

CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO SITUADO EN EL PERIMETRO DE LA PRESA DE ENCISO (LA RIOJA)



3 DE MAYO DE 2018

JUAN MORALES PASCUAL

Ingeniería Geológica

INDICE

Introducción	2
Objetivos	4
Contexto geográfico	5
Situación geográfica	5
Climatología	7
Vegetación.....	8
Contexto socioeconómico.....	9
Contexto geológico	10
Tectónica y sismicidad.....	11
Geomorfología	13
Metodología	14
Grupos de Trabajo y distribución.....	14
Material empleado.....	14
Caracterización del macizo y resultados	15
Discusiones	19
Análisis cinemático.....	19
Interpretación	21
Clasificación del macizo	22
RMR (Bieniawski, 1989).....	22
Q (Barton, Lien y Lunde, 1974).....	23
RMI (Palmström Arild ,1995).....	25
ANEJOS	28

Introducción

Este trabajo se centra en la descripción y posterior análisis del macizo rocoso que se encuentra al SW del embalse de Enciso, y que puede suponer un riesgo potencial para las obras que se vienen ejecutando los últimos años y para la propia seguridad de las poblaciones de sus inmediaciones, ya que es propenso a sufrir deslizamientos como consecuencia de sus planos de discontinuidad característicos.

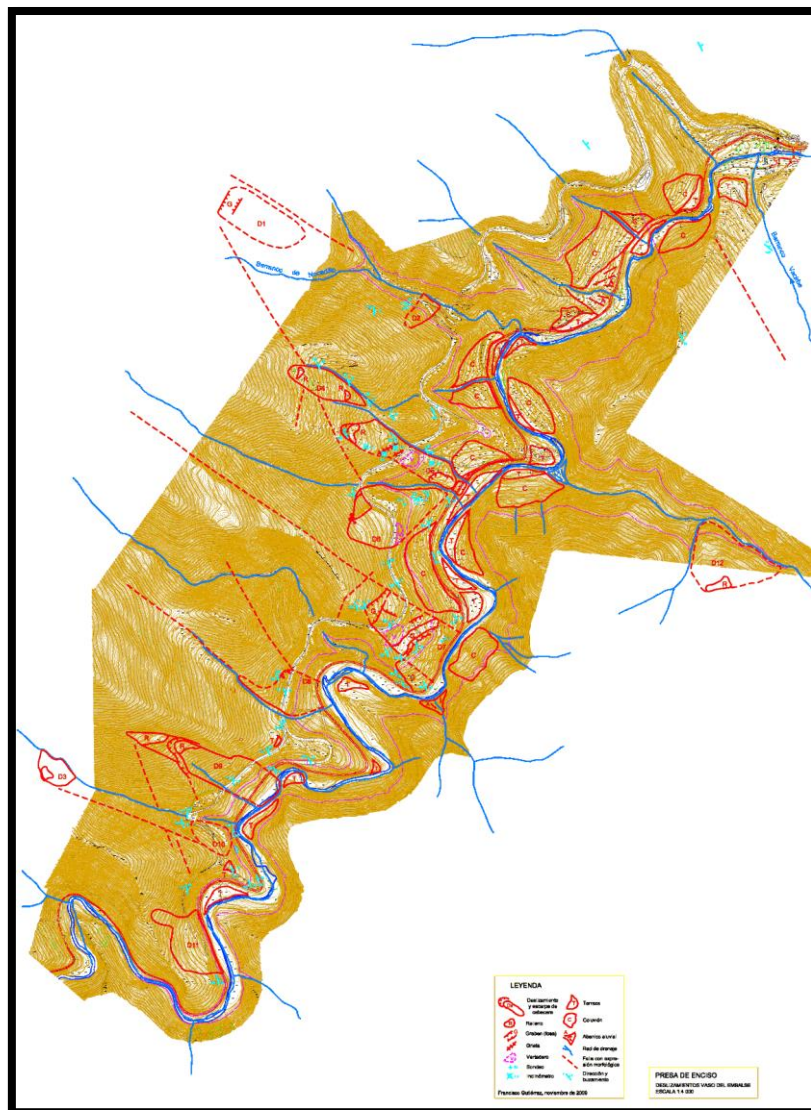
Existen 5 tipos distintos de discontinuidades, 4 de ellos son familias de diaclasas/fracturas y el restante se corresponde con la estratificación. Esta última, con buzamiento hacia el N, que resulta donde se encuentra ubicado el embalse.

Todos los deslizamientos que se vienen produciendo se sitúan en el vaso del embalse, y se producen a favor de la intersección de los planos de estratificación con familias de fracturas perpendiculares a esta.



Fig. 1 Deslizamiento provocado por las obras de la variante Enciso - Yanguas. Las zonas blancas que se identifican sobre la carretera son la parte sobresaliente de los bulones instalados para evitar los deslizamientos superficiales

Además, se tiene un historial de los deslizamientos grabados en el registro geológico que han tenido lugar en la zona, lo que da pistas acerca del comportamiento natural de los materiales de la zona (figura 2);



Antecedentes

1997

16 de enero: Adjudicación de las obras por 35 millones de euros (5.857 millones de pesetas), con un plazo de ejecución de 36 meses.

2006

Septiembre: El Consejo de Ministros da luz verde a la modificación del proyecto, por 61 millones de euros, segunda modificación que incrementaba el importe de su presupuesto en 26 millones más.

2008

Septiembre: Inician los trabajos con la previsión de finalizar el 31 de diciembre del 2011.

2011

Julio: El Ministerio de Medio Ambiente refinancia la obra alegando la crisis y reorganiza los plazos para concluirla a lo largo del 2013. Las obras se detienen por el parón invernal, con la previsión de que se retomen en verano del 2012. No volverán hasta 2 años después.

2015

Diciembre: Tras retomar en junio del 2014, las obras se detienen las obras por el parón invernal.

2017

Abril: El acuerdo entre el Ministerio y las empresas prolonga el contrato con un nuevo plazo de finalización en octubre del 2018

14 de junio: Fallece un trabajador al caer desde su pared.

Agosto: Las obras encaran la definición de los aliviaderos.

Objetivos

Se busca la caracterización minuciosa del macizo, pretendiendo tener suficientes datos en el futuro para la elaboración de distintos mapas de riesgos geológicos, que a su vez sirvan para llevar a cabo una correcta toma de decisiones, en lo que a la ubicación y ejecución de la obra se refiere.

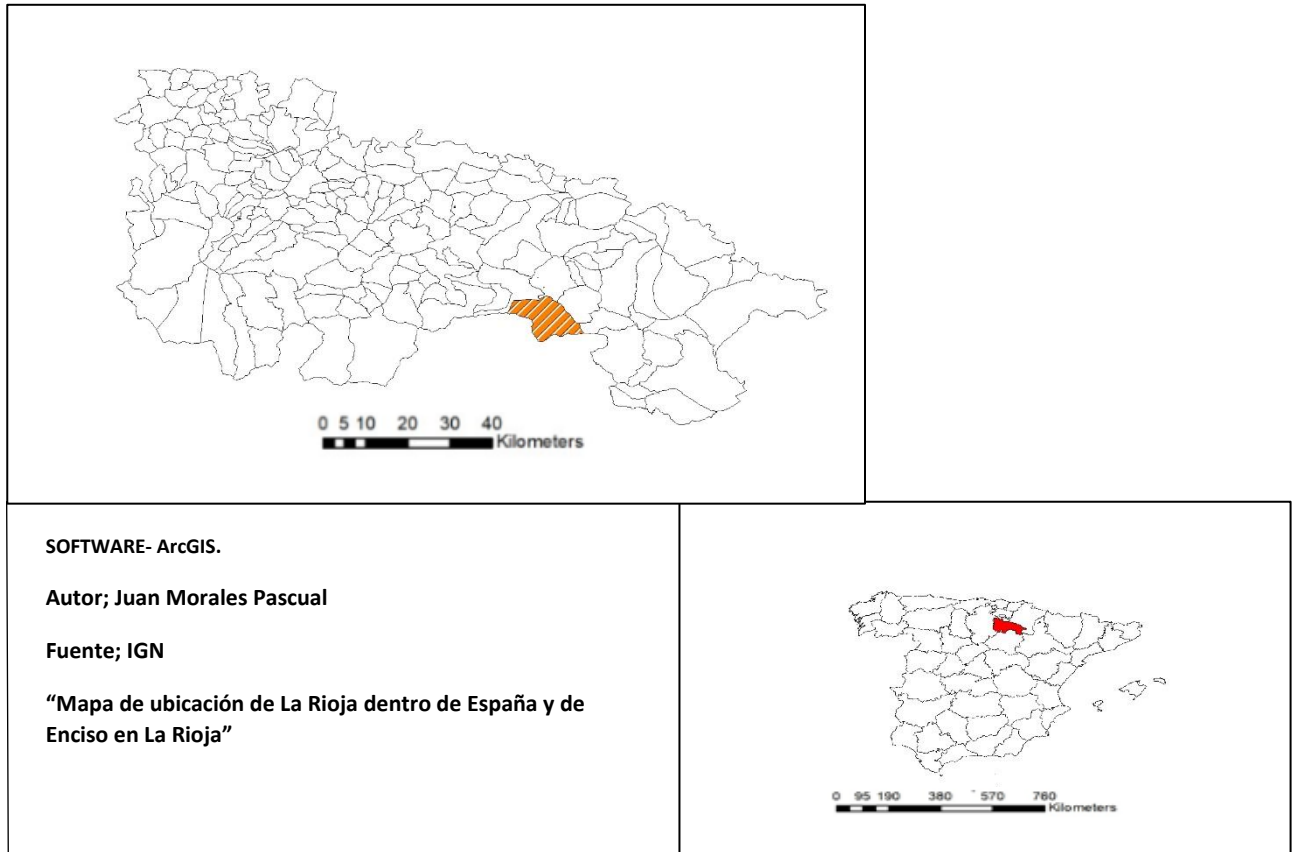
Además, se pretende familiarizarse con este tipo de trabajos, aprendiendo a caracterizar un macizo rocoso y a describirlo ordenadamente, para finalmente clasificarlo, de forma que se puedan sacar conclusiones relacionadas con obras que afecten al macizo de una manera mas sencilla.

