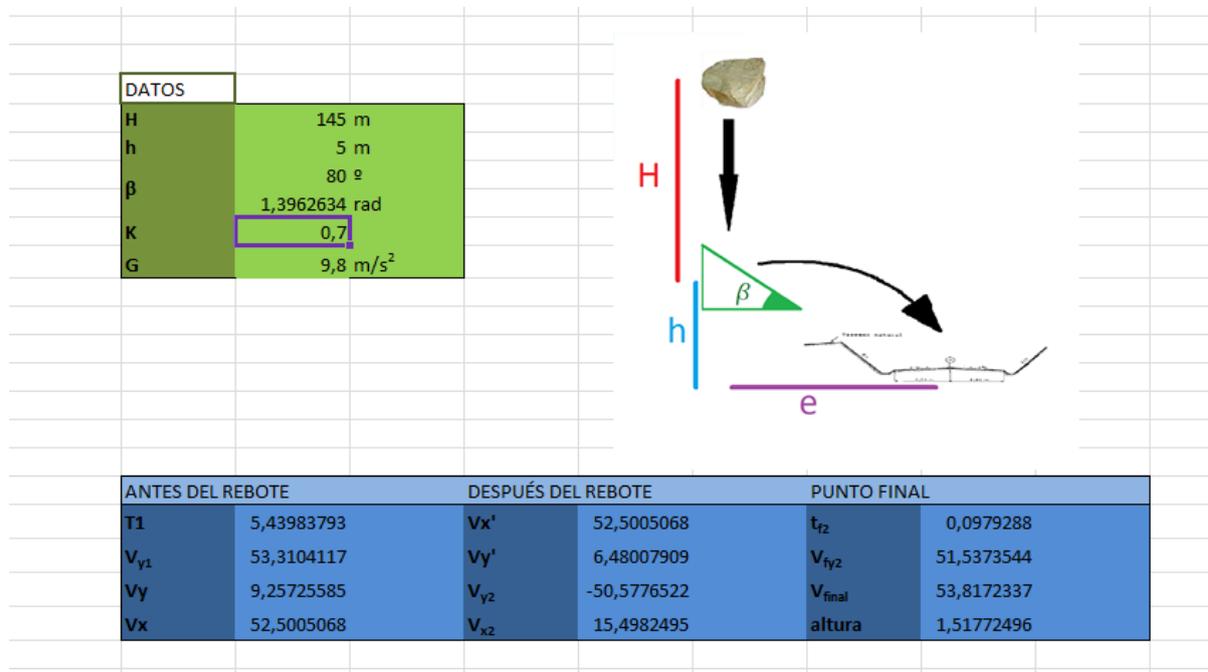


imagen 115- Cálculo del segundo caso del punto 15

A la vista de los resultados, los que interesan para el dimensionamientos de las pantallas dinámicas son:

- Altura (o distancia de separación desde la pared) a la que impacta la roca = 1,52 metros
- Velocidad de impacto = 53,81 m/s

Con estos datos podemos calcular:

- Energía de la pantalla: $\frac{1}{2} \times \text{masa} \times \text{velocidad}^2 =$
 $1/2 \times 2,8 \text{ toneladas} \times 53,81 \text{ m/s} = 4114,22 \text{ kJulios}$



- Altura de la pantalla dinámica = altura efectiva de la pantalla + banda de ancho no útil
medida desde el plano vertical = $1,52 + 0,48 = 2$ metros
- Longitud de la pantalla para instalar = $46,66 +$ margen de seguridad = 50 metros

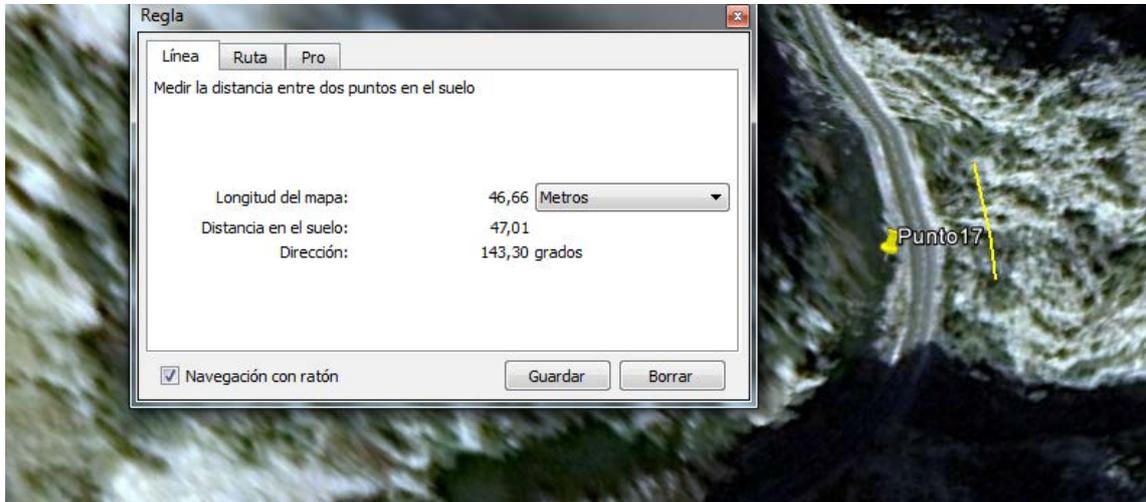


imagen 116- Longitud sobre la que se posicionará la pantalla dinámica

En este caso se da la circunstancia de que la situación más pésima en referencia a la altura de rebote es el segundo caso, con un talud menos inclinado al final de la ladera, pero la peor situación en cuanto a energía que se necesita para frenar los desprendimientos es la primera, con un rebote menor. Se optará por colocar una malla a una altura de 10 metros con la peor altura y el peor valor de energía de los dos casos. De esta manera, la colocación final de la pantalla no afectará al tráfico y nos encontraremos en el lado de la seguridad en las dos suposiciones que se plantean como pésimas.

6.2.16. PUNTO 16

En este caso también existen diferentes situaciones con riesgo que debe abordarse como dos casos distintos.

Primer caso:

Para el cálculo de este punto se utiliza el programa MACro con el que introduciendo los parámetros que se observan del terreno, las propiedades del acero por el que está compuesta la red de cables y la colocación de la misma se puede dimensionar de forma segura la protección.



Nos encontramos con un talud en roca con apariencia inestable y con las siguientes condiciones geométricas:

- Inclinación: se intuye a por la inspección visual que la pendiente es de 60° .
- Espesor inestable: supongo que el espesor es de 1,5 metro.
- Factor de seguridad: 1,5

Las propiedades geotécnicas son:

- Peso específico: utilizaré siempre un peso de 28 kN/m^3 .
- Alfa: la inclinación respecto a la horizontal de la grieta más inestables es de 30°
- JRC: 0,1
- JCS: 100

Los datos insertados para el correcto dimensionamiento de la red de cables son:

- Distancia entre bulones: en vertical se estima óptimo 2,5 metros y en horizontal 3 metros.
- Propiedades del bulón:
 - El ángulo de penetración del bulón desde la horizontal es de 0° .
 - El diámetro del bulón es de 28mm.
 - El límite elástico del acero es de 500 N/mm^2 .
 - El factor de seguridad es de 1,6.
- La adhesión entre el hormigón utilizado para la colocación de los bulones y la roca es de 1,7 MPa.
- El factor de seguridad para el cálculo de la adhesión es de 2.

Con todos estos datos el programa establece que los factores de seguridad del bulón y de la malla superan 1 y, por lo tanto, se asegura su estabilidad (no se requiere un factor más alto porque anteriormente se establecen otros factores que afectan al cálculo de este último).



"Estudio informativo para la determinación de medidas de protección contra la caída de rocas mediante sistemas flexibles en puntos críticos del Desfiladero de la Hermida"

TRABAJO FINAL DE GRADO
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA, 2015
JAVIER SÁNCHEZ BÁSCONES

The screenshot shows the MACRO software interface with several panels:

- ROCK FACE GEOMETRY DATA:** Beta = 60 deg, Model Fs = 1.5.
- GEOTECHNICAL MODEL:** Weight density = 28.0 KN/m³, Seismic coeff. = 0.00, Block Fs = 1.5, Most dangerous joint: Alfa = 30.0 deg, JRC = 0.1, JCS = 100 MPa.
- PROJECT INPUT DATA:** Anchor bars Pattern: Distance H = 3.0 m, Distance V = 2.5 m; Grouting-rock adhesion: Tau lim = 1.7 MPa, Fs Tau lim = 2.0; Fs F ext = 1.00; Anchor bar features: Delta = 0 deg, Diameter = 28 mm, Yield = 500 N/mm², Steel Fs = 1.6; Mesh features: Net type = HEA panel 300mm / 10 mm, Fs net = 1.5.
- OUTPUT:** Warnings: None. Nails: Maximum rock volume per nail = 11.25 m³, Maximum weight per nail = 315 kN, Resistance due to 1 nail = 158.71 kN, Fs nail = ultimate limit state/load combinations = 1.05. Mesh: Maximum volume controlled by the mesh = 1.8 m³, Tension of the mesh = 15.77 kN, Expected net deformation = 0.17 m, Fs net = ultimate limit state/load combinations = 9.13. Status: Nail condition satisfied, Net condition satisfied, The net resist and doesn't deform it self too much.
- NAILS DESIGN:** A diagram showing a square grid with dimensions 2.5 (vertical) and 3.0 (horizontal).
- INSTABILITY MODEL:** A diagram showing a slope with a failure plane at angle BETA, a horizontal distance DELTA, and a vertical distance ALFA.

imagen 117- Interfaz del programa MACro donde aparece el cálculo del punto 16

The image shows two screenshots of Google Earth with a 'Regla' (Ruler) dialog box open. The dialog box has three tabs: 'Línea', 'Ruta', and 'Pro'. The 'Línea' tab is selected, and the text reads 'Medir la distancia entre dos puntos en el suelo'. The results shown are:

- Longitud del mapa: 77,28 Metros
- Distancia en el suelo: 77,29
- Dirección: 116,77 grados

The second screenshot shows the same dialog box with different results:

- Longitud del mapa: 26,57 Metros
- Distancia en el suelo: 26,66
- Dirección: 24,62 grados

Both screenshots show a yellow line drawn on a satellite map of a rocky slope.

imagen 118 - Distancias de cálculo medidas mediante Google Earth

Condiciones de dimensionamiento:

- Longitud: 80 metros
- Anchura: 27 metros
- Tipo de malla: HEA panel 300mm/10mm



Segundo caso:

Como se comenta en los puntos críticos, este talud no tiene una altura elevada pero presenta el inconveniente de un escalón a media altura que puede condicionar la caída. La elección de para la protección contra desprendimientos en este es una pantalla dinámica a la altura en la que se encuentra el escalón, evitando de esta manera que el rebote sea demasiado grande y aprovechando que en este tramo hay espacio entre la calzada y el talud, colocar una pantalla estática de hormigón que pueda detener unos desprendimientos que dada la escasa altura no tendrán una energía elevada.

Por lo tanto, el método de análisis de la caída de las rocas será mediante la hoja de Excel preparada para calcular con movimientos uniformes las trayectorias de estas.

