



Universidad de
Oviedo

**ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DEL
EMBALSE DE REGULACIÓN DE LA RED DE
SUMINISTRO DE AGUA POTABLE DE FRAGA
(HUESCA)**

JULIO-2023

TRABAJO FIN DE MÁSTER

FABRICIO IVÁN AIMACAÑA GUASHPA

**MÁSTER EN RECURSOS GEOLÓGICOS E INGENIERÍA
GEOLÓGICA**



Máster en Recursos Geológicos e Ingeniería Geológica

Universidad de Oviedo



D. Fabricio Iván Aimacaña Guashpa, autor del Trabajo Fin de Máster titulado “ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DEL EMBALSE DE REGULACIÓN DE LA RED DE SUMINISTRO DE AGUA POTABLE DE FRAGA (HUESCA)”, confirma que es un trabajo original y solicita su presentación en el Máster Universitario Recursos Geológicos e Ingeniería Geológica de la Universidad de Oviedo.

En Oviedo, a 10 de julio de 2023

Fdo. Fabricio Iván Aimacaña Guashpa

El Dr. Carlos López Fernández. Profesor titular del Departamento de Geología de la Universidad de Oviedo, y el Dr. Ramiro García Luna. Investigador de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Madrid, confirma/n que ha/n tutelado el trabajo “ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DEL EMBALSE DE REGULACIÓN DE LA RED DE SUMINISTRO DE AGUA POTABLE DE FRAGA (HUESCA)”, realizado por D. Fabricio Iván Aimacaña Guashpa y autoriza/n 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 10 de julio de 2023

Fdo. Carlos López Fernández

Fdo. Ramiro García Luna

Índice

RESUMEN Y ABSTRACT	3
1. INTRODUCCIÓN	4
Contexto geográfico y geológico	6
Estratigrafía	8
Tectónica	10
Geomorfología	10
Características topográficas del entorno del embalse	12
Hidrogeología.....	13
Sismicidad	14
Objetivos	15
2. METODOLOGIA	16
Campañas de reconocimiento de campo.....	16
Calicatas	17
Estaciones geomecánicas	18
Ensayos de ejecución <i>in situ</i>	19
Toma de muestras.....	19
Ensayos de laboratorio.....	20
Ensayos de identificación y estado	21
Ensayos mecánicos.....	22
Ensayos de agresividad química	22
Trabajos de gabinete	23
Análisis del relieve	23
Caracterización de las unidades geotecnias	23
Análisis de la estabilidad del talud.....	23
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
Estudios de prospección del terreno	25

Ensayos de ejecución <i>in situ</i>	31
Ensayos de laboratorio.....	31
Pruebas de identificación y estado	31
Ensayos mecánicos.....	34
Ensayos de agresividad química	36
Clasificación de los suelos	37
Caracterización de las unidades geotécnicas	38
Parámetros geotécnicos.....	41
Nivel geotécnico A. Rellenos antrópicos compactado.....	41
Nivel geotécnico B. Sustrato rocoso terciario	43
Corte geológico-geotécnico	49
Análisis de estabilidad	49
4. CONCLUSIONES	54
5. BIBLIOGRAFÍA.....	55
ANEXO 1: Actas de laboratorio.....	58

RESUMEN Y ABSTRACT

Se ha realizado un estudio geológico-geotécnico del embalse de regulación de la red de suministro de agua potable de Fraga (Huesca, Aragón), el cual cuenta con un dique de 17,7 m de altura. Con el objetivo de caracterizar geológica y geotécnicamente el terreno, se llevó a cabo un sondeo, tres calicatas y dos estaciones geomecánicas, así como diversos ensayos de ejecución in situ y pruebas de laboratorio. Asimismo, se llevó a cabo un análisis de estabilidad de los taludes exteriores e interiores del dique en situación de embalse vacío y embalse lleno. Como resultados de este estudio se puede destacar la identificación de dos unidades geotécnicas y la previsible estabilidad, con elevados factores de seguridad, de los espaldones del dique, los cuales cumplen con lo establecido en la vigente normativa relacionada con la seguridad y clasificación de presas.

A geological-geotechnical study has been carried out of the reservoir regulating the drinking water supply network of Fraga (Huesca, Aragon), which has a 17.7 m high dam. In order to characterize the site geologically and geotechnically, a survey, three calicades and two geomechanical stations were carried out, as well as various on-site and laboratory tests. In addition, a stability analysis of the external and internal slopes of the dike was carried out in a situation of empty reservoir and full reservoir. The results of this study include the identification of two geotechnical units and the predictable stability, with high safety factors, of the back of the dike, which comply with the current regulations related to the safety and classification of dams.

1. INTRODUCCIÓN

Esta memoria corresponde al Trabajo Fin de Máster en Recursos Geológicos e Ingeniería Geológica, impartido en la Facultad de Geología de la Universidad de Oviedo. Se trata de un trabajo aplicado de carácter geológico-geotécnico y relativo a una presa-embalse situada en la localidad de Fraga (provincia de Huesca), desarrollado en el marco de la actividad laboral del autor.

Se ha planteado el recrecimiento del dique de la presa de este embalse, dado que se ha determinado un crecimiento del volumen de captación de agua año tras año, llegando a un incremento total respecto al 2016 de un 19 % y superando en 2020 los 1.700.000 m³. Estos volúmenes de extracción de agua exceden el volumen anual autorizado por la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE). Con el paso de los años y de los distintos llenados del embalse han crecido los sedimentos depositados en el fondo, disminuyendo considerablemente la capacidad de almacenaje de agua. También ha crecido vegetación arbórea situada en la cola del embalse que agrava la situación.

El embalse está formado actualmente por una presa de gravedad de materiales sueltos de 17,7 m de altura (Fig. 1.1), construida en el año 1983, que no cuenta con ningún tipo de lámina de impermeabilización. La cota de coronación del embalse se encuentra a 187,700 m.s.n.m y la cota de fondo se sitúa en 170,03 m.s.n.m. La entrada de agua al embalse se realiza en la cota 186,15 m.s.n.m mediante una tubería de 700 mm de diámetro. El embalse dispone de un aliviadero formado por una tubería de hormigón de diámetro nominal de 100 mm, situado en la cota 186,56 m.s.n.m. En la tabla 1.1 se enumeran las principales características técnicas del embalse.

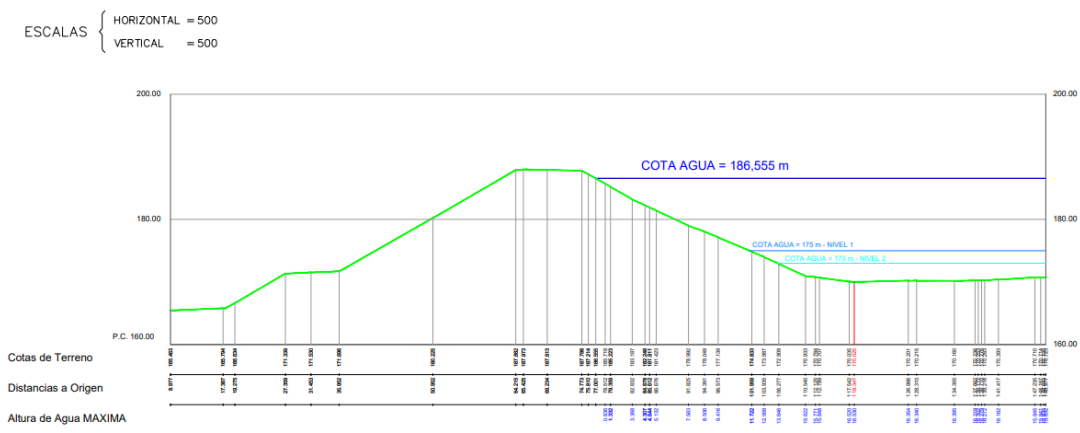


Figura 1.1 Perfil transversal de la presa de materiales sueltos.

Tabla 1.1. Características técnicas del embalse estudiado.

Tipología del embalse	Presas de gravedad, materiales sueltos
Cota coronación	187,70 m.s.n.m.
Cota fondo	170,03 m.s.n.m.
Cota aliviadero	1865,55 m.s.n.m.
Altura dique	17,67 m
Volumen proyecto	200.000 m ³
Volumen real	147,910 m ³
Volumen de agua aprovechable (cota>175)	138,780 m ³
Obra de entrada	Tubería PRFV de D=700 mm Acequia FB de D=300 mm
Caudal máx. tubería de entrada actual	1.080 m ³ /h = 25,920 m ³ /día
Caudal máx. acequia	360 m ³ /h = 8.640 m ³ /día
Volumen máx. llenado 4 días	103.680 + 34.560 = 138.250 m ³
Obra de salida	Tubería FB de D=300 mm; Q _{salida normal} =240 m ³ /h

La Norma Técnica de Seguridad para la Clasificación de Presas y para la elaboración e implantación de los planes de emergencia de presas y embalses, aprobada el en Real Decreto 264/2021, de 13 de abril, clasifica las presas en función de sus dimensiones y las clasifica en las siguientes categorías:

- Gran presa: aquella cuya altura sea superior a 15 m o la que, teniendo una altura comprendida entre 10 y 15 m, tenga una capacidad de embalse superior a 1 hectómetro cúbico.
- Pequeña presa: aquella que no cumplan las condiciones de gran presa.

La misma norma establece en función de los riesgos potenciales que pudiese derivar su hipotética rotura o funcionamiento incorrecto:

- Categoría A: presas cuya rotura o cuyo funcionamiento incorrecto pueda afectar gravemente a núcleos urbanos o a servicios esenciales.
- Categoría B: presas cuya rotura o cuyo funcionamiento incorrecto puede afectar gravemente a núcleos urbanos o a servicios esenciales, o producir daños materiales o medioambientales muy importantes.
- Categoría C: Presas cuya rotura o cuyo funcionamiento incorrecto puede producir daños materiales de moderada importancia y solo incidentalmente pérdida de vidas humanas.

La presa objeto de estudio, tal y como se indica en la tabla 1,1, tiene un dique de 17,60 m de altura, por lo que se puede considerar como una gran presa. Por otra parte, se

clasificaría dentro de la categoría C, ya que debido a la distancia con la población de Fraga, es poco probable que cause daños materiales o pérdidas humanas.

Dentro de la norma antes mencionada se plantean los siguientes coeficientes de seguridad mínimos relativos a la estabilidad de la presa (Tabla 1.2).

Tabla 1.2. Coeficientes de seguridad mínimos relativos a la estabilidad de la presa, indicados en La Norma Técnica de Seguridad para la Clasificación de las presas y para la elaboración e implantación de los planes de emergencia de presas y embalses.

Situación	Categoría de la presa		
	A	B	C
Normal.	1,4	1,4	1,3
Accidental.	1,3	1,2	1,1
Extrema.	> 1,0	> 1,0	> 1,0

Contexto geográfico y geológico

El embalse se localiza al noreste de la localidad de Fraga, capital comarcal del Bajo Cinca, que se sitúa en el sureste de la provincia de Huesca (Aragón) en el último tramo del Valle del Cinca (Fig. 1.2). A la zona de estudio dentro de la presa-embalse se accede siguiendo el camino de las Atarazanas durante aproximadamente 3 km partiendo desde la localidad de Fraga.

Esta zona tiene un clima mediterráneo-continental, con veranos son cálidos y despejados, inviernos fríos y nublados y una escasa precipitación durante todo el año (384 mm de promedio). La temperatura alcanza mínimas de 1° C y máximas de 33° C (Weatherspark, 2023).

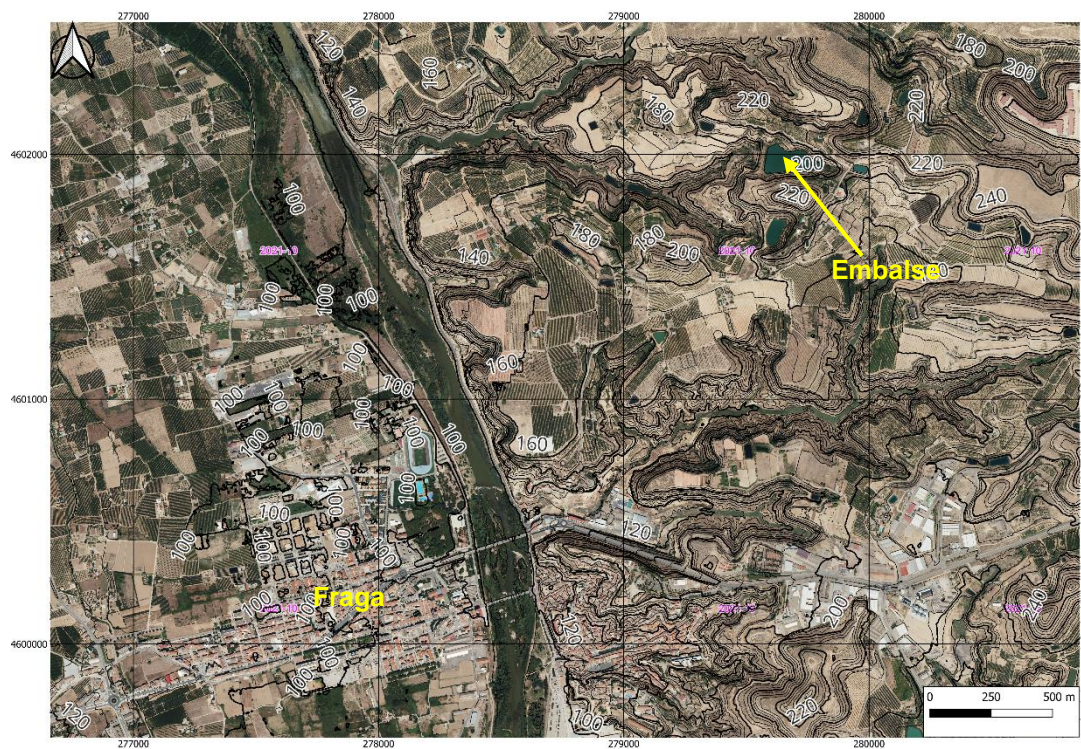
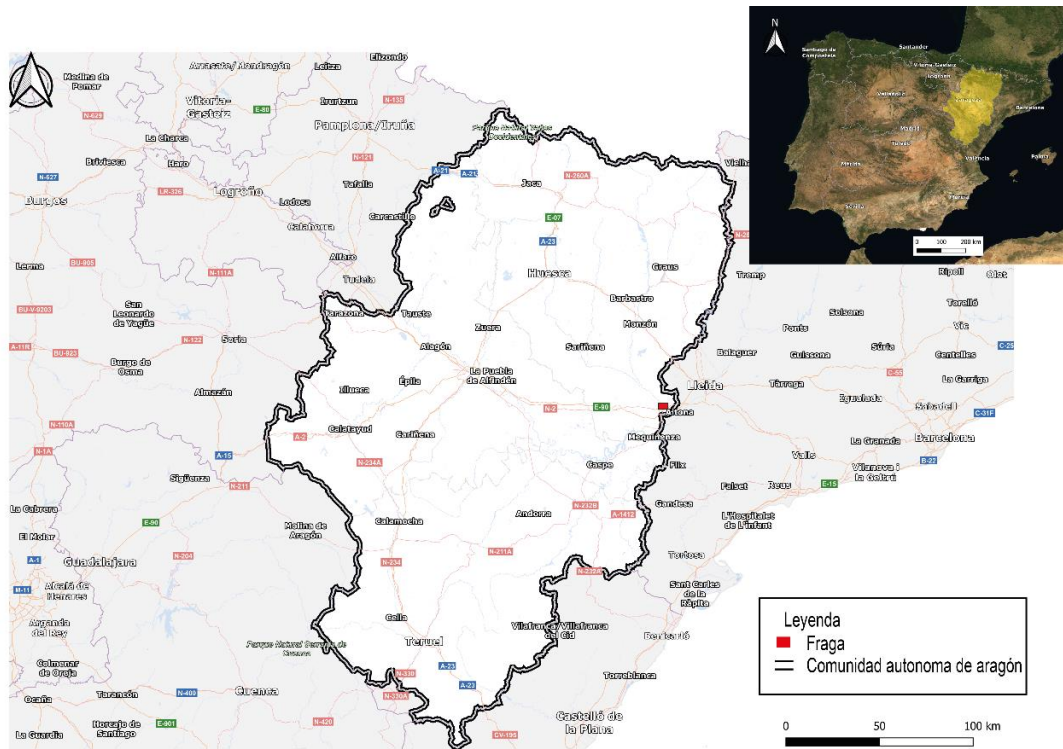


Figura 1.2 Localización del embalse, situado en las proximidades de Fraga (Huesca). La ortofotografía ha sido tomada del centro de descargas del CNIG (CNIG, 2023).

Geológicamente, esta zona se localiza en el sector central de la Cuenca del Ebro (Fig. 1.3), depresión de forma triangular rodeada por los Pirineos, la Cordillera Ibérica y las

Cadenas Costero Catalanas (Pérez y Trinidad, 2004). Esta cuenca se formó hace 40 millones de años y adquirió su estructura final durante la mayor etapa de actividad del levantamiento pirenaico. La zona hundida resultante se rellenó con materiales de origen continental, cuya estructura adopta una disposición subhorizontal.



Figura 1.3. Localización de la zona de estudio dentro de las grandes regiones geológicas de la península Ibérica y Baleares. Tomado de Vera (2004).

Estratigrafía

Dentro de la cuenca del Ebro, el área de estudio se encuentra sobre la formación Fayón-Fraga, unidad compuesta principalmente por areniscas y arcillas pertenecientes al Terciario.

En los alrededores de la zona de estudio se reconocen cuatro unidades genético-sedimentarias principales, pertenecientes al Terciario: Unidad de Fayón-Farga, Unidad de Mequinenza-Ballobar, Unidad de Torrente del Cinca-Alcolea y Unidad de Galocha-Ontiñena.

En concreto la zona de estudio se sitúa sobre las unidades de calizas y margas (119) y de paleocanales de lutitas y conglomerados (101) del Mapa Geológico Digital continuo de España (Fig. 1.4).

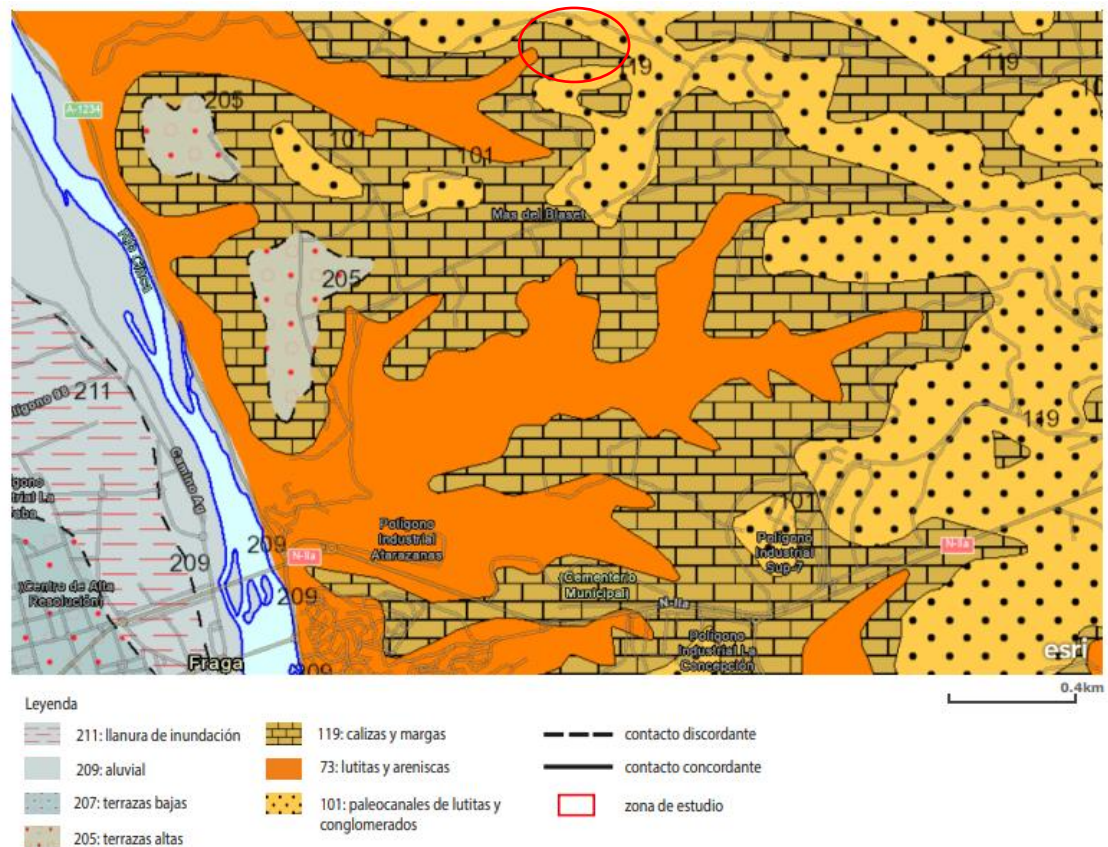


Figura 1.4. Cartografía geológica del área de estudio. Tomada del Mapa Geológico Digital continuo de España 1:50.000, Zona Cuenca del Ebro. Instituto Geológico y Minero de España.

La unidad genético-sedimentaria de Fayón-Fraga, en las proximidades de la zona de estudio, cuenta con dos asociaciones de facies. Una constituida por una alternancia de areniscas y arcillas rojas con yesos y otra formada por calizas con arcillas rojas y areniscas con morfología canaliforme.

Navarro et al., (1998) describen las siguientes facies para la unidad Fayón-Fraga:

- Alternancia de areniscas y arcillas rojas con yeso: areniscas pardo-verdosas, de grano medio a grueso, con biotita y contenido variable en yeso, tanto como elemento detrítico como cemento. Se presentan en forma lenticular de 1 a 2 m de potencia máxima. Las arcillas y limolitas son rojizas y pueden presentar coloraciones grisáceas o verdosas.
- Niveles de calizas con arcillas rojas y paleocanales de areniscas: los niveles de carbonatos se disponen en capas de potencia métrica. Se trata de calizas bioclásticas, frecuentemente bioturbadas y a veces con nódulos de yesos. Los niveles arcillosos presentan bioturbación por raíces y nodulaciones de yeso debidas a paleosuelos.

El Cuaternario se encuentra representado por los depósitos aluviales del río Cinca y Alcanadre, depósitos de piedemonte pirenaico, depósitos de fondo de valle y depósitos de glaciares.

Tectónica

Tectónicamente, la cuenca del Ebro corresponde fundamentalmente a la cuenca de antepaís de la cordillera Pirenaica (Navarro y Ramírez, 1998). La cuenca presenta una estructura muy sencilla, con capas casi subhorizontales o con buzamientos muy suaves en la mayor parte de la cuenca. El terciario aparece con una disposición casi tabular, aunque está afectado por fallas normales de escala métrica a kilométrica y una densa y penetrativa red de diaclasas (Arlegui y Simón, 2000).

Las diaclasas del sistema N-S afectan a casi todos los materiales del sector central, mientras que las fallas se limitan a zonas muy concretas. Se pueden encontrar pequeños sistemas de fallas normales de pequeño o nulo desplazamiento, correspondientes a paleo-esfuerzos del Neógeno. En la zona de estudio, alrededores de Fraga, no se han cartografiado estructuras tectónicas de escala cartografiable.

Geomorfología

Los alrededores de la localidad de Fraga presentan morfologías principalmente llanas con depósitos de terrazas, glaciares, piedemontes y relieves estructurales dentro de los materiales más calcáreos (Navarro et al., 1998). La interacción entre los materiales de diferentes competencias junto con los procesos de dinámica fluvial controlan la evolución morfogenética del área de estudio. Asimismo, en esta zona se puede encontrar cierta variabilidad litológica, compuesta por términos arcillosos-margosos (fácilmente desmenuzables) con tramos de naturaleza carbonatada que marcan el desarrollo de grandes superficies estructurales al actuar como capas duras (Fig. 1.5).



Figura 1.5. Mapa Geomorfológico de Fraga, hoja 387. Tomado de Ramírez, J. I. (1991).

A continuación, se describen las principales morfologías que se desarrollan cercanas a la zona de estudio.

- Formas fluviales, las acumulaciones de depósitos fluviales estas asociadas al río Cinca, este presenta un sistema de terrazas colgadas y encajadas en un graderío con una fuerte asimetría. La cartografía de los afloramientos de terrazas en la cuenca del Cinca permite describir una secuencia de hasta 10 niveles de terrazas (Sancho et al., 2007). Debido al encajamiento de la red de drenaje y la erosión generada por la misma, se forman fondos de valles.
- Formas poligénicas, destacan los glaciares de acumulación en la zona de estudio se pueden llegar a reconocer varios que se encuentran asociados a las terrazas del río Cinca. En los niveles más antiguos se pueden reconocer encostramientos carbonatados. Otra forma poligénica de gran importancia son los valles de fondo plano, presentan formas de artesa y se encuentran rellenos por depósitos limo-arcillosos que provienen de aportes laterales de materiales.
- Modelados estructurales, se conoce como modelado estructural a la forma de relieve que releja de alguna forma las características de la estructura geológica, es decir, la resistencia a la erosión de los materiales o la inclinación de los mismos. Podemos encontrar grandes superficies estructurales culminadas por depósitos de areniscas, que presentan una cumbre plana al seguir la horizontalidad de un estrato resistente y que están rodeadas por escarpes muy abruptos.

- Formas kársticas, se pueden reconocer algunas dolinas de fondo plano al NE de Fraga.
- Formas lacustres, se trata de pequeñas zonas áreas endorreicas o semiendorreicas formadas por encharcamientos estacionales. Algunas se encuentran ligadas a pequeñas dolinas.
- Formas de laderas, destacan los coluviones y las laderas en general. Cuando las laderas mantienen un perfil equilibrado y la cubierta vegetal es capaz de retener el suelo, se puede hablar de laderas estabilizadas, en las que prácticamente no aflora el sustrato rocoso.

Características topográficas del entorno del embalse

La zona en la cual se sitúa el embalse posee una morfología elongada en dirección E-O y se sitúa dentro de un valle formado por la incisión lineal de la red de drenaje. Este valle presenta elevadas pendientes, que pueden llegar a los 50° de inclinación (Fig. 1.6). Por encima de la cota del embalse existen zonas prácticamente horizontales, mayoritariamente destinadas al cultivo.