Por otro lado, aparte de la mera descripción, también se ha intentado analizar el macizo cinemáticamente y llegar a conclusiones sobre la posibilidad de movimiento de este atendiendo a las fallas y discontinuidades que presenta.

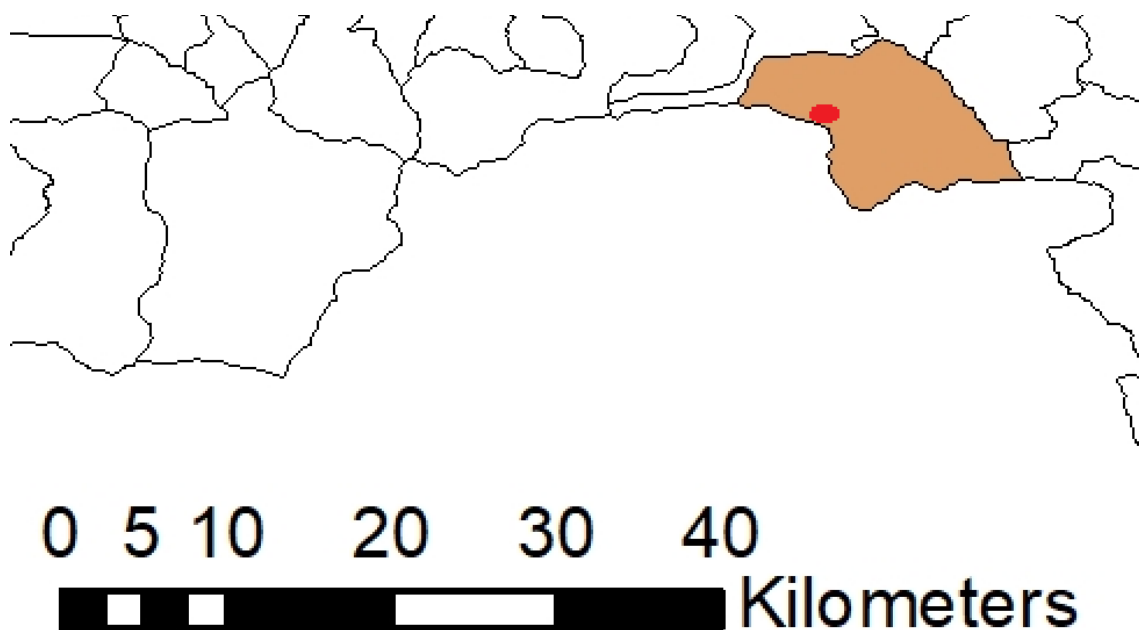
Contexto geográfico

Situación geográfica

El embalse y el macizo rocoso objeto de estudio se encuentran situado en el municipio de Enciso, que se muestra ubicado más exactamente en el siguiente mapa;



La zona concreta donde se ha llevado a cabo la caracterización , así como la ubicación de esta dentro del término municipal de Enciso se representan en los siguientes mapas (mapa 2 y 3);



mapa 1 - Ubicación de la zona de estudio dentro del término municipal de Enciso



mapa 2 - Zona donde se llevó a cabo la campaña de campo consistente en el estudio del macizo. Fuente; Google maps.

La campaña de campo se llevó a cabo en la ladera señalada en el mapa 2, a la cual se accedió a través de la carretera regional LR-115.

Climatología

El clima de la región donde se encuentra el macizo constituye un factor bastante importante, ya que la actuación de un clima muy lluvioso aumentará de forma significativa la presencia de agua en el macizo y esto facilitará los deslizamientos o movimientos de ladera.

El clima en Enciso es cálido y templado y tienen lugar una gran cantidad de precipitaciones en Enciso, incluso en el mes más seco. La temperatura promedio en Enciso es 11.3 °C. En un año, la precipitación media es 550 mm.

El mes con más precipitaciones es Mayo, con un promedio de 65 mm, mientras que el más seco es Julio.

A continuación, se adjunta el climograma de Enciso, en el que queda representado lo expuesto anteriormente;

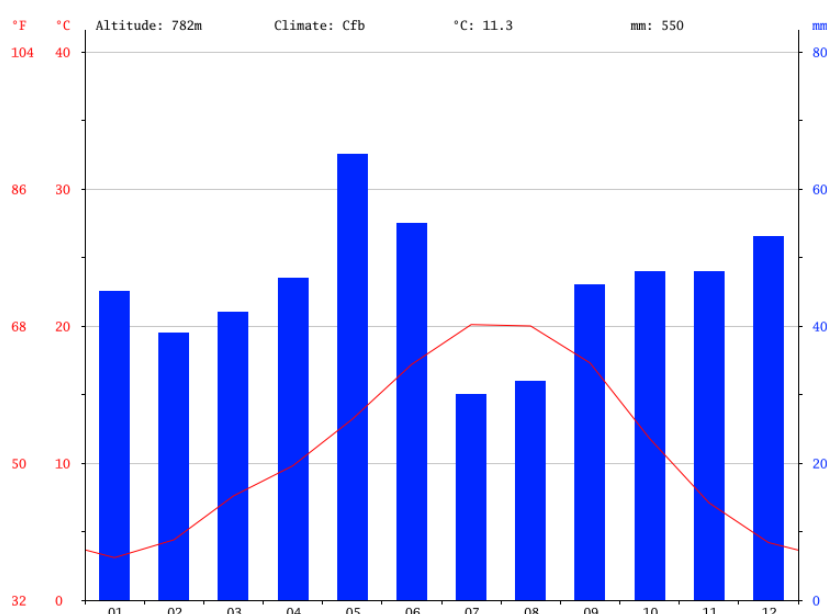


Fig. 4 Climograma de la zona de Enciso, donde coinciden los meses cálidos con los más secos y las precipitaciones aparecen de forma bastante regular a lo largo de todo el año. Fuente; <https://es.climate-data.org>

En el contexto de la comunidad autónoma de La Rioja, las precipitaciones de la zona de estudio, son medias, con unos valores entorno a 500 mm/año (mapa 4)

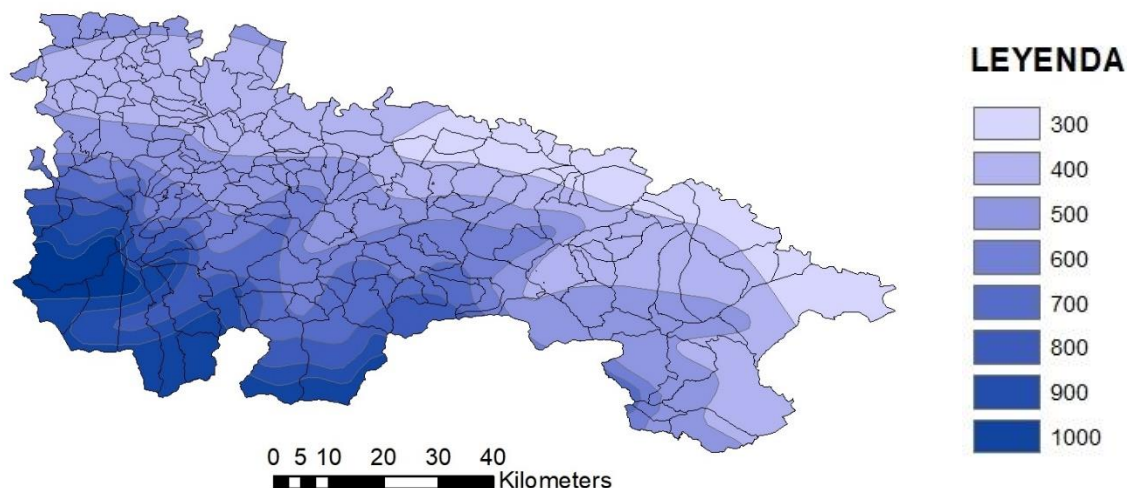


Fig.5 Mapa de precipitaciones anuales de la comunidad autónoma de La Rioja, dividida en sus municipios. Fuente; IDE Rioja.

Este apartado tiene una gran importancia ya que los deslizamientos suelen producirse en los momentos en que las precipitaciones son máximas, como por ejemplo el de la ladera en la carretera LR-261, en el tramo cercano a Ventas Blancas, que se produjo los primeros meses de 2015 o más recientemente el que afectó a la carretera LR-113, el día 20 de marzo.