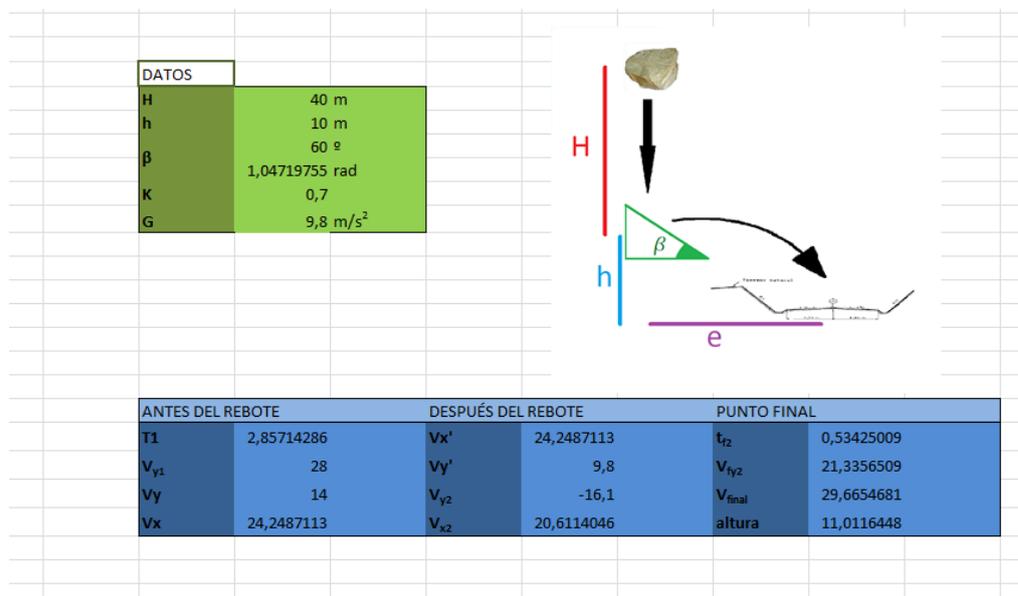


imagen 119 - Cálculo del punto 16, primera opción

Como se puede observar con los cálculos realizados, la colocación de la pantalla a pie de talud nos da una altura que se aleja de cualquier posibilidad de instalación.

Los parámetros que se definen en este caso después de la inspección visual son:

- Altura antes del rebote (H): 30 metros
- Altura desde el rebote hasta el impacto con la carretera (h): 10 metros
- Ángulo de la cara donde rebota la roca (β): 80°
- Coeficiente de restitución de la pared de roca (K): 0,7
- Aceleración de la gravedad (G): 9,8 m/s²

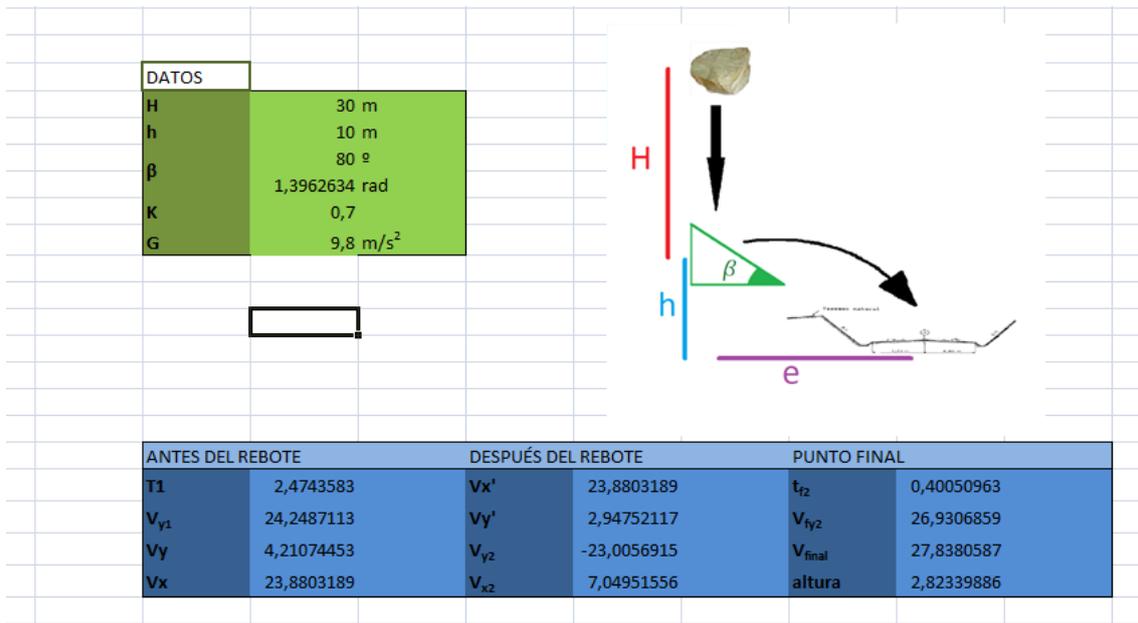


imagen 120- Cálculo de la segunda opción del punto 16

A la vista de los resultados, los que interesan para el dimensionamientos de las pantallas dinámicas son:

- Altura (o distancia de separación desde la pared) a la que impacta la roca = 2,83 metros
- Velocidad de impacto = 27,9 m/s

Con estos datos podemos calcular:

- Energía de la pantalla: $\frac{1}{2} \times masa \times velocidad^2 =$
 $1/2 \times 2,8 \text{ toneladas} \times 27,9^2 \text{ m/s} = 1089,8 \text{ kJulios}$
- Altura de la pantalla dinámica = altura efectiva de la pantalla + banda de ancho no útil medida desde el plano vertical = 2,83 + 0,37= 2,2 metros
- Longitud de la pantalla para instalar = Longitud de pantalla útil + banda de ancho no útil = 30 metros

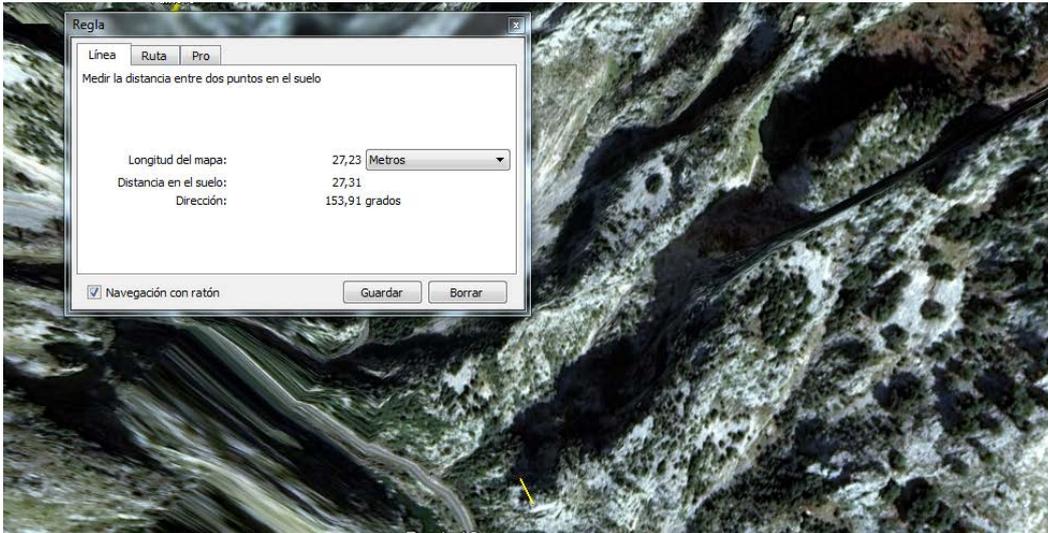


imagen 121 - Cálculo de la distancia de sobre la que irá colocada la pantalla

La pantalla que se colocará debajo será de máxima capacidad energética dentro de las pantallas estáticas que se encuentran en el mercado (500 kj). Las dimensiones de la pantalla estática serán iguales que la pantalla dinámica calculada.

6.2.17. PUNTO 17

En el estudio de este punto se elige como medida de protección la colocación de una pantalla dinámica en forma de galería que detenga los desprendimientos en un talud prácticamente vertical.

Por lo tanto, el método de análisis de la caída de las rocas será mediante la hoja de excel preparada para calcular con movimientos uniformes las trayectorias de estas.

Los parámetros que se definen en este caso después de la inspección visual son:

- Altura antes del rebote (H): 70 metros
- Altura desde el rebote hasta el impacto con la carretera (h): 10 metros
- Ángulo de la cara donde rebota la roca (β): 80°
- Coeficiente de restitución de la pared de roca (K): 0,7
- Aceleración de la gravedad (G): $9,8 \text{ m/s}^2$

Se decide este coeficiente de restitución porque la roca lisa tiene la capacidad de reflejar mucha energía y con este valor, además, estamos más cerca del lado de la seguridad.

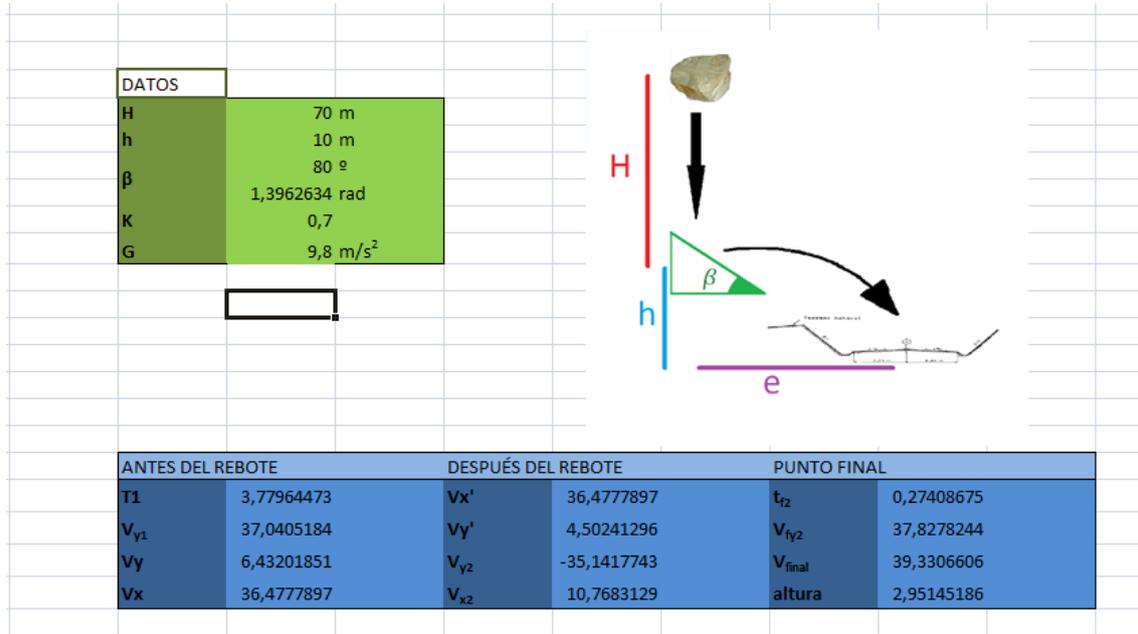


imagen 122 - Cálculo del punto 17

A la vista de los resultados, los que interesan para el dimensionamientos de las pantallas dinámicas son:

- Altura (o distancia de separación desde la pared) a la que impacta la roca = 2,96 metros
- Velocidad de impacto = 39,33 m/s

Con estos datos podemos calcular:

- Energía de la pantalla: $\frac{1}{2} \times masa \times velocidad^2 =$
 $1/2 \times 2,8 \text{ toneladas} \times 39,33^2 \text{ m/s} = 2165,58 \text{ kJulios}$
- Altura de la pantalla dinámica = altura efectiva de la pantalla + banda de ancho no útil medida desde el plano vertical = 2,96 + 0,34 = 2,3 metros
- Longitud de la pantalla para instalar = Longitud de pantalla útil + banda de ancho no útil = 60 metros

