



UNIVERSIDAD DE OVIEDO  
FACULTAD DE GEOLOGÍA

TRABAJO FIN DE MASTER

**ESTUDIO GEOTÉCNICO DE “LA PLANTA DE  
LA HERRADURA” (MIERES DEL CAMÍN)**

**ALVARO DE CASTRO DE CASTRO**

MASTER OFICIAL EN RECURSOS GEOLOGICOS E INGENIERIA  
GEOLOGICA

FEBRERO 2017



D. ALVARO DE CASTRO DE CASTRO, autor del Trabajo Fin de Máster titulado “Estudio geotécnico de “La Planta de la Herradura” (Mieres del Camín)”, confirma que es un trabajo original y solicita su presentación en el Máster Universitario en Recursos Geológicos e Ingeniería Geológica de la Universidad de Oviedo.

En Oviedo, a 2 de Febrero de 2017

Fdo. ALVARO DE CASTRO DE CASTRO

D. VICENTE GOMEZ RUIZ DE ARGANDOÑA, Profesor del Máster Universitario en Recursos Geológicos e Ingeniería Geológica del Departamento de Geología de la Universidad de Oviedo, confirma que ha tutelado el trabajo “Estudio geotécnico de “La Planta de la Herradura” (Mieres del Camín)” realizado por D. ALVARO DE CASTRO DE CASTRO, y autoriza su presentación y defensa como Trabajo Fin de Máster en el Máster Universitario en Recursos Geológicos e Ingeniería Geológica de la Universidad de Oviedo.

En Oviedo, a 2 de Febrero de 2017

Fdo. VICENTE GOMEZ RUIZ DE ARGANDOÑA



## **AGRADECIMIENTOS**

La finalización de este trabajo Fin de Máster ha sido posible gracias al apoyo, interés y trabajo de varias personas.

En primer lugar quiero dar mi agradecimiento a mi tutor Vicente Gómez Ruiz de Argandoña, por su trabajo, comprensión e interés mostrado durante la ejecución del mismo.

Muestro también mi gratitud al Ilmo. Ayuntamiento de Mieres, en especial al Dpto. de Obras Públicas, del cual nació la idea para este trabajo, proporcionando la ayuda e información necesaria sobre la que se basa este proyecto.

Dar las gracias a Adán Lanza García por su ayuda desinteresada y de gran valor.

Y por último pero por ello no menos importante, quiero dar mi más sincero agradecimiento a mis personas más allegadas, porque con su apoyo y confianza, han facilitado la finalización de este trabajo.



## ÍNDICE

Resumen	Pág. 1
1.- OBJETIVOS	2
2.- INTRODUCCIÓN	2
3.- SITUACIÓN GEOGRÁFICA	2
4.- GEOLOGÍA	Pág.3
4.1.- Encuadre geológico regional	3
4.2.- Litoestratigrafía general	4
4.3.- Encuadre geológico local	5
4.4.- Litoestratigrafía local	6
4.5.- Tectónica regional	7
4.6.- Tectónica local	9
4.7.- Hidrogeología regional	10
4.8.- Hidrogeología local	10
5.- METODOLOGÍA DE TRABAJO	Pág.11
5.1.- Introducción	11
5.2.- Estudios de gabinete	11
5.3.- Estudios de campo	12
5.4.- Estudios cartográficos	12
5.5.- Estudios de laboratorio	13
5.6.- Estudios geotécnicos	13
6.- ESTUDIO DE CAMPO	Pág.14
6.1.- Introducción	14
6.2.- Estaciones Geomecánicas	14
6.3.- Estudios Técnicos en campo	31
7.- ESTUDIOS CARTOGRÁFICOS	Pág. 33
7.1.- Introducción	33
7.2.- Cartografía topográfica	33
7.3.- Cartografía geológica	36
7.4.- Cartografía temática	36
8.- ESTUDIOS DE LABORATORIO	Pág. 37
8.1.- Introducción	37
8.2.- Preparación de la muestra	38
8.3.- Densidad de suelo húmedo	38
8.4.- Densidad de suelo seco	40



<b>8.5.- Humedad natural</b>	<b>42</b>
<b>8.6.- Granulometría</b>	<b>44</b>
<b>8.7.- Límites de Atterberg</b>	<b>57</b>
<b>8.7.1.- Límite líquido</b>	<b>58</b>
<b>8.7.2.- Límite plástico</b>	<b>62</b>
<b>8.7.3.- Cálculos asociados a los límites</b>	<b>64</b>
<b>8.8.- Clasificación del suelo</b>	<b>66</b>
<b>9.- ESTUDIOS GEOTÉCNICOS</b>	<b>Pág. 70</b>
<b>9.1.- Introducción</b>	<b>70</b>
<b>9.2.- Modelización hidrológica</b>	<b>71</b>
<b>9.3.- Parámetros geotécnicos</b>	<b>74</b>
<b>9.3.1.- Introducción</b>	<b>74</b>
<b>9.3.2.- Propiedades geotécnicas</b>	<b>75</b>
<b>9.3.3.- Modelizaciones</b>	<b>81</b>
<b>10.- ANÁLISIS GEOTÉCNICO</b>	<b>Pág. 90</b>
<b>11.- CONCLUSIONES</b>	<b>91</b>
<b>12.- BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>93</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>Pág. 95</b>



## Resumen

El estudio geotécnico de La Planta de la Herradura, forma parte del proyecto LIFEHYGENET (Hydraulic co-generation system in wáter abduction and distribution network), llevado a cabo por el Ayuntamiento de Mieres del Camín, en asociación con Fundación Pro dintec, Servo Ship, Ingemas y FAEN (Fundación Asturiana de la Energía). El proyecto LIFEHYGENET, en fase temprana de anteproyecto, recopila el estudio necesario para la futura construcción de unas instalaciones energéticas. La finalidad del proyecto es aproximarse al cumplimiento de los acuerdos de la Comisión Europea en cuanto al aumento en el empleo de fuentes de energía renovables y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

El informe geotécnico realizado en La Planta de la Herradura realiza la caracterización geológico-geotécnica de la ladera donde se ubicará posteriormente la planta energética. La finalidad de este trabajo es realizar la caracterización geológico-geotécnica de la zona donde se ubica la planta, determinada por las propiedades de los materiales, la naturaleza de las distintas inestabilidades, así como la modelización y propuesta de medidas de estabilización para las zonas afectadas. Todo ello se realizará teniendo en cuenta las normativas vigentes, y apoyándose en software de obra pública y geología que se adecue a las necesidades, de tal forma que se pueda sistematizar y precisar todo lo posible la metodología de trabajo.

## Abstract

The geotechnical study of the Hydrological Plant La Herradura, is part of LIFEHYGENET Project (Hydraulic co-generation system in water abduction and distribution network), carried by the Mieres del Camín Town hall, in association with PRODINTEC foundation, Servo ship, INGEMAS and La FAEN (Asturian Foundation of Energy). The early draft of the LIFEHYGENET project compile necessary studies for the future construction of nail energy facilities. The aim of the project is approaching the fulfillment of the agreements of the European Commission about the increasing of renewable sources of energy use and reducing emissions of greenhouse gases effect.

The geotechnical report made in “La Herradura” plant performs the geological-geotechnical characterization of the slope where the power plant will be placed later. The purpose of this work is to perform the geological-geotechnical characterization of the area where the plant is located that is determined by the properties of the materials, the nature of the various instabilities, as well as ,the modeling and the proposal of stabilization measures in the affected areas. This work will be done keep in mind the regulations, and relying on the public works and geological software that



is needed, in a way, the pocedure could be mechanise and made it accurate as far as possible.

## **1.- OBJETIVOS**

En el presente informe se recoge la caracterización geológico-geotécnica de los materiales que se encuentran en el entorno de las futuras instalaciones de producción de energía que se van a realizar en la zona de La Herradura (Mieres). La finalidad de este trabajo, en fase de anteproyecto, es identificar junto con las características geológico-geotécnicas, la naturaleza de las distintas inestabilidades que se puedan dar en dichos materiales y que puedan generar afecciones al correcto funcionamiento de las instalaciones eléctricas, así como la modelización y propuesta de medidas de estabilización para las zonas afectadas por diferentes factores geomorfológicos e inestabilidades y el cálculo de cimentaciones para la planta hidroeléctrica.

## **2.- INTRODUCCIÓN**

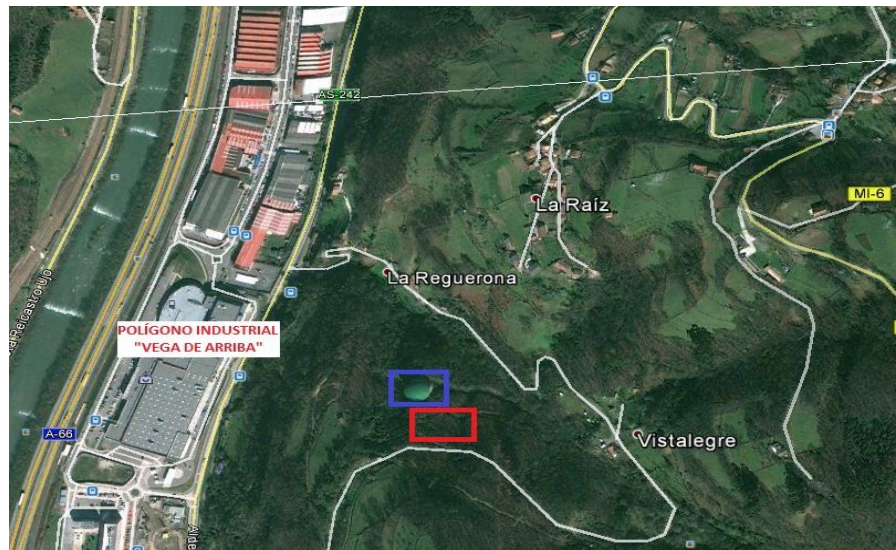
El Ayuntamiento de Mieres del Camín, en asociación con la Fundación Pro dintec, Servo Ship, Ingemas y la FAEN (Fundación Asturiana de la Energía) están desarrollando un proyecto denominado LIFEHYGENET (Hydraulic co-generation system in wáter abduction and distribution network). El diseño de las instalaciones se traduce en la puesta en marcha de un sistema de recuperación de energía, por medio de un grupo turbina-generator, a través de las conducciones de agua existentes. La finalidad del proyecto es aproximarse al cumplimiento de los acuerdos de la Comisión Europea en cuanto al aumento en el empleo de fuentes de energía renovables y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

Una vez llevado a cabo los estudios topográficos e hidrológicos correspondientes, se determina que la instalación eléctrica se llevará a cabo entre el depósito de La Herradura y la válvula de reducción de presión situada aguas arriba de este.

## **3.- SITUACIÓN GEOGRÁFICA**

Geográficamente, la zona de estudio se ubica en el concejo de Mieres del Camín, hacia el Sur en el centro de Asturias. Los estudios y las obras pertinentes se realizan en la parte alta del pueblo de Salto d`Agües, inmediatamente detrás del depósito de La Herradura como se puede apreciar en la Figura 1. Este depósito constituye la red de abastecimiento local de aguas del pueblo de Mieres. El acceso se realiza hacia el sur por la carretera regional AS-242 hacia las localidades de Figaredo y Santullano,

teniendo que desviarse por la carretera local que conduce al pueblo de La Reguerona. Este acceso local es bastante abrupto y estrecho, la carretera se encuentra en bastante mal estado.



**Figura 1:** Localización geográfica del área de estudio (recuadro rojo) y del depósito de La Herradura (recuadro azul). Foto modificada de Google Earth. Coordenadas de ubicación de la zona: 43° 13'42.05'' N 5° 46'37.89'' O

## 4.- GEOLOGÍA

En este apartado se exponen las características relacionadas con la geología regional del entorno de esta zona de Asturias, así como las características geológicas de la zona de estudio y del entorno de las futuras instalaciones eléctricas.

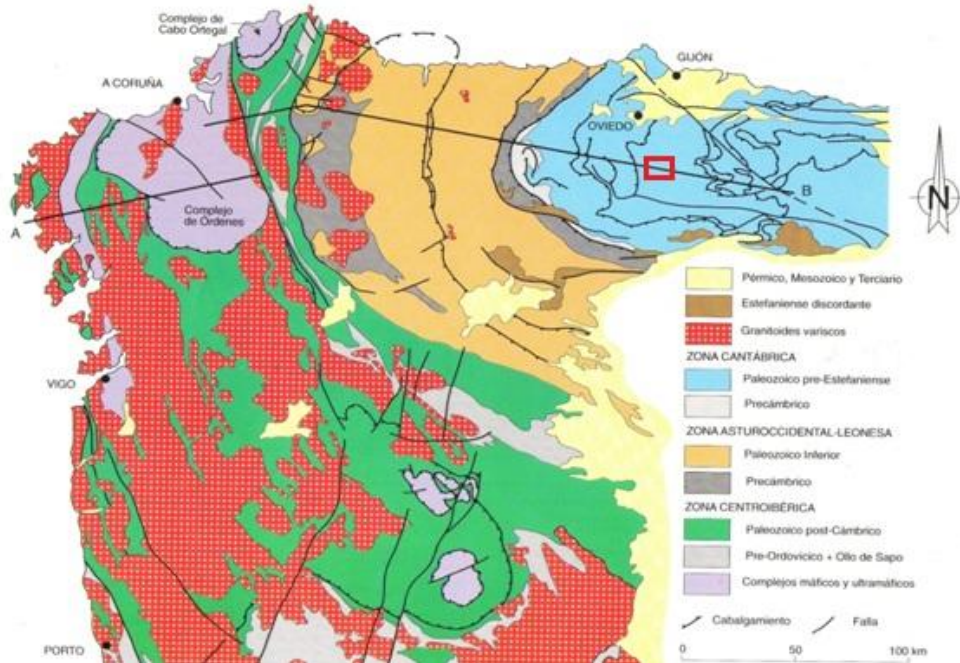
### 4.1.- Encuadre geológico regional

Geológicamente hablando, la zona de estudio se localiza en el Macizo Hespérico ó Hercínico, una de las divisiones en que se separa geológicamente a la Península Ibérica. Dentro de este macizo la zona estudiada se encuentra en la Cuenca Carbonífera Central en adelante mencionada como CCC (Figura 2), una de las cinco subdivisiones de la Zona Cantábrica (Lotze, 1945) realizadas y publicadas por (Julivert, 1971). La Zona Cantábrica (Figura 3) está constituida fundamentalmente por materiales paleozoicos que presentan una marcada curvatura denominada Arco o Rodilla Astúrica. En ella se distinguen una serie de unidades menores:

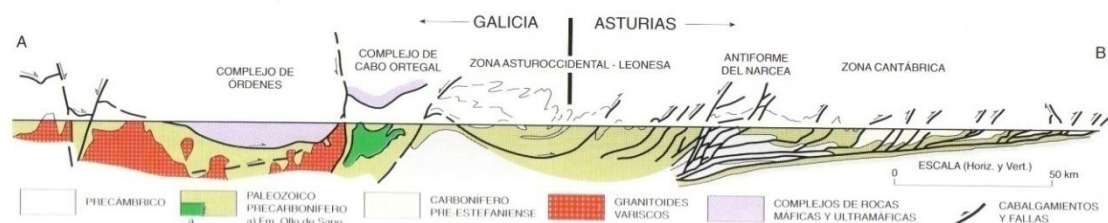
- Región de Pliegues y Mantos
- Unidad de la Cuenca Carbonífera Central
- Unidad del Ponga



- Unidad de Picos de Europa
- Unidad de Pisuerga-Carrión



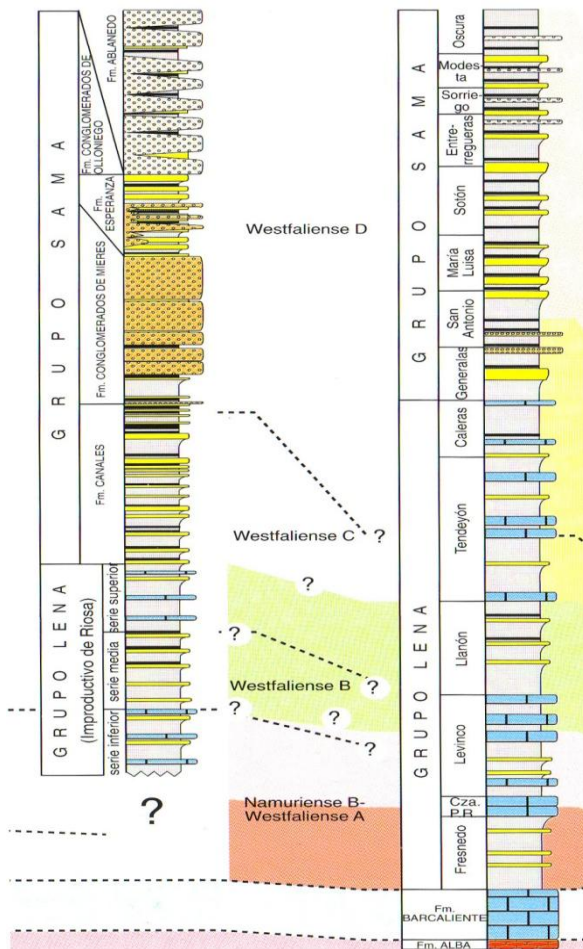
**Figura 2:** Mapa de situación, sobre la parte norte del macizo hespérico, de la CCC y en recuadro rojo, situación de la zona de estudio. Basado en Julivert, M., (1971).



**Figura 3:** Corte geológico a través de la Cordillera Cantábrica entre los puntos A y B situados en el mapa geológico. Basado en Julivert, M., (1971).

#### 4.2.- Litoestratigrafía general

La sucesión carbonífera de la CCC se encuentra formada por una alternancia de areniscas, pizarras y capas de carbón con intercalaciones ocasionales de bancos de caliza en la mitad de la parte inferior; también aparecen conglomerados con cantos de diferentes orígenes (localmente denominada “pudinga carbonífera”) y brechas.



**Figura 4:** Columnas estratigráficas seleccionadas de la sucesión sinorogénica correspondientes a los grupos Lena y Sama. Adaptadas de Villa y Heredia, 1988; con modificaciones tomadas de otros autores.

marinos y continentales, que constituyen el productivo propiamente dicho, integrado por los paquetes “Caleras”, “Generalas”, “San Antonio”, “M<sup>a</sup> Luisa”, “Sotón”, “Enterterregueras”, “Sorriego”, “Modesta” y “Oscura”. La Cuenca presenta un espesor total del orden de los 6.000 metros, de los cuales aproximadamente 4500 m son de origen marino y 1500 m provienen de depósitos continentales.

### 4.3.- Encuadre geológico local

A nivel local, la zona de estudio se localiza entre los paquetes productivos de “Caleras”, “Generalas” y “San Antonio”, en el sector de Aller – Nalón, anteriormente descrito. Especificar en qué parte de estos paquetes productivos se encuentra la zona de estudio es complicado debido a la gran abundancia de vegetación y la escasa presencia de afloramientos (exceptuando la zona de ubicación de la turbina y el acceso a través de la pista), pero dada la proximidad existente con los paquetes inmediatamente por encima de los mismos (“María Luisa” y “Sotón”), la situación

En la CCC y desde el punto de vista litoestratigráfico, por encima de la Caliza de Montaña se diferencian habitualmente dos tramos, el inferior considerado como “Improductivo” y el superior o “Productivo”, también conocidos como “Grupo Lena” y “Grupo Sama” (Figura 4) aunque, respectivamente, no son totalmente coincidentes. En general, se considera como “Improductivo” a la sucesión carbonato-detrítica que constituye el Paquete Fresnedo a cuyo techo aflora un potente nivel carbonatado denominado “Caliza Masiva” o “Caliza de Peñarredonda”, situándose por encima los paquetes “Levinco”, “Llanón” y “Tendejón” (García-Loygorri et al., 1971) que algunos consideran como los primeros paquetes productivo, debido a que se ha realizado alguna explotación de carácter local, pero que en ámbito general se toma como improductivo. La edad del último paquete sería ya Westfaliense C. Por encima se sitúa una potente sucesión alternante de sedimentos



aproximada podría ser el paquete “San Antonio”. Cada uno de estos paquetes presenta un espesor de entre 600 y 800 m formando un espesor en conjunto cercano a los 2000 m de los cuales solo se dispone de unos 150 m de afloramiento, correspondientes los primeros 130 m a la pista de acceso y los 20 m restantes a la explanación donde irá ubicada la turbina la turbina.

#### **4.4.- Litoestratigrafía local**

Dado que no se sabe precisamente la correspondencia estratigráfica en el área de estudio, a continuación se describirán los paquetes que más se aproximen a su posición:

##### **Paleozoico**

Todo el sustrato rocoso existente en la zona de estudio y en general en toda la zona corresponde a sedimentos paleozoicos del Westfaliense (Carbonífero superior):

##### **“Paquete Generalas” (Westfaliense D)**

Posee unos 250 a 320 m de potencia y está constituido principalmente por sedimentos de influencia marina: calizas y pizarras presentando, en su parte media, niveles de areniscas de alrededor de 45 m de espesor con algunos carboneros explotables. A techo presenta un conglomerado silíceo con matriz arenosa que se acuña hacia el S y SE y que puede llegar a alcanzar los 35 m de espesor (Truyols, 1983). Este nivel es el que es conocido como “Primera Pudinga o Pudinga de Las Generalas” y que puede estar representada, marginalmente, en la parte final, en particular parece estar implicada en el deslizamiento del Infierno (Ujo), ya fuera del Proyecto y que como tal se representan en la cartografía geológica con la simbología G(a) diferenciándola de las Pizarras y areniscas G (b).

##### **“Paquete San Antonio” (Westfaliense D)**

Este paquete descansa directamente por encima de la primera pudinga. Su potencia total oscila entre los 240 y 360 m, adoptándose un valor medio de 315 m. En la base consta de una serie de capas de carbón alternantes con 55 m de sedimentos arenosos que disminuyen de W a E. La abundancia de techos de origen marino se hace creciente al avanzar del W hacia el E. El final de este tramo de origen marino está marcado por la aparición de una segunda pudinga silícea, más potente que en el paquete infrayacente (Generalas) pero de menor extensión. Por encima de esta pudinga se desarrollan nuevos ciclos con capas de carbón. Casi la totalidad de este tramo superior se constituye de sedimentos arenosos, principalmente areniscas y micropudinga que intercalan niveles pizarrosos y capas de carbón. Este carácter marino del tramo superior decrece hacia la parte alta de la



serie, pasando a facies continentales, fundamentalmente en la parte W de la cuenca. (García Loygorri 1971).

### **Cuaternario**

#### **Depósitos eluviales**

Estos depósitos se organizan como los materiales resultantes de la alteración de los sedimentos anteriormente descritos. Aparecen formando suelos edáficos arena – arcillosos de potencia variable, generalmente de colores marrón claro a anaranjados.

#### **Depósitos aluviales**

Sedimentos provenientes de la acción del arroyo "El Reguerón" consistentes en clastos cuarcíticos redondeados embebidos en una matriz limoso-arcillosa.

#### **Depósitos coluviales**

Son los más extendidos. Se constituyen como un agregado de clastos con morfología fuertemente angulosa y otros subredondeados, todos ellos embebidos en una matriz de aspecto arcilloso. Se encuentran recubriendo la mayor parte de los terrenos de la ladera y se entremezclan con los depósitos eluviales naturales, citados anteriormente.

### **4.5.- Tectónica regional**

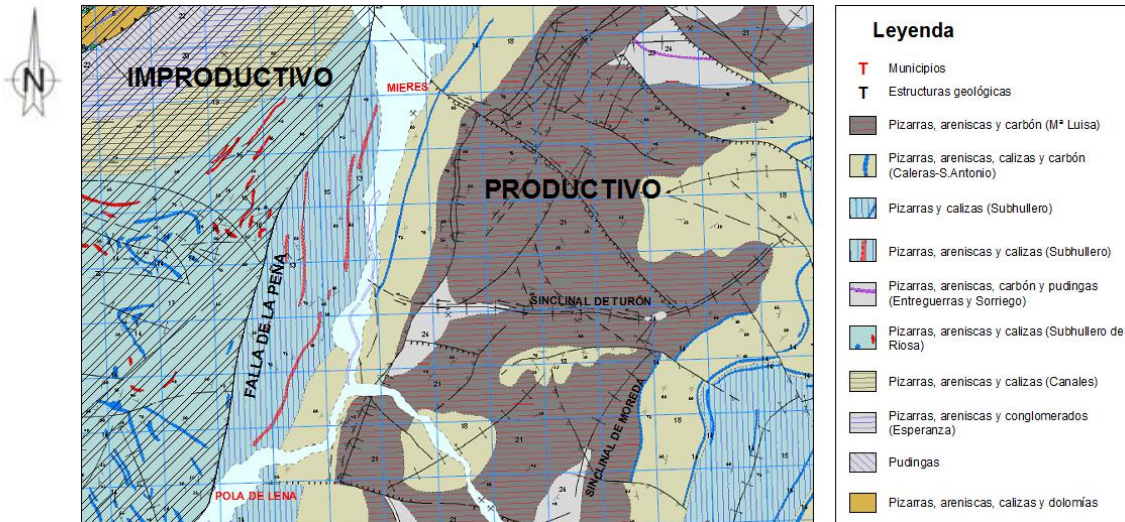
La CCC se organiza en dos zonas o dominios, separados por un accidente tectónico de dirección NNE-SSW denominado Falla de La Peña (Figura 5), de diferentes características estratigráficas. Estos dominios o sectores son los siguientes:

Unidad de Aller - Nalón (al NW)

Unidad de Riosa – Olloniego (al SE)

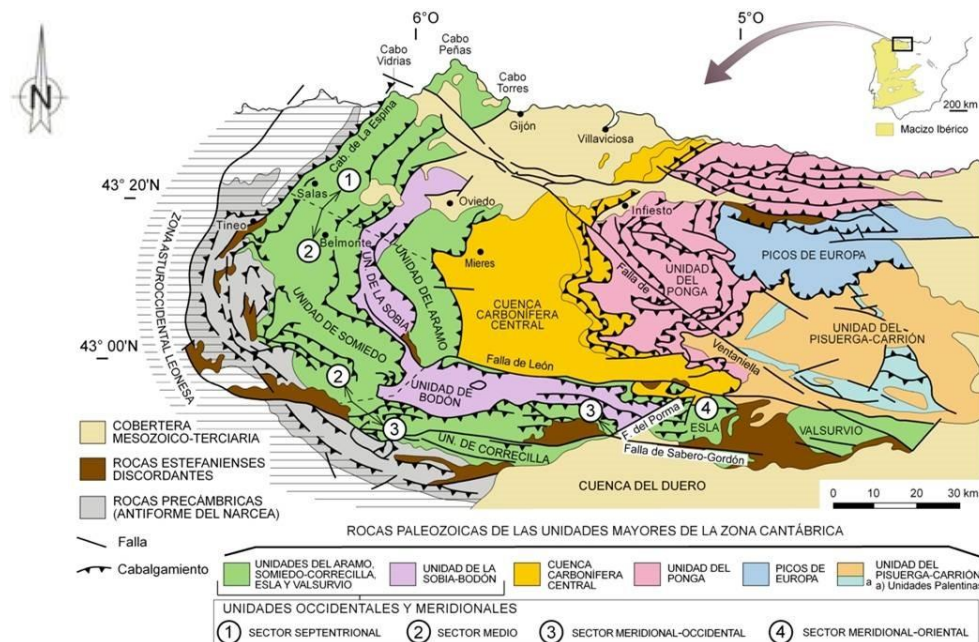
Tradicionalmente, estas zonas se han diferenciado como Series productivas (Aller–Nalón) e improductivas (Riosa–Olloniego) (IGME serie MAGNA 1984 hoja 53 "MIERES"). La zona de estudio se enmarca en el sector de Aller – Nalón.

Atendiendo a criterios geológicos y mineros, la CCC ha sido dividida en cuatro subzonas: Norte, Centro, Sur y Oeste; que a su vez se han subdividido en Áreas. La zona estudiada se incluye dentro de la subzona Centro, perteneciente a la mencionada Unidad Aller-Nalón, y dentro de este en el área 2, subárea 2-1 de la "Actualización del inventario de recursos nacionales de carbón, 1985" (I.G.M.E., 1985).



**Figura 5:** La Cuenca Carbonífera Central separada por la Falla de La Peña, que delimita las series productiva e improductiva. Mapa modificado con base procedente de la serie cartográfica MAGNA hoja 53 "Mieres", IGME.

La CCC está constituida por una sucesión carbonífera que llega hasta el Westfaliense D, dispuesta en líneas generales según un sinclinorio que pasan de direcciones NNE-SSW en el tramo septentrional a E-W en la zona Sur. Constituye una de las subdivisiones estructurales mejor identificadas de la Cordillera Cantábrica. En su extremo occidental se acomoda a la morfología que define la Rodilla Astúrica, mientras que su extremo oriental se prolonga hacia el este. Se encuentra cabalgada en su extremo occidental y meridional por la Región de Pliegues y Mantos, mientras que en su extremo oriental cabalga a la Región de Mantos o Manto del Ponga como se observa gráficamente en la Figura 6.

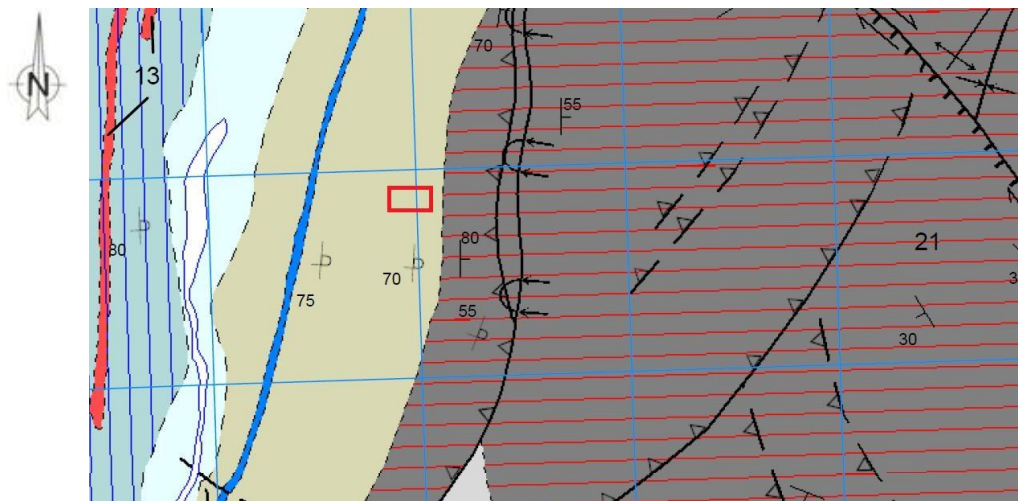


**Figura 6:** Mapa geológico de Asturias, separando la Zona Astur occidental-Leonesa de la Zona Cantábrica. Bastida, (2004) basada en Julivert, (1971). En recuadro rojo, zona de estudio dentro de la CCC.

Los materiales aparecen muy replegados, originando estructuras muy complejas. Con carácter general, se observa una estructura sinclinal más o menos compleja originada por la interferencia de pliegues. Esta estructura posee un eje de dirección NE-SW, cuyo núcleo principal se sitúa en la zona de Sama, y otro accesorio en la de El Entrego. La prolongación meridional de esta estructura define dos nuevos sinclinales importantes, uno con eje E-W siguiendo el valle del río Turón, y otro con eje N-S en la zona de Moreda, perpendicular al trazado del valle.

#### 4.6.- Tectónica local

La disposición estructural de los paquetes se manifiesta como un sinclinal tumbado o acostado hacia el este. La zona de estudio se ubica en el flanco inverso del sinclinal, tal como se dispone en la Figura 7. Las fracturas y las fallas son abundantes en la zona especialmente al oeste de dicho sinclinal, donde existe una gran falla inversa que repite secuencia y pone en contacto los paquetes de María Luisa y Sotón con los de Entrerregueras y Sorriego. Existe una gran abundancia de fallas en toda la zona. Se trata de fracturas con espacios abiertos que aprovechan las capas de carbón como nivel de despegue local. Los buzamientos de las capas también aparecen modificados por acción de estas fallas, tanto a nivel de afloramiento (cambios en la inclinación) como a nivel general, ya que en la zona excavada del talud, los buzamientos del flanco están tan modificados que el flanco inverso se puede leer e interpretar como un flanco normal.



**Figura 7:** Situación de la configuración estructural y geológica del ámbito de estudio. El color marrón claro hace referencia a los paquetes Caleras, Generalas y San Antonio, mientras que el color gris con rayado rojo corresponde al paquete María Luisa. En recuadro rojo se enmarca la zona de estudio. Mapa procedente de la serie cartográfica MAGNA hoja 53 "Mieres", IGME.



#### **4.7.- Hidrogeología regional**

El análisis se basa fundamentalmente en la valoración cualitativa superficial de la permeabilidad de los distintos materiales de la CCC en base al tipo litológico, su estado de fracturación, rasgos geomorfológicos, condiciones de drenaje superficial, etc.

La precipitación media anual del agua de lluvia en el área de estudio es del orden de los 1.200 mm. De estos, 700 mm corresponden a escorrentía y evapotranspiración, por lo que quedan 500 mm como agua de infiltración para alimentar los acuíferos. Lógicamente, la infiltración será menor en los terrenos pizarrosos, margosos y arcillosos, pero mucho mayor en los granulares.

La red hidrográfica pertenece a la cuenca del río Caudal, que recibe subsidiariamente a tres subcuencas del mismo, la de Turón, la de Cuna y, en la parte inicial, la del Aller.

Es normal la existencia de importantes acuíferos en las llanuras aluviales que desarrollan los ríos Caudal y, más restringidamente, el Turón y el Aller, no así en los materiales carboníferos que se consideran, en general, impermeables. Localmente, puede aparecer algún pequeño acuífero de forma aislada en zonas de una ladera, una zona de apoyo de terraplén o producir zonas encharcadas o con tendencia a inundarse.

La posibilidad de aparición de zonas en las que surjan problemas hidrogeológicos es elevada en zonas de llanura aluvial, por fenómenos de drenaje negativo.

#### **4.8.- Hidrogeología local**

La zona estudiada se ubica dentro de la Unidad Hidrogeológica denominada “Unidad Paleozoica”, caracterizada básicamente por una circulación de agua de tipo fisural.

Las litologías que componen el sustrato rocoso (Westfaliense D) en esta zona son muy impermeables. Areniscas, pizarras, lutitas, limolitas y capas de carbón, etc solo permiten una circulación de agua a través la red fisural. Fallas, cabalgamientos, diaclasas, fisuras, etc. constituyen los principales lugares por donde circula y se acumula el agua.

En las zonas donde aparecen litologías calcáreas la circulación del agua es de tipo kárstico. Sobre el sustrato rocoso aparecen distintos depósitos cuaternarios que si son susceptibles de almacenar y permitir la circulación de agua. Los depósitos cuaternarios, tales como depósitos eluviales, coluviales y aluviales están fundamentalmente compuestos por gravas, arenas, limos, etc. y presentan una elevada porosidad, lo cual permite la circulación y el almacenamiento de agua. La



cantidad de agua que puede almacenarse en un depósito será proporcional a su extensión y a su potencia.

Tras consultar bibliografía y los datos de la estación meteorológica de Santa Cruz de Mieres facilitados por AEMET, se han recogido valores de precipitaciones más próximos a La Herradura, teniendo registros máximos de 51,3 mm/día, y tomando como valores medios 2,5 mm/día. Las precipitaciones en la zona, dada su impermeabilidad litológica, llegan al arrollo “El Reguerón” a través de escorrentía superficial, facilitada además por las elevadas pendientes. Una parte de esas precipitaciones se infiltra a través de la red fisural, si bien el volumen de agua implicado en este proceso se presume será muy reducido, tomando valores de infiltración menores al 10%.

## **5.- METODOLOGÍA DE TRABAJO**

### **5.1.- Introducción**

La realización del proyecto ha comenzado con una planificación previa de los distintos trabajos que se deben realizar, para una adecuada ejecución de los estudios con vista a economizar, tiempo, esfuerzo y dinero.

El plan de trabajo consta con diferentes etapas bien diferenciadas que se van entrelazando para conseguir el objeto de estudio deseado. De esta manera la planificación de trabajo quedaría estructurada de la siguiente manera:

- Estudios de gabinete
- Estudios de campo
- Estudios cartográficos
- Estudios de laboratorio
- Estudios geotécnicos

### **5.2.- Estudios de gabinete**

Es la primera etapa que se lleva a cabo y la base sobre la que se desarrolla todo el estudio.

Comienza con la consulta y recopilación bibliográfica y cartográfica, con el fin de recoger y seleccionar la máxima información sobre la zona objeto de estudio, para su posterior análisis y síntesis. Para la recopilación de esta información se utilizan diversas fuentes, la biblioteca de la Facultad de Geología, el Ayuntamiento de Mieres y la búsqueda a través de la red.





Una vez recopilada dicha información, se procede a definir los trabajos que se van a realizar en los posteriores estudios.

### **5.3.- Estudios de campo**

Realizada la planificación, los trabajos en campo se llevaron a cabo en las laderas situadas en el radio de la zona de estudio y los taludes localizados en la explanación donde se ubicará la planta y la pista de acceso.

El estudio de campo toma dos vertientes bastante diferenciadas, la geológica y la técnica.

El estudio de campo geológico se basa en:

- Reconocimiento visual de la zona e identificación de distintas características geológicas, morfológicas y morfodinámicas.
- Toma de datos de los afloramientos rocosos existentes.
- Toma de muestras en saco de los suelos que componen el área de trabajo.

El estudio de campo técnico consiste en tomar medidas de las diferentes estructuras que componen la zona:

- Espesor de paquetes y horizontes.
- Alturas y anchuras de taludes.
- Ángulos de pendiente.
- Planta de pista y explanación.

### **5.4.- Estudios cartográficos**

La cartografía se ha considerado una herramienta muy importante tanto en el trabajo de campo, ayudando a situar las diferentes tomas de datos en el terreno, como en el trabajo posterior en oficina, aportando datos que servirán como base a la hora de realizar los estudios geotécnicos.

Tras la consulta cartográfica y posterior construcción topográfica, y con los datos de campo anteriormente tomados, se ha procedido a la elaboración de 3 cartografías que proporcionen con claridad el volumen de información obtenida.

Cartografía realizada:

- Cartografía topográfica.
- Cartografía geológica.
- Cartografía temática.



El modelo digital del terreno elaborado en la construcción topográfica será utilizado posteriormente como base para las distintas modelizaciones del estudio geotécnico.

### **5.5.- Estudios de laboratorio**

La caracterización los suelos que se encuentran por encima del sustrato rocoso se planteó primordial a la hora de realizar este estudio, por lo que se procedió a realizar ensayos de laboratorio en el Departamento de Geología de la Universidad de Oviedo. Los ensayos realizados se enumeran a continuación:

- Densidad del suelo húmedo (densidad aparente).
- Densidad del suelo seco.
- Humedad natural (contenido en agua).
- Análisis granulométrico.
- Límites de Atterberg.

Los ensayos corresponden a los suelos afectados en el área de trabajo: coluvión, eluvión y suelo antrópico. En la zona se dispone de un cuarto suelo, el aluvión que solo se menciona como información adicional, pero que no es objeto de estudio ya que no se considera relevante en la ejecución del proyecto.

### **5.6.- Estudios geotécnicos**

El objetivo de este trabajo, es interpretar y modelizar el comportamiento de los materiales que componen las laderas frente a la acción de factores condicionantes y desencadenantes de inestabilidades.

A partir de los datos proporcionados anteriormente, se han realizado dos tipos de modelizaciones que dan forma final a este estudio.

- Modelización hidrológica, que proporciona información sobre los posibles fenómenos hidrológicos que se puedan producir y que afecten a la estabilidad del terreno.

- Modelización de taludes, estudia las posibles inestabilidades de los taludes según las características de los materiales.

Con estas dos modelizaciones se realiza un análisis de los resultados y se proponen las conclusiones finales del trabajo.



## **6.- ESTUDIOS DE CAMPO**

### **6.1.- Introducción**

Los trabajos de campo realizados en el ámbito de la zona de La Herradura, se llevaron a cabo en las laderas situadas en el radio de la zona de trabajo, en los taludes propios de la explanación y en la pista de acceso a la misma.

Consistieron en un reconocimiento visual de la zona e identificación de distintas características geológicas, morfológicas y morfodinámicas. Además de lo anterior, se llevó a cabo una estimación del RMR (Rock Mass Rating) y RQD (Rock Quality Designation) de los afloramientos rocosos existentes allí donde se creyeron oportunos e importantes de cara a la estabilidad de los materiales. Los estudios se llevaron a cabo en condiciones climatológicas húmedas, habiendo llovido en los días previos.

Recalcar que la caracterización y descripción del talud, así como la pista de acceso a la zona se han ido registrando mediante el marcaje de puntos kilométricos a través de un topómetro STANLEY modelo DMW30.

El primer trabajo de campo es el levantamiento de estaciones geomecánicas, que se han descrito integrando y relacionando la geología, geomorfología e hidrodinámica de la zona, que combinado con la existencia y exposición de las vulnerabilidades existentes en el entorno, se realiza una estimación del riesgo para las instalaciones. La posición de todas las estaciones puede observarse en el mapa de situación anexo en el informe.

Las tres primeras estaciones se realizaron en la ladera situada en la parte superior del talud; se trata de una ladera de pendiente desigual que oscila entre 20° y 40° de inclinación, que se prolonga hacia la parte alta de la montaña y es cortada por una pista forestal y la pista municipal del pueblo de Salto d'Agües. Las estaciones 4 y 5 se describieron en el propio talud. En el resto de estaciones se analizan las características de la pista de acceso.

Las estaciones nombradas previamente son las siguientes:

### **6.2.- Estaciones geomecánicas**

#### **6.2.1.- Estación 1**

Esta Estación corresponde a la parte superior derecha del talud abierto para colocar la turbina. Se realizó en la parte baja de la ladera inmediatamente por encima de dicho talud. Aflora el horizonte C. La Estación se caracteriza por la presencia de un suelo aparentemente residual (coluvion) recubierto con vegetación y restos de la misma transportados hasta la zona; existen zonas, a modo de parches,

en los que la vegetación ha sido eliminada y el suelo queda a la intemperie. El suelo no presenta cicatrices erosivas claras y bien desarrolladas, pero se identifican zonas del suelo limpias de vegetación y raíces de árboles en superficie (eliminación de



**Figura 8:** Foto perteneciente a la estación 1. Superficie de escorrentía.

material edáfico) debido a la acción del agua y la gravedad sobre el terreno y los residuos de vegetación arrastrados como se observa en la Figura 8; estos residuos son de origen variado y en algunas zonas se acumulan por taponamiento. Con todo lo anterior y no observándose canales principales de drenaje (escorrentía indiferenciada en general, salvo pequeñas zonas de reincidencia temporal), se puede afirmar que existe escorrentía superficial moderada en la ladera, sin una dirección de flujo de la escorrentía predeterminada, pero vertiente hacia las instalaciones.