Vegetación

La ladera objeto de estudio tenía poca vegetación, aunque no estaba completamente desnuda, y había algo de vegetación del tipo pastizal-matorral.

En concreto, la especie de planta que dominaba en la ladera era la aliaga ("Genista Scorpius"), una planta arbustiva perteneciente a la familia de las fabáceas.

Al ser una planta de tipo arbustivo, esta no tiene ningún efecto de sujeción sobre el terreno y es incapaz de retenerlo de forma alguna ante un deslizamiento. Tampoco es capaz de absorber el exceso de agua en temporada de lluvias, por lo que esta fluye libremente por el macizo.



Fig. 6 Imagen de "Genista Scorpius", más conocido como aliaga.

Contexto socioeconómico

El embalse de Enciso, localizado en el río Cidacos tiene una capacidad prevista de almacenamiento de agua de 47 hectómetros cúbicos, sobre los 58 hm³ de aportación anual media del río. La altura de la presa es de 94,5 m sobre el cauce del río, y de 104 m sobre cimientos. La tipología de la presa es de gravedad, construida con hormigón.

El coste de la presa se ha visto incrementado tras numerosas modificaciones del proyecto, disparándose hasta los 122 millones de euros. Se prevé que la obra concluya en octubre de 2018

La cantera de la que se extrae caliza para fabricar la presa está situada a 17 km de esta, y ha sido necesaria la construcción de una nueva carretera para llegar hasta ella, salvando unos 300 km de desnivel, lo que ha incrementado considerablemente los gastos de ejecución de obra.

Durante la ejecución de las excavaciones se observaron dos hechos que plantearon la necesidad de realizar una revisión de la seguridad de la presa: el haber dejado, debido a la existencia del coluvión en la zona del pie de aguas abajo de la margen derecha, ciertas zonas del plano de apoyo de algunos bloques con una pendiente hacia aguas abajo que alcanza, en algunos puntos, el 10% y, por otra parte, la existencia en el plano de apoyo de uno de los bloques centrales (bloque 2) de una banda de roca fuertemente diaclasada (tectonizada) que sigue el hilo de la estratificación.

A raíz de la revisión de seguridad efectuada se concluyó que las resistencias al corte adoptadas en el Proyecto de Construcción resultaban suficientes, pero no holgadas para garantizar que se obtienen los coeficientes de seguridad que habitualmente se usan para el proyecto de presas en España. Con objeto de obtener datos objetivos de las resistencias del terreno y del contacto hormigón-roca (que podría condicionar la estabilidad) se propuso la realización de ensayos de corte y de compresión simple en testigos del contacto hormigón-roca tomados en sondeos, así como la ejecución de un ensayo "in situ" a mayor escala. Estos ensayos se llevaron a cabo entre los meses de julio y octubre de 2014.

Esta obra, además tiene serios problemas con los deslizamientos de ladera de considerable volumen que hay dentro de la zona del vaso, algunos de ellos activos desde que se construyó la nueva carretera y con la posible sismicidad que puede inducir el peso de la columna de agua embalsada. Estas dos últimas amenazas se dan independientemente, aunque también pueden darse conjuntamente al llevar una a la otra (Un sismo inducido provoca una aceleración en el movimiento de los deslizamientos de ladera).

Contexto geológico

Durante la jornada trabajamos sobre el **Grupo Enciso**, definido en la localidad del mismo nombre y constituido por materiales detríticos con calizas y margas interestratificadas.

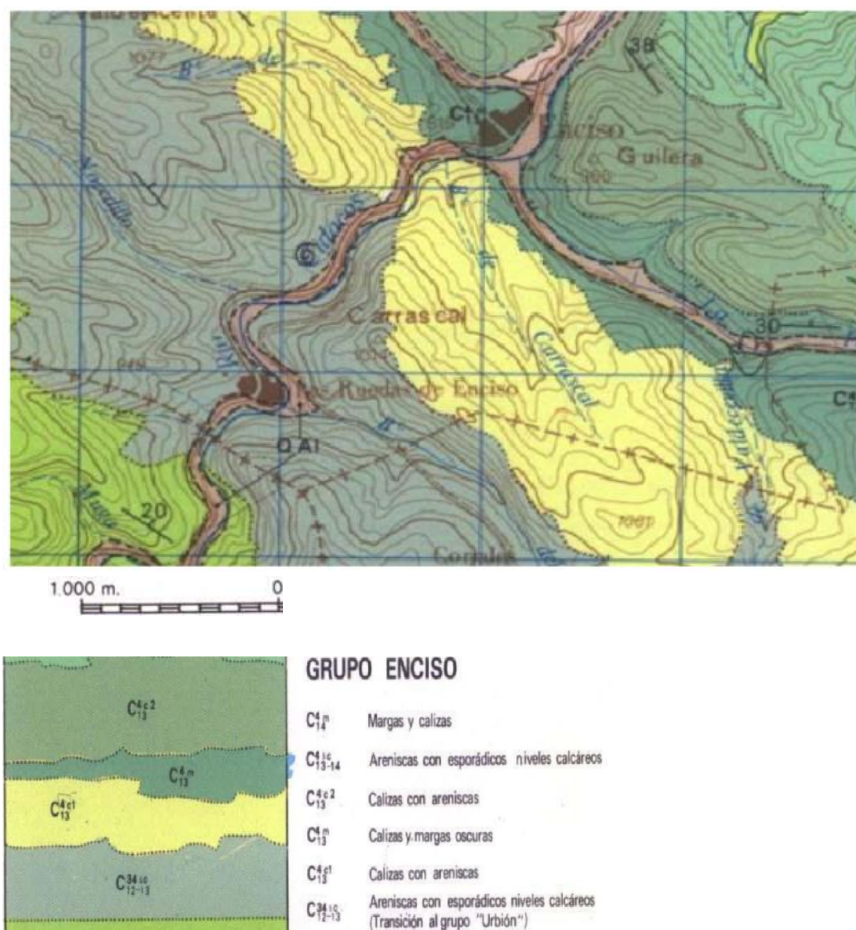


Fig. 7 Situación geológica del entorno de Enciso y ubicación de la ladera donde se llevó a cabo el estudio del macizo rocoso problemático. Fuente; Cartografía 1:50.000 IGME

El Grupo Enciso abarca las unidades Cretácicas comprendidas entre C12-13 (transición con el Grupo Urbión) y C14. La unidad concreta donde se encontraba la ladera con potencial de deslizamiento estudiada fue C 12-13 (facies Weald, de transición al grupo Urbión).

La cerrada por su parte la conforma la unidad C13^{4c1}, también perteneciente al grupo Enciso.

Además, hay un depósito cuaternario asociado al Río Cidacos que se encaja en ambas unidades atravesándolas sub- perpendicularmente a su dirección. Estas 3 unidades, que son las que más interés suscitan de acuerdo con el objetivo de este informe se describen a continuación, por orden cronológico;

C12-13^{34Sc} - Unidad de transición entre los Grupos Urbión y Enciso. Areniscas con esporádicos niveles calcáreos.

Esta unidad está constituida por una alternancia de arenitas, limolitas y arcosas con bancos esporádicos de calizas lacustres, lumaquelas y excepcionalmente niveles de calcirruditas. La serie presenta una coloración gris oscura.

La potencia de esta unidad es de 280 m, donde se ha realizado la serie general ($X=715,4$; $Y=837,7$ y $X=716,5$; $Y=839,2$).

Constituye el vaso de la presa, donde se pretende embalsar el agua.

C 13^{4c1} – Está constituido por una alternancia de calizas con margas y niveles arenosos intercalados, que son más frecuentes a muro, aunque se puede apreciar cierta ritmicidad en las intercalaciones arenosas a techo de la formación. Cada 60 metros de calizas-margas se suceden 20-30 metros de estas formaciones areniscosas. Los niveles arenosos son arcosas, subarcosas, arenitas y sublitarenitas con alto contenido en feldespatos calco sódicos.

En los tramos calcáreos, la compactación se manifiesta en una deformación de los restos fósiles, produciendo alargamientos paralelos a la estratificación. Este hecho se aprecia bien en el Grupo Enciso.

Constituye la cerrada sobre la que se apoyan los estribos de la presa.

Depósitos aluviales (Q_{Al}) – Depósitos actuales pertenecientes al cauce del río Cidacos en este caso.

La estructura de la roca (alternancia de limolitas y areniscas en capas decimétricas a métricas) en la zona de la cerrada presenta direcciones de estratificación paralelas al eje de la presa con buzamientos medios del orden de 20º aguas abajo. Generalmente el sustrato rocoso se encuentra sano desde la superficie. En la margen derecha, aguas abajo del eje de la presa, se encontraba un coluvión cuyo espesor fue objeto de estudio, obligando a modificar la planta de excavaciones.

Tectónica y sismicidad

La presa se sitúa sobre una zona sísmica y una falla de actividad importante. Además, el efecto del embalse puede redundar en una sismicidad inducida que reactive estas fallas o acelere su movimiento.

Los terremotos se asocian al denominado cabalgamiento de Cameros, que limita los materiales Mesozoicos de las Sierras de Cameros y Demanda de los materiales Terciarios del Surco Riojano o cuenca del Ebro. Este cabalgamiento se extiende por debajo de las Sierras, desde la superficie hasta 10 kilómetros de profundidad, generando la sismicidad que se da en la zona (figura 4).