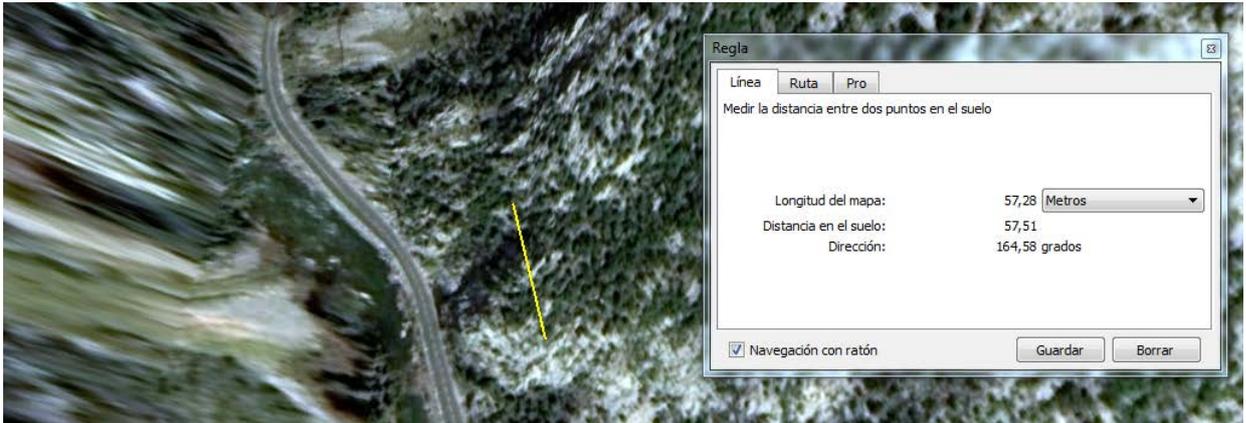


imagen 123- Distancia sobre la que estará colocada la pantalla

6.2.18. PUNTO 18

Para el cálculo de este punto se utiliza el programa MACro con el que introduciendo los parámetros que se observan del terreno, las propiedades del acero por el que está compuesto la red de cables y la colocación de la misma se puede dimensionar de forma segura la protección.

Nos encontramos con un talud en roca con apariencia inestable y con las siguientes condiciones geométricas:

- Inclinación: se intuye a por la inspección visual que la pendiente es de 90° .
- Espesor inestable: supongo que el espesor es de 1 metro.
- Factor de seguridad: 1,5

Las propiedades geotécnicas son:

- Peso específico: utilizaré siempre un peso de 28 kN/m^3 como el peso de la roca caliza para dimensionar todas las medidas de protección, de esta forma me encuentro en el lado de la seguridad al elegir un peso alto.
- Alfa: la inclinación respecto a la horizontal de la grieta más inestables es de 40°
- JRC: 0,1
- JCS: 100

Los datos insertados para el correcto dimensionamiento de la red de cables son:

- Distancia entre bulones: en vertical se estima óptimo 2 metros y en horizontal 1,9 metros.



- Propiedades del bulón:
 - El ángulo de penetración del bulón desde la horizontal es de 10° .
 - El diámetro del bulón es de 28mm.
 - El límite elástico del acero es de 500 N/mm^2 .
 - El factor de seguridad es de 1,6.
- La adhesión entre el hormigón utilizado para la colocación de los bulones y la roca es de 1,7 MPa.
- El factor de seguridad para el cálculo de la adhesión es de 2.

Con todos estos datos el programa establece que los factores de seguridad del bulón y de la malla superan 1 y, por lo tanto, se asegura su estabilidad (no se requiere un factor más alto porque anteriormente se establecen otros factores que afectan al cálculo de este último).

Nails	
Maximum rock volume per nail	6.84 m ³
Maximum weight per nail	191.52 kN
Resistance due to 1 nail	96.21 kN
Fs nail = ultimate limit state/load combinations	1

Mesh	
Maximum volume controlled by the mesh	2.24 m ³
Tension of the mesh	28.26 kN
Expected net deformation	0.45 m
Fs net = ultimate limit state/load combinations	1.89

imagen 124- Interfaz de cálculo del punto 18

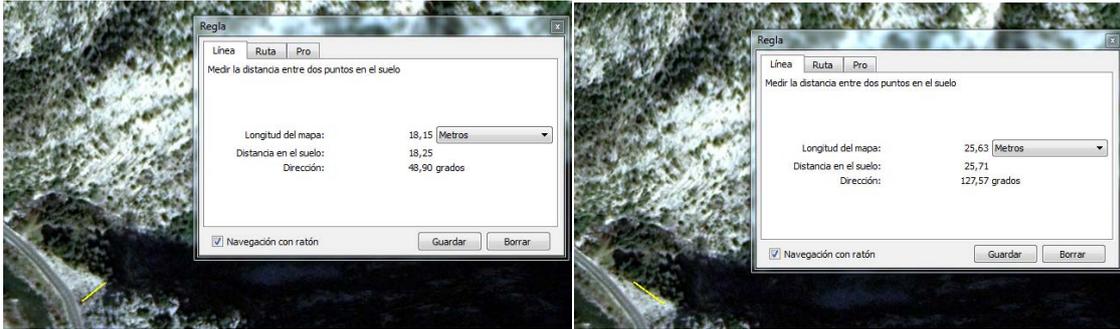


imagen 125- Distancias de dimensionamiento de la malla medidas mediante Google Earth

A la vista de los resultados, tenemos que la malla debe tener:

- Longitud: 26 metros
- Anchura: 20 metros
- Tipo de malla: HEA 300 x 300 mm / 10mm

6.2.19. PUNTO 19

Primer caso

El estudio de este caso se basa en la colocación de una medida de protección que pueda evitar que las rocas que se desprenden a gran distancia de la vía, no recorran el talud consiguiendo demasiada energía. Colocando una pantalla cerca de la zona aparentemente inestable, conseguiremos ese objetivo. La parte inferior a la pantalla, al tener diferentes características geométricas el talud, se estudiarán aparte.

Por lo tanto, el método de análisis de la caída de las rocas será mediante la hoja de Excel preparada para calcular con movimientos uniformes las trayectorias de estas.

Los parámetros que se definen en este caso después de la inspección visual son:

- Altura antes del rebote (H): 30 metros
- Altura desde el rebote hasta el impacto con la carretera (h): 3 metros
- Ángulo de la cara donde rebota la roca (β): 60°
- Coeficiente de restitución de la pared de roca (K): 0,7
- Aceleración de la gravedad (G): $9,8 \text{ m/s}^2$



"Estudio informativo para la determinación de medidas de protección contra la caída de rocas mediante sistemas flexibles en puntos críticos del Desfiladero de la Hermida"

TRABAJO FINAL DE GRADO
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA, 2015
JAVIER SÁNCHEZ BÁSCONES

Se decide este coeficiente de restitución porque la roca lisa tiene la capacidad de reflejar mucha energía y con este valor, además, estamos más cerca del lado de la seguridad.

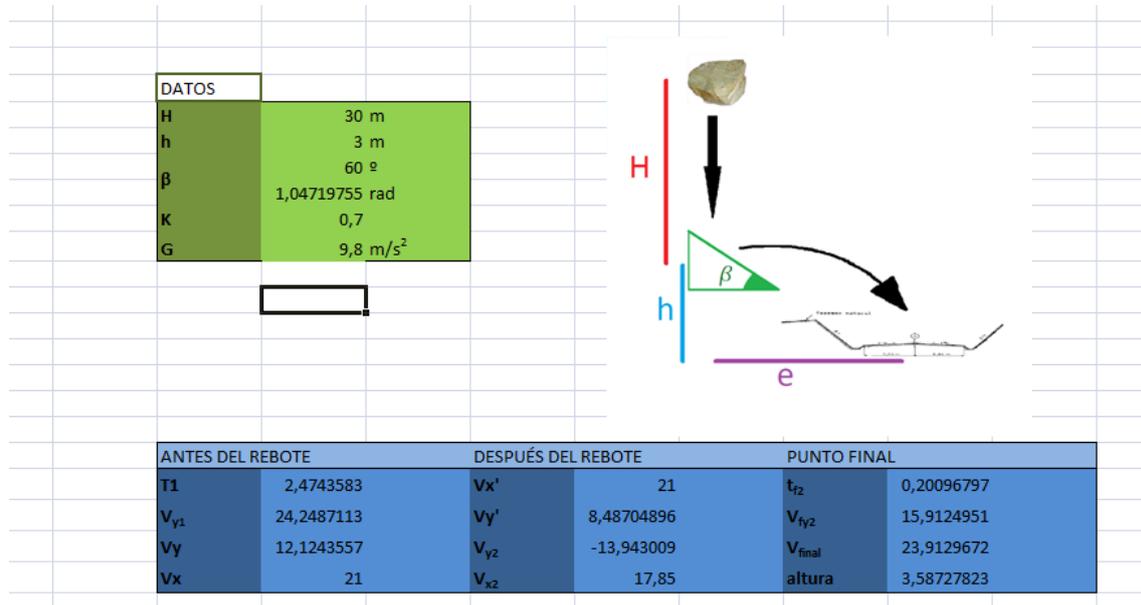


imagen 126- Cálculo del punto 19

A la vista de los resultados, los que interesan para el dimensionamientos de las pantallas dinámicas son:

- Altura (o distancia de separación desde la pared) a la que impacta la roca = 3,58 metros
- Velocidad de impacto = 23,92 m/s

Con estos datos podemos calcular:

- Energía de la pantalla: $\frac{1}{2} \times masa \times velocidad^2 =$
 $1/2 \times 2,8 \text{ toneladas} \times 23,92^2 \text{ m/s} = 801,03 \text{ kJulios}$
- Altura de la pantalla dinámica = altura efectiva de la pantalla + banda de ancho no útil medida desde el plano vertical = 2 metros
- Longitud de la pantalla para instalar = Longitud de pantalla útil + banda de ancho no útil = 40 metros

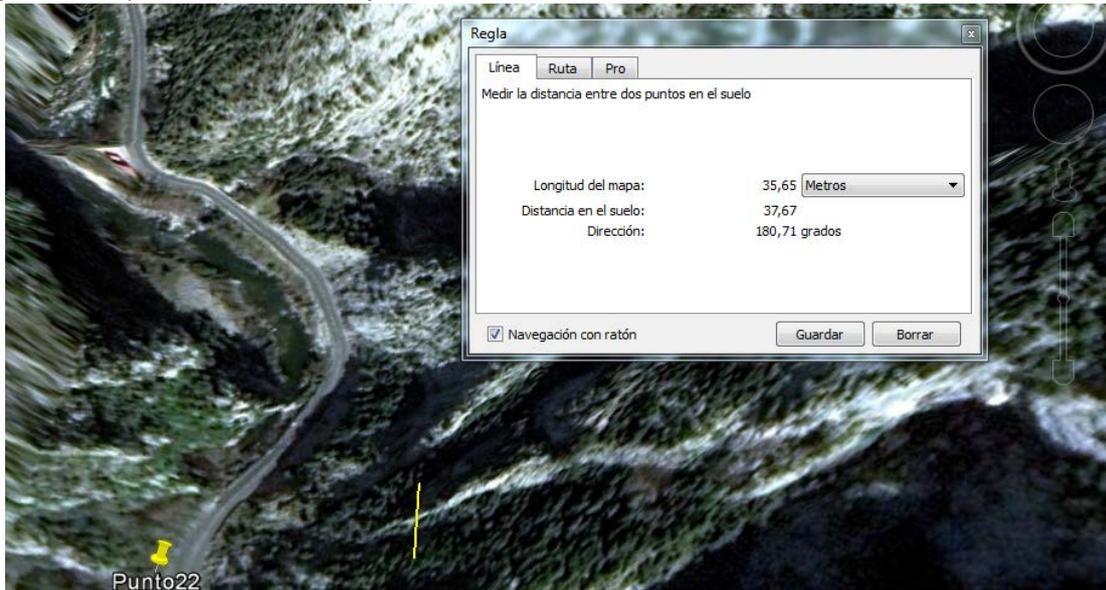


imagen 127- Distancia longitudinal sobre la que se colocará la pantalla

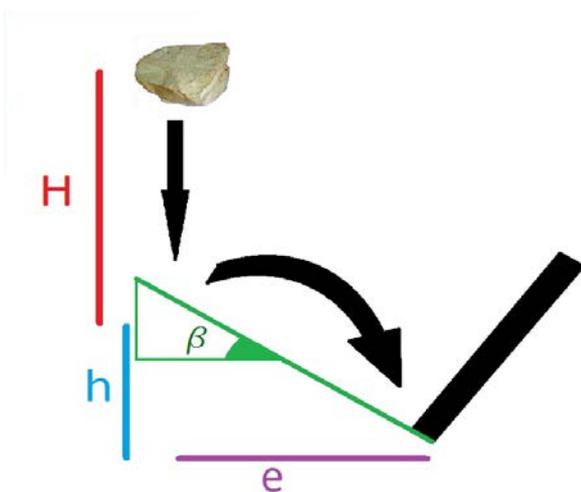


imagen 128- Modo de caída de la roca

En este caso se supone que la altura de la pantalla es inferior que la que da en la hoja de Excel ya que la hoja de Excel refleja el espacio en horizontal y la pantalla se va a colocar perpendicular a la superficie del escalón sobre el borde del mismo a una distancia de 3,5 metros, con lo que la roca impactará contra la pantalla. La altura se elige por seguridad.