Los árboles del entorno presentan curvatura en el tronco pero esta no sigue un patrón determinado y están muy separados entre sí, por lo que la idea de un creeping de la ladera puede quedar descartada.

De cara al riesgo por inestabilidades, las instalaciones eléctricas se situarán justo por debajo de esta Estación, por lo que la exposición será alta de cara a un flujo o un desprendimiento de materiales por acción hidrológica o gravitacional.

Descripción del material:

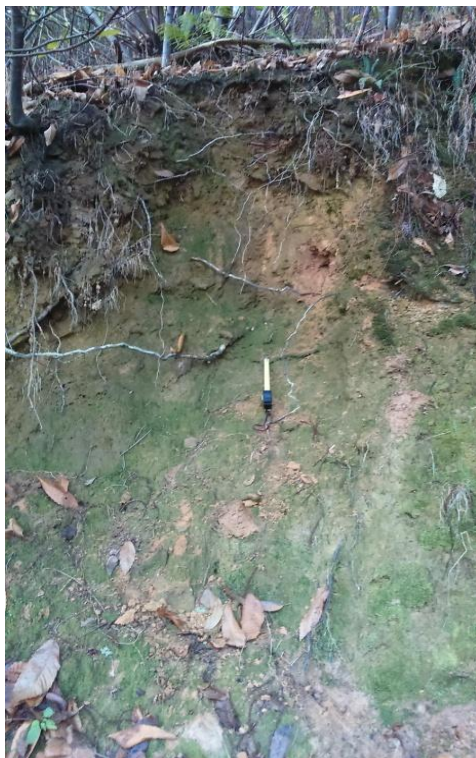
Estructura	Heterogénea
Tamaños de grano	Arena muy fina
Graduación	Mala
Compacidad	Media
Cohesión	Media
Plasticidad	Blanda
Consistencia	Firme
Resistencia en seco	Ligera resistencia
Alteración/intemperización	Alta
Color	Munsell 7,5 YR 7/8
Olor	Materia orgánica
Tacto	Arenoso terroso

### 6.2.2.- Estación 2

La estación 2 se sitúa en la pista municipal que intersecta la ladera (ver mapa de situación, Figura 29). Además de la ladera, también se analizan las características del talud que se forma en la intersección con la pista municipal.

En esta Estación y en su extensión lateral (20 - 25 m a ambos lados del punto señalado) se puede observar una alternancia de areniscas y pizarras con dirección 97/68 (lectura LE1). En esta, la meteorización no es homogénea; las pizarras desarrollan suelos de naturaleza arcillosa más potentes que los de arenisca, la cual aparece levemente alterada dando suelos de potencia pequeña y, en ocasiones, aparece directamente bajo la cobertera vegetal (horizonte A). Estos suelos están bastante intemperizados debido a la acción de la vegetación y organismos como se aprecia en la Figura 9.

En estos suelos más desarrollados aparecen cantos redondeados de naturaleza silíceo, posiblemente de origen fluvial, aunque la existencia de paquetes de “pudingas” en la zona puede producir controversia en las explicaciones. Los tamaños son muy heterogéneos y de morfologías redondeadas a subredondeadas. Se alternan con otros cantos (también de tamaño variado) de morfologías angulosas y más cantos redondeados fragmentados en trozos (conservando la redondez de alguna de sus caras).



**Figura 9:** Foto perteneciente a la Estación de estudio 2. Talud coluvión

En cuanto a la ladera por encima del talud, no se observan procesos de creeping o cicatrices erosivas desarrolladas (aunque no se descarta su existencia en partes más elevadas) pero si cierta escorrentía superficial por la presencia de material arrastrado y zonas con ausencia de armado superficial (vegetación) y edáfico (eliminación de suelo), al igual que en la Estación 1. La acumulación de restos de árboles y ramas también puede deberse al transporte por gravedad.

En lo que a riesgo preocupa, la vulnerabilidad más próxima a la ladera y el talud es la pista municipal que pasa justo por debajo, estando las futuras instalaciones de la turbina bastante alejadas; por tanto, se puede estimar riesgo bajo para la pista municipal y muy bajo para las instalaciones (escasa exposición).

Descripción del material:

Estructura	Heterogénea
Tamaños de grano	Arena muy fina
Graduación	Mala
Compacidad	Media
Cohesión	Media
Plasticidad	Blanda
Consistencia	Firme
Resistencia en seco	Ligera resistencia
Alteración/intemperización	Alta
Color	Munsell 7,5 YR 7/8
Olor	Materia orgánica
Tacto	Arenoso terroso

### 6.2.3.- Estación 3

Los materiales que se identifican en la estación 3 junto con las características morfológicas de la ladera, son similares a los descritos en la Estación 1. La única diferencia notable es que se identifica un argayo (movimiento complejo, combinando movimiento rotacional + flujo de material) aparentemente reciente y que seguramente afectó a la pista municipal, pasando cierta parte del material ladera debajo de la pista. En la cabecera del mismo se puede ver la cicatriz del movimiento desarrollada sobre suelo (Figura 10). Este es un claro ejemplo de la afección a las infraestructuras existentes.

Dado que la pista municipal y el talud de la ladera están adyacentes uno con el otro, se estima un riesgo medio para la pista, ya que estos procesos de inestabilidad no son excesivamente frecuentes, mientras que para las instalaciones de la turbina se estima un riesgo muy bajo (tanto por proximidad como por proyección longitudinal).

Descripción del material:



Figura 10: Foto perteneciente a la Estación de estudio 3. Argayo.

Estructura	Heterogénea
Tamaños de grano	Arena muy fina
Graduación	Mala
Compacidad	Baja
Cohesión	Baja
Plasticidad	Blanda
Consistencia	Blanda
Resistencia en seco	Ligera resistencia
Alteración/intemperización	Alta
Color	Munsell 7,5 YR 7/8
Olor	Materia orgánica
Tacto	Arenoso terroso

#### 6.2.4.- Estación 4 (Pk 0 + 140,1 m – Pk 0 + 146,6 m)



**Figura 11:** Foto perteneciente a la Estación de estudio 4. Talud de Explanación, zona de ubicación de infraestructuras.

La estación 4 (Figura 11) se realizó en la zona de máxima importancia para la estabilidad de las instalaciones, correspondiente al talud excavado para la explanación del terreno. En este sector se desarrolla un corte perfecto para la observación del suelo de la ladera que se encuentra directamente por encima y la explicación de los afloramientos de suelo de las estaciones anteriores.

Se trata de un talud vertical de 4,5 m de altura, el cual en su mayor parte se constituye de unas pizarras con buzamientos subverticales (orientación/buzamiento medio: 100/73) perpendiculares al corte del talud y con signos de meteorización (Horizonte D). Por encima de las pizarras aparece otro tramo de pizarras extremadamente alterado, reconociéndose aún la estratificación de la misma

(Horizonte C). Sobre este último, descansan unos depósitos arenosos que cuentan con clastos angulosos y redondeados, ambos muy heterogéneos, llegando en algún caso a tamaños de clastos de hasta 30 cm (Figura 12). Por encima de estos depósitos se desarrolla una cobertera vegetal de potencia variable de unas zonas a otras del talud. La intemperización no es tan elevada ya que la potencia de la cobertera vegetal es mayor que en los otros casos; aún así, las raíces producen disgregación del material.



Figura 12: Foto perteneciente a la estación 4. Talud de explanación, coluvión.

Como interpretación final al material que se encuentra por encima de las pizarras, se cree que se trata de un suelo de origen coluvial, que integra cantos angulosos procedentes de la alteración de las areniscas y pizarras (en menor medida) y cantos redondeados de origen fluvial y naturaleza silícea mezclados con un horizonte B, casi indiferenciado del mismo, por alteración de las pizarras infrayacentes. Los cantos de origen fluvial podrían corresponder a los restos del depósito aluvial del río “El Reguerón” que se encuentra encajado ladera abajo, los cuales se encuentran colgados en la montaña y se desprenden poco a poco formando coluviones con el material natural de la ladera.

Sobre las pizarras se realizaron cálculos del RMR y RQD de cara a determinar su estabilidad (RMR 1: Pk 0 + 140,1m y 2: Pk 0 + 146,6 m). Tanto los datos de los cálculos del RQD y RMR como la posición de los estudios realizados y los datos de buzamientos se documentan en los anexos adjuntos.

De cara a la estabilidad de los materiales en el talud existente, se prevén caídas de fragmentos y productos de alteración de los horizontes B y C (coluvión y pizarras alteradas) por la acción de las lluvias y ayudado por la gravedad. La intensa fracturación de la pizarra podría dar lugar a la filtración de aguas de escorrentía procedentes de la ladera. Recalcar también que las características descritas en la Estación 1 también se dan en la zona de la ladera por encima del talud, de manera que podrían producirse deslizamientos de material, “argayos”, o coladas condicionados por la retirada de peso en el pie del talud y/o superación del límite líquido del suelo. La intemperización del suelo debido a la acción biológica ayudaría en los procesos anteriores.

Descripción del material:

Estructura	Heterogénea
Tamaños de grano	Arena muy fina



Graduación	Mala
Compacidad	Compacto
Cohesión	Media
Plasticidad	Blanda
Consistencia	Muy firme
Resistencia en seco	Ligera resistencia
Alteración/intemperización	Alta
Color	Munsell 7,5 YR 7/8
Olor	Materia orgánica
Tacto	Arenoso terroso

### 6.2.5.- Estación 5 (Pk 0 + 134,1 m)



**Figura 13:** Foto perteneciente a la estación 5. Talud de pista, afloramiento arenisca.

Esta Estación es la primera que se realizó en la pista de acceso a la explanación de la turbina. Se realiza en un talud de 2 m de altura. Al igual que en resto de estaciones, las características geomorfológicas y morfodinámicas de esta zona no son muy distintas a lo anteriormente visto ya que se trata de una única ladera.

Por encima del talud que intersecta a la pista se identifican cicatrices de arrastre de material y erosión hídrica. Existen zonas (al igual que en el resto de estaciones) donde el suelo se ha removilizado hacia la parte baja de la ladera, produciendo escalones en la pendiente.

Los horizontes que ahora mismo se pueden identificar son: cobertera vegetal–coluvión–roca alterada. El suelo por debajo del horizonte 0 se encuentra muy intemperizado y con zonas de erosión por el paso de escorrentía. Por debajo

aparece un horizonte C de alteración en el que la roca madre vuelve a ser arenisca (Figura 13). Esta arenisca aún conserva la estratificación pero se desgaja en bloques y fragmentos. Presenta una intensa fracturación y por detrás de los bloques que se desprenden se observa un material negruzco similar al humus que se filtra a través de las fracturas y los productos de alteración desde la capa más superficial.

Esta Estación se sitúa en la pista de acceso y por ello presenta un riesgo contra la estabilidad de la pista. Dadas las características de los materiales en la zona, se podrían producir caídas de bloques y productos de alteración del talud, filtraciones de agua a través de las fracturas de la arenisca o el suelo, altamente intemperizado. El riesgo para las instalaciones eléctricas es nulo.

Descripción del material:

Estructura	Heterogénea
Tamaños de grano	Arena muy fina
Graduación	Mala
Compacidad	Compacto
Cohesión	Media
Plasticidad	Blanda
Consistencia	Muy firme
Resistencia en seco	Ligera resistencia
Alteración/intemperización	Alta
Color	Munsell 7,5 YR 7/8
Olor	Materia orgánica
Tacto	Arenoso terroso

#### 6.2.6.- Estación 6 (Pk 0 + 113 m)

Esta estación corresponde a la salida de un canal torrencial que intersecta a la pista de acceso (Figura 14). Se trata de un canal de 2 m de ancho con una incisión bastante profunda en la parte baja, desarrollando taludes en suelo verticales de 2 m de alto (sección cuadrada). La base del canal se encuentra en todo su recorrido recubierta por los materiales transportados por el mismo (cantos, restos de vegetación, suelo removido, troncos, ramas, etc); estos son de gran tamaño, lo que evidencia la gran capacidad que presenta para transportar. Los taludes del canal presentan unas características similares a los analizados en las estaciones previas (suelo arcillo – arenoso de



Figura 14: Foto perteneciente a la Estación de estudio 6. Torrente

alteración con carácter coluvial, compacidad alta y cohesión media – baja (Figura 15).

El canal intersecta a la pista de acceso. Teniendo en cuenta el volumen de materiales que es capaz de transportar, la pista es muy vulnerable a las afecciones que se puedan producir por su actividad. Al ser una zona muy lluviosa durante todo el año la peligrosidad de que una colada o flujo de materiales se produzca es relativamente alta, por lo que el riesgo para la pista es muy alto.

Descripción del material:

Estructura	Heterogénea
Tamaños de grano	Arena muy fina
Graduación	Mala
Compacidad	Ligeramente Cementado
Cohesión	Alta
Plasticidad	Muy blanda
Consistencia	Muy firme
Resistencia en seco	Resistencia media
Alteración/intemperización	Media
Color	Munsell 7,5 YR 7/8
Olor	Materia orgánica
Tacto	Arenoso arcilloso



**Figura 15:** Foto perteneciente a la Estación de estudio 6. Torrente, coluvión.

### 6.2.7.- Estación 7 (Pk 0 + 108 m)

Esta estación es estudiada tras el torrente, entre curvas. En la Estación se



observa un talud de 2 metros de altura, en roca de pizarra que está en contacto con un horizonte C de 0,5 m de espesor aproximado, compuesto por eluvión, producto de la meteorización severa de la pizarra (Figura 16).

Los estratos de la pizarra se presentan con una disposición subvertical con lectura similar a las

**Figura 16:** Foto perteneciente a la Estación de estudio 7. Talud de pista, eluvión.

registradas anteriormente (99/74). A techo de la pizarra el eluvi6n se dispone de forma homog6nea con clastos angulosos provenientes de la pizarra meteorizada que pueden alcanzar los 15 cm de grosor. Como ocurre en toda la ladera el horizonte 0 es pr6cticamente inexistente.

Por encima del talud las caracter6sticas son similares a las registradas en anteriores estaciones, ya que estamos trabajando sobre la misma ladera. No se observan procesos de creeping o cicatrices erosivas desarrolladas, pero si cierta escorrent6a superficial por la presencia de material arrastrado y zonas con ausencia de armado superficial (vegetaci6n) y ed6fico (eliminaci6n de suelo).

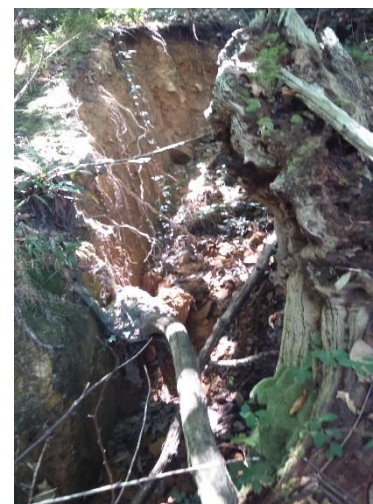
Esta Estaci6n se sitúa en la pista de acceso y por ello tiene riesgo por inestabilidad de la pista. Dadas las caracter6sticas de los materiales en la zona, se podr6an producir ca6das de fragmentos de roca y productos residuales de alteraci6n del talud o provenientes de la ladera.

Descripci6n del material:

Estructura	Heterog6nea
Tamaños de grano	Arena muy fina
Graduaci6n	Mala
Compacidad	Media
Cohesi6n	Media
Plasticidad	Blanda
Consistencia	Media
Resistencia en seco	Poca resistencia
Alteraci6n/intemperizaci6n	Media
Color	Munsell 7,5 YR 6/6
Olor	Materia org6nica
Tacto	Arenoso terroso

### 6.2.8.- Estaci6n 8 (Pk 0 + 100 m)

En esta estaci6n se estudia la bifurcaci6n del torrente con una caracterizaci6n geol6gica y de vulnerabilidad y riesgo id6ntica al cauce principal del torrente, ya que se encuentra en la misma situaci6n y sobre los mismos materiales. Como se puede apreciar en la imagen (Figura 17), aun siendo una bifurcaci6n su capacidad erosiva y de transporte sigue siendo grande.



**Figura 17:** Foto perteneciente a la estaci6n 8. Bifurcaci6n de torrente, coluvi6n.

Descripción del material:

Estructura	Heterogénea
Tamaños de grano	Arena muy fina
Graduación	Mala
Compacidad	Ligeramente Cementado
Cohesión	Alta
Plasticidad	Muy blanda
Consistencia	Muy firme
Resistencia en seco	Resistencia media
Alteración/intemperización	Media
Color	Munsell 7,5 YR 7/8
Olor	Materia orgánica
Tacto	Arenoso arcilloso

### 6.2.9.- Estación 9 (Pk 0 + 075 m)

La estación 9 se encuentra situada a mitad de la recta más larga de la pista. Se observa un talud de 2,5 metros de altura aproximadamente, constituido en su base por pizarra que contacta con un horizonte C eluvial, producto de la meteorización de la roca madre. El horizonte 0 es inexistente debido al lavado de la superficie de la ladera producido por escorrentía (Figura 18).



**Figura 18:** Foto perteneciente a la estación 9. Talud de pista, eluvión.

Las pizarras se presentan con una estratificación subvertical con lectura similar a las registradas anteriormente (100/74), es difícil de ver a simple vista debido a la meteorización e intemperización a la que está sometida, además de la capa de sedimento residual que cubre el talud, proveniente de la escorrentía de ladera. El eluvión se dispone por encima de la pizarra de forma homogénea con clastos angulosos que pueden alcanzar los 15 cm de grosor.

Por encima del talud la descripción de la ladera es idéntica a la hecha en anteriores estaciones, ya que estamos trabajando sobre la misma zona. No se observan procesos de creeping o cicatrices erosivas desarrolladas, pero sí cierta escorrentía superficial por la presencia de material arrastrado y zonas con ausencia de armado superficial (vegetación) y edáfico (eliminación de suelo) como ya se ha comentado.

Esta Estación se sitúa en la pista de acceso y por ello tiene riesgo por inestabilidad de la pista. Dadas las características de los materiales en la zona, se podrían producir caídas de fragmentos de roca y productos residuales de alteración del talud o provenientes de la ladera.

Descripción del material:

Estructura	Heterogénea
Tamaños de grano	Arena muy fina
Graduación	Mala
Compacidad	Compacta
Cohesión	Media
Plasticidad	Blanda
Consistencia	Media
Resistencia en seco	Poca resistencia
Alteración/intemperización	Alta intemperización
Color	Munsell 7,5 YR 6/6
Olor	Materia orgánica
Tacto	Arenoso terroso

#### 6.2.10.- Estación 10 (Pk 0 + 048 m)

La Estación 7 es estudiada metros después de la primera curva tras entrar en la pista de acceso. En esta Estación observamos un talud de 3 metros en roca con contactos entre arenisca y pizarra.(Figura 20)

Se observa una posible falla con varias zonas de fractura en las cuáles se puede apreciar los escalones y estrías que dan orientación a esta. Se han identificado intrusiones de carbón rellenando las fracturas entre los macizos y material triturado y con grandes rasgos de alteración por esfuerzos (Figura 19).

En esta zona el horizonte suelo es prácticamente nulo, siendo un talud formado únicamente por roca fracturada y muy intemperizada, que atendiendo a la peligrosidad de la zona se puede considerar media-baja pudiéndose llegar a desprender fragmentos, residuos de alteración y la caída aislada de bloques.

Se indica que en esta Estación realizaron cálculos del RMR y RQD de cara a determinar su estabilidad.



Figura 19: Foto perteneciente a la estación 10. Talud de pista, Falla.



**Figura 20:** Foto perteneciente a la estación 10. Talud de pista, Contacto entre pizarra y arenisca.

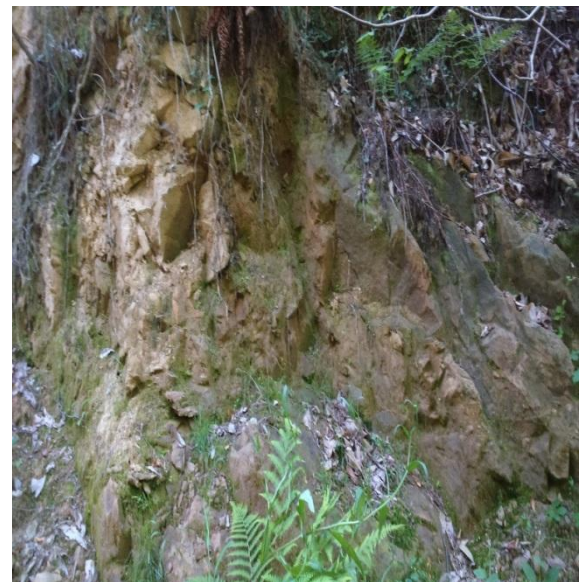
### 6.2.11.- Estación 11 (Pk 0 + 000m)

Corresponde al comienzo del talud de acceso a la explanación. Este talud se compone de un horizonte C y eluvión producto de alteración de las pizarras de espesor 0,5 metros, y bajo éste 4,5 metros de contacto entre pizarras y arenisca (Figura 21).

El talud se presenta con una intemperización de la roca alta, que junto con la fracturación de la misma, y la acción hidrológica y gravitatoria, provoca la caída de fragmentos, residuos de alteración y bloques, como se muestra el gran número de derrubios dispuestos durante y sobre pie de talud (Figura 22).



**Figura 22:** Foto perteneciente a la estación 11. Comienzo de talud de la pista, Contacto entre pizarra y arenisca.



**Figura 21:** Foto perteneciente a la estación 11. Comienzo de talud de pista, Contacto entre pizarra y arenisca.

En esta Estación se calcularon los RMR y RQD tanto en arenisca como en pizarra para estudiar su calidad.

Descripción del material:

Estructura	Heterogénea
Tamaños de grano	Arena muy fina
Graduación	Mala
Compacidad	Media
Cohesión	Baja
Plasticidad	Blanda
Consistencia	Firme
Resistencia en seco	Poca resistencia
Alteración/intemperización	Alta intemperización
Color	Munsell 7,5 YR 6/6
Olor	Materia orgánica

### 6.2.12.- Estación 12

Esta estación se localiza al este del objeto de proyecto, en la pista municipal que se encuentra ladera arriba de este, a lado de una torre de alta tensión. La zona se encuentra deforestada, ya que se han realizado trabajos para la creación de un cortafuegos, por lo que solo tendremos datos de las características geológicas de la zona.



**Figura 23:** Foto perteneciente a la estación 12. Torre de alta tensión. Coluvión.

El talud observado es de 1 metro de altura, no aflora sustrato rocoso, siendo un talud homogéneo de material coluvial, compuesto por clastos angulosos de pizarra y arenisca, y clastos redondeados de naturaleza silícea, ambos pudiendo alcanzar los 30 cm de tamaño medio.

Aunque ya se ha dicho anteriormente que la zona esta deforestada, se puede hacer una pequeña mención a la superficie de ladera en la que se aprecia material transportado o removido producto de la esorrentía o gravedad.

Descripción del material:

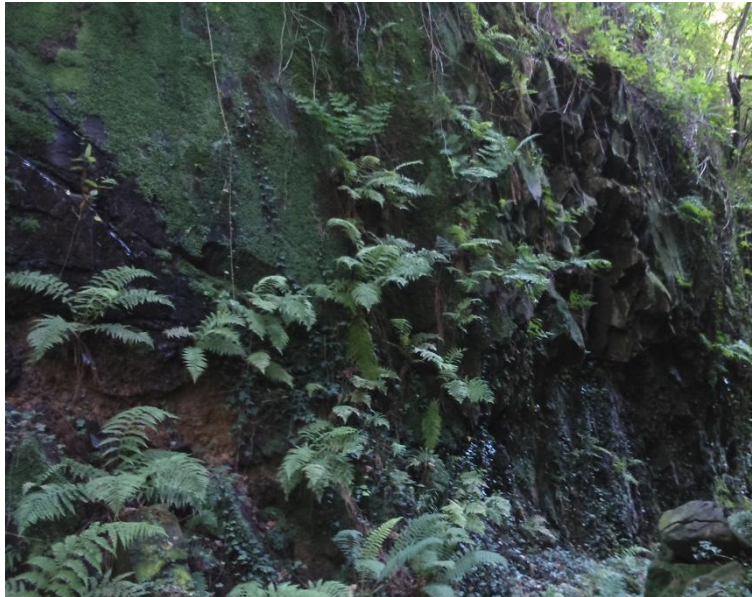
Estructura	Heterogénea
Tamaños de grano	Arena muy fina
Graduación	Mala
Compacidad	Poco compacto
Cohesión	Baja
Plasticidad	Blanda
Consistencia	Blanda



Resistencia en seco	Poca resistencia
Alteración/intemperización	Alta intemperización
Color	Munsell 7,5 YR 7/8
Olor	Materia orgánica

### 6.2.13.- Estación 13

Esta Estación de estudio se realiza ladera abajo de la explanación, en el depósito de La Herradura, sobre el terreno aluvial.



**Figura 24:** Foto perteneciente a la estación 13. Depósito de la Herradura. Contacto de arenisca y pizarra.

En esta zona se observa un talud de 7-8 metros de altura en roca con contactos entre pizarra y arenisca (Figura 24). El talud se presenta sin horizontes por encima de la roca madre y con una intemperización avanzada. Los estratos se disponen subverticales sobre una medida de orientación y buzamiento de 98/75, presentan varias familias de discontinuidades, y aunque se muestra un gran número de derrubios dispuestos

durante y sobre pie de talud, este macizo se dispone con mejor calidad y menos meteorizado que en los afloramientos anteriores. De esta forma el macizo se ve competente aun siendo 8 metros de talud con una pendiente prácticamente vertical.

Este talud se dispone por debajo de la zona de trabajo principal, el riesgo y vulnerabilidad son bastante reducidos, afectando solo sobre el depósito (no objeto de estudio), con la amenaza de posibles desprendimientos de roca y caída de materiales residuales de la ladera.

### 6.2.14.- Estación 14

En la llanura donde se ubica el depósito de la herradura se ha identificado una zona aluvial que ha sido objeto de estudio en esta estación.



**Figura 25:** Foto perteneciente a la estación 14. Depósito de la Herradura. Eluvión

Se ha observado un depósito constituido por una matriz de arenas arcillosas y arenas oscuras (indica presencia de trazas de carbón) de granulometría variada y que contienen una gran cantidad de cantos de tamaño centimétrico y decimétrico. Estos cantos heterométricos de morfología redondeada o

semiredondeada varían en composición entre areniscas y cantos de naturaleza sílicea (Figura 25).

El aluvión se dispone por debajo de la zona de trabajo principal. Geotécnicamente cabe destacar que debido a que éstos materiales presentan una elevada permeabilidad, podrían acumularse aguas freáticas durante su excavación y producirse asentamientos por compactación de las arenas. También pueden presentarse problemas de inestabilidad de taludes y no se recomiendan como nivel de cimentación debido a su baja capacidad portante. Por lo tanto el riesgo y vulnerabilidad sobre la pista y explanación de estudio son bastante reducidos debido a que no afecta directamente sobre esa zona. Donde sí que afecta es sobre el depósito de La Herradura, aunque ya se tomaron medidas efectivas durante su construcción con relleno antrópico y losas de cimentación.

Descripción del material:

Estructura	Heterogénea
Tamaños de grano	Arena fina
Graduación	Mala
Compacidad	Poco compacto
Cohesión	Media
Plasticidad	Blanda
Consistencia	Blanda
Resistencia en seco	Poca resistencia
Alteración/intemperización	Baja
Color	Munsell 7,5 YR 7/8 y HUE 5G 4/1
Olor	Materia orgánica



### **6.2.15.- Estaciones 15, 16 17,18 19, 20, 21 y 22**

Además de las estaciones geotécnicas anteriores, se han realizado una serie de estaciones de observación para el control de la zona y de apoyo para la configuración del mapa geológico y cuyas ubicaciones se pueden observar en el mapa temático posterior.

En las estaciones de observación 15, 20 y 22 se ha identificado zonas de ladera de naturaleza coluvial con las características geológicas y geotécnicas similares a las estaciones anteriores descritas, mientras que en las estaciones de control 16,17, 18,19 y 21 son de material eluvial siendo sus características, al igual que pasa con los anteriores puntos de estudio, parecidas a las citadas en estaciones anteriores.

En todas las estaciones mencionadas se dan los fenómenos de ladera anteriormente descritos. En todas ellas no se identifica ningún tipo de material rocoso y el acceso es complicado y resbaladizo. Se caracterizan por la presencia de un suelo aparentemente residual recubierto con vegetación y restos de la misma transportados hasta la zona; existen zonas, a modo de parches, en los que la vegetación ha sido eliminada y el suelo queda a la intemperie. El suelo no presenta cicatrices erosivas claras y bien desarrolladas, pero se identifican zonas del suelo limpias de vegetación y raíces de árboles en superficie (eliminación de material edáfico) debido a la acción del agua y la gravedad sobre el terreno y los residuos de vegetación arrastrados, estos residuos son de origen variado y en algunas zonas se acumulan por taponamiento. Existe escorrentía superficial moderada en la ladera, sin una dirección de flujo de la escorrentía predeterminada.

De cara al riesgo por inestabilidades, las estaciones se sitúan adyacentes a la zona de estudio pero no afectan directamente, a no ser que se produzca un movimiento de tierra de gran magnitud. Por lo tanto el riesgo y vulnerabilidad es bajo.

### **6.2.16.- Estación 23. Suelo antrópico**

El material antrópico es objeto importante de estudio, ya que se encuentra extendido sobre toda la pista y explanación del proyecto. Se trata de material removido de la propia ladera al hacer el acceso a la pista y la cubicación para la explanación que posteriormente se compacto con rodillos de peso. Por lo tanto se trata de un suelo homogéneo conformado por material arenoso fino, con clastos redondeados de naturaleza silíceo y angulosos y subangulosos formados por areniscas y pizarras de tamaño centimétrico a decimétrico.

Aunque presenta una gran compacidad y cohesión, cerca del talud se identifican cicatrices propias de deslizamiento o desprendimiento del terreno (figura 26), lo que provoca un gran riesgo y vulnerabilidad, ya que las instalaciones se cimentarán sobre este material. Se aprecian también cicatrices erosivas propias del agua de lluvia que se precipita por la ladera, debido al mal drenaje de la pista.



**Figura 26:** Foto perteneciente a la estación 22. Explanación. Material antrópico.

### 6.3.- Estudios técnicos en campo

Posteriormente a los estudios realizados en las estaciones se efectuaron una serie de mediciones in situ para la caracterización óptima de la zona de trabajo. Estas mediciones se basan en:

- Alturas de taludes sobre la pista con cinta métrica.
- Inclinação de taludes sobre la pista con inclinómetros.
- Espesores de paquetes con topómetro.
- Espesores de horizontes con cinta métrica.
- Variación de anchura y longitud de pista con topómetro.
- Pendiente de la pista con inclinómetro.

A continuación se muestran las mediciones realizadas sobre talud y pista:

Lecturas en talud	Pendiente	Altura
Pk 0+000 – Pk 0+004	61°	5 m
Pk 0+004 – Pk 0+008	45°	4,5 m
Pk 0+008 – Pk 0+019,5	65°	3 m
Pk 0+019,5 – Pk 0+020	0°	0 m
Pk 0+020 – Pk 0+026,5	60°	4,1 m
Pk 0+026,5 – Pk 0+033	62°	5 m
Pk 0+033 – Pk 0+046	68°	2,8 m
Pk 0+046 – Pk 0+100	64°	2,3 m
Pk 0+100 – Pk 0+113	70°	2,3 m
Pk 0+113 – Pk 0+138,5	70°	2 m



Pk 0+138,5 – Pk 0+149,1	74°	4,8 m
-------------------------	-----	-------

Tabla I: Datos de campo recogidos. Pendiente y altura de los taludes.

Lecturas en talud	Tipo sustrato rocoso	Espesor Coluvión	Espesor Eluvión
Pk 0+000 – Pk 0+005,5	Arenisca	/	0,5 m
Pk 0+005,5 – Pk 0+040	Pizarra meteorizada	/	0 m /0,5 m
Pk 0+040 – Pk 0+048	Arenisca	/	0 m /0,5 m
Pk 0+048 – Pk 0+098	Pizarra meteorizada	/	1,5 m /2 m
Pk 0+098 – Pk 0+111	Pizarra competente	/	/
Pk 0+111-Pk 0+149,1	Pizarra meteorizada	0,5 m	0,5 m

Tabla II: Datos de campo recogidos. Espesores de paquetes y horizontes.

Se puede observar que el talud no es homogéneo variando su altura durante todo el recorrido, mientras que el ángulo de pendiente es constante (Tabla I). Respecto al material por el que está conformado el talud, cabe destacar que el coluvión se dispone a partir del torrente por encima del eluvión (Tabla II).

Las lecturas sobre pista se realizaron de la siguiente manera:

Lecturas en pista	Pendiente	Anchura
Pk 0+000 – Pk 0+013,5	21°	3 m
Pk 0+013,5 – Pk 0+021	10°	3 m
Pk 0+021 – Pk 0+029,5	16°	3 m
Pk 0+029,5 – Pk 0+045,5	7°	3 m
Pk 0+045,5 – Pk 0+062,5	12°	3 m
Pk 0+062,5 – Pk 0+088	16°	3 m
Pk 0+088 – Pk 0+99	11°	3 m
Pk 0+099 – Pk 0+113	20°	3 m
Pk 0+113 – Pk 0+129	25°	3 m
Lecturas en pista	Pendiente	Anchura
Pk 0+129 – Pk 0+132	12°	5 m
Pk 0+132 – Pk 0+139,5	12°	6,6 m
Pk 0+139,5 – Pk 0+147,5	12°	8,7 m
Pk 0+147,5 – Pk 0+149,1	12°	4,5 m

Tabla III: Datos de campo recogidos. Pendiente y altura de los taludes.



De la pista de acceso cabe mencionar que es de medidas homogéneas hasta la explanada donde se ubicará la planta, donde se ensancha. La pista se dispone en cuesta con pendiente continua que alterna entre los 12° y 20° de inclinación con máximas pendientes de 25° y mínimas de 7° (Tabla III).

## **7.- ESTUDIOS CARTOGRÁFICOS**

### **7.1.- Introducción**

Tanto a la hora de estudio de campo como para el trabajo de gabinete, se consideró una herramienta básica, tener una buena cartografía tanto geológica como topográfica que abarcara la zona de estudio y el área vecina, de tal manera que se pudiera estudiar y relacionar de forma más precisa los diferentes fenómenos que pudieran ocurrir en la zona de trabajo.

Previo a trabajo, la cartografía que se obtuvo, se presentaba insuficiente para cubrir el análisis que se iba a realizar de la zona, por lo que se decidió la creación de una cartografía básica topográfica y geológica.

### **7.2.- Cartografía topográfica**

En cuestión a los mapas topográficos obtenidos anterior a trabajo, se tuvo el problema de que no había una cartografía adecuada para el estudio que requería la zona, ya que el área de trabajo es de dimensiones reducidas por lo que los mapas dispuestos a gran escala no tenían el nivel de detalle y precisión requerido, mientras que la topografía de pequeña escala resultaba insuficiente por la falta de datos y las dimensiones de la zona de toma de esos datos. Por lo que se declinó por realizar un análisis y reconstrucción topográfica del área.

Para la realización de este mapeado se tomó en un principio como base los MDT dispuestos para descargar en la página del Instituto Geográfico Nacional. El Modelo digital del terreno tiene un paso de malla de 5 m y es escogido con la distribución oficial de hojas 1:25.000, en este caso hoja 53. El sistema geodésico de referencia es ETRS89 y la proyección UTM en el huso correspondiente, en nuestro caso 30 zona Norte.

Tras el análisis del MDT en el programa LAND.TM se observó un problema con las elevaciones dadas y la actualización de terreno. El problema en cota es producido por la gran cantidad de ruido producto de la vegetación dentro de la zona de trabajo y su altura, lo que producía errores en las lecturas de elevaciones.



Mientras que el problema en la actualización del terreno viene dada por la inexistencia de la pista cuando fueron tomadas las lecturas con LIDAR.

La primera idea para solventar estas controversias fue realizar lecturas con un GPS de mano en la zona de trabajo y la posterior depuración del MDT en gabinete con software, pero fue descartada, ya que la precisión tanto en X, Y como en Z se iba a ver limitada, por los factores de vegetación como ocurrió en las lecturas de LIDAR. Se optó por realizar la depuración y refinamiento del MDT mediante los programas LAND.TM y Protopo v.6 apoyada con la topografía local dispuesta previo a trabajo y los datos tomados en los trabajos de campo, pero este, seguía dando errores en cota de hasta 3 metros en el proyecto, por lo que aunque en un principio se realizó un estudio previo con estos datos de terreno, posteriormente se descartaron por su inexactitud.

Tras los anteriores intentos de cartografiar la zona de estudio con la precisión requerida, se tomó como solución realizar una depuración de los datos LIDAR y una polarización y actualización de los datos apoyándose sobre la cartografía local dando como resultado un modelo digital de terreno óptimo para trabajar sobre el área de proyecto.

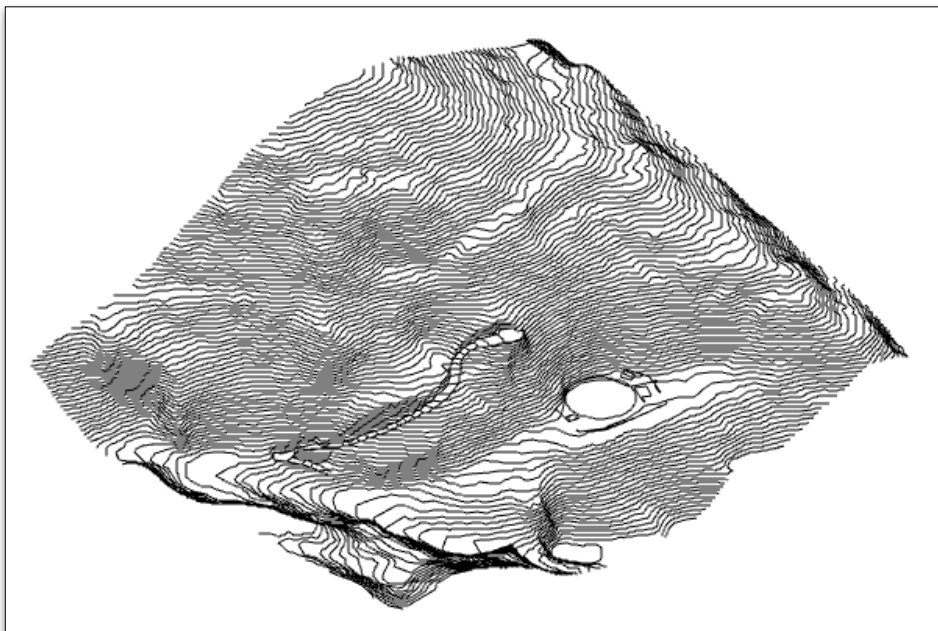
Para realizar la depuración de los datos LIDAR, lo primero que se hizo fue descargar los archivos PNOA de la página oficial del instituto geográfico nacional, que corresponden a archivos “.LAS” PNOA\_2012\_LOTE\_AST\_274-4790\_ORT-CLA-COL.las y PNOA\_2012\_LOTE\_AST\_274-4792\_ORT-CLA-COL.las. El formato de archivo “.LAS” es un formato público para el intercambio de datos procedentes de nubes de puntos tridimensionales entre los usuarios de datos. Aunque fue desarrollado principalmente para el intercambio de datos de nubes de puntos LIDAR, permite el intercambio de cualquier conjunto de elementos con coordenadas en 3 dimensiones x, y, z. Este formato de archivo binario es una alternativa a los sistemas de propiedad o a los sistemas de intercambio de archivos ASCII genéricos utilizados por muchas empresas. El formato LAS mantiene la información específica a la naturaleza de los datos LIDAR sin ser demasiado complejo. Los datos están referenciados de la misma manera que los anteriores MDTs descargados del IGN, el sistema geodésico de referencia es ETRS89 y la proyección UTM en el huso correspondiente, en nuestro caso 30 zona Norte.

Una vez obtenidos los archivos LIDAR, son descomprimidos y computados en los software LASTask Tools y FugroViewer, donde se realiza la depuración de la nube de puntos tomando solo los puntos registrados en el primer retorno. Al tomar solo los puntos registrados en el primer retorno de las 5 bandas de retorno posibles, y caracterizadas como suelo, se está tomando los puntos registrados como suelo desnudo, sin cobertera vegetal ni ningún tipo de ruido que pueda afectar a su lectura en cota. De esta manera se reduce mucho el error en Z, aunque se limite la información y datos en la nube de puntos.

Tras obtener la nube de coordenadas LIDAR depurada se realiza la polarización y actualización de la nube de puntos apoyándose en la cartografía local cedida por el ayuntamiento de Mieres. Esta polarización se realizó mediante el software MDT, computando los archivos LIDAR depurados anteriormente y la cartografía local digitalizada. El resultado es un modelo digital de terreno sobre el que se trabajará posteriormente, con un error máximo de 0,6 metros en cota fuera de la zona influyente de trabajo, y errores en cota inapreciables en la zona principal de estudio. (Figura 27).

Cabe resaltar que no se han tenido que hacer transformaciones de coordenadas ni de sistemas de referencia, ya que los datos venían trabajados en el mismo formato.

Una vez obtenida una topografía base de la zona de estudio, se procedió a la modelización de la pista con los programas LAND.TM y Protopo v.6. Dando lugar a una sección en planta, longitudinal y transversal, que se utilizarán posteriormente en la modelización geotécnica.



**Figura 27:** Captura isométrica NE del MDT refinado con los programas LAND.TM y Protopo v.6.



A parte del modelo digital del terreno, se ha realizado un plano en planta de la pista como mejora de la ubicación de los estudios y otros factores importantes en el análisis geotécnico de la zona como pueden ser los perfiles para la modelización.

Tras realizar estos trabajos cartográficos, se elabora una cartografía topográfica de la zona donde se ubicará la nueva “Planta de la Herradura” (ANEXO I).

### 7.3.- Cartografía geológica

Una vez obtenida la cartografía topográfica base y tras acotar en campo las diferentes capas de materiales se procedió a realizar el mapa geológico-geotécnico de la zona (Figura 28) con el software Arcgis10 dando atributos a los elementos espaciales. Finalmente se distinguieron 6 materiales: coluvión, eluvión, aluvión, arenisca, pizarra y suelo antrópico. También se indican en este mapa las orientaciones y buzamientos leídos en campo para los diferentes sustratos siendo 100 grados de orientación y 76 grados de buzamiento la media general. En el Anexo II, se puede ver el mapa geológico a mayor tamaño, para un mayor estudio de detalle.