La sismicidad en el entorno de La Rioja Baja es de intensidad importante, pero con periodos de recurrencia largos, existiendo registro histórico e instrumental de los mismos. La mayor actividad de la falla se produjo entre hace 104 y 40 millones de años, pero sigue siendo activa actualmente.

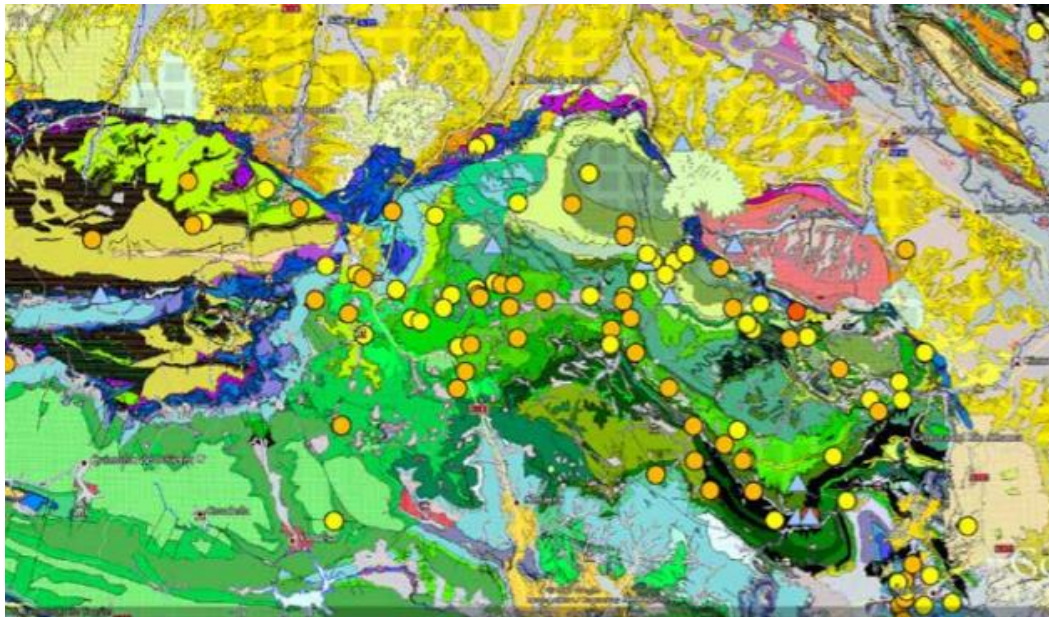


Fig. 8- Sismicidad en la comunidad de La Rioja. Terremotos representados con círculos (datos del IGN), en relación con la Geología (datos del IGME). Se aprecia que los terremotos aparecen en relación directa y estrecha con el Cabalgamiento de Cameros. Fuente; IGN.

Según el mapa de peligrosidad sísmica publicado por el IGN en 2012 y modificado en Octubre de 2015, la zona del embalse consta de una aceleración sísmica básica de unos 0.06 g (figura 5).

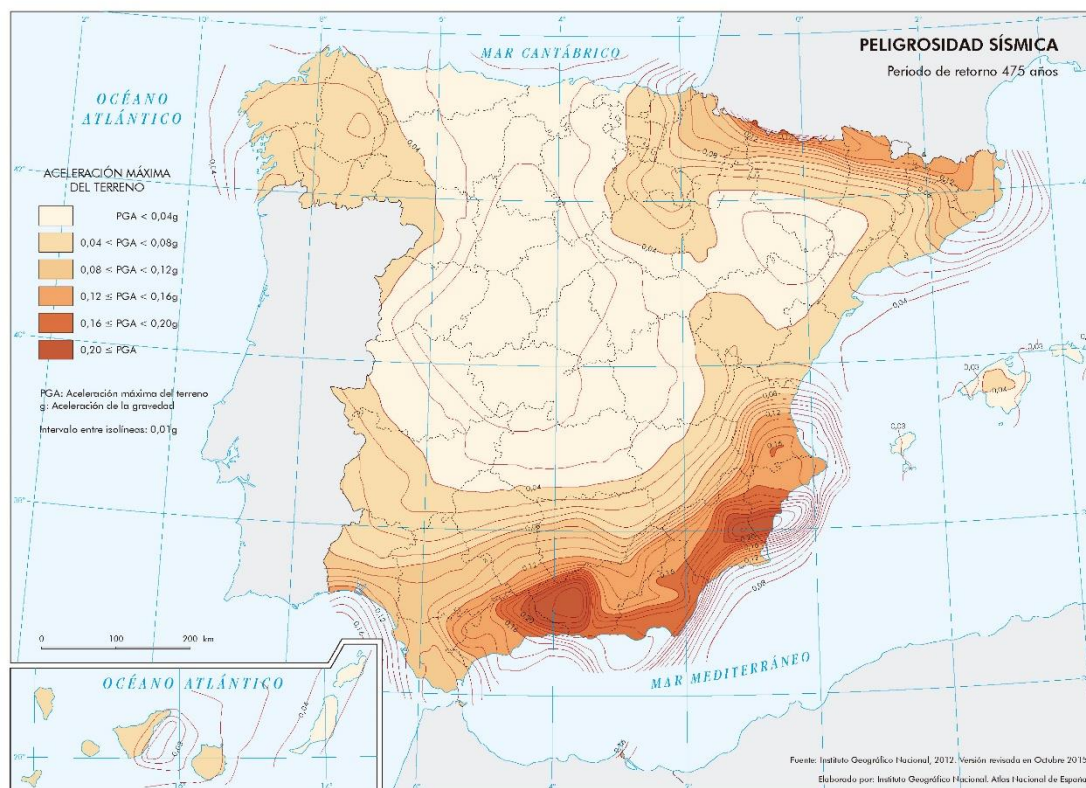


Fig. 9 Mapa que muestra la peligrosidad sísmica, relacionándola con la aceleración máxima del terreno. El terremoto característico para la zona tendría una aceleración horizontal de 0.06g. Fuente: IGN 2012, modificado en Octubre del 2015.

Geomorfología

Se han distinguido varios tipos de depósitos cuaternarios; derrubios de ladera, canchales, depósitos aluviales y cuaternario indiferenciado.

Derrubios de ladera → Materiales depositados con escaso transporte en las laderas de las zonas elevadas existentes en toda la zona. Son heterogéneos en cuanto a su composición y tamaño y presentan una matriz fangolítica.

Canchales → Se han diferenciado una serie de depósitos formados a partir de las litologías más compactas en zonas de gran relieve, cuya constitución es a base de cantos y bloques de tamaño muy variado, con escasa o nula matriz. Los afloramientos tienen forma triangular, situándose la zona apical en la parte topográficamente más baja.

Depósitos aluviales → Depósitos de la actualidad pertenecientes al cauce de los principales arroyos y ríos. Los del río Cidacos son los más importantes de la zona.

Cuaternarios indiferenciados → Se agrupa en esta nomenclatura, materiales actuales cuya caracterización resulta problemática, aunque en muchos casos son entera o parcialmente eluviales.

Metodología

Grupos de Trabajo y distribución

La disposición de trabajo consistió en la división en distintos grupos de trabajo, conformados por 3-4 estudiantes que nos repartimos por la ladera y fuimos tomando medidas de las características del macizo, así como de sus discontinuidades (estaciones geomecánicas).

La distribución consistió en colocarse a lo largo de la ladera, paralelamente al tramo de carretera, e ir ascendiendo a lo largo de la Jornada, para llevar a cabo un análisis lo más homogéneo y completo posible, de toda la superficie de la ladera.

Material empleado

Para la caracterización de la estación geomecánica hemos utilizado;

- Un martillo de Schmidt para determinar la resistencia a la compresión.
- Una brújula para medir orientaciones y buzamientos.
- Una guía de clasificaciones geomecánicas elaborada por el Grupo de Investigación de Mecánica de Rocas de la Universidad Politécnica de Valencia y una serie de hojas para rellenar los datos de campo.
- Martillo geológico para obtener muestras a corte fresco.

Caracterización del macizo y resultados

SITUACION Y CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

El afloramiento objeto de estudio se ubica en las coordenadas geográficas 42°08'37.67"N 2°17'10.69"W, según el sistema de coordenadas WGS84 y es accesible por la carretera LR-115 a una distancia media entre las poblaciones de Enciso y Las Ruedas de Enciso.

El afloramiento se sitúa geológicamente sobre el término más inferior del Grupo Enciso, equivalente a la unidad C12-13^{34sc} de transición entre el Grupo Urbión y Enciso, descrita anteriormente en el apartado de geología.

El estado del macizo a priori es bastante malo, de cara a cualquier tipo de obra en la que pueda jugar un papel, ya que se encuentra muy milonizado y fracturado, e incluso emana agua de alguna de sus discontinuidades, además el riesgo de deslizamiento se magnifica al estar desprovisto de una cubierta vegetal (figura 2).