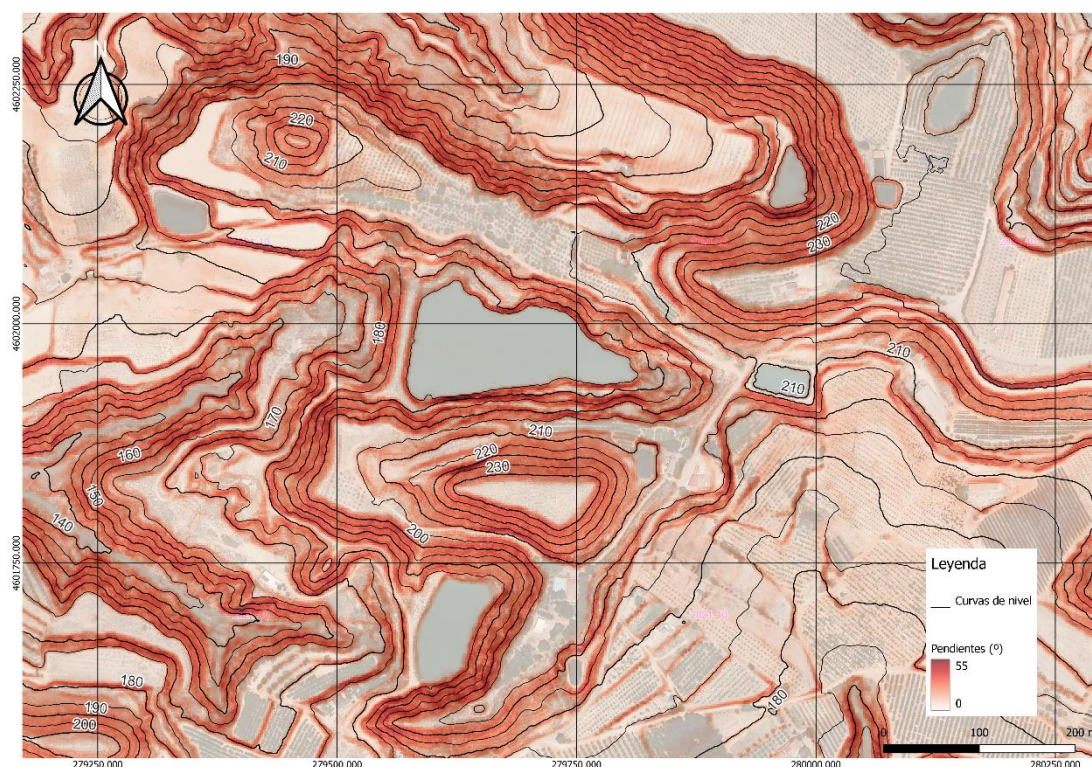


Figura 1.6. Modelo de pendientes superpuesto a la ortofotografía de la zona de estudio. Ortografía tomada del centro de descargas del CNIG (CNIG, 2023).

Hidrogeología

Como se indicó anteriormente, la zona de estudio se sitúa dentro de la Cuenca del Ebro, siendo el cauce fluvial más cercano el del río Cinca, el cual discurre en dirección NO-SE. Como principales afluentes de este destacan los ríos Sosa y Tamaride por su margen izquierda, y los ríos Clamos de Fornillo, Clamos Amarga y Alcanadre, por la derecha. En su límite meridional, el cauce del Cinca es un afluente del río Segre.

La mayoría de los materiales presentes en los alrededores de la zona de estudio presentan permeabilidades bajas, a excepción de los depósitos detríticos fluviales del río Cinca, los cuales forman un sistema de acuíferos, conocido como Aluvial del Cinca. El aluvial del Cinca pertenece al sistema de acuíferos nº 62 Aluvial del Ebro y afluentes, los materiales se constituyen principalmente por una alternancia de arenas y gravas con intercalaciones de limos y arcillas, más o menos potentes (Porrás et al., 1985).

Los depósitos relacionados con piedemontes, conos de deyección, coluviones, glaciares y fondos de valle también constituyen acuíferos porosos de pequeña entidad.

El resto de las formaciones presentes en los alrededores de Fraga tienen un interés hidrogeológico muy escaso, por su poca extensión de afloramiento, por su comportamiento impermeable y por su mala calidad química (materiales con alto contenido en yesos del terciario) (Rodríguez, 1991).

Con respecto a los materiales sobre los cuales se sitúa el embalse, se trata de materiales carbonatados y detríticos con permeabilidades bajas a muy bajas (Fig. 1.7).

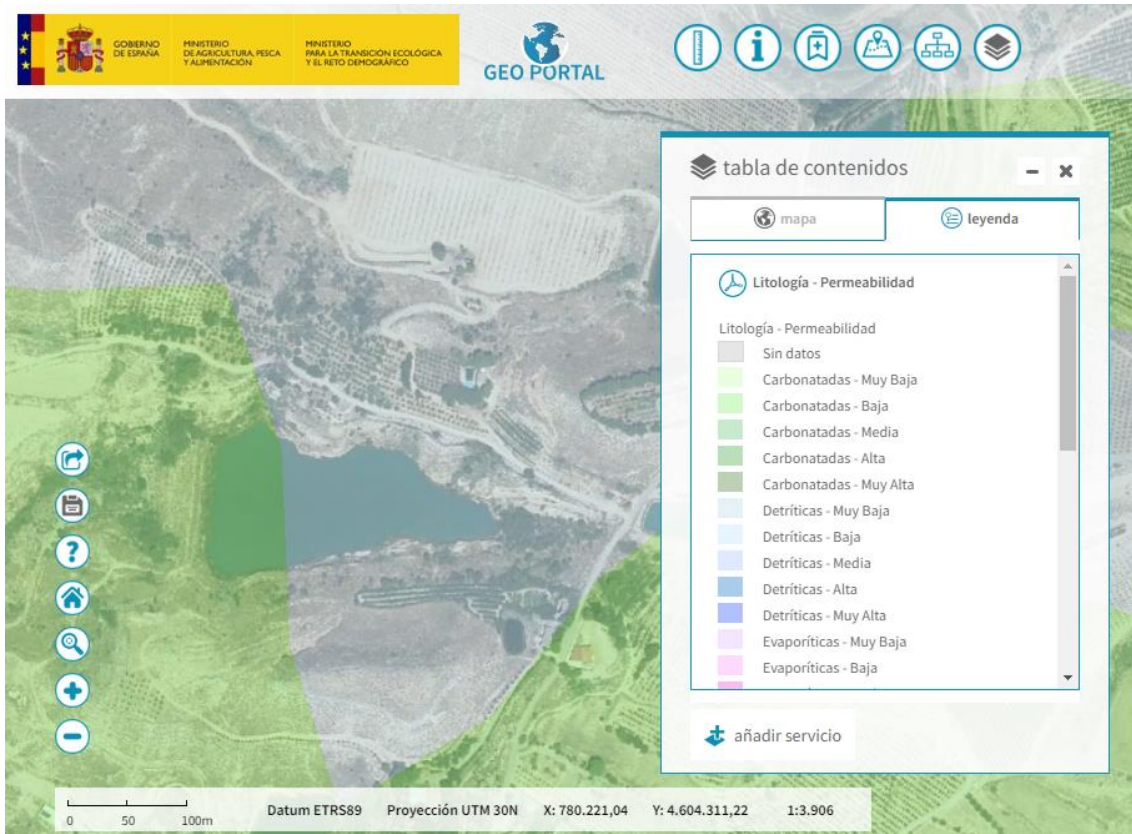


Figura 1.7. Permeabilidad de los materiales en la zona de estudio. Imagen tomada del GEOPORTAL del visor de Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico del Gobierno de España.

Sismicidad

De acuerdo con la Norma de Construcción Sismorresistente (NCSE-02) y en concreto con la Actualización del Mapa de Peligrosidad Sísmica de 2012 (Ministerio de Fomento, 2012) (Fig.1.8), el área estudiada presenta una aceleración sísmica básica (a_b) inferior a 0,04 veces la aceleración de la gravedad (g), por lo que no es de aplicación esta normativa en la zona de estudio.

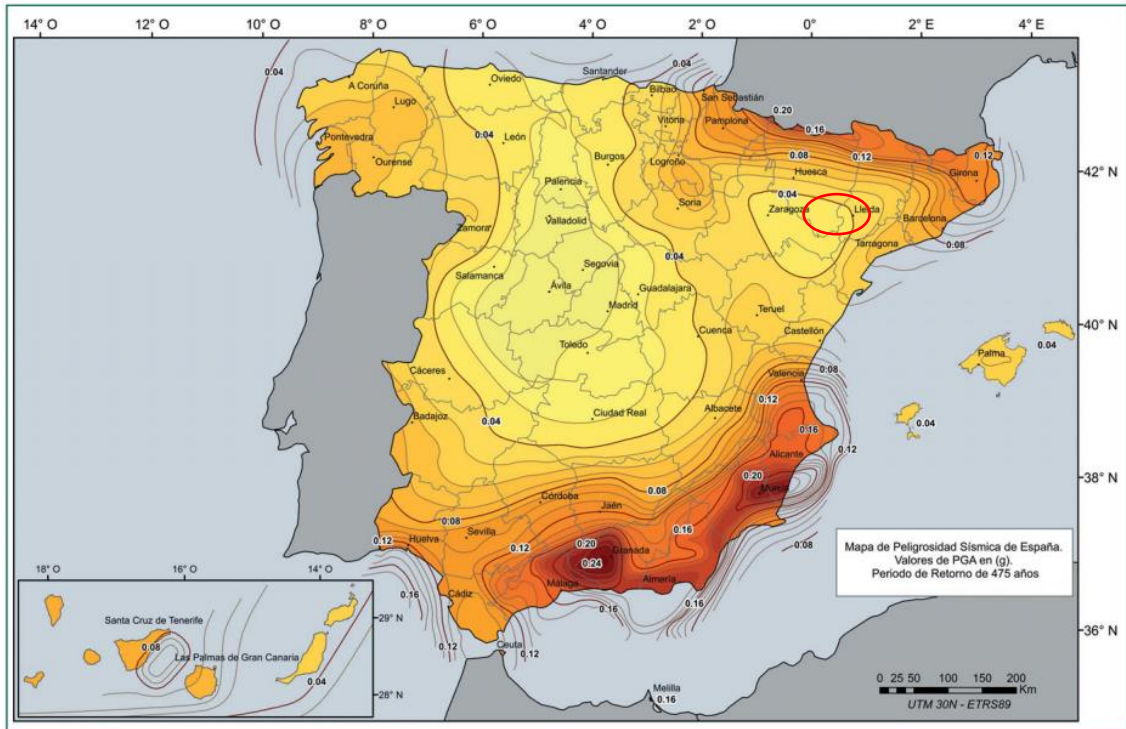


Figura 1.8. Mapa de peligrosidad sísmica para un periodo de retorno de 475 años (Ministerio de Fomento, 2012). Con un círculo rojo se resalta la localización de la zona de estudio.

Objetivos

El objetivo de este Trabajo Fin de Máster es determinar las características geológicas-geotécnicas de los materiales que componen el embalse de la red de suministro de agua potable de la localidad de Fraga. Con ello se pretende realizar un análisis de la estabilidad del talud interior y exterior del dique de la presa, en condiciones del embalse vacío y embalse lleno.

2. METODOLOGIA

Campañas de reconocimiento de campo

La investigación de campo ha consistido en la realización de un sondeo, tres calicatas y dos estaciones geomecánicas, cuya localización se detalla en la figura 2.1. Dos calicatas (C-1 y C-3) y el sondeo se han realizado el cuerpo de la presa, mientras que otra calicata (C-2) se realizó en el estribo meridional. Las estaciones geomecánicas (EG-1 y EG-2) se han realizado en afloramientos muy cercanos al estribo meridional del dique.

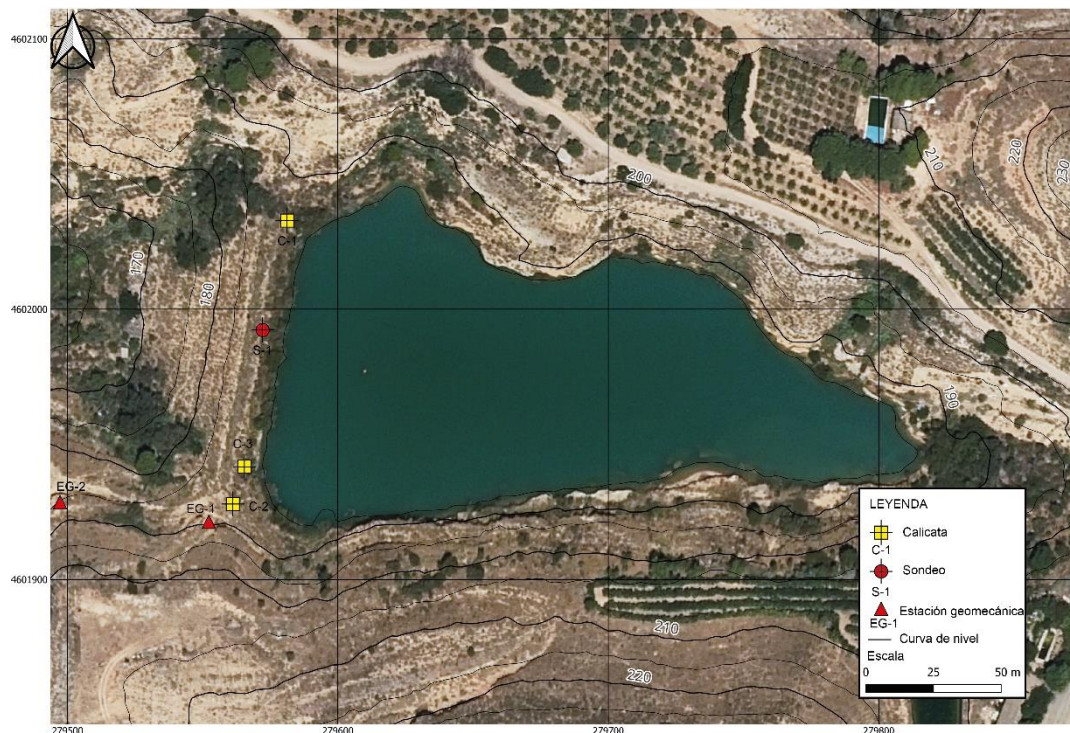


Figura 2.1. Localización de los ensayos de campo realizados. Ortografía tomada del centro de descargas del CNIG (CNIG, 2023).

El sondeo a rotación con extracción de testigo continuo se realizó en la coronación del embalse (Fig. 2.2 y Tabla 2.1). Se abordó con un diámetro de perforación de 86 mm y se utilizaron baterías tipo S, corona de widia, no empleándose agua como refrigeración. Asimismo, se tomaron diferentes muestras del terreno perforado. Los testigos extraídos se colocaron en ocho cajas provistas de las divisiones necesarias para alojar el testigo.

Tabla 2.1. Localización y profundidad alcanzada del sondeo realizado.

Sondeo	Coordenadas UTM (ETRS 89/UTM 31N)			Profundidad (m)
	X	Y	Z	
S1	279570	4601993	187	25,60



Figura 2.2. Emplazamiento del sondeo situado sobre la coronación del embalse.

Calicatas

Como medio para el estudio de los primeros metros del subsuelo, así como para la toma de muestras representativas de los materiales a utilizar o que vayan a resultar afectados por las obras de excavación y vaciado, se han realizado un total de tres calicatas de exploración geotécnica, mediante el uso de una retroexcavadora. Su localización y profundidad se recoge en la tabla 2.2 y en la figura 2.3.



Figura 2.3 Trabajos de ejecución de la calicata C-3.

Tabla 2.2. Localización y profundidad de las calicatas realizadas.

Calicata	Coordenadas UTM (ETRS 89/UTM 31N)			Profundidad (m)
	X	Y	Z	
C1	279572	4602031	187	2,40
C2	279557	4601930	187	1,50
C3	279558	4601941	187	2,85

Estaciones geomecánicas

Para caracterizar y clasificar el macizo rocoso, se han realizado un total de tres estaciones geomecánicas en los afloramientos cercanos a la zona de estudio. La localización de las estaciones geomecánicas se recoge en la tabla 2.3.

Tabla 2.3. Localización de las estaciones geomecánicas.

Estaciones	Coordenadas UTM (ETRS 89/UTM 31N)		
	X	Y	Z
EG-1	279549	4601930	190
EG-2	279549	4601927	185

Ensayos de ejecución *in situ*

Se realizaron ensayos de penetración estándar SPT (Standar Penetration Test), medida indirecta que se realiza en el interior de los sondeos y permite obtener el valor de resistencia de suelos o rocas no competentes. Durante la ejecución del sondeo se realizaron seis ensayos (Tabla 2.4). Estas pruebas se encuentran normalizadas (UNE-EN ISO 22476-3:2006/A1:2014). Se trata de un ensayo que contabiliza el número de golpes necesarios para introducir un tomamuestras tubular de acero hueco con puntaza ciega, con la ayuda de una maza de 63,5 kg que cae repetidamente desde una altura de 76,2 cm. El tomamuestras debe de penetrar 60 cm en el terreno, contabilizándose los golpes cada 15 cm. De esta manera, cada ensayo consta de cuatro tramos, a no ser que se produzcan más de 50 golpes en un mismo tramo, en cuyo caso se considera rechazo y el ensayo se da por finalizado. Este ensayo permite obtener un valor N de resistencia a la penetración que consiste en sumar los números de golpes de los dos tramos intermedios de 15 cm, eliminándose tanto el primero como el último por posibles alteraciones del suelo. Para realizar el ensayo, una vez llegada a la cota deseada, en primer lugar, se ha de limpiar el fondo de la perforación, retirar la batería de perforación y levantar la tubería de revestimiento.

Tabla 2.4. Ensayos SPT realizados en el sondeo.

Ensayo	Cota (m)
SPT-1	1,80-2,25
SPT-2	4,00-4,45
SPT-3	6,60-7,05
SPT-4	9,00-9,45
SPT-5	12,60-13,05
SPT-6	14,45-15,00

Toma de muestras

Con el fin de realizar los ensayos de laboratorio necesarios se procedió en el sondeo y calicatas a la toma de tres muestras inalteradas y tres alteradas de suelos y se parafinaron cinco testigos de roca (Tabla 2.5 y Fig. 2.4).

Tabla 2.5. Localización y tipo de muestras tomadas en el sondeo. MI=Muestra inalterada; TP=Testigo parafinado; MA=Muestra alterada.

Sondeo	Muestra	Cota (m)
S1	MI-1	1,20-1,80
	MI-2	6,00-6,60
	MI-3	12,00-12,60
	TP-1	16,80-17,05
	TP-2	18,00-18,20
	TP-3	21,30-21,50
	TP-4	22,80-23,10
C1	MA-1	2,4
C2	MA-2	1,5
C3	MA-3	2,85



Figura 2.4. Ejemplo de muestras inalteradas tomadas en el sondeo S-1.

Ensayos de laboratorio

Los ensayos de laboratorio se han realizado en función de la unidad geotécnica, de las unidades de obra previstas y de su posible reutilización / aptitud como material de préstamo, entre otros. Todos los ensayos han sido planificados siguiendo la normativa UNE. En la tabla 2.6, se enumeran los ensayos realizados.

Tabla 2.6. Cuadro resumen de los ensayos realizados.

Ensayo	Número
Granulometrías	4
Límites de Atterberg	4
Humedad natural	3
Corte directo	3
Peso específico	3
Compresión simple	1
Ensayo de colapso	1
Hinchamiento libre	1
Contenido en sales solubles	1
Contenido en yesos	1
Contenido en materia orgánica	1
CBR	1
Proctor modificado	1

Ensayos de identificación y estado

Los ensayos de identificación y estado realizados han sido los siguientes:

Análisis granulométrico por tamizado. Se realiza para determinar la distribución de tamaños de grano en el suelo. Es uno de los ensayos más sencillos y principales para la caracterización, ya que permite aproximarse a las características principales del suelo como la deformabilidad, capacidad portante o permeabilidad. Según la norma UNE 103101:1995.

Límites de Atterberg. Se realiza para determinar los cuatro estados de consistencia de los suelos: estado sólido, estado semisólido, estado plástico y estado semilíquido. Se determina el límite líquido mediante la cuchara de Casagrande y el límite plástico. Según la norma UNE 103103:1994 para el límite líquido y UNE 103104:1994 para el límite plástico.

Humedad natural. Se realiza para determinar la relación entre el peso del agua que contiene la muestra y el peso de sus sólidos. Esto se obtiene mediante el secado en una estufa. Según la norma UNE 103300:1993.

Densidad. Se realiza para determinar la relación máxima existente entre la masa y el volumen de un suelo o roca. Se utiliza el método de la balanza hidrostática para determinar densidad seca y densidad húmeda. Según la norma UNE 103301:1994.

Ensayos mecánicos

Los ensayos mecánicos realizados han sido:

- *Proctor modificado*. Es un ensayo de compactación de un suelo que tiene como finalidad obtener la humedad óptima de compactación de un suelo para una determinada energía de compactación. Según la norma UNE 103501:1994
- *CRB (California Bearing Ratio)*. La prueba consiste en compactar el terreno, en unos moldes normalizado, sumergirlos en agua y aplicar un punzonamiento sobre la superficie del terreno. Se emplea para determinar la capacidad portante de terrenos compactados como terraplenes. Según la norma UNE 103502:1995.
- *Corte directo*. Este ensayo permite obtener los parámetros de resistencia mediante el ensayo de tres muestras idénticas del mismo material bajo tres cargas verticales distintas (tensiones normales diferentes). Si en la fase de corte del ensayo la velocidad es lo suficientemente pequeña como para permitir la disipación de los excesos de la presión intersticial generados por las tensiones tangenciales aplicadas, el ensayo puede considerarse drenado. Según la norma UNE 103401:1998
- *Resistencia a compresión simple*. Permite determinar el esfuerzo que ofrece un material cohesivo a la presión no confinada. Según la norma UNE 103400:1993
- *Hinchamiento libre y colapso*. El ensayo tiene como objetivo determinar la magnitud del colapso unidimensional que se produce cuando se inunda un suelo semisaturado. Según la norma NLT-254:1999.

Ensayos de agresividad química

Como ensayos para valorar la agresividad se plantearon los siguientes:

- *Determinación del contenido en sales solubles de un suelo*. Se realiza mediante el tratamiento con agua destilada y una disolución de material. Según la norma UNE 103205:2006.
- *Determinación del contenido de yesos solubles de un suelo*. Según la norma UNE 103206:2006.
- *Contenido en materia orgánica*. Se determina el contenido en materia orgánica oxidable de un suelo, mediante el método del permanganato potásico. Según la norma UNE 103204:1993.

Trabajos de gabinete

Análisis del relieve

Para caracterizar las formas del relieve y los elementos de la zona de estudio se recurrió a un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) obtenido del centro de descargas del Instituto Geográfico Nacional, que cuenta con una resolución de 2 m por pixel y que fue realizado en el año 2016. Mediante el uso del software Q-GIS se procedió a extraer las curvas de nivel de dicho MDE.

Caracterización de las unidades geotécnicas

En función a los resultados de las observaciones de campo, de las prospecciones, ensayos de ejecución *in situ* y de los ensayos de laboratorio se realizó la diferenciación en unidades geotécnicas. Como tales se entienden aquellas unidades geotécnicas son masas de roca o suelo, que se caracterizan por la homogeneidad que muestran desde el punto de vista de su comportamiento geotécnico, ya sea respecto a una propiedad o varias. En cada unidad geotécnica se describen los materiales que la componen, geometría, potencia, parámetros geotécnicos característicos y el comportamiento geotécnico esperable. Una vez obtenidas las unidades se procedió a la elaboración de perfiles geotécnicos en los que se incluyó la localización de los trabajos realizados.

Análisis de la estabilidad del talud

Con el objetivo de analizar la estabilidad del talud, se realizó una modelización mediante el programa Slide v.6.0 (Rocscience). Este programa permite obtener el factor de seguridad mínimo obtenido para el conjunto de superficies de rotura que pudieran afectar al talud, dados unos parámetros geotécnicos representativos de las unidades geotécnicas. El modelo de resistencia que se asumió para los materiales fue el clásico de Mohr-Coulomb, que queda definido por dos parámetros, la cohesión (c) y el ángulo de rozamiento del terreno (ϕ), mediante los cuales se puede estimar la resistencia al corte y la tensión normal con la expresión $\tau = \sigma \tan(\phi) + c$. El factor de seguridad considerado fue el de Bishop simplificado (Bishop, 1955).

Los parámetros resistentes y deformaciones del macizo rocoso se han obtenido mediante el uso del software informático Rock Lab v 3.0 (Rocscience).

Los parámetros de entrada necesarios para el programa son los siguientes:

- Resistencia a la compresión simple (σ_{ci})
- Parámetro de la roca intacta (m_i)
- Índice de resistencia geológica (GSI)
- Factor de perturbación (D)

Se ha analizado el talud del dique exterior de la balsa y el talud del dique interior (aguas arriba). Las situaciones planteadas han sido las siguientes, embalse vacío y embalse lleno.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estudios de prospección del terreno

En el sondeo realizado se identificaron los siguientes materiales (Figs. 3.1 y 3.2):

- Nivel en coronación de la presa:
 - 0,00 a 2,25 m: limos arenosos-arcillosos con cantos de roca arenisca y marga dispersos. Trazas de cristales de yeso dispersos. Terreno bastante suelto, pero aparentemente compacto. Contiene ocasionales restos de raíces y materia orgánica. Se obtiene seco.
- Cuerpo de la presa:
 - 2,25 a 3,90 m: limos arenosos-arcillosos con cantos de roca arenisca y margas dispersos. Terreno aparentemente más compacto. Se recupera la perforación completa.
 - 3,90 a 7,00 m: terreno más arcilloso, pero con litología parecida. Aparecen trazas de yesos sacaroideos, posiblemente de precipitación secundaria.
 - 7,00 a 17,30 m: se registra una alternancia de materiales arcillosos y limosos. En general terreno bastante uniforme, aparentemente compacto y/o consistente.
- Sustrato rocoso:
 - 17,30 a 17,60 m: nivel de margas calcáreas blanquecinas arenosas. Se recupera muy fragmentada.
 - 17,60 a 18,30 m: Estrato de arenisca muy dura, el testigo se obtiene entero.
 - 18,30 a 20,45 m: roca argilítica marrón dura. Con trazas de margas grises, en algún tramo se detectan cristales de yeso.
 - 20,45 a 22,60 m: roca arenisca muy dura, el testigo se obtiene entero.
 - 22,60 a 24,05 m: roca argilítica-limolita dura con trazas de yeso.
 - 24,05 a 25,20 m: roca arenisca dura, contiene inclusiones dendriticas de color negro en las fracturas.
 - 25,20 a 25,60 m: roca argilita-liomolita dura.