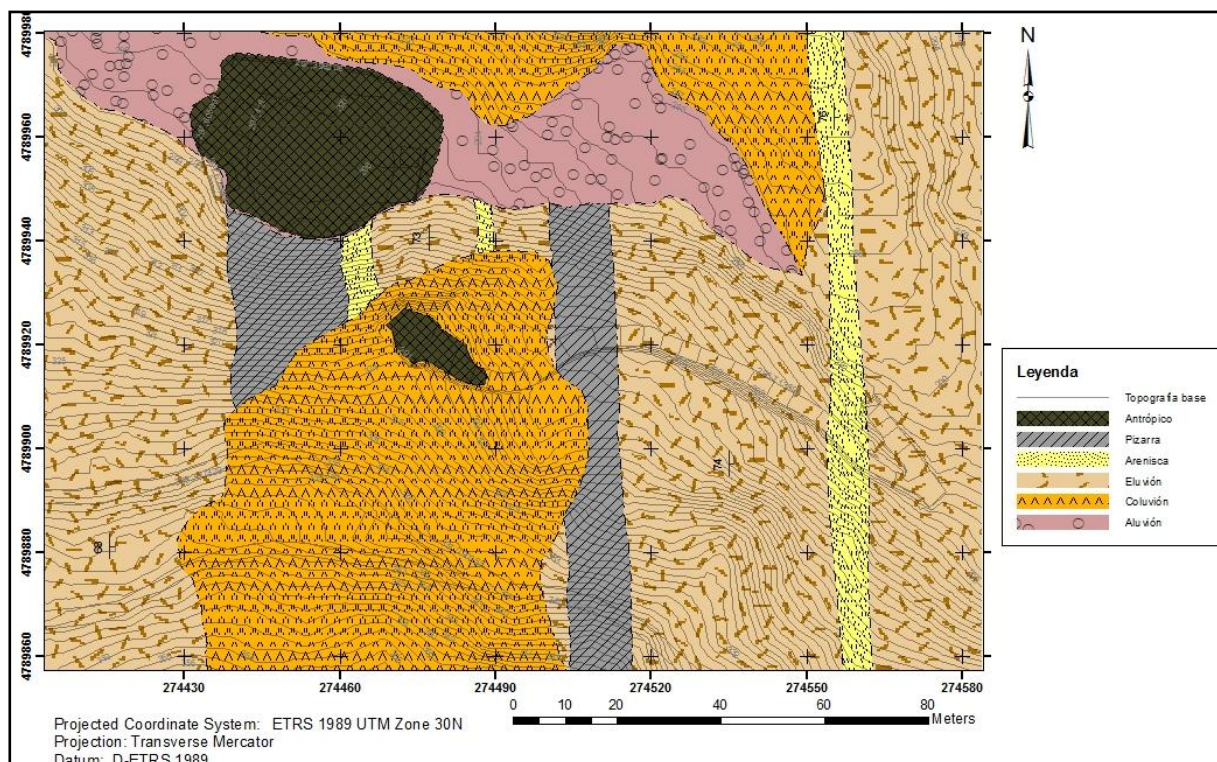


Figura 28: Captura del mapa geológico realizado con ArcGis10, (ANEXO II).

### 7.4.- Cartografía temática

A continuación se dispone de un mapa temático (Figura 29) realizado para ubicar las estaciones geomecánicas y poder tener una visión global del área de trabajo. Este plano se basa en las estaciones geomecánicas y en los trabajos cartográficos

anteriormente descritos. En el Anexo III, se muestra a mayor tamaño para un mejor estudio.

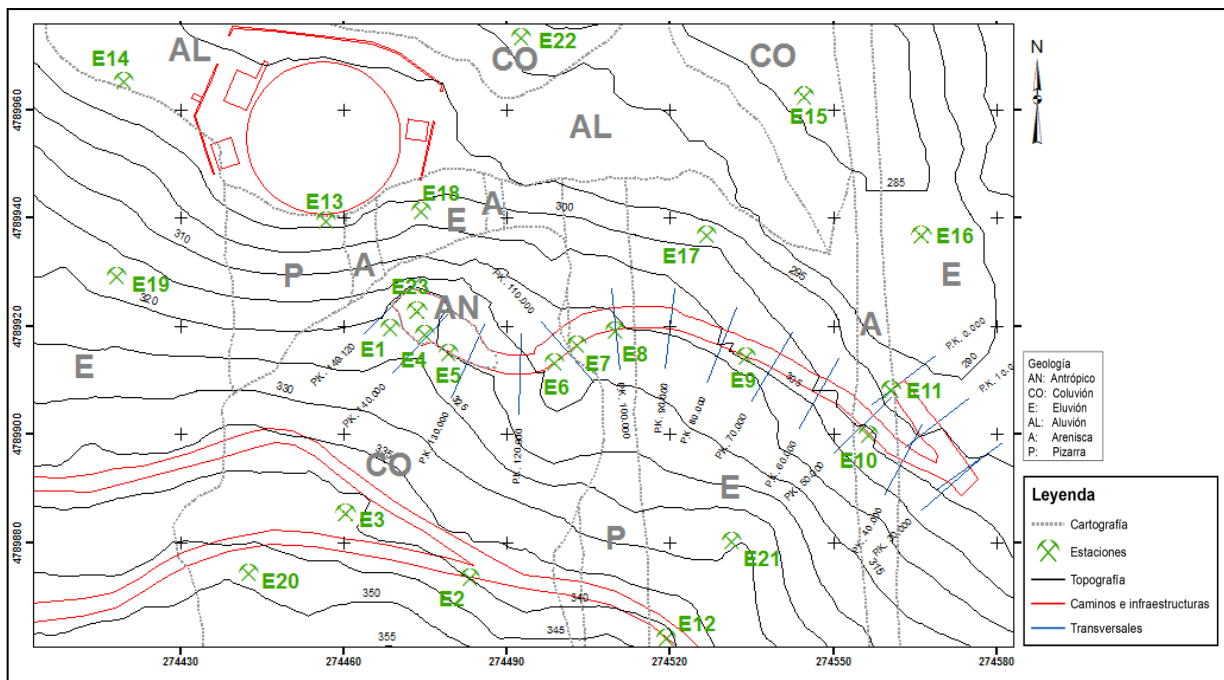


Figura 29: Captura del mapa temático realizado con ArcGis10, (ANEXO III).

## 8.- ESTUDIOS DE LABORATORIO

### 8.1.- Introducción

Con el fin de caracterizar con más precisión los suelos que se encuentran por encima del sustrato rocoso, se procedió a realizar ensayos de laboratorio en el Departamento de Geología de la Universidad de Oviedo. Los ensayos realizados se enumeran a continuación:

- Densidad del suelo húmedo ó densidad aparente.
- Densidad del suelo seco.
- Humedad natural ó contenido en agua.
- Análisis granulométrico.
- Límites de Atterberg.

Para la realización de estos ensayos, se procedió previamente a la recogida de muestras en campo. El tipo de muestras recogidas corresponden a una muestra alterada en textura e inalterada en humedad, recogida en un bote hermético, y una muestra alterada tanto en humedad como en textura que se recogió en una bolsa.



Las muestras contenidas en el bote hermético se utilizaron para realizar los ensayos de densidad y humedad, mientras que con las muestras contenidas en el cubo se realizaron los ensayos de granulometría y límites. El total de muestra recogida en campo corresponde a 15 kg de suelo en la bolsa y 3 kg de suelo en el bote hermético.

Tomando muestras de los suelos principales encontrados en la zona de estudio, coluvión, eluvión y suelo antrópico.

## **8.2.- Preparación de la muestra**

Antes de comenzar a trabajar con las muestras es necesario realizar en ellas un tratamiento previo, consistente en la eliminación de restos orgánicos (raíces, insectos, etc.) y la separación de la fracción de suelo a su mínima expresión (“a polvo”). Los cantos lógicamente no se trituran ya que este proceso se llevó a cabo a través de un martillo de goma y las propias manos del operante (UNE 103-100-95). Esta preparación se realizó para la muestra contenida en el cubo ya que no importa que su humedad sea alterada. La muestra contenida en el bote hermético se prepara (en su cantidad necesaria) en el momento de realizar los ensayos con ella para evitar esa pérdida de humedad.

A continuación se procede a la descripción de los ensayos realizados y a la expresión de los resultados obtenidos. Todos los ensayos se han realizado de forma múltiple para poder comparar los resultados y realizar una media entre ellos. Los pesos se expresan en gramos (g), los volúmenes en centímetros cúbicos ( $\text{cm}^3$ ) y las densidades en  $\text{g}/\text{cm}^3$ .

## **8.3.- Densidad del suelo húmedo**

Este ensayo tiene como objeto la determinación de la densidad de nuestro suelo con la humedad natural. Se selecciona la muestra del bote hermético inalterada en humedad que teóricamente ha sido una muestra seleccionada porque es representativa del suelo que se tiene y que al momento de realizar el muestreo se ha hecho de la forma más rápida y correcta posible para evitar variaciones apreciables en el contenido de humedad y así obtener datos más precisos.

Material necesario:

- Una balanza.
- Recipientes adecuados que sean resistentes a la corrosión, que no se desintegren, ni que la masa cambien con repetidos calentamientos y enfriamientos.



- Calibre.

Procedimiento:

Se pesa un recipiente limpio, seco y debidamente etiquetado (P1).

Se rellena el vaso con la muestra que es necesario remodelar manualmente dándole la textura y densidad que tenía el suelo en el campo.

Se pesa la muestra con el vaso (P2).

Se mide la altura y el diámetro del vaso que se utiliza para calcular su volumen "V".

Dado que se han ensayado dos muestras al mismo tiempo, se necesitó calcular el volumen de dos recipientes idénticos.

Determinación de la densidad del suelo húmedo

Pesar el vaso: P1

Rellenar con material húmedo. Pesar vaso + muestra húmeda: P2

$$\rho_h = \frac{P2 - P1}{V}$$

### 8.3.1. - Densidad del suelo húmedo. Eluvión

Para la determinación del suelo húmedo del eluvión se han realizado 4 ensayos.

Muestra	P1 (g)	P2 (g)	P <sub>m</sub> (g)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	$\rho_{\text{húmeda}}$ (g/cm <sup>3</sup> )	Media	Desv. Típica
M <sub>1</sub> (ELUVION)	58,51	117,66	59,15	36,57	1,62		
M <sub>2</sub> (ELUVION)	50,69	114,63	63,94	39,76	1,61		
M <sub>3</sub> (ELUVION)	52,35	129,49	77,14	47,92	1,61		
M <sub>4</sub> (ELUVION)	52,14	126,05	73,91	47,92	1,54	1,59	0,03

Tabla IV: Densidad del suelo húmedo, eluvión.

Resultados:  $\rho_{\text{húmeda}} = 1,59 \text{ g/cm}^3$  con una desviación típica de  $0,03 \text{ g/cm}^3$

Los resultados en todas las muestras varían en centésimas, por lo que se pueden tratar como fiables, son datos representativos (Tabla IV).

### 8.3.2. - Densidad del suelo húmedo. Coluvión

Se han utilizado 2 muestras para obtener la densidad del suelo húmedo del coluvión (Tabla V).

Muestra	P1 (g)	P2 (g)	P <sub>m</sub> (g)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	$\rho_{\text{húmeda}}$ (g/cm <sup>3</sup> )	Media	Desv. Típica
M <sub>9</sub> (COLUVION)	48,41	153,93	105,52	140,70	0,75		
M <sub>10</sub> (COLUVION)	48,10	157,11	109,01	139,76	0,78	0,76	0,02

Tabla V: Densidad del suelo húmedo, coluvión.



Resultados:  $\rho_{\text{húmeda}} = 0,77 \text{ g/cm}^3$  con una desviación típica de  $0,02 \text{ g/cm}^3$

Observando la desviación típica podemos indicar que los resultados son representativos.

### 8.3.3. – Densidad del suelo húmedo. Suelo Antrópico

Para obtener la densidad del suelo húmedo del material antrópico se han utilizado 4 muestras.

Muestra	P1 (g)	P2 (g)	P <sub>m</sub> (g)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	$\rho_{\text{húmeda}}$ (g/cm <sup>3</sup> )	Media	Desv. Típica
M <sub>5</sub> (ANTROPICO)	52,49	147,45	94,96	47,92	1,98		
M <sub>6</sub> (ANTROPICO)	52,31	147,17	94,86	47,92	1,98		
M <sub>7</sub> (ANTROPICO)	57,49	130,52	73,03	36,57	2,00		
M <sub>8</sub> (ANTROPICO)	46,69	121,76	75,07	36,57	2,05	2,00	0,03

**Tabla VI:** Densidad del suelo húmedo, suelo antrópico.

Resultados:  $\rho_{\text{húmeda}} = 2,00 \text{ g/cm}^3$  con una desviación típica de  $0,03 \text{ g/cm}^3$

Como en los dos casos anteriores los resultados (Tabla VI) son representativos ya que sus resultados son próximos y su desviación es muy baja.

### 8.4.- Densidad del suelo seco

Este método tiene como objeto la determinación de la densidad del suelo con la humedad natural y después del secado en la estufa. Al igual que en el caso anterior la muestra utilizada es la contenida en el bote hermético.

Material necesario:

- Una balanza.
- Recipientes adecuados que sean resistentes a la corrosión, que no se desintegren, ni que la masa cambien con repetidos calentamientos y enfriamientos.
- Calibre.
- Estufa de desecación.

Procedimiento:

Se pesa un recipiente limpio, seco y debidamente etiquetado (P1)

Se rellena el vaso con la muestra que es necesario remodelar manualmente dándole la textura y densidad que tenía el suelo en el campo.

Se pesa la muestra con el vaso (P2)



Se mide la altura y el diámetro del vaso que se utiliza para calcular su volumen “V”.

Se coloca la muestra húmeda en el horno manteniendo una temperatura de 60 – 70 °C hasta tener teóricamente masa constante.

Con la muestra sacada de la estufa se pesa rápidamente para que no coja humedad (P3).

Determinación de la densidad del suelo seco

Pesar el vaso + muestra húmeda: P2

Pesar el vaso + muestra seca: P3

$$\rho_s = \frac{P3 - P2}{V}$$

#### 8.4.1. - Densidad del suelo seco. Eluvión

Para obtener la densidad del suelo seco del eluvión se han utilizado las 4 muestras ensayadas para determinar la densidad del suelo húmedo (Tabla VII).

Muestra	P1 (g)	P3 (g)	P <sub>m</sub> (g)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	$\rho_{\text{seco}}$ (g/cm <sup>3</sup> )	Media	Desv. Típica
M <sub>1</sub> (ELUVION)	58,51	109,02	50,51	36,57	1,38		
M <sub>2</sub> (ELUVION)	50,69	105,14	54,45	39,76	1,37		
M <sub>3</sub> (ELUVION)	52,35	117,72	65,37	47,92	1,36		
M <sub>4</sub> (ELUVION)	52,14	115,07	62,93	47,92	1,31	1,36	0,03

Tabla VII: Densidad del suelo seco, eluvión.

Resultados:  $\rho_{\text{seca}} = 1,36 \text{ g/cm}^3$  con una desviación típica de  $0,03 \text{ g/cm}^3$

Los resultados son representativos, ya que su desviación típica es muy baja. La densidad está dentro de los valores estándares de los suelos eluviales.

#### 8.4.2. - Densidad del suelo seco. Coluvión

Para las muestras de coluvión se obtuvieron los siguientes resultados.

Muestra	P1 (g)	P3 (g)	P <sub>m</sub> (g)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	$\rho_{\text{seco}}$ (g/cm <sup>3</sup> )	Media	Desv. Típica
M <sub>9</sub> (COLUVION)	48,41	141,87	93,46	140,70	0,66		
M <sub>10</sub> (COLUVION)	48,10	143,22	95,12	139,76	0,68	0,67	0,01

Tabla VIII: Densidad del suelo seco, coluvión.

Resultados:  $\rho_{\text{seca}} = 0,67 \text{ g/cm}^3$  con una desviación típica de  $0,01 \text{ g/cm}^3$



Los datos son próximos por lo que se toman los datos como fiables (Tabla VIII). La densidad del coluvión es relativamente baja comparado con los estándares generales.

#### 8.4.3. - Densidad del suelo seco. Suelo Antrópico

Los resultados para la densidad del suelo seco para el material antrópico se muestran a continuación (Tabla IX).

Muestra	P1 (g)	P3 (g)	P <sub>m</sub> (g)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	ρ <sub>seco</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	Media	Desv. Típica
M <sub>5</sub> (ANTROPICO)	52,49	136,29	83,80	47,92	1,75		
M <sub>6</sub> (ANTROPICO)	52,31	135,88	83,57	47,92	1,74		
M <sub>7</sub> (ANTROPICO)	57,49	121,70	64,21	36,57	1,76		
M <sub>8</sub> (ANTROPICO)	46,69	113,11	66,42	36,57	1,82	1,77	0,03

Tabla IX: Densidad del suelo seco, antrópico.

Resultados: ρ<sub>seca</sub> = 1,82 g/cm<sup>3</sup> con una desviación típica de 0,03 g/cm<sup>3</sup>

Como en los dos casos anteriores los resultados son representativos ya que sus resultados son próximos y su desviación es muy baja y presenta una mayor densidad comparada con los anteriores suelos.

#### 8.5.- Humedad natural (UNE 103-300-93)

Este ensayo tiene como objeto la determinación de la humedad de una muestra de suelo mediante el secado, expresado en tanto por ciento, entre la masa de agua que pierde el suelo al secarlo y la masa del suelo seco.

Material necesario:

- Una balanza.
- Una estufa de desecación.
- Recipientes adecuados que sean resistentes a la corrosión, que no se desintegren, ni que la masa cambien con repetidos calentamientos y enfriamientos.

Procedimiento:

Determinar la masa de un recipiente limpio y seco (P1).

Colocar la muestra en dicho recipiente y determinar enseguida la masa (P2).

Colocar la muestra en la estufa, mantener la temperatura de 60 – 70 °C durante 3 días.



Inmediatamente después de sacar la muestra de la estufa pesar la muestra (P3).

Determinación de la humedad natural

Pesar el vaso: P1

Rellenar con material húmedo.

Pesar vaso + muestra húmeda: P2

Secado en estufa

Pesar el vaso + muestra seca: P3

$$\omega = \frac{P2 - P3}{P3 - P1} \times 100$$

### 8.5.1. – Humedad natural. Eluvión

Los resultados de la humedad natural del eluvión son los siguientes (Tabla X).

Muestra	P1 (g)	P2 (g)	P3 (g)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	W (%)	W <sub>media</sub> (%)	Desv. Típica
M <sub>1</sub> (ELUVION)	58,51	117,66	109,02	36,57	17,11%		
M <sub>2</sub> (ELUVION)	50,69	114,63	105,14	39,76	17,43%		
M <sub>3</sub> (ELUVION)	52,35	129,49	117,72	47,92	18,01%		
M <sub>4</sub> (ELUVION)	52,14	126,05	115,07	47,92	17,45%	17,50%	0,004

Tabla X: Humedad natural, eluvión.

Resultados: W (%) = 17,50 % con una desviación típica de 0,004%

Presenta un porcentaje de humedad relativamente bajo teniendo en cuenta las condiciones en las que se tomaron las muestras.

### 8.5.2. – Humedad natural. Coluvión

La humedad natural del coluvión muestra los siguientes resultados (Tabla XI).

Muestra	P1 (g)	P2 (g)	P3 (g)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	W (%)	W <sub>media</sub> (%)	Desv. Típica
M <sub>9</sub> (COLUVION)	48,41	153,93	141,87	140,70	12,90%		
M <sub>10</sub> (COLUVION)	48,10	157,11	143,22	139,76	14,60%	13,75%	0,012

Tabla XI: Humedad natural, coluvión.

Resultados: W (%) = 13,75 % con una desviación típica de 0,012%

Se observa un cambio mayor entre sus porcentajes de humedad siendo de igual manera relativamente bajos.





### 8.5.3. – Humedad natural. Suelo Antrópico

El suelo antrópico presenta los siguientes resultados (Tabla XII).

Muestra	P1 (g)	P2 (g)	P3 (g)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	W (%)	W <sub>media</sub> (%)	Desv. Típica
M <sub>5</sub> (ANTROPICO)	52,49	147,45	136,29	47,92	13,32%		
M <sub>6</sub> (ANTROPICO)	52,31	147,17	135,88	47,92	13,51%		
M <sub>7</sub> (ANTROPICO)	57,49	130,52	121,70	36,57	13,74%		
M <sub>8</sub> (ANTROPICO)	46,69	121,76	113,11	36,57	13,02%	13,40%	0,003

Tabla XII: Humedad natural, antrópico.

Resultados: W (%) = 13,40 % con una desviación típica de 0,003%

El porcentaje de humedad es relativamente bajo si atendemos a las condiciones en las que se tomaron las muestras.

### 8.6.- Granulometría (UNE 103101:1995 Análisis granulométrico de suelos por tamizado)

La granulometría se puede definir como el estudio de la distribución de tamaños de un suelo, la cual guarda una estrecha relación con las propiedades del mismo. Existen dos métodos básicos de determinación de la granulometría de los suelos; el método del tamizado y el método de la sedimentación o método hidrométrico. En los primeros, la separación de las partículas por tamaños se realiza mediante tamices de distintas luces de malla mientras que en los segundos la separación se basa en la ley de Stokes, que relaciona la velocidad de caída de las partículas con su tamaño y que se aplica a las fracciones < 60 µm. En los análisis granulométricos realizados el método utilizado corresponde al tamizado, de manera que no se ha distinguido entre limos y arcillas dentro del porcentaje de finos y los porcentajes se han extrapolado en la curva granulométrica.

Material utilizado:

- Juego de tamices normalizados.
- Balanza.
- Vibrador mecánico o tamizadora.
- Herramientas y accesorios: Bandejas y recipientes, brochas y espátulas, calibre.

Procedimiento:

Se reduce por cuarteo una cantidad de muestra levemente superior a la recomendada según el tamaño máximo de las partículas del suelo. Este cuarteo se realizó usando el método del cono, ya que el tamaño de los cantos impedía el



correcto cuarteado del suelo a través del método convencional. Este método consiste en bascular la muestra triturada sobre un plástico formando una morfología cónica y separando dicho cono en dos con un utensilio adecuado; se realizan sucesivos conos siempre con una de las mitades elegidas hasta llegar a la fracción de suelo deseada.

Se pesa la bandeja de recogida para conocer el peso exacto de la fracción de suelo que quede retenido en cada tamiz.

Se tamiza el material con el tamiz de 20 mm de luz de malla. Se pesa el material que pasa y el que queda retenido. Este último será sometido a la cantometría, que consiste en la medición de las partículas individualmente, según su eje largo, mediante un calibre.

Se tamiza el material que pasa por el tamiz de 20 mm con el tamiz de 2 mm de luz de malla. Se pesa el material que pasa, que se ensayará en la columna de finos, y el material que queda retenido, que se ensayará en la denominada columna de gruesos.

Se introduce el material correspondiente en cada una de las columnas, con los tamices limpios, ordenados de forma decreciente y con un recogedor en la base, y se conecta el dispositivo vibratorio durante unos 5 minutos.

Una vez finalizado este proceso, se pesa cada uno de los tamices con el material que retienen, y se representa el peso en una tabla (una para finos, una para gruesos y otra para cantos).

Se obtiene el peso del material que pasa por cada tamiz por diferencia.

Se traduce el peso del material que pasa a porcentaje, tomando como 100% el peso inicial del material que se introdujo en la columna.

Se recalcula cada porcentaje en peso del material para el total de material ensayado y así obtener una única tabla con distribución de porcentajes en peso.

Se representan los datos en escala logarítmica, con el porcentaje que pasa en peso en cada tamiz en ordenadas y el tamaño de las partículas en abscisas, obteniéndose así la denominada curva de distribución granulométrica.

Por último, se debe calcular el error cometido por la pérdida del material durante el proceso, expresando en porcentaje la diferencia de masa entre el material inicial y el final.

Si la suma de los pesos parciales retenidos difiere en más de un 1-2% con respecto al peso inicial de la muestra de suelo empleada en cada fracción, el ensayo es insatisfactorio y deberá repetirse.



El cálculo de la granulometría se realizó para los diferentes suelos encontrados en el área de estudio, eluvión, coluvión y suelo antrópico. Cabe resaltar que los estudios del coluvión se realizaron en fechas distintas a los otros dos suelos, y que los ensayos se mantuvieron.

### 8.6.1.- Granulometría. Eluvión

	ENSAYO 1 ELUVION (g)	ENSAYO 1 ELUVION RETENIDO (%)	ENSAYO 1 ELUVION RETENIDO ACUM. (%)	ENSAYO 2 ELUVION (g)	ENSAYO 2 ELUVION RETENIDO (%)	ENSAYO 2 ELUVION RETENIDO ACUM. (%)	ELUVION (%) MEDIA RETENIDA	ELUVION (%) MEDIA RETENIDA ACUM.	ELUVION (%) MEDIO PASA
39 mm	23,66	9,61%	9,61%	/	/	/			
22 mm	10,2	4,14%	13,75%	/	/	/			
36 mm	20,3	8,24%	21,99%	/	/	/			
38 mm	/	/	/	18,94	7,68%	7,68%			
21 mm	/	/	/	5,75	2,34%	10,02%			
TIAMIZ	ENSAYO 1 ELUVION (g)	RETENIDO (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	ENSAYO 2 ELUVION (g)	RETENIDO (%)	RETENIDO ACUM. (%)			
>20 mm	54,16	21,99%	21,99%	24,69	10,02%	10,02%	16,01%	16,01%	83,99%
16 mm	10,03	4,07%	26,07%	10,96	4,45%	14,47%	4,26%	20,27%	79,73%
10 mm	0	0,00%	26,07%	0,00	0,00%	14,47%	0,00%	20,27%	79,73%
8 mm	0	0,00%	26,07%	0,00	0,00%	14,47%	0,00%	20,27%	79,73%
6 mm	0	0,00%	26,07%	0,00	0,00%	14,47%	0,00%	20,27%	79,73%
5 mm	0	0,00%	26,07%	0,00	0,00%	14,47%	0,00%	20,27%	79,73%
4 mm	0	0,00%	26,07%	0,00	0,00%	14,47%	0,00%	20,27%	79,73%
3 mm	0	0,00%	26,07%	0,21	0,09%	14,55%	0,04%	20,31%	79,69%
2,5 mm	0,34	0,14%	26,21%	0,33	0,13%	14,68%	0,14%	20,44%	79,56%
2 mm	0,49	0,20%	26,40%	0,60	0,24%	14,93%	0,22%	20,67%	79,33%
GRUESO ACUMULADO	10,86	4,41%	26,40%	12,10	4,91%	14,93%	4,66%	20,67%	79,33%
<2 mm	181,23	73,60%	73,60%	209,66	85,07%	85,07%	79,33%	79,33%	20,63%
1,5 mm	0,7	0,28%	26,69%	1,35	0,55%	15,48%	0,42%	21,08%	78,92%
1 mm	2,12	0,86%	27,55%	2,92	1,18%	16,66%	1,02%	22,10%	77,90%
0,750 mm	3,2	1,30%	28,85%	4,79	1,94%	18,60%	1,62%	23,73%	76,27%
0,6 mm	2,4	0,97%	29,82%	3,96	1,61%	20,21%	1,29%	25,02%	74,98%
0,5 mm	4,68	1,90%	31,72%	8,5	3,45%	23,66%	2,67%	27,69%	72,31%
0,430 mm	8,96	3,64%	35,36%	10,65	4,32%	27,98%	3,98%	31,67%	68,33%
0,3 mm	31,38	12,74%	48,11%	35,86	14,55%	42,53%	13,65%	45,32%	54,68%
0,2 mm	37,32	15,16%	63,26%	44,89	18,21%	60,75%	16,68%	62,00%	38,00%
0,120 mm	31,31	12,71%	75,98%	34,03	13,81%	74,55%	13,26%	75,27%	24,73%
0,090 mm	16,2	6,58%	82,55%	16,61	6,74%	81,29%	6,66%	81,92%	18,08%
0,060 mm	15,02	6,10%	88,65%	16,14	6,55%	87,84%	6,32%	88,25%	11,75%
<0,060 mm	27,94	11,35%	100,00%	29,96	12,16%	100,00%	11,75%	100,00%	0,00%
TOTAL RETENIDO	246,25	100,00%	100,00%	246,45	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	0,00%
TOTAL MUESTRA	248,01	/	/	247,03	/	/	/	/	/
PORCENTAJE RETENIDO	99,29%	/	/	99,77%	/	/	/	/	/

Tabla XIII: Granulometría, eluvión.



Como se observa en la Tabla XIII, no todo el material pasó por el tamiz de 20 mm, por lo que fue necesaria la realización de la cantometría, además del análisis de las columnas de gruesos y de finos.

- Cantometría

Ensayo 1

39 mm → 23,66 g

15 mm → 10,20 g

36 mm → 23,30 g

Peso retenido 54,16 g que conforma el 21,99 % de la muestra

Ensayo 2

38 mm → 18,94 g

20 mm → 5,75 g

Peso retenido 24,69 g que conforma el 10,02 % de la muestra

Media de ensayos: 16,01% retenido de la muestra

- Columna de gruesos

Ensayo 1

Peso retenido 10,86 g que conforma el 4,41 % de la muestra

Ensayo 2

Peso retenido 12,10 g que conforma el 4,91 % de la muestra

Media de ensayos: 4,66 % retenido de la muestra

- Columna de finos

Ensayo 1

Peso retenido 181,23 g que conforma el 73,60 % de la muestra

Ensayo 2

Peso retenido 209,66 g que conforma el 85,07 % de la muestra

Media de ensayos: 79,33% retenido de la muestra



- Combinación de los resultados

Pi = 248,01 g

Pf = 246,25 g

Pi - Pf = 1,76 g perdido durante el ensayo → 0,61% < 1% Ensayo válido

Pi = 246,45 g

Pf = 247,03 g

Pi - Pf = 0,58 g perdido durante el ensayo → 0,23% < 1% Ensayo válido

Curva granulométrica y distribución de tamaños (Figuras 30 y 31).

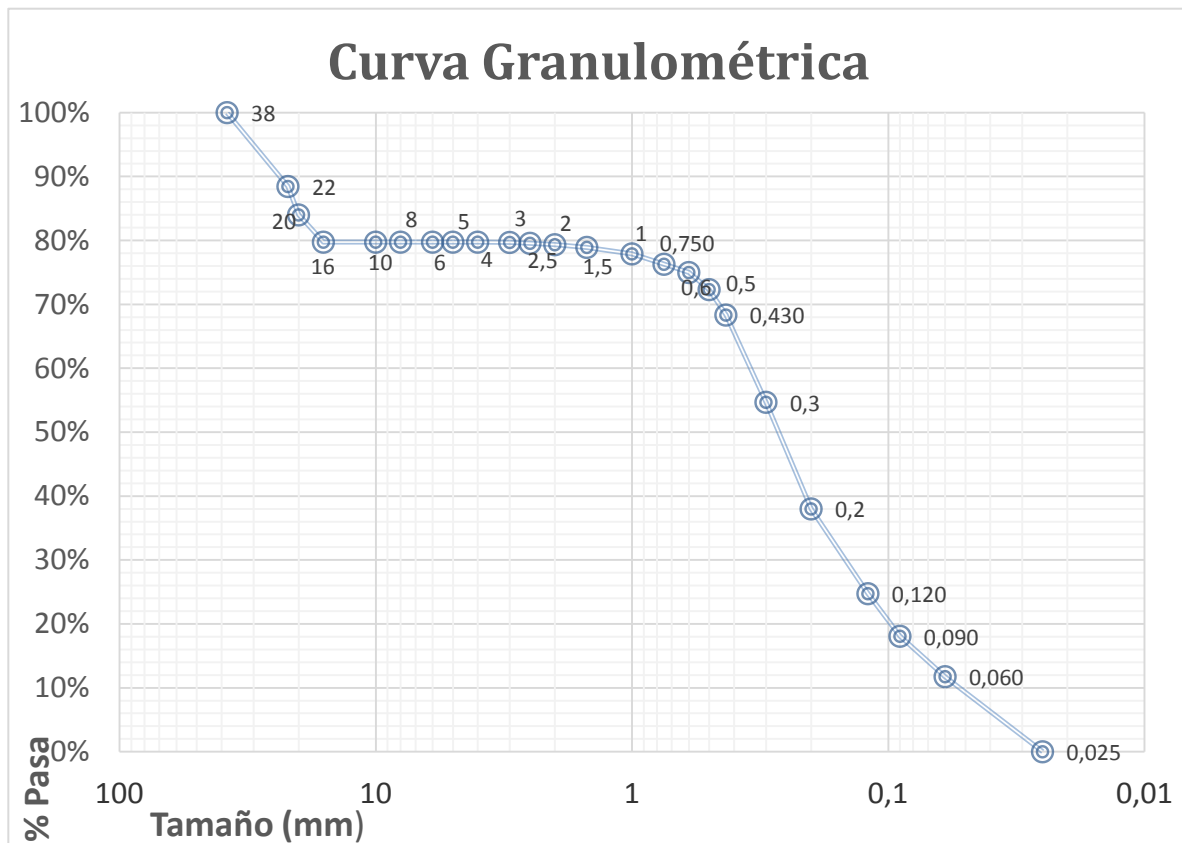


Figura 30: Curva granulométrica, eluvión.

Cálculos asociados:

- Diámetro efectivo (D10): Es el tamaño de partícula que corresponde a P= 10% en la curva granulométrica. Según Hazen, este diámetro corresponde al 10% de las partículas del suelo.

D10 = 0,060 mm El 10 % de las partículas tienen una distribución de diámetros igual o inferior a 0.060 mm.



D60 = 0,35 mm

D30 = 0,15 mm

-Coeficiente de uniformidad (Cu): Indica la uniformidad de la curva granulométrica, es decir, del conjunto de partículas de un suelo.

$Cu = D60/D10 = 5,8$ . Según los resultados y la clasificación que hacen, se puede decir que el suelo es uniforme, ya que el coeficiente de uniformidad se encuentra situado entre los valores 2 y 10.

-Coeficiente de curvatura (Cc): Es una medida de la forma de la curva granulométrica entre D60 y D30.

$Cc = (D30)^2/D60 \cdot D10 = 0,42$ . Si el Cc estuviese entre 1 y 3 se tendría una buena distribución de tamaños entre D10 y D60. El valor resultante difiere del valor comprendido, lo que indica que el suelo se encuentra mal graduado.

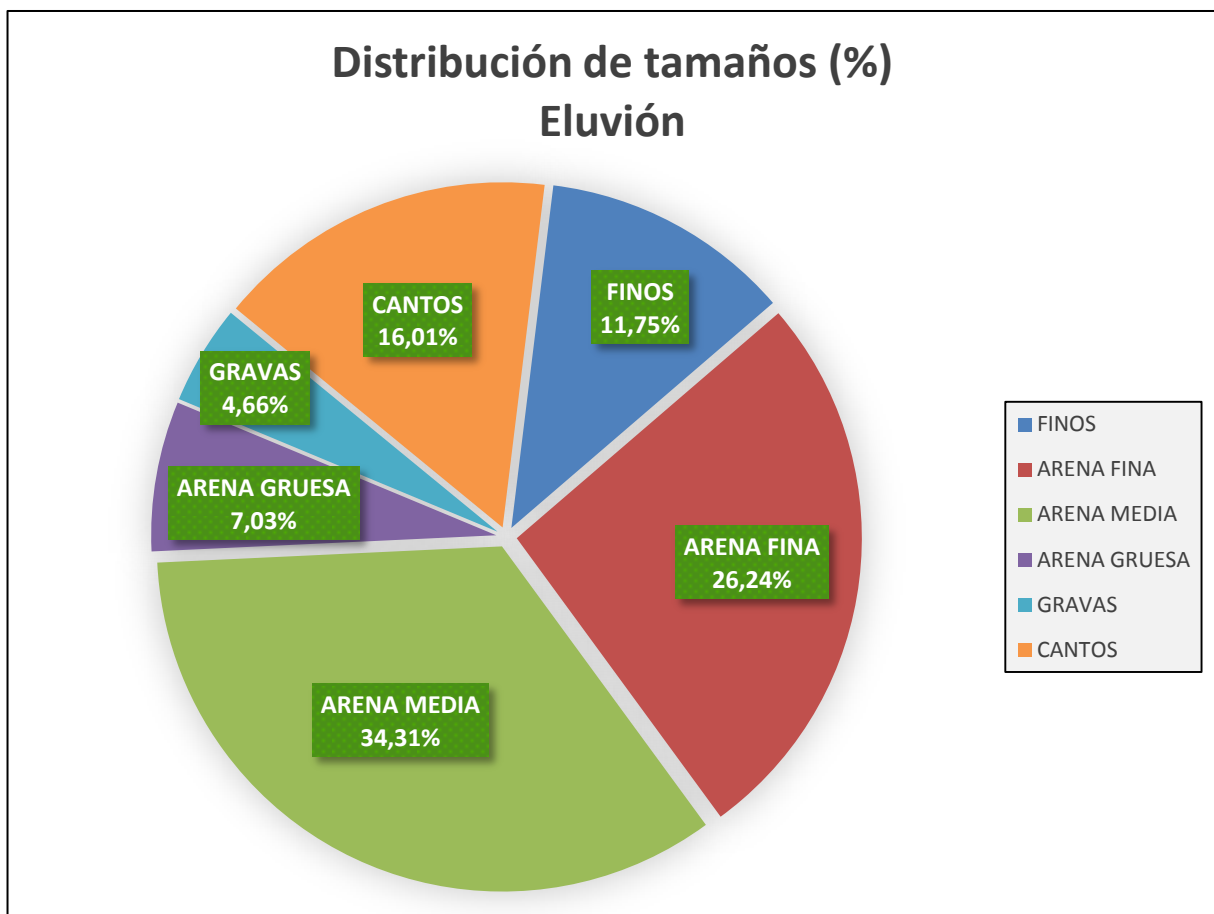


Figura 31: Gráfico de distribución de tamaños, eluvión.

**8.6.2.- Granulometría. Coluvión**

	ENSAYO COLUVIÓN (g)	ENSAYO COLUVIÓN RETENIDO (%)	ENSAYO COLUVIÓN RETENIDO ACUM. (%)	ENSAYO 1 COLUVIÓN (%) PASA
CANTOMETRIA 1	29,3	8,43%	8,43%	91,57%
CANTOMETRIA 2	26,04	7,49%	15,91%	84,09%
TAMIZ	ENSAYO 1 ELUVION (g)	RETENIDO (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	
>20 mm	55,34	15,91%	15,91%	84,09%
16 mm	0,00	0,00%	15,91%	84,09%
10 mm	0,00	0,00%	15,91%	84,09%
8 mm	2,49	0,72%	16,63%	83,37%
6 mm	1,08	0,31%	16,94%	83,06%
5 mm	3,80	1,09%	18,03%	81,97%
4 mm	4,21	1,21%	19,24%	80,76%
3 mm	6,99	2,01%	21,25%	78,75%
2,5 mm	4,95	1,42%	22,68%	77,32%
2 mm	6,98	2,01%	24,69%	75,31%
GRUESO ACUMULADO	30,50	8,77%	24,69%	75,31%
<2 mm	261,90	75,31%	73,60%	26,40%
1,5 mm	22,96	6,60%	31,29%	68,71%
1 mm	22,36	6,43%	37,72%	62,28%
0,750 mm	16,31	4,69%	42,41%	57,59%
0,6 mm	20,11	5,78%	48,19%	51,81%
0,5 mm	16,22	4,66%	52,86%	47,14%
0,430 mm	17,63	5,07%	57,93%	42,07%
0,3 mm	19,55	5,62%	63,55%	36,45%
0,2 mm	26,37	7,58%	71,13%	28,87%
0,120 mm	38,50	11,07%	82,20%	17,80%
0,090 mm	27,80	7,99%	90,20%	9,80%
0,060 mm	25,10	7,22%	97,41%	2,59%
<0,060 mm	8,99	2,59%	100,00%	0,00%
TOTAL RETENIDO	347,74	100,00%	100,00%	0,00%
TOTAL MUESTRA	349,75	/	/	/
PORCENTAJE RETENIDO	99,43%	/	/	/

Tabla XIV: Granulometría, coluvión.

Para el cálculo de la granulometría del coluvión (Tabla XIV) se realizó un único ensayo que se dio por válido.

No todo el material pasó por el tamiz de 20 mm, por lo que fue necesaria la realización de la cantometría, además del análisis de las columnas de gruesos y de finos.

- Cantometría

30 mm → 29,30 g

25 mm → 26,04 g

- Columna de gruesos

Peso retenido 30,50 g que conforma el 8,77 % de la muestra

- Columna de finos



Peso retenido 261,90 g que conforma 75,31 % de la muestra

- Combinación de los resultados

$$P_i = 347,74 \text{ g}$$

$$P_f = 349,75 \text{ g}$$

$$P_i - P_f = 2,01 \text{ g perdido durante el ensayo} \longrightarrow 0,58\% < 1\% \text{ Ensayo válido}$$

Curva granulométrica y distribución de tamaños (Figuras 32 y 33).