Segundo caso:

El estudio de la colocación de una segunda pantalla en este caso se debe a la presencia de animales que pueden desprender rocas del talud que existe por debajo de la pantalla superior.

En este caso, al ser una pendiente más suave, se realiza el cálculo con la ayuda del programa CRSP3D y con una serie de alternativas de caída diferentes a las de los casos anteriores debido a la peculiaridad de la situación. Los datos sobre la geometría de la ladera se obtienen mediante la aplicación de Google Earth.



"Estudio informativo para la determinación de medidas de protección contra la caída de rocas mediante sistemas flexibles en puntos críticos del Desfiladero de la Hermida"

TRABAJO FINAL DE GRADO
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA, 2015
JAVIER SÁNCHEZ BÁSCONES

Se calculan solo dos casos debido a que no se esperan grandes volúmenes ni diferencias de valores entre los mismos, ya que el talud de estudio es mucho más corto.

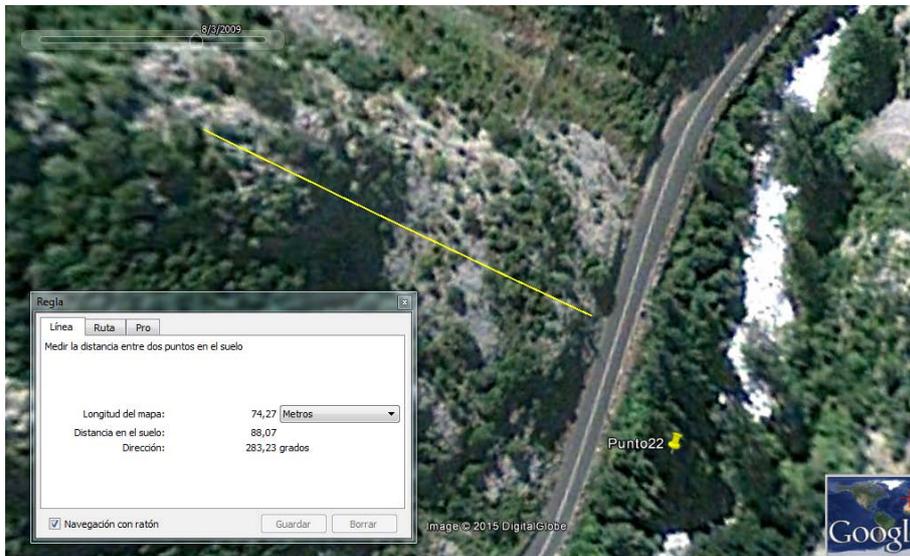


imagen 129- Recorrido de descenso de la roca

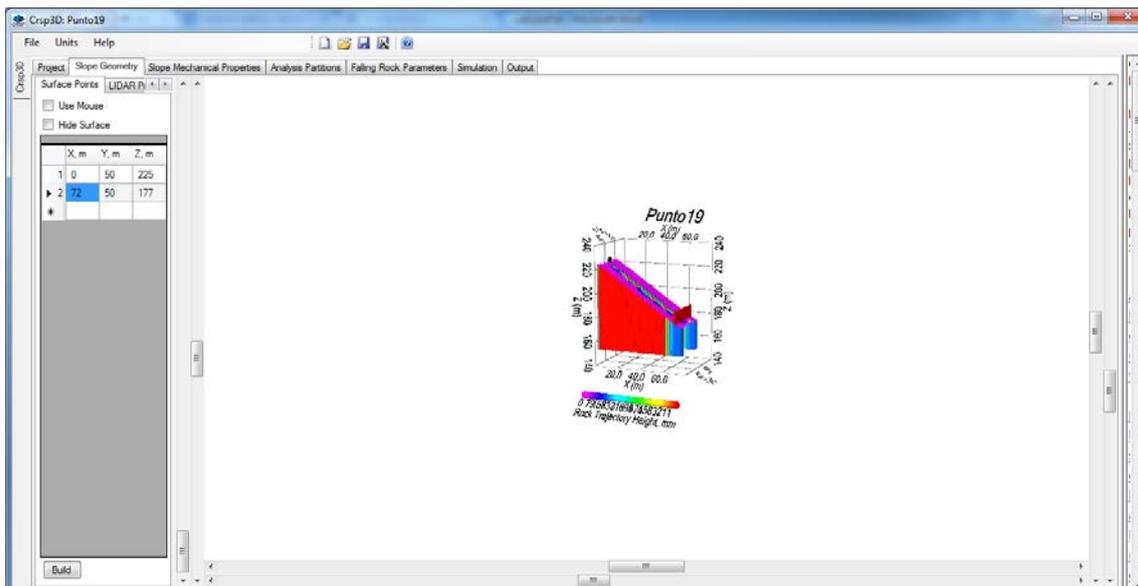


imagen 130 - Pestaña de propiedades geométricas del talud

El segundo paso es meter las propiedades mecánicas del terreno en la pestaña Slope Mechanical Properties. Estas propiedades son:

- Rugosidad (roughness): 0,3-0,7 esto significa que el programa calculará el descenso de las rocas con una dureza que irá variando entre esos dos valores. Estos valores son escogidos porque la pendiente es poco abrupta pero tampoco es completamente lisa.
- Dureza (hardness): 0,7 . Este factor es el que se asemeja al coeficiente de restitución en los rebotes. Se elige solo un valor debido a que al ser tan corto el tramo de talud a



"Estudio informativo para la determinación de medidas de protección contra la caída de rocas mediante sistemas flexibles en puntos críticos del Desfiladero de la Hermida"

TRABAJO FINAL DE GRADO
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA, 2015
JAVIER SÁNCHEZ BÁSCONES

estudiar, la naturaleza del mismo se considera constante. Este valor establece que la roca no absorbe mucha energía y por tanto las rocas rebotan más.

También hay que seleccionar los puntos entre los cuales estas propiedades son constantes.

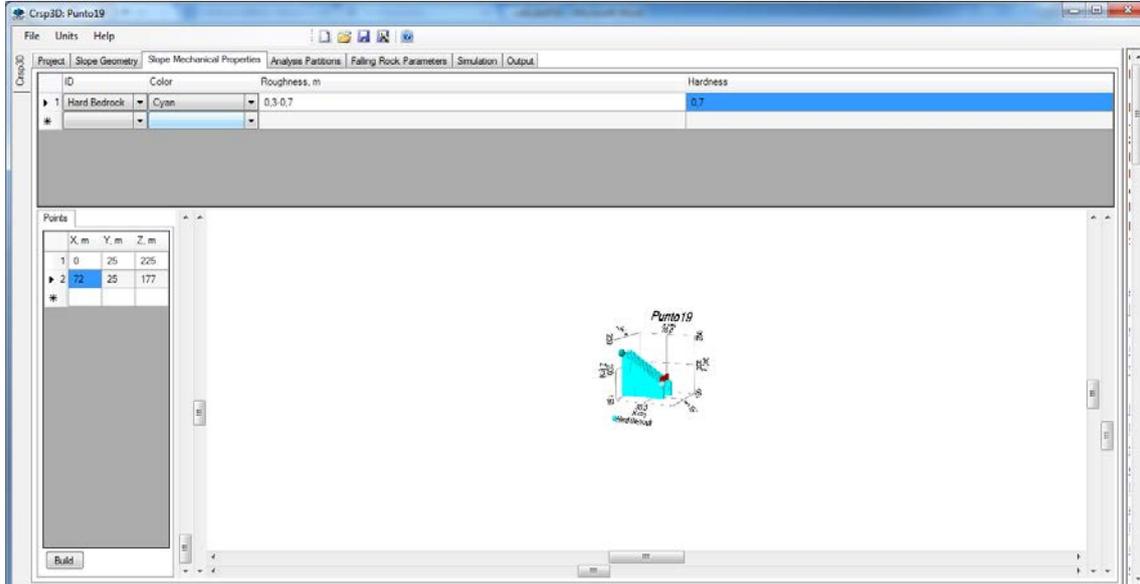


imagen 131- Pestaña de propiedades mecánicas del talud

La pantalla en este caso también se sitúa en el pie del talud, a una distancia prudencial que permita que la pantalla se pueda deformar por cualquier impacto sin que esta misma invada la sección de la vía. La distancia elegida es a 4 metros de la vía.

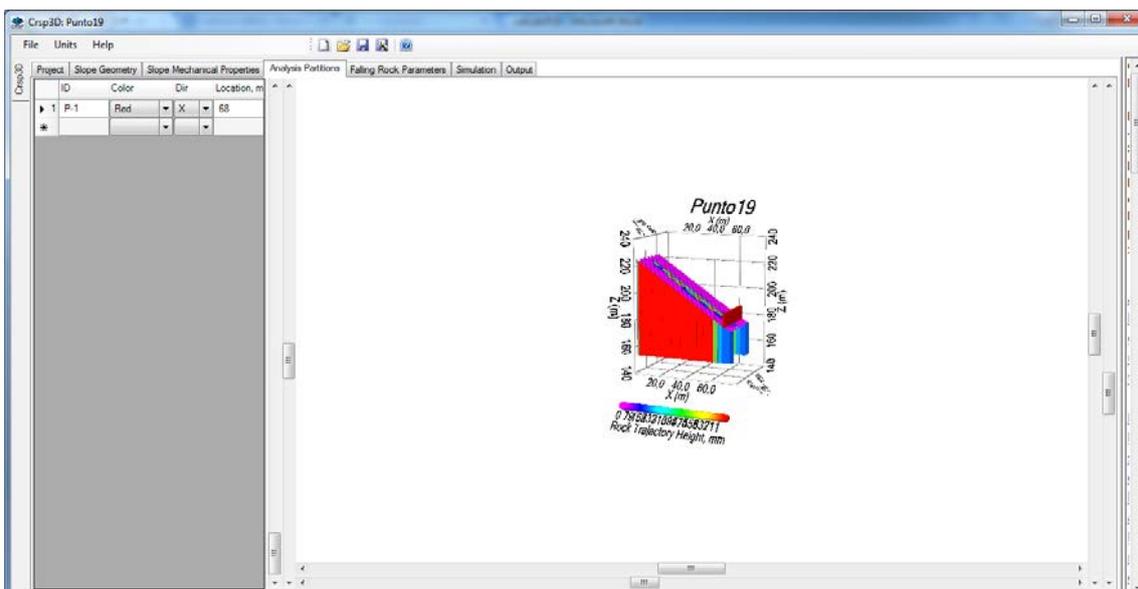


imagen 132- Pestaña de sección de estudio



Las propiedades de la roca tipo, para el primer caso, que se puede desprender son:

- Peso específico: 28 kN/m³
- Número de rocas simuladas: 100
- Forma de la Roca: Esfera
- Diámetro de la Roca: 0,49 metros

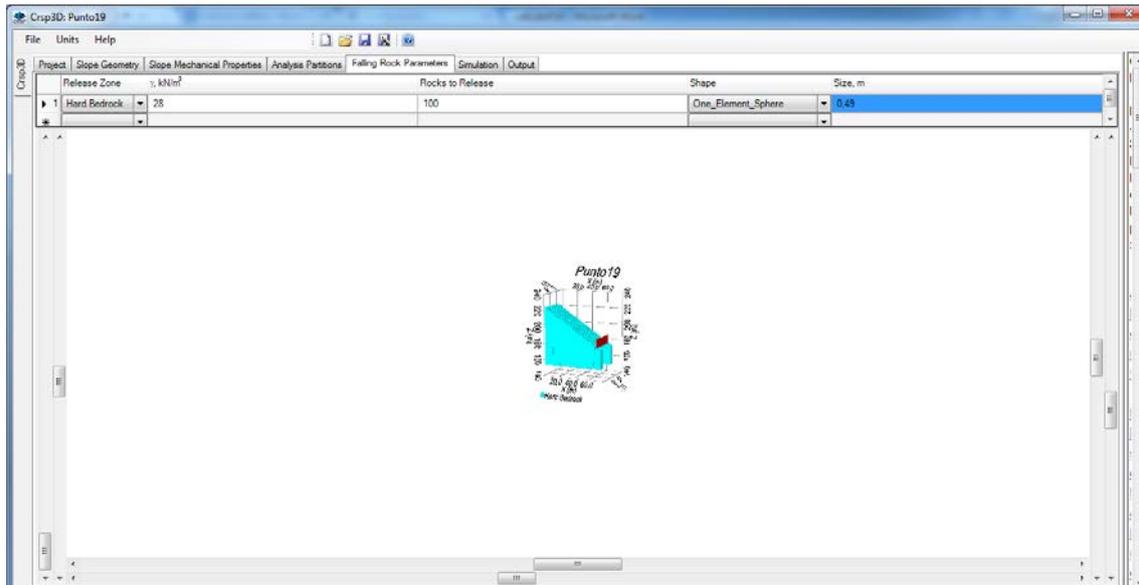


imagen 133- Pestaña de propiedades de la roca en el primer caso

Los resultados se muestran en tablas donde se puede observar la velocidad y la altura de cada roca ensayada. Además se pueden ver gráficas que resumen en que rango se encuentran tanto las velocidades como las alturas. Utilizando estas últimas, sacamos los datos para dimensionar:

- Velocidad: 15 m/s
- Altura: 0,1 m (resultado) + 0,49m (diámetro) + 0,5 m (seguridad) = 1,09 metros.

La energía cinética se obtiene mediante la fórmula: $\frac{1}{2} \times masa \times velocidad^2$

- Volumen = $\frac{4 \times \pi \times r^3}{3} = 0,251 \text{ m}^3$
- Masa = Volumen x Densidad = 0,7 toneladas
- Energía = 78,75 Kjulios



"Estudio informativo para la determinación de medidas de protección contra la caída de rocas mediante sistemas flexibles en puntos críticos del Desfiladero de la Hermita"

TRABAJO FINAL DE GRADO
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA, 2015
DAVID SÁNCHEZ RÁSCONES

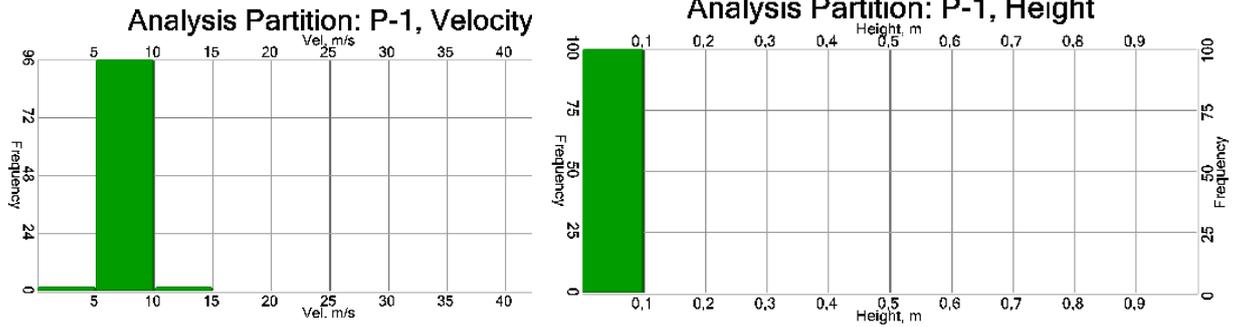


imagen 134 - datos de salida del primer caso

Las propiedades de la roca tipo, para el primer caso, que se puede desprender son:

- Peso específico: 28 kN/m³
- Número de rocas simuladas: 100
- Forma de la Roca: Esfera
- Diámetro de la Roca: 1 metro

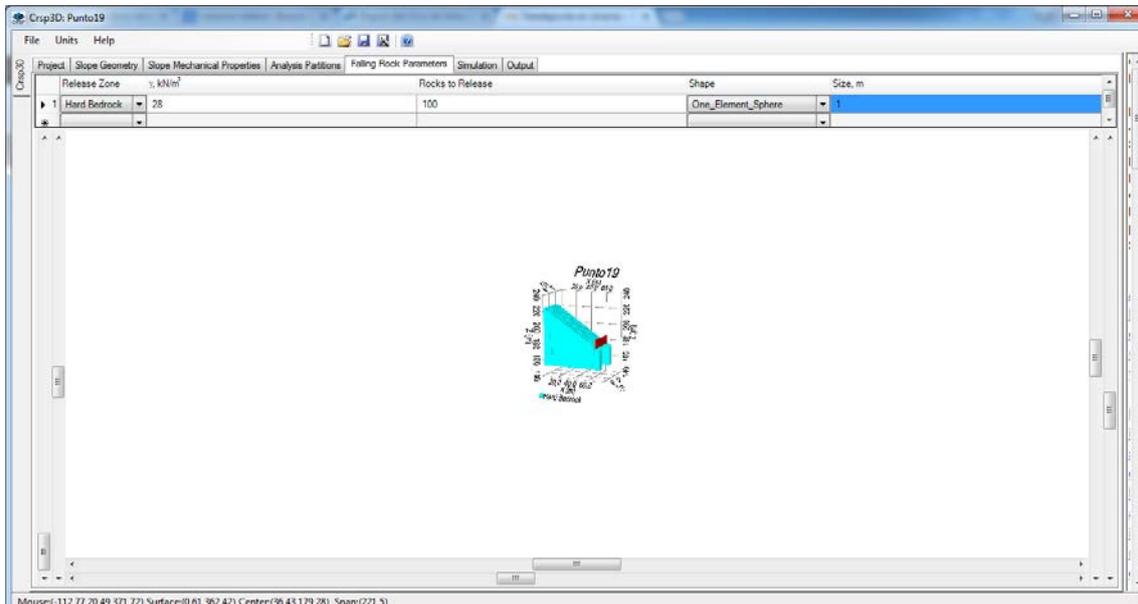


imagen 135- Pestaña de propiedades de las rocas

Los resultados se muestran en tablas donde se puede observar la velocidad y la altura de cada roca ensayada. Además se pueden ver gráficas que resumen en que rango se encuentran tanto las velocidades como las alturas. Utilizando estas últimas, sacamos los datos para dimensionar:

- Velocidad: 20 m/s



"Estudio informativo para la determinación de medidas de protección contra la caída de rocas mediante sistemas flexibles en puntos críticos del Desfiladero de la Hermida"

TRABAJO FINAL DE GRADO
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA, 2015
JAVIER SÁNCHEZ BÁSCONES

- Altura: 0,6 m (resultado) + 1m (diámetro) + 0,2 m (seguridad) = 2 metros.

La energía cinética se obtiene mediante la fórmula: $\frac{1}{2} \times masa \times velocidad^2$

- Volumen = $\frac{4 \times \pi \times r^3}{3} = 0,523 \text{ m}^3$
- Masa = Volumen x Densidad = 1,466 toneladas
- Energía = 293,2 Kjulios

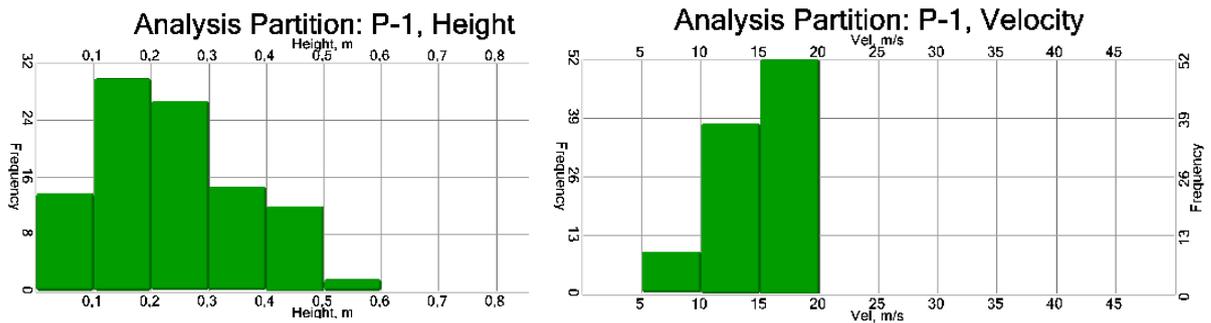


imagen 136- datos de salida del segundo caso

Como se puede comprobar, tanto la altura como la energía requerida son pequeñas ya que las rocas que pueden desprenderse son razonablemente pequeñas y el talud es pequeño y con poca pendiente. Por eso en este caso se instalará una pantalla dinámica de baja energía (superior a 293,2 Kjulios) con una altura de dos metros que podrá detener sin problema cualquier tipo de caída. La longitud de la pantalla dinámica en este caso será de 40 metros.