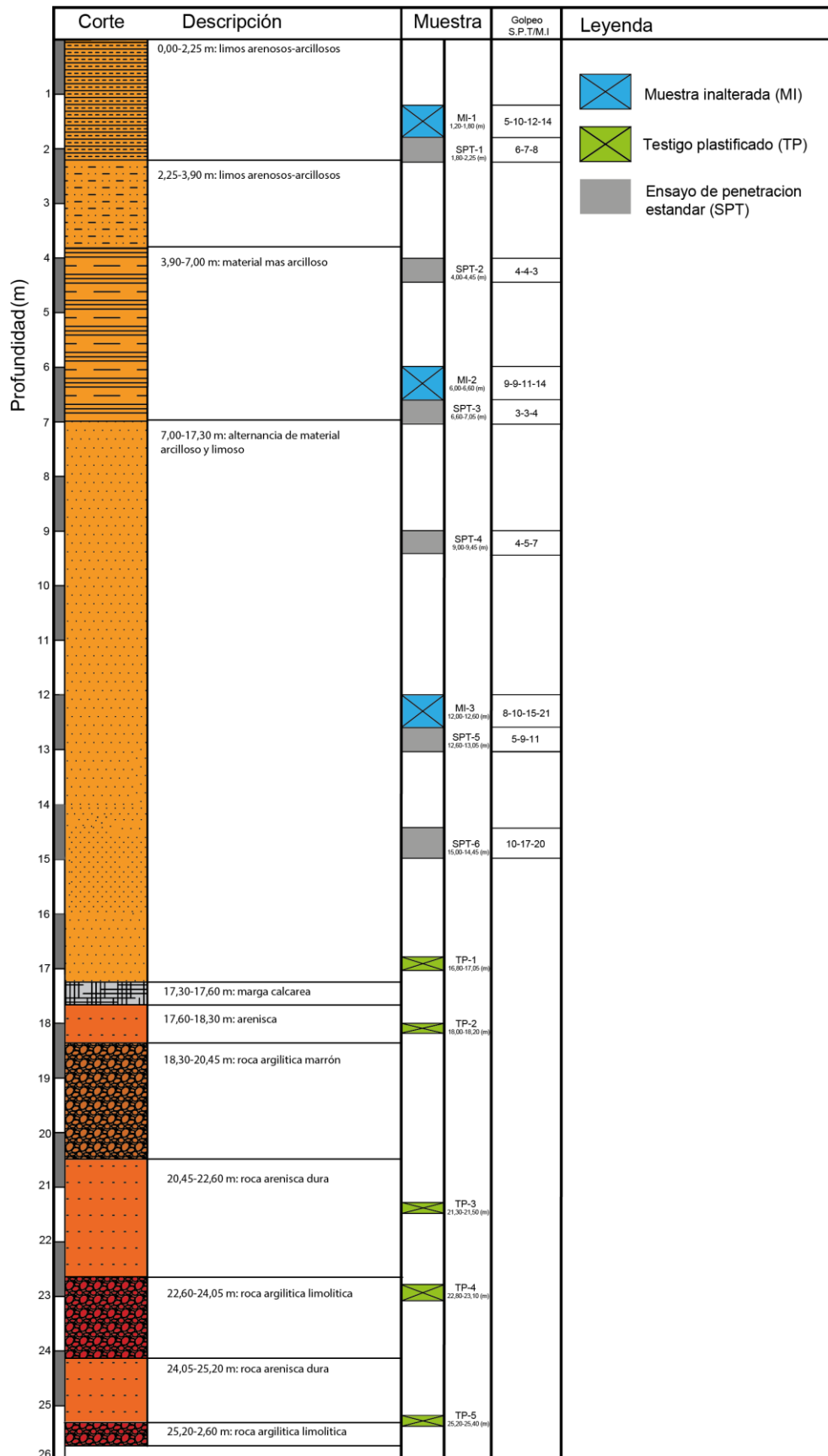


Figura 3.1. Descripción general del sondeo S-1.



Figura 3.2. Fototestificación del sondeo S-1. A) Caja n.º 1: profundidad 0,00 m a 3,40 m. B) Caja n.º 2: profundidad de 3,40 m a 7,05 m. C) Caja n.º 3: profundidad 7,05 m a 16,80 m. D) Caja n.º 4: profundidad 10,20 m a 13,60 m. E) Caja n.º 5: profundidad 13,60 m a 16,80 m. F) Caja n.º 6: profundidad 16,80 m a 19,80 m. G) Caja n.º 7: profundidad 19,80 a 22,80 m. H) Caja n.º 8: profundidad 22,80 m a 25,60 m.

En las tres calicatas realizadas no se alcanzó el nivel freático y las paredes de la excavación se mantuvieron estables. Los materiales identificados en las calicatas fueron los siguientes (Figs. 3.3 y 3.4):

El perfil litológico de la calicata 1 (C-1), es el siguiente: los primeros 0,50 m se componen por rellenos formados por limos arenosos-arcillosos con cantos de roca areniscas y margas disperso, el terreno se encuentra muy suelto y seco. Entre 0,50 y 2,40 m aparece un terreno formado por limos arenosos-arcillosos con cantos de roca arenisca y margas dispersos, el terreno se encuentra compacto y seco.

El perfil litológico de la calicata 2 (C-2), es el siguiente: los primeros 0,70 m se componen de rellenos formados por limos arenosos-arcillosos con cantos de roca arenisca y margas dispersos, el terreno se encuentra suelto y seco. Entre 0,70 y 1,35 m el terreno se compone por un relleno coluvial formado por limos arenosos-arcillosos con cantos de roca areniscas y marga dispersos, el terreno se encuentra compacto y seco. Finalmente entre 1,30 y 1,50 m se encuentra roca alterada de arenisca-limolita con trazas de yeso.

El perfil litológico de la calicata 3 (C-3), es el siguiente: los primeros 2,40 m se componen de rellenos formados por tierra vegetal limoarcillosa. Entre 0,30 y 1,00 m el terreno se compone de relleno formados por limos arenosos-arcillosos con cantos de roca arenisca y margas dispersos, el terreno se encuentra muy suelto y seco. Finalmente entre 1,00 y 2,85 se encuentra un relleno coluvial formado por limos arenosos-arcillosos con cantos de roca arenisca y margas dispersos, el terreno se encuentra mas compacto, seco al principio pero aparente más húmedo en profundidad.

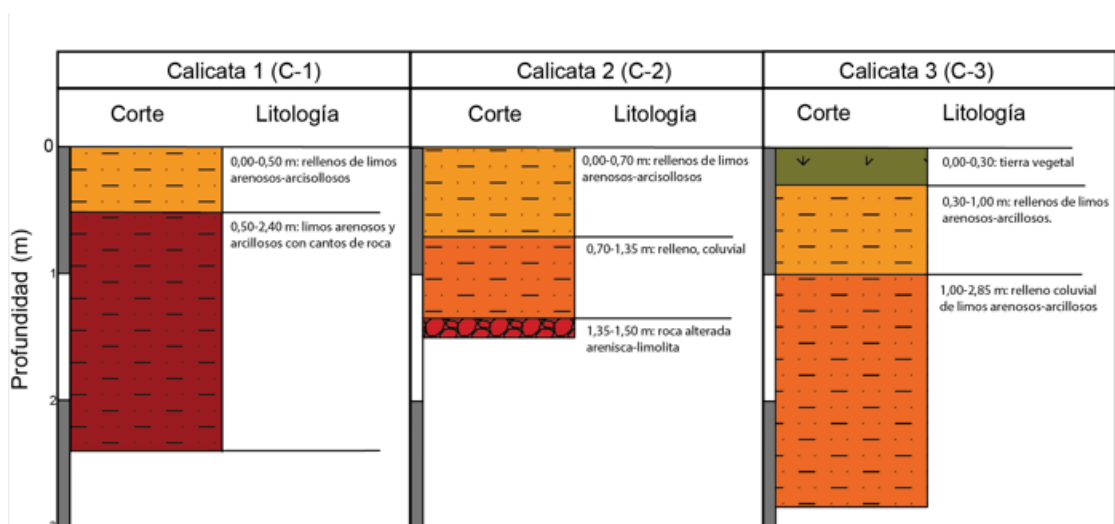


Figura 3.3. Perfil litológico de las tres calicatas realizadas.



Figura 3.4. Fotografías de las calicatas. A) Fondo de la calicata C-1. B) Material extraído de la calicata C-1. C) Fondo de la calicata C-2. D) Material extraído de la calicata C-2. E) Fondo de la calicata C-3. F) Material extraído de la calicata C-3.

Estaciones geomecánicas

Se levantaron dos estaciones geomecánicas en las zonas donde afloraba el sustrato rocoso. EG-1. Esta estación se levantó en un nivel de areniscas, competentes, de grano fino, de 0,4 m de espesor, situado sobre un nivel de lutitas, de 0,2 m de espesor (Fig. 3.5). El nivel de lutitas se encuentra muy alterado (grado IV-V). Al pie de la estación se observan bloques caídos de tamaño decimétrico. Se diferencian dos familias de discontinuidades (la estratificación y una familia de diaclasas ortogonales a esta), que muestran un espaciado medio de 0,3 m aproximadamente y una abertura de 0,001-0,002 m, apareciendo rellenas por un sedimento de grano fino. El afloramiento se encuentra seco.



Figura 3.5. Vista general de la estación geomecánica 1. En la parte inferior se los bloques caídos del nivel areniscoso

EG-2. Esta estación se levantó en un estrato de areniscas, competentes de 0,3 m de potencia situado sobre un estrato de lutitas alterado a grado IV-V (Fig. 3.6). Se diferencian dos familias de discontinuidades, que no muestran aberturas significativas. El afloramiento se encuentra seco.



Figura 3.6. Vista de la estación geomecánica 2.

Ensayos de ejecución *in situ*

Para las pruebas SPT, siguiendo la metodología habitual, se considera como resulta de penetración (N_{SPT}) la suma de los dos tramos intermedios del golpeo, salvo que se produzca el rechazo. En el sondeo realizado se obtuvieron valores de golpe que, tienden a crecer en profundidad, partiendo de un golpeo $N_{SPT}=15$ hasta llegar a un golpeo $N_{SPT}=37$ (Tabla 3.1).

Tabla 3.1. Resultado de los ensayos SPT realizados en el sondeo S-1.

Ensayo	Cota (m)	Golpeo	N_{SPT}
SPT-1	1,80-2,25	6-7-8	15
SPT-2	4,00-4,45	4-4-3	7
SPT-3	6,60-7,05	3-3-4	7
SPT-4	9,00-9,45	4-5-7	12
SPT-5	12,60-13,05	5-9-11	20
SPT-6	15,00-14,45	10-17-20	37

Ensayos de laboratorio

Las actas de los ensayos de laboratorio figuran en el Anexo I.

Pruebas de identificación y estado

Ensayo granulométrico

La representación de los distintos tamaños de partículas determinados en el ensayo granulométrico se ha realizado mediante curvas acumulativas y se presentan en la tabla 3.2. Los resultados ponen de manifiesto que existe una gran homogeneidad granulométrica, predominando los finos (limos-arcillas). El porcentaje de la fracción limo-arcillosa (pasa tamiz 0,080 UNE) varía entre un mínimo del 72,6 % y un máximo del 89,7 %. Por su parte la fracción gruesa de los materiales ($> 2\text{mm}$) oscila entre un mínimo de 5 % y un máximo de 16,0 %.

Tabla 3.2. Resultado de las granulometrías realizadas.

Muestra	Profundidad (m)	Gravas	Arenas	Finos (limos+arcillas)
MI-1	1,20-1,80	5,0	5,3	89,7
MI-2	6,00-6,60	16,0	11,4	72,6
MI-3	12,00-12,60	8,0	13,3	79,0
C-2	1,2	4,0	12,0	84,0

Límites de Atterberg

Los materiales ensayados presentan baja plasticidad, como corresponde a su naturaleza mayoritariamente limo-arenosa o areno-limosa. Presentan un Límite Líquido entre 29,5 % y 35,0 %. Se trata de materiales muy homogéneos desde el punto de vista de la plasticidad y son de esperar bajas deformaciones atendiendo a sus Límites de Atterberg (Tabla 3.3).

Tabla 3.3. Resultado del ensayo de Límites de Atterberg. Leyenda: W_L : Límite líquido; W_p : Límite plástico; I_p : Índice de plasticidad.

Muestra	Profundidad (m)	W_L (%)	W_p (%)	I_p (%)
MI-1	1,20-1,80	33,7	25,8	8,2
MI-2	6,00-6,60	35	24,8	10,2
MI-3	12,00-12,60	33,7	26,7	7,6
C-2	1,2	29,5	18,1	11,4

Humedad y densidad

En los materiales ensayados hasta 12,60 m presentan una humedad relativamente alta, ronda el 20%. Entre 12,60 y 25,40 (materiales rocosos) la humedad disminuye drásticamente hasta llegar a valores que rondan el 6% (Fig. 3.7 y Tabla 3.4). El suelo se encuentra en su estado natural en condiciones de plasticidad correspondientes a su Límite Plástico.

Tabla 3.4. Resultado de los ensayos de humedad y densidad. Leyenda: W : Humedad natural; ρ_d : Densidad seca; ρ_h : Densidad húmeda.

Muestra	Profundidad (m)	W (%)	ρ_d (g/cm ³)	ρ_h (g/cm ³)
MI-1	1,20-1,80	23,80	1,65	2,04
MI-2	6,00-6,60	25,20	1,68	2,10
MI-3	12,00-12,60	26,70	1,66	2,10
TP-2	18,00-18,20	7,60	2,22	2,38
TP-3	21,30-21,50	6,80	2,22	2,37
TP-5	25,20-25,40	7,20	2,27	2,42

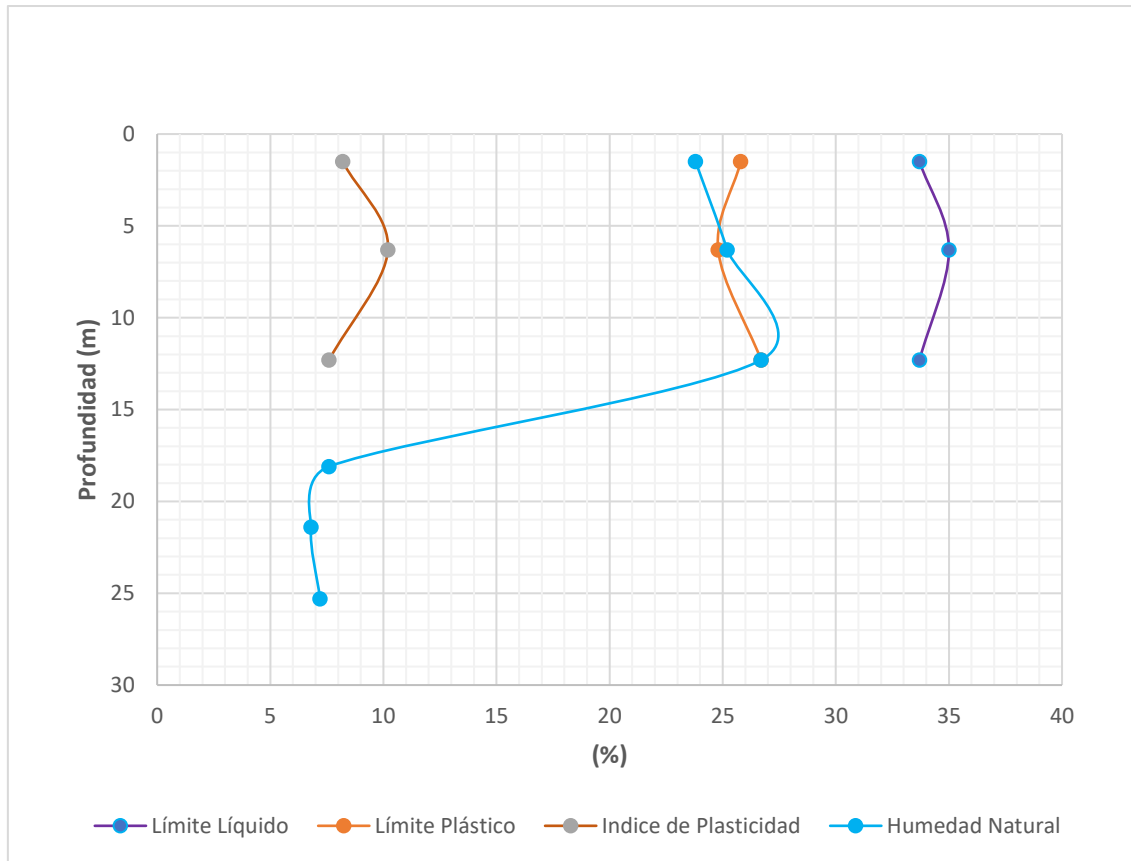


Figura 3.7. Variación de los límites e índice de plasticidad y de la humedad natural con la profundidad.

Con respecto a la densidad, los materiales investigados más superficiales (hasta 12,60 m) son muy homogéneos respecto a la densidad tanto seca como húmeda con valores para la densidad que oscilan entre $1,65 \text{ g/cm}^3$ y $2,04 \text{ g/cm}^3$ (Fig. 3.8).

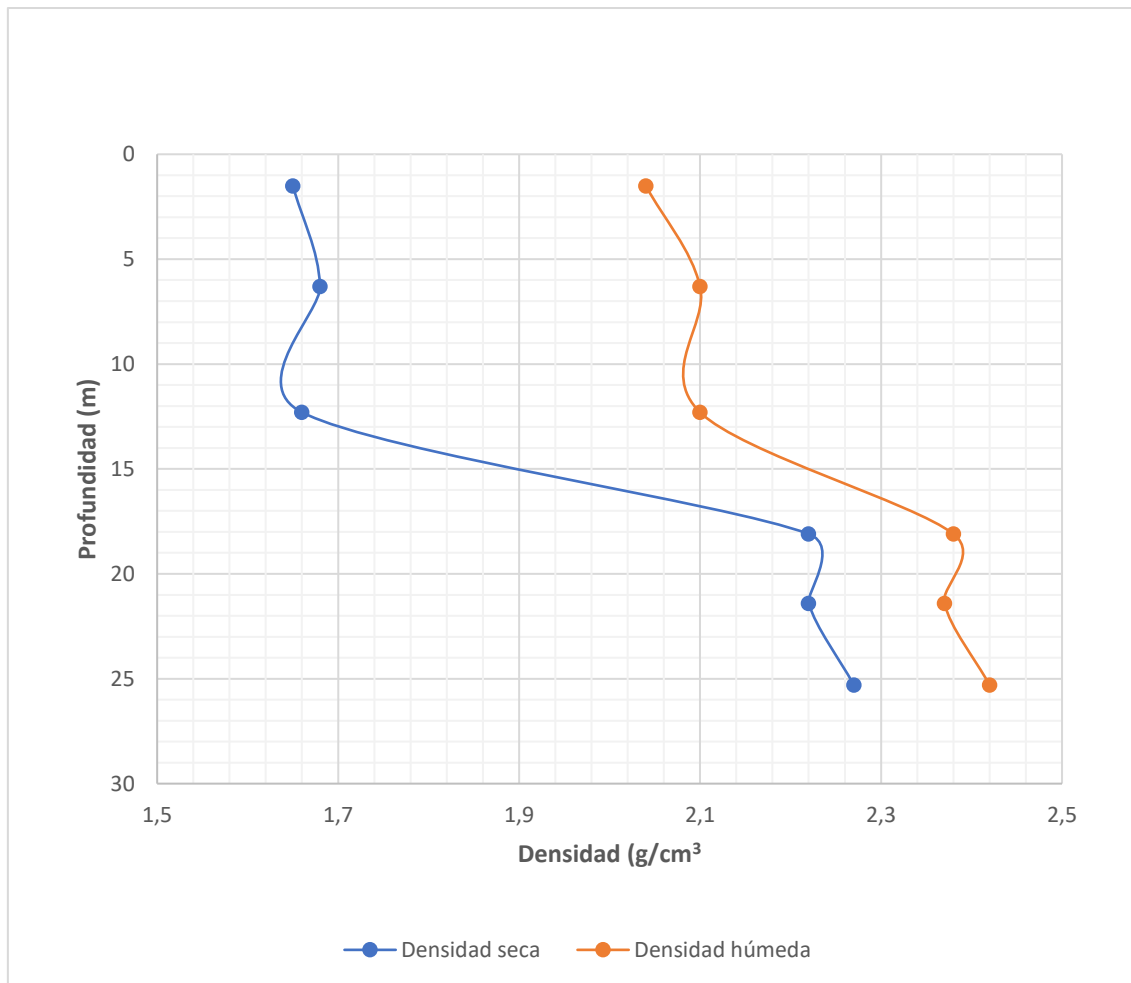


Figura 3.8. Relación de la densidad seca y la densidad húmeda con la profundidad.

Por debajo de la profundidad señalada, la naturaleza de los materiales cambia pasando de suelos a rocas blandas, más densas que los anteriores, con densidad seca en el intervalo de 2,22-2,42 g/cm³.

Ensayos mecánicos

Ensayo Proctor modificado y CBR

Los materiales presentan una densidad máxima elevada, para una humedad optima baja. Con respecto al CB presenta valores reducidos, que oscilan entre 1,61 y 1,82 (Tabla 3.5).

Tabla 3.5. Resultado de los ensayos CRB y Proctor modificado.

Muestra	Profundidad (m)	Proctor modificado		CBR	
		γ_{max}	W_{op}	CRB 95% PM	CRB 98% PM
C-2	1,20	2,02	8,72	1,61	1,82

Corte directo

Los resultados obtenidos indican que se trata de materiales bastante homogéneos en cuanto a su resistencia en términos de ley de resistencia de tipo Mohr-Coulomb (MC). Los valores para la cohesión oscilan entre 60,47-85,66 kPa, mientras que, para el ángulo de rozamiento varían entre 26,74-28,26° (Tabla 3.6). No se observan variaciones significativas en los valores del ángulo de rozamiento, existiendo un ligero incremento en los valores de cohesión que en profundidad vuelven a valores similares a los de materiales más superficiales (Fig. 3.9).

Tabla 3.6. Resultado del ensayo de corte directo. Leyenda: c: cohesión; Φ : ángulo de rozamiento interno.

Muestra	Profundidad (m)	c (kPa)	Φ (°)
MI-1	1,20-1,80	60,47	26,74
MI-2	6,00-6,60	85,66	27,51
MI-3	12,00-12,60	70,55	28,26

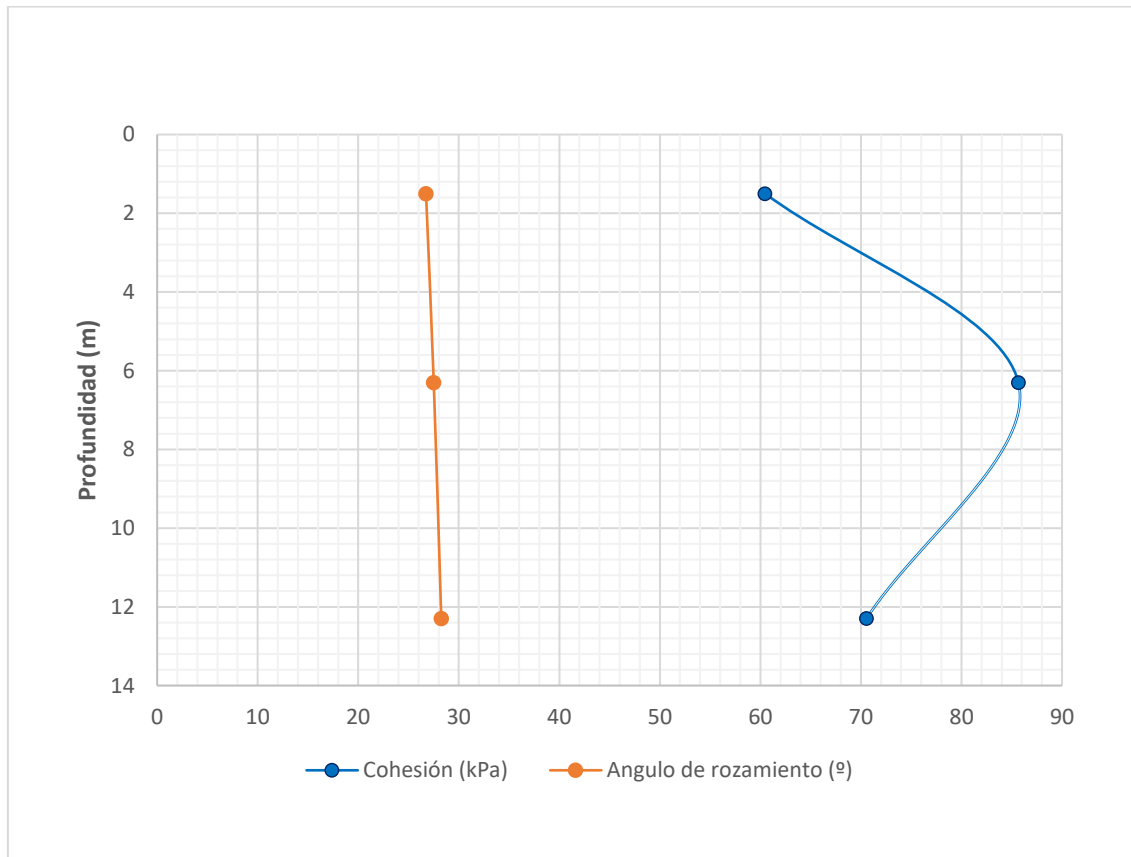


Figura 3.9. Variación de la cohesión y del ángulo de rozamiento interno con la profundidad.

Compresión simple

Los valores obtenidos son muy bajos y no corresponden a los golpes N_{20} o N_{SPT} . Los materiales investigados se consideran rocas blandas de resistencia a compresión simple Baja-Muy baja, atendiendo a los criterios especificados en la tabla 3.7 y 3.8.

Tabla 3.7. Resultado de los ensayos de Compresión simple y clasificación de la roca según el Código técnico de la edificación. Leyenda: q_u : Resistencia a compresión simple.

Muestra	Profundidad (m)	q_u (MPa)	Clasificación CTE
TP-2	18,00-18,20	4,865	Muy baja
TP-3	21,30-21,50	9,365	Baja
TP-5	25,20-25,40	4,191	Muy baja

Tabla 3.8. Clasificación de la roca matriz. (Ministerio de Fomento, 2019)

Ensayo de resistencia aproximado	Calificación de la Resistencia a compresión simple ⁽¹⁾	Valor estimado q_u (MPa)
Se puede rayar con la uña	Especialmente débil	< 1
Se rompe con golpes de martillo moderados Se puede rayar con la navaja	Muy baja	1 a 5
Se raya difícilmente con la navaja	Baja	5 a 25
No puede rayarse con la navaja Se puede romper con un golpe de martillo	Media	25 a 50
Se requieren varios golpes de martillo para romperla	Alta	50 a 100
Difícil de romper con el martillo de geólogo	Muy alta	100 a 250
Con el martillo de geólogo sólo se pueden producir algunas esquirlas	Extremadamente alta	> 250

⁽¹⁾Alternativamente, para obtener una indicación rápida de la resistencia a la compresión simple, se recomienda la utilización del Martillo Schmidt (Esclerómetro de mano).

Hinchamiento libre y colapso

Para la calicata C-2 se ha obtenido un hinchamiento de 1,9 y un índice de colapso nulo (Tabla 3.9).

Tabla 3.9. Resultado de los ensayos de hinchamiento libre y colapso.