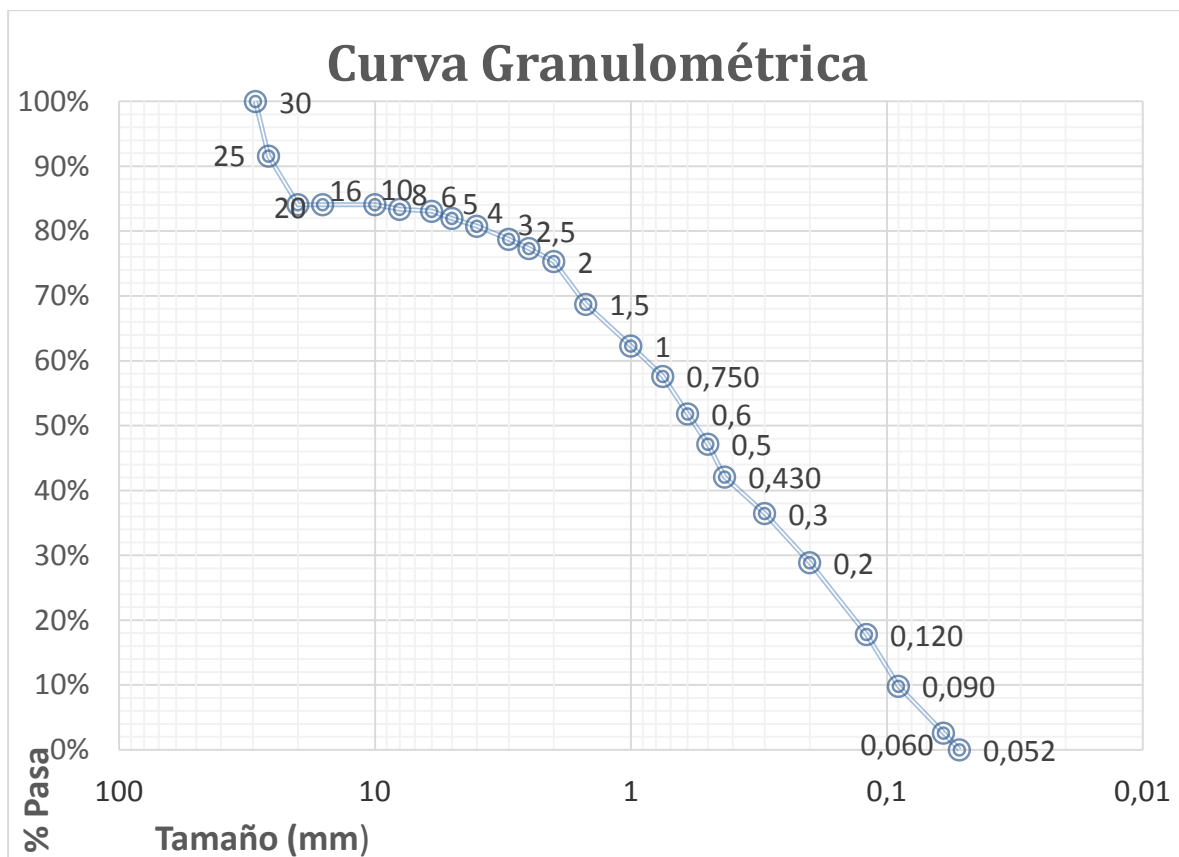


Figura 32: Curva granulométrica, coluvión.

Cálculos asociados:

- Diámetro efectivo (D10): Es el tamaño de partícula que corresponde a P= 10% en la curva granulométrica. Según Hazen, este diámetro corresponde al 10% de las partículas del suelo.

D10 = 0.090 mm El 10 % de las partículas tienen una distribución de diámetros igual o inferior a 0.090 mm.

$$D_{60} = 0.85 \text{ mm}$$

$$D_{30} = 0.22 \text{ mm}$$





-Coeficiente de uniformidad (Cu): Indica la uniformidad de la curva granulométrica, es decir, del conjunto de partículas de un suelo.

$Cu = D_{60}/D_{10} = 9,44$ . D60 y D10 son bastante diferentes de manera que Cu es bastante grande. Se puede decir que el suelo es poco uniforme o que está “bien graduado”.

-Coeficiente de curvatura (Cc): Es una medida de la forma de la curva granulométrica entre D60 y D30.

$Cc = (D_{30})^2/D_{60} \cdot D_{10} = 0,25$ . Si el Cc estuviese entre 1 y 3 se tendría una buena distribución de tamaños entre D10 y D60. El valor resultante está por debajo, lo que indica que falta algún diámetro entre D10 y D60.

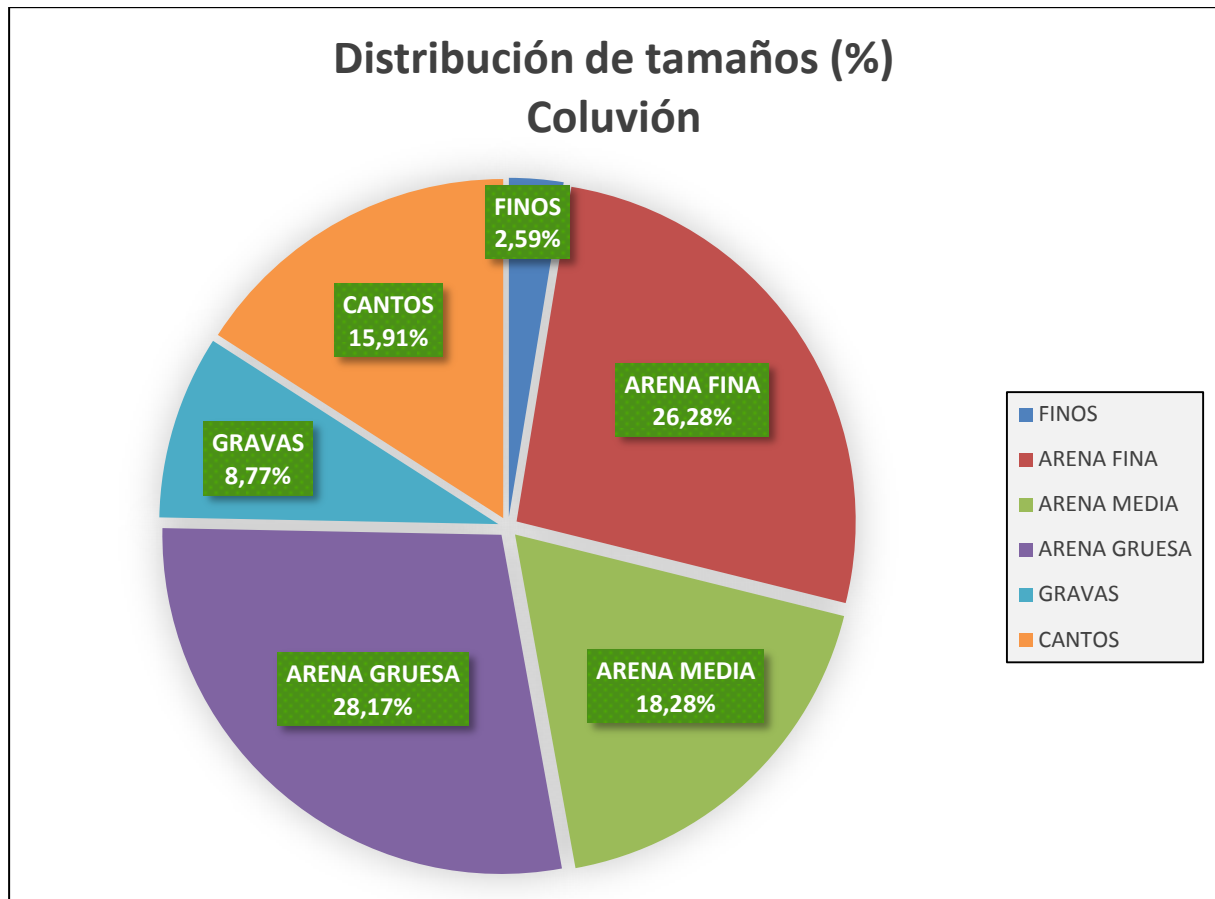


Figura 33: Gráfico de distribución de tamaños, coluvión.



## 8.6.3.- Granulometría. Suelo antrópico

	ENSAYO 1 ANTROPICO (g)	ENSAYO 1 ANTROPICO RETENIDO (%)	ENSAYO 1 ANTROPICO RETENIDO ACUM. (%)	ENSAYO 3 ANTROPICO (g)	ENSAYO 3 ANTROPICO RETENIDO (%)	ENSAYO 3 ANTROPICO RETENIDO ACUM. (%)	ANTROPICO(%) MEDIA RETENIDA	ANTROPICO(%) MEDIA RETENIDA ACUM.	ANTROPICO (%) MEDIO PASA
CANTOMETRIA 1	28,12	11,65%	11,65%	15,46	6,35%	6,35%			
CANTOMETRIA 2	10,25	4,25%	15,89%	8,32	3,42%	9,77%			
CANTOMETRIA 3	/	/	/	8,4	3,45%	13,22%			
CANTOMETRIA 4	/	/	/	7,21	2,96%	16,18%			
CANTOMETRIA 5	/	/	/	6,52	2,68%	18,86%			
TAMIZ	ENSAYO 1	RETENIDO (%)	RETENIDO ACUMULADO	ENSAYO 2	RETENIDO (%)	RETENIDO ACUMULADO			
>20 mm	38,37	15,89%	15,89%	45,91	18,86%	18,86%	17,38%	17,38%	82,62%
16 mm	26,16	10,83%	26,72%	14,54	5,97%	24,84%	8,40%	25,78%	74,22%
10 mm	17,49	7,24%	33,97%	10,50	4,31%	29,15%	5,78%	31,56%	68,44%
8 mm	1,09	0,45%	34,42%	3,41	1,40%	30,55%	0,93%	32,49%	67,51%
6 mm	0,75	0,31%	34,73%	1,32	0,54%	31,09%	0,43%	32,91%	67,09%
5 mm	0,38	0,16%	34,89%	1,02	0,42%	31,51%	0,29%	33,20%	66,80%
4 mm	0,78	0,32%	35,21%	1,30	0,53%	32,05%	0,43%	33,63%	66,37%
3 mm	2,72	1,13%	36,34%	2,99	1,23%	33,27%	1,18%	34,81%	65,19%
2,5 mm	2,46	1,02%	37,36%	3,43	1,41%	34,68%	1,21%	36,02%	63,98%
2 mm	3,79	1,57%	38,93%	4,85	1,99%	36,68%	1,78%	37,80%	62,20%
GRUESO ACUMULADO	55,62	23,03%	38,93%	43,36	17,81%	36,68%	20,42%	37,80%	62,20%
<2 mm	147,47	61,07%	61,07%	154,13	63,32%	63,32%	62,20%	62,20%	37,80%
1,5 mm	6,89	2,85%	41,78%	6,52	2,68%	39,35%	2,77%	40,57%	59,43%
1 mm	11,76	4,87%	46,65%	12,06	4,95%	44,31%	4,91%	45,48%	54,52%
0,750 mm	12,37	5,12%	51,77%	15,92	6,54%	50,85%	5,83%	51,31%	48,69%
0,6 mm	6,47	2,68%	54,45%	9,87	4,06%	54,91%	3,37%	54,68%	45,32%
0,5 mm	9,03	3,74%	58,19%	11,79	4,84%	59,75%	4,29%	58,97%	41,03%
0,430 mm	7,19	2,98%	61,17%	9,27	3,81%	63,56%	3,39%	62,36%	37,64%
0,3 mm	13,71	5,68%	66,85%	9,61	3,95%	67,51%	4,81%	67,18%	32,82%
0,2 mm	11,92	4,94%	71,78%	10,39	4,27%	71,77%	4,60%	71,78%	28,22%
0,120 mm	16,28	6,74%	78,53%	11,91	4,89%	76,67%	5,82%	77,60%	22,40%
0,090 mm	17,49	7,24%	85,77%	18,83	7,74%	84,40%	7,49%	85,09%	14,91%
0,060 mm	19,4	8,03%	93,80%	19,79	8,13%	92,53%	8,08%	93,17%	6,83%
<0,060 mm	14,96	6,20%	100,00%	18,17	7,47%	100,00%	6,83%	100,00%	0,00%
TOTAL RETENIDO	241,46	100,00%	100,00%	243,40	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	0,00%
TOTAL MUESTRA	242,00	/	/	244,00	/	/	/	/	/
PORCENTAJE RETENIDO	99,78%	/	/	99,75%	/	/	/	/	/

Tabla XV: Granulometría, suelo antrópico.



No todo el material pasó por el tamiz de 20 mm tal y como se observa en la Tabla XV, por lo que fue necesaria la realización de la cantometría, además del análisis de las columnas de gruesos y de finos.

- Cantometría

Ensayo 1

55 mm → 28,12 g

25 mm → 10,25 g

Peso retenido 38,37 g que conforma el 15,89 % de la muestra

Ensayo 2

41 mm → 15,46 g

33 mm → 8,32 g

28 mm → 8,40 g

26 mm → 7,21 g

29 mm → 6,52 g

Peso retenido 24,69 g que conforma el 18,86 % de la muestra

Media de ensayos: 17,38% retenido de la muestra

- Columna de gruesos

Ensayo 1

Peso retenido 55,62 g que conforma el 23,03 % de la muestra

Ensayo 2

Peso retenido 43,36 g que conforma el 17,81 % de la muestra

Media de ensayos: 20,42 % retenido de la muestra

- Columna de finos

Ensayo 1

Peso retenido 147,47 g que conforma el 61,07 % de la muestra

Ensayo 2

Peso retenido 154,13 g que conforma el 63,32 % de la muestra



Media de ensayos: 62,20% retenido de la muestra

- Combinación de los resultados

Pi = 241,46 g

Pf = 242,00 g

Pi - Pf = 0,54 g perdido durante el ensayo  $\rightarrow$  0,22% < 1% Ensayo válido

Pi = 243,40 g

Pf = 244,00 g

Pi - Pf = 0,60 g perdido durante el ensayo  $\rightarrow$  0,25% < 1% Ensayo válido

Curva granulométrica y distribución de tamaños (Figuras 34 y 35).

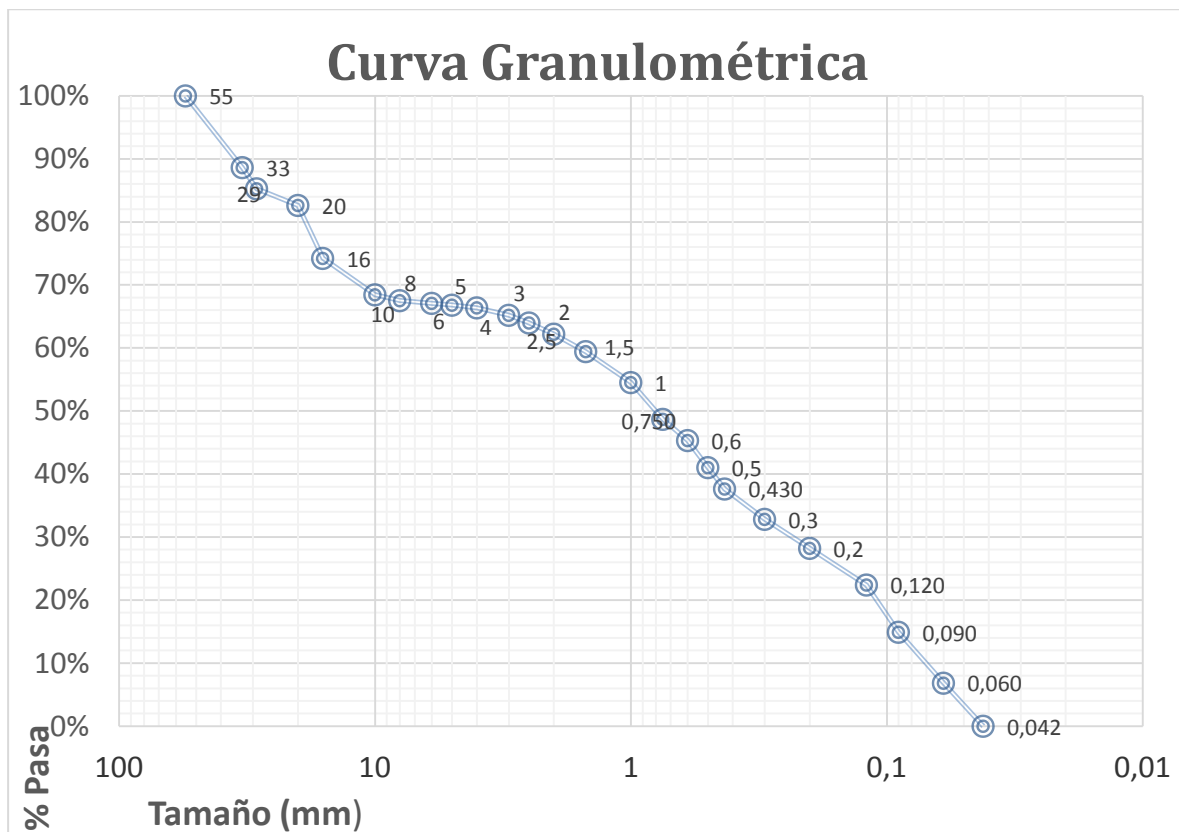


Figura 34: Curva granulométrica, suelo antrópico.



Cálculos asociados:

- Diámetro efectivo (D10): Es el tamaño de partícula que corresponde a P= 10% en la curva granulométrica. Según Hazen, este diámetro corresponde al 10% de las partículas del suelo.

D10 = 0.070 mm El 10 % de las partículas tienen una distribución de diámetros igual o inferior a 0.070 mm.

D60 = 1,5 mm

D30 = 0,25 mm

-Coeficiente de uniformidad (Cu): Indica la uniformidad de la curva granulométrica, es decir, del conjunto de partículas de un suelo.

$Cu = D60/D10 = 21,43$  Según los resultados y la clasificación que hace Hazen, se puede decir que el suelo no es uniforme, ya que el coeficiente de uniformidad se encuentra fuera del intervalo entre 2 y 10 debido a la disparidad entre D10 y D60.

-Coeficiente de curvatura (Cc): Es una medida de la forma de la curva granulométrica entre D60 y D30.

$Cc = (D30)^2/D60 \cdot D10 = 0,17$  Si el Cc estuviese entre 1 y 3 se tendría una buena distribución de tamaños entre D10 y D60. El valor resultante está por debajo, lo que indica que falta algún diámetro entre D10 y D60.

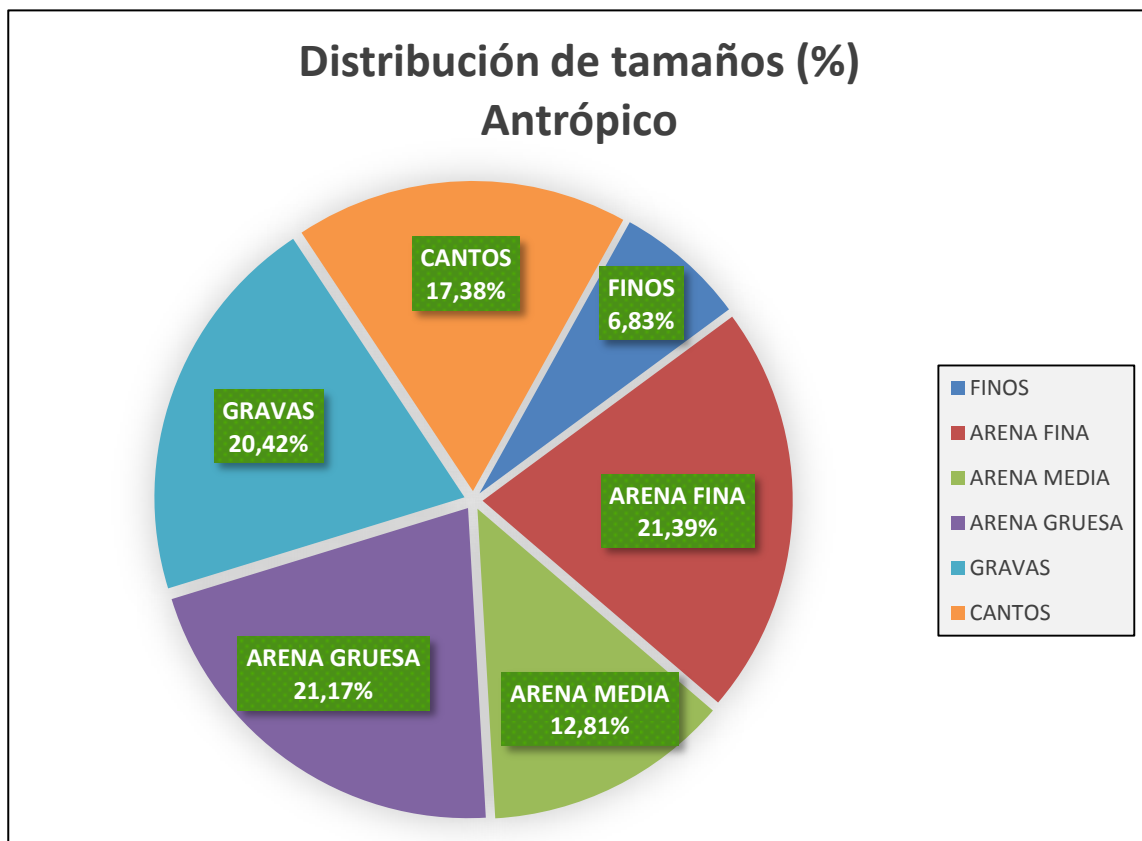


Figura 35: Gráfico de distribución de tamaños, suelo antrópico.

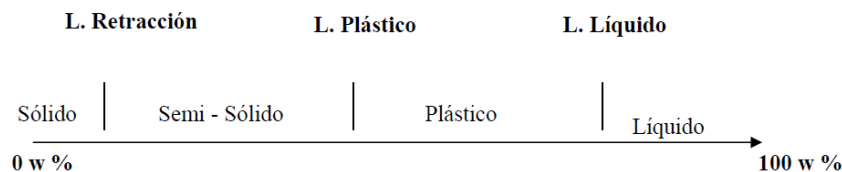


### 8.7.- Límites de Atterberg (UNE 103103:94 y UNE 103104:94)

Los límites de Atterberg o límites de consistencia se utilizan para caracterizar el comportamiento de los suelos finos. Los límites se basan en el concepto de que en un suelo de grano fino solo pueden existir cuatro estados de consistencia según su humedad. Así, un suelo se encuentra en estado sólido, cuando está seco. Al agregársele agua poco a poco va pasando sucesivamente a los estados de semisólido, plástico, y finalmente líquido. Los contenidos de humedad en los puntos de transición de un estado al otro son los denominados límites de Atterberg.

Se definen de esta manera tres límites (Figura 36):

- Límite de contracción o retracción (LC): Porcentaje de humedad a la que se produce el paso de estado sólido a estado semisólido.
- Límite plástico (LP o WP): Porcentaje de humedad al que se produce el cambio de estado semisólido a plástico.
- Límite líquido (LL o WL): Porcentaje de humedad al que se produce el paso de estado plástico a semilíquido o viscoso.



**Figura 36:** Representación de los límites de Atterberg en relación al contenido de humedad.

#### Material utilizado

- Cuchara de Casagrande. Cuchara de bronce con una masa de 200 +- 20 g, montada en un dispositivo de apoyo fijado a una base de rígida.
  - Acanalador (ASTM o Casagrande). Mango de calibre de altura de 1 cm.
  - Espátula o cuchillos normalizados.
  - Horno de secado.
  - Balanza.
- Herramientas y accesorios: Tamiz de 400 micras, agua destilada, recipientes y portamuestras.



### 8.7.1.- Límite líquido

Procedimiento (UNE 103103:1994 Determinación del límite líquido de un suelo por el método del aparato de Casagrande).

Se comienza por el cuarteo de la muestra

Se tamiza el suelo para trabajar únicamente con la fracción que pasa por 0,4 mm.

Se amasa el material con la cantidad de agua necesaria, vertiéndola en varias repeticiones, hasta conseguir una pasta homogénea con una humedad uniforme, para lo cual es necesario reposar la muestra durante un tiempo prudencial.

A continuación se separa la cuchara del aparato de Casagrande y se rellena con el material con unos cuchillos normalizados (en nuestro ensayo se ha realizado manualmente), de tal forma que la muestra quede uniformemente distribuida por el recipiente con un espesor constante de 1 cm.

Mediante unos acanaladores normalizados, se genera en el material un surco profundo, de manera que se muestre el bronce del recipiente, con una única pasada para que no haya variaciones en el espesor del surco.

Se une de nuevo la cuchara de Casagrande al aparato. De esta manera, queda conectado a una manivela con una excéntrica que hace que la cazoleta se levante a una altura de 1 cm. y caiga de golpe.

Se hace girar la manivela a un ritmo constante de unos dos golpes por segundo, y se van contando los golpes. El experimento debe ser detenido cuando las dos partes de la muestra, anteriormente separadas por el surco, se hayan juntado por su base a lo largo de una longitud de entre 10 y 12 mm.

El ensayo sólo es válido si la muestra se junta entre 15 y 35 golpes. Si son necesarios más golpes, la muestra está demasiado seca, y si se junta con menos de 15 golpes, la muestra está demasiado húmeda.

Se extrae una porción de la muestra y se coloca en un portamuestras. Se pesa la muestra con el portamuestras.

A continuación se introduce en el horno para su secado.

Se pesa la muestra seca con el portamuestras y se obtiene el contenido en humedad, que se representa en la trama.

Se repite el proceso para obtener otro punto en la trama, y se la recta de regresión más representativa paralela a las líneas de trazo discontinuo que aparecen en la trama.

Se obtiene finalmente el límite líquido, que es el porcentaje de humedad que corresponde a 25 golpes.



VARIABLES que pueden afectar al resultado de la prueba del límite líquido son, por ejemplo, utilizar una porción mayor de suelo a ensayar en la cuchara, no cumplir con la frecuencia de golpes especificada, el tiempo en realizar la prueba o la humedad en el laboratorio. También puede afectar el tipo de herramienta empleada para hacer la ranura (Casagrande o ASTM).

La altura de caída de la cuchara debe ser verificada antes de comenzar un ensayo, utilizando el mango de calibra de 1mm adosado al acanalador.

El tiempo de curado varía según el tipo de suelo. Suelos de alta plasticidad requieren por lo menos de 24 horas, en cambio, los de baja plasticidad pueden necesitar un plazo mucho menor o incluso nulo.

En suelos arcillosos el acanalador será pasado una vez. Para limos se requieren de 2 a 3 pasadas, limpiando cada vez el acanalador.

Se trata de una determinación subjetiva por lo que el operador debería ser el mismo para todas las determinaciones. Es recomendable realizar el ensayo en una cámara húmeda para evitar la evaporación de la muestra de suelo.

Si no es posible determinar uno de los límites (LL o LP), o si la diferencia es negativa (IP), el suelo se calificará como no plástico (NP).

### 8.7.1.1.- Límite líquido. Eluvión

Los datos recogidos para calcular el LL del eluvión se muestran en la Tabla XVI.

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Golpes	34	15	27
P <sub>c</sub> (g)	0,70	0,84	0,82
M (g)	25,26	29,92	29,88
M <sub>s</sub> (g)	20,72	23,72	24,22
P <sub>c</sub> + M (g)	25,96	30,76	30,70
P <sub>c</sub> + M <sub>s</sub> (g)	21,42	24,56	25,04
W%	21,91%	26,14%	23,37%

P<sub>c</sub> = Peso portamuestra

P<sub>c</sub> + m = peso portamuestra + muestra húmeda

P<sub>m</sub> = Peso muestra húmeda

P<sub>c</sub> + m<sub>s</sub> = Peso portamuestra + muestra seca

**Tabla XVI:** Límites de Atterberg, LL del eluvión.

Cálculos asociados:

$$\text{Fórmula de Lambe (método teórico)} \rightarrow LL = W * (N/25)^{0.121}$$

- Para 15 golpes:

$$LL = 26,14 (15/25)^{0.121} = 22,74 \%$$

- Para 27 golpes:

$$LL = 23,37 (27/25)^{0.121} = 23,59 \%$$





- Para 34 golpes:

$$LL = 21,91 (34/25)^{0.121} = 22,74 \%$$

Tras los cálculos asociados con la fórmula de Lambe disponemos los resultados en el diagrama de flujo (Figura 37), con el objetivo de obtener el LL promedio.

$$LL_{\text{Promedio}} \rightarrow 24,2 \%$$

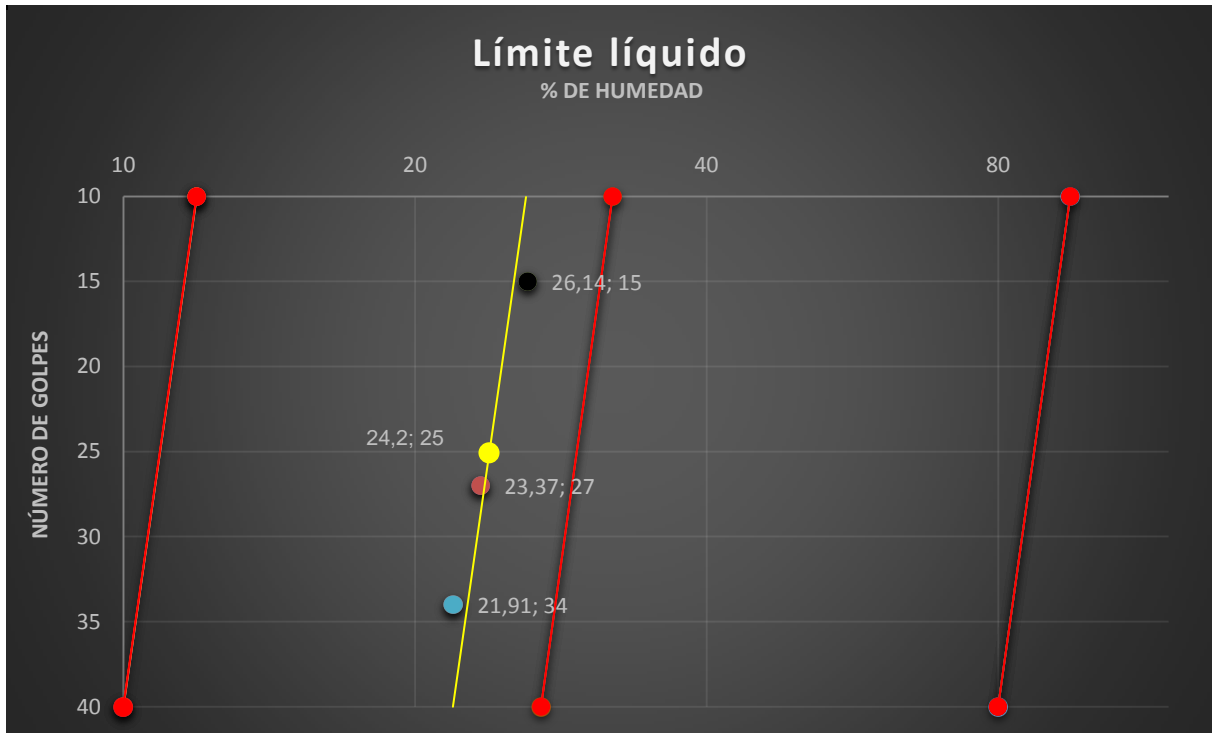


Figura 37: Diagrama de flujo, LL del eluvión.

### 6.7.1.2.- Límite líquido. Coluvión

El LL del coluvión se calculó con los datos mostrados en la Tabla XVII.

	Muestra 1	Muestra 2
Golpes	16	20
P <sub>c</sub> (g)	2,27	2,27
M (g)	21,61	37,02
M <sub>s</sub> (g)	15,74	27,29
P <sub>c</sub> + M (g)	23,88	39,29
P <sub>c</sub> + M <sub>s</sub> (g)	18,01	29,56
W%	37,29	35,65

P<sub>c</sub> = Peso portamuestra

P<sub>c</sub> + m = peso portamuestra + muestra húmeda

P<sub>m</sub> = Peso muestra húmeda

P<sub>c</sub> + m<sub>s</sub> = Peso portamuestra + muestra seca

Tabla XVII: Límites de Atterberg, LL del coluvión.

Cálculos asociados:

$$\text{Fórmula de Lambe (método teórico)} \rightarrow LL = W * (N/25)^{0.121}$$



- Para 16 golpes:

$$LL = 37,29 (16/25)^{0.121} = 35,33 \%$$

- Para 20 golpes:

$$LL = 35,65 (20/25)^{0.121} = 34,70 \%$$

Tras los cálculos asociados con la fórmula de Lambe disponemos los resultados en el diagrama de flujo (Figura 38), con el objetivo de obtener el LL promedio.

LL<sub>Promedio</sub> → 35 %

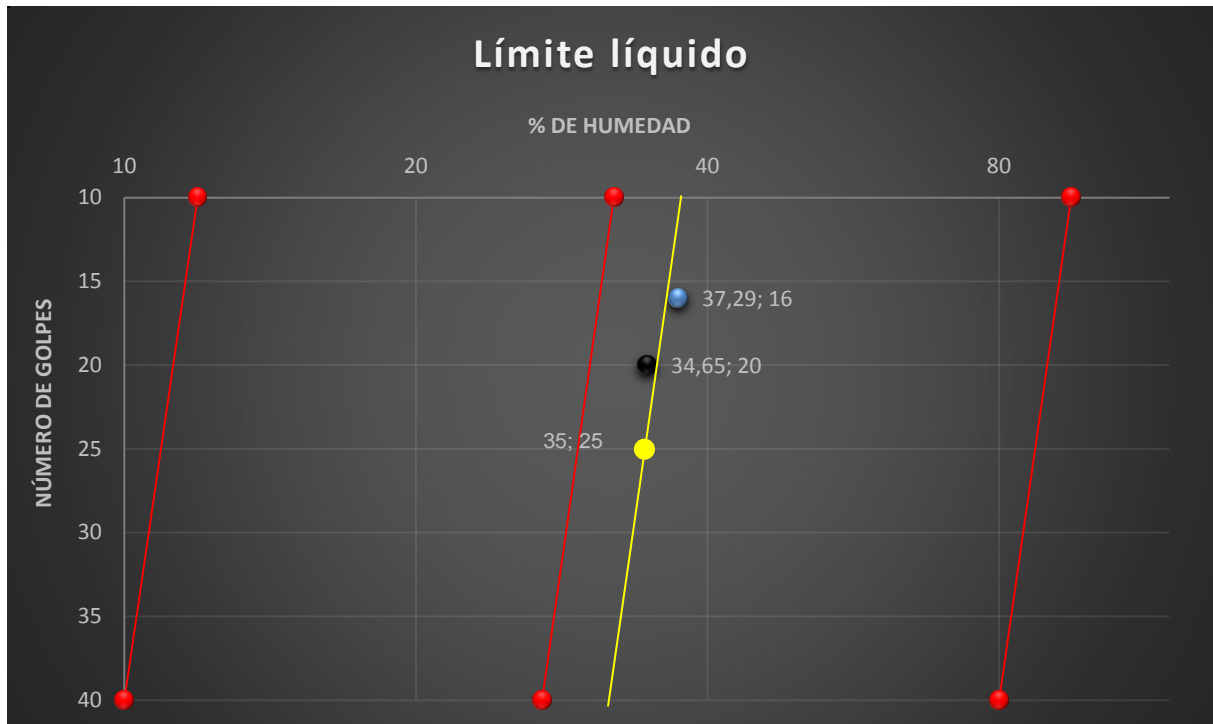


Figura 38: Diagrama de flujo, LL del coluvión.

### 8.7.1.3.- Límite líquido. Suelo antrópico

Los datos del LL del suelo antrópico se muestran en la Tabla XVIII.

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Golpes	29	19	33
P <sub>c</sub> (g)	0,63	0,67	0,64
M (g)	22,16	21,2	25,92
M <sub>s</sub> (g)	16,98	16,05	19,81
P <sub>c</sub> + M (g)	22,79	21,87	26,56
P <sub>c</sub> + M <sub>s</sub> (g)	17,61	16,72	20,45
W%	30,51	32,09	30,84

P<sub>c</sub> = Peso portamuestra

P<sub>c</sub> + m = peso portamuestra + muestra húmeda

P<sub>m</sub> = Peso muestra húmeda

P<sub>c</sub> + m<sub>s</sub> = Peso portamuestra + muestra seca

Tabla XVIII: Límites de Atterberg, LL del suelo antrópico.

Cálculos asociados:



Fórmula de Lambe (método teórico)  $\rightarrow LL = W * (N/25)^{0.121}$

- Para 19 golpes:

$$LL = 32,09 (19/25)^{0.121} = 31,04 \%$$

- Para 29 golpes:

$$LL = 30,51 (29/25)^{0.121} = 31,06 \%$$

- Para 33 golpes:

$$LL = 30,84 (33/25)^{0.121} = 31,89 \%$$

Tras los cálculos asociados con la fórmula de Lambe disponemos los resultados en el diagrama de flujo (Figura 39), con el objetivo de obtener el LL promedio.

$LL_{Promedio} \rightarrow 31,4 \%$

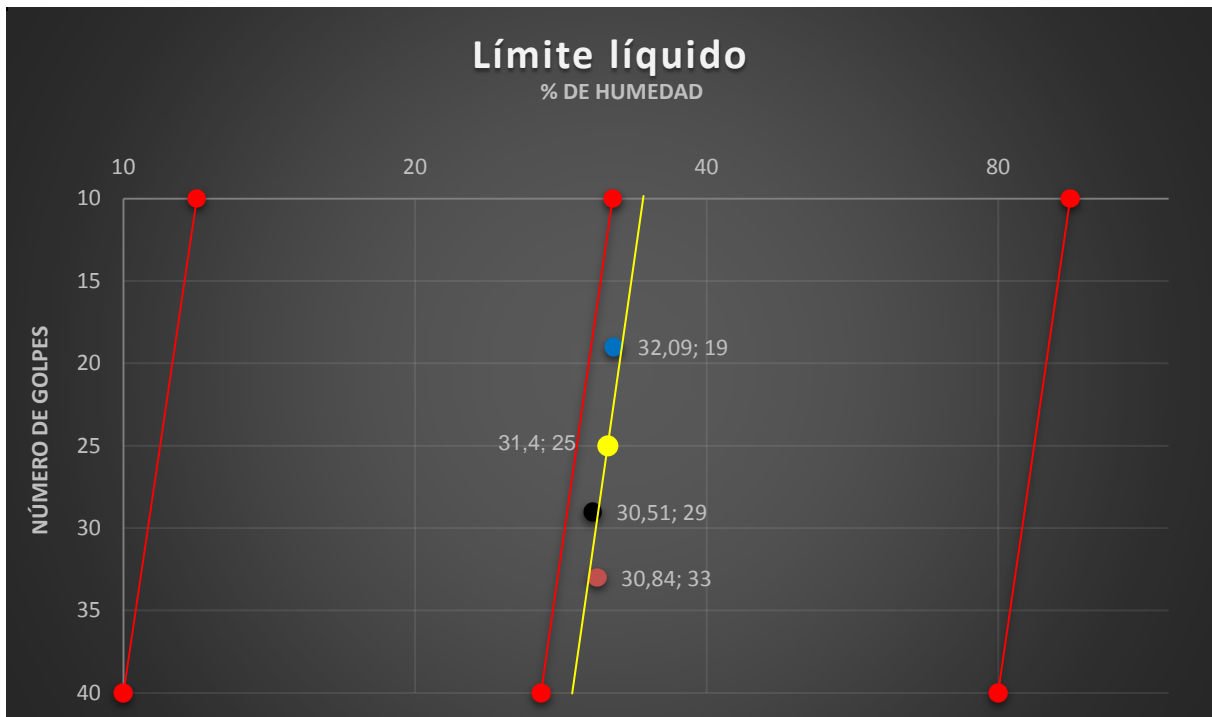


Figura 39: Diagrama de flujo, LL del suelo antrópico.

### 8.7.2.- Límite plástico

Procedimiento (UNE 103104:1993 Determinación del límite plástico de un suelo).

Cuarteo de la muestra.

Se tamiza el suelo para trabajar únicamente con la fracción que pasa por 0,4mm.

Se amasa el material con la cantidad de agua necesaria, vertiéndola en varias repeticiones, hasta conseguir una pasta homogénea con una humedad uniforme, para lo cual es necesario reposar la muestra durante un tiempo prudencial.



Se genera con la mano una pequeña esfera y se hace rodar sobre una superficie pulida hasta formar un cilindro alargado de unos 3 mm. de diámetro.

En ese momento, si aparecen unas fisuras transversales a la generatriz del cilindro que provocan que se desmorone, se para el ensayo.

Se introduce el material en un portamuestras y se pesa.

Se seca en el horno.

Se pesa el portamuestras con la muestra seca.

Se determina el porcentaje de humedad de la muestra, lo que constituye el límite plástico.

### 8.7.2.1.- Límite plástico. Eluvión

Los datos registrados para la obtención del LP del eluvión se muestran a continuación (Tabla IXX).

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3		
P <sub>c</sub> (g)	0,71	0,59	0,70		
M (g)	2,09	1,61	1,95		
M <sub>s</sub> (g)	1,73	1,38	1,55		
P <sub>c</sub> + M (g)	2,80	2,20	2,65		
P <sub>c</sub> + M <sub>s</sub> (g)	2,44	1,97	2,25	Media	21,09
W%	20,81	16,67	25,81	Desv. Típica	4,58

Tabla IXX: Límites de Atterberg, LP del eluvión.

Resultado: Porcentaje final de humedad para el límite plástico → 21,09 %

### 8.7.2.2.- Límite plástico. Coluvión

Con los datos mostrados en la Tabla XX, se obtuvo el LP del coluvión.

	Muestra 1	Muestra 2		
P <sub>c</sub> (g)	2,31	2,33		
M (g)	0,83	0,62		
M <sub>s</sub> (g)	0,53	0,38		
P <sub>c</sub> + M (g)	3,14	2,95		
P <sub>c</sub> + M <sub>s</sub> (g)	2,84	2,71	Media	59,88
W%	56,60	63,16	Desv. Típica	4,63

Tabla XX: Límites de Atterberg, LP del coluvión.

Resultado: Porcentaje final de humedad para el límite plástico → 59,88 %

### 8.7.2.3.- Límite plástico. Suelo antrópico

El LP del suelo antrópico se calculó a partir de los siguientes datos (Tabla XXI).



	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3		
P <sub>c</sub> (g)	0,47	0,56	0,51		
M (g)	1,77	2,02	2,15		
M <sub>s</sub> (g)	1,44	1,61	1,81		
P <sub>c</sub> + M (g)	2,24	2,58	2,66		
P <sub>c</sub> + M <sub>s</sub> (g)	1,91	2,17	2,32	Media	22,39
W%	22,92	25,47	18,78	Desv. Típica	3,37

**Tabla XXI:** Límites de Atterberg, LP del suelo antrópico.

Resultado: Porcentaje final de humedad para el límite plástico → 22,39 %

### 8.7.3.- Cálculos asociados a los límites

Tras obtener los límites plástico y líquido, se han realizado otra serie de cálculos para una mejor caracterización del terreno:

- Índice de plasticidad (IP): indica el margen de contenidos de agua en que es trabajable una arcilla y se dice que una arcilla es "más plástica" que otra si tiene un índice de plasticidad superior:

$$IP = LL - LP$$

- Límite de contracción (SL): se define como el porcentaje respecto al peso seco de la muestra, con el cual una reducción de agua no ocasiona disminución en el volumen del suelo.

$$SL = (2,5LL + 45LP)/(LL - LP + 45)$$

- Índice de liquidez (IL): es el índice utilizado para medir a escala el contenido de humedad natural de una muestra de suelo, respecto a los Límites Líquido y Plástico (indirectamente sirve para tener una medida aproximada de la resistencia del material), siendo definido como:

$$IL = W_n - LP/IP$$

- Consistencia relativa o índice de consistencia (CR): Aporta una aproximación del esfuerzo de corte de un suelo, la firmeza con que se unen los materiales que lo componen o la resistencia de los suelos a la deformación y la ruptura. La consistencia del suelo se mide por muestras de suelo mojado, húmedo y seco.

$$CR = LL - W_n/IP$$



A modo de conclusión final para caracterizar geotécnicamente el suelo, observando los resultados de los límites y de la granulometría, se puede asumir que se trata de un suelo no plástico ya que éste cuenta con un porcentaje inferior al 3% de material fino entre sus agregados y por consecuencia, el límite líquido y plástico proporcionan resultados negativos en el índice de plasticidad (IP) y muy poco fiables para sus cálculos asociados (contracción, liquidez y consistencia relativa).