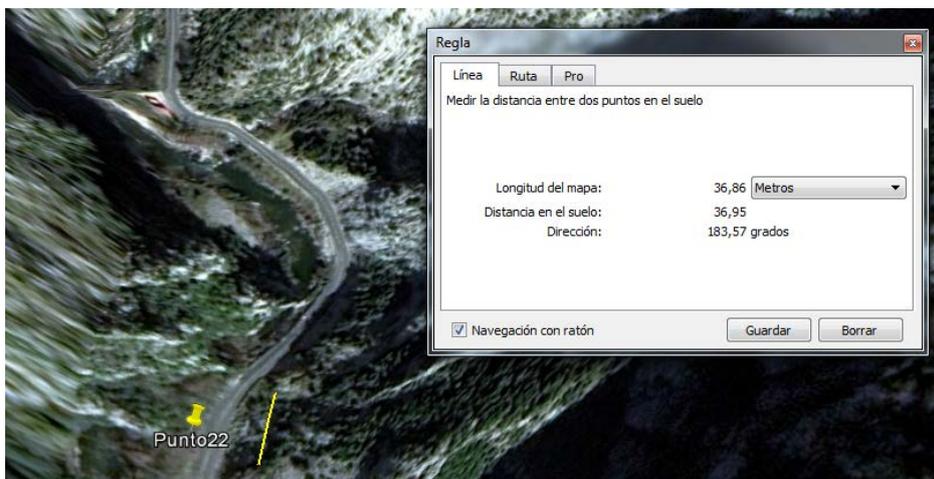


imagen 137- distancia longitudinal sobre la que se situará la pantalla dinámica



7. PRESUPUESTO

Menfis 8.0.78 - Versión evaluación			
			Pág.: 1
		CUADRO DE PRECIOS Nº 1	Ref.: procdpta
		MOVIMIENTO DE TIERRAS	Fec.:
Nº Actividad	Código	Descripción de las unidades de obra	Precio
01	001	MOVIMIENTO DE TIERRAS	
01.01	014	Excavación de la explanación y prestamos. Excavación en roca con martillo hidráulico acoplado a retroexcavadora. DIECIOCHO EUROS CON SESENTA CÉNTIMOS	18.60
01.02	015	Excavación de la explanación y prestamos. Excavación en tierras y tránsito CUATRO EUROS CON CINCO CÉNTIMOS	4.05



Menfis 8.0.78 - Versión evaluación

		Pág.: 2
	CUADRO DE PRECIOS Nº 1	Ref.: procdp1a
	PANTALLAS DINÁMICAS	Fec.:

Nº Actividad	Código	Descripción de las unidades de obra	Precio
02	002	PANTALLAS DINÁMICAS	
02.01	005	PANTALLA DINÁMICA CON CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE 500KJ y 2,5 metros de altura SETECIENTOS OCHENTA Y DOS EUROS CON SETENTA Y SEIS CÉNTIMOS	782.76
02.02	006	PANTALLA DINÁMICA CON CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE 1500KJ y 2,50 metros de altura OCHOCIENTOS NOVENTA Y TRES EUROS CON NOVENTA Y SIETE CÉNTIMOS	893.97
02.03	007	PANTALLA DINÁMICA CON CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE 3000KJ y 2,6 metros de altura MIL CIENTO TRECE EUROS CON SESENTA Y CINCO CÉNTIMOS	1,113.65
02.04	008	PANTALLA DINÁMICA CON CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE 5000KJ y 2,45 metros MIL TRESCIENTOS NOVENTA Y SIETE EUROS CON CINCUENTA Y SEIS CÉNTIMOS	1,397.56

Menfis 8.0.78 - Versión evaluación



Menfis 8.0.78 - Versión evaluación

		Pág.: 3
	CUADRO DE PRECIOS Nº 1	Ref.: procdp1a
	MALLAS	Fec.:

Nº Actividad	Código	Descripción de las unidades de obra	Precio
03	003	MALLAS	
03.01	009	CIERRE DE MALLAS SIMPLE TORSIÓN VEINTIUN EUROS CON SESENTA Y UN CÉNTIMOS	21.61
03.02	010	CIERRE DE MALLAS TRIPLE TORSIÓN COLGADA CATORCE EUROS CON CINCUENTA Y NUEVE CÉNTIMOS	14.59
03.03	011	RED DE CABLES CUARENTA Y CINCO EUROS CON OCHENTA CÉNTIMOS	45.80

Menfis 8.0.78 - Versión evaluación



Menfis 8.0.78 - Versión evaluación

	Pág.: 1
CUADRO DE PRECIOS Nº 2	Ref.: procdp2a
MOVIMIENTO DE TIERRAS	Fec.:

Nº Actividad	Código	Descripción de las unidades de obra	Rendimiento	Precio	Importe
01	001	MOVIMIENTO DE TIERRAS			
01.01	014	Excavación de la explanación y prestamos. Excavación en roca con martillo hidráulico acoplado a retroexcavadora.			
	140	capataz	0.005	22.81	0.11
	141	peon ordinario	0.050	19.74	0.99
	142	peon señalista	0.050	19.74	0.99
	143	retroexcavadora sobre orugas de peso 40tn con martillo picador	0.055	175.64	9.66
	144	retroexcavadora sobre orugas de peso 40tn	0.030	130.08	3.90
	145	camion de tres ejes	0.055	33.67	1.85
	146	canón de vertido	0.100	0.50	0.05
		Clase: Mano de Obra			2.09
		Clase: Maquinaria			15.46
		Costes directos			17.55
		Costes indirectos			1.05
		Coste Total			18.60
01.02	015	Excavación de la explanación y prestamos. Excavación en tierras y tránsito			
	150	capataz	0.001	22.81	0.02
	151	peon ordinario	0.010	19.74	0.20
	152	peon señalista	0.010	19.74	0.20
	153	retroexcavadora sobre orugas de peso 40tn	0.010	130.08	1.30
	154	camión de tres ejes	0.055	33.67	1.85
	155	canon de vertido	0.500	0.50	0.25
		Clase: Mano de Obra			3.82
		Costes directos			3.82
		Costes indirectos			0.23
		Coste Total			4.05

Menfis 8.0.78 - Versión evaluación



Menfis 8.0.78 - Versión evaluación

				Pág.: 2	
		CUADRO DE PRECIOS Nº 2		Ref.: procdp2a	
		PANTALLAS DINÁMICAS		Fec.:	
Nº Actividad	Código	Descripción de las unidades de obra	Rendimiento	Precio	Importe
02	002	PANTALLAS DINÁMICAS			
02.01	005	PANTALLA DINÁMICA CON CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE 500KJ y 2,5 metros de altura			
	050	capataz	0.100	22.81	2.28
	051	oficial de 1ª	0.900	22.72	20.45
	052	oficial2ª	3.600	20.51	73.84
	053	peon especialista	7.200	19.94	143.57
	054	peon señalista	0.950	19.74	18.75
	055	mortero M-450	0.001	75.71	0.08
	056	componentes de pantalla dinámica con capacidad de absorción de energía de hasta 500kj	1.000	375.31	375.31
	057	compresor portátil diesel 10m3/min	1.700	15.59	26.50
	058	martillo manual perforador neumático	1.700	0.78	1.33
	059	grúa autopropulsada 50 tn	0.550	107.89	59.34
	060	anclaje activo definitivo de barra roscada de acero tipo gewi, de 25 mm de diámetro y carga de servicio de 15t	0.400	42.51	17.00
		Clase: Mano de Obra			258.89
		Clase: Maquinaria			87.17
		Clase: Material			375.39
		Resto de obra			17.00
		Costes directos			738.45
		Costes indirectos			44.31
		Coste Total			782.76
02.02	006	PANTALLA DINÁMICA CON CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE 1500KJ y 2,50 metros de altura			
	080	oficial1ª	0.900	22.72	20.45
	081	capataz	0.100	22.81	2.28
	082	compresor de 12 m3	0.500	19.00	9.50
	083	carro de perforación de hasta 6 ml	0.500	29.00	14.50
	084	compresor de 7 m3	0.130	7.00	0.91
	085	martillo perforador	0.130	1.80	0.23
	087	materiales barrera dinámica 1500kj	1.000	500.00	500.00
	086	oficial2ª	3.600	20.51	73.84
	088	peon especialista	7.200	19.94	143.57
	089	peon señalista	0.950	19.74	18.75
	090	grúa autopropulsada 50 tn	0.550	107.89	59.34
		Clase: Mano de Obra			258.89
		Clase: Maquinaria			84.48
		Clase: Material			500.00
		Costes directos			843.37
		Costes indirectos			50.60
		Coste Total			893.97
02.03	007	PANTALLA DINÁMICA CON CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE 3000KJ y 2,6 metros de altura			
	100	compresor de 7 m3		7.00	
	101	oficial1ª	0.900	22.72	20.45
	102	oficial2ª	3.600	20.51	73.84
	103	peon especialista	7.200	19.94	143.57
	104	peon señalista	0.950	19.74	18.75
	105	material pantalla dinámica 3000 kj	1.000	650.00	650.00
	106	compresor 12m3	1.700	19.00	32.30
	107	martillo perforador	1.700	1.80	3.06
	108	carro de perforación	1.700	29.00	49.30
	109	grúa autopropulsada	0.550	107.89	59.34
		Clase: Mano de Obra			256.61
		Clase: Maquinaria			144.00
		Clase: Material			650.00
		Costes directos			1,050.61
		Costes indirectos			63.04
		Coste Total			1,113.65

Menfis 8.0.78 - Versión evaluación



Menfis 8.0.78 - Versión evaluación

	Pág.: 3
CUADRO DE PRECIOS Nº 2	Ref.: procdp2a
PANTALLAS DINÁMICAS	Fec.:

Nº Actividad	Código	Descripción de las unidades de obra	Rendimiento	Precio	Importe
02.04	008	PANTALLA DINÁMICA CON CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE 5000KJ y 2,45 metros			
	120	capataz	0.100	22.81	2.28
	121	oficial1ª	0.900	22.72	20.45
	122	oficial2ª	3.600	20.51	73.84
	123	peon especialista	7.200	19.94	143.57
	124	peon señalista	0.950	19.74	18.75
	125	mterial para la pantalla de capacidad de absorción de 5000 kj	1.000	900.00	900.00
	126	grúa autopropulsada	0.600	107.89	64.73
	127	compresor de 7 m3	1.700	7.00	11.90
	128	compresor de 12 m3	1.700	19.00	32.30
	129	carro de perforación	1.700	29.00	49.30
	130	martillo manual peredorador neumático	1.700	0.78	1.33
		Clase: Mano de Obra			258.89
		Clase: Maquinaria			159.56
		Clase: Material			900.00
		Costes directos			1,318.45
		Costes indirectos			79.11
		Coste Total			1,397.56

Menfis 8.0.78 - Versión evaluación



Menfis 8.0.78 - Versión evaluación

					Pág.: 4
		CUADRO DE PRECIOS Nº 2			Ref.: procdp2a
		MALLAS			Fec.:
Nº Actividad	Código	Descripción de las unidades de obra	Rendimiento	Precio	Importe
03	003	MALLAS			
03.01	009	CIERRE DE MALLAS SIMPLE TORSIÓN			
	040	capataz	0.015	22.81	0.34
	041	oficial1ª	0.140	22.72	3.18
	042	peón especialista	0.070	19.94	1.40
	043	cierre de malla de simple torsion de alambre de acero galvanizado y plastificado de 3mm de diametro y de 40 mm de luz de malla y 1,50 m de altura de cierre, incluidos postes de sujeción y tornillería	1.000	15.47	15.47
		Clase: Mano de Obra			4.92
		Clase: Material			15.47
		Costes directos			20.39
		Costes indirectos			1.22
		Coste Total			21.61
03.02	010	CIERRE DE MALLAS TRIPLE TORSIÓN COLGADA			
	020	PEON	0.200	19.57	3.91
	021	OFICIAL1ª	0.200	22.72	4.54
	022	MARTILLO PERFORADOR	0.100	1.80	0.18
	023	COMPRESOR DE 7 M3	0.100	3.00	0.30
	024	BULON DE ACERO ROSCABLE EN ANCLAJE	0.500	1.25	0.63
	025	MALLA DE TRIPLE TORSIÓN DE 16 MM PARA CUADRÍCULA DE 400X 400	1.000	4.20	4.20
		Clase: Mano de Obra			8.45
		Clase: Maquinaria			0.48
		Clase: Material			4.83
		Costes directos			13.76
		Costes indirectos			0.83
		Coste Total			14.59
03.03	011	RED DE CABLES			
	030	CAPATAZ	0.100	22.81	2.28
	031	OFICIAL1ª	0.200	22.72	4.54
	032	PEON SEÑALISTA	0.100	19.74	1.97
	032	PEON SEÑALISTA	0.200	19.74	3.95
	033	RED DE CABLES CON APERTURA DE MALLA 300X300mm	1.000	22.65	22.65
	034	GRÚA TELESCÓPICA SOBRE NEUMÁTICOS DE 20 TN CON CESTA HOMOLOGADA	0.100	78.20	7.82
		Clase: Mano de Obra			12.74
		Clase: Maquinaria			7.82
		Clase: Material			22.65
		Costes directos			43.21
		Costes indirectos			2.59
		Coste Total			45.80