Muestra	Profundidad (m)	Hinchamiento (%)	Índice de colapso (%)
C-2	1,2	1,9	0

Ensayos de agresividad química

Contenido en yesos, sales solubles y materia orgánica

Se ha obtenido un contenido en yesos y en sales solubles muy elevado, tal y como es de esperar de las formaciones terciarias de todo el Valle del Ebro. Respecto a la materia orgánica se ha obtenido un porcentaje bajo. No obstante, el nivel de tierra vegetal presentara contenidos más elevados. Por esta razón se considera necesario retirar esta primera capa, debiendo ser desestimada la presencia de este material en el plano de cimentación de los terraplenes. Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 3.10.

Tabla 3.10. Resultado de los ensayos de contenido en yesos, sales solubles y materia orgánica.

Muestra	Profundidad (m)	Contenido en yeso (%)	Contenido en sales solubles (%)	Contenido en materia orgánica (%)
C-2	1,2	5,62	5,8	0,37

Clasificación de los suelos

Las clasificaciones de suelos fijan un marco de referencia para el intercambio de información técnica, permitiendo acotar sus características más significativas y su comportamiento en diferentes condiciones.

Las más utilizadas suelen ser: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S), el de la Asociación Americana de Oficiales de Carretera Estatales y Transporte (A.A.S.H.T.O) y el pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de Carreteras y Puentes (P.G-3).

Tabla 3.11. Clasificación de los suelos investigados.

Muestra	Profundidad (m)	SUCS	AASHTO	PG-3
C-2	1,20	CL	A-6	Marginales
MI-1	1,20-1,80	CL	A-4	-
MI-2	6,00-6,60	CL	A-4	-
MI-3	12,00-12,60	CL	A-4	-
TP-2	18,00-18,20	Roca		-
TP-3	21,30-21,50			-
TP-5	25,20-25,40			-

Como se observa en la tabla 3.11, los materiales ensayados constituyen un grupo de suelos limosos-arcillosos, de moderada plasticidad (CL). Los ensayos procedentes de la calicata C-2 (que se realizó sobre terreno natural, y no sobre el dique de la presa) muestran que los primeros metros del suelo se clasifican con terrenos Marginales.

Caracterización de las unidades geotécnicas

A partir de los resultados de los trabajos realizados se pueden diferenciar dos unidades geotécnicas (UG), que se describen a continuación.

Nivel geotécnico A. Rellenos antrópicos compactados

Es el primer nivel que se registra tanto en el sondeo como en las calicatas, aparece en la superficie y alcanza una profundidad de 17,30 m en el sondeo.

Se trata de materiales limo-arenosos y limos arcillosos con cantos de roca arenisca y margas dispersos y trazas de cristales fibrosos y sacaroideos blanquecinos. Estos materiales son de origen natural y han sido transportados y compactados en el lugar que ahora ocupan.

Tabla 3.12. Resultados de los ensayos SPT realizados en la primera unidad geotécnica.

Sondeo	Profundidad (m)	Profundidad media (m)	N _{SPT}	Promedio
S-1	1,80-2,25	2,0	15	10
	4,00-4,45	4,2	7	
	6,60-7,05	6,8	7	
	9,00-9,45	9,2	12	23
	12,60-13,05	12,8	20	
	15,00-15,45	15,2	37	

Tal como se observa en la tabla 3.12, entre 0,00 m y 9,50 m de profundidad el valor del golpeo SPT oscila entre $N_{spt}=7-15$ con una media de $N_{spt}=10$. Por debajo de esta profundidad los valores obtenidos son de $N_{SPT}=20-37$ con un valor medio de $N_{spt}=23$. Se percibe una tendencia al incremento del golpeo con la profundidad (Fig. 3.10).

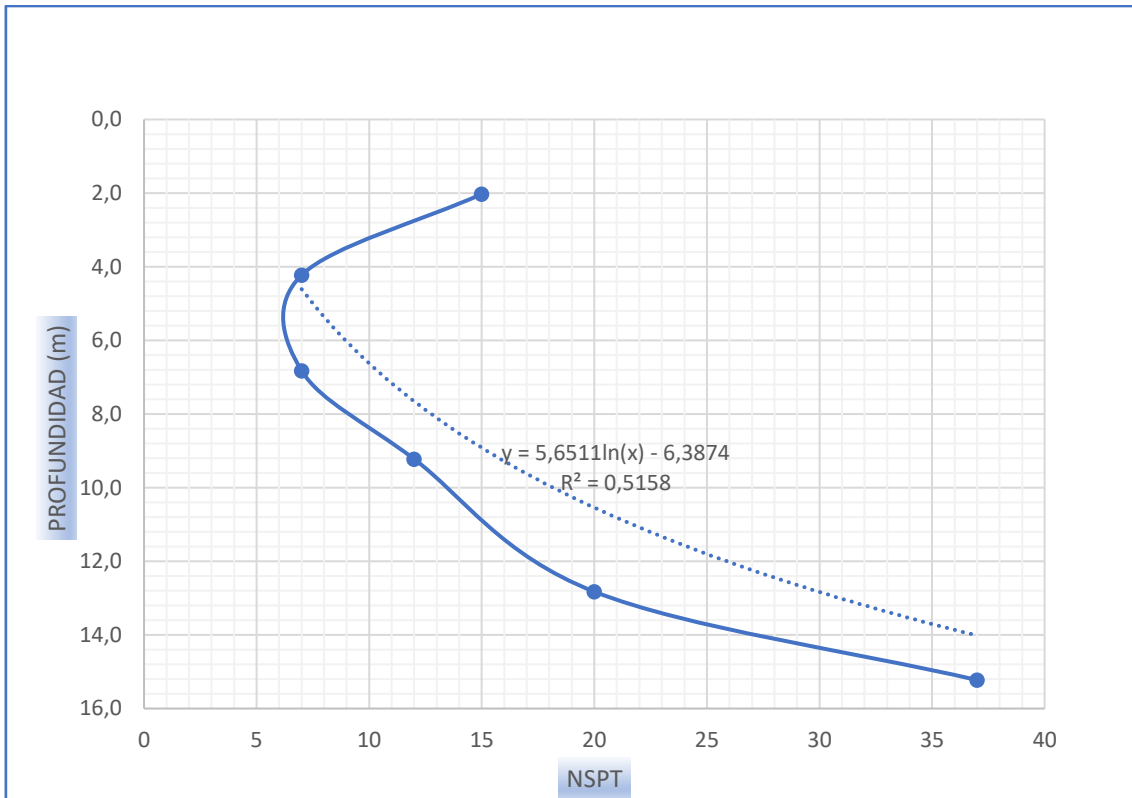


Figura 3.10. Variación del Nspt con la profundidad dentro de la primera unidad geotécnica.

Si se elimina el valor más superficial la correlación existente entre el golpeo y la profundidad mejora notablemente, como se observa en la figura 3.11. Mediante la distribución obtenida con el golpeo SPT se puede afirmar que la compactación de los materiales parece ser mayor en la parte central e inferior del dique respecto a la coronación de este.

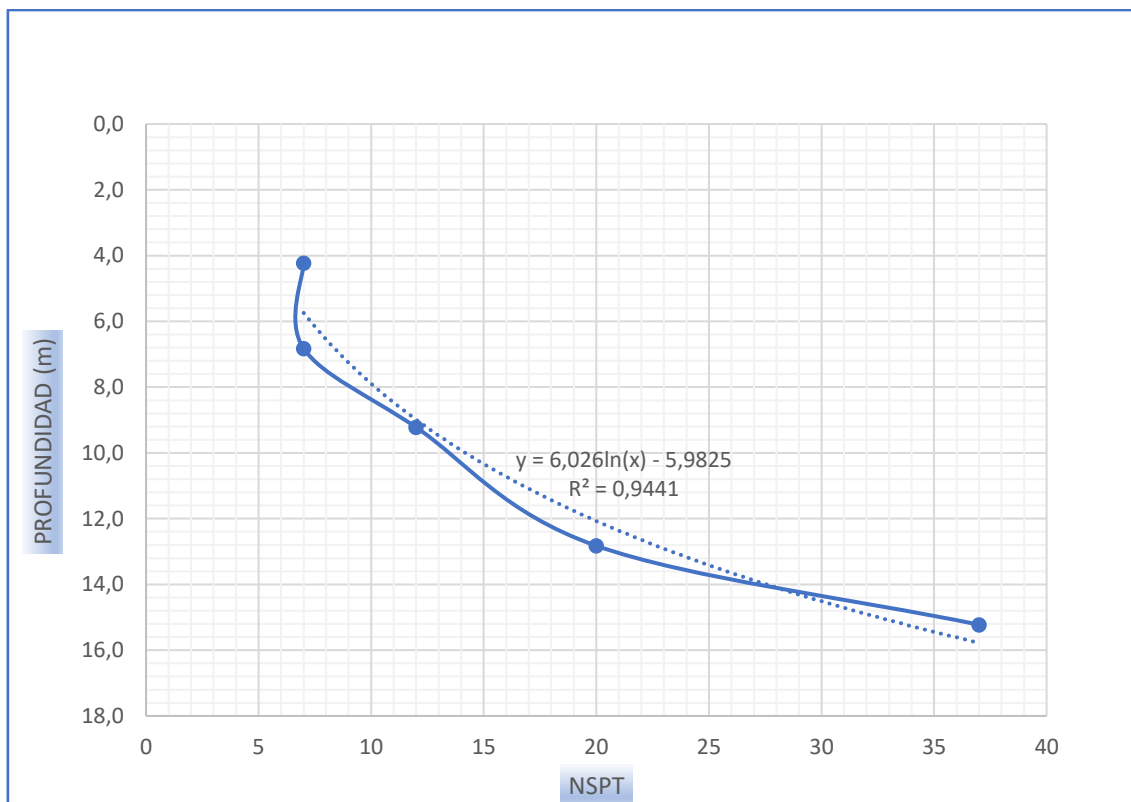


Figura 3.11. Variación del Nspt con la profundidad dentro de la primera unidad geotécnica. Se ha eliminado los valores más superficiales de golpeo.

Entre los 4,00 y 7,00 m de profundidad el valor del Nspt = 7 indica que o bien la compactación de relleno fue baja en origen, o que en este intervalo el dique ha sido afectado por filtraciones de la balsa (se carece de lámina de impermeabilización) lo que habría dado lugar a su alteración y reblandecimiento por humectación. Para esta unidad geotécnica se asumirá un valor Nspt = 16.

Sus características permiten apuntar a que se trata de materiales provenientes de la propia zona de implantación del dique, (coluviones y piedemontes de la zona) que incorporan elementos del tipo pequeños clastos, bloques o cantos de rocas de areniscas y margas del sustrato rocoso común en todo el sector.

Nivel geotécnico B. Sustrato rocoso terciario

Estos materiales rocosos se registran en el sondeo a partir de los 17,30 m de profundidad y alcanzan hasta la profundidad de 25,60 m que es la máxima alcanzada por el sondeo. Se trata de una alternancia de margas calcáreas blanquecinas, areniscas muy duras, en bancos de espesor decimétrico y con inclusiones dendríticas en alguna zona, y rocas argilíticas-limolíticas duras con trazas de yesos.

Parámetros geotécnicos

Nivel geotécnico A. Rellenos antrópicos compactado

Para determinar el peso específico aparente de este nivel geotécnico, se ha decidido calcular el valor medio de los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio (Tabla 3.13).

Tabla 3.13. Valores del peso específico de la unidad geotécnica A

Muestra	Profundidad (m)	ρ_h (g/cm ³)	Promedio
MI-1	1,20-1,80	2,04	2,08
MI-2	6,00-6,60	2,10	
MI-3	12,00-12,60	2,10	

Para determinar el valor del ángulo de rozamiento interno (Φ) y la cohesión (c), se ha calculado el valor medio de los resultados obtenidos mediante la prueba de corte directo en el laboratorio (Tabla 3.14).

Tabla 3.14. Valores de la cohesión y del ángulo de rozamiento interno de la unidad geotécnica B. Leyenda: Φ : ángulo de rozamiento interno; c: cohesión.

Muestra	Profundidad (m)	c (kPa)	Promedio	Φ (°)	Promedio
MI-1	1,20-1,80	60,47	72,22	26,74	27,50
MI-2	6,00-6,60	85,66		27,51	
MI-3	12,00-12,60	70,55		28,26	

El módulo de deformación elástico (E) se puede tomar a partir de las correlaciones de Meigh y Nixon (1961) a partir de los resultados del SPT.

Con la fórmula de Meigh y Nixon (1961), en limos y limos arcillosos.

$$E(MPa) = 5 * N_{spt} = 5 * 16 = 80$$

El Código Técnico de la Edificación en su documento básico de cimentaciones para un suelo denominado como blando o suelos flojos, como es el caso, y con un SPT de 16 recomienda un valor de 20,8 (Tabla 3.15).

Tabla 3.15. Valores orientativos de N_{SPT} , resistencia a compresión simple y módulo de elasticidad de suelos (Ministerio de Fomento, 2019)

Tipo de suelo	N_{SPT}	q_u (kN/m ²)	E (MN/m ²)
Suelos muy flojos o muy blandos	< 10	0 - 80	< 8
Suelos flojos o blandos	10 - 25	80 - 150	8 - 40
Suelos medios	25 - 50	150 - 300	40 - 100
Suelos compactos o duros	50 - Rechazo	300 - 500	100 - 500
Rocas blandas	Rechazo	500 - 5.000	500 - 8.000
Rocas duras	Rechazo	5.000 - 40.000	8.000 - 15.000
Rocas muy duras	Rechazo	> 40.000	>15.000

Se ha decidido tomar un valor de 80 MPa para el módulo de deformación elástico. Para el coeficiente de Poisson (ν), se ha consultado el Código Técnico de la Edificación en su documento básico SE-C y se ha asumido un valor de 0,30 (Tabla 3.16).

Tabla 3.16. Valores orientativos del coeficiente de Poisson (Ministerio de Fomento, 2019)

Tipo de suelo	Coefficiente de Poisson
Arcillas blandas normalmente consolidadas	0,40
Arcillas medias	0,30
Arcillas duras preconsolidadas	0,15
Arenas y suelos granulares	0,30

Para estimar la permeabilidad (k) de esta unidad se ha recurrido a la tabla 3.17 recogida en la Guía de Recomendaciones Geotécnicas para Obras Marítimas y Portuarias (Soriano y Piñeiro, 2006). La unidad está compuesta por limos arcillosos de consistencia blanda, por lo que se adopta un valor de 10^{-6} (cm/s).

Tabla 3.17. Parámetros resistentes característicos de suelos cohesivos. Según la Guía de recomendaciones Geotécnicas para obras marítimas y Portuarias (Soriano y Piñeiro, 2006)

	Tipo de suelos	Consistencia	Índice de poros ⁽²⁾	Resis. al corte sin drenaje ⁽⁶⁾ (kPa)	Resistencia con drenaje C(kPa) (ϕ^0)	Módulo de deformación ⁽⁵⁾ drenado (MPa)	Coefficiente de permeabilidad ⁽³⁾ (cm/s)
Suelos cohesivos	Limos de granulometría uniforme con algo de arena y arcilla	Dura o firme	0,40	100	50	30	10^{-6}
		Media	0,60	60	20	25	
		Blanda	0,80	20	10	20	
		Muy blanda	I	10	0	18	
	Arcilla y limos arcillosos. Pueden contener gravas y/o arenas en proporciones menores del 70%	Dura o firme	0,35	>100	50	28	10^{-8}
		Media	0,50	80	20	23	
		Blanda	0,70	40	10	19	
		Muy blanda	I	20	0	15	

Los suelos con contenidos apreciables de materia orgánica tienen características mecánicas mucho más pobres que las indicadas en esta tabla.

- (1) Los suelos calcáreos, particularmente los conchíferos o coralinos, pueden tener ángulos de rozamiento claramente más bajos, en particular para presiones altas (cargas de hundimiento por punta de pilotes).
- (2) Para calcular pesos específicos puede utilizarse un peso específico relativo de las partículas igual a 2,7.
- (3) Los coeficientes de permeabilidad indicados son únicamente un valor típico. Suelos que obedecen a una misma descripción preliminar pueden tener permeabilidades dos e incluso tres ordenes de magnitud diferentes a los indicados.
- (4) El contenido en finos se refiere al porcentaje que pasa por el tamiz 0,008 UNE.
- (5) El módulo de Poisson puede tomarse entre 0,30 para los suelos densos y 0,40 para los más flojos o blandos.
- (6) La resistencia al corte sin drenaje de suelos arcillosos normalmente consolidados depende de la presión vertical efectiva. Ver 2.2.8.3.

Los parámetros geotécnicos asignados para esta unidad se presentan en la tabla 3.18.

Tabla 3.18. Parámetros geotécnicos de la unidad geotécnica A. Leyenda: γ : peso específico aparente; Φ : ángulo de rozamiento interno; c: cohesión; E: módulo de deformación; ν : coeficiente de Poisson; k: coeficiente de permeabilidad.

Unidad A. Rellenos antrópicos compactados	
γ (kN/m ³)	20,8
Φ (°)	27,50
c (kPa)	72,22
E (kPa)	80.000
ν (cm/s)	0,3
k (m/s)	10 ⁻⁶

Nivel geotécnico B. Sustrato rocoso terciario

Como peso específico aparente de este nivel geotécnico se ha tomado el valor medio de los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio (Tabla 3.19).

Tabla 3.19. Valores del peso específico aparente de la unidad geotécnica B.

Muestra	Profundidad (m)	ρ_h (g/cm³)	Promedio
TP-2	18,00-18,20	2,38	2,39
TP-3	21,30-21,50	2,37	
TP-5	25,20-25,40	2,42	

Se ha calculado los parámetros de las litologías dominantes en la unidad geotécnica B (areniscas y argilitas) mediante el programa RocData 3.0. Dado que el macizo rocoso se encuentra fracturado, presenta varias discontinuidades y contiene bloques caídos de tamaño decimétrico, además se encuentran superficies alteradas y meteorizadas en superficie, se adopta un parámetro GSI de 48 (Fig. 3.12).

Rock type	Class	Group	Texture			
			Coarse	Medium	Fine	Very fine
SEDIMENTARY	Clastic		Conglomerate (22)	Sandstone 19 —— Greywacke —— (18)	Siltstone 9	Claystone 4
		Non-Clastic	Organic		Chalk 7 —— Coal —— (8-21)	
	Carbonate		Breccia (20)	Sparitic Limestone (10)	Micritic Limestone 8	
	Chemical		Gypstone 16	Anhydrite 13		
METAMORPHIC	Non Foliated		Marble 9	Hornfels (19)	Quartzite 24	
	Slightly foliated		Migmatite (30)	Amphibolite 25 - 31	Mylonites (6)	
	Foliated*		Gneiss 33	Schists 4 - 8	Phyllites (10)	Slate 9
IGNEOUS	Light		Granite 33		Rhyolite (16)	Obsidian (19)
	Dark		Granodiorite (30)		Dacite (17)	
			Diorite (28)		Andesite 19	
			Gabbro 27	Dolerite (19)	Basalt (17)	
			Norite 22			
	Extrusive pyroclastic type		Agglomerate (20)	Breccia (18)	Tuff (15)	

Figura 3.13. Valores de la constante m_i de la roca intacta para distintos tipos de roca. (Hoek y Brown, 1997)

Se ha determinado un factor de alteración $D=0$, puesto que la excavación para construir el embalse en un inicio se realizó por medios mecánicos (Fig. 3.14).




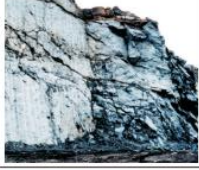

Apariencia del macizo rocoso	Descripción del macizo rocoso	Valor <i>D</i> sugerido
	Excelente calidad de voladura controlada o excavación con tuneladora, TBM, con resultados de alteración mínima del macizo rocoso confinado circundante al túnel	<i>D</i> = 0
	Excavación mecánica o manual en macizos rocosos de mala calidad (sin voladuras) con una alteración mínima en el macizo rocoso circundante. Cuando aparezcan problemas de deformación en el piso durante el avance, la alteración puede ser severa a menos que se coloque una contrabóveda temporal, tal como se muestra en la fotografía.	<i>D</i> = 0 <i>D</i> = 0.5 No invert
	Voladura de muy mala calidad en un túnel en roca competente con daños locales severos, extendiéndose 2 o 3 m en el macizo rocoso circundante.	<i>D</i> = 0.8
	Pequeñas voladuras en taludes de ingeniería civil dan lugar a pequeños daños al macizo rocoso, particularmente si se usan voladuras de contorno como se muestra en el lado izquierdo de la fotografía. Sin embargo la liberación de tensiones resulta en alguna alteración.	<i>D</i> = 0.7 Good blasting <i>D</i> = 1.0 Poor blasting
	Los taludes en las grandes minas a cielo abierto sufren alteraciones significativas debido a las grandes voladuras de producción y también debido a la relajación de tensiones al retirar el estéril de recubrimiento. En algunas rocas blandas la excavación puede llevarse a cabo mediante el ripado y empuje con tractores de orugas y el grado de afección a los taludes será menor.	<i>D</i> = 1.0 Production blasting <i>D</i> = 0.7 Mechanical excavation

Figura 3.14. Guía para la estimación del factor de alteración *D* (Hoek et al, 2002)

El valor de la resistencia a la compresión simple de la roca (σ_{ci}) se obtuvo mediante el ensayo de compresión simple en laboratorio (Tabla 3.20). Para la arenisca se determinó un valor $\sigma_{ci}=7.115$ kPa (el promedio entre los valores de resistencia a compresión simple) y para la argilita un valor $\sigma_{ci}=4.191$ kPa.

Tabla 3.20. Valores de la resistencia a la compresión simple.

Litología	Profundidad (m)	q_u (kPa)
Arenisca	18,00-18,20	4.865
Arenisca	21,30-21,50	9.365
Argilita	25,20-25,40	4.191

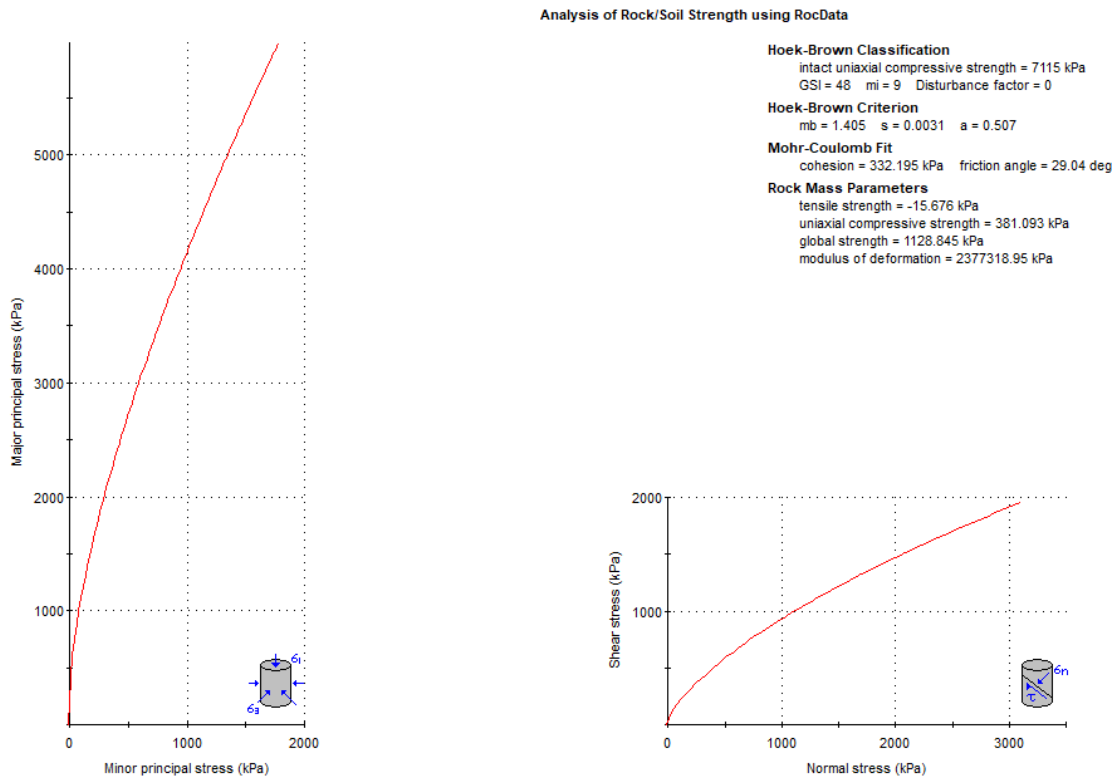


Figura 3.15. Resultados obtenidos para las areniscas.