#### **8.7.3.1.- Cálculos asociados a los límites. Eluvión**

- Índice de plasticidad (IP):

$$IP = LL - LP = 23,64 - 21,09 = 2,55$$

- Límite de contracción (SL):

$$SL = (2,5LL + 45LP)/(LL - LP + 45) = 21,20\%$$

- Índice de liquidez (IL):

$$IL = (W_n - LP)/IP = 1,1$$

- Consistencia relativa o índice de consistencia (CR):

$$CR = (LL - W_n)/IP = -0,1$$

Según los datos obtenidos podemos clasificar el eluvión como un suelo poco plástico cercano a ser un suelo friable o que se desmenuza fácilmente, con un grado de expansión bajo, viscoso, normalmente consolidado y poco consistente.

#### **8.7.3.2.- Cálculos asociados a los límites. Coluvión**

- Índice de plasticidad (IP):

$$IP = LL - LP = 35,01 - 39,88 = -4,87$$

- Límite de contracción (SL):

$$SL = (2,5LL + 45LP)/(LL - LP + 45) = 46,90\%$$

- Índice de liquidez (IL):

$$IL = (W_n - LP)/IP = 0,62$$

- Consistencia relativa o índice de consistencia (CR):

$$CR = (LL - W_n)/IP = 0,38$$



Según los datos obtenidos podemos clasificar el coluvión como un suelo no plástico, suelo friable que se desmenuza fácilmente, con un grado de expansión muy bajo y poco consistente.

### 8.7.3.3.- Cálculos asociados a los límites. Suelo antrópico

- Índice de plasticidad (IP):

$$IP = LL - LP = 31,33 - 22,39 = 8,94$$

- Límite de contracción (SL):

$$SL = (2,5LL + 45LP)/(LL - LP + 45) = 20,13\%$$

- Índice de liquidez (IL):

$$IL = (W_n - LP)/IP = 0,98$$

- Consistencia relativa o índice de consistencia (CR):

$$CR = (LL - W_n)/IP = 0,025$$

Según los datos obtenidos podemos clasificar el suelo antrópico como un suelo medianamente plástico, con un grado de expansión bajo, normalmente consolidado, una baja resistencia al corte y poco consistente.

### 8.8.- Clasificación del suelo

Existen multitud de clasificaciones para suelos. Son muy útiles para evaluar las características de los suelos presentes en las zonas de estudio, usados para la construcción, de una manera aproximada, rápida y económica.

Las clasificaciones más utilizadas en la ingeniería civil se basan principalmente en la granulometría y la plasticidad de los suelos, ya que se ha comprobado en la mayoría de los casos que las características más interesantes para la construcción; como la deformación, compactabilidad, permeabilidad, etc. están relacionados en primera aproximación a estas propiedades. En esta caracterización se utilizan las más habituales y científicamente más exactas, como son la clasificación Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S) y la American Association of State Highway and Transportation Officials (A.A.S.H.T.O.), ampliamente utilizadas en España.



### **8.8.1.- Clasificación del suelo S.U.C.S.**

El sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S) fue incluido por la American Society for Testing Material (A.S.T.M) entre sus métodos normalizados (ASTM: D 2487-69). La tabla utilizada para él la clasificación de suelos según S.U.C.S. se muestra en la Figura 40.

#### **8.8.1.1.- Clasificación del suelo S.U.C.S. Eluvión**

Es un suelo de partículas gruesas, más de la mitad del material queda retenido por la malla número 200 (0,074mm). El 50% de las partículas del suelo son retenidas por el tamiz de número 4 (4,75mm), por lo que se trata de un suelo formado por gravas. Al tratarse de gravas con un porcentaje de finos mayor al 3%, y con un Índice Plástico menor a 4 podemos concretar un suelo **GM**.

**GM:** Gravas limosas, mezcla de grava, arena y limo.

#### **8.8.1.2.- Clasificación del suelo S.U.C.S. Coluvión**

Se trata pues de un suelo de partículas gruesas, más de la mitad del material queda retenido por la malla número 200 (0,074mm). Puesto que más del 50% de las partículas del suelo pasan por el tamiz de número 4 (4,75mm), se puede afirmar que se trata de un suelo formado por arenas. Al tratarse de una arena con un porcentaje de finos inferior al 3%, y dado que el coeficiente de uniformidad es mayor de 6, pero el coeficiente de curvatura no se encuentra en el intervalo entre 1 y 3, se puede afirmar que se trata de un suelo **SP**.

**SP:** Arenas y arenas gravosas mal graduadas o con pocos finos o sin finos.

#### **8.8.1.3.- Clasificación del suelo S.U.C.S. Suelo Antrópico**

Es un suelo antrópico se compone de partículas gruesas, más de la mitad del material queda retenido por la malla número 200 (0,074mm). El 50% de las partículas del suelo son retenidas por el tamiz de número 4 (4,75mm), por lo que se trata de un suelo formado por gravas. Al tratarse de gravas con un porcentaje de finos mayor al 3%, y con un Índice Plástico mayor a 7 podemos concretar que se trata de un suelo **GC**.

**GC:** Gravas arcillosas, mezcla de grava, arena y arcilla.





**SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (S.U.C.S.)**  
INCLUYENDO IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN

DIVISIÓN MAYOR		NOMBRES TÍPICOS		CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN EL LABORATORIO			
SUELOS DE PARTICULAS GRUESAS Más de la mitad del material es retenido en la malla número 200 @ MÁS DE LA MITAD DEL MATERIAL PASA POR LA MALLA N.º 40, APROXIMADAMENTE, LAS MÁS PEQUEÑAS VISIBLES A SIMPLE VISTA.	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla No. 4 PARA CLASIFICACIÓN VISUAL, PUEDE USARSE 1/8 cm. COMO EQUIVALENTE A LA ABERTURA DE LA MALLA No. 4	GRAVAS LIMPÍAS Poco o nada de partículas finas	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos	DETERMINAR LOS PORCENTAJES DE GRAVA Y ARENA DE LA CURVA GRANULOMÉTRICA DEPENDIENDO DEL PORCENTAJE DE FINOS (fracción que pasa por la malla No. 200) LOS SUELOS CUANDO SE CLASIFICAN COMO SUELO. MENOS DEL 5% GP, 0.075 mm, 30% más del 12% GM, 0.075 mm, entre 5% y 12% Cu, o cuando se reemplazan las aberturas de mallas.	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Cu: mayor de 4. COEFICIENTE DE CURVATURA Cc: entre 1 y 3. $Cu = D_{60} / D_{10}$ $Cc = (D_{30})^2 / (D_{10} D_{60})$	
		GRAVAS CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas	* GM	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo		NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA GW.	
		ARENAS CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas	GC	Gravas arcillosas, mezclas de gravas, arena y arcilla		LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P. MENOR QUE 4.	
		ARENAS LIMPÍAS Poco o nada de partículas finas	SW	Arenas bien graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos		LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7.	
	ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla No. 4 PARA CLASIFICACIÓN VISUAL, PUEDE USARSE 1/8 cm. COMO EQUIVALENTE A LA ABERTURA DE LA MALLA No. 4	ARENAS LIMPÍAS Poco o nada de partículas finas	SP	Arenas mal graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos		$Cu = D_{60} / D_{10}$ mayor de 6 ; $Cc = (D_{30})^2 / (D_{10} D_{60})$ entre 1 y 3.	NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA SW
		ARENAS CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas	* SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo		LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O I.P. MENOR QUE 4.	Amba de la "línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de frentes que requieren el uso de símbolos dobles.
		ARENAS ARCILLOSAS Cantidad apreciable de partículas finas	SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla		LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON I.P. MAYOR QUE 7.	Amba de la "línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de frentes que requieren el uso de símbolos dobles.
	SUELOS DE PARTICULAS FINAS Más de la mitad del material pasa por la malla número 200 @ Las partículas de 0.075 mm de diámetro (la malla No. 200) son, aproximadamente, las más pequeñas visibles a simple vista.	LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido menor de 50	ML	Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arcillosos o arcillosos ligeramente plásticos.		G - Grava, S - Arena, O - Suelo Orgánico, P - Turba, M - Limo C - Arcilla, W - Bien Graduado, P - Mal Graduado, L - Baja Compresibilidad, H - Alta Compresibilidad	<p><b>CARTA DE PLASTICIDAD (S.U.C.S.)</b></p>
			CL	Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres.			
		LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido Mayor de 50	OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicos de baja plasticidad.			
MH			Limos inorgánicos, limos micáceos o diafánicos, más elásticos.				
CH			Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas.				
SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS		OH	Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.				
		P	Turbas y otros suelos altamente orgánicos.				

\*\* CLASIFICACIÓN DE FRONTERA - LOS SUELOS QUE POSEAN LAS CARACTERÍSTICAS DE DOS GRUPOS SE DESIGNAN CON LA COMBINACIÓN DE LOS DOS SÍMBOLOS, POR EJEMPLO GW-GC, MEZCLA DE ARENA Y GRAVA BIEN GRADUADAS CON CEMENTANTE ARCILLOSO.  
 @ TODOS LOS TAMAÑOS DE LAS MALLAS EN ESTA CARTA SON LOS U.S. STANDARD.  
 \* LA DIVISIÓN DE LOS GRUPOS GM Y SM EN SUBDIVISIONES d Y u SON PARA CAMINOS Y AEROPUERTOS ÚNICAMENTE, LA SUB-DIVISIÓN ESTA BASADA EN LOS LÍMITES DE ATTERBERG EL SUFIO d SE USA CUANDO EL LL ES DE 28 O MENOS Y EL LP ES DE 6 O MENOS. EL SUFIO u ES USADO CUANDO EL LL ES MAYOR QUE 28.

Figura 40: Tabla de clasificación de suelos (S.U.C.S.)

**8.8.2.- Clasificación del suelo A.A.S.H.T.O.**

La Association of State Highway and Transportation Officials adoptó este sistema de clasificación de suelos (A.A.S.H.T.O. M-145) en el que los suelos se agrupan en función de su comportamiento como capa de soporte o asiento del firme. Es el sistema más utilizado en la clasificación de suelos en carreteras. La tabla utilizada para la clasificación de suelos según A.A.S.H.T.O. se muestra en la Figura 41.

La clasificación realizada de esta manera se complementa con el índice de grupo, que permite caracterizar mejor cada suelo dentro de los grupos, ya que estos admiten suelos con porcentajes de finos y plasticidad muy diferentes. El índice de grupo se obtiene mediante la siguiente expresión:



$$IG = (F - 35) [0,2 + 0,005 (LL - 40)] + 0,01 (F - 15) (IP - 10)$$

Siendo:

F: Porcentaje en peso que pasa por el tamiz nº 200 del material inferior a 75 mm, expresado en número entero.

LL: Límite líquido

IP: Índice de plasticidad.

#### 8.8.2.1.- Clasificación del suelo A.A.S.H.T.O. Eluvión

El suelo se clasifica como un material granular ya que el 35 % o menos del suelo pasa por el tamiz Nº 200 (80 micras). Dentro de esta consideración se agrupa en el grupo A-2-4, ya que por el tamiz Nº 40 (425 micras) pasa más del 50% y por el Nº 200 (80 micras) no llega al 35% y su LL e IP trabajan de la misma manera que el grupo A-4.

A-2-4: Suelos constituidos por gravas y arenas limoarcillosas

$$IG = (F - 35) [0,2 + 0,005 (LL - 40)] + 0,01 (F - 15) (IP - 10)$$

$$IG = (12 - 35) [0,2 + 0,005 (24,2 - 40)] + 0,01 (12 - 15) (2,55 - 10)$$

$$IG = 0$$

Por lo que el suelo queda definido como: **A-2-4(0)**.

#### 8.8.2.2.- Clasificación del suelo A.A.S.H.T.O. Coluvión

Dentro de esta clasificación, el suelo se clasifica como un material granular ya que el 35 % o menos del suelo pasa por el tamiz Nº 200 (80 micras). Dentro de esta consideración se agrupa en el grupo A-1-b, ya que por el tamiz Nº 40 (425 micras) pasa más del 30% y menos de un máximo de 50% y por el Nº 200 (80 micras) no llega al 15%.

A-1-b: Suelos constituidos por arenas gruesas, cantos y gravas.

$$IG = (F - 35) [0,2 + 0,005 (LL - 40)] + 0,01 (F - 15) (IP - 10)$$

$$IG = (3 - 35) [0,2 + 0,005 (35 - 40)] + 0,01 (3 - 15) (-4,87 - 10)$$

$$IG = 0$$

Por lo que el suelo queda definido como: **A-1-b(0)**.

#### 8.8.2.3.- Clasificación del suelo A.A.S.H.T.O. Suelo antrópico

En esta clasificación, el suelo se clasifica como un material granular ya que el 35 % o menos del suelo pasa por el tamiz Nº 200 (80 micras). Dentro de esta



consideración se agrupa en el grupo A-1-b, ya que por el tamiz N° 40 (425 micras) pasa más del 30% y menos de un máximo de 50% y por el N° 200 (80 micras) no llega al 15%.

A-1-b: Suelos constituidos por arenas gruesas, cantos y gravas.

$$IG = (F - 35) [0,2 + 0,005 (LL - 40)] + 0,01 (F - 15) (IP - 10)$$

$$IG = (7 - 35) [0,2 + 0,005 (31,4 - 40)] + 0,01 (7 - 15) (8,94 - 10)$$

$$IG = 0$$

Por lo que el suelo queda definido como: **A-1-b(0)**.

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa el tamiz #200)							Materiales limoarcillosos (más de 35% pasa el tamiz #200)			
	A-1		A-3 <sup>A</sup>	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
Clasificación de grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Tamizado, % que pasa											
No. 10 (2,00mm)	50 máx.	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 40 (425µm)	30 máx.	50 máx.	51 mín.	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 200 (75µm)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Consistencia											
Límite líquido	...		...	B				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		N.P.	B				10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín. <sup>B</sup>
Tipos de materiales característicos	Cantos, grava y arena		Arena fina	Grava y arena limoarcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Calificación	Excelente a bueno							Regular a malo			

<sup>A</sup> La colocación de A3 antes de A2 en el proceso de eliminación de izquierda a derecha no necesariamente indica superioridad de A3 sobre A2.

<sup>B</sup> El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor que LL-30. El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que LL-30.

**Figura 41:** Tabla de clasificación de suelos (A.A.S.H.T.O.)

## 9.- ESTUDIOS GEOTECNICOS

### 9.1.- Introducción

Como finalidad de este trabajo, el conjunto de datos recopilado tanto de trabajos de campo y ensayos de laboratorio como bibliografía, permiten realizar interpretaciones o modelizaciones del comportamiento de los materiales que componen las laderas frente a la acción de factores condicionantes y desencadenantes de inestabilidades.

A partir de los datos proporcionados anteriormente, se han realizado dos tipos de modelizaciones que dan forma final a este estudio.



## 9.2.- Modelización hidrológica

En este apartado se analiza de la forma más precisa posible el nivel de escorrentía y de flujo que puede llevarse a cabo en la zona de trabajo. Con esta modelización se pretende estudiar los fenómenos torrenciales y de arroyada que pudieran producirse en la zona de trabajo con fenómenos de precipitaciones máximas y mínimas, identificando los diversos encauzamientos de agua, acotando su caudal máximo y medio y delimitando su cuenca de drenaje.

De esta manera, mediante el software arcgis10, herramienta SIG muy utilizada para trabajos como el desarrollado en esta tesis, y empleando los datos indicados a continuación se realizan los mapas de modelado hidrológicos.

Los materiales utilizados para esta modelización son:

- MDT reajustado.
- Datos de precipitaciones máximas y medias obtenidos a partir de la agencia estatal de meteorología en la estación de Santa Cruz de Mieres con una precipitación máxima de 51,3 mm/día y una precipitación media: 2,5 mm/día
- Coeficientes de corrección de la escorrentía a partir del Soil Conservation Service, (2015).

Llanura aluvial: 0,938

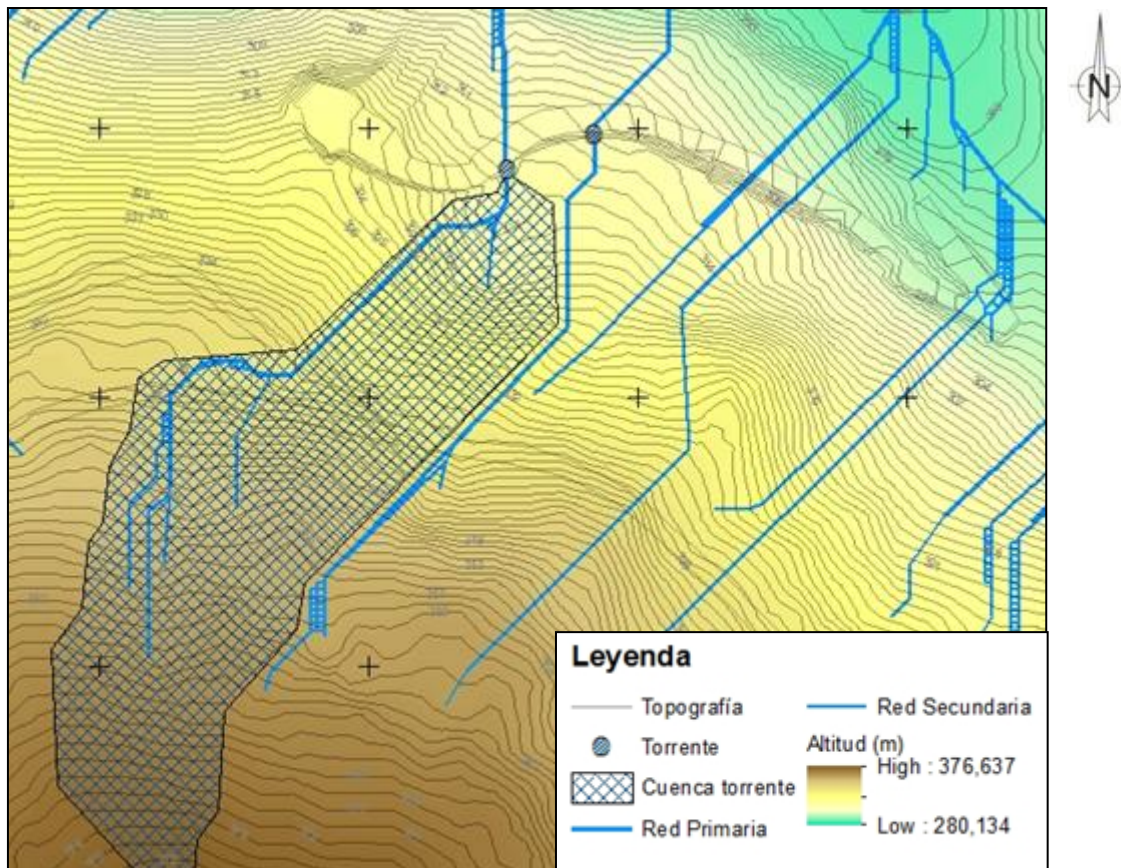
Coluvión: 0.826

Arenisca: 0.992

Eluvión: 0.903

Pizarra competente: 0.987

En el mapa que se observa en la Figura 42, se muestra la modelización de la red primaria y secundaria de encauces de escorrentía relacionadas con la orografía de la zona y sirve como orientación para identificar estos encauzamientos. A través de estos mapas podemos obtener información sobre las zonas que son conflictivas en caso de precipitación. Identificando 5 vertientes principales sobre la zona, dos de ellas visibles in-situ, ya que corresponden a dos torrentes con un volumen de erosión y transporte considerable.



**Figura 42:** Captura del mapa de escorrentía realizado con ArcGis10, (Anexo IV-I)

El segundo mapa (Figura 43) trata como valor el flujo de escorrentía acumulado, es decir muestra la superficie acumulada que vierte a cada una de las celdas del mapa. Este mapa es el que nos dará valores de caudal y donde se puede interpretar como se comporta el agua superficial que discurre por la ladera. Se pueden determinar el volumen de agua que puede aportar cada cuenca al cauce y el caudal de los mismos.

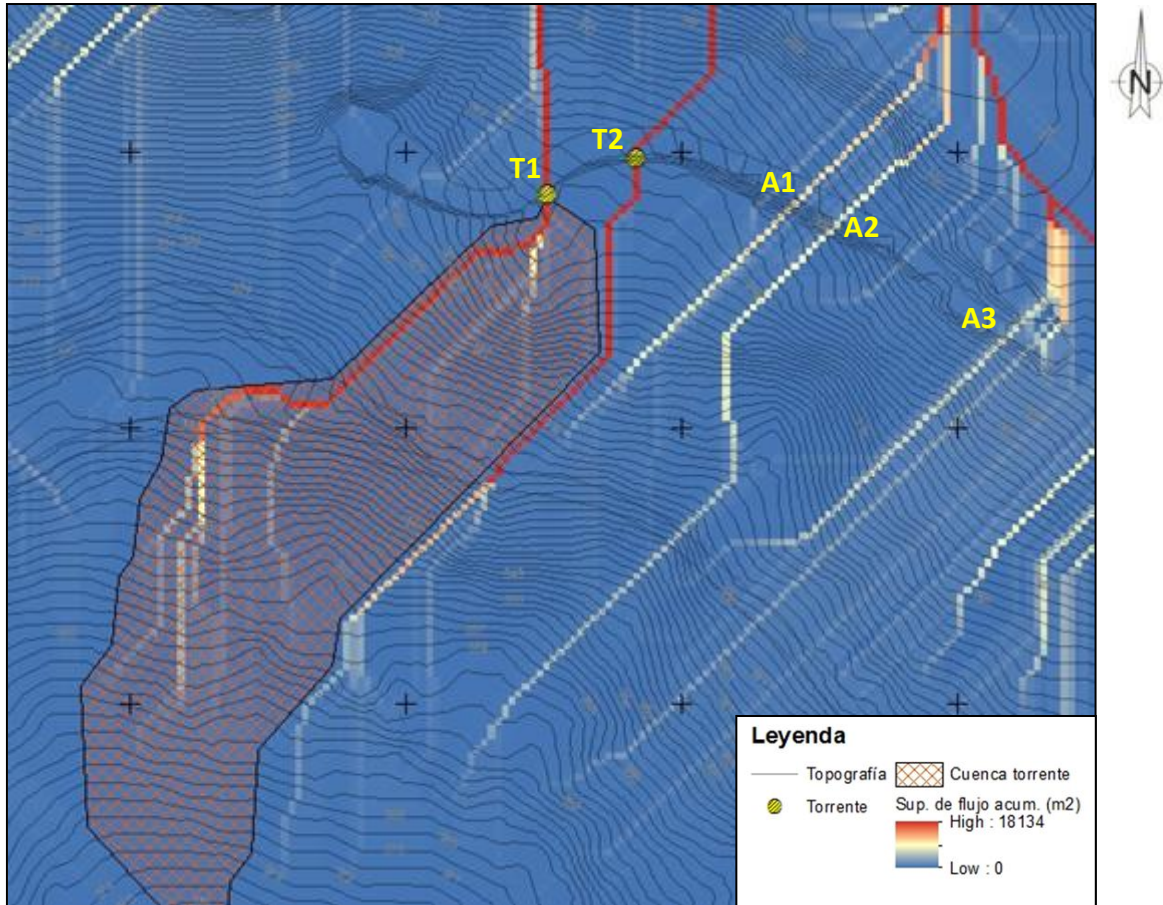


Figura 43: Captura del mapa de flujo acumulado realizado con ArcGis10, (Anexo V-II).

Interpretando ambos mapas, se puede llegar a varias conclusiones. La primera es que además del torrente principal (T1 en el mapa) observado en campo, se identifica un segundo torrente (T2 en el mapa) con una cuenca de aporte distinta y con un caudal considerable que en campo se observaba como una desviación del torrente principal. A parte se pueden localizar otros 3 posibles encauzamientos en fenómenos de arroyada (A1, A2, y A3) que pueden afectar negativamente a la pista. Estos 5 encauces hidrológicos se caracterizan en la Tabla dispuesta a continuación (Tabla XXII).

Cauce	Caudal máximo (l/s)	Caudal medio (l/s)	Peligrosidad	Cuenca (m <sup>2</sup> )
T1	163,97	7,99	Alta	2761,68
T2	85,59	5,03	Media	1441,60
A1	38,05	2,24	Baja	640,85
A2	32,57	1,91	Baja	548,48
A3	25,17	1,48	Baja	423,86

Tabla XXII: Cauces registrados en la zona de estudio



En los Anexos IV-I y IV-II pueden verse dichos mapas modelizados, a un tamaño mayor, para un mejor estudio de detalle.

A parte de estos datos podemos poner como apunte adicional que todos los encauces de escorrentía acaban vertiendo al arroyo de La Reguerona, por lo que además del caudal propio, este se puede incrementar hasta 1076,71 l/s en fenómenos de máxima precipitación debido al aporte de los cauces de escorrentía.

### 9.3.- Parámetros geotécnicos

#### 9.3.1.- Introducción

Los parámetros geotécnicos asignados a los materiales rocosos competentes que se estudian en la zona vienen dados por los análisis realizados en campo y laboratorio, apoyado por bibliografía trabajada en zonas adyacentes a “La Herradura” y de sistemas de valoración como el RQD, el RMR y el software Roclab.

De esta manera, en la para las rocas se realizaron 5 estudios en roca de RQD (Rock Quality Designation) y RMR (Rock Mass Rating) a lo largo de toda la zona de estudio y acotados por Pks, situando dos de ellos en el talud de explanación y los otros tres en la pista de acceso.

#### 9.3.2.- Propiedades geotécnicas

En el estudio del talud, los dos primeros RMRs y RQDs se determinaron en la explanación donde se situará la planta de “La Herradura”. Se realizaron sobre pizarra alterada con una separación de 6,5 metros y dieron los siguientes valores (Tabla XXIII).

Estación	RQD	RMR	Calidad del macizo	Orientación	Buzamiento	Q de Barton	Módulo de Young
E-1 (Pk 0 + 146,6m)	32,66	23	Clase(IV) Mala	102°	73°	0.024	2,11 GPa
E-2 (Pk 0 + 141,1m)	34,66	30	Clase(IV) Mala	103°	74°	0.019	3,16 GPa

Tabla XXIII: Valores de RMR y RQD pertenecientes al talud de la explanación.



El siguiente análisis (Tabla XXIV) se realiza sobre roca arenisca situada en la pista, en la zona fallada con intrusiones de carbón.

Estación	RQD	RMR	Calidad del macizo	Orientación	Buzamiento	Q de Barton	Módulo de Young
E-3 (Pk 0 + 048 m)	25.66	43	Clase(IV) Media - mala	98°	76°	0.056	6,68 GPa

Tabla XXIV: Valores de RMR y RQD pertenecientes al talud en pista.

El último estudio de clasificación de roca (Tabla XXV) se hace en el comienzo de la pista de acceso. En esta zona se realizan dos lecturas, la primera sobre pizarra y la segunda sobre arenisca.

Estación	RQD	RMR	Calidad del macizo	Orientación	Buzamiento	Q de Barton	Módulo de Young
E-4 (Pk 0 + 006.5 m)	28.66	33	Clase(IV) Mala	100°	74°	0.026	3,75 GPa
E-5 (Pk 0 + 000 m)	25.16	50	Clase(IV) Media - mala	101°	76°	0.738	10 GPa

Tabla XXV: Valores de RMR y RQD pertenecientes al talud en pista.

En general podemos decir que todos los macizos rocosos se encuentran alterados y fracturados, con más de 3 familias de juntas, con orientaciones de sus planos de rotura desfavorables para el sostenimiento de la roca. Su calidad es mala, lo que provoca que se tenga que atender a su modelización y seguramente tras esta, tomar medidas para mejorar su estado. Por último cabe destacar que según las orientaciones y los buzamientos leídos, los planos de estratificación se consideran favorables a la orientación de los taludes sobre el área de trabajo.

Con lo descrito anteriormente, a continuación se muestran los valores geotécnicos resultantes para los distintos materiales que componen la zona de trabajo. Cabe destacar que para los materiales rocosos tendremos dos valores, para los casos más favorables y los más desfavorables, mientras que en los suelos tendrán solo un conjunto de parámetros, ya que la diferencia entre los casos favorables y



desfavorables será el nivel de saturación de agua. Estos datos son presentados en capturas de las secciones estudiadas con el programa “Slide 2.0”, un software de análisis de estabilidad de pendientes.

### 9.3.2.1.- Propiedades geotécnicas. Eluvión

Caso favorable del eluvión (Figura 44).

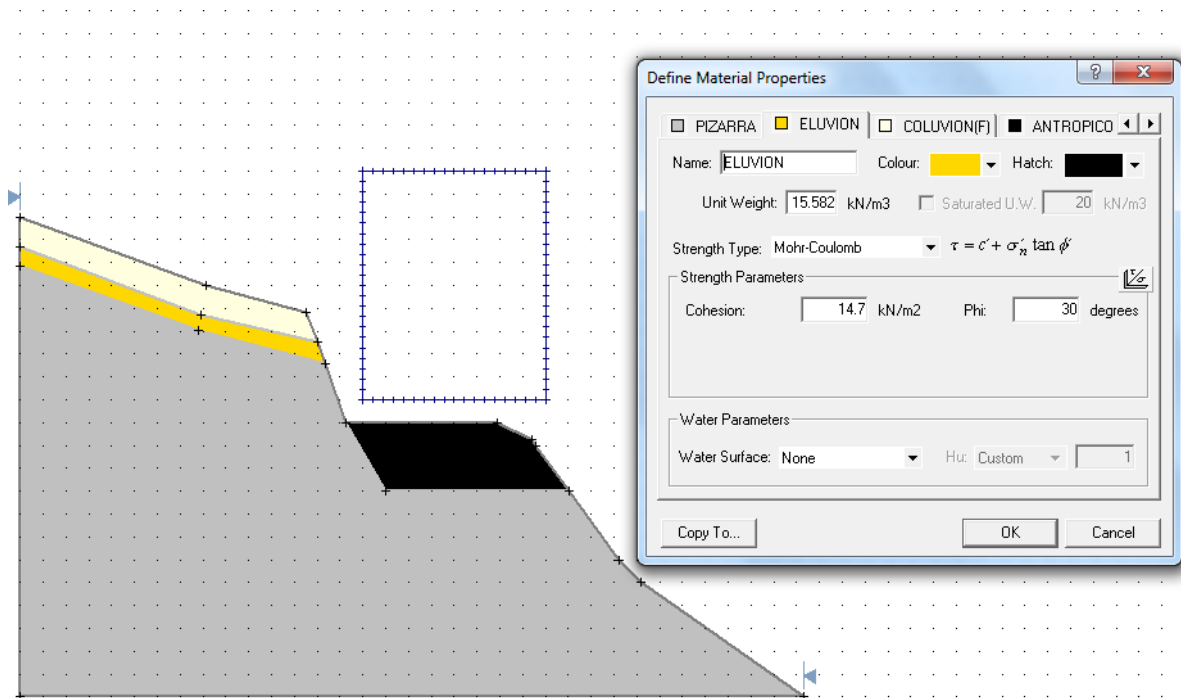


Figura 44: Captura de la sección tipo estudiada con Slide 2.0 para inestabilidad de taludes. Eluvión caso favorable.

Caso desfavorable del eluvión (Figura 45).

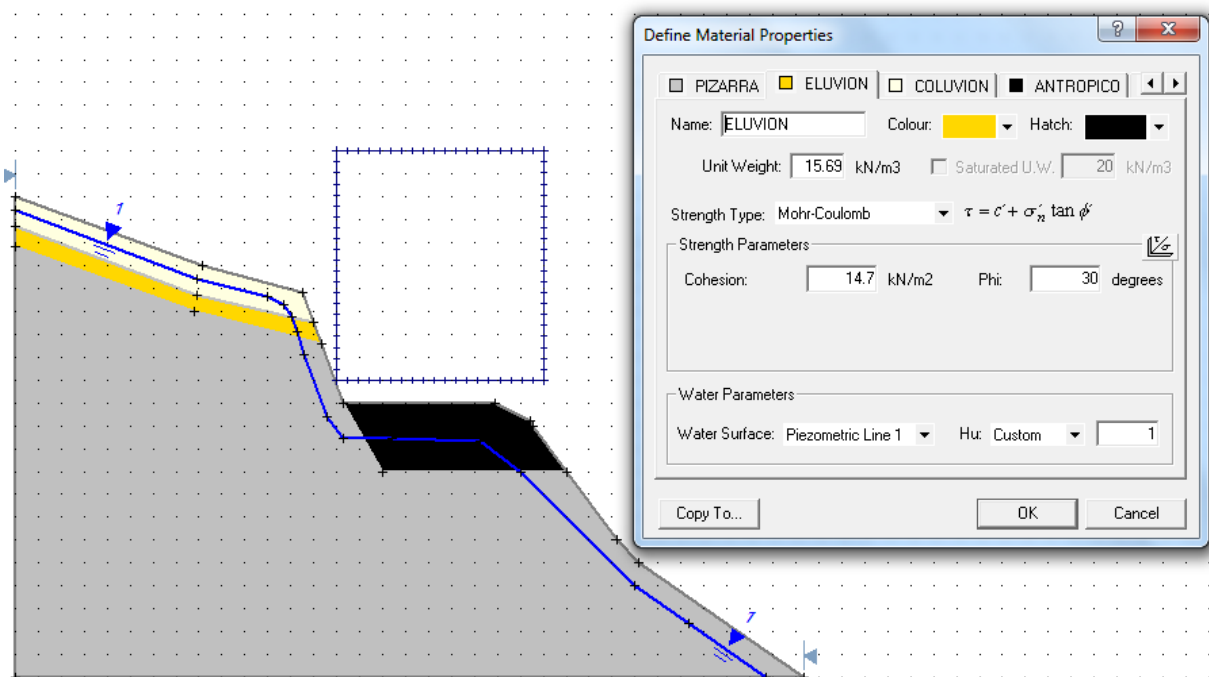


Figura 45: Captura de la sección tipo estudiada con Slide 2.0 para inestabilidad de taludes. Eluvión caso desfavorable.

### 9.3.2.2.- Propiedades geotécnicas. Coluvión

Caso favorable del coluvión (Figura 46).

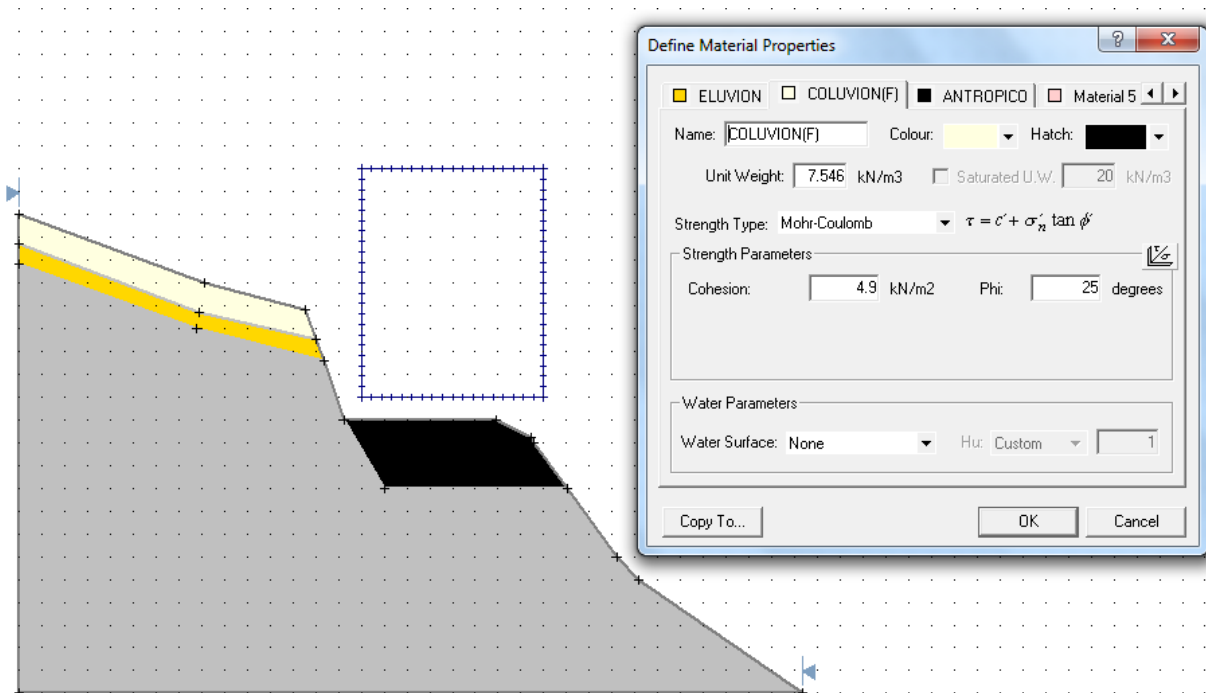


Figura 46: Captura de la sección tipo estudiada con Slide 2.0 para inestabilidad de taludes. Coluvión caso favorable.

Caso desfavorable del coluvión (Figura 47).

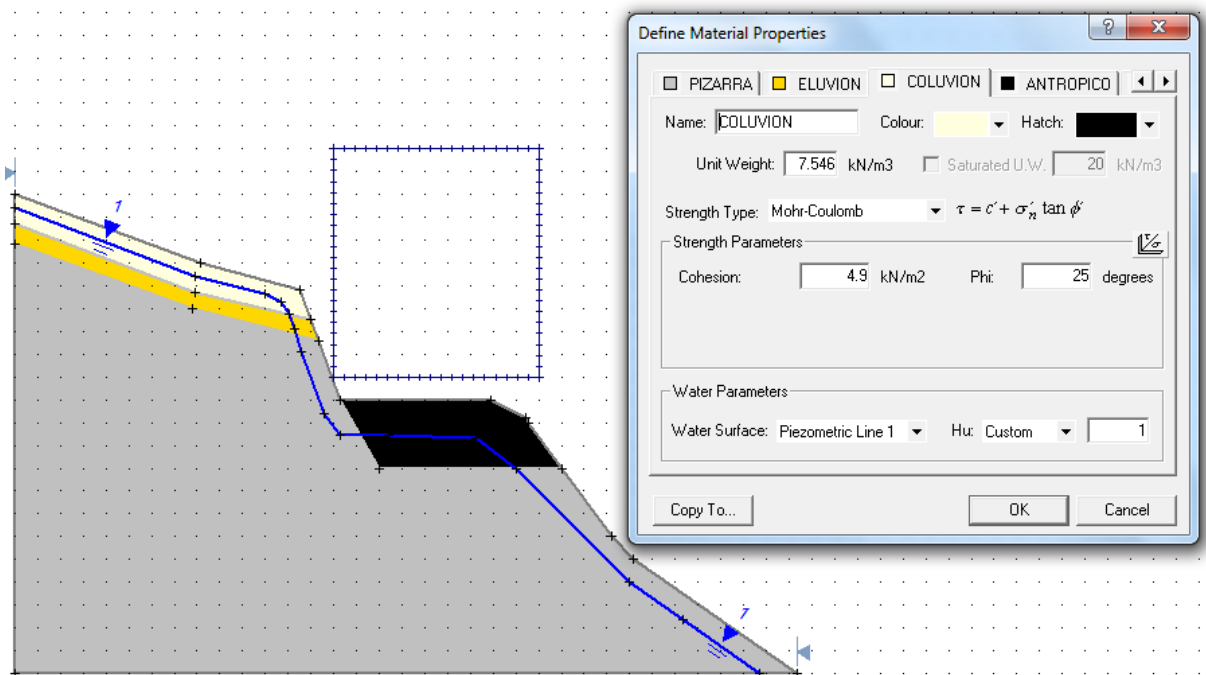


Figura 47: Captura de la sección tipo estudiada con Sslide 2.0 para inestabilidad de taludes. Coluvión caso desfavorable.

### 9.3.2.3.- Propiedades geotécnicas. Suelo antrópico

Caso favorable suelo antrópico (Figura 48).

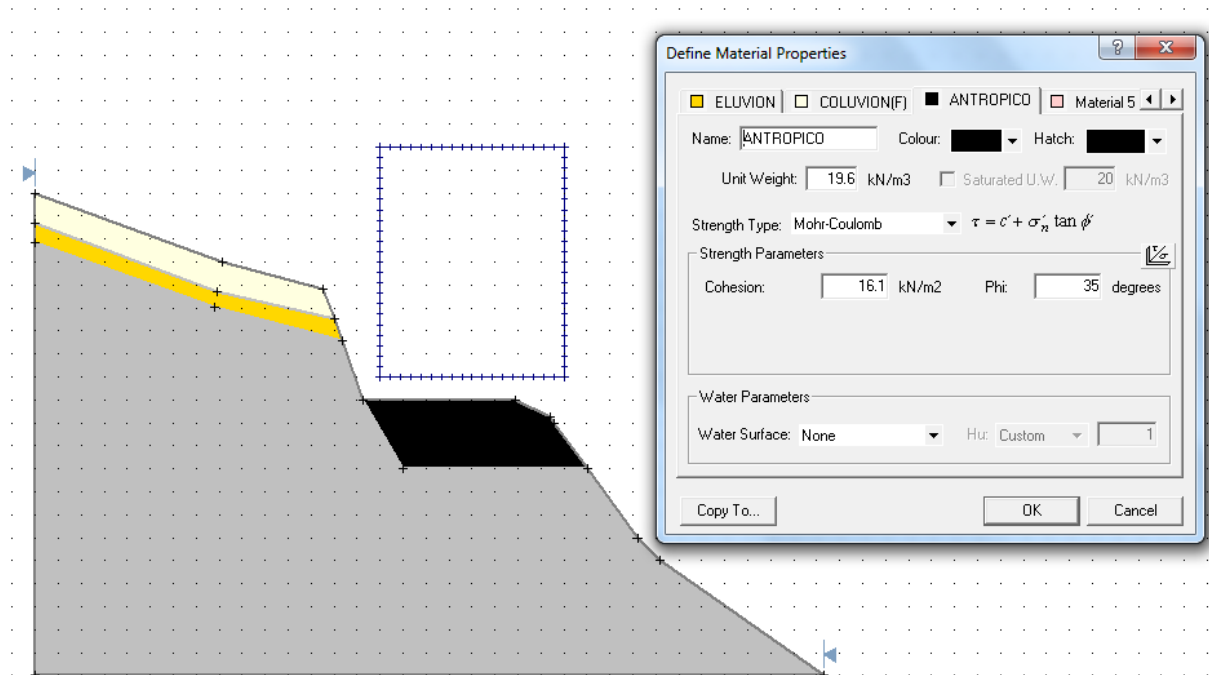


Figura 48: Captura de la sección tipo estudiada con Slide 2.0 para inestabilidad de taludes. Antrópico caso favorable.