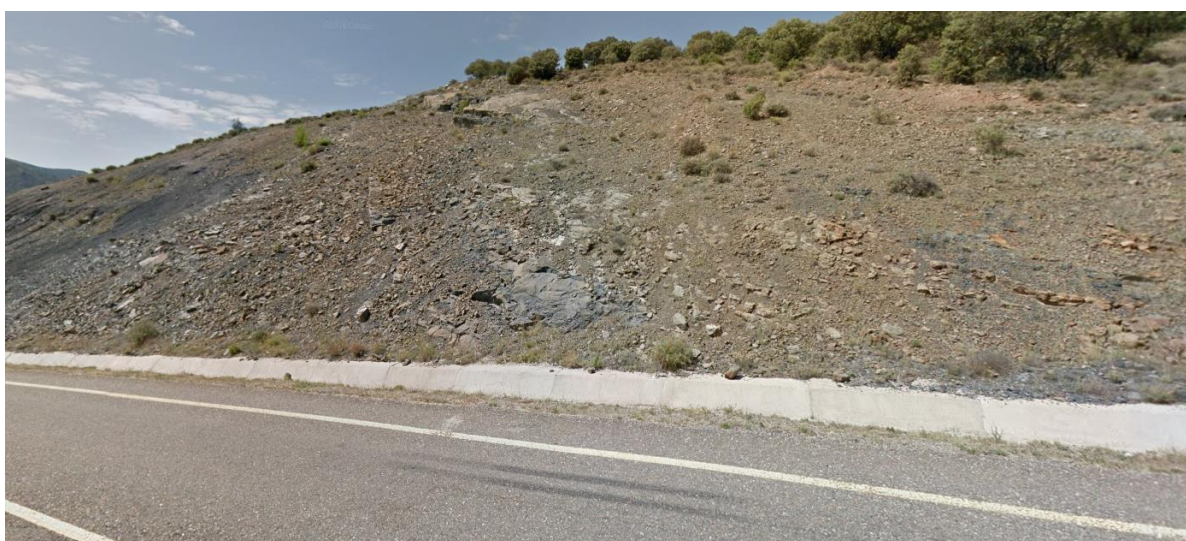


Fig. 10 Vista panorámica de la ladera objeto de estudio, donde se puede comprobar su gran nivel de fracturación y la carencia de una cubierta vegetal significativa. Coordenadas geográficas 42°08'37.67"N 2°17'10.69"W.

El comportamiento mecánico que tendrá lugar en el macizo dependerá fundamentalmente de 3 factores: la roca sana, su red de discontinuidades y la presión intersticial, y estos serán los apartados que conformarán esta caracterización. Los datos numéricos de estas descripciones se incluirán en los Anejos (Anejo 1 y 2).

DESCRIPCION DE LA MATRIZ ROCOSA

A continuación, se procederá a llevar a cabo una descripción del macizo y sus características, según lo observado en las estaciones geomecánicas establecidas en la ladera

La litología consiste en una alternancia de arenitas, limolitas y margas, muy fragmentadas en la mayoría de la superficie de la ladera, aunque también aparecen bancos de estas litologías de potencia variable (centimétrica a decimétrica) La serie presenta una coloración gris oscura en las zonas calcíticas y marronácea en los niveles arenítico - margosos.

El grado de meteorización es elevado de acuerdo con las observaciones. Presenta un elevado grado de fragmentación en los materiales, así como evidencia de fallas (escalones y estrías de desplazamiento sobre roca fresca) que forman parte de la cataclasis que ha experimentado la

formación rocosa. Se puede considerar una desintegración ya que los minerales no se han visto afectados.

En cuanto a la mineralogía de las areniscas, consisten fundamentalmente en cuarzo (en torno a un 80%) con óxidos de hierro, micas y glauconita, además de aproximadamente un 10% de feldespatos calcosódicos. Pertenecen a un ambiente deltaico y muestran laminaciones con tamaño de grano variable, y zonas más micáceas.

Las limolitas, por su parte se componen en aproximadamente un 60% de carbonato, un 10% de cuarzo. El cemento es calcítico y alcanza un 20%, y además también se compone de aloquímicos, concretamente de oolitos que representan el 7% de la muestra. Respecto a los accesorios, contiene micas y opacos.

La dureza de la roca se determinó mediante el uso del martillo de Schmidt que arrojó unos valores medios de 39 MPa, encuadrándose en una clase R4 (moderadamente alta) al obtener el valor de 60 Mpa del ábaco del martillo de Schmidt (gráfico 1).

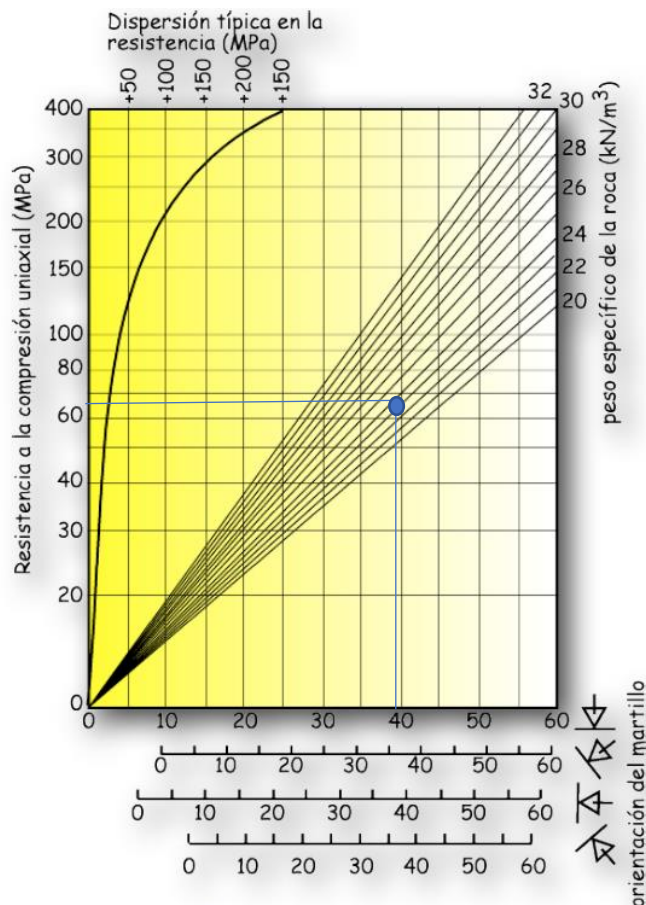


Gráfico 1 - Ábaco de obtención de valores de resistencia a compresión uniaxial a partir de los obtenidos en campo con el martillo de Smichdt

DESCRIPCIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES

De acuerdo con la orientación respecto al macizo se han determinado 4 tipos de discontinuidades, de los cuales 3 se corresponden con familias de diaclasas y fracturas y otro con la estratificación.

Las discontinuidades asociadas a la estratificación son las que facilitan el deslizamiento del terreno, a favor de su dirección de buzamiento (figura 10 y 11).



Fig. 11 Fotografía que ilustra a la perfección el buzamiento de la estratificación hacia el valle donde se encuentra el vaso del embalse



Fig. 12 Fotografía en una ladera próxima a la localidad de Yanguas donde se aprecian varios sistemas de discontinuidades que generan bloques de gran tamaño con propensión al deslizamiento a favor de la estratificación. En esta imagen la separación entre bloques es superior a la observada en la zona de estudio de este informe.

La estratificación por tanto es el factor desencadenante del movimiento, pero este no sería posible sin otros sistemas de fracturas/discontinuidades que permitiesen generar tamaños de bloques que puedan ser movilizables.

Los bloques aislados tendrían un tamaño medio de 2 metros x 45 cm, y la apertura de las fracturas es variable según la familia de discontinuidades a la que hagamos referencia. La **familia 1** tiene una apertura media de 45 cm (extremadamente ancha) la **familia 2** de 2 cm (muy ancha), la **familia 3** de 1 cm (ancha) y la **familia 4** de 3 cm (muy ancha).

La longitud de las fracturas también depende de la familia a la que pertenezca la fractura siendo de **7 metros** de media en la **familia 1** (media), **50 cm** en la **familia 2** (muy baja) **3,4 metros** en la **familia 3** (media-baja) y la **familia 4** de 50 cm (muy baja).

Encontramos rellenos de calcita que son parciales en la familia con más apertura y llegan a ser totales en las otras familias. En alguna ocasión el relleno de las aperturas de interestratificación es arcilloso.

En lo que respecta a la rugosidad, encontramos dos tendencias; la que existe a nivel de las superficies de estratificación, que oscila entre 6 y 8, y, por otro lado, la que aparece en las superficies de los planos de fracturación, que toma valores entre 4 y 6.

Emana agua únicamente a favor de los planos de estratificación, que tienen un buzamiento mucho más favorable para el ascenso de agua que el resto de las discontinuidades. Al coincidir que el estudio de campo se realizó en un día lluvioso, se pudieron determinar distintas intensidades de emanación de agua que se expresan en los datos adjuntos en el apartado de Anejos. Las clases de filtraciones según ISRM (1981) oscilan entre 2 y 5.

Todas mediciones, rellenos y presencia o no de agua, así como su intensidad de emanación se pueden consultar en el apartado de Anejos.