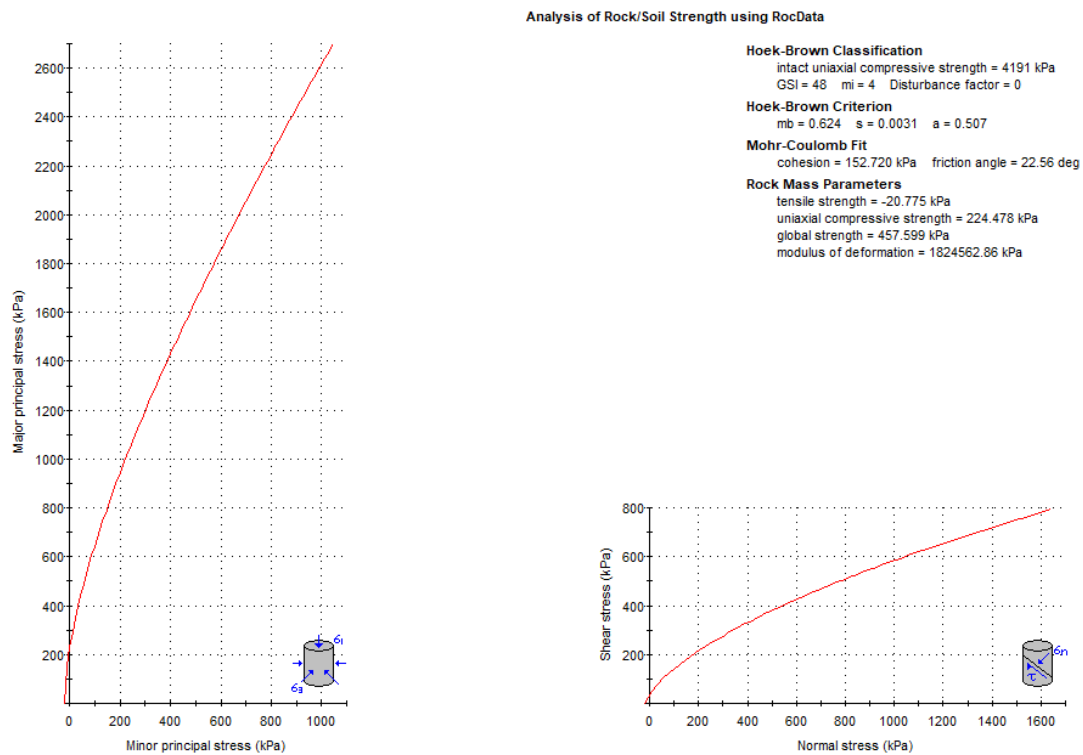
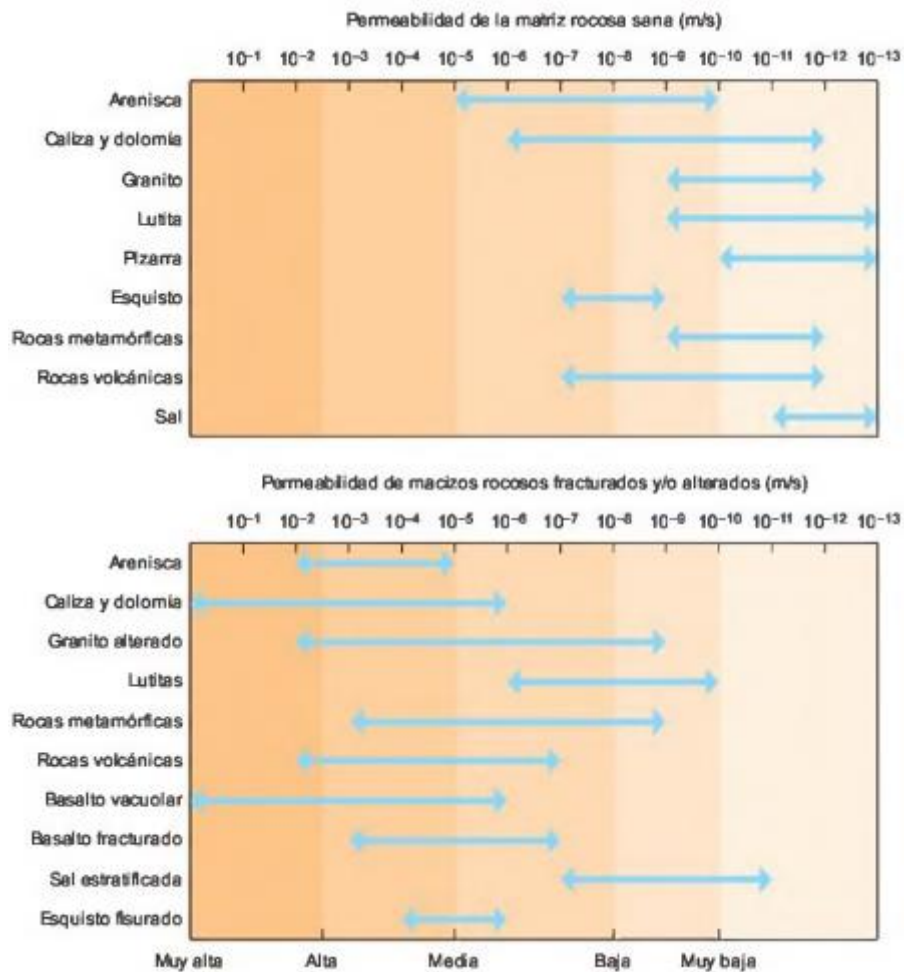


Figura 3.16. Resultados obtenidos para las argilitas.

Para determinar los parámetros geotécnicos de la unidad B, se ha realizado un promedio de los valores de los resultados de las areniscas y de las argilitas (Figs. 3.15 y 3.16).

El coeficiente de permeabilidad de la matriz rocosa se ha estimado consultando la tabla 3.21, obtenida del libro de Ingeniería Geológica de González de Vallejo, adoptándose un valor de $1 \cdot 10^{-8}$ (m/s) indicado para una matriz rocosa de areniscas inalteradas.

Tabla 3.21. Valores de permeabilidad para macizos rocosos (González de Vallejo et al., 2002).



Los parámetros geotécnicos asignados para esta unidad se presentan en la tabla 3.22.

Tabla 3.22. Parámetros geotécnicos de la unidad B. Leyenda: γ : peso específico aparente; Φ : ángulo de rozamiento interno; c: cohesión; E; módulo de deformación; ν : coeficiente de Poisson

Unidad B. Sustrato terciario		
γ (kN/m ³)	23,9	
Φ (°) areniscas	29,04	25,8
Φ (°) argilita	22,56	
c (kPa) areniscas	332,195	242,4575
c (kPa) argilita	152,72	
E (kPa) areniscas	2377318,95	2100940,91
E (kPa) argilita	1824562,86	
ν (cm/s)	0,3	
K (m/s)	10^{-8}	

Corte geológico-geotécnico

Se ha realizado un corte geológico-geotécnico en la presa-embalse en dirección E-O que se muestra en la figura 3.17. El sustrato terciario compuestos por calizas y margas (Unidad geotécnica B1) adopta una disposición subhorizontal, disminuyendo su espesor hacia el Este, dado que parte fue excavado en su día para la construcción del dique, por debajo aparecen areniscas y argilitas (Unidad geotécnica B.2). En superficie se acumulan los rellenos antrópicos compactados del dique (Unidad geotécnica A).

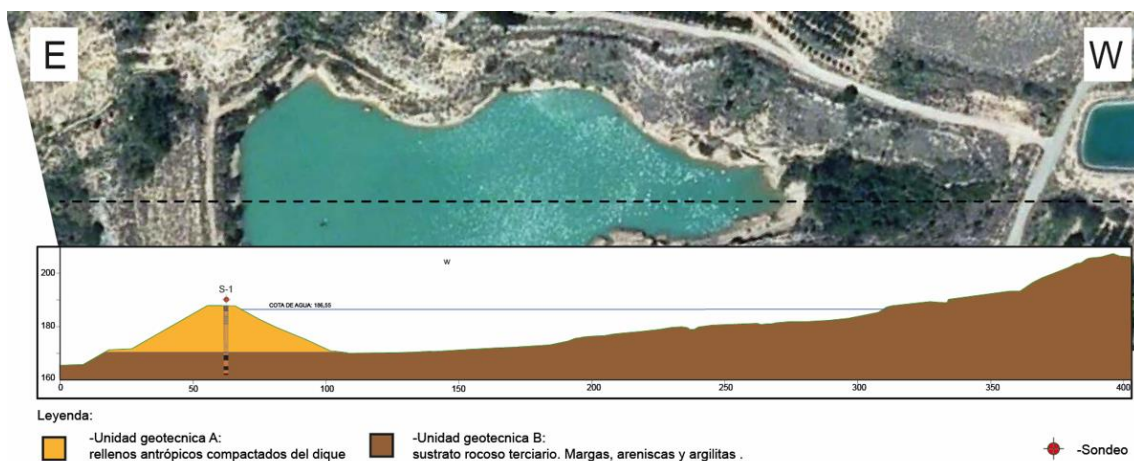


Figura 3.17. Corte geológico-geotécnico del embalse.

Análisis de estabilidad

En este apartado se presenta el análisis de la estabilidad de los taludes del dique de la presa. En las figuras 3.18 y 3.19 se muestran los perfiles geotécnicos utilizados para los análisis de estabilidad, con el programa Slide 6.0.

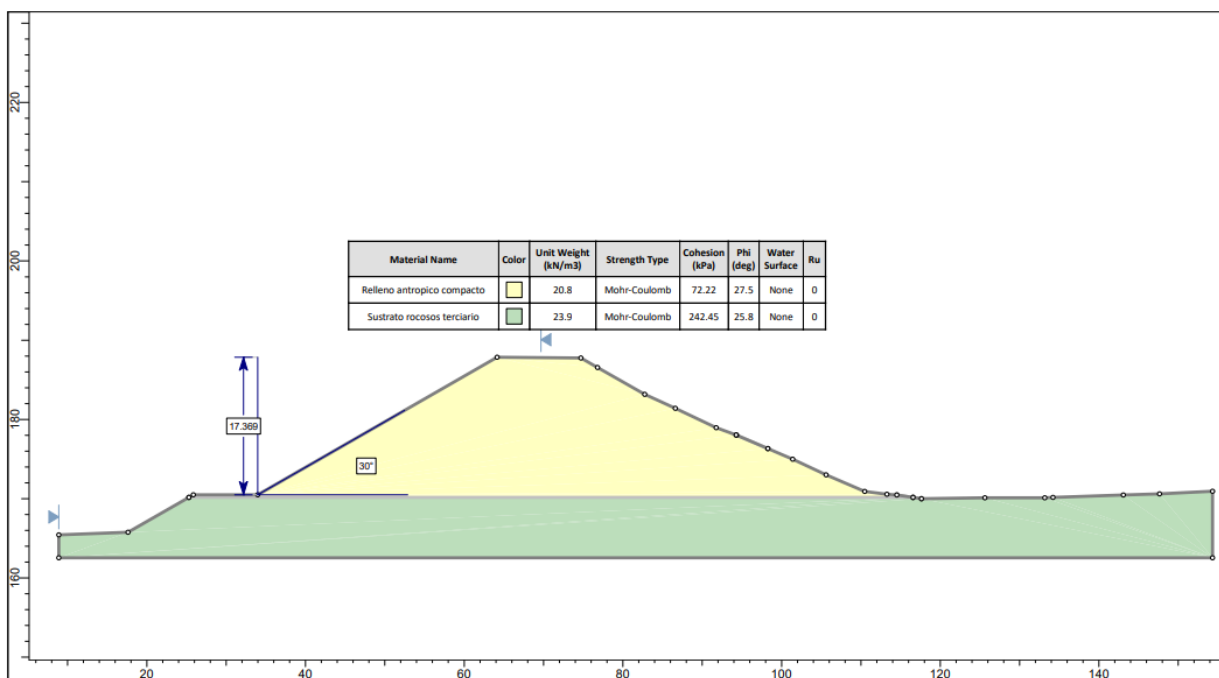


Figura 3.18. Perfil geotécnico del embalse vacío planteado en el programa Slide 6.0.

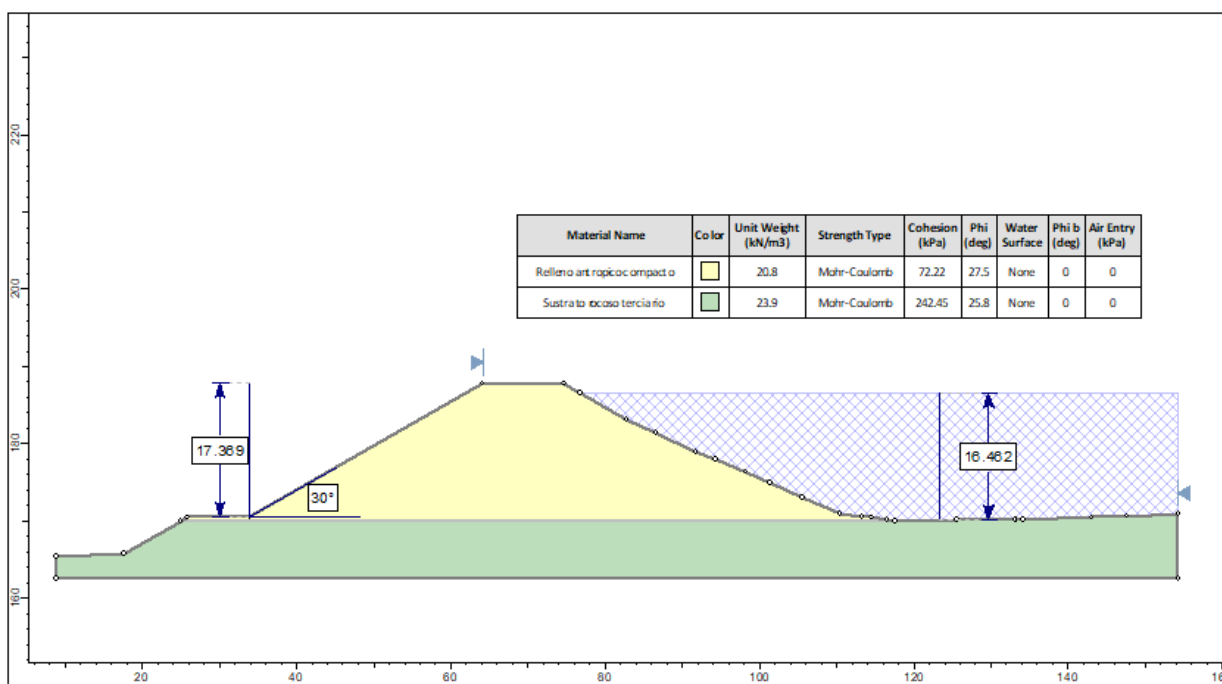


Figura 3.19. Perfil geotécnico del embalse lleno planteado en el programa Slide 6.0.

En la situación de embalse vacío, se obtiene un factor de seguridad según el método de Bishop simplificado (FS) de $FS=2,879$ para el talud exterior (Fig. 3.20) y de $FS=3,31$ para el talud interno (Fig. 3.21).

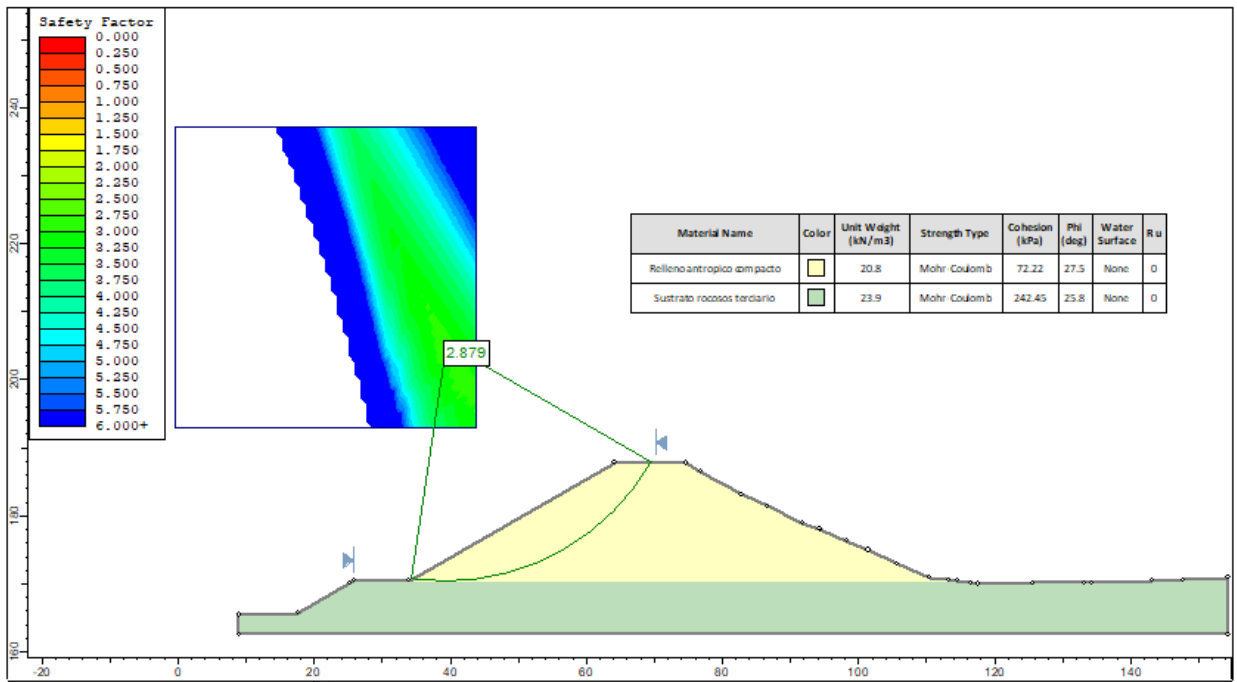


Figura 3.20. Factor de seguridad del talud externo con el embalse vacío.

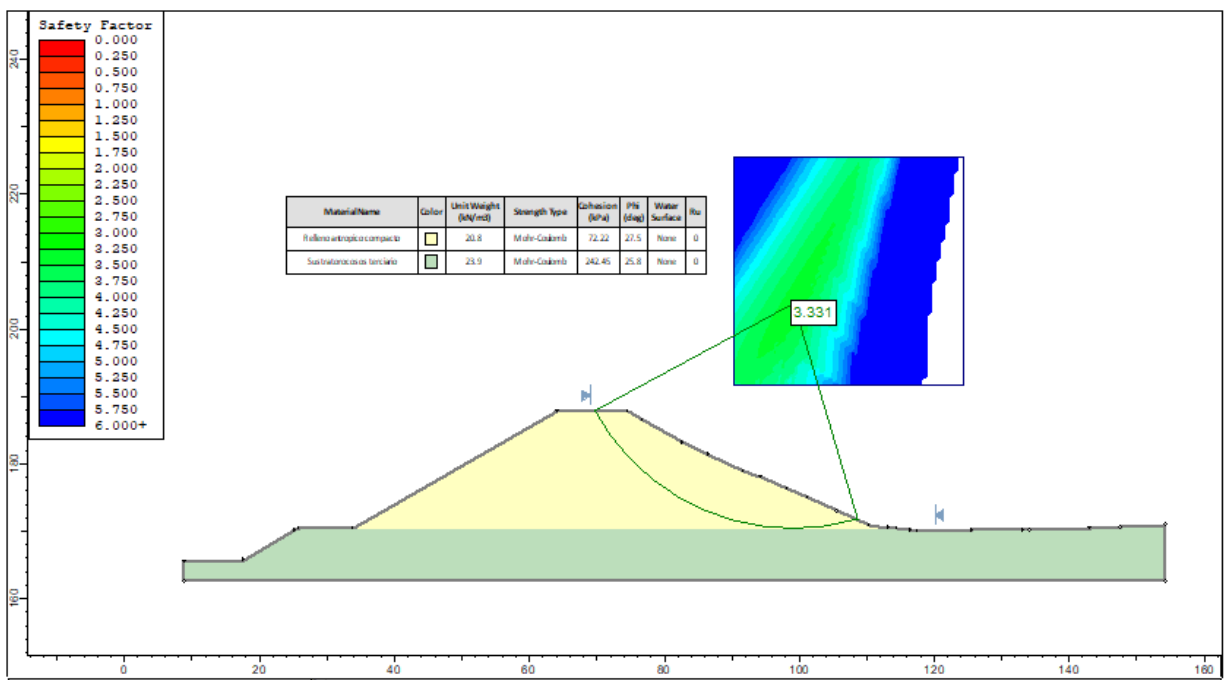


Figura 3.21. Factor de seguridad del talud interno con el embalse vacío.

En la situación de embalse lleno, con la cota de agua a 186,55 m, se obtiene un factor de seguridad de FS=1,734 para el talud exterior (Fig. 3.22) y de FS=4,873 (Fig. 3.23) para el talud interno.

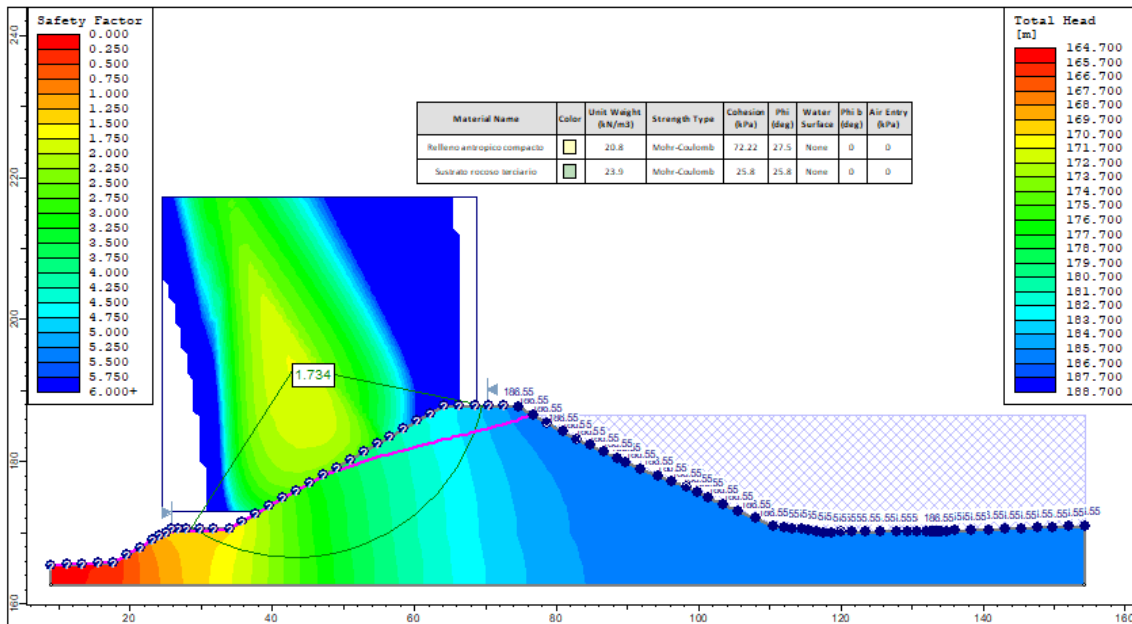


Figura 3.22. Factor de seguridad del talud externo con el embalse lleno.

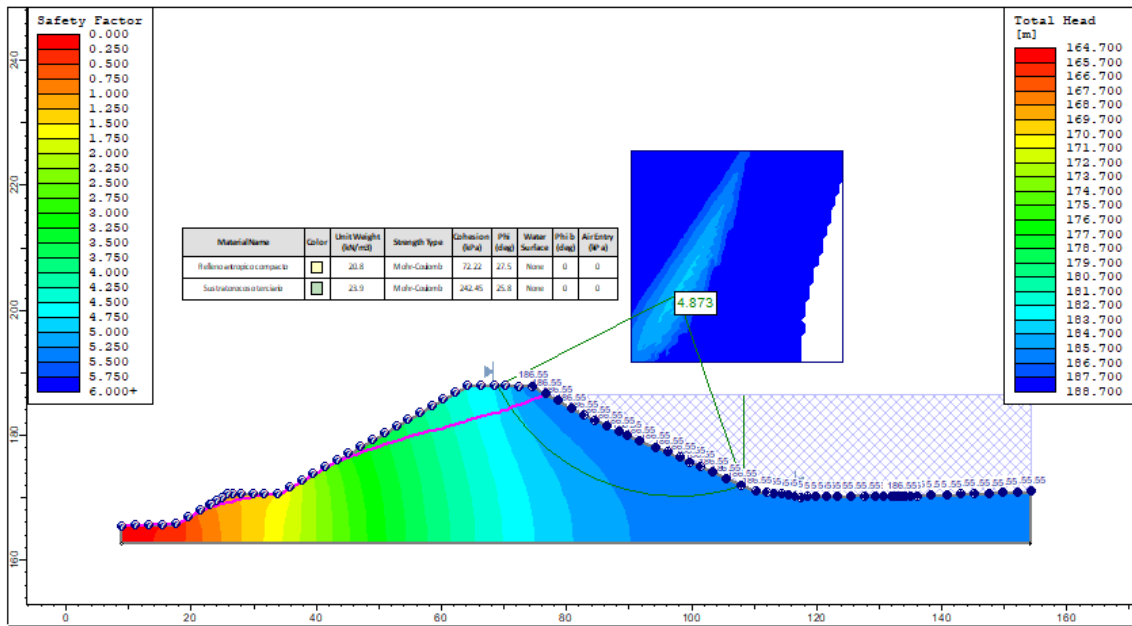


Figura 3.23. Factor de seguridad del talud interno con el embalse lleno.

Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 3.23.

Tabla 3.23. Factores de seguridad obtenidos.

Situación del embalse	Talud	FS (Bishop simplificado)	Coefficiente de seguridad mínimo en una situación normal (Según la norma Técnica de Seguridad para la Clasificación de las presas)
Vacío	Externo	2,879	1,3
	Interno	3,331	1,3
Lleno	Externo	1,734	1,3
	Interno	4,873	1,3

Las secciones analizadas presentan factores de seguridad elevados. La peor situación de estabilidad se encuentra en talud externo con el embalse lleno, momento en el que el factor de seguridad se sitúa en 1,734 según Bishop simplificado. La situación de máxima estabilidad se obtiene en el talud interno con el embalse lleno, con un FS=4,873.

En cualquier caso, todos los valores de seguridad obtenidos en la situación actual de la presa cumplen con lo establecido en la Norma Técnica de Seguridad para la Clasificación de las presa y para la elaboración e implantación de los planes de emergencia de presas y embalses, aprobada en el Real Decreto 264/2021, de 13 de abril.

4. CONCLUSIONES

En este trabajo se presenta el estudio geológico y geotécnico de un embalse situado en la localidad de Fraga (Huesca). Se trata de un embalse que ocupa un pequeño valle de fondo plano y morfología elongada en dirección E-O. Geológicamente, se sitúa en el sector central de la Cuenca del Ebro, sobre materiales terciarios.

Como principales resultados de este trabajo se pueden destacar los siguientes:

- De acuerdo con norma de Construcción Sismorresistente (NCE-02) y la Actualización del Mapa de Peligrosidad Sísmica de 2012, el área de estudio presenta una aceleración sísmica básica $< 0,04g$, no siendo de aplicación la citada Norma.
- Se han diferenciado dos niveles geotécnicos:
 - Nivel geotécnico A (Rellenos antrópicos compactados): compuesto por material limo-arenoso y limo-arcilloso, con cantos de roca arenisca y margas dispersos con trazas de cristales fibrosos, sacaroideos y blanquecinos de yesos. Estos materiales son de origen natural y han sido transportados y compactados en el lugar que ahora ocupan.
 - Nivel geotécnico B (Sustrato rocoso terciario): material rocoso que aparece a partir de los 17,30 m de profundidad y llega hasta el final del sondeo. Su litología se compone de una alternancia de margas calcáreas blanquecinas; areniscas muy duras; y rocas argilíticas-limolíticas duras con trazas de yesos. Dentro de este nivel se diferencian dos tramos.
- Los factores de seguridad obtenidos en el estudio de estabilidad del dique son elevados, oscilando entre un $FS=4,873$ y $FS=1,734$. Todos los valores obtenidos cumplen con lo establecido en la Norma Técnica de Seguridad para la Clasificación de las presas y para la elaboración e implantación de los planes de emergencia de presas y embalses.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Arlegui, L. y Simón J.L. (2000). Fracturación y campos de esfuerzo en el Cuaternario del sector central de la cuenca del Ebro (NE de España). *Rev. C y G*, 14(1-2): 11-20.
- Bishop, A. W. (1995). The use of the slip circle in the stability análisis of earth slopes. *Geotechnique*, 5 (1): 7-71. <https://doi.org/10.1680/geot.1955.5.1.7>
- C.N.I.G (2023). Centro de Descargas del CNIG: <http://centrodedescargas.cnig.es/>
- E. Hoek, C. Carracza-Torres y B. Corkum (2002). *El criterio de rotura de Hoek-Brown-Edición 2002*.
- Gobierno de España, Instituto Geográfico Nacional: <https://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>, [consulta realizada en fecha 05/10/2022].
- González de Vallejo, L., Ferrer, M. y Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Pearson Education, Madrid. ISBN: 84-205-3104-9
- Hoek, E. y Brown, E.T. (1997). Practical estimates of rock mass strength. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol 34, No 8, 1997, pages 1165-1186.
- Marinos, V., Marinos, P.G. y Hoek, E. (2005). The geological strength index: applications and limitations. *Bulleting of Engineering Geology and Environment Geolical* (2005) 64: 55-65 DOI 10.107/s10064-004-0270-5.
- Meigh, A.C. y Nixon, I.K. (1961). Comparison of in situ tests for granular soils», *Proceedings FiJth International Conference on Soil*. Disponible en: <https://scholar.google.es/scholar?hl=es&q=Meigh+y+Nixon+%281961%29&btnG=&lr>
- Ministerio de Fomento (2002) b. *Norma de Construcción Sismorresistente: Parte General y de Edificación (NCE-02)*. Real Decreto 997/2002 de 27 de septiembre. Publicado en BOE de 11 de octubre de 2002.
- Ministerio de Fomento (2012). *Actualización de Mapas de Peligrosidad Sísmica de España*. Instituto Geográfico Nacional.
- Ministerio de Fomento (2019) CTE-SE-C-Seguridad estructural Cimientos, *Boletín Oficial del Estado*. Real Decreto 732/2019, de 20 de diciembre.
- Ministerio de la Presidencia, Relaciones con las Cortes y Memoria Democrática (2021). *Real Decreto 264/2021 de 13 de abril, por el que se aprueban las normas técnicas de seguridad para las presas y sus embalses*. Publicado en BOE 14 de abril de 2021.