Caso desfavorable suelo antrópico (Figura 49).

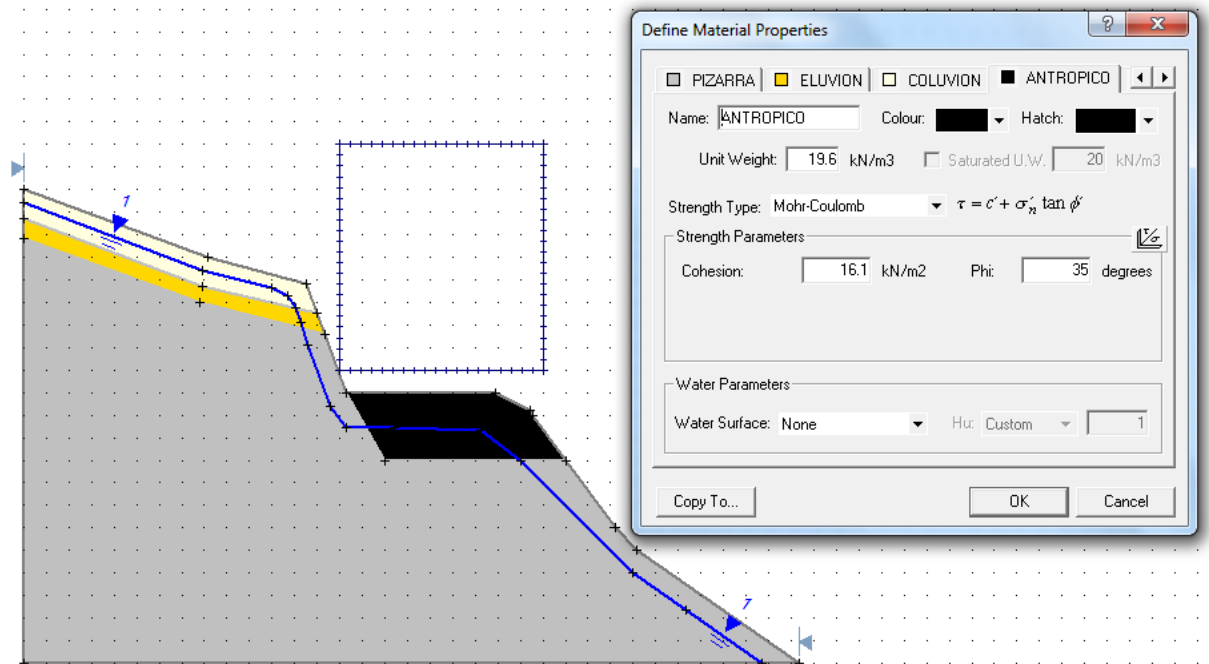


Figura 49: Captura de la sección tipo estudiada con Slide 2.0 para inestabilidad de taludes. Antrópico caso desfavorable.

### 9.3.2.4.- Propiedades geotécnicas. Arenisca

Caso favorable de la arenisca (Figura 50).

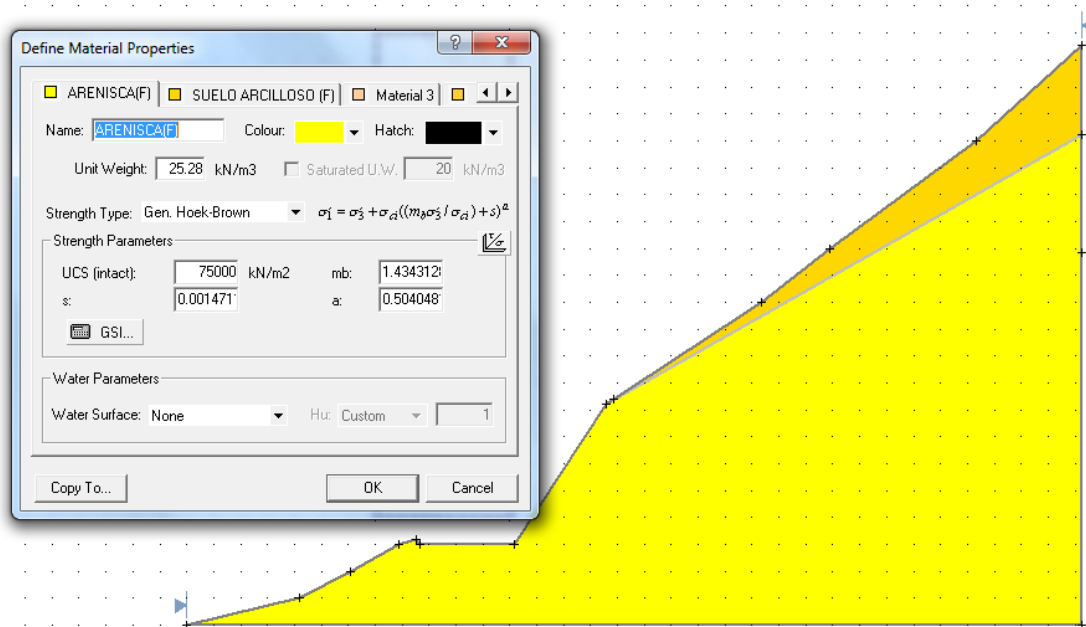


Figura 50: Captura de la sección tipo estudiada con Slide 2.0 para inestabilidad de taludes. Arenisca caso favorable.

Caso desfavorable de la arenisca (Figura 51).

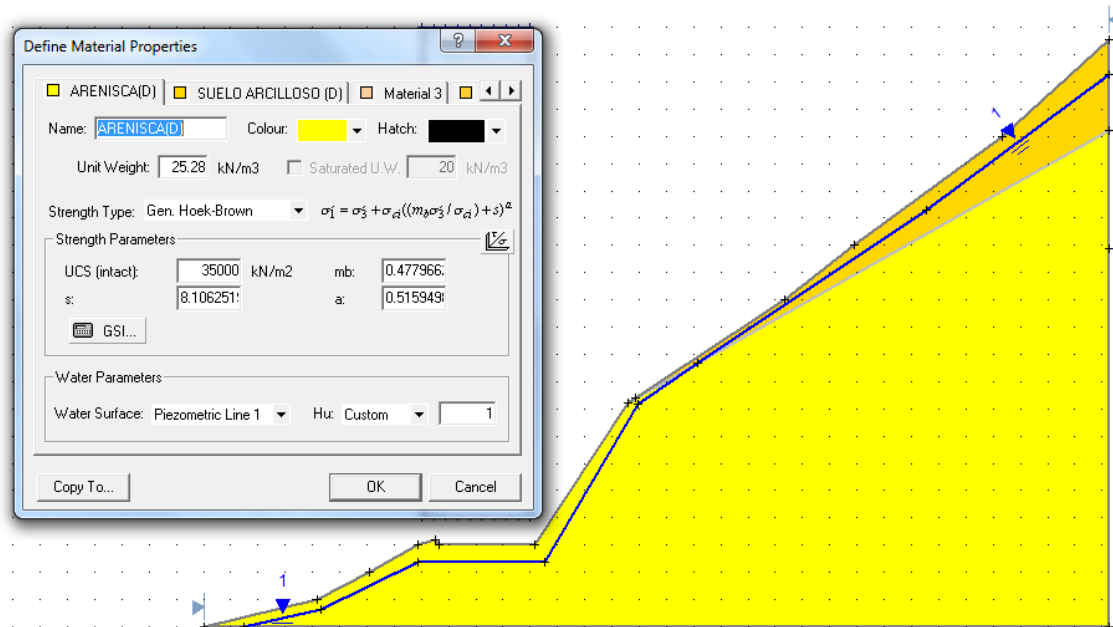


Figura 51: Captura de la sección tipo estudiada con Slide 2.0 para inestabilidad de taludes. Arenisca caso desfavorable.

### 9.3.2.5.- Propiedades geotécnicas. Pizarra

Caso favorable de la pizarra (Figura 52).

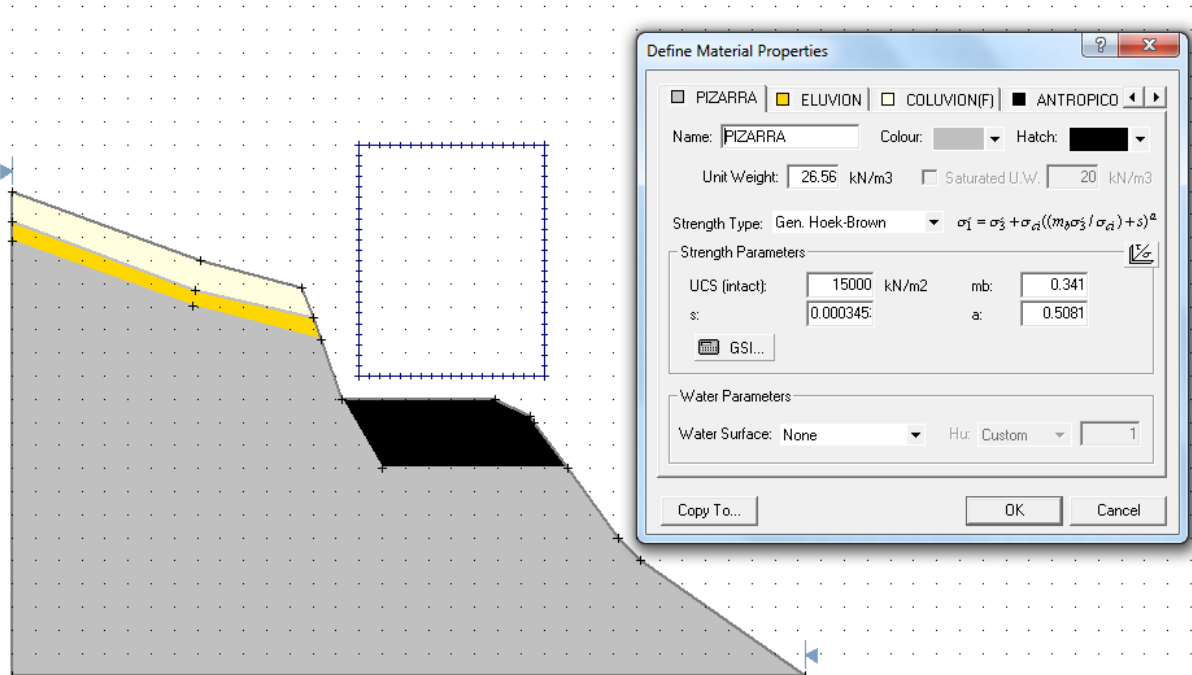


Figura 52: Captura de la sección tipo estudiada con Slide 2.0 para inestabilidad de taludes. Pizarra caso favorable.

Caso desfavorable de la pizarra (Figura 53).

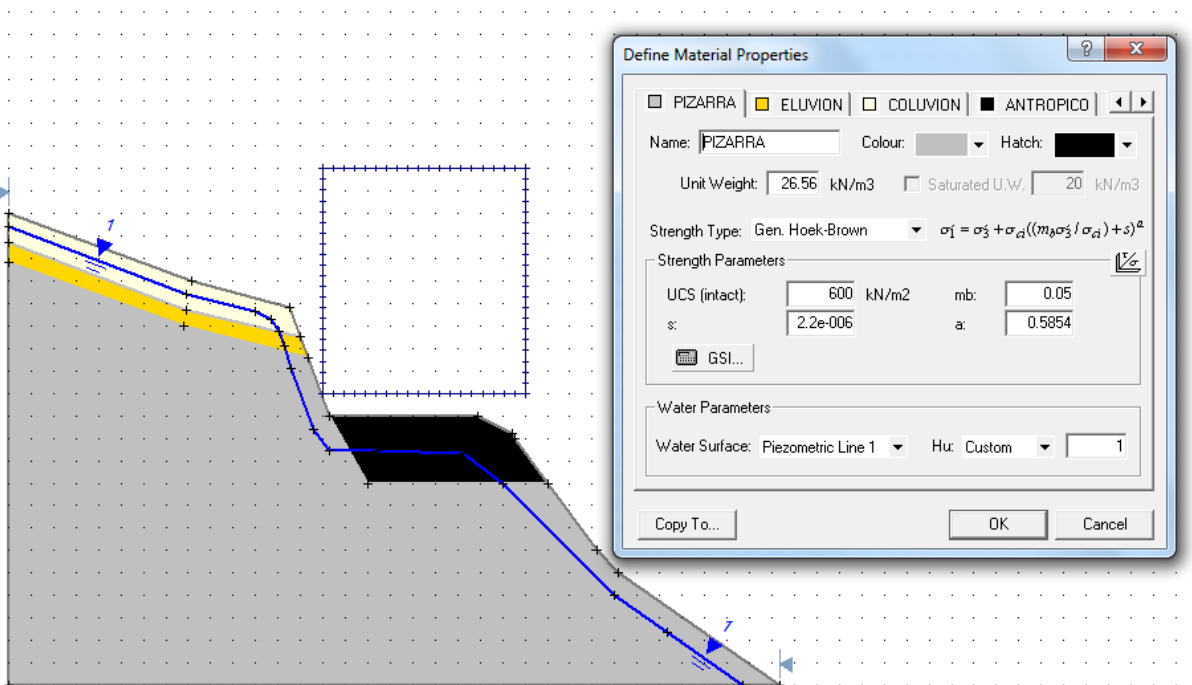


Figura 53: Captura de la sección tipo estudiada con Slide 2.0 para inestabilidad de taludes. Pizarra caso desfavorable.



Cabe mencionar que con los parámetros geotécnicos obtenidos, las laderas se disponen presuntamente inestables, con un sustrato rocoso de calidad media-mala al que se le añade la problemática de unos horizontes de naturaleza coluvial y eluvial, con unas características que las hacen propensas a inestabilidades.

Tras la caracterización de estos parámetros y su computación, se procede a realizar la modelización.

### **9.3.3.- Modelizaciones**

#### **9.3.3.1.- Introducción**

Las secciones o perfiles que a continuación se modelizan han sido construidos utilizando el programa “Autocad” y “Protopo” que toma secciones transversales de la zona de estudio. Dicha modelización se realizó posteriormente con el programa de elementos finitos “Slide”. Los perfiles están nombrados con distintos puntos kilométricos que corresponden a su ubicación en el terreno. Para la selección de cada perfil se tuvieron en cuenta los distintos puntos claves considerados como referencia para el estudio de la estabilidad de la zona de trabajo. Dichos perfiles se han realizado en la pista de acceso a las instalaciones y en la zona donde se ubicarán las futuras instalaciones.

Las modelizaciones se han realizado teniendo en cuenta las condiciones más favorables y desfavorables que puedan adquirir las propiedades de los materiales geotécnicos descritos anteriormente.

En los mejores casos, se consideran macizos relativamente sanos, poco alterados y con niveles freáticos relativamente bajos o inexistentes. En los casos menos favorables en estos macizos se agudiza su grado de alteración y se consideran niveles freáticos cercanos a la saturación (aproximadamente 50 cm por debajo de la superficie topográfica).

En último caso, también se ha realizado la modelización de los casos menos desfavorables sin tener en cuenta la superficie piezométrica, para valorar la influencia del agua en los factores de seguridad.

En dichas modelizaciones se incluyen las superficies mínimas de rotura y los factores de seguridad mínimo y máximo que se desarrollan teniendo en cuenta la configuración geotécnica empleada en cada caso. En consideración, se ha tomado el valor 1,5 como factor de seguridad mínimo de cara la estabilidad del talud. A continuación se describen los resultados de las modelizaciones realizadas para dichos perfiles.

En los Anexos correspondientes pueden verse dichas capturas de pantallas, a un mayor tamaño, para un mejor estudio de detalle.

### 9.3.3.2.- PK 0 + 3,616 m.

Los materiales incluidos en esta modelización son un sustrato de arenisca y un suelo arcillo – arenoso. Se trata de un talud con una altura de 5,2 m,  $61^\circ$  de inclinación y una anchura de pista equivalente a 3,5 m.

#### Caso favorable

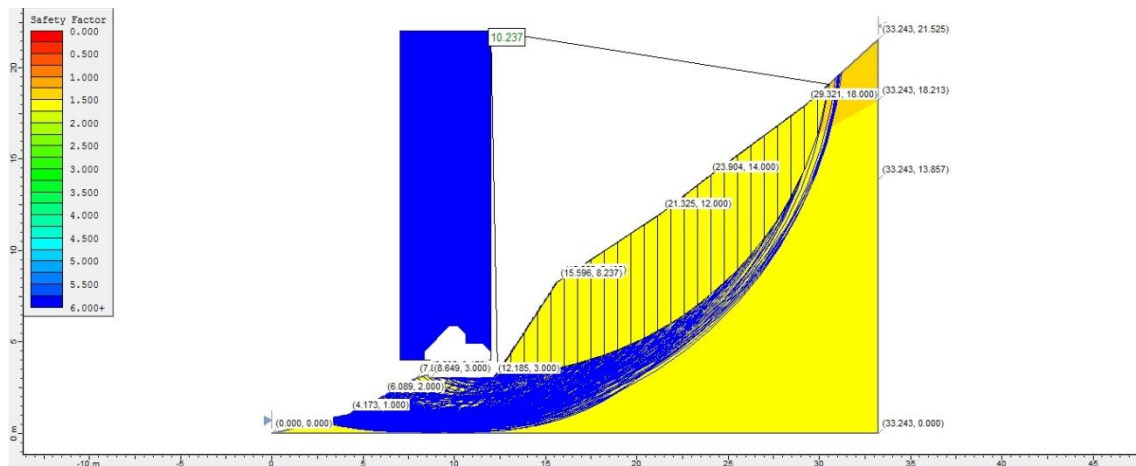
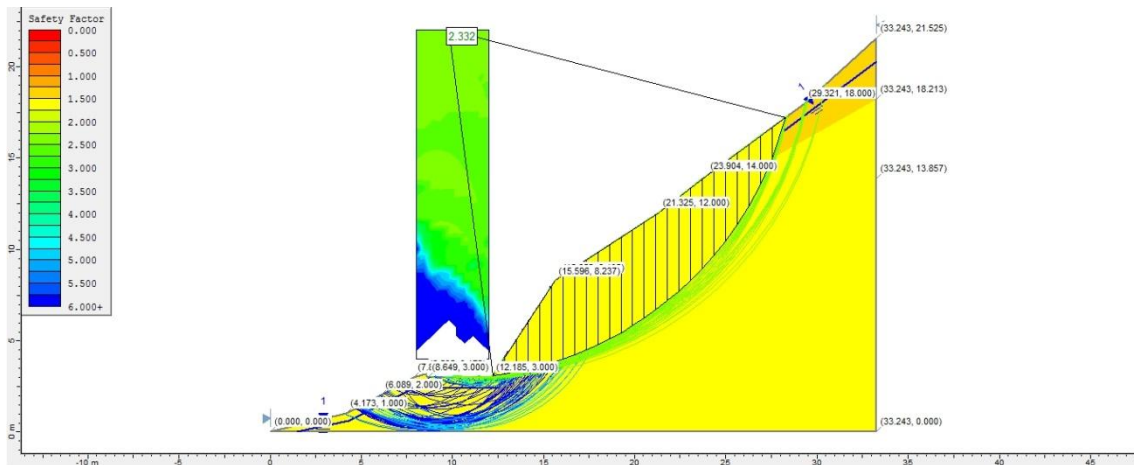


Figura 54: Captura de pantalla. Modelización con Slide. Pk 0 + 003.616 Favorable, (Anexo V-I).

Tras modelizar este caso (Figura 54), el factor de seguridad mínimo alcanzado tiene un valor de 10,2 y por tanto muy superior al factor crítico. La superficie de rotura mínima que se pueda generar afecta a toda la ladera por encima de la pista, extendiéndose unos 15 m ladera arriba desde la coronación del talud e interceptando a dicho talud en la base del mismo. La profundidad alcanzada desde la superficie topográfica hasta la base de la rotura es aproximadamente de 5,5 m. El resto de superficies de rotura que se puedan generar presentan un factor de seguridad muy superior a 10 y por lo tanto no son objeto de interés en el estudio de la inestabilidad de estos taludes.

### Caso desfavorable



**Figura 55:** Captura de pantalla. Modelización con Slide. Pk 0 + 003.616. Desfavorable, (Anexo V-II).

Para este otro caso considerado (Figura 55), el factor de seguridad mínimo alcanzado tiene un valor de 2,33 superando al factor crítico en casi una unidad con las peores condiciones posibles para este tramo. La superficie de rotura mínima que se pueda generar afecta también a toda la ladera por encima de la pista y se extiende 13 m ladera arriba desde la cabecera del talud hasta la base del mismo. La profundidad alcanzada desde la superficie topográfica hasta la base de la rotura es aproximadamente de 5 m. El resto de superficies de rotura que se puedan generar presentan un factor de seguridad muy superior al mínimo y por lo tanto tampoco son objeto de interés en el estudio de la inestabilidad de estos taludes.

#### 9.3.3.3.- PK 0 + 51,252 m.

Los materiales en esta modelización son una base de pizarras y un suelo eluvial. Se trata de un talud con una altura de 2,5 m, 64° de inclinación y una anchura de pista equivalente a 3 m.



### Caso favorable

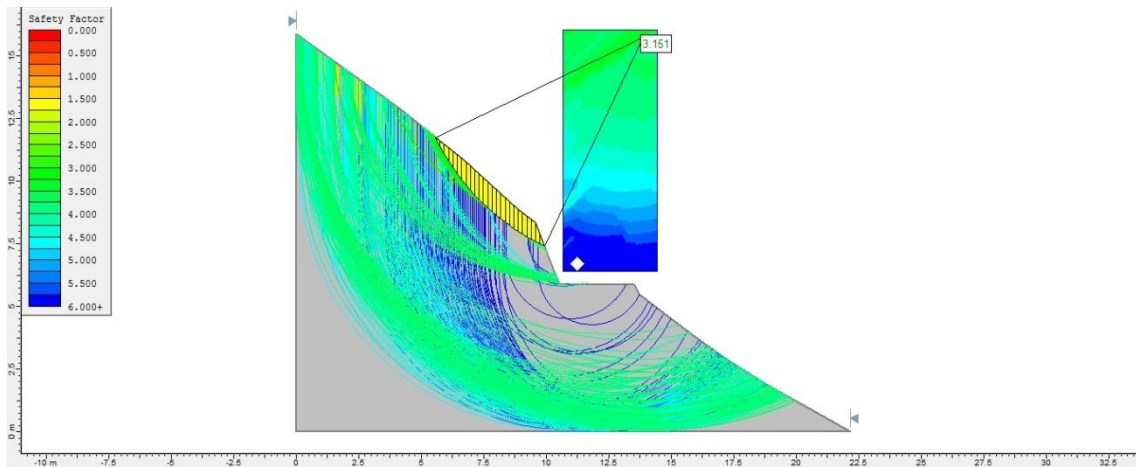


Figura 56: Captura de pantalla. Modelización con Slide. Pk 0 + 051,252. Favorable, (Anexo V-III).

Tras modelizar (Figura 56), el factor de seguridad mínimo que se alcanza tiene un valor de 3,15, superior al factor crítico considerado. La superficie de rotura mínima que se pueda generar afecta a la ladera por encima de la pista, y se extiende unos 5 m ladera arriba desde la cabeza del talud e intercepta a dicho talud en la base del mismo. La profundidad alcanzada es de 1 m desde la superficie topográfica hasta la base de la rotura. El resto de superficies de rotura que se puedan generar presentan un factor de seguridad superior al mínimo aceptado y por lo tanto no son objeto de interés en el estudio de la inestabilidad de estos taludes.

### Caso desfavorable

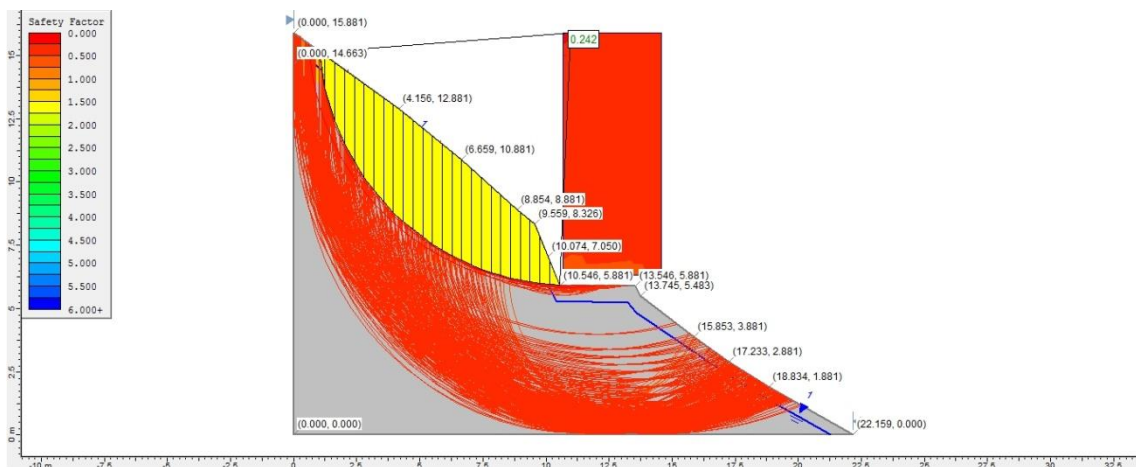


Figura 57: Captura de pantalla. Modelización con Slide. Pk 0 + 051,252. Desfavorable, (Anexo V-IV).

En caso desfavorable para este PK (Figura 57), el factor de seguridad mínimo tiene un valor de 0,242, muy diferente al caso favorable y muy inferior al factor mínimo aceptado como estable. La superficie de rotura mínima que se puede generar afecta a toda la ladera por encima de la pista y se extiende 10 m hasta interceptar a la base del mismo y alcanza una profundidad máxima desde la superficie topográfica hasta la base de la rotura de 3 m. El resto de superficies de rotura también presentan un factor de seguridad muy bajo, siendo inferiores todas a 0,6. Estas superficies tienden a comenzar en la parte alta de la ladera y convergen ladera debajo de la pista, incluyendo la mayor parte del material modelizado en el perfil debido a las bajas condiciones geotécnicas de los mismos y la carga freática.

### 9.3.3.4.- PK 0 + 113 m.

Este perfil se estudió en una zona en una zona torrencial. Los materiales modelizados corresponden a una base de pizarras y un suelo formado por un coluvión arenoso. Se trata de un talud con una altura de 2 m, 70° de inclinación y una anchura de pista equivalente a 3,5 m.

#### Caso favorable

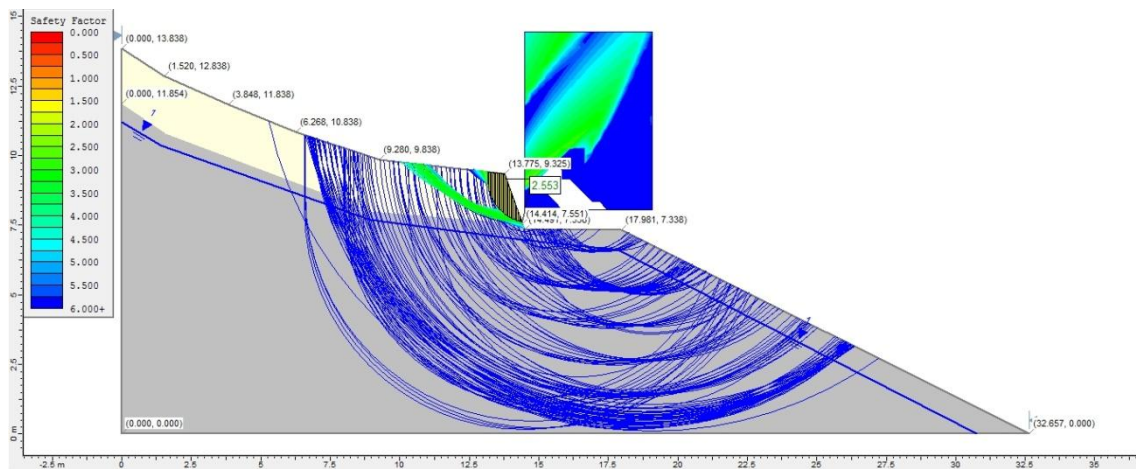


Figura 58: Captura de pantalla. Modelización con Slide. Pk 0 + 113. Favorable, (Anexo V-V).

El factor de seguridad mínimo que se alcanza tiene un valor de 2,55, superior al factor crítico considerado. Aunque el factor de seguridad se encuentra una unidad por encima del mínimo de estabilidad, hay que tener en cuenta que se trata de condiciones óptimas en la naturaleza de los materiales; estas condiciones se darán de manera muy puntual debido a la climatología de la zona. La superficie de rotura mínima posible afecta solo a la parte más externa del talud por encima de la pista, afectando únicamente a los materiales coluviales (Figura 58). El resto de superficies de rotura que se puedan generar presentan un factor de seguridad superior a este

último y al mínimo aceptado, por lo que al igual que en casos anteriores, no es objeto de estudio para la inestabilidad de los taludes aunque se deben tener en cuenta las roturas que implican un factor de seguridad entre 2,5 y 4 sobre el coluvión por encontrarse en una superficie torrencial ya que las condiciones de la zona pueden cambiar rápidamente.

### Caso desfavorable

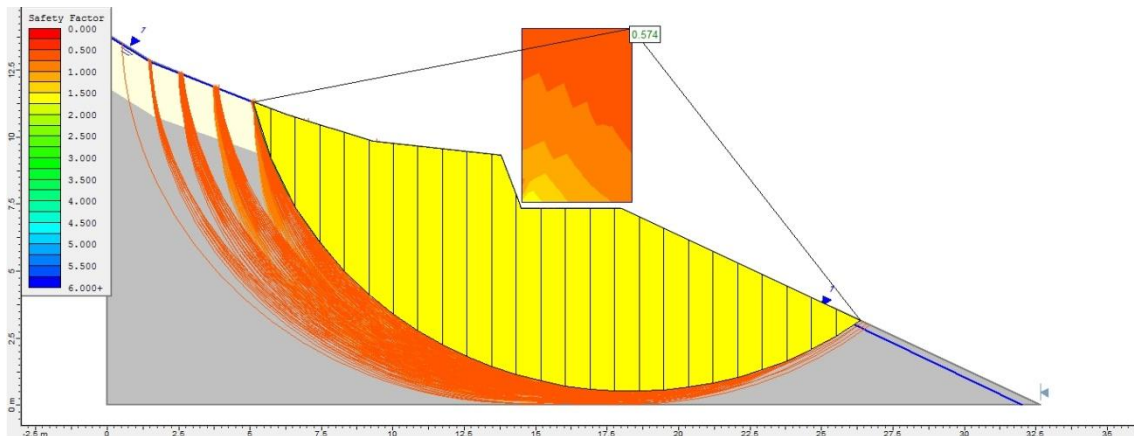


Figura 59: Captura de pantalla. Modelización con Slide. Pk 0 + 113. Desfavorable, (Anexo V-VI).

Considerando un caso desfavorable (Figura 59), el factor de seguridad mínimo es de 0,574, muy diferente al caso favorable y muy inferior al factor mínimo aceptado como estable. La superficie de rotura mínima que se puede generar abarca gran parte del perfil modelizado, extendiéndose 10 m por encima y por debajo de la pista hasta interceptar a la superficie topográfica y tomando una profundidad máxima de 10 m. El resto de superficies de rotura también presentan un factor de seguridad muy bajo, siendo inferiores todas a 1,65. Estas superficies tienden a comenzar en la parte alta de la ladera y convergen ladera abajo de la pista, incluyendo la mayor parte del material modelizado en el perfil debido a las bajas condiciones geotécnicas de los mismos y la carga freática. Aunque existen ciertas superficies de rotura con un factor de seguridad superior a 1,5, es necesario considerar todas las superficies potenciales como inestables debido a que a las deficientes propiedades geotécnicas hay que añadirle factores hidrodinámicos.

### 9.3.3.4.- PK 0 + 136,180 m.

Este perfil constituye el desarrollado en la zona de la explanación. Se trata de la zona más importante de la modelización y objeto principal de estudio ya que en ella se van a ubicar las infraestructuras principales. Los materiales modelizados están constituidos por una base de pizarras, un horizonte eluvial sobre el que se dispone un coluvión arenoso. A pie de talud se dispone de un relleno de suelo antrópico de 3

metros de espesor. Se trata de un talud con una altura de 4,8 m,  $74^\circ$  de inclinación y una anchura de pista equivalente a 6,5 m.

### Caso favorable

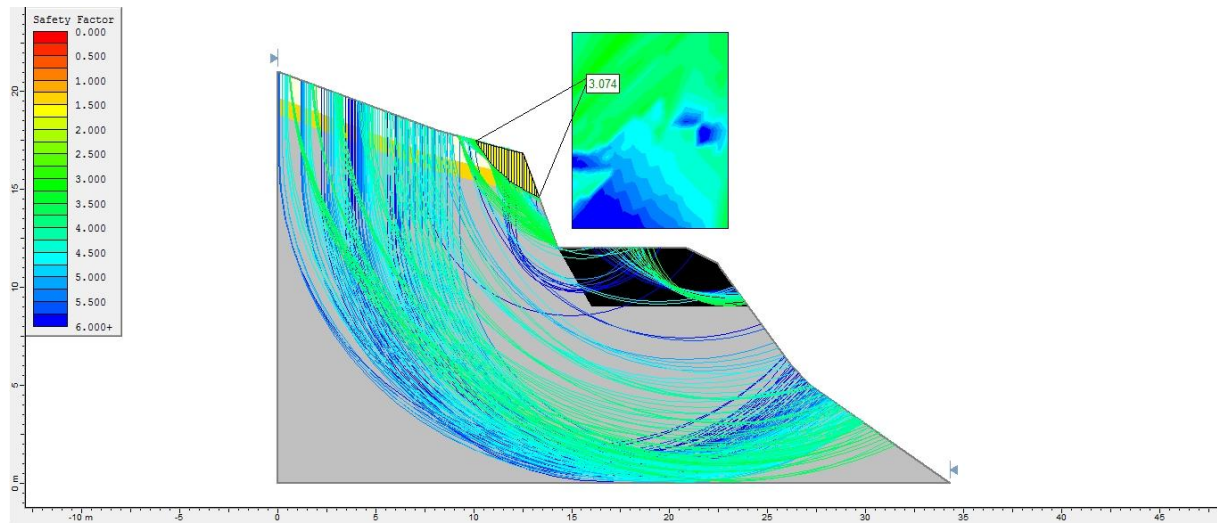


Figura 60: Captura de pantalla. Modelización con Slide. Pk 0 + 136,180. Favorable, (Anexo V-VII).

El factor de seguridad mínimo tiene un valor de 3,074, superior al factor crítico considerado. Aunque el factor de seguridad es el doble del mínimo hay que tener en cuenta que es la zona en la que se van a desarrollar más vulnerabilidades. La superficie de rotura mínima posible afecta solo a la cabecera del talud por encima de la pista, desarrollándose sobre los materiales coluviales y eluviales (Figura 60). El resto de superficies de rotura que se puedan generar presentan un factor de seguridad superior a este último y al mínimo aceptado, el suelo antrópico se comporta estable, por lo que al igual que en casos anteriores, no es objeto de estudio para la inestabilidad.

### Caso desfavorable

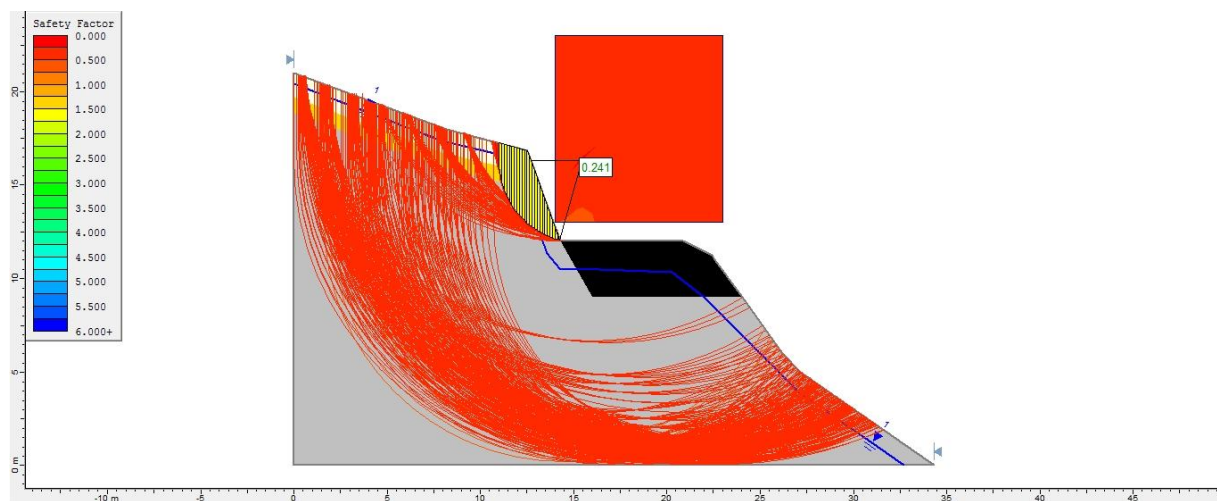
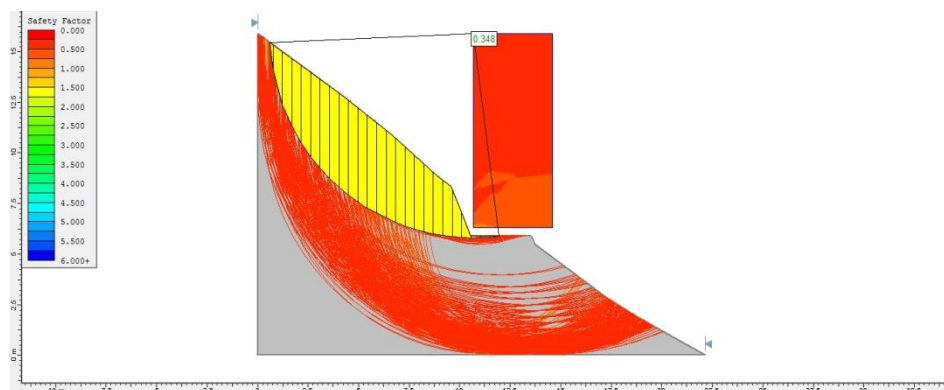
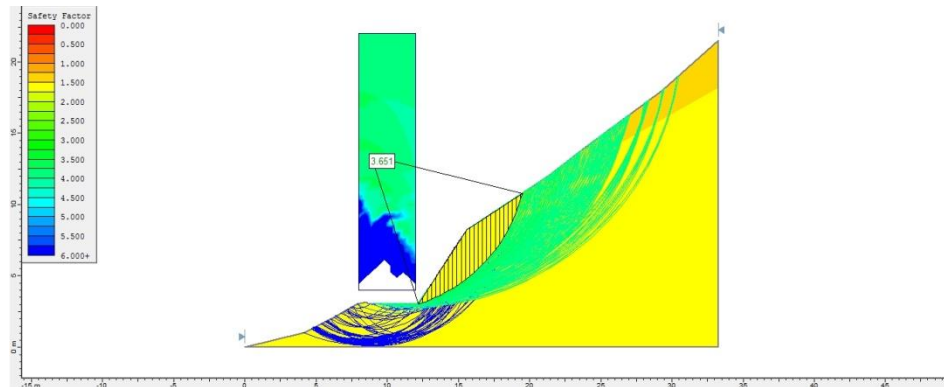


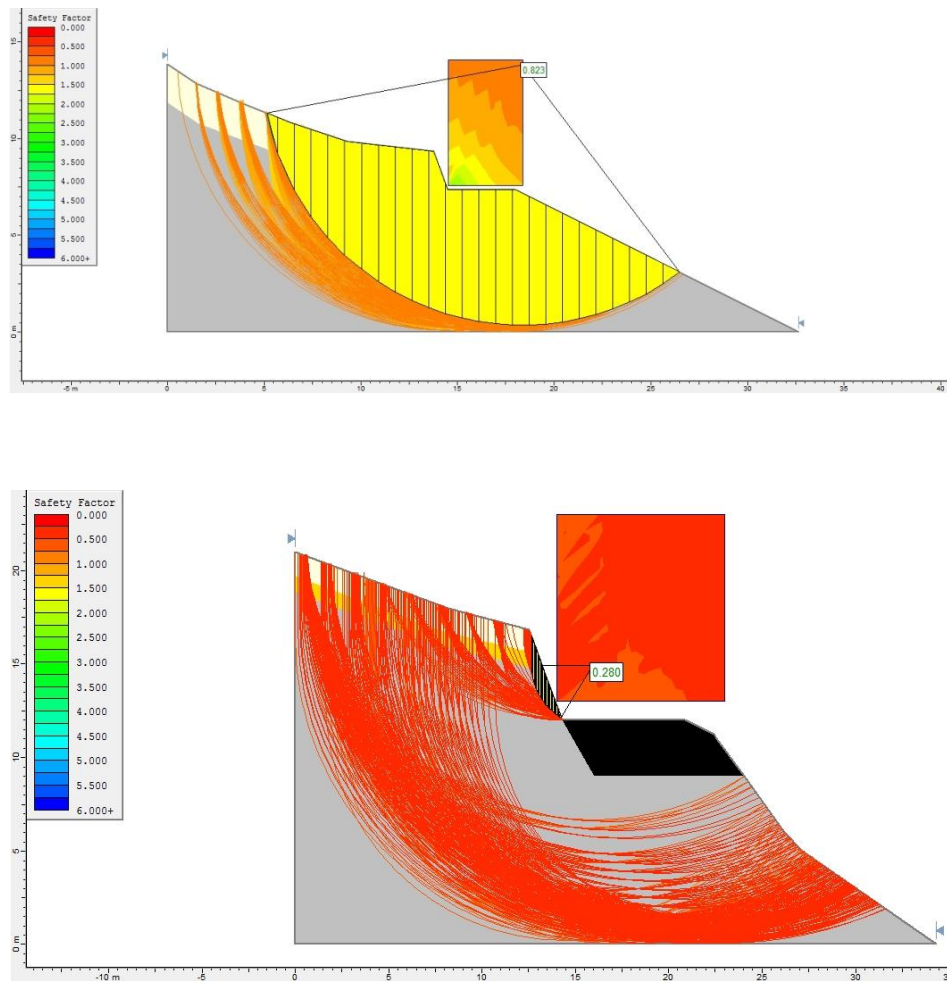
Figura 61: Captura de pantalla. Modelización con Slide. Pk 0 + 136.180 desfavorable, (Anexo V-VIII)

Considerando un caso desfavorable (Figura 61), el factor de seguridad mínimo es de 0,24, muy diferente al caso favorable y muy inferior al factor mínimo aceptado como estable. La superficie de rotura mínima que se puede generar abarca la totalidad del talud excavado, con unas dimensiones de 2 m de ancho y 5 m de altura. El resto de superficies de rotura también presentan un factor de seguridad muy bajo, siendo inferiores todas a 0,58, excepto el suelo antrópico que se comporta de manera estable dando factores de seguridad en torno al 1,5. Estas superficies tienden a comenzar en la parte alta de la ladera y convergen ladera abajo de la pista incluyendo la explanación; pueden llegar a tener una extensión de 30 m de longitud y 20 m de profundidad.