Discusiones

Análisis cinemático

A continuación, se analiza mediante un estereograma la posición de los distintos polos de las diferentes familias de discontinuidades (fig. a), así como la posición de sus planos medios (con el objetivo de simplificar la representación y los cálculos) calculados mediante el método de Fisher (fig. b)

El ángulo de fricción lo obtenemos de la siguiente tabla (tabla 1) publicada *Barton (1974)* y posteriormente editada por *Hoek y Bray (1981)* y por *Jibson et al. (2000)* y según el tipo de roca en el que nos encontramos, que en este caso se trata de una alternancia de areniscas y limolitas;

Tabla 2. Valores promedio de propiedades geotécnicas propuestas para la estimación de deslizamiento traslacional de laderas en función del grupo litológico del país

Clasificación	Grupo litológico	Tipo de suelo	γ' (kN/m ³)	c' (kN/m ²)	ϕ' (°)	Umbral (°)
ROCAS ÍGNEAS	Rocas ígneas extrusivas	Básica, intermedia, ácida, volcanoclástica	28	100	[‡] 42	60
	Rocas ígneas intrusivas	Básica, intermedia, ácida, diabasa, pórfido andesítico, pórfido riolítico	26	80	40	60
ROCAS METAMÓRFICAS	Rocas metamórficas no foliadas o masivas	Corneana, cuarcita, mármol, skarn, serpentinita	27	70	40	60
	Rocas metamórficas foliadas	Esquisto, esquisto-gneis, filita, gneis, pizarra	25	[‡] 29	[‡] 31	50
	Rocas metamórficas de falla	cataclasita	22	10	24	45
	Complejos metamórficos y rocas varias	Complejo metamórfico, complejo ofiolítico, metaintrusivo, metavolcánica	27	29	31	50
ROCAS SEDIMENTARIAS	Sedimentarias detriticas de grano grueso	Conglomerado, conglomerado-brecha sedimentaria, brecha sedimentaria, volcanoclástica	28	[‡] 24	[‡] 32	50
	Sedimentarias detriticas de grano grueso/medio	Arenisca, arenisca-conglomerado	25	[‡] 48	35	45
	Sedimentarias detriticas de grano medio/fino	Arenisca-limolita, limolita-arenisca, limolita-lutita, lutita-arenisca	24	35	[‡] 30	45
	Sedimentarias detriticas de grano fino	Lutita	23	30	[‡] 30	45
	Rocas sedimentarias órgano-químicas	Coquina, yeso, caliche	22	[‡] 17	[‡] 34	40
	Rocas intercaladas	Caliza-arenisca, caliza-limolita, caliza-lutita, caliza-yeso	24	50	[‡] 25	40

[‡]Barton (1974), Hoek y Bray (1981); [‡]Jibson et al. (2000)

Fig. 13 - Valores de propiedades geotécnicas que serán utilizados para los cálculos de estabilidad de ladera. Fuente – González de Vallejo

El ángulo de fricción debería estar comprendido por tanto entre 35° y 30°, atendiendo únicamente a la litología, pero observando la baja rugosidad de la roca, así como el gran flujo acuoso al que esta sometida, tomaremos como ángulo de fricción un valor de 25°.

La ladera por su parte tiene un buzamiento de 27° (calculado a partir del mapa topográfico) y una dirección aproximada N-S. En la figura C aparece la representación gráfica que permitirá el análisis de estabilidad del talud de acuerdo con estos datos.

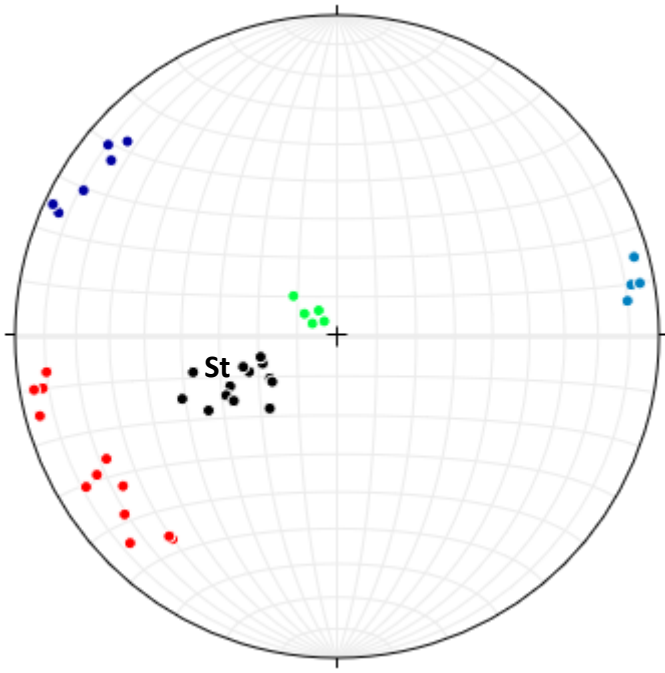


fig. a Estereograma con los polos de las distintas familias de discontinuidades y la estratificación.

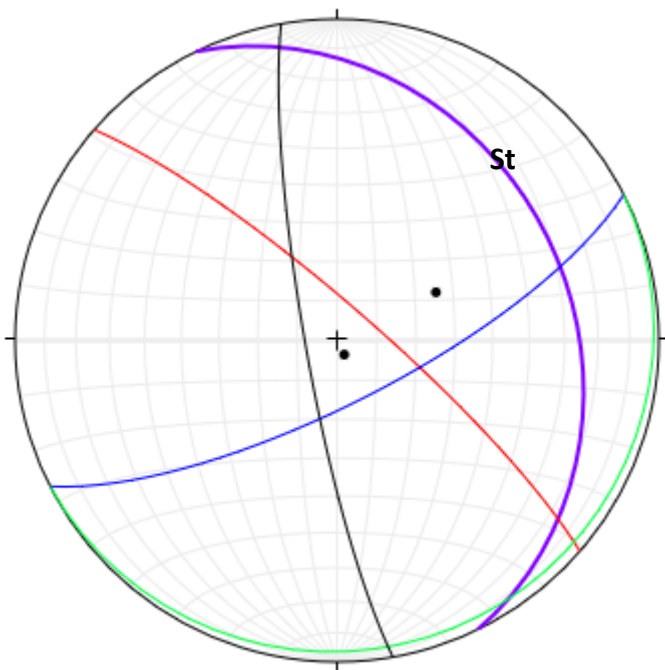


fig. b Planos medios de las familias de discontinuidades y de la estratificación.

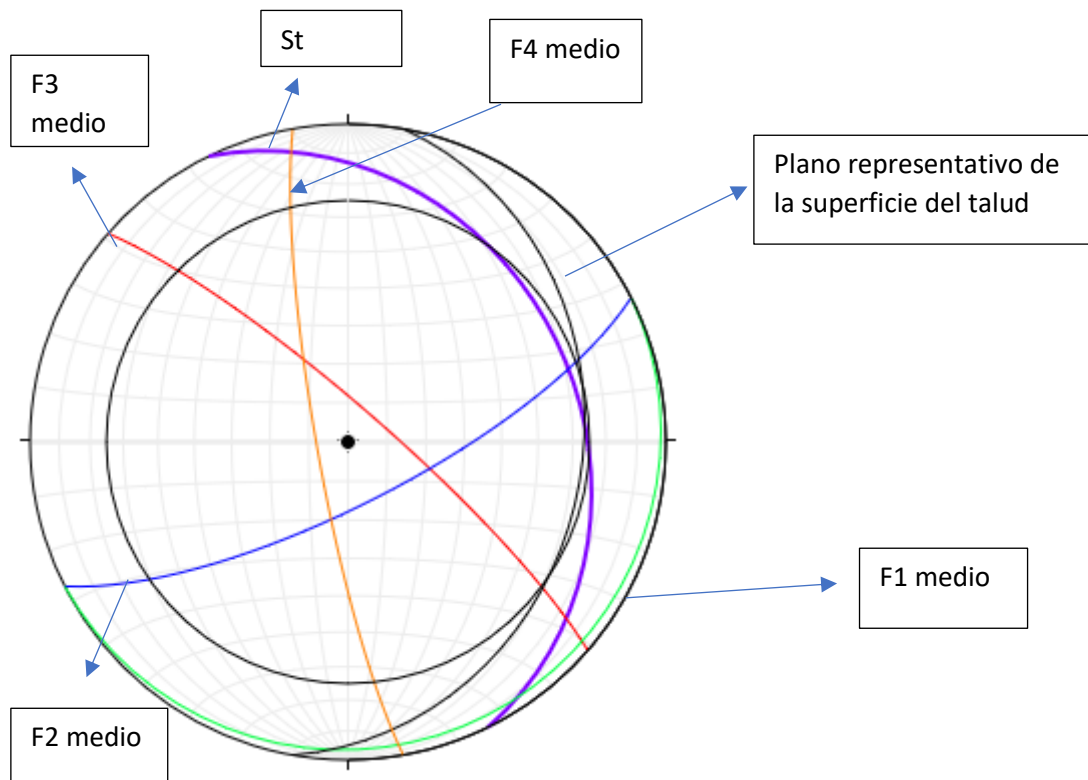


Fig. a - representación gráfica de los planos de discontinuidades y plano del talud (27º de pendiente)

Antes de analizar las posibilidades de movimiento de esta ladera se exponen las condiciones que se tienen que cumplir en las discontinuidades, en la geometría del talud y en lo que respecta a la fricción para que se produzca un deslizamiento (test de Mark land);

- La dirección de la discontinuidad debe ser subparalelas a la del talud (más o menos 20º)
- La discontinuidad debe buzarse más que su ángulo de fricción
- Deben existir superficies de separación sin resistencia al deslizamiento que conformen los límites laterales del bloque inestable.
- La discontinuidad debe aflorar en la cara del talud, por tanto, debe buzarse menos que el talud.