Navarro, J.J., Ramírez, J.I., Arlegui, L., Liesa, C., Rodríguez, R., Gracia, A. y Hernández, A. (1998). Memoria explicativa de Fraga (387). Instituto Geológico y Minero de España, Madrid. ISBN: 84-7840-328-0.

NLT-254/99. Ensayo de colapso en suelos.

Pérez, H. y Trinidad, J. (2004). Cuencas Cenozoicas. En: "Geología de España". Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, pp. 531-586. ISBN 978-84-7840-546-6. Porras, M., Nieto, P., Alvarez-Fernandez, C., Fernandez, U. y Gimeno, M.V., (1985). Calidad y contaminación de las aguas subterráneas en España. Informe de Síntesis, Tomo II Anejos. Instituto Geológico y Minero de España.

Ramírez, J.I. (1991). Mapa Geomorfológico de la hoja nº 387 (Fraga) del Mapa Geológico de España a escala 1.50.000. Segunda serie (Magna). Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.

Robador, A., Ramajo, J., Muñoz, A., Pérez, A., Luzón A., Arenas, C. y González A. Mapa Geológico Digital continuo E. 1:50.000, Zona Cuenca Del Ebro (Zona-2700). en GEODE. Mapa Geológico Digital continuo de España.[en línea]. [15/05/2023]. Disponible en: <http://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/geodezona.aspx?Id=Z2700>.

Rodríguez, R. (1991). Informe hidrogeológico de la hoja nº 387 (Fraga) del Mapa Geológico de España a escala 1.50.000. Segunda serie (Magna). Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.

Sancho, C., Peña, J.L., Lewis, E., Mcdonal E., Rhodes, E.L., Pueyo. y Gosse, J. (2007). Cronología del sistema de terrazas cuaternarias en la cuenca del rio Cinca (Pirineos y depresión de ebro). Resúmenes XIII Reunión Nacional de Cuaternario, Ávila (2007).

Soriano Peña, A. y Piñeiro Díaz, E. (2006). Rom0.5-05: Recomendaciones Geotécnicas para Obras Maritimas y Portuarias. Madrid: Puertos del estado. ISBN: 978848897552.

UNE-EN 103501: 1994. Geotecnia. Ensayo de compactación Proctor modificado. UNE-EN 103101:1995. Análisis granulométrico de suelos por tamizado.

UNE-EN 103103:1994. Determinación del límite líquido de un suelo por el método del aparato de Casagrande.

UNE-EN 103104: 1994. Determinación del límite plástico de un suelo.

UNE-EN 103204:1993. Determinación del contenido de materia orgánica oxidable de un suelo por el método del permanganato potásico.

UNE-EN 103206:2003. Determinación del contenido en yeso soluble de un suelo.

UNE-EN 103300: 1993. Determinación de la humedad de un suelo mediante secado en estufa.

UNE-EN 103301:1994. Determinación de la densidad de un suelo. Método de la balanza hidrostática.

UNE-EN 103400:1993. Ensayo de rotura a compresión simple en probeta de suelo.

UNE-EN 103401:1998. Determinación de los parámetros resistentes al esfuerzo cortante de una muestra de suelo en la caja de corte directo.

UNE-EN 103502: 1995. Método de ensayo para determinar el laboratorio el índice C.B.R. de un suelo.

UNE-EN 103205205:2006. Ensayo del contenido de sales solubles de un suelo.

UNE-EN ISO 22476-3:2006. Investigación y ensayos geotécnicos. Ensayos de campo. Parte 3: Ensayos de penetración estándar.

Vera, J.A. (2004). Geología de España. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid. ISBN: 8478405461.

Weatherspark: <https://es.weatherspark.com/y/43032/Clima-promedio-en-Fraga-Espa%C3%B1a-durante-todo-el-a%C3%B1o>, [consulta realizada en fecha 05/10/2023]

ANEXO 1: Actas de laboratorio

PETICIONARIO:	C.T.A. CONSULTORES
OBRA:	EMBALSE DE FRAGA
MATERIAL:	Suelo
PROCEDENCIA:	SONDEO Nº 1
RECOGIDA:	Sondeo nº 1 / Muestra Inalterada nº 1 (1,20 m a 1,80 m de profundidad)

ENSAYOS REALIZADOS:

- 1.- Análisis granulométrico de suelos por tamizado s/UNE 103-101:95
- 2.- Determinación del límite líquido de un suelo por el método del aparato de Casagrande s/UNE 103-103:94
Determinación del límite plástico de un suelo s/UNE 103-104:93
- 3.- Determinación de la humedad de un suelo mediante secado en estufa s/UNE 103-300:93
- 4.- Determinación de la densidad de un suelo, método de la balanza hidrostática s/UNE 103-301:94
- 5.- Determinación de los parámetros resistentes al esfuerzo cortante de una muestra de suelo en la caja de corte directo s/ UNE 103-401:98

MATERIAL DESPUÉS DE ANALIZADO:

ARCILLAS

-

CLASIFICACIÓN SEGÚN CASAGRANDE:

CL: Arcillas inorgánicas de media plasticidad.

NORMATIVA APLICADA

Artículo 330 del PG3-2002

EL RESPONSABLE TECNICO DE LOS ENSAYOS

Vº Bº
EL DIRECTOR DE LABORATORIO

Fdo. Luis A. Mercadillo Parrilla
Técnico de Laboratorio

Fdo. José María Bruna Muñoz
Ingeniero Téc. Forestal

* ENSAYOS ACREDITADOS POR LA CONSEJERÍA DE ORDENACIÓN DEL TERRITORIO Y VIVIENDA DE CASTILLA LA MANCHA EN LOS GRUPOS DE ENSAYOS DE:

- (EH) ENSAYOS DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL
- (VS) ENSAYOS DE VIALES.
- (GT) ENSAYOS DE GEOTECNIA
- (EA) ENSAYOS DE CONTROL DE SOLDADURAS
- MIEMBRO DE LA ASOCIACIÓN DE LABORATORIOS ACREDITADOS EN CASTILLA LA MANCHA (ALCAMAN)
- IMPLANTACIÓN DEL SISTEMA ISO 17025
- Inscrita en el Registro Mercantil de Cuenca, Tomo 393, Libro 0, Folio 98, Hoja CU-5367, Fecha 05-09-03, CIF: B-16223380
- Este informe sólo afecta a los objetos sometidos al ensayo, no pudiéndose extrapolar más allá de la muestra realizada.
- No deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio de ensayo.

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS:

1.- Análisis granulométrico de suelos por tamizado s/UNE 103-101:95

CERNIDO POR EL TAMIZ 20 mm.....	100
CERNIDO POR EL TAMIZ 0.080 mm.....	89,7

2.- Determinación del límite líquido de un suelo por el método del aparato de Casagrande s/UNE 103-103:94

Determinación del límite plástico de un suelo s/UNE 103-104:93

LÍMITE LÍQUIDO.....	33,7
LÍMITE PLÁSTICO.....	25,5
ÍNDICE DE PLASTICIDAD.....	8,2

3.- Determinación de la humedad de un suelo mediante secado en estufa s/UNE 103-300:93

HUMEDAD NATURAL (%):	23,8
----------------------------	------

4.- Determinación de la densidad de un suelo, método de la balanza hidrostática s/UNE 103-301:94

DENSIDAD SECA (g/cm ³)	1,65
DENSIDAD HÚMEDA (g/cm ³)	2,04

5.- Determinación de los parámetros resistentes al esfuerzo cortante de una muestra de suelo en la caja de corte directo s/ UNE 103-401:98

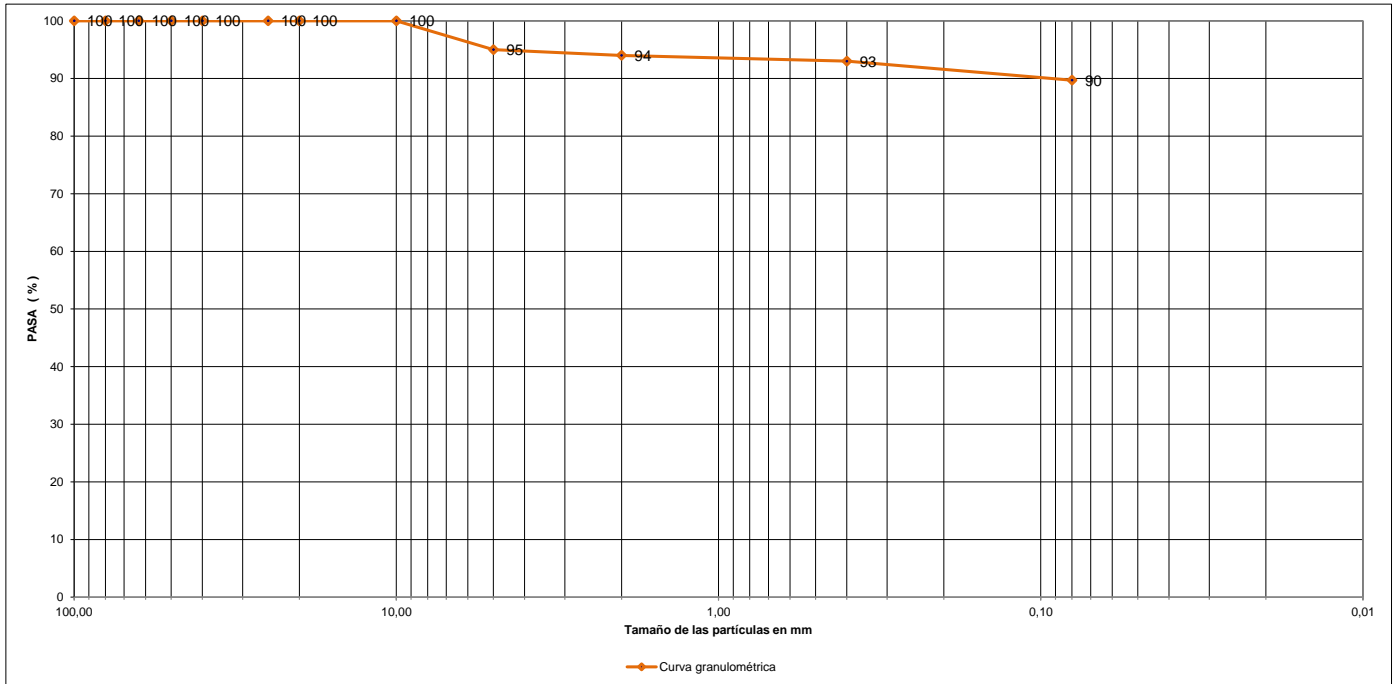
COHESIÓN (KPa):	60,47
	0,60
	6,05
ANGULO ROZAMIENTO INTERNO	26,74



REPRESENTACIONES GRÁFICAS

1.- Análisis granulométrico de suelos por tamizado s/UNE 103-101:95

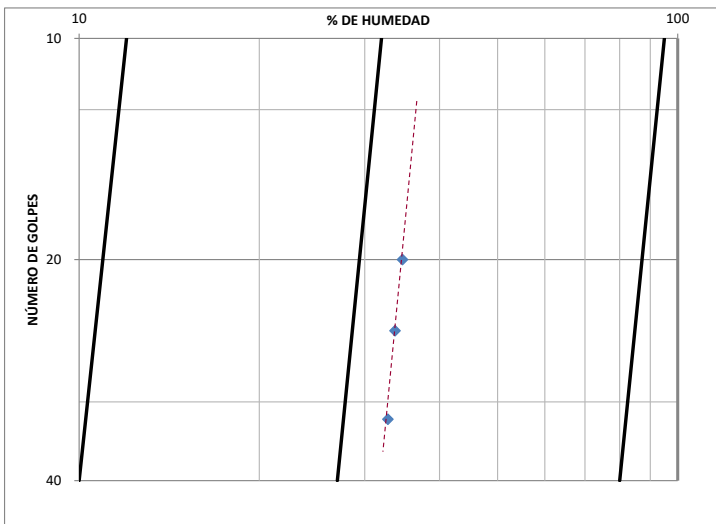
Tamices UNE (mm)	100	50	40	25	20	10	5	2	0,40	0,080
% pasa	100	100	100	100	100	100	95	94	93	89,7



GRAVA %	5	ARENA %	5,3	FINOS	89,7
	↓	ARENA FINA (%)	3,3	% PASE TAMIZ 0,08 UNE	
Mayor		ARENA GRUESA (%)	2	% FRACCIÓN GRUESA	10,3
Menor	X		⇒⇒	50% FRACCIÓN GRUESA	5,15

2.- Determinación del límite líquido de un suelo por el método del aparato de Casagrande s/UNE 103-103:94

Determinación del límite plástico de un suelo s/UNE 103-104:93



LIMITE LIQUIDO :	33,7
LIMITE PLASTICO :	25,5
I. DE PLASTICIDAD :	8,2

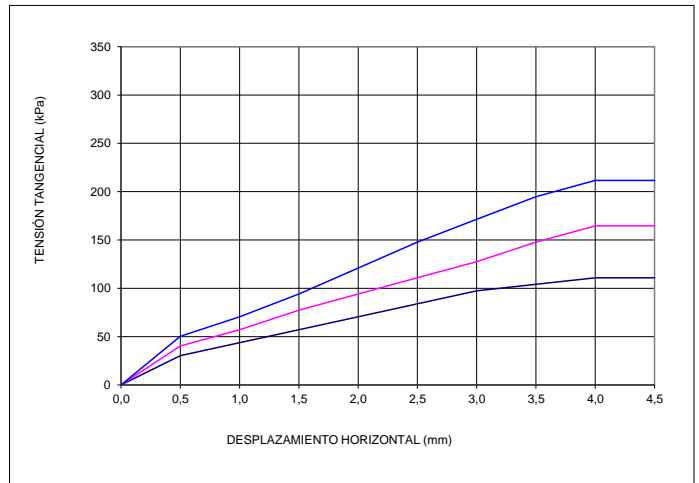
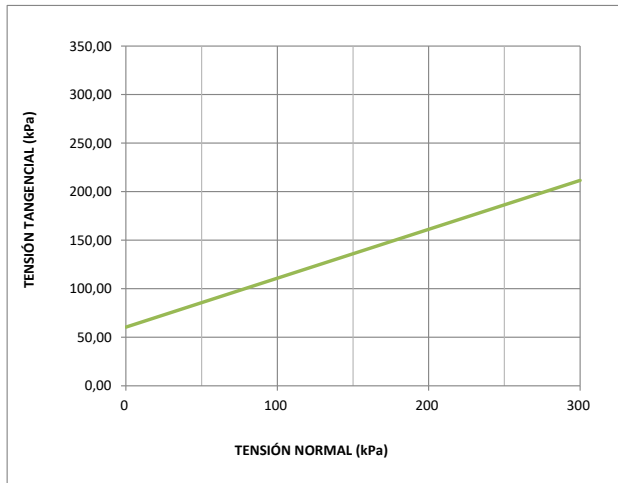


5.- Determinación de los parámetros resistentes al esfuerzo cortante de una muestra de suelo en la caja de corte directo s/ UNE 103-401:98

PROBETA Nº	1	2	3
HUMEDAD INICIAL (%)	23,8	23,8	23,8
HUMEDAD FINAL (%)	23,8	23,8	23,8
DENSIDAD SECA (g/cm³)	1,65	1,65	1,65

TIPO DE ENSAYO	CD (SCONSOLIDADA - DRENADA)
TIPO DE PROBETA	INALTERADA - TALLADA
TIPO DE CÉLULAS	CILÍNDRICAS
V. DEFORMACIÓN	1.0 mm/min
ÁREA INICIAL PROBETA (mm²)	1963,5
VOLUMEN INICIAL PROBETA (cm³)	39,27

TENSIÓN NORMAL (kPa)	100	200	300
TENSIÓN TANGENCIAL (kPa)	110,9	161,2	211,6



COHESIÓN	Kpa	60,5
	Kp/cm²	0,60
	t/m²	6,05
ÁNGULO DE ROZAMIENTO INTERNO (°)		26,7



PETICIONARIO:	C.T.A. CONSULTORES
OBRA:	EMBALSE DE FRAGA
MATERIAL:	Suelo
PROCEDENCIA:	SONDEO Nº 1
RECOGIDA:	Sondeo nº 1 / Muestra Inalterada nº 2 (6,00 m a 6,60 m de profundidad)

ENSAYOS REALIZADOS:

- 1.- Análisis granulométrico de suelos por tamizado s/UNE 103-101:95
- 2.- Determinación del límite líquido de un suelo por el método del aparato de Casagrande s/UNE 103-103:94
Determinación del límite plástico de un suelo s/UNE 103-104:93
- 3.- Determinación de la humedad de un suelo mediante secado en estufa s/UNE 103-300:93
- 4.- Determinación de la densidad de un suelo, método de la balanza hidrostática s/UNE 103-301:94
- 5.- Determinación de los parámetros resistentes al esfuerzo cortante de una muestra de suelo en la caja de corte directo s/ UNE 103-401:98

MATERIAL DESPUÉS DE ANALIZADO:

ARCILLAS UN POCO ARENOSAS CON ALGO DE GRAVA

-

CLASIFICACIÓN SEGÚN CASAGRANDE:

CL: Arcillas inorgánicas de media plasticidad.

NORMATIVA APLICADA

Artículo 330 del PG3-2002

EL RESPONSABLE TÉCNICO DE LOS ENSAYOS

Vº Bº
EL DIRECTOR DE LABORATORIO

Fdo. Luis A. Mercadillo Parrilla
Técnico de Laboratorio

Fdo. José María Bruna Muñoz
Ingeniero Téc. Forestal

* ENSAYOS ACREDITADOS POR LA CONSEJERÍA DE ORDENACIÓN DEL TERRITORIO Y VIVIENDA DE CASTILLA LA MANCHA EN LOS GRUPOS DE ENSAYOS DE:

- (EH) ENSAYOS DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL
- (VS) ENSAYOS DE VIALES.
- (GT) ENSAYOS DE GEOTECNIA
- (EA) ENSAYOS DE CONTROL DE SOLDADURAS
- MIEMBRO DE LA ASOCIACIÓN DE LABORATORIOS ACREDITADOS EN CASTILLA LA MANCHA (ALCAMAN)
- IMPLANTACIÓN DEL SISTEMA ISO 17025
- Inscrita en el Registro Mercantil de Cuenca, Tomo 393, Libro 0, Folio 98, Hoja CU-5367, Fecha 05-09-03, CIF: B-16223380
- Este informe sólo afecta a los objetos sometidos al ensayo, no pudiéndose extrapolar más allá de la muestra realizada.
- No deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio de ensayo.

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS:

1.- Análisis granulométrico de suelos por tamizado s/UNE 103-101:95

CERNIDO POR EL TAMIZ 20 mm.....	100
CERNIDO POR EL TAMIZ 0.080 mm.....	72,6

2.- Determinación del límite líquido de un suelo por el método del aparato de Casagrande s/UNE 103-103:94

Determinación del límite plástico de un suelo s/UNE 103-104:93

LÍMITE LÍQUIDO.....	35,0
LÍMITE PLÁSTICO.....	24,8
ÍNDICE DE PLASTICIDAD.....	10,2

3.- Determinación de la humedad de un suelo mediante secado en estufa s/UNE 103-300:93

HUMEDAD NATURAL (%):	25,2
----------------------------	------

4.- Determinación de la densidad de un suelo, método de la balanza hidrostática s/UNE 103-301:94

DENSIDAD SECA (g/cm ³)	1,68
DENSIDAD HÚMEDA (g/cm ³)	2,10

5.- Determinación de los parámetros resistentes al esfuerzo cortante de una muestra de suelo en la caja de corte directo s/ UNE 103-401:98

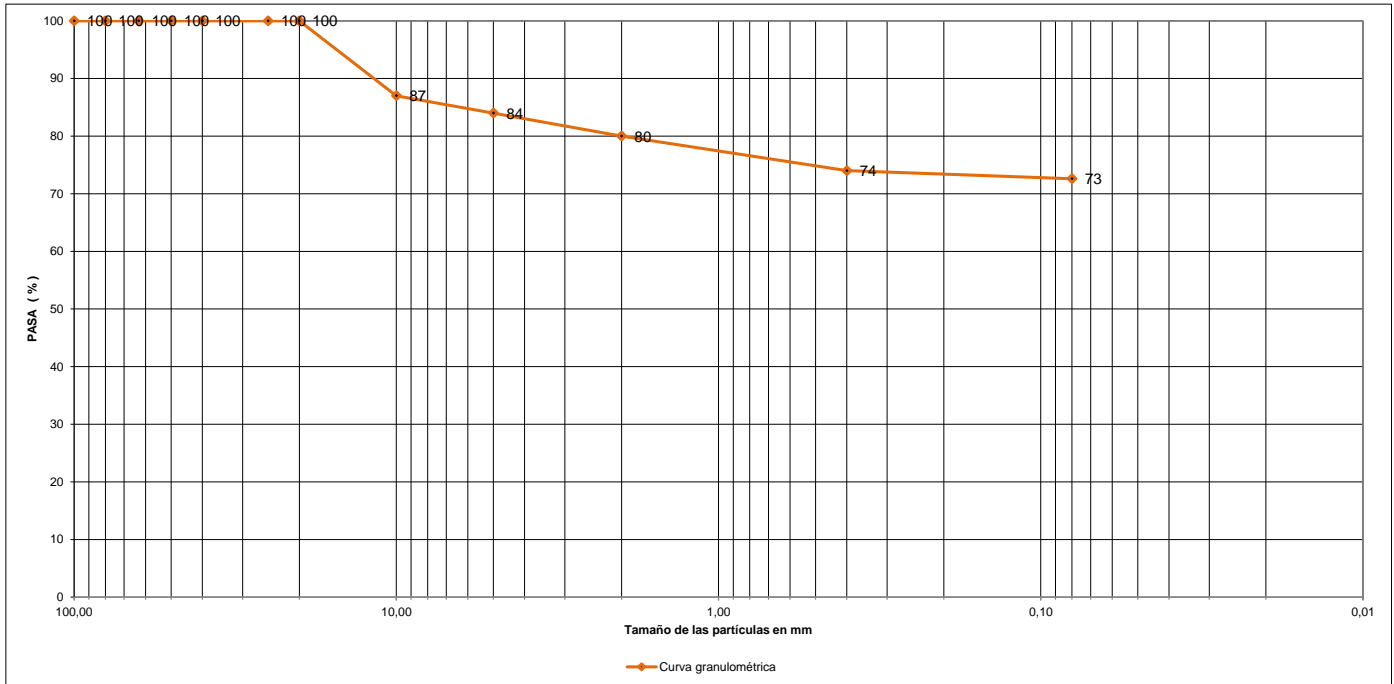
COHESIÓN (KPa):	85,66
	0,86
	8,57
ANGULO ROZAMIENTO INTERNO	27,51



REPRESENTACIONES GRÁFICAS

1.- Análisis granulométrico de suelos por tamizado s/UNE 103-101:95

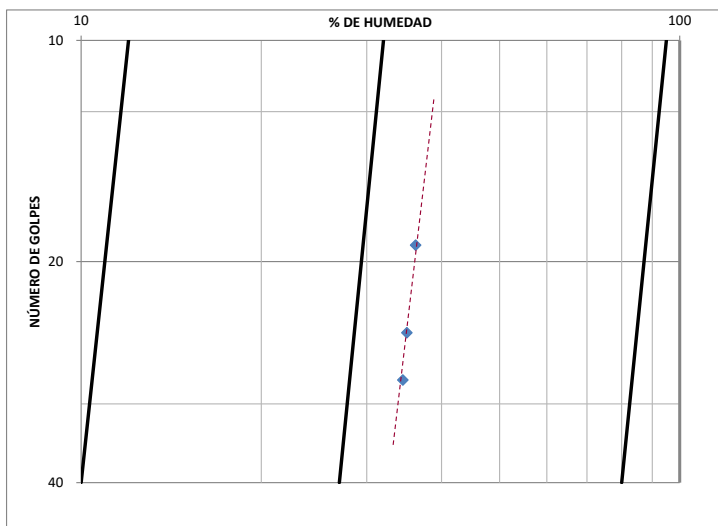
Tamices UNE (mm)	100	50	40	25	20	10	5	2	0,40	0,080
% pasa	100	100	100	100	100	87	84	80	74	72,6



GRAVA %	16	ARENA %	11,4	FINOS	72,6
	↓	ARENA FINA (%)	1,4	% PASE TAMIZ 0,08 UNE	
Mayor		ARENA GRUESA (%)	10	% FRACCIÓN GRUESA	27,4
Menor	X		⇒⇒	50% FRACCIÓN GRUESA	13,7

2.- Determinación del límite líquido de un suelo por el método del aparato de Casagrande s/UNE 103-103:94

Determinación del límite plástico de un suelo s/UNE 103-104:93



LIMITE LIQUIDO :	35,0
LIMITE PLASTICO :	24,8
I. DE PLASTICIDAD :	10,2

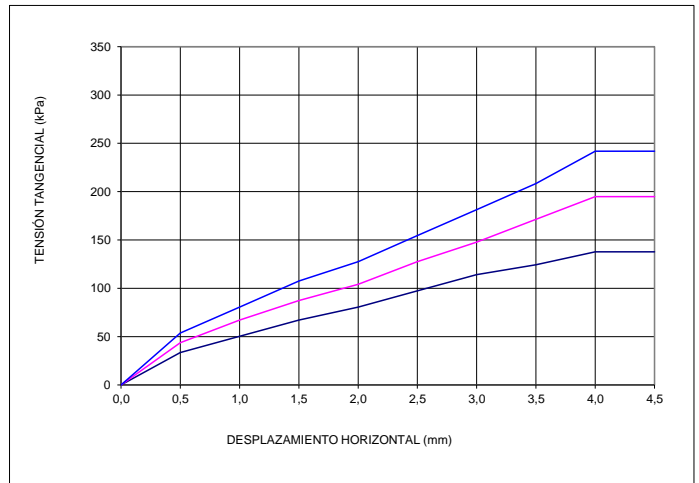
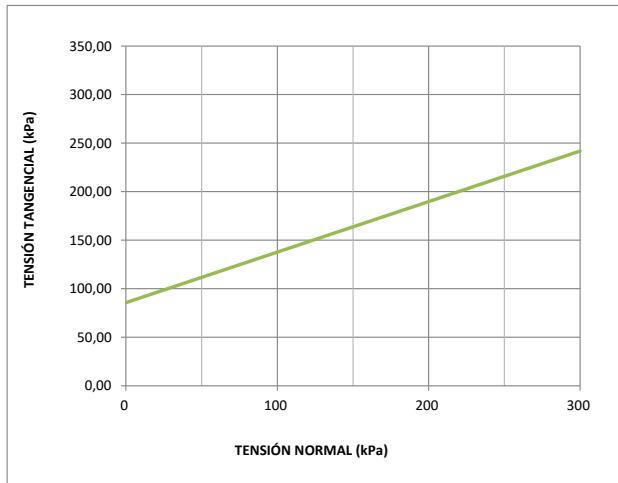


5.- Determinación de los parámetros resistentes al esfuerzo cortante de una muestra de suelo en la caja de corte directo s/ UNE 103-401:98

PROBETA Nº	1	2	3
HUMEDAD INICIAL (%)	25,2	25,2	25,2
HUMEDAD FINAL (%)	25,2	25,2	25,2
DENSIDAD SECA (g/cm³)	1,68	1,68	1,68

TIPO DE ENSAYO	CD (SCONSOLIDADA - DRENADA)
TIPO DE PROBETA	INALTERADA - TALLADA
TIPO DE CÉLULAS	CILÍNDRICAS
V. DEFORMACIÓN	1.0 mm/min
ÁREA INICIAL PROBETA (mm²)	1963,5
VOLUMEN INICIAL PROBETA (cm³)	39,27

TENSIÓN NORMAL (kPa)	100	200	300
TENSIÓN TANGENCIAL (kPa)	137,7	189,8	241,9



COHESIÓN	Kpa	85,7
	Kp/cm²	0,86
	t/m²	8,57
ÁNGULO DE ROZAMIENTO INTERNO (°)		27,5



PETICIONARIO:	C.T.A. CONSULTORES
OBRA:	EMBALSE DE FRAGA
MATERIAL:	Suelo
PROCEDENCIA:	SONDEO Nº 1
RECOGIDA:	Sondeo nº 1 / Muestra Inalterada nº 3 (12,00 m a 12,60 m de profundidad)

ENSAYOS REALIZADOS:

- 1.- Análisis granulométrico de suelos por tamizado s/UNE 103-101:95
- 2.- Determinación del límite líquido de un suelo por el método del aparato de Casagrande s/UNE 103-103:94
Determinación del límite plástico de un suelo s/UNE 103-104:93
- 3.- Determinación de la humedad de un suelo mediante secado en estufa s/UNE 103-300:93
- 4.- Determinación de la densidad de un suelo, método de la balanza hidrostática s/UNE 103-301:94
- 5.- Determinación de los parámetros resistentes al esfuerzo cortante de una muestra de suelo en la caja de corte directo s/ UNE 103-401:98

MATERIAL DESPUÉS DE ANALIZADO:

ARCILLAS ALGO ARENOSAS

-

CLASIFICACIÓN SEGÚN CASAGRANDE:

CL: Arcillas inorgánicas de media plasticidad.