### 9.3.3.5.- Modelización con parámetros geotécnicos desfavorables en ausencia nivel freático

Estas modelizaciones se han realizado teniendo en cuenta el caso desfavorable, sin añadir el factor freático.





**Figura 62:** Captura de pantalla de las 4 modelizaciones con Slide en caso desfavorable sin presencia de nivel freático, (Anexos: V-IX, V-X, V-XI y V-XII).

Como se puede observar en las imágenes superiores (Figura 62), correspondientes a la modelización de los taludes en los Pks. considerados conflictivos en el caso desfavorable, la ausencia de la superficie freática no altera en gran medida la estabilidad de talud, ya que el factor de seguridad no se ve fuertemente modificado. La variación que sufre el factor de seguridad es de décimas en todas las modelizaciones excepto el perfil de la explanación, que tan solo varía en centésimas. Estos resultados muestran que el nivel piezométrico no incide en el factor de seguridad de la manera esperada, sino que son los parámetros geotécnicos los que condicionan su estabilidad.

Como apunte final se puede aclarar que se trata de modelizaciones en casos extremos que se intentan ajustar lo más posible a la realidad. No obstante, estos valores pueden llevar a inexactitudes, ya que a nuestro criterio el agua influye en los taludes de una forma más notable a la esperada, mientras que en el sustrato rocoso predomina un comportamiento inestable. Por otro lado como anteriormente se ha



dicho estas modelizaciones son para casos extremos, pudiéndose dar estos valores en el área de trabajo, pero según lo observado en campo, los valores reales más desfavorables en la actualidad son discretamente superiores a los valores desfavorables descritos en la modelización.

## 10.- ANÁLISIS GEOTÉCNICO.

Para completar el estudio de inestabilidades en la zona de trabajo se ha llegado una serie de conclusiones geotécnicas que se indican a continuación teniendo en cuenta las características del terreno descritas anteriormente.

Inicialmente, se puede indicar medidas de estabilización común a todos los taludes que consisten en:

- Suavizar sus pendientes como mínimo a un valor aproximado de 1H:1V.
- Limpiar y eliminar peso en la cabecera de los taludes.

Tras estas dos premisas se darán métodos de estabilización a las diferentes zonas del trabajo, atendiendo a sus propiedades.

En la zona de acceso a la pista constituyendo los primeros 30 metros de trazado, no muestran problemas graves de estabilidad, pudiendo producirse ocasionalmente desprendimientos, o caídas de bloques y fragmentos, siendo suficiente la colocación de una malla de guiado simple o gunitar el talud como medida más cautelara.

Siguiendo el eje de la pista, en el tramo que abarca desde el PK0+30 al PK0+112 se interpreta un comportamiento similar en todo el talud por lo que las medidas de estabilización serán resultado del análisis del perfil PK0+51,252. En este caso además de las premisas generales, se recomienda la construcción de una cuneta de drenaje siendo óptima su colocación en torno a 10 m por encima de la cabeza de talud y aceptable a partir de 5 m.

La zona del torrente marcada en el PK0+112 requiere unas medidas de estabilización especiales debido al factor de peligrosidad que conlleva. Como medidas principales se debería limpiar el trazado del cauce y colocar bermas para su escalonamiento, de tal manera que el torrente pierda energía potencial cuando vierta agua y reduciendo su poder erosivo. Además del trabajo en cauce se cree necesaria la construcción de un pozo de decantación para la recepción del material arrastrado por escorrentía y su canalización por debajo de la pista desembocando ladera abajo de la misma.

Como medida extraordinaria se contempla la canalización del torrente con un material a base de cemento hidrófugo para evitar la erosión hídrica y posibles aportes a otras derivaciones torrenciales.



Por último, en el trazado desde el torrente hasta el final de la explanación, son considerados taludes de la misma naturaleza, diferenciándose únicamente por las dimensiones y por el factor de vulnerabilidad. En el talud de pista trazado hasta la explanación se considera la posibilidad de construir una cuneta de drenaje por encima de la superficie mínima de rotura colocándola entre 3 y 5 metros por encima de la coronación. En el talud de la explanación además del drenaje será idóneo colocar una malla de guiado simple con anclajes presuntamente profundos y dispuestos en cuadrículas de 2x2 metros. Como medida más cautelara, y atendiendo a la vulnerabilidad de la zona, también se podría levantar un muro escollera con drenes americanos, de esta manera, se aseguraría la explanación de posibles inestabilidades.

## 11.- CONCLUSIONES

La tesis realizada forma parte de un informe creado por el Ayuntamiento de Mieres del Camín, dentro del proyecto LIFEHYGENET, para la construcción de una planta hidroeléctrica y de abastecimiento de agua en las zonas colindantes al área de “La Herradura”, ubicada al sur del municipio de Mieres.

La zona de proyecto no es extensa, pero se requirió de un estudio al detalle debido a la importancia de la infraestructura a ubicar.

La Herradura se dispone en una ladera de pendiente considerable y con bastante vegetación, por lo que en ocasiones se hizo difícil el acceso a ciertas zonas para su estudio.

La extensión del proyecto se ubica en la unidad Aller-Nalón, serie productiva perteneciente a la Cuenca Carbonífera Central (CCC). Aunque es complicado especificar en qué paquete de la unidad se encuentra, debido a los escasos afloramientos, dada la proximidad existente con los paquetes inmediatamente por encima de los mismos (“María Luisa” y “Sotón”), la situación aproximada podría ser el paquete “San Antonio”, dispuesto como un sinclinal tumbado.

Tras los estudios de campo, se percibió la existencia de 6 materiales: coluvión, eluvión, aluvión, suelo antrópico, arenisca y pizarra. A nivel general se observa la alternancia de pizarra y arenisca en contacto con un horizonte C, dispuesto por encima del sustrato rocoso y producto de la meteorización severa de la pizarra. En la zona de la explanación, sobre el material eluvial, descansan depósitos coluviales que componen el horizonte B. El suelo antrópico se dispone a pie de talud de la explanación con una tongada de aproximadamente 3 metros de espesor. Se ha realizado la caracterización geológico-geotécnica de todos los materiales, ya que afectan directamente a la zona de trabajo a excepción del aluvión, que se reconoce junto con material antrópico al norte, colina abajo del área de proyecto, pero que no





se consideraron relevantes para el estudio por lo que figuran únicamente como aporte informativo.

Los ensayos de suelo en el laboratorio para los materiales de eluvión, coluvión y antrópico determinaron:

El eluvión como un suelo poco plástico cercano a ser un suelo friable o que se desmenuza fácilmente, con un grado de expansión bajo, viscoso, normalmente consolidado y poco consistente. Clasificado a través de la S.U.C.S. como un suelo **GM** (Gravas limosas, mezcla de grava, arena y limo) y a través de la A.A.S.H.T.O. como un suelo tipo **A-2-4(0)** (Suelos constituidos por gravas y arenas limoarcillosas).

El coluvión como un suelo no plástico, suelo friable que se desmenuza fácilmente, con un grado de expansión muy bajo y poco consistente. Clasificado a través de la S.U.C.S. como un suelo **SP** (Arenas y arenas gravosas mal graduadas o con pocos finos o sin finos) y a través de la A.A.S.H.T.O. como un suelo tipo **A-1-b (0)** (Suelos constituidos por arenas gruesas, cantos y gravas).

El suelo antrópico como un suelo medianamente plástico, con un grado de expansión bajo, normalmente consolidado, una baja resistencia al corte y poco consistente. Clasificado a través de la S.U.C.S. como un suelo **GC** (Gravas arcillosas, mezcla de grava, arena y arcilla) y a través de la A.A.S.H.T.O. como un suelo tipo **A-1-b (0)** (Suelos constituidos por arenas gruesas, cantos y gravas).

Los sistemas de valoración RQD y RMR realizados sobre el sustrato rocoso de arenisca y pizarra, determinan una calidad de macizo mala. En general podemos decir que todos los macizos rocosos se encuentran alterados y fracturados, con más de 3 familias de juntas, con orientaciones de sus planos de rotura desfavorables para el sostenimiento de la roca. Las orientaciones y los buzamientos leídos establecen que los planos de estratificación son favorables a la orientación de los taludes sobre el área de trabajo.

Respecto a la modelización hidrológica, se observa que los resultados son fieles a lo observado y descrito en campo. Se visualizan fenómenos de arroyada y escorrentía por toda la ladera, reconociendo 5 vertientes principales, de las cuales 2 pertenecen a los torrentes identificados in situ. Estos torrentes pueden llegar a acarrear un caudal máximo 164 l/s, por lo que se ha establecido unas medidas especiales para esta zona. Como apunte adicional, cabe destacar que las vertientes estudiadas vierten al arroyo de “La Reguerona” pudiendo incrementar su caudal hasta máximos de 1077 l/s.

Por último tras la modelización de los taludes, los casos favorables indican un factor de seguridad muy por encima del mínimo necesario y por lo tanto muestran un comportamiento estable de los mismos. Sin embargo los casos desfavorables se



disponen con un factor de seguridad crítico muy por debajo del aceptado y con múltiples planos de rotura lo que caracteriza toda ladera como altamente inestable.

En lo relacionado a las modelizaciones aportando una superficie de agua, los resultados no son los esperados ya que la variación es mínima. Estos resultados muestran que el nivel piezométrico no incide en el factor de seguridad de la manera esperada, sino que son los parámetros geotécnicos los que condicionan su estabilidad.

Las modelizaciones son realizadas para casos extremos y se intentan ajustar lo más posible a la realidad. No obstante, estos valores pueden llevar a inexactitudes, ya que a nuestro criterio el agua influye en los taludes de una forma más notable a la esperada, mientras que en el sustrato rocoso predomina un comportamiento inestable.

Las soluciones geotécnicas planteadas no tienen dificultad de ejecución, siendo el único problema el traslado de la maquinaria y de los materiales a la zona, debido a la orografía y la precariedad de los accesos.

## 12.- BIBLIOGRAFÍA

Agencia Estatal de Meteorología (AEMET): Estación de Santa Cruz, (Mieres), (2015).

Aramburu, C., Bastida, F. (Eds.) (1995): Geología de Asturias. Ed. Trea, 314 pp, Gijón. ISBN: 84-89427-30-5.

Ayuntamiento de Mieres, (2014): Proyecto “Renovación de la Conducción de Abastecimiento de Agua en el Ayuntamiento de Mieres”. Ingeniería Civil Asturiana (INCA)

Ayuntamiento de Mieres, (2015): Archivo cartográfico municipal.

Barton N., Lien R. y Lunde J., (1974): Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support. Rock Mechanics, 6: 5–20. Springer Verlag.

Bastida, F. (2004): Zona Cantábrica. (Coordinador), En: Geología de España. (Ed. Princ.: J.A. Vera). Sociedad Geológica de España e Instituto Geológico y Minero de España. 25–49.



Bastida, F. y Aller, J., (1995): Rasgos geológicos generales. En: Aramburu, C. y Bastida, F. (Eds.), Geología de Asturias, 27-33. Ed. Trea,

Bieniawski, Z.T., (1989): Engineering Rock Mass Classifications, John Wiley & Sons, Inc. 68 p.

García-Loygorri, A., Ortuño, G., Caride de Liñán, C., Gervilla, M., Greber, H. y Feys, R. (1971): El Carbonífero de la cuenca Central Asturiana Trab. Geol. Univ. Oviedo, 3, 101 - 150.

Hoek, E. y Brown E.T. (1988): The Hoek-Brown failure criterion. Proc. 15th Canadian Rock Mech. Symp. (Ed. J.H. Curran), 31-38.

IGME. (1984): Investigación Hidrogeológica de la Cuenca Norte: Asturias. Colec. Infomes. Serv. Publ. Ministerio de industria, Madrid. 81p.

IGME. Comba, J.A. et al. (1983) Geología de España. 489 – 491.

IGME. Caride C., Grevilla, M., Ortuño, G., Velando, F., (1973): Mapa Geológico de Mieres, Hoja nº 53 (E: 1/50.000), Madrid.

IGME. (1973): Mapa Geotécnico de España (E: 1/200.000), Madrid.

IGME. (1985). Actualización del inventario de recursos nacionales de carbón, 1985.

IGME. Visor cartográfico geológico digital, InfolGME.

IGN. Ortofoto PNOA, MTN: 1/25000, Hoja Nº 53, (2014).

IGN. Modelo Digital del Terreno, MDT05 LIDAR, Hoja Nº 53, (2015).



Julivert, M., (1971): Dicollement tectonics in the Hercynian Cordillera of NW Spain. Am. J. Sci., 270: I-29.

Lorente de No, C.(1980): Cimentaciones superficiales. En: Cimentaciones, excavaciones y aplicaciones de la Geotecnia. Editor: Jiménez Salas, J.A. Ed. Rueda. 35–50.

Lotze, F. (1945): Zur Gliderung der Varisciden der Iberischen Meseta. Geotekt. Forsch., 6, 78-92.

Ministerio de Fomento, (2008): Código técnico de la edificación (CTE). DB-SE-C. 10–123.

Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, (2011). Plan de energías renovables. (PER) (2011-2020).

SIGPAC. Sistema de Información Geográfica del Principado de Asturias. (2015).

Soil Conservation Service: 2015. Runoff threshold.

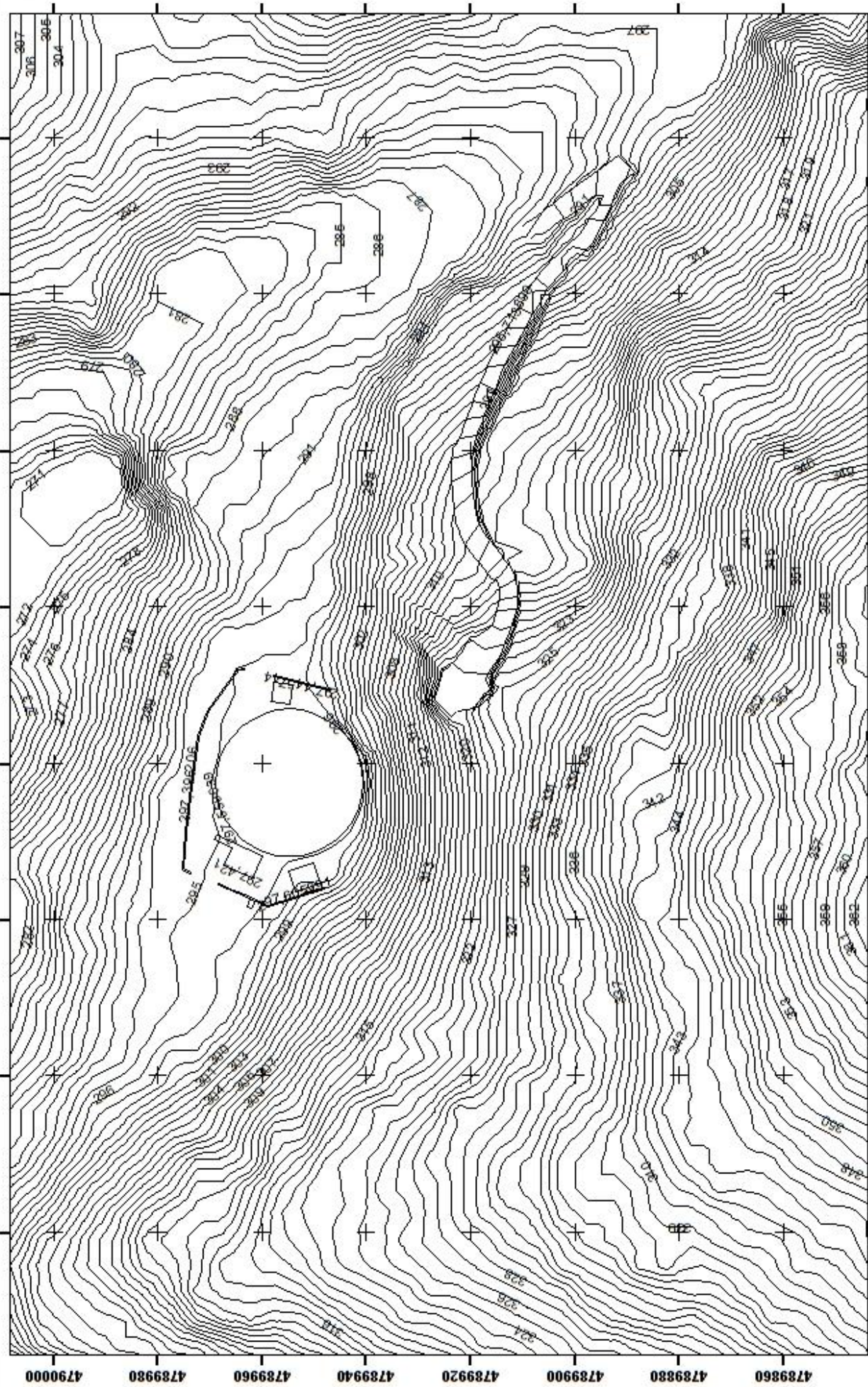
Villa, E. y Heredia, N. (1988): Aportaciones al conocimiento del Carbonífero de la Región de Mantos y de la Cuenca Carbonífera Central (Cordillera Cantábrica, NO de España). Bol. Geol. Min. 99 (5): 757-769.

## **ANEXOS.**

- I. Cartografía topográfica.**
- II. Cartografía geológica.**
- III. Cartografía temática.**
- IV. Cartografía hidrológica.**
  - IV-I.- Red de escorrentía.**
  - IV-II.- Flujo acumulado.**
- V. Perfiles de modelización.**
  - V-I.- PK 0 + 3,616. Caso favorable.**



- V-II.- PK 0 + 3,616. Caso desfavorable.**
- V-III.- PK 0 + 051,252. Caso favorable.**
- V-IV.- PK 0 + 051,252. Caso desfavorable**
- V-V.- PK 0 + 113. Caso favorable.**
- V-VI.- PK 0 + 113. Caso desfavorable.**
- V-VII.- PK 0 + 136,180. Caso favorable.**
- V-VIII.- PK 0 + 136,180. Caso desfavorable.**
- V-IX.- PK 0 + 3,616. Caso desfavorable sin N.F.**
- V-X.- PK 0 + 051,252. Caso desfavorable sin N.F.**
- V-XI.- PK 0 + 113. Caso desfavorable sin N.F.**
- V-XII.- PK 0 + 136,180. Caso desfavorable sin N.F.**



0 12,5 25 50 75 100 Meters

Ayuntamiento de Mieres - Facultad de Geología de Oviedo

Nombre del proyecto: Turbina y depósito La Herradura  
 Plano: Cartografía topográfica

Fecha: Junio 2016	Autor: Alvaro de Castro de Castro	Plano nº: 1
Esca: 1/1000	Original: ISO A4	Hoja nº: 1 de 1

Projected Coordinate System: ETRS 1989 UTM Zone 30N  
 Projection: Transverse Mercator  
 Datum: D-ETRS 1989

**Leyenda**

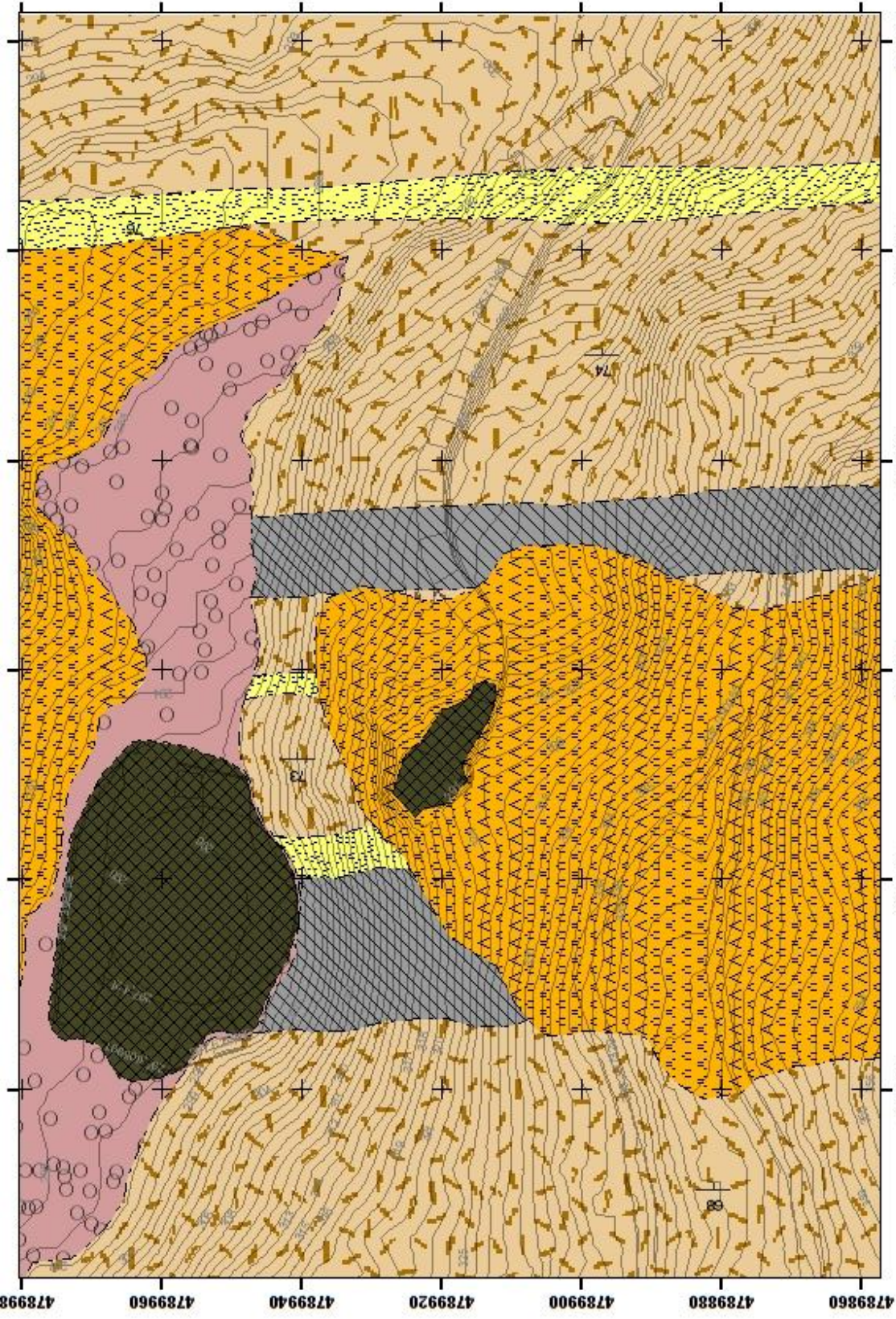
— Curvas de nivel



**Leyenda**

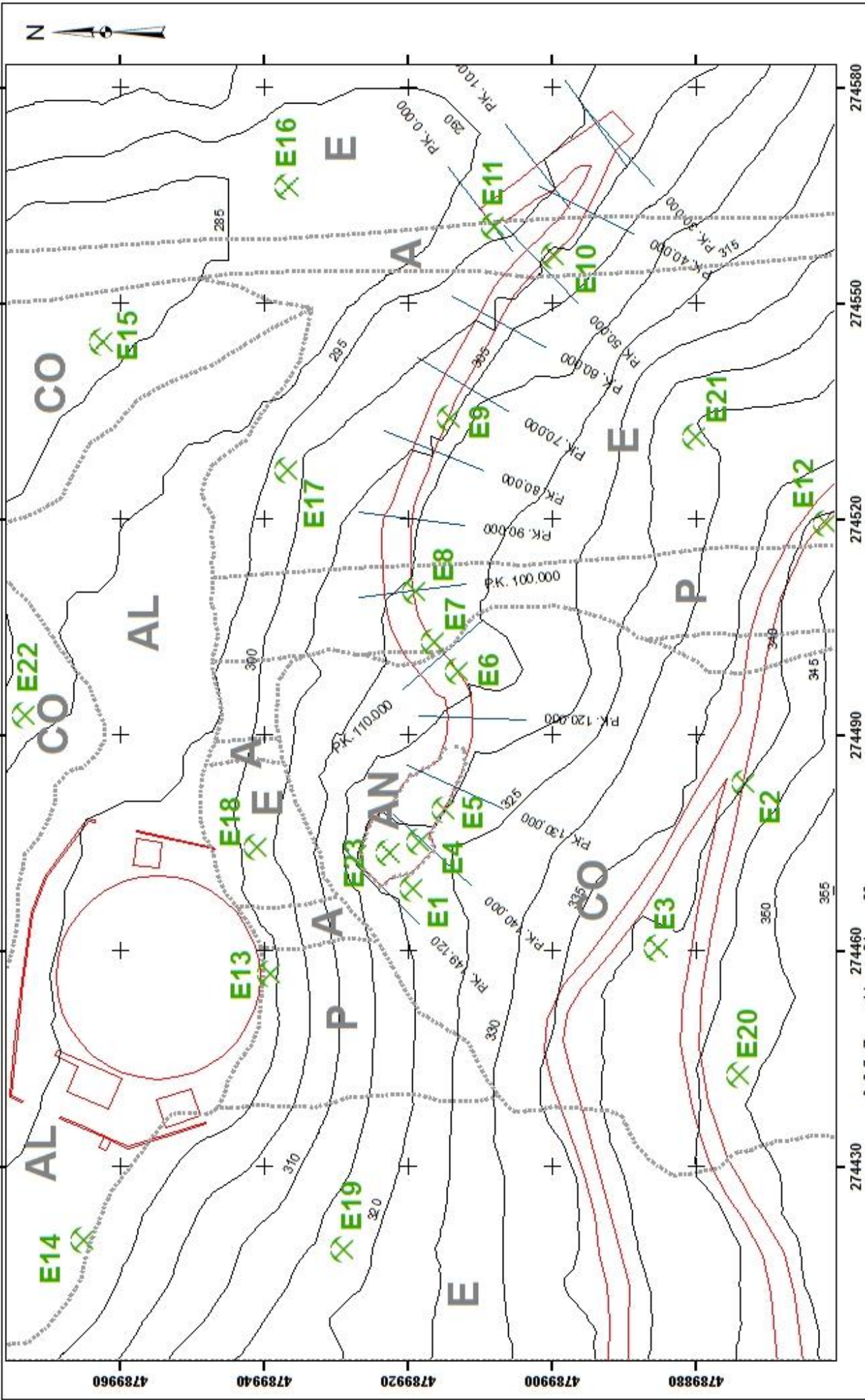
Topografía base

- Antropico
- Pizarra
- Arenisca
- Eluvión
- Coluvión
- Aluvión



Projected Coordinate System: ETRS 1989 UTM Zone 30N  
 Projection: Transverse Mercator  
 Datum: D-ETRS 1989

		Ayuntamiento de Mieres - Facultad de Geología de Oviedo	
Nombre del proyecto: Turbina y depósito La Herradura		Cartografía geológica 1	
Fecha: Junio 2016	Autor: Alvaro de Castro de Castro	Plano nº: 1	Hoja nº: 1 de 1
Escala: 1/850 Original: ISO A4			



Projected Coordinate System:  
 ETRS 1989 UTM Zone 30N  
 Projection: Transverse Mercator  
 Datum: D-ETRS 1989

**Geología**

- AN: Antropico
- CO: Coluvión
- E: Eluviación
- AL: Aluviación
- A: Arenisca
- P: Pizarra

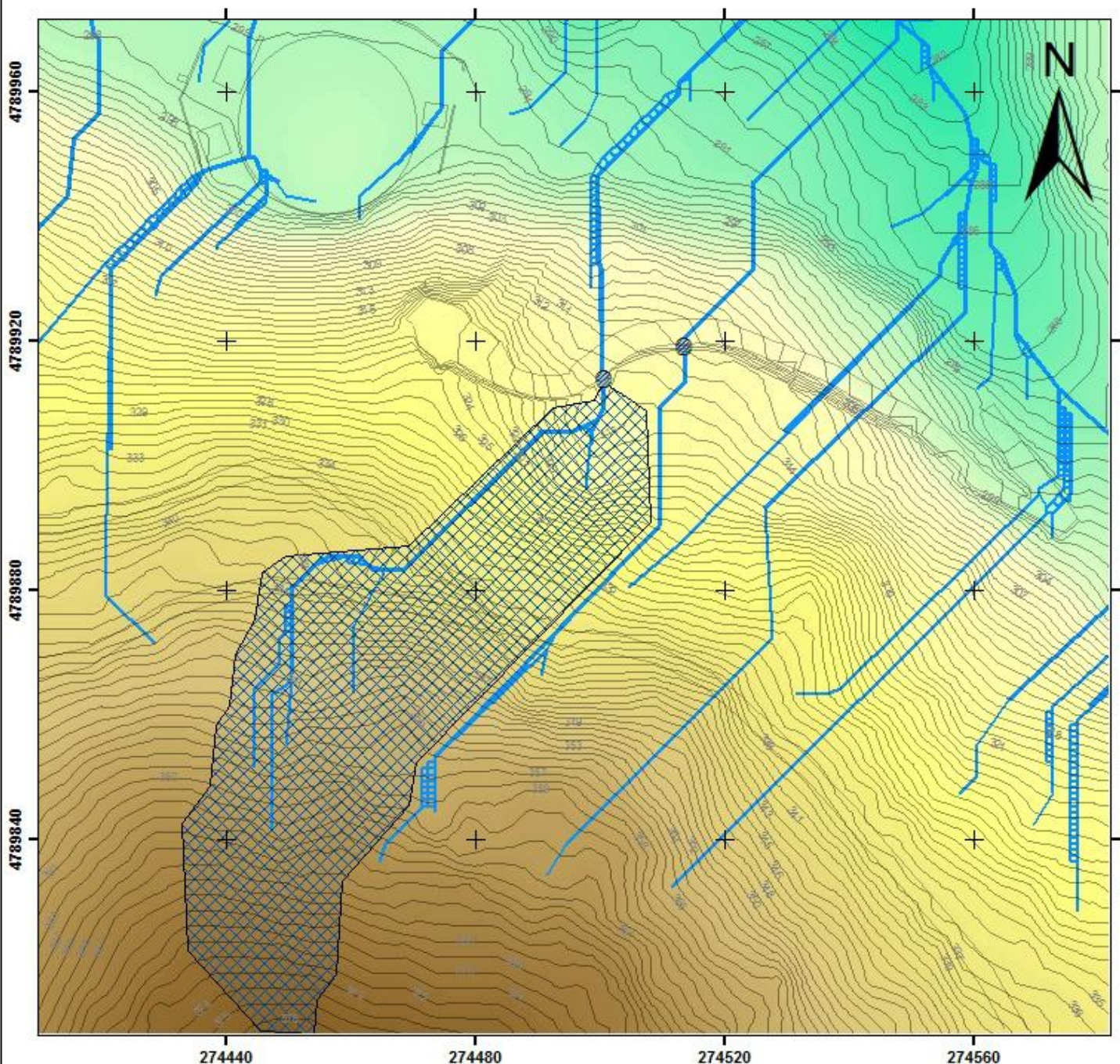
**Legenda**

- Cartografía
- Estaciones
- Topografía
- Caminos e infraestructuras
- Transversales

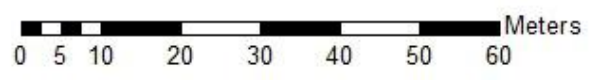
Ayuntamiento de Mieres - Facultad de Geología de Oviedo  
 Nombre del proyecto: Turbina y depósito La Herradura  
 Plano: Cartografía temática

Fecha: Junio 2016	Autor:	Plano nº:
Escala: 1/500	Alvaro de Castro de Castro	1
Original: ISO A4		Hoja nº:
		1 de 1





Projected Coordinate System: ETRS 1989 UTM Zone 30N  
 Projection: Transverse Mercator  
 Datum: D-ETRS 1989



**Datos hidrológicos**

Precipitación máxima: 51,3 mm/día  
 Precipitación media: 2,5 mm/día

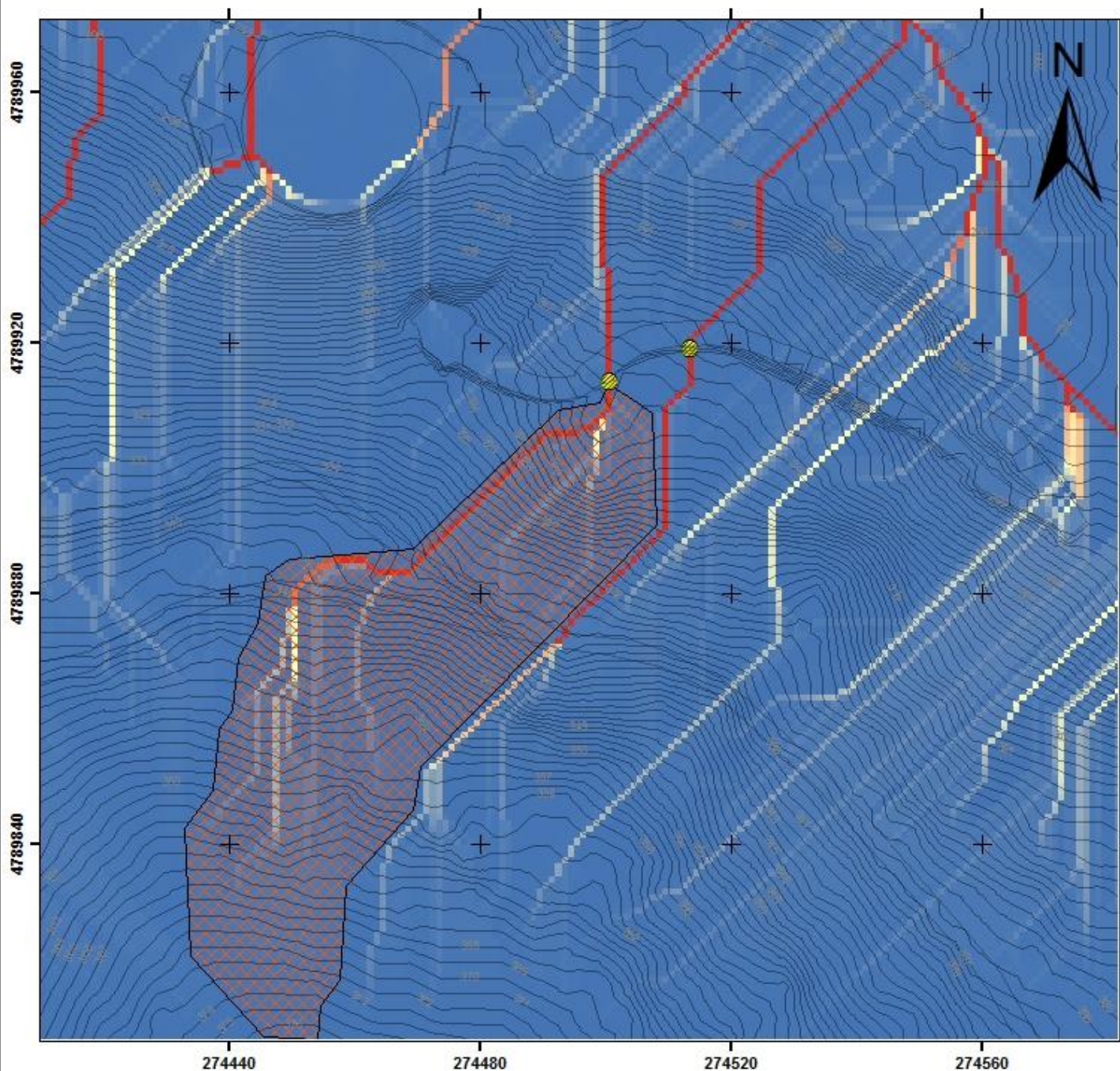
Caudal máximo torrente: 163.974 l/s  
 Caudal medio torrente: 7,991 l/s

**Legenda**

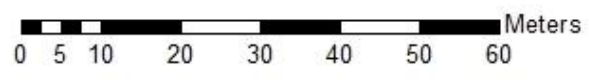
- Topografía
- Torrente
- ▨ Cuenca torrente
- Red Primaria
- Red Secundaria

Altitud (m)  
 High : 376,637  
 Low : 280,134

		Ayuntamiento de Mieres - Facultad de Geología de Oviedo	
Nombre del proyecto: Turbina y depósito La Herradura			
Plano: Estudio hidrológico: Red de escorrentía			
Fecha: Junio 2016	Autor: Alvaro de Castro de Castro		Plano nº: 1
Escala: 1/900 Original: ISO A4			Hoja nº: 1 de 1



Projected Coordinate System: ETRS 1989 UTM Zone 30N  
 Projection: Transverse Mercator  
 Datum: D-ETRS 1989



**Datos hidrológicos**

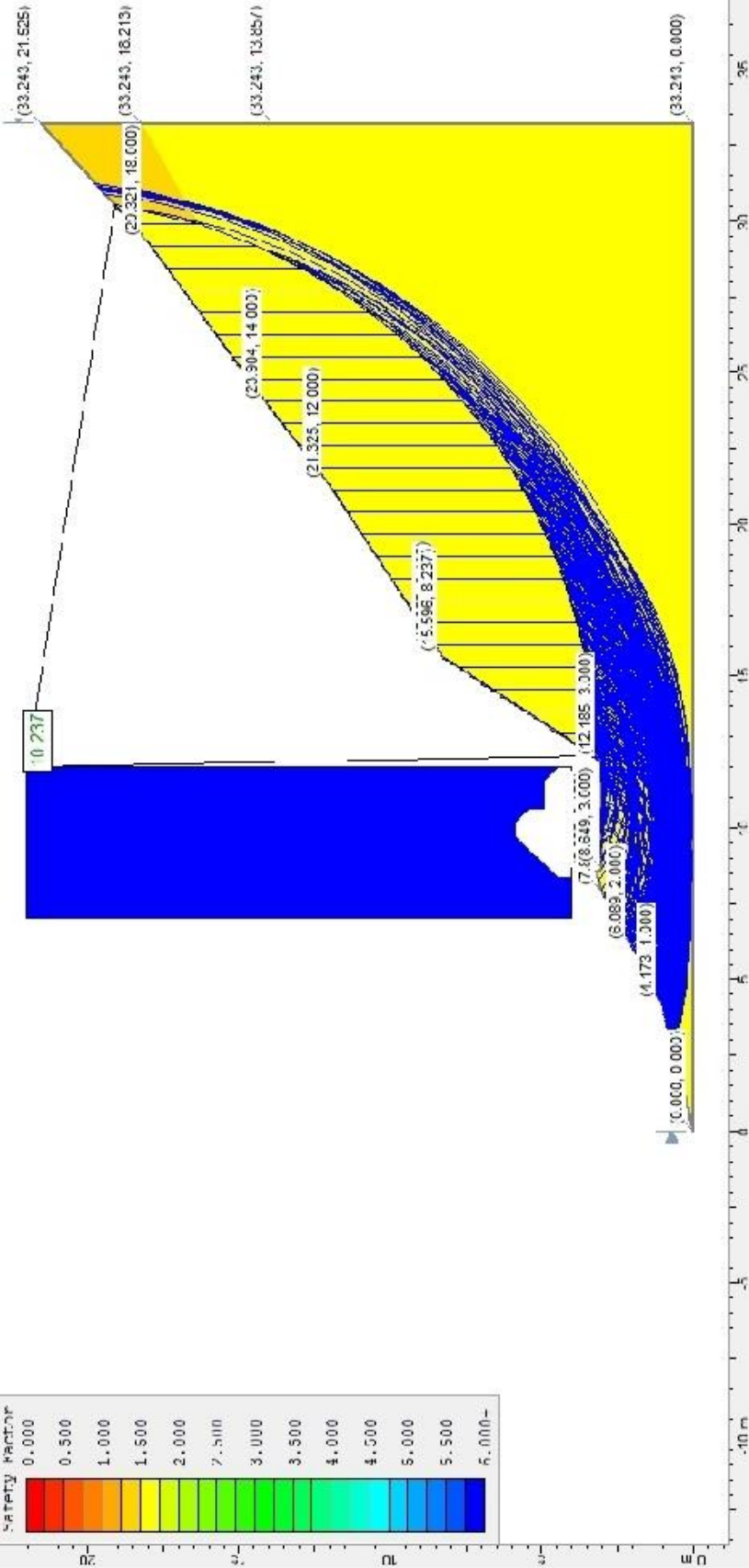
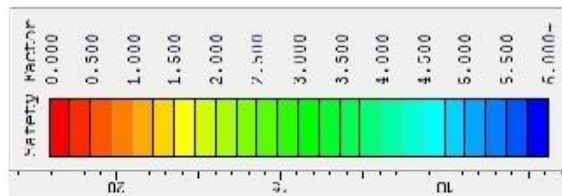
Precipitación máxima: 51,3 mm/día  
 Precipitación media: 2,5 mm/día

Caudal máximo torrente: 163.974 l/s  
 Caudal medio torrente: 7,991 l/s

**Leyenda**

- Topografía
- Torrente
- ▨ Cuenca torrente
- Sup. de flujo acum. (m2)  
 High : 18134  
 Low : 0

Nombre del proyecto: Turbina y depósito La Herradura		
Plano: Estudio hidrológico: flujo acumulado		
Fecha: Junio 2016	Autor: Alvaro de Castro de Castro	Plano nº: 2
Escala: 1/900 Original: ISO A4		Hoja nº: 1 de 1

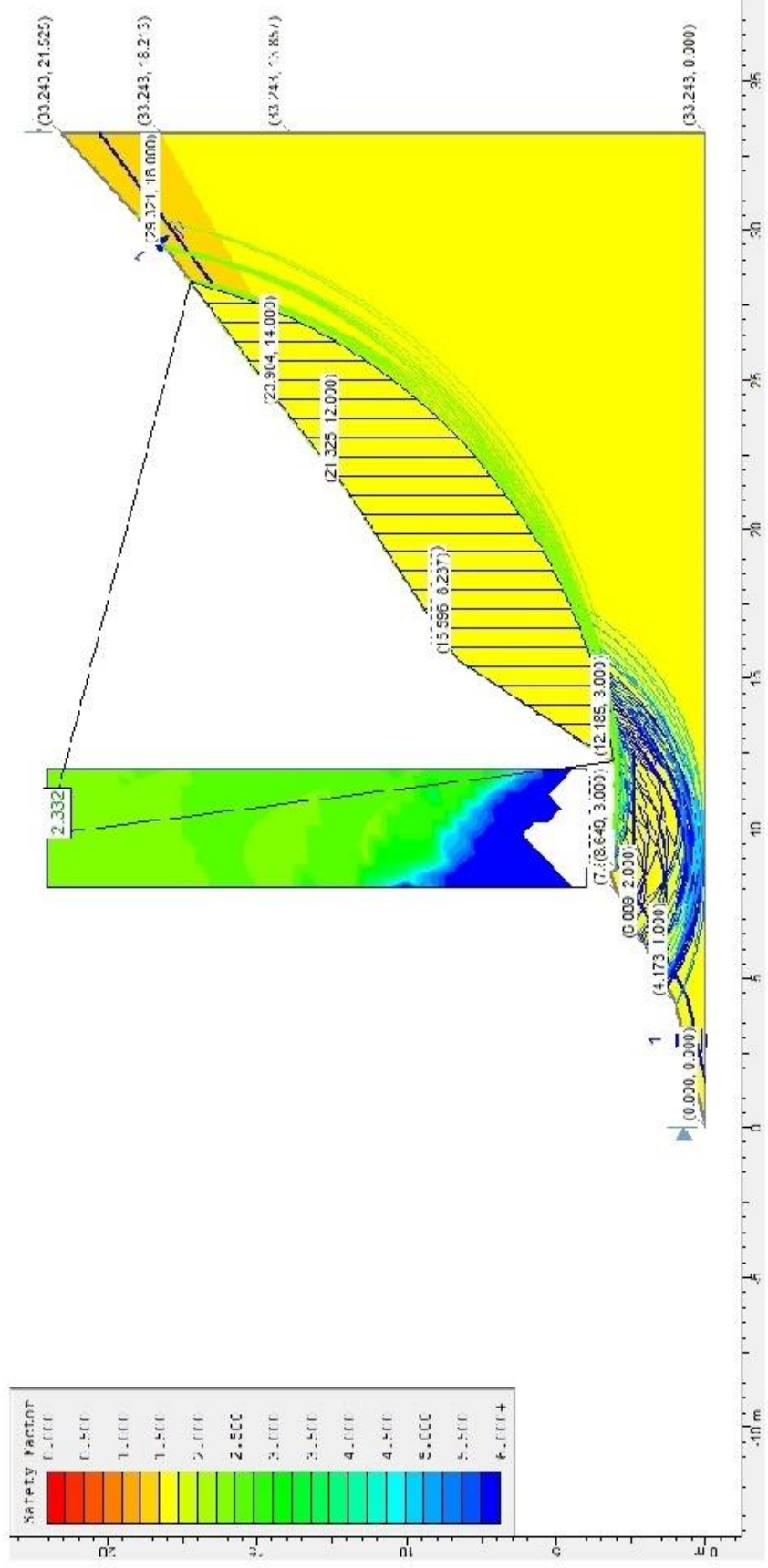


ANEXO V-I

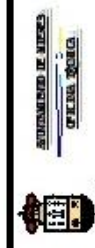


Ayuntamiento de Mieres - Facultad de Geología de Oviedo

Nombre del proyecto:		Turbina y depósito La Herradura	
Plano:		Perfiles de modelización: PK 0 + 3,616 caso favorable	
Fecha:	Junio 2016	Autor:	Alvaro de Castro de Castro
Escala:	1/1	Plano nº:	1
Original:	ISO A4	Hoja nº:	1 de 1



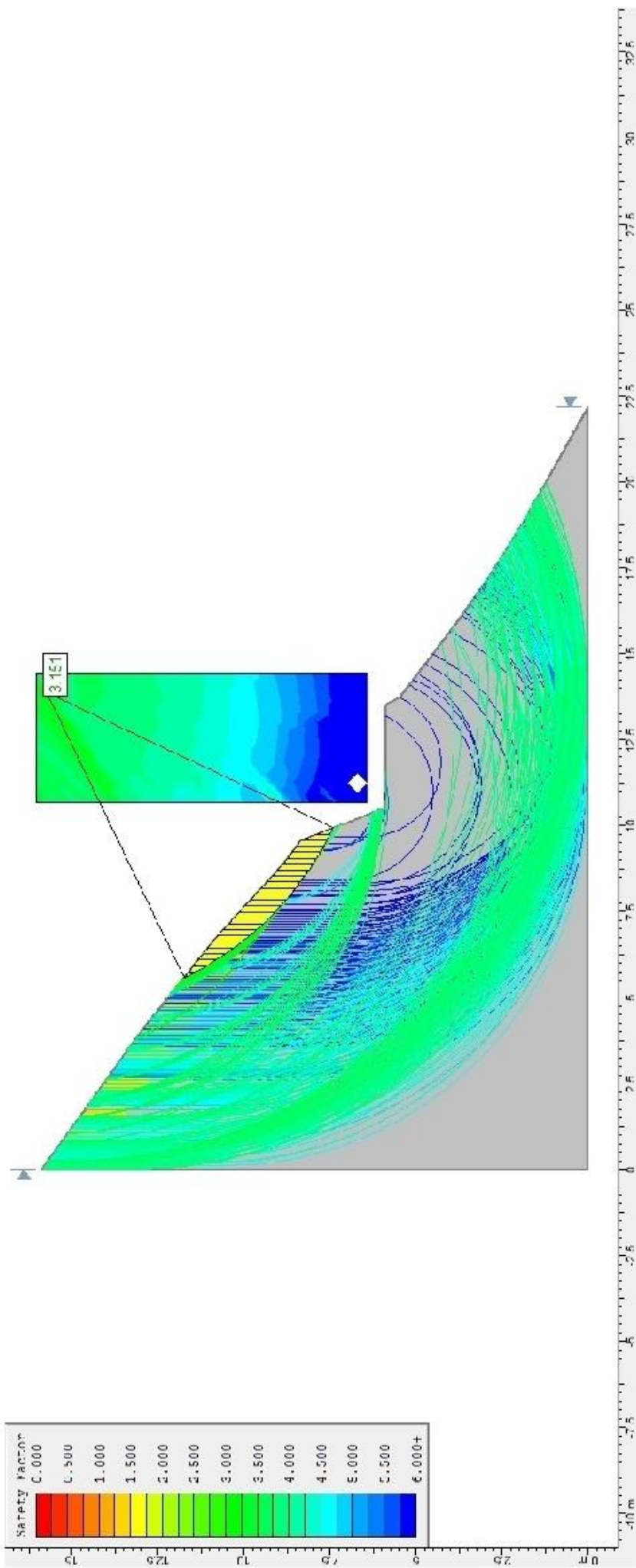
ANEXO V-II



Ayuntamiento de Mieres - Facultad de Geología de Oviedo



Nombre del proyecto:		Turbina y depósito La Herradura	
Plano:		Perfiles de modelización: PK 0 + 3,616 caso desfavorable	
Fecha:	Junio 2016	Autor:	Alvaro de Castro de Castro
Escala:	1/1	Plano nº:	2
Original:	ISO A4	Hoja nº:	1 de 1



ANEXO V-III



Ayuntamiento de Mieres - Facultad de Geología de Oviedo



Nombre del proyecto: Turbina y depósito La Herradura

Plano: Perfiles de modelización: PK 0 + 51,252 caso favorable

Fecha:  
Junio 2016

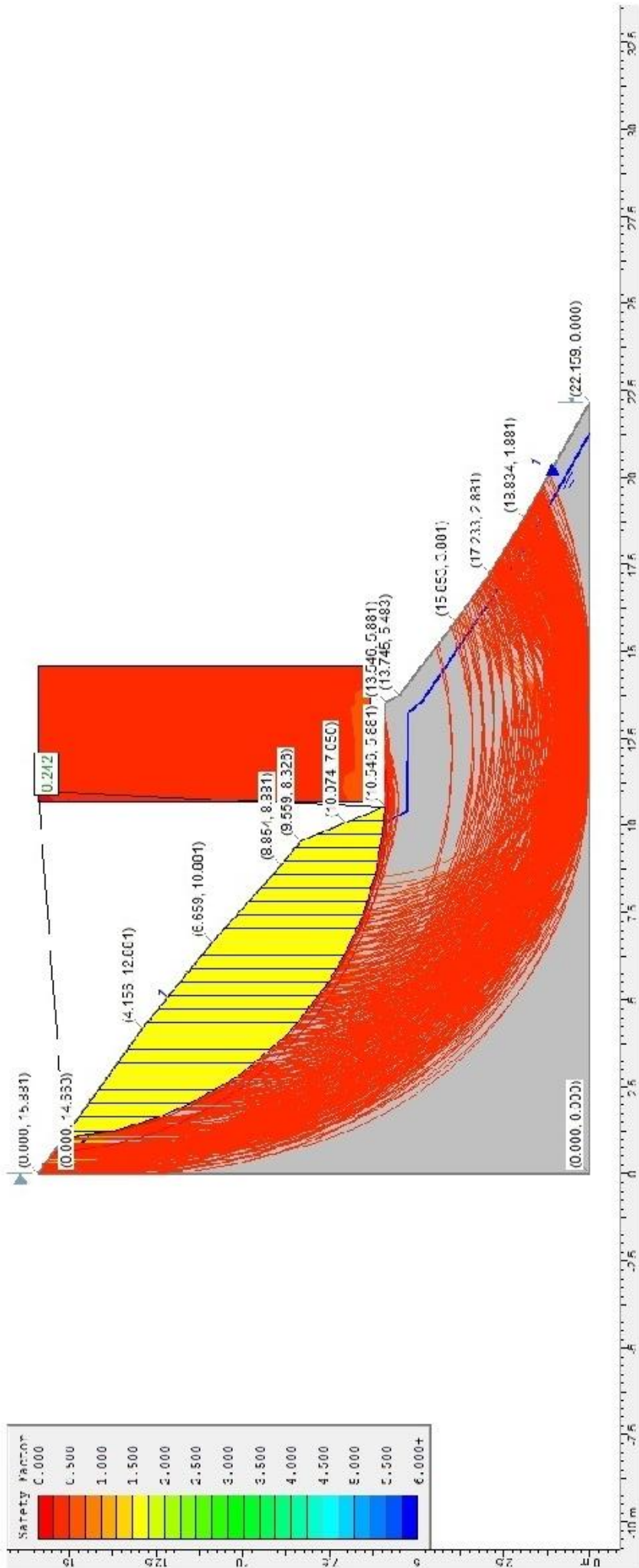
Autor:

Escala: 1/1  
Original: ISO A4

Alvaro de Castro de Castro

Plano nº: 4

Hoja nº: 1 de 1



Ayuntamiento de Mieres - Facultad de Geología de Oviedo

Nombre del proyecto: Turbina y depósito La Herradura

Plano: Perfiles de modelización: PK 0 + 51,252 caso desfavorable

Fecha: Junio 2016

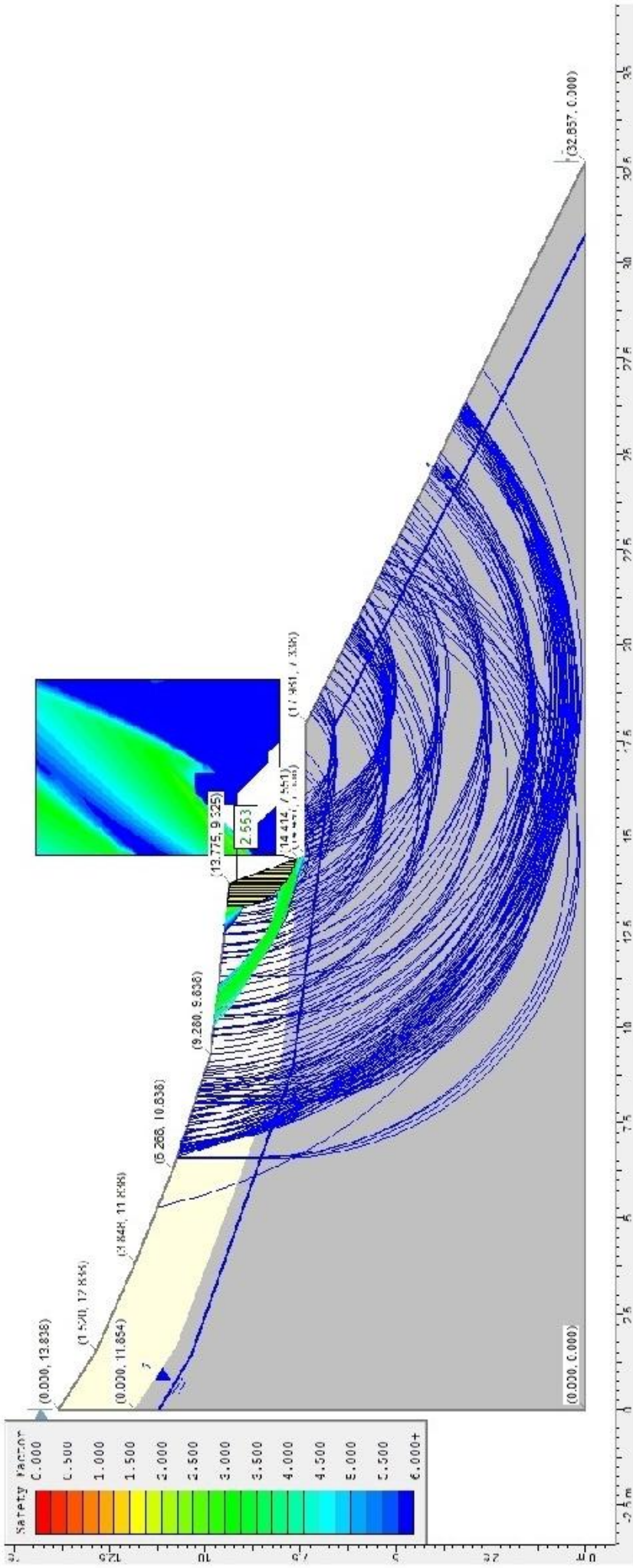
Autor: Alvaro de Castro de Castro

Escala: 1/1



Original: ISO A4

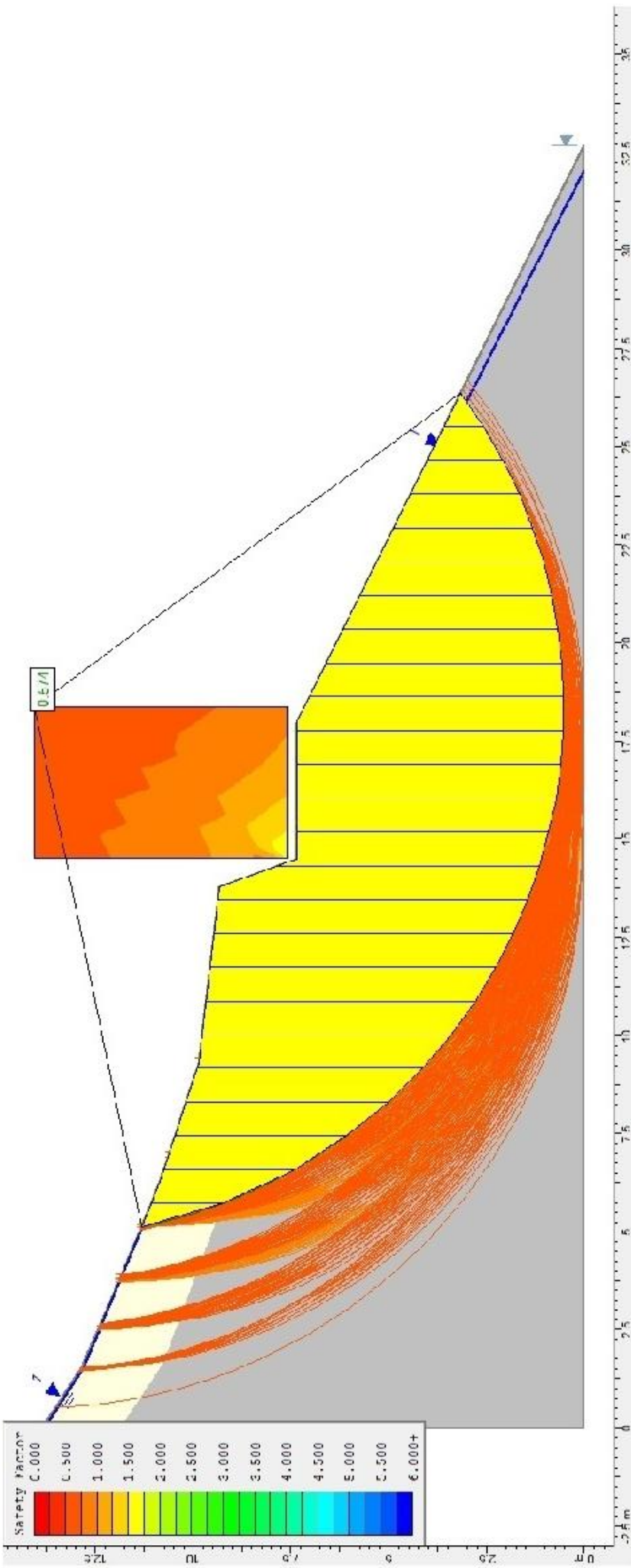
Plano nº: 5

Hoja nº: 1 de 1






ANEXO V-V

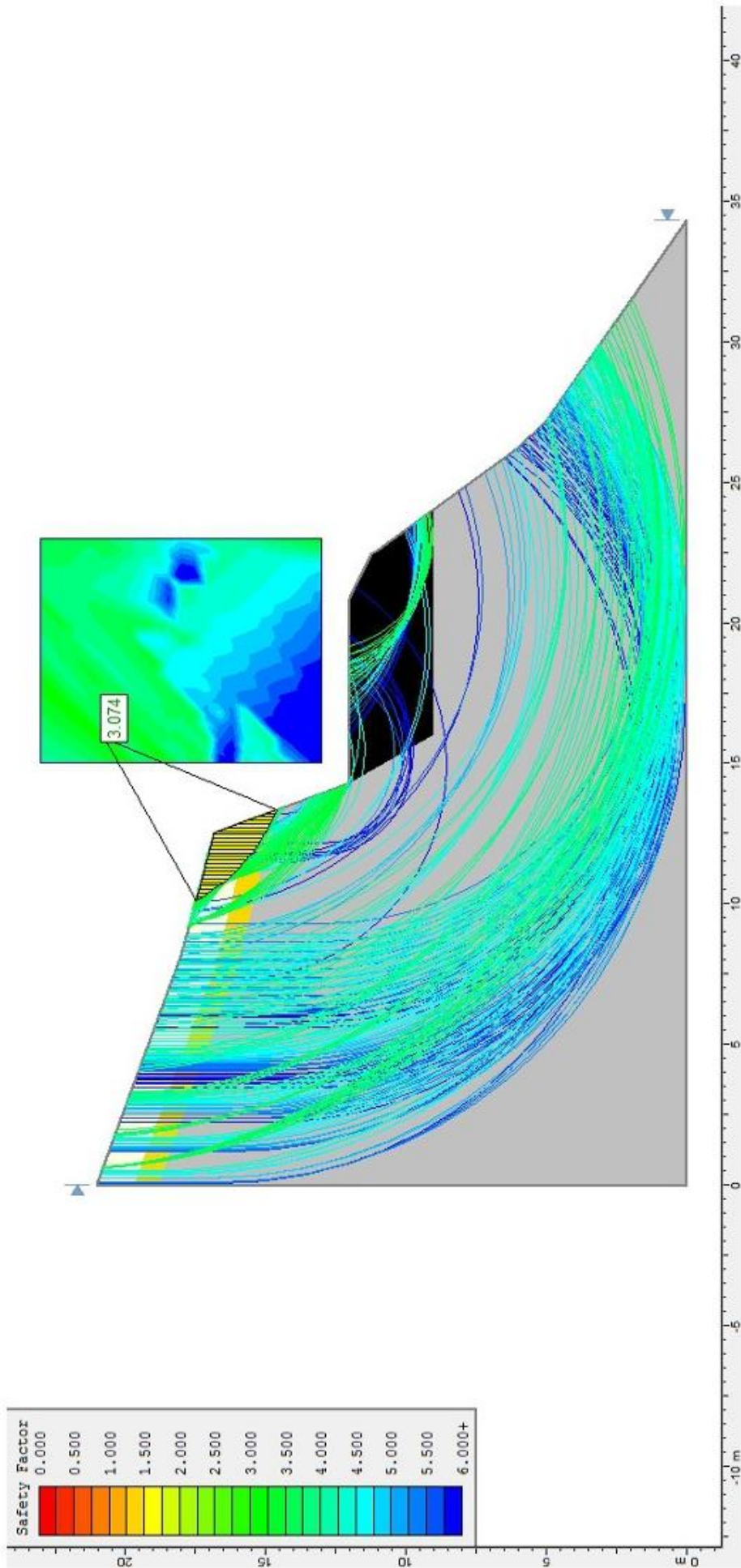
 	
Ayuntamiento de Mieres - Facultad de Geología de Oviedo	
Nombre del proyecto: Turbina y depósito La Herradura	
Plano: Perfiles de modelización: PK 0 + 113 caso favorable	
Fecha: Junio 2016	Autor: Alvaro de Castro de Castro
Escala: Original: 1/1	Plano nº: 7
Original: ISO A4	Hoja nº: 1 de 1







ANEXO V-VI

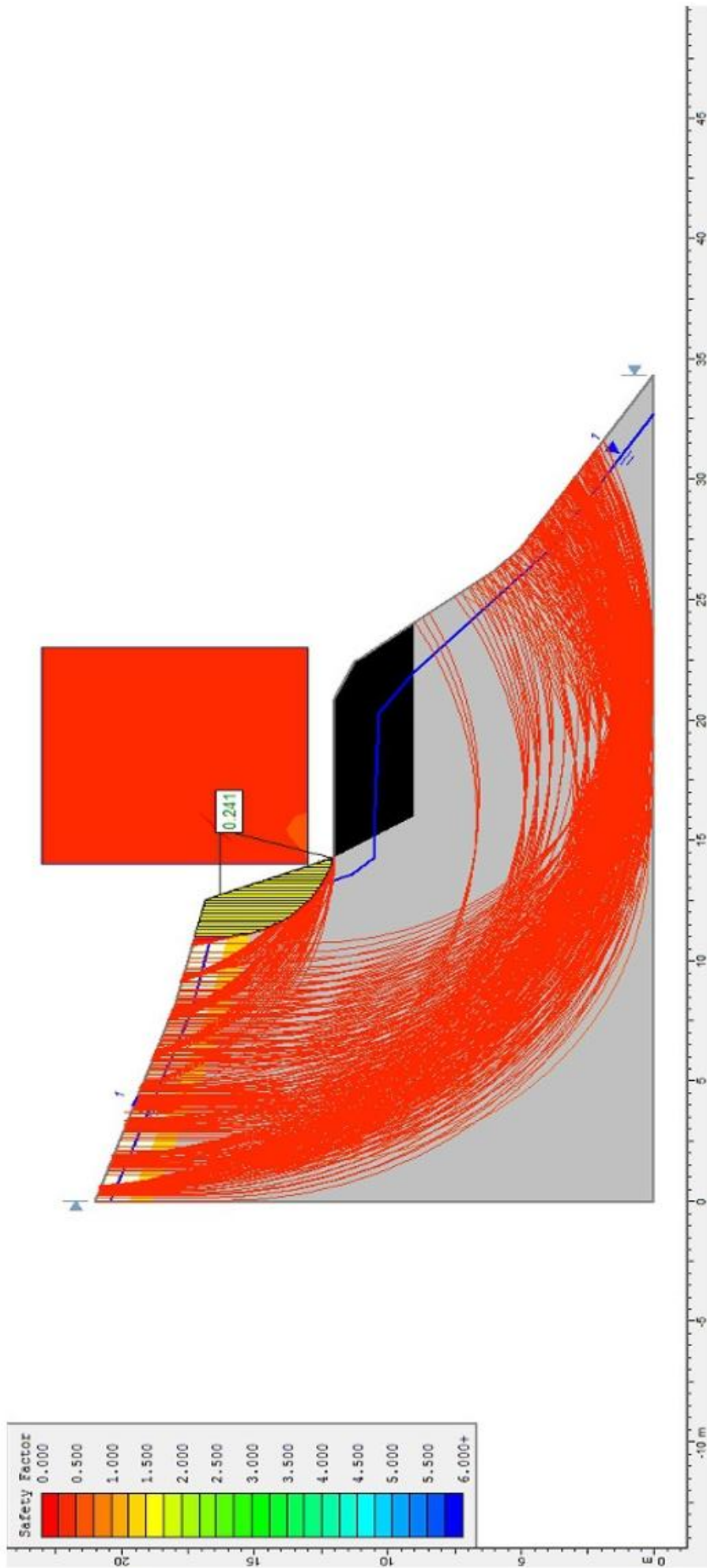
 			
Ayuntamiento de Mieres - Facultad de Geología de Oviedo		Ayuntamiento de Mieres - Facultad de Geología de Oviedo	
Nombre del proyecto: Turbina y depósito La Herradura		Nombre del proyecto: Turbina y depósito La Herradura	
Plano: Perfiles de modelización: PK 0 + 113 caso desfavorable		Plano nº: 8	
Fecha: Junio 2016		Autor: Alvaro de Castro de Castro	
Escala: 1/1		Hoja nº: 1 de 1	
Original: ISO A4			





ANEXO V-VII

  			
Ayuntamiento de Mieres - Facultad de Geología de Oviedo			
Nombre del proyecto:		Turbina y depósito La Herradura	
Plano:		Perfiles de modelización: PK 0 + 136,180 caso favorable	
Fecha:	Junio 2016	Autor: Alvaro de Castro de Castro	
Escala:	1/1		
Original:	ISO A4	Plano nº:	10
		Hoja nº:	1 de 1



ANEXO V-VIII



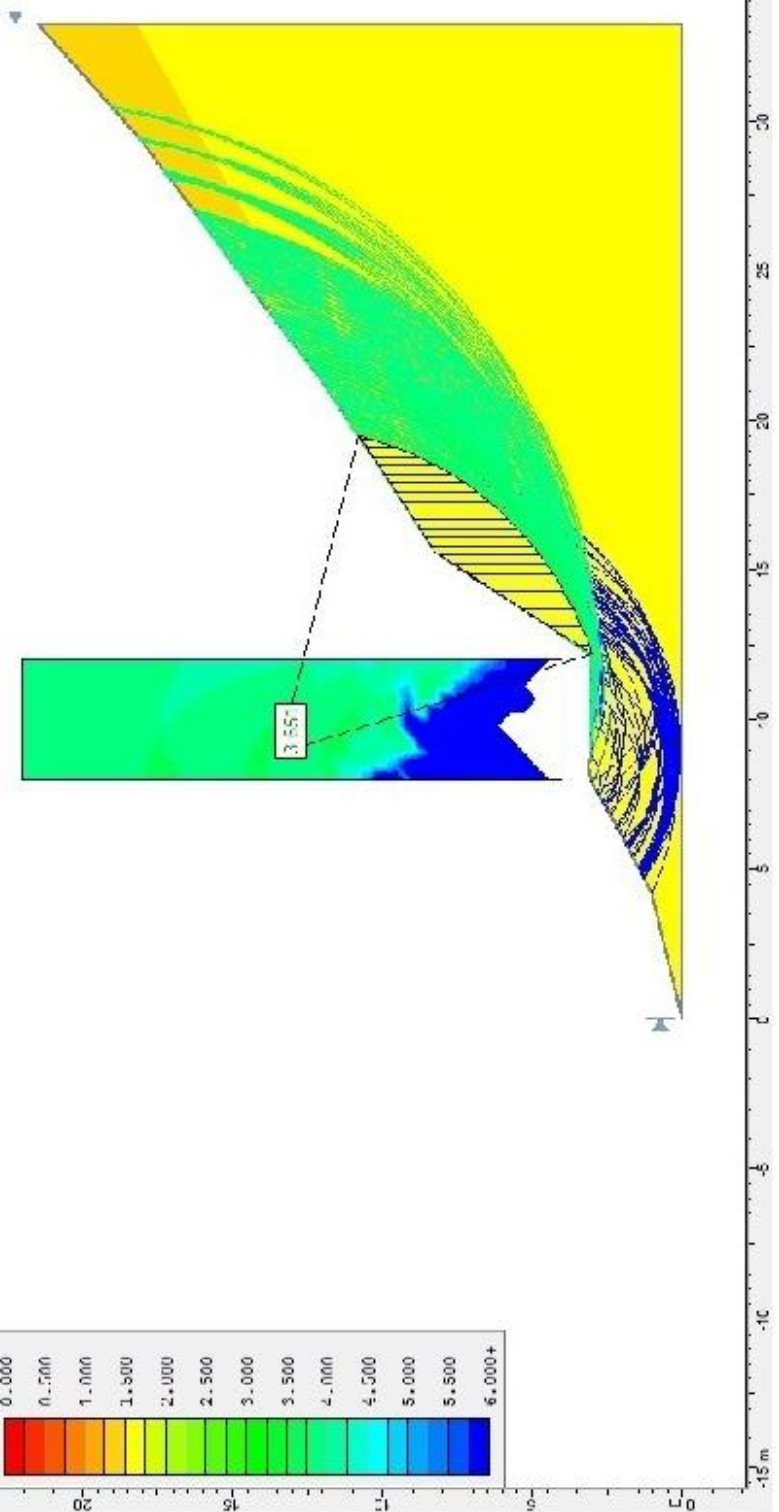
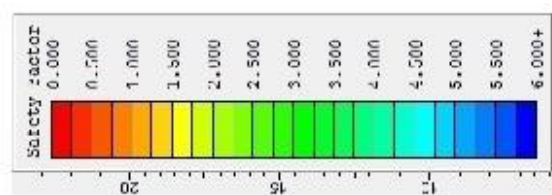
AYUNTAMIENTO DE MIERES  
OFICINA TÉCNICA






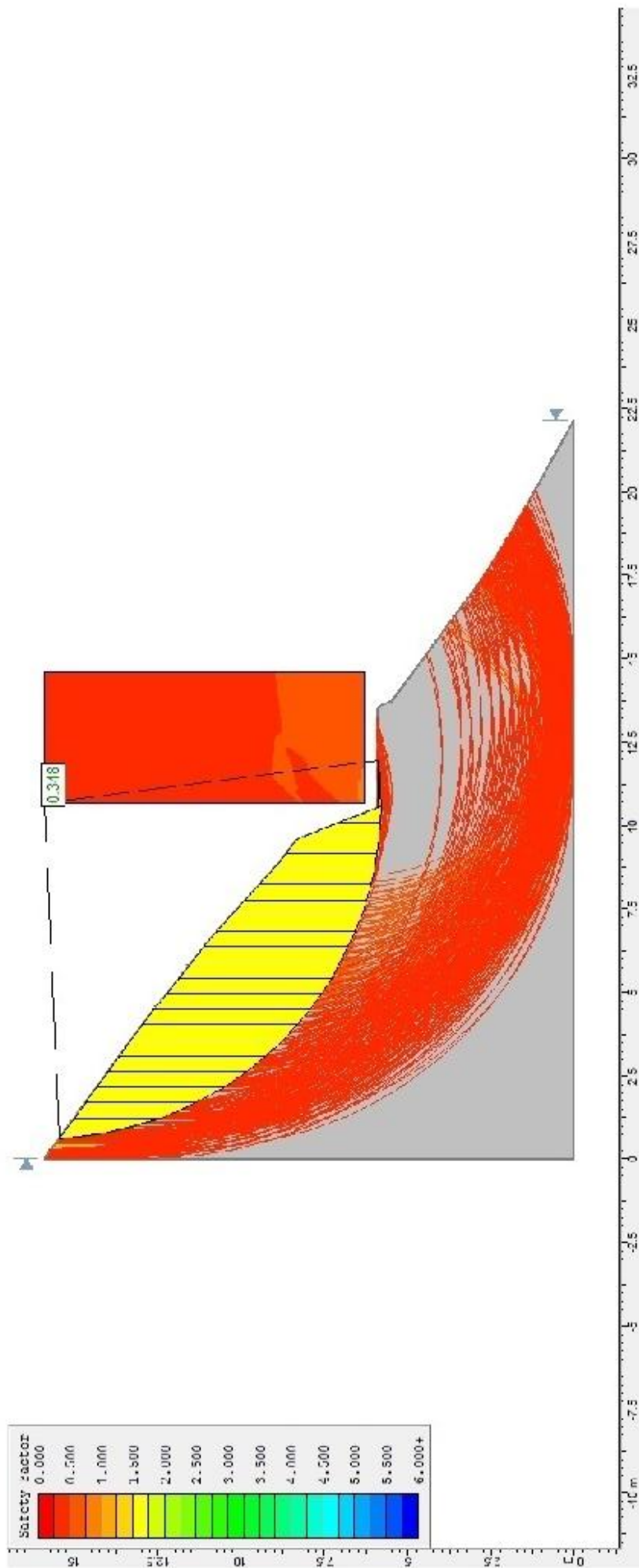
Ayuntamiento de Mieres - Facultad de Geología de Oviedo

Nombre del proyecto:		Turbina y depósito La Herradura	
Plano:	Perfiles de modelización: PK 0 + 136,180 caso desfavorable		
Fecha:	Junio 2016		
Escala:	1/1	Autor:	
Original:	ISO A4	Alvaro de Castro de Castro	




Plano nº:	11
Hoja nº:	1 de 1

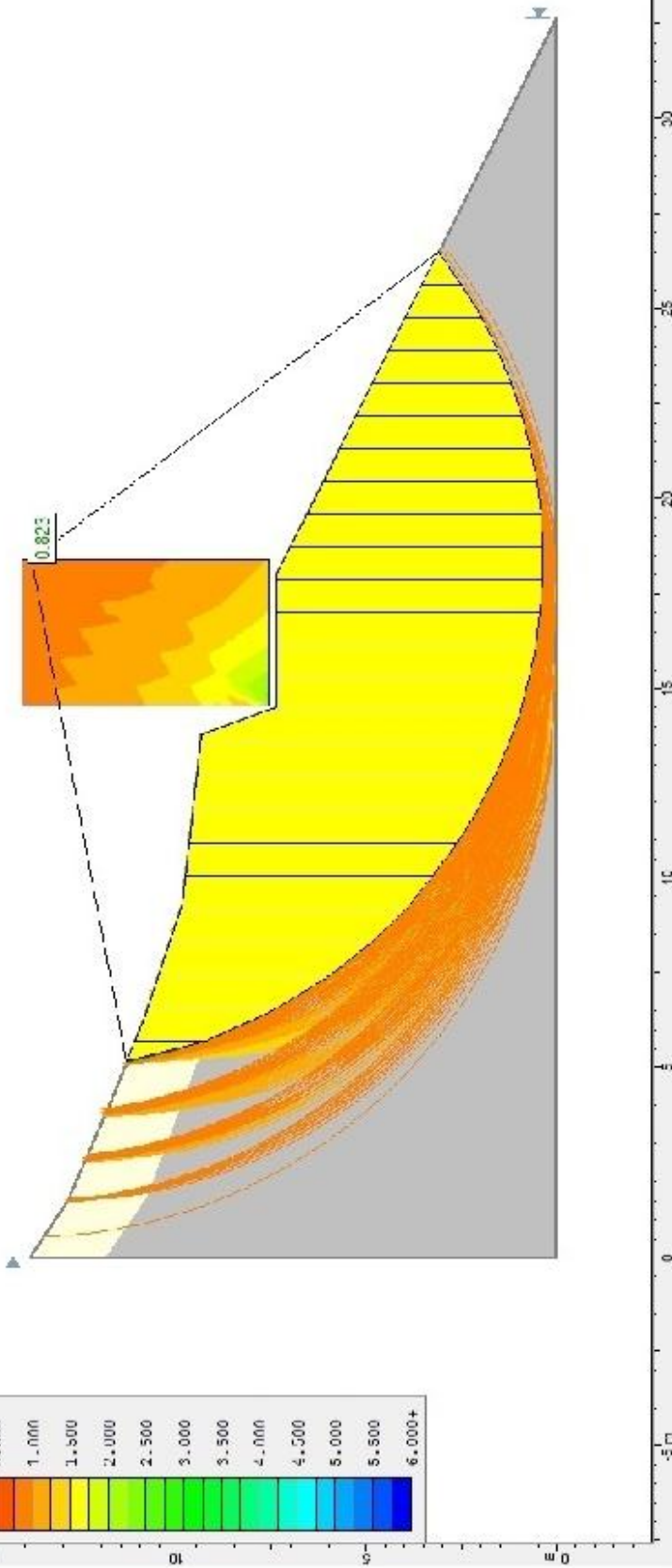
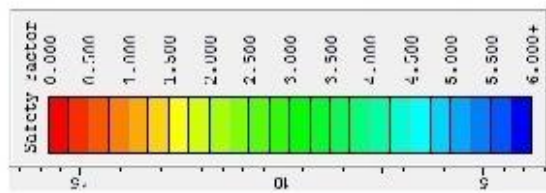


 		Ayuntamiento de Mieres - Facultad de Geología de Oviedo			
Nombre del proyecto:		Turbina y depósito La Herradura			
Plano:		Perfiles de modelización: PK 0 + 3,616 caso desfavorable sin N.F.			
Fecha: Junio 2016		Autor: Alvaro de Castro de Castro		Plano nº: 3	
Escala: Original: ISO A4				Hoja nº: 1 de 1	



ANEXO V-X

  		Ayuntamiento de Mieres - Facultad de Geología de Oviedo	
Nombre del proyecto:		Turbina y depósito La Herradura	
Plano:		Perfiles de modelización: PK 0 + 051,252 caso desfavorable sin N.F.	
Fecha:	Junio 2016	Autor:	Alvaro de Castro de Castro
Escala:	1/1	Plano nº:	6
Original:	ISO A4	Hoja nº:	1 de 1



Ayuntamiento de Mieres - Facultad de Geología de Oviedo

Nombre del proyecto: Turbina y depósito La Herradura

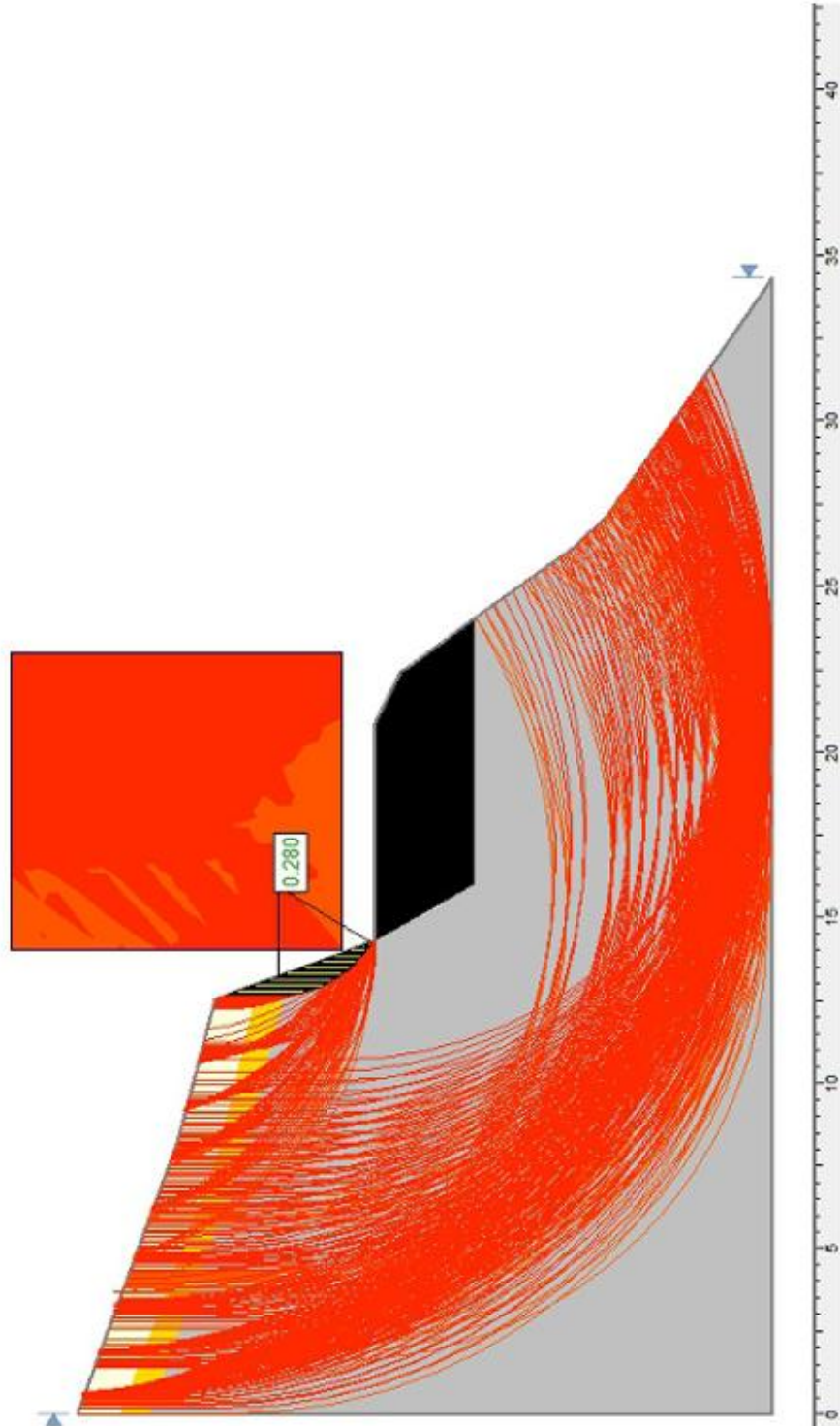
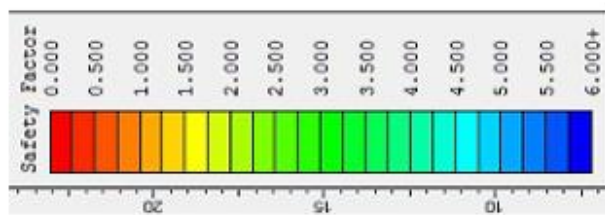
Plano: Perfiles de modelización: PK 0 + 113 caso desfavorable sin N.F.




Fecha: Junio 2016

Autor: Alvaro de Castro de Castro

Escala: 1/1  
Original: ISO A4

Plano nº: 9  
Hoja nº: 1 de 1



  	
Ayuntamiento de Mieres - Facultad de Geología de Oviedo	
Nombre del proyecto: Turbina y depósito La Herradura	
Plano: Perfiles de modelización: PK 0 + 136,180 caso desfavorable sin N.F.	
Fecha: Junio 2016	Autor: Alvaro de Castro de Castro
Plano nº: 12	Hoja nº: 1 de 1
Escala: Original: 1/1	ISO A4