Menfis 8.0.78 - Versión evaluación



Menfis 8.0.78 - Versión evaluación

				Pág.: 1
		PRESUPUESTO RESUMIDO		Ref.: propre2
		MOVIMIENTO DE TIERRAS		Fec.:
N.º Orden	Descripción de las unidades de obra	Medición	Precio	Importe
01	MOVIMIENTO DE TIERRAS			
01.01	Excavación de la explanación y prestamos. Excavación en roca con martillo hidráulico acoplado a retroexcavadora.	400.00	18.60	7,440.00
01.02	Excavación de la explanación y prestamos. Excavación en tierras y tránsito	2,550.00	4.05	10,327.50
	Total Capítulo 01			17,767.50
02	PANTALLAS DINÁMICAS			
02.01	PANTALLA DINÁMICA CON CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE 500KJ y 2,5 metros de altura	175.00	782.76	136,983.00
02.02	PANTALLA DINÁMICA CON CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE 1500KJ y 2,50 metros de altura	215.00	893.97	192,203.55
02.03	PANTALLA DINÁMICA CON CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE 3000KJ y 2,6 metros de altura	108.00	1,113.65	120,274.20
02.04	PANTALLA DINÁMICA CON CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE 5000KJ y 2,45 metros	310.00	1,397.56	433,243.60
	Total Capítulo 02			882,704.35
03	MALLAS			
03.01	CIERRE DE MALLAS SIMPLE TORSIÓN	720.00	21.61	15,559.20
03.02	CIERRE DE MALLAS TRIPLE TORSIÓN COLGADA	940.00	14.59	13,714.60
03.03	RED DE CABLES	5,160.00	45.80	236,328.00
	Total Capítulo 03			265,601.80
	Total Presupuesto			1,166,073.65

Menfis 8.0.78 - Versión evaluación



"Estudio informativo para la determinación de medidas de protección contra la caída de rocas mediante sistemas flexibles en puntos críticos del Desfiladero de la Hermida"

TRABAJO FINAL DE GRADO
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA, 2015
JAVIER SÁNCHEZ BÁSCONES

Menfis 8.0.78 - Versión evaluación

		Pág.: 1
	RESUMEN DE CAPÍTULOS	Ref.: prores1
		Fec.:

Nº Orden	Código	Descripción de los capítulos	Importe
01	001	MOVIMIENTO DE TIERRAS	17,767.50
02	002	PANTALLAS DINÁMICAS	882,704.35
03	003	MALLAS	265,601.80

TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL 1,166,073.65

13 % Gastos Generales 151,589.57

6 % Beneficio Industrial 69,964.42

TOTAL EJECUCIÓN POR CONTRATA 1,387,627.64

21 % I.V.A. 291,401.80

TOTAL PRESUPUESTO C/IVA 1,679,029.44

Asciende el presupuesto proyectado, a la expresada cantidad de:

UN MILLON SEISCIENTOS SETENTA Y NUEVE MIL VEINTINUEVE EUROS CON CUARENTA Y CUATRO CÉNTIMOS

22 de Junio de 2015

LA PROPIEDAD

LA DIRECCIÓN TÉCNICA

LA CONSTRUCTORA

Fdo:

Fdo:

Fdo:

Menfis 8.0.78 - Versión evaluación



"Estudio informativo para la determinación de medidas de protección contra la caída de rocas mediante sistemas flexibles en puntos críticos del Desfiladero de la Hermida"

TRABAJO FINAL DE GRADO
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA, 2015
JAVIER SÁNCHEZ BÁSCONES

8. PLANOS



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA
PROYECTO FIN DE CARRERA

TIPO
ESTUDIO

TÍTULO
MEDIDAS DE PROTECCIÓN

TERMINO MUNICIPAL
PENSARUBIA
PROVINCIA
CANTABRIA

TÍTULO DEL PLANO
PANTALLAS DINÁMICAS
COLLOCACIÓN ALTA ENERGÍA

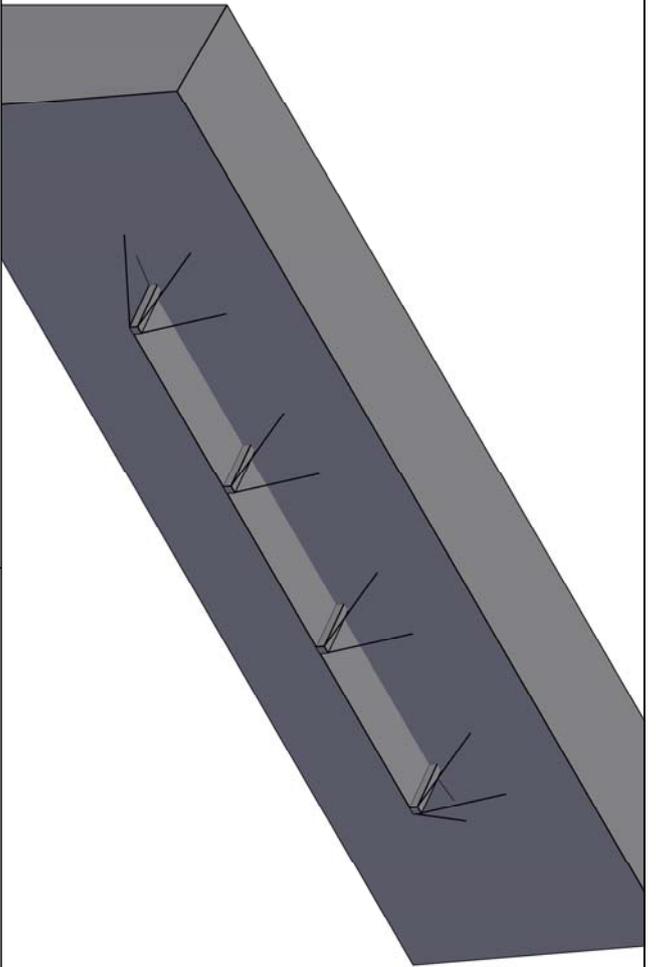
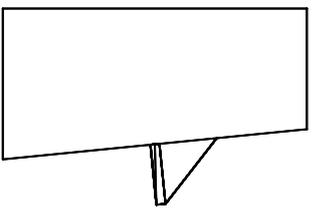
AUTOR
JAVIER SANCHEZ BASCONES

ESCALA
1/50

FECHA
23/6/2015



PLANO N
1





ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA
PROYECTO FIN DE CARRERA

TIPO
ESTUDIO

TÍTULO
MEDIDAS DE PROTECCIÓN

TERMINO MUNICIPAL
PENARRUBIA
PROVINCIA
CANTABRIA

TÍTULO DEL PLANO
ANCLAJE Y CABLE DE ACERO

AUTOR
JAVIER SANCHEZ BASCONES

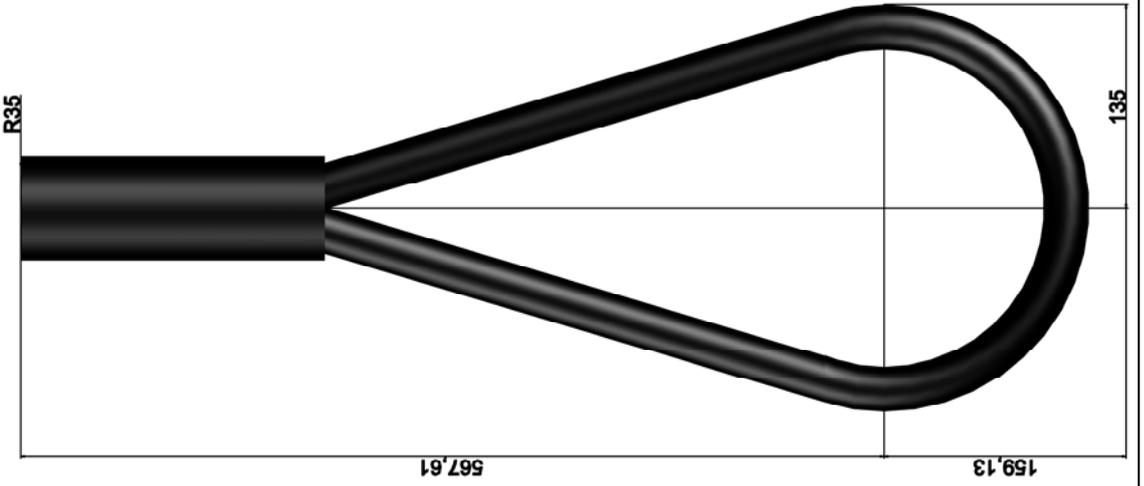
ESCALA
1/5

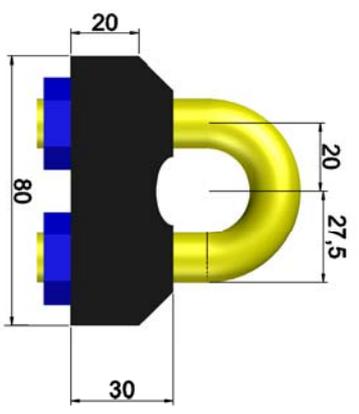
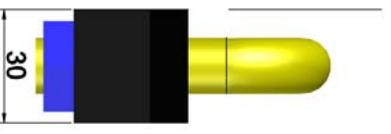
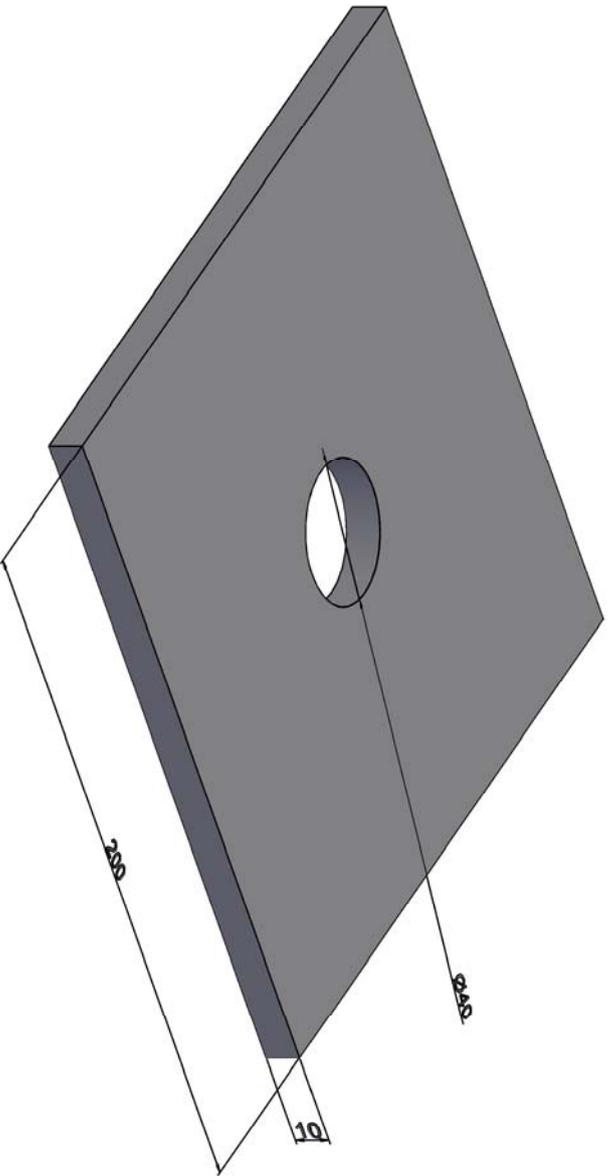
FECHA
23/6/2015