NORMATIVA APLICADA

Artículo 330 del PG3-2002

EL RESPONSABLE TECNICO DE LOS ENSAYOS

Vº Bº
EL DIRECTOR DE LABORATORIO

Fdo. Luis A. Mercadillo Parrilla
Técnico de Laboratorio

Fdo. José María Bruna Muñoz
Ingeniero Téc. Forestal

* ENSAYOS ACREDITADOS POR LA CONSEJERÍA DE ORDENACIÓN DEL TERRITORIO Y VIVIENDA DE CASTILLA LA MANCHA EN LOS GRUPOS DE ENSAYOS DE:

- (EH) ENSAYOS DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL
- (VS) ENSAYOS DE VIALES.
- (GT) ENSAYOS DE GEOTECNIA
- (EA) ENSAYOS DE CONTROL DE SOLDADURAS
- MIEMBRO DE LA ASOCIACIÓN DE LABORATORIOS ACREDITADOS EN CASTILLA LA MANCHA (ALCAMAN)
- IMPLANTACIÓN DEL SISTEMA ISO 17025
- Inscrita en el Registro Mercantil de Cuenca, Tomo 393, Libro 0, Folio 98, Hoja CU-5367, Fecha 05-09-03, CIF: B-16223380
- Este informe sólo afecta a los objetos sometidos al ensayo, no pudiéndose extrapolar más allá de la muestra realizada.
- No deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio de ensayo.

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS:

1.- Análisis granulométrico de suelos por tamizado s/UNE 103-101:95

CERNIDO POR EL TAMIZ 20 mm.....	100
CERNIDO POR EL TAMIZ 0.080 mm.....	79,0

2.- Determinación del límite líquido de un suelo por el método del aparato de Casagrande s/UNE 103-103:94

Determinación del límite plástico de un suelo s/UNE 103-104:93

LÍMITE LÍQUIDO.....	33,7
LÍMITE PLÁSTICO.....	26,7
ÍNDICE DE PLASTICIDAD.....	7,0

3.- Determinación de la humedad de un suelo mediante secado en estufa s/UNE 103-300:93

HUMEDAD NATURAL (%):	26,7
----------------------------	------

4.- Determinación de la densidad de un suelo, método de la balanza hidrostática s/UNE 103-301:94

DENSIDAD SECA (g/cm ³)	1,66
DENSIDAD HÚMEDA (g/cm ³)	2,10

5.- Determinación de los parámetros resistentes al esfuerzo cortante de una muestra de suelo en la caja de corte directo s/ UNE 103-401:98

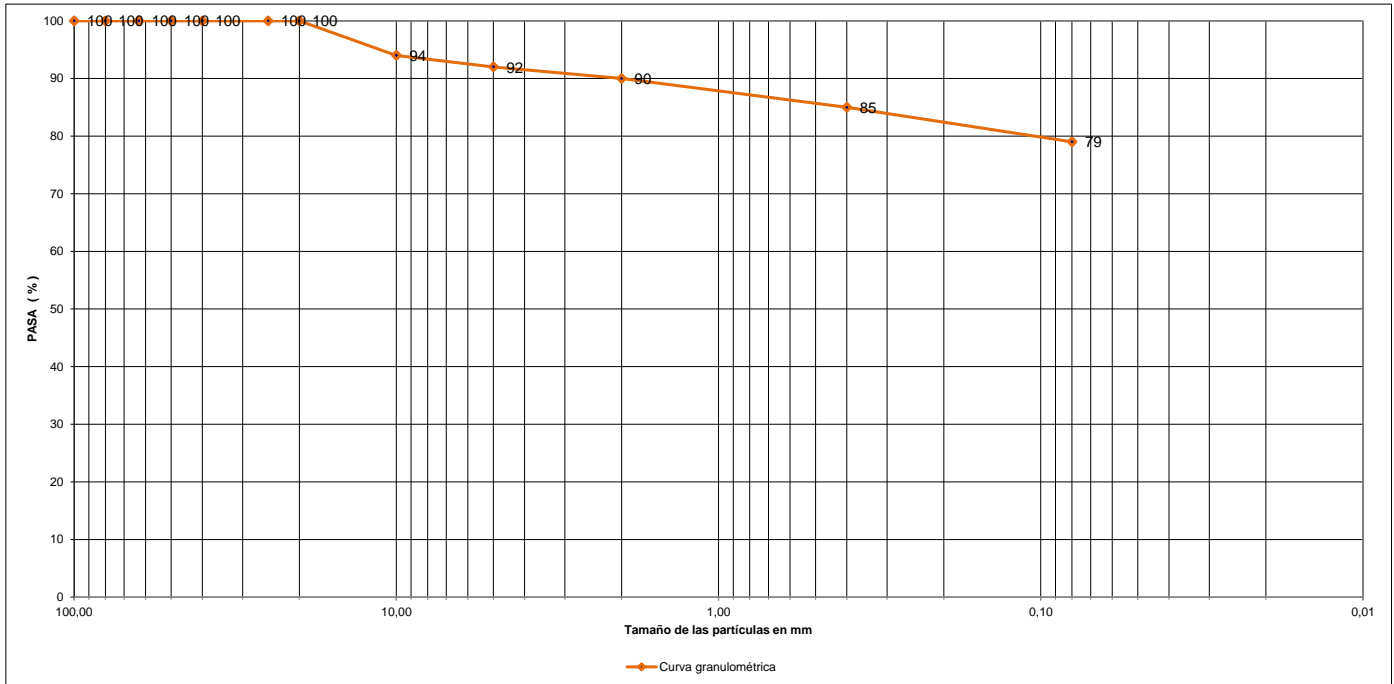
COHESIÓN (KPa):	70,55
	0,71
	7,05
ANGULO ROZAMIENTO INTERNO	28,26



REPRESENTACIONES GRÁFICAS

1.- Análisis granulométrico de suelos por tamizado s/UNE 103-101:95

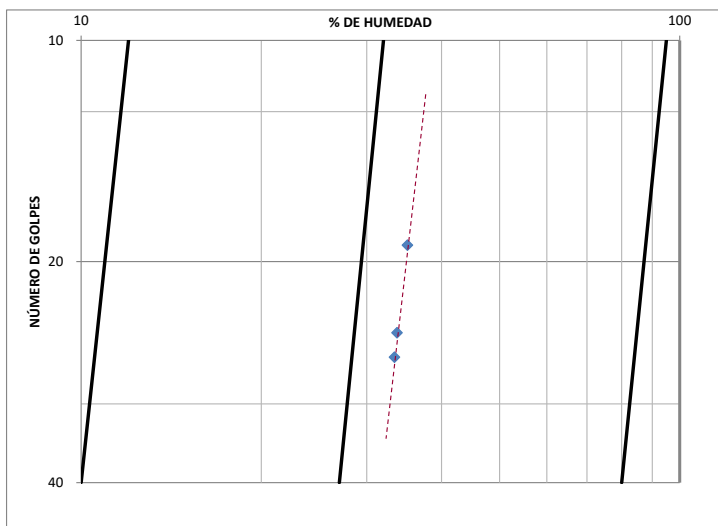
Tamices UNE (mm)	100	50	40	25	20	10	5	2	0,40	0,080
% pasa	100	100	100	100	100	94	92	90	85	79,0



GRAVA %	8	ARENA %	13	FINOS	79
	↓	ARENA FINA (%)	6	% PASE TAMIZ 0,08 UNE	
Mayor		ARENA GRUESA (%)	7	% FRACCIÓN GRUESA	21
Menor	X		→→	50% FRACCIÓN GRUESA	10,5

2.- Determinación del límite líquido de un suelo por el método del aparato de Casagrande s/UNE 103-103:94

Determinación del límite plástico de un suelo s/UNE 103-104:93



LIMITE LIQUIDO :	33,7
LIMITE PLASTICO :	26,7
I. DE PLASTICIDAD :	7,0

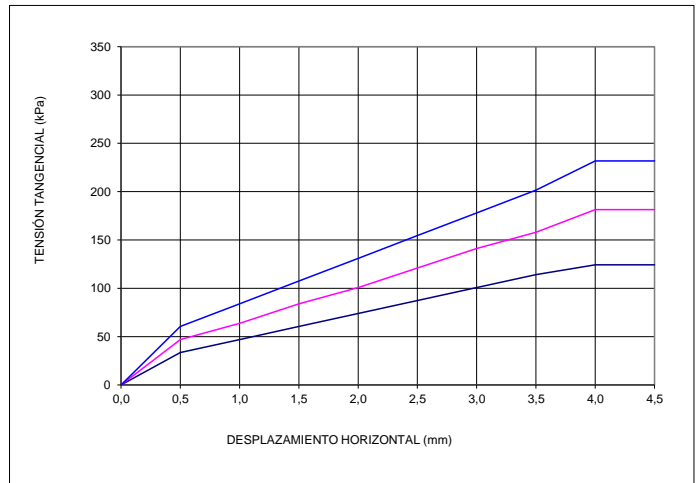
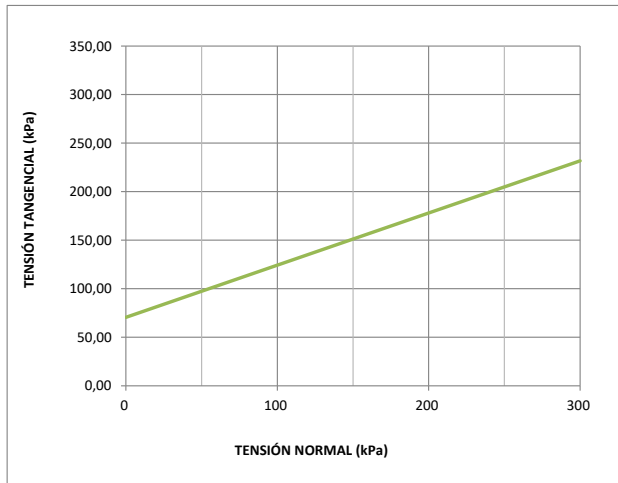


5.- Determinación de los parámetros resistentes al esfuerzo cortante de una muestra de suelo en la caja de corte directo s/ UNE 103-401:98

PROBETA Nº	1	2	3
HUMEDAD INICIAL (%)	26,7	26,7	26,7
HUMEDAD FINAL (%)	26,7	26,7	26,7
DENSIDAD SECA (g/cm ³)	1,66	1,66	1,66

TIPO DE ENSAYO	CD (SCONSOLIDADA - DRENADA)
TIPO DE PROBETA	INALTERADA - TALLADA
TIPO DE CÉLULAS	CILÍNDRICAS
V. DEFORMACIÓN	1.0 mm/min
ÁREA INICIAL PROBETA (mm ²)	1963,5
VOLUMEN INICIAL PROBETA (cm ³)	39,27

TENSIÓN NORMAL (kPa)	100	200	300
TENSIÓN TANGENCIAL (kPa)	124,3	178,0	231,8



COHESIÓN	Kpa	70,5
	Kp/cm ²	0,71
	t/m ²	7,05
ÁNGULO DE ROZAMIENTO INTERNO (°)		28,3



PETICIONARIO:	C.T.A. CONSULTORES
OBRA:	EMBALSE DE FRAGA
MATERIAL:	Suelo
PROCEDENCIA:	SONDEO Nº 1
RECOGIDA:	Sondeo nº 1 / TP-2 (18,00 m - 18,20 m de profundidad)

ENSAYOS REALIZADOS:

- 1.- Ensayo de rotura a compresión simple en probetas de suelo s/UNE 103-400

MATERIAL DESPUÉS DE ANALIZADO:

ARCILLAS MUY COMPACTAS

CLASIFICACIÓN SEGÚN CASAGRANDE:

NORMATIVA APLICADA

Artículo 330 del PG3-2002

EL RESPONSABLE TECNICO DE LOS ENSAYOS

Vº Bº
EL DIRECTOR DE LABORATORIO

Fdo. Luis A. Mercadillo Parrilla
Técnico de Laboratorio

Fdo. José María Bruna Muñoz
Ingeniero Téc. Forestal

* ENSAYOS ACREDITADOS POR LA CONSEJERÍA DE ORDENACIÓN DEL TERRITORIO Y VIVIENDA DE CASTILLA LA MANCHA EN LOS GRUPOS DE ENSAYOS DE:

- (EH) ENSAYOS DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL
- (VS) ENSAYOS DE VIALES.
- (GT) ENSAYOS DE GEOTECNIA
- (EA) ENSAYOS DE CONTROL DE SOLDADURAS
- MIEMBRO DE LA ASOCIACIÓN DE LABORATORIOS ACREDITADOS EN CASTILLA LA MANCHA (ALCAMAN)
- IMPLANTACION DEL SISTEMA ISO 17025
- Inscrita en el Registro Mercantil de Cuenca, Tomo 393, Libro 0, Folio 98, Hoja CU-5367, Fecha 05-09-03, CIF: B-16223380
- Este informe sólo afecta a los objetos sometidos al ensayo, no pudiéndose extrapolar más allá de la muestra realizada.
- No deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio de ensayo.

1.- Ensayo de rotura a compresión simple en probetas de suelo s/UNE 103-400

DATOS DE LA PROBETA

FORMA	CILÍNDRICA
DIÁMETRO (mm)	71,8
LADO 1 (mm) - l ₁	-
LADO 2 (mm) - l ₂	-
ALTURA (cm) - h	14,3
ÁREA (mm ²) - A	4048,925496
VOLUMEN (cm ³) - V	578,996

HUMEDAD (%)	7,6
DENSIDAD HÚMEDA (g/cm ³)	2,38
DENSIDAD SECA (g/cm ³)	2,22
muestra de la parte del centro	

IMAGEN DE LA ROTURA



RESISTENCIA (Kp/cm ²)	48,65
RESISTENCIA (kPa)	4865
RESISTENCIA (N/mm ²)	4,86
DEFORMACIÓN EN ROTURA (mm)	4,50
DEFORMACIÓN EN ROTURA (%)	3,15



PETICIONARIO:	C.T.A. CONSULTORES
OBRA:	EMBALSE DE FRAGA
MATERIAL:	Suelo
PROCEDENCIA:	SONDEO Nº 1
RECOGIDA:	Sondeo nº 1 / TP-4 (21,30 m - 21,50 m de profundidad)

ENSAYOS REALIZADOS:

- 1.- Ensayo de rotura a compresión simple en probetas de suelo s/UNE 103-400

MATERIAL DESPUÉS DE ANALIZADO:

ARCILLAS MUY COMPACTAS

CLASIFICACIÓN SEGÚN CASAGRANDE:

NORMATIVA APLICADA

Artículo 330 del PG3-2002

EL RESPONSABLE TECNICO DE LOS ENSAYOS

Vº Bº
EL DIRECTOR DE LABORATORIO

Fdo. Luis A. Mercadillo Parrilla
Técnico de Laboratorio

Fdo. José María Bruna Muñoz
Ingeniero Téc. Forestal

* ENSAYOS ACREDITADOS POR LA CONSEJERÍA DE ORDENACIÓN DEL TERRITORIO Y VIVIENDA DE CASTILLA LA MANCHA EN LOS GRUPOS DE ENSAYOS DE:

- (EH) ENSAYOS DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL
- (VS) ENSAYOS DE VIALES.
- (GT) ENSAYOS DE GEOTECNIA
- (EA) ENSAYOS DE CONTROL DE SOLDADURAS
- MIEMBRO DE LA ASOCIACIÓN DE LABORATORIOS ACREDITADOS EN CASTILLA LA MANCHA (ALCAMAN)
- IMPLANTACION DEL SISTEMA ISO 17025
- Inscrita en el Registro Mercantil de Cuenca, Tomo 393, Libro 0, Folio 98, Hoja CU-5367, Fecha 05-09-03, CIF: B-16223380
- Este informe sólo afecta a los objetos sometidos al ensayo, no pudiéndose extrapolar más allá de la muestra realizada.
- No deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio de ensayo.

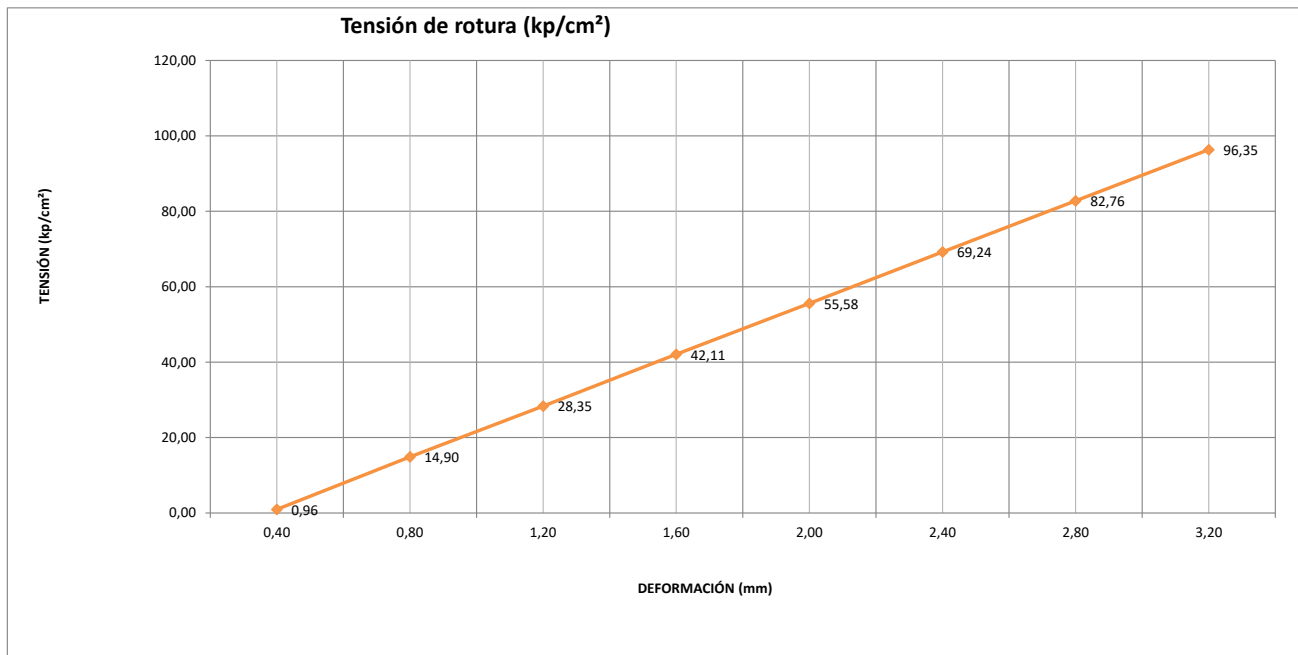
1.- Ensayo de rotura a compresión simple en probetas de suelo s/UNE 103-400

DATOS DE LA PROBETA

FORMA	CILÍNDRICA
DIÁMETRO (mm)	71,8
LADO 1 (mm) - l ₁	-
LADO 2 (mm) - l ₂	-
ALTURA (cm) - h	14,2
ÁREA (mm ²) - A	4048,925496
VOLUMEN (cm ³) - V	574,947

HUMEDAD (%)	6,8
DENSIDAD HÚMEDA (g/cm ³)	2,37
DENSIDAD SECA (g/cm ³)	2,22
muestra de la parte del centro	

IMAGEN DE LA ROTURA



RESISTENCIA (Kp/cm ²)	96,35
RESISTENCIA (kPa)	9635
RESISTENCIA (N/mm ²)	9,63
DEFORMACIÓN EN ROTURA (mm)	3,20
DEFORMACIÓN EN ROTURA (%)	2,25



PETICIONARIO:	C.T.A. CONSULTORES
OBRA:	EMBALSE DE FRAGA
MATERIAL:	Suelo
PROCEDENCIA:	SONDEO Nº 1
RECOGIDA:	Sondeo nº 1 / TP-6 (25,20 m - 25,40 m de profundidad)

ENSAYOS REALIZADOS:

- 1.- Ensayo de rotura a compresión simple en probetas de suelo s/UNE 103-400

MATERIAL DESPUÉS DE ANALIZADO:

ARCILLAS MUY COMPACTAS

CLASIFICACIÓN SEGÚN CASAGRANDE:

NORMATIVA APLICADA

Artículo 330 del PG3-2002

EL RESPONSABLE TECNICO DE LOS ENSAYOS

Vº Bº
EL DIRECTOR DE LABORATORIO

Fdo. Luis A. Mercadillo Parrilla
Técnico de Laboratorio

Fdo. José María Bruna Muñoz
Ingeniero Téc. Forestal

* ENSAYOS ACREDITADOS POR LA CONSEJERÍA DE ORDENACIÓN DEL TERRITORIO Y VIVIENDA DE CASTILLA LA MANCHA EN LOS GRUPOS DE ENSAYOS DE:

- (EH) ENSAYOS DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL
- (VS) ENSAYOS DE VIALES.
- (GT) ENSAYOS DE GEOTECNIA
- (EA) ENSAYOS DE CONTROL DE SOLDADURAS
- MIEMBRO DE LA ASOCIACIÓN DE LABORATORIOS ACREDITADOS EN CASTILLA LA MANCHA (ALCAMAN)
- IMPLANTACION DEL SISTEMA ISO 17025
- Inscrita en el Registro Mercantil de Cuenca, Tomo 393, Libro 0, Folio 98, Hoja CU-5367, Fecha 05-09-03, CIF: B-16223380
- Este informe sólo afecta a los objetos sometidos al ensayo, no pudiéndose extrapolar más allá de la muestra realizada.
- No deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio de ensayo.