Interpretación

Las fallas en cuña que se desarrollen entre la estratificación (St) y las familias 1 y 3 no desencadenarán un movimiento de la ladera (deslizamiento).

La **falla en cuña** que genera la familia 3 con la estratificación es poco probable que, de pie a deslizamientos, aunque buza menos que el talud y podría llegar a generarlos.

La **falla en cuña** que se produce entre la familia 1 y la estratificación, queda aún más alejada del área de inestabilidad que la familia 3 y por lo tanto es menos probable que de lugar a deslizamientos.

La **falla en cuña** entre F3 y f2 es improbable que dé lugar a deslizamientos.

La única **falla planar** que podría desencadenar un deslizamiento sería la asociada a los planos de estratificación, aunque no es lo suficientemente paralela para hacerlo.

Las fallas entre la familia 4 y el resto de las familias tampoco desencadenan ningún tipo de movimiento.

Clasificación del macizo

RMR (Bieniawski, 1989)

La caracterización con el RMR ofrece la sencillez de obtención de sus parámetros y cuenta con una dilatada experiencia de aplicación, sin embargo, es demasiado conservadora recomendando habitualmente sostenimientos sobredimensionados. Su aplicación habitual es bastante general.

Para calcularlo se ha considerado cada familia de discontinuidades por separado y posteriormente se ha hecho una media de los resultados

Cálculo del RMR				
	FAMILIA 1	FAMILIA 2	FAMILIA 3	FAMILIA 4
Valoración $C_0 : V_{P1} =$	/ 4 /	/ 4 /	/ 4 /	/ 4 /
RQD : $V_{P2} =$	/ 13 /	/ 13 /	/ 13 /	/ 13 /
Frecuencia $S : V_{P3} =$	/ 8 /	/ 8 /	/ 8 /	/ 10 /
Continuidad =	/ 2 /	/ 6 /	/ 2 /	/ 1 /
Apertura o ancho =	/ 0 /	/ 0 /	/ 0 /	/ 0 /
Rugosidad y relleno =	/ 6 /	/ 6 /	/ 6 /	/ 7 /
Alteración =	/ 2 /	/ 2 /	/ 2 /	/ 0 /
Estado juntas : $V_{P4} =$	-5 /	+5 /	-5 /	-50 /
Agua : $V_{P5} =$	/ 4 /	/ 10 /	/ 7 /	/ 0 /
RMR Básico =	/ 26 /	/ 36 /	/ 29 /	-25 /

Para el cálculo del RQD, al no tener realizado ningún sondeo en la zona utilizaremos la siguiente expresión;

$$RQD = 115 - 3,3 \cdot J_v$$

El valor resultante de la media de las 4 familias de discontinuidades es de 22,75. Para efectuar la media de las discontinuidades, se ha tenido en cuenta como puntuación total de la

estratificación 0 y no -19 que era el valor resultante, ya que el rango permitido es de 0 a 100, por lo que su clasificación quizás sea demasiado optimista en relación con la situación real.

De acuerdo con la puntuación obtenida en el RMR la calidad del talud es mala, y esta cerca de ser muy mala (clase IV), siendo la orientación de las discontinuidades y el estado de las juntas las que determinan en mayor medida esta condición. Es un talud favorable al deslizamiento según sus planos de discontinuidad (estratificación) y además está muy fracturado.

El ángulo de rozamiento para este tipo de talud es de entre 15° y 25° y la cohesión actuante es entre 1 y 2 kg/cm².

Q (Barton, Lien y Lunde, 1974)

PARAMETRO	RANGOS PUNTUACION
RQD	MISMO VALOR
N.º FAMILIAS FRACTURAS	0.5-20
RUGOSIDAD FRACTURAS	0.5-4
ALTERACION SUPERFICIES	0.75-20
AGUA EN FRACTURAS	0.05-1
INFLUENCIA ESTADO TENSIONAL	0.5-400

Finalmente, con los valores obtenidos se aplica la siguiente expresión;

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a} \cdot \frac{J_w}{SRF}$$

J_n – N.º de familias de juntas.

J_r – rugosidad de las juntas.

J_a – Grado de alteración de las discontinuidades.

J_w – Agua en las juntas.

SRF – Factor de reducción de esfuerzos.

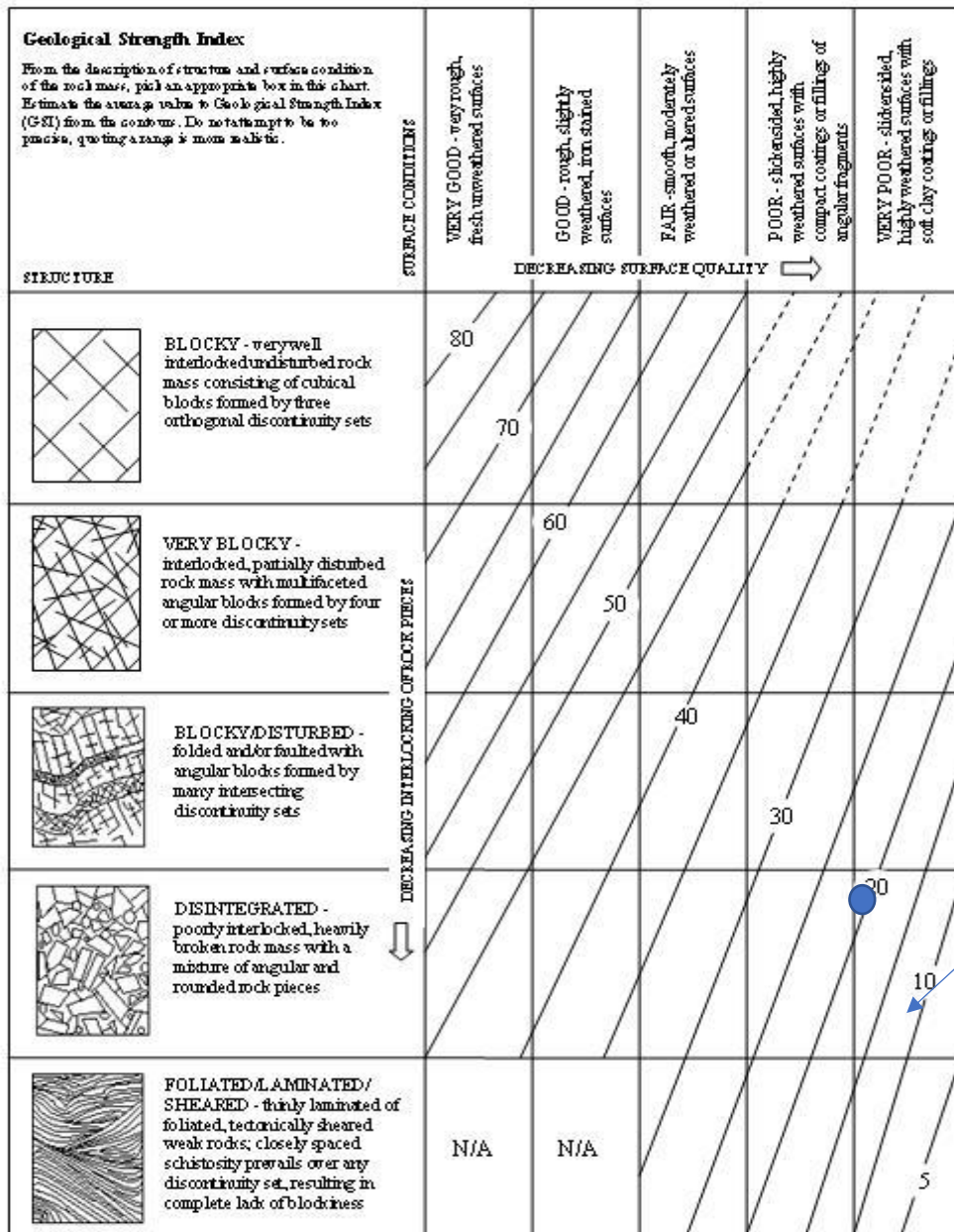
Para llevar a cabo la puntuación se han utilizado las tablas asociadas al sistema de clasificación de Barton, Lien y Lunde (índice Q) y empleando valores medios de las 4 familias de discontinuidad. El RQD es 22.75 y ha sido hallado anteriormente.

- ✓ **J_n** es **15** porque hay 4 o más familias de discontinuidad (5 con la estratificación), y se trata de una roca muy fracturada.
- ✓ **J_r** es **1** porque hay relleno de minerales que impide el contacto entre las caras de la diaclasa.
- ✓ **J_a** es **5** porque no existe contacto entre las 2 caras de la diaclasa y aparecen zonas blandas de arcilla limosa o arenosa.

- ✓ ***Jw*** es **0.33** hay un gran flujo de agua (o presión alta) existiendo un considerable lavado de los rellenos de las diaclasas.
- ✓ ***SRF*** es **10** al existir varias zonas débiles conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (roca muy suelta alrededor).

El valor final de **Q** es **0.01** y se corresponde con una clasificación de roca extremadamente mala, al límite con roca excepcionalmente mala, que es el peor tipo de roca que se puede encontrar para realizar una excavación en ella.

Su principal ventaja respecto al RQD radica en su mayor atención a las circunstancias geológicas y estructurales, pero tiene la desventaja en que fue ideada para túneles y su aplicación a taludes es más compleja.



Se escoge esta posición al cumplirse los criterios de desintegración, (donde la matriz rocosa se encuentra fuertemente fragmentada con una mezcla de piezas de roca angular y redondeada) Y de alteración de superficie, apareciendo una superficie deslustrada y altamente erosionada, con actuación de un deslizamiento previo y recubrimientos de arcilla. Además, aparecen sobre la roca estrías de falla en algún punto y la presencia de agua es abundante.

Su aplicación es bastante general y sus ventajas son las mismas que sus desventajas, y es que sus conclusiones se basan en el aspecto visual del macizo, dejando a un lado los valores cuantitativos, que dependiendo del autor tienen más o menos sentido en la evaluación de macizos rocosos.

Conclusiones y recomendaciones

Tras haber clasificado el macizo por medio de 3 sistemas distintos de clasificación (RMR, Q Y GSI) se llega a la conclusión de que el macizo esta en mal estado y es recomendable no llevar a cabo ningún tipo de obra que inmiscuya a este.

No obstante, si se lleva a cabo, es necesario que se tomen medidas preventivas y que eviten posibles riesgos de cara a la ejecución de la obra, siendo las medidas acordes a las clasificaciones planteadas. Dependerá ya de la institución que lleve a cabo la obra, a cuál de los sistemas de clasificación se atañe, habiéndose dejado claro en este informe que ventajas y desventajas supone cada uno de ellos.

Los resultados obtenidos no llegan a ser del todo concluyentes, ya que solo se ha efectuado el estudio de una estación geomecánica y los resultados no son aplicables a la totalidad del macizo, ya que puede que no sean representativos. Para llevar a cabo unas conclusiones definitivas, se requeriría el estudio de varias estaciones geomecánicas que reflejaran más apropiadamente la realidad.

.

BIBLIOGRAFIA

Ferrer Gijón, M., González de Vallejo, L. (editores). 2000. *Manual de campo para la descripción y caracterización de macizos rocosos en afloramientos*. IGME (Ref: 5203/67). ISBN: 84-7840-387-6.

González de Vallejo, L.I. (coord.), 2002. *Ingeniería geológica*. Prentice Hall, Pearson Educación, Madrid, 744pp.

Hoek, E., 2001. *Rock engineering. Course notes by Evert Hoek*. Rocscience Inc. 324 pp. Documento pdf. <http://www.rocscience.com/hoek/Hoek.asp>

Casas-Sainz, A. M. (1992). El frente norte de las Sierras de Cameros: estructuras cabalgantes y campo de esfuerzos. Zubía, monográfico nº 4, 1-220.

Casas Sainz, A. M., Gil Imaz, A., Muñoz Jiménez, A. (2001). La Rioja, Geología y Paisaje. Zubía, 13, 11-40.

Casas, A. M., Gisbert, J. (2005). El riesgo de sismicidad inducida por el embalse de Enciso. Informe inédito, Ecologistas en Acción, 53 p.

Casas Sainz, A. M., Román Berdiel, T. (1999). Geología de los alrededores de Calahorra (La Rioja Baja). Zubía, (17), 165-194.

Casas, A. M., Muniesa, P., Pocoví, A., Pueyo, O., Revuelto, C. (2016). Las presas de Enciso y Terroba (La Rioja): dos fracasos, dos desastres, dos riesgos. El ecologista.

Cámara Rupelo, P., Durantez Romero, O., Comas-Reguifo, M.J., Goy, A., Fonolla Ocete, F., Granados, L., Arribas, A. (1989). Mapa geológico y Memoria de la Hoja nº 280 (Enciso). Mapa geológico de España E. 1:200.000 ITGE, 284 pp.

Pascual, Ernesto. La presa de Enciso, en su recta final. Enciso, España, 16 de Agosto de 2017 [consulta: 01/05/2018]. Disponible en; <http://www.larioja.com/la-rioja/presa-enciso-recta-20170816001315-ntvo.html>.

Anejos

Jornadas de campo adicionales

Es importante comentar que el día en que se procedió a la toma de datos las condiciones climáticas no permitieron la consecución de más estaciones geomecánicas en el día y por ello nos vimos limitados a trabajar sobre una única ladera, con lo que esto implica a la hora de la representatividad de los valores obtenidos para un macizo rocoso.

Si se pudiera volver al campo durante más jornadas de campo se realizarían estudios en más estaciones geomecánicas, además de determinar el ángulo de fricción de los planos de estratificación de la roca, determinar el peso específico de la roca para utilizarlo en el ábaco de Smichdt y demás cálculos, se ampliaría la toma de datos general, se buscaría conocer el comportamiento del macizo en un día seco y no lluvioso como el día que se realizó la toma de datos.

Por otra parte, se tomarían mas fotografías de los ejemplos más representativos, se ubicarían de mejor manera las tomas de datos y se elaboraría una serie de cortes geológicos que permitieran reconocer cada ladera y referir a las mismas sus ejemplos.

Otra labor que se llevaría a cabo sin lugar a duda, es, la toma de algunas muestras para poder analizarlas con mayor detenimiento, ya sea a nivel visual como microscópico, permitiéndonos además contemplar más detalladamente los estados de alteración en que se encuentra la roca, facilitándonos las labores de clasificación del macizo a posteriori

Datos de campo

Dirección	Buzamiento	Rugosidad	Continuidad	Apertura	Relleno	Presencia de agua	
003	62N	5	32	NO		NO	
076	78 W	3	75	NO	ARCILLOSO	NO	
141	22S/80E	2	100	NO		NO	
150	38 N	2	200	NO	CALCITA	SI	st
166	38 N	5	40	SI	ARCILLOSO (5 cm)	SI	st
158	43 N	5	30	SI	ARCILLOSO (10 cm)	SI	st
133	25 N	3	30	SI	NO	NO	st
148	31 N	2	15	NO	CALCITICO	NO	st
135	85 E	2	35	NO		NO	st
008	68 W	2	40	NO		NO	
022	74 W	2	100	NO			
156	28 E	1	55				st
154	52 S	1	55				st
158	74 N	2	St				st
076	88 S	1	30	SI (1 cm)			
123	84 N	1	85				
087	18 E	5	50	SI (4 cm)			
095	22 E	8	35	SI (1 cm)	GRAVA		st
143	48 S	2	St	SI (2 cm)			st
152	72 W	4	St		GRAVA	SI	
092	79 W	1	100	NO			
039		1	100		CALCITA		
018		3	500				

ESTRATO 1ª ESTACION

Dirección	Buz.	Rugosidad	Continuidad	Apertura	Relleno	Presencia de Agua			MARTILLO SCHMIDT
154	20 NE	6-8	2 metros	X	X	Interestratos y presencia de precipitación de CaCO3			35
157	18 NE	6-8	2 metros	X	X	Interestratos y presencia de precipitación de CaCO3			40
158	30 NE	6-8	2 metros	X	X	Interestratos y presencia de precipitación de CaCO3			35
150	21 NE	6-8	2 metros	X	X	Interestratos y presencia de precipitación de CaCO3			30

151	18 NE	6-8	2 metros	X	X	Interestratos y presencia de precipitación de CaCO ₃				25
154	24 NE	6-8	2 metros	1 o 0,5 mm	X	Si, gotas de agua.				50
151	23 NE	6-8	2 metros	0,5 mm	X	Si, gotas de agua.				45
160	34 NE	6-8	2 metros	1 mm	X	Interestratos y presencia de precipitación de CaCO ₃				42
158	25 NE	4-6	2 metros	1 mm	X	Interestratos y presencia de precipitación de CaCO ₃				32
156	22 NE	6-8	2 metros	1 mm	X	Interestratos y presencia de precipitación de CaCO ₃				35
140	21 NE	6-8	10 metros	3 cm	Mar gas	Si, mucha. Precipitación de CaCO ₃				44
165	22 NE	6-8	10 metros	3 cm	Mar gas	Si, mucha. Precipitación de CaCO ₃				22
158	21 NE	6-8	10 metros	3 cm	Mar gas	Si, mucha. Precipitación de CaCO ₃				35
148	28 NE	6-8	10 metros	3 cm	Mar gas	Si, mucha. Precipitación de CaCO ₃				40
138	25 NE	6-8	10 metros	3 cm	Mar gas	Si, mucha. Precipitación de CaCO ₃				25
140	24 NE	6-8	10 metros	3 cm	Mar gas	Si, mucha. Precipitación de CaCO ₃				30
137	30 NE	6-8	10 metros	3 cm	Mar gas	Si, mucha. Precipitación de CaCO ₃				45

FRACTURAS 1ª ESTACION

Dirección	Buz .	Rugosidad	Continuidad	Apertura	Relleno	Presencia de Agua			MARTILLO SCHMIDT
38	78 E	4-6	10 metros	60 cm	Patinas ferruginosas	Precipitación de CaCO ₃			34
40	82 E	4-6	10 metros	60 cm	Patinas ferruginosas	Precipitación de CaCO ₃			25
43	78 E	4-6	10 metros	50 cm	Patinas ferruginosas	Precipitación de CaCO ₃			22
24	84 E	4-6	5 metros	40 cm	Patinas ferruginosas	Precipitación de CaCO ₃			36
30	80 E	4-6	5 metros	60 cm	Patinas ferruginosas	Precipitación de CaCO ₃			30