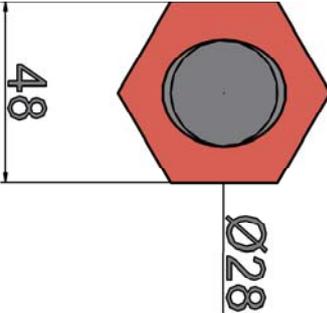
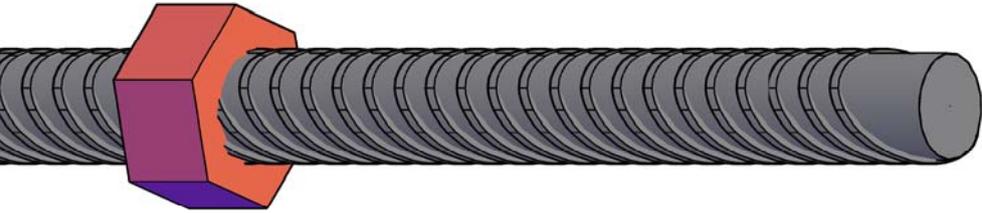
NORTE

PLANO N
4





<p>ESUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS UNIVERSIDAD DE CANTABRIA PROYECTO FIN DE CARRERA</p>	<p>TIPO ESTUDIO</p>	<p>TITULO MEDIDAS DE PROTECCION</p>	<p>TERMINO MUNICIPAL PENARUBIA PROVINCIA CANTABRIA</p>	<p>TITULO DEL PLANO PLACA BASE Y SUJETABLE</p>	<p>AUTOR JAVIER SANCHEZ BASCONES</p>	<p>ESCALA 1/2</p>	<p>FECHA 23/6/2015</p>	<p>NOTA </p>	<p>PLANO N 3</p>
---	-------------------------	---	--	--	--	-----------------------	----------------------------	--	----------------------

	<p>ESCOLA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS UNIVERSIDAD DE CANTABRIA PROYECTO FIN DE CARRERA</p>	<p>TIPO ESTUDIO</p>	<p>TÍTULO MEDIDAS DE PROTECCIÓN</p>	<p>TERMINO MUNICIPAL: PENARRUBIA PROVINCIA: CANTABRIA</p>	<p>TÍTULO DEL PLANO: BULÓN Y TUERCA</p>	<p>AUTOR: JAVIER SANCHEZ BASQUINES</p>	<p>ESCALA: 1/2</p>	<p>FECHA: 23/6/2015</p>	<p>NOORTE</p> 	<p>PLANO N: 2</p>
										



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
UNIVERSIDAD DE CÁDIZ
PROYECTO FIN DE CARRERA

TIPO
ESTUDIO

TÍTULO
MEDIDAS DE PROTECCIÓN

TERRIO MUNICIPAL
PENARJUNA
PROVINCIA
CANTABRIA

TÍTULO DEL PLANO
GRAPAS ANTIDESLIZANTES

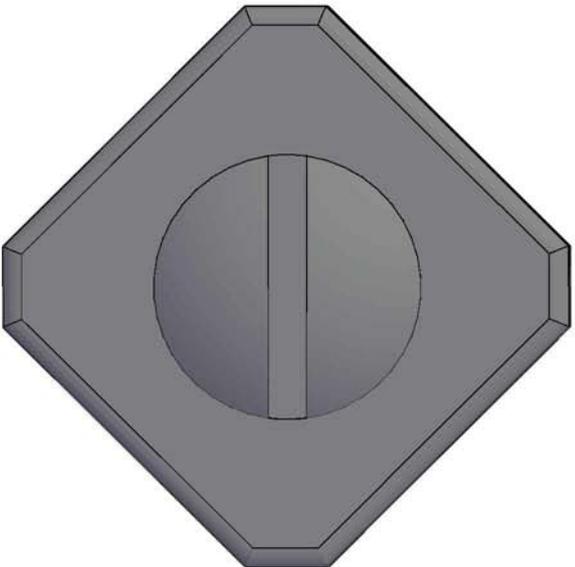
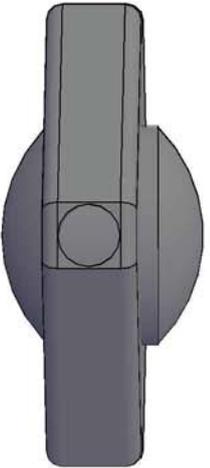
AUTOR
JAVIER SÁNCHEZ BANCINES

ESCALA
1/2

FECHA
23/6/2015



NORTE
PLANO N
5





ESUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA
PROYECTO FIN DE CARRERA

TIPO
ESTUDIO

TITULO
MEDIDAS DE PROTECCION

TERMINO MUNICIPAL
PENSARREUJIA
PROVINCIA
CANTABRIA

TITULO DEL PLANO
PICA DE COORDINACION

AUTOR
JAVIER SANCHEZ BASCONES

ESCALA
1/

FECHA
23/6/2015

NORTE

PLANO N
6





9. BIBLIOGRAFÍA

1. **Muñoz, Francisco Ballester.** *Sistemas de protección contra desprendimientos de rocas.* Santander : s.n.
2. **Fernández, Elena Blanco.** *Sistemas flexibles de alta resistencia para la estabilización de taludes. Revisión de los métodos de diseño existentes y propuesta de una nueva metodología de dimensionamiento.* Santander : s.n., 2011.
3. **Quijada, Luis López.** *Desarrollo y análisis de una pantalla dinámica para la disipación de impactos de baja energía, como elementos de protección contra la caída de rocas, utilizando modelos matemáticos, programas de elementos finitos y ensayos de laboratorio.* Santander : s.n., 2007.
4. **Department of Transportation of Colorado.** *CRSP 3D User manual.* Denver : s.n., 2012.
5. **Malla Talud Cantabria.** *Sistema de estabilización de estabilización flexible de terrenos.* Santander : s.n., 2004.
6. —. *Malla de protección ligera de triple torsión.* Santander : s.n., 2004.
7. —. *Protección pasiva contra desprendimientos.* Santander : s.n., 2004.
8. **Instituto Geológico y Minero de España.** *Mapa geológico de España Careña- Cabrales.* Oviedo : s.n., 1977.
9. **Skempton, Alec Westley.** Residual strength of clays in landslides, folded strata and laboratory. *Géotechnique.* 1985.
10. **Maccaferri.** *MACcaferri ROckfall protection system.* Bologna : s.n.
11. **Alvarez, Pedro.** Las lluvias del lunes provocaron el gran desprendimiento del Desfiladero de la Hermida. *Diario Montañas.* 2014.
12. —. Nuevo desprendimiento de rocas en el Desfiladero de la Hermida. *Diario Montañas.* 2014.

RESUMEN

El estudio informativo tiene un objetivo claro, la determinación de los puntos críticos que se encuentran en el Desfiladero de la Hermida y que suponen un riesgo debido a la frecuencia de los desprendimientos que pueden llegar hasta la carretera.

El proceso de selección de esos puntos comienza con una breve introducción en la que se tienen en cuenta todos los parámetros que hacen necesaria una intervención en el desfiladero: la situación clave para el tránsito de personas y mercancías entre la comarca de Liébana y el resto de Cantabria y los numerosos antecedentes de desprendimientos. Otro parámetro a tener en cuenta antes de realizar el estudio es el análisis de las medidas de protección empleadas hasta la fecha en otras zonas del desfiladero. Principalmente en el desfiladero se encuentran membranas flexibles y pantallas dinámicas.

Para ampliar el conocimiento sobre las medidas de protección se realiza una descripción breve de los métodos más usuales, tales como: cunetas o cunetones, membranas flexibles, redes de cables de protección activa, falsos túneles, purga de material, gunitado o colocación de pantallas. Las pantallas a su vez pueden ser dinámicas o estáticas en función de cómo disipan la energía del impacto.

Previo paso a la determinación de los puntos críticos, se realiza un análisis geológico del terreno. En él se observa que la mayor parte del desfiladero está formada por diferentes tipos de roca caliza aunque también existen terrenos blandos formados por depósitos del cuaternario.

La selección de los puntos se realiza mediante inspección visual y rellenando una tabla que recoge los datos más significativos. Todos los factores que determinan la caída de las rocas son principalmente los que nos pueden ayudar a calcular la energía necesaria para detener o impedir el movimiento de las rocas.

De esta manera se identifican 19 puntos en los cuales hay riesgo de que pueda suceder un desprendimiento. En esta fase se determina cuál es el más acertado de los métodos para poder detener los mismos. En el caso de no estar claro cuál es la solución más apropiada se estudiarán todas las posibles.

Siguiendo con el estudio, el siguiente paso es el cálculo de las medidas de protección que se realizan dependiendo del problema, de la siguiente manera:

- Talud de pequeña altura de roca inestable se calcula mediante MACro
- Talud de pequeña altura con terreno blando inestable se calcula mediante una hoja de Excell.
- Talud de gran altura y poca pendiente se calcula mediante el programa Colorado Rockfall Simulator 3D.
- Talud vertical y de gran altura de roca se calcula mediante una hoja de Excell.

Una vez calculadas y elegidas las opciones más favorables como medidas de protección, se propone estimar un coste total de la ejecución de la obra. Los precios de las unidades de obra se obtienen de un cuadro de precios proporcionado por el gobierno de Cantabria.

Por último se elaboran una serie de planos de piezas que se utilizan en las membranas flexibles y un plano de colocación de una pantalla dinámica de alta energía sobre un talud vertical. Todos estos planos tienen poco detalle ya que la misión principal de los planos es ilustrar estos elementos sin añadir datos técnicos.

ABSTRACT

The informative research has got a clear goal, determination of the critical points that there are in the "Desfiladero de la Hermida" and they can be a risk due to the frequency of the landslides that fall to the road.

The process of selection of this points begins with a brief introduction where are taken in account all of the parameters that make necessary a intervention in the coomb : the key situation for the movements of people and freight between the village of Liébana and rest of Cantabria and the several record of landslide. Another parameter that is good for knowing before realization of the research is the analysis of the protection measures that are used in others zones of the coomb. Mainly in the coomb, there are flexible systems anchored and protection barriers.

To increase knowledge over the protection measures after that there is a description of the most common methods, as: ditch, false tunnel, movements of material, gunned or placement of the barriers. The barriers can be dynamics or statics because they dissipate the energy in different way.

Before a determination of the critical points, there is an geologic analysis of the soil. In this analysis, it is possible to see that the biggest part of coomb is formed for different types of limestone although also exists soils that is formed by quaternary deposits.

Selection of the points is made trough visual inspection and filling a table that has got the most important data. All the factors that make the falling of the rocks are mainly the factors that they can help to calculate the necessary energy to stop the movements of the rocks.

With this process it is possible to find 19 points where there are risk of landslides. In this step are decided the most appropriated solution to stop the landslide.

Following with the research, the next step is the calculation of the protection measures that can be different depending of the problem:

- Slope of rock with small height is calculated by MACro
- Slope of soil with small height is calculated by Excell
- Slope with high height and small gradient is calculated by Colorado Roackfall Simulator 3D.

- Vertical slope of rock and high height is calculated by Excell

With the solutions calculated, the next phase is to calculate the cost of the works in the coomb. The price of the works are obtained by a document of the Government of Cantabria.

Finally, there are some drawings about elements that form the mesh and the barriers. This drawings haven't got especial details because the purpose is to show the shape of this things.