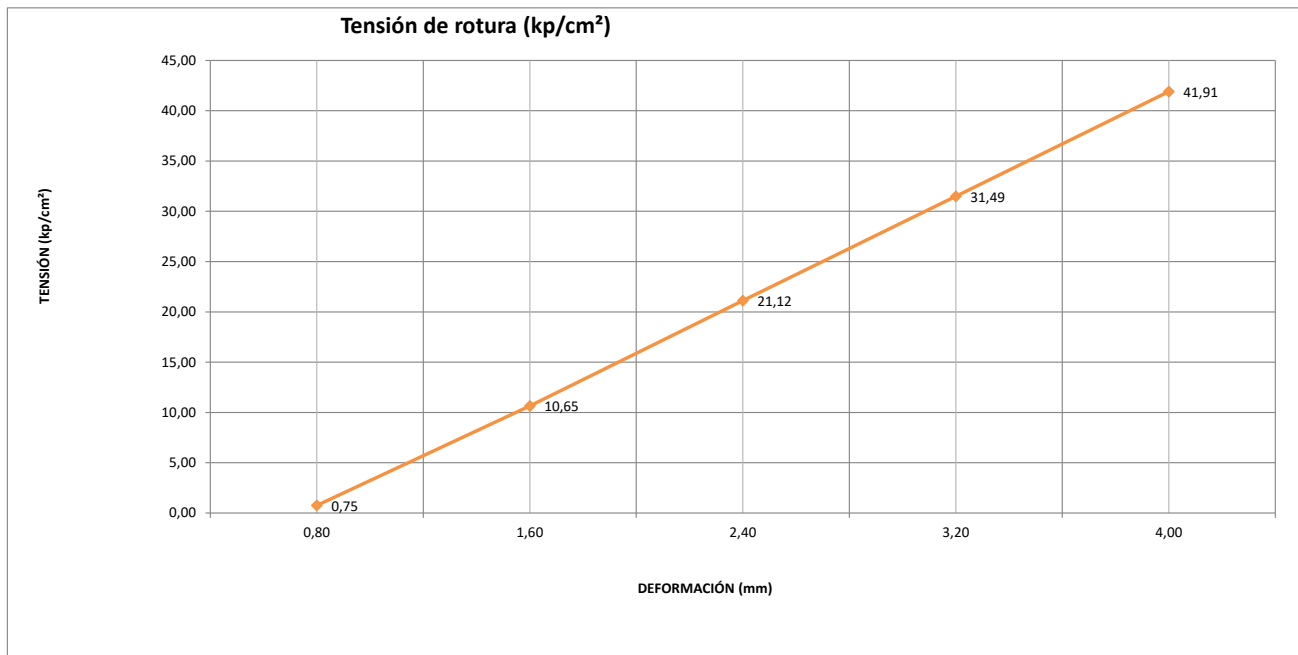
1.- Ensayo de rotura a compresión simple en probetas de suelo s/UNE 103-400

DATOS DE LA PROBETA

FORMA	CILÍNDRICA
DIÁMETRO (mm)	71,8
LADO 1 (mm) - l ₁	-
LADO 2 (mm) - l ₂	-
ALTURA (cm) - h	14
ÁREA (mm ²) - A	4048,925496
VOLUMEN (cm ³) - V	566,850

HUMEDAD (%)	7,2
DENSIDAD HÚMEDA (g/cm ³)	2,43
DENSIDAD SECA (g/cm ³)	2,27
muestra de la parte del centro	

IMAGEN DE LA ROTURA



RESISTENCIA (Kp/cm ²)	41,91
RESISTENCIA (kPa)	4191
RESISTENCIA (N/mm ²)	4,19
DEFORMACIÓN EN ROTURA (mm)	4,00
DEFORMACIÓN EN ROTURA (%)	2,86



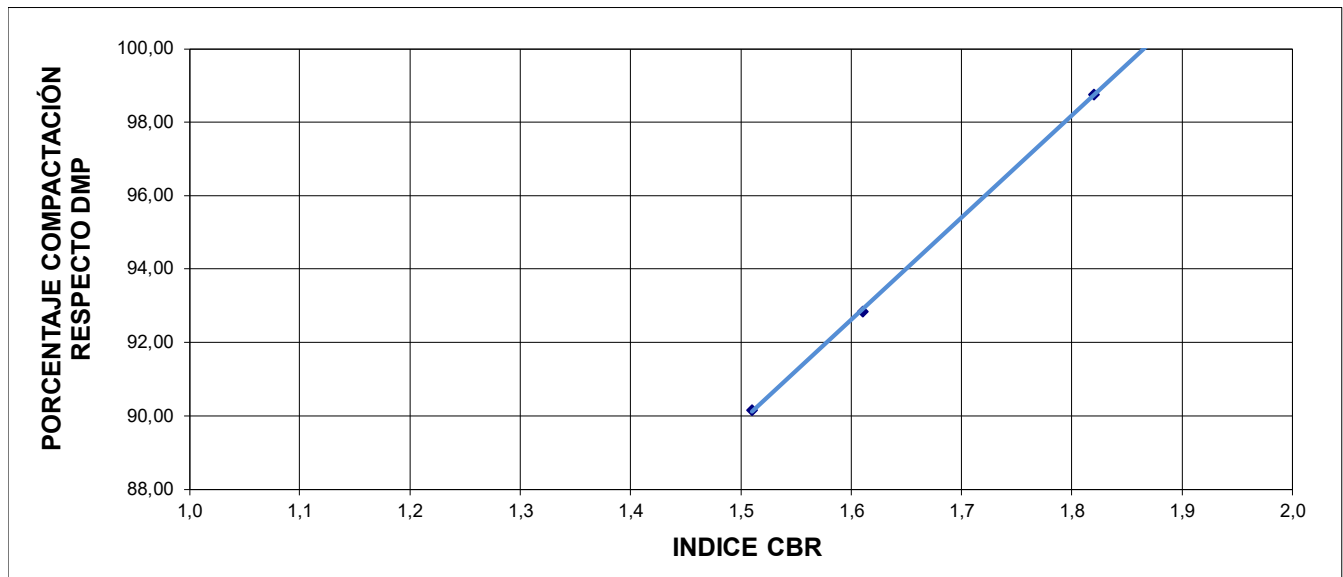
Referencia Muestra... 226087	
PROCEDENCIA	CALICATA
TIPO DE MUESTRA	M. ALTERADA
FECHA ENTRADA	5 de septiembre de 2022

Referencia Informe.... EXP 22240	
REF. CLIENTE	C-2 (1,20 m)
PETICIONARIO	C. T. A.
DEN. OBRA	EG EMBALSE FRAGA (HUESCA)

	MOLDE 1	MOLDE 2	MOLDE 3
REFERENCIA MOLDE			
DIAS EN INUNDACIÓN	4	4	4
VALOR DE HINCHAMIENTO (%)	2,9	4,0	4,9
AGUA ABSORBIDA (%)	9,7	8,0	7,3

	MOLDE 1	MOLDE 2	MOLDE 3
REFERENCIA DEL MOLDE			
NUMERO DE CAPAS	5	5	5
NUMERO DE GOLPES POR CAPA	15	30	60
% COMPACTACIÓN RESPECTO DMPROCTOR	90,16	92,84	98,76
VALOR O INDICE C.B.R.	1,51	1,61	1,82
SOBRECARGA UTILIZADA [PESA ANULAR (kg)]	2,5	2,5	2,5

INCERTIDUMBRE ENSAYO	ÍNDICE CBR $\delta=8,60$	HINCHAMIENTO $\delta=0,35$	AGUA ABSORBIDA $\delta=0,01$
----------------------	--------------------------	----------------------------	------------------------------



VºBº

Fdo.

Eduardo Baquer Barriendos
Director Técnico

José A. Ballesteros Estela
Responsable ensayo

Caspe, a 23 de septiembre de 2022

Referencia Muestra... 226087	
PROCEDENCIA	CALICATA
TIPO DE MUESTRA	M. ALTERADA
FECHA ENTRADA	5 de septiembre de 2022

Referencia Informe.... EXP 22240	
REF. CLIENTE	C-2 (1,20 m)
PETICIONARIO	C. T. A.
DEN. OBRA	EG EMBALSE FRAGA (HUESCA)

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA ENSAYADA:	
REMOLDEADA AL 98 % DEL	P.M.

DATOS ENSAYO	
ALTURA INICIAL (mm)	4,99
ALTURA FINAL S/INUNDAR (mm)	4,75
CARGA MÁXIMA (kg/cm ²)	2,00
ALTURA FINAL INUNDADA (mm)	4,75

RESULTADO DEL ENSAYO	
INDICE DE COLAPSO, I =	0,0
Potencial porcentual de colapso, I_c = (%)	0,0

INCERTIDUMBRE ENSAYO
ÍNDICE DE COLAPSO δ= 0,26

VºBº

Fdo.

Eduardo Baquer Barriendos
 Director Técnico

José A. Ballesteros Estela
 Responsable ensayo

Caspe, a 23 de septiembre de 2022

Referencia Muestra... 226087

PROCEDENCIA **CALICATA**
TIPO DE MUESTRA **M. ALTERADA**
FECHA ENTRADA **5 de septiembre de 2022**

CÁLCULOS PREVIOS

A	Muestra total seca al aire	2231,0
B	Gruesos lavados	95,1
C = (A - B) * f	Fracción fina seca	2120,1
D = (B + C)	Muestra total seca	2215,1
E	Fracción fina ensayada seca al aire	90,3
F = E * f	Fracción fina ensayada seca	89,6
C/F		23,7

Referencia Informe.... EXP 22240

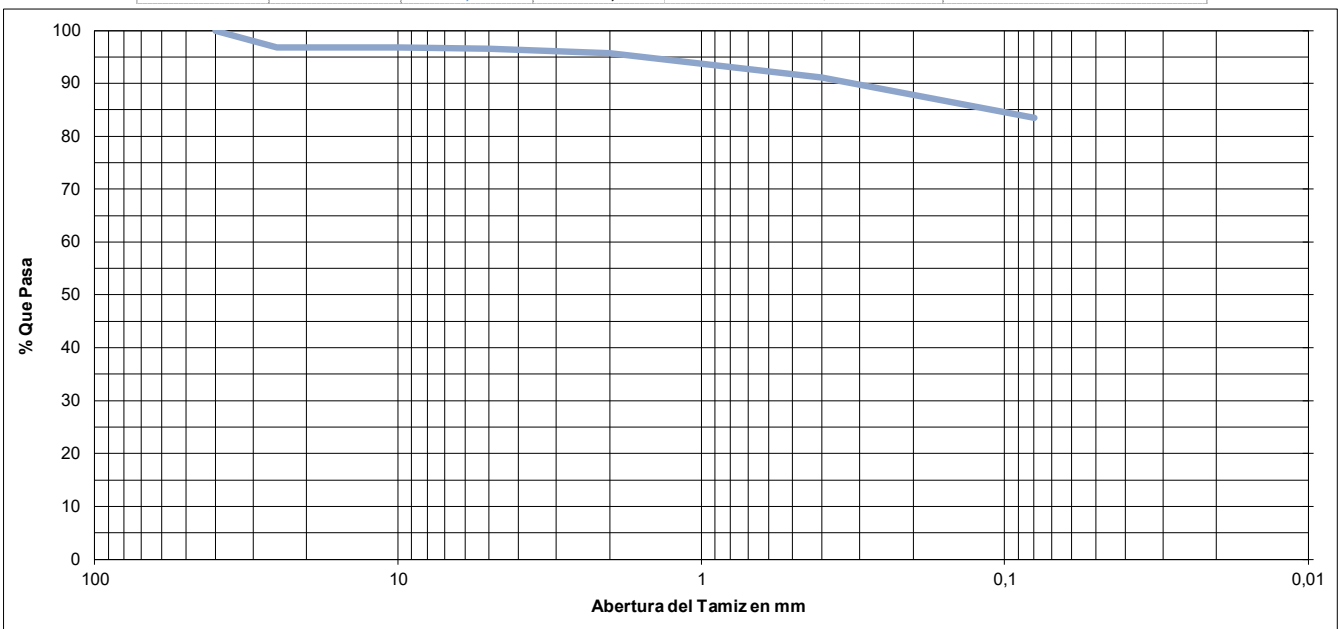
REF. CLIENTE **C-2 (1,20 m)**
PETICIONARIO **C. T. A.**
DEN. OBRA **EG EMBALSE FRAGA (HUESCA)**

HUMEDAD HIGROSCÓPICA

$f=(100/(100+h))$	F/correc. hum. higroscópica	1,0
$h=(a/s)*100$	Humedad higroscópica %	0,7
$a=(t+s+a)-(t+s)$	Agua	0,6
t+s+a	Tara+suelo+agua	114,3
t+s	Tara+suelo	113,7
t	Tara	35,0
s	Suelo	78,7

CÁLCULO CURVA GRANULOMÉTRICA POR TAMIZADO

Tamiz U.N.E.	Tamiz ASTM	Retenido entre tamices		Pasa en muestra total	
		g en parte fina ensayada	g en Muestra total	Gramos	%
125	5				
100	4				
80	3				
63	2,5				
50	2				
40	1,5			2215,1	100
25	1		70,9	2144,2	97
20	3/4			2144,2	97
12,5	1/2			2144,2	97
10	3/8		1,6	2142,6	97
5	4		3,3	2139,3	97
2	10		19,3	2120,1	96
0,4	40	4,3	102,4	2017,6	91
0,08	200	7,1	167,3	1850,3	84



OBSERVACIONES:

VºBº

Fdo.

Eduardo Baquer Barriendos
Director Técnico

José A. Ballesteros Estela
Responsable ensayo

Caspe, a 23 de septiembre de 2022

Referencia Muestra... 226087	
PROCEDENCIA	CALICATA
TIPO DE MUESTRA	M. ALTERADA
FECHA ENTRADA	5 de septiembre de 2022

Referencia Informe.... EXP 22240	
REF. CLIENTE	C-2 (1,20 m)
PETICIONARIO	C. T. A.
DEN. OBRA	EG EMBALSE FRAGA (HUESCA)

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA ENSAYADA:

REMOLDEADA AL 98 % DEL P.M.

DATOS ENSAYO

ALTURA INICIAL (mm)	4,99
ALTURA FINAL (mm)	5,37
INCREMENTO DE ALTURA (mm)	0,38

RESULTADO DEL ENSAYO

HINCHAMIENTO (%) 1,9

INCERTIDUMBRE ENSAYO

HINCHAMIENTO $\delta=0,40$

VºBº

Fdo.

Eduardo Baquer Barriendos
Director Técnico

José A. Ballesteros Estela
Responsable ensayo

Caspe, a 23 de septiembre de 2022

Referencia Muestra... 226087

PROCEDENCIA	CALICATA
TIPO DE MUESTRA	M. ALTERADA
FECHA ENTRADA	5 de septiembre de 2022

Referencia Informe..... EXP 22240

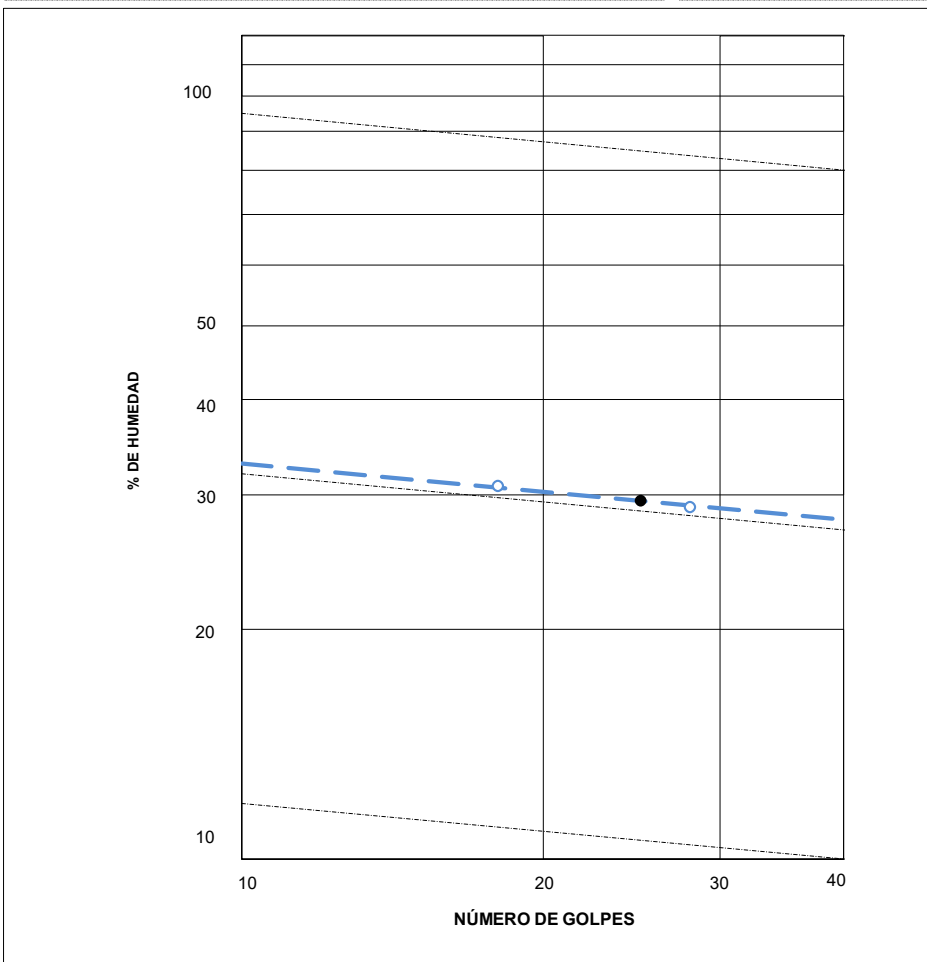
REF. CLIENTE	C-2 (1,20 m)
PETICIONARIO	C. T. A.
DEN. OBRA	EG EMBALSE FRAGA (HUESCA)

CÁLCULO LÍMITE LÍQUIDO

-	Nº de golpes	18	28
-	Referencia tara	RE 24	RE 14
$a=(t+s+a)-(t+s)$	Agua	3,03	2,96
t+s+a	Tara + suelo + agua	25,59	25,70
t+s	Tara + suelo	22,56	22,74
t	Tara	12,74	12,51
$s=(t+s)-t$	Suelo	9,82	10,23
$w=100*(a/s)$	% Humedad	30,9	28,9

CÁLCULO LÍMITE PLÁSTICO

-	Referencia tara	L 5
$a=(t+s+a)-(t+s)$	Agua	0,75
t+s+a	Tara + suelo + agua	23,21
t+s	Tara + suelo	22,46
t	Tara	18,31
$s=(t+s)-t$	Suelo	4,15
$w=100*(a/s)$	% Humedad	18,1



RESULTADOS DEL ENSAYO

LÍMITE LÍQUIDO =	29,5
LÍMITE PLÁSTICO =	18,1
ÍNDICE PLASTICIDAD =	11,4

INCERTIDUMBRE ENSAYO

LIMITE PLÁSTICO $\delta=$	0,11
LIMITE LÍQUIDO $\delta=$	0,20

VºBº

Fdo.

Eduardo Baquer Barriendos
Director Técnico

José A. Ballesteros Estela
Responsable ensayo

Caspe, a 23 de septiembre de 2022

Referencia Muestra... **226087**

PROCEDENCIA CALICATA
TIPO DE MUESTRA M. ALTERADA
FECHA ENTRADA 5 de septiembre de 2022

Referencia Informe..... **EXP 22240**

REF. CLIENTE C-2 (1,20 m)
PETICIONARIO C. T. A.
DEN. OBRA EG EMBALSE FRAGA (HUESCA)

DATOS ENSAYO

-	Referencia tara		
% pasa	% suelo pasa tamiz 2 UNE	96	96
f	Factor de normalidad Permanganato	1,10	1,10
g	Total muestra ensayada (g)	0,2510	0,2440
V	Volumen Permanganato potásico valoración (cm ³)	0,90	0,80

RESULTADO ENSAYO

% mat org (f < 2 UNE) = [[0,1032*V*f]/g]

Mat. orgánica referida fracción ensayada (f < 2 UNE) (%) = **0,39**

RESULTADO ENSAYO

% mat org = [[0,1032*V*f]/g] * %pasa

Mat. orgánica referida al total de muestra (%) = **0,37**

INCERTIDUMBRE ENSAYO

Mat. Orgánica (%) δ= 0,05

VºBº

Fdo.

Eduardo Baquer Barriendos
Director Técnico

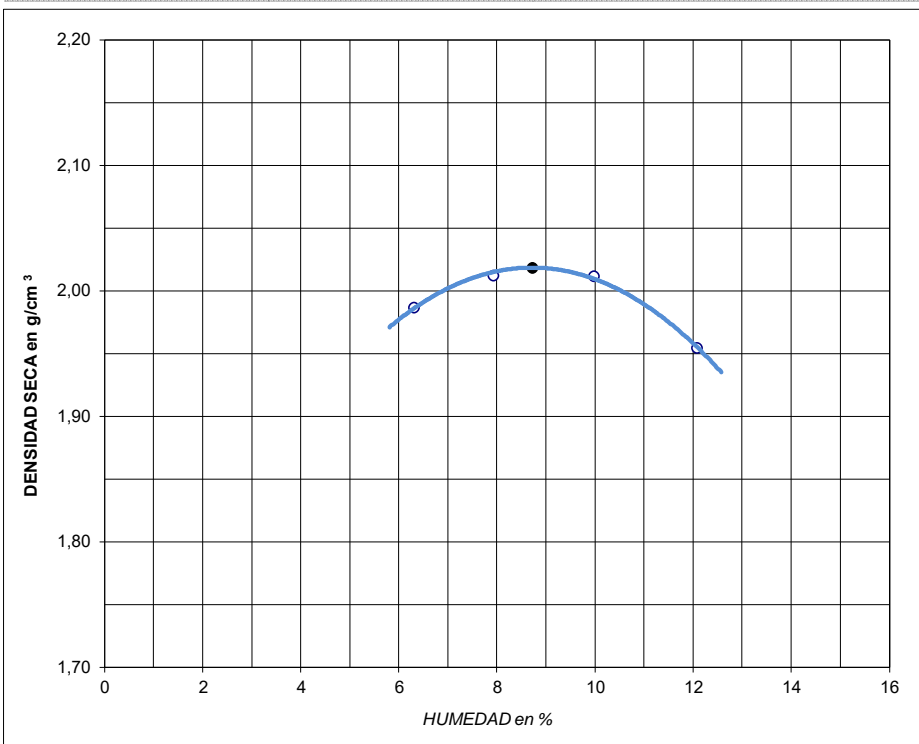
José A. Ballesteros Estela
Responsable ensayo

Caspe, a 23 de septiembre de 2022

Referencia Muestra... 226087		Referencia Informe.... EXP 22240	
PROCEDENCIA	CALICATA	REF. CLIENTE	C-2 (1,20 m)
TIPO DE MUESTRA	M. ALTERADA	PETICIONARIO	C. T. A.
FECHA ENTRADA	5 de septiembre de 2022	DEN. OBRA	EG EMBALSE FRAGA (HUESCA)

DENSIDAD							
	Punto nº	A	B	C	D	E	F
	% agua añadida	2,00	4,00	6,00	8,00		
t+s+a	Molde+suelo+agua	10327,00	10466,00	10560,00	10510,00		
t	Molde	5427,50	5427,50	5427,50	5427,50		
s+a=(t+s+a)-t	Suelo+agua	4899,50	5038,50	5132,50	5082,50		
s=[(s+a)*100]/(100+h)	Suelo	4609,04	4668,81	4667,08	4534,95		
D=s/v	Densidad (g/cm³)	1,99	2,01	2,01	1,95		

HUMEDAD							
	Punto nº	A	B	C	D	E	F
	Referencia tara						
a=(t+s+a)-(t+s)	Agua	74,52	85,37	99,07	120,39		
t+s+a	Tara+suelo+agua	1768,00	1673,00	1639,50	1659,50		
t+s	Tara+suelo	1693,48	1587,63	1540,43	1539,11		
t	Tara	511,00	509,50	547,00	542,00		
s=(t+s)-t	Suelo	1182,48	1078,13	993,43	997,11		
h=(a*100)/s	Humedad (%)	6,30	7,92	9,97	12,07		



CARACTERISTICAS DEL ENSAYO	
Volumen del Molde (cm ³):	2320
Peso de la Maza (g):	4540
Altura de caída (cm):	45,7
Número de capas:	5
Número de golpes:	60

RESULTADOS COMPACTACION	
Dens máxima (t/m³)	2,02
Humedad óptima (%)	8,72

INCERTIDUMBRE ENSAYO	
DENSIDAD MAXIMA δ=	0,01
HUMEDAD OPTIMA δ=	0,01

VºBº

Fdo.

Eduardo Baquer Barriendos
Director Técnico

José A. Ballesteros Estela
Responsable ensayo

Caspe, a 23 de septiembre de 2022

Referencia Muestra... 226087	Referencia Informe..... EXP 22240
PROCEDENCIA CALICATA	REF. CLIENTE C-2 (1,20 m)
TIPO DE MUESTRA M. ALTERADA	PETICIONARIO C. T. A.
FECHA ENTRADA 5 de septiembre de 2022	DEN. OBRA EG EMBALSE FRAGA (HUESCA)

DATOS ENSAYO		
-	Referencia tara	CP 8
% pasa	% suelo pasa tamiz 2 UNE	96
g	Muestra ensayada (g)	49,8730
T	Tara crisol (g)	104,3960
T+R	Tara crisol + Peso residuo (g)	104,9980
Pp=(T+R)-T	Residuo seco en estufa (g)	0,6020
v	Volumen de solución analizada (cm ³)	100,00
V	Volumen Agua desmineralizada en frasco (cm ³)	500,00

RESULTADO ENSAYO	
Sales solubles referido a la fracción ensayada ($f < 2$ UNE) = $[(Pp \cdot V) / (g \cdot v)] \cdot 100$	
Sales Solubles referida fracción ensayada ($f < 2$ UNE) (%)	6,0

RESULTADO ENSAYO	
Sales solubles referido al total de la muestra = $[(Pp \cdot V) / (g \cdot v)] \cdot 100$ * % pasa	
Sales Solubles referida total de la muestra (%)	5,8

INCERTIDUMBRE ENSAYO
Sales solubles (%) $\delta = 0,04$

OBSERVACIONES: Muestra ensayada pulverizada < 0,08 UNE (Procedimiento D.G.A.).

VºBº

Fdo.

Eduardo Baquer Barriendos
Director Técnico

José A. Ballesteros Estela
Responsable ensayo

Caspe, a 23 de septiembre de 2022

Referencia Muestra... **226087**

PROCEDENCIA CALICATA
TIPO DE MUESTRA M. ALTERADA
FECHA ENTRADA 5 de septiembre de 2022

Referencia Informe.... **EXP 22240**

REF. CLIENTE C-2 (1,20 m)
PETICIONARIO C. T. A.
DEN. OBRA EG EMBALSE FRAGA (HUESCA)

DATOS ENSAYO		$SO_4^{=}$ total	$SO_4^{=}$ parcial
-	Referencia tara		
g	Muestra ensayada (g)	10,5930	1,0005
T	Tara crisol (g)	25,0859	1,0247
T+R	Tara crisol + Peso residuo (g)	25,5270	1,0285
Rc	Corrección de cenizas Papel filtro (g)		
Pp=(T+R)-T-Rc	Residuo calcinado en mufla (g)	0,4411	0,0038
v	Volumen de solución analizada (cm ³)	250,00	100,00
V	Volumen Agua desmineralizada en frasco (cm ³)	500,00	100,00
iones $SO_4^{=}$ (%)		3,43	0,16

RESULTADO ENSAYO

CONTENIDO YESO REFERIDO A FRACCIÓN ENSAYADA (%) = $1,792 * [(\% SO_4^{=} \text{ totales}) - (\% SO_4^{=} \text{ parciales})]$

Contenido de yeso referido a fracción ensayada (f < 0,08 UNE) (%) **5,87**

RESULTADO ENSAYO

CONTENIDO YESO REFERIDO AL TOTAL DE LA MUESTRA (%) = $(1,792 * [(\% SO_4^{=} \text{ totales}) - (\% SO_4^{=} \text{ parciales})]) * \text{pasa}$

Contenido de yeso referido al total de la muestra (%) **5,62**

VºBº

Fdo.

Eduardo Baquer Barriendos
Director Técnico

José A. Ballesteros Estela
Responsable ensayo

Caspe, a 23 de septiembre de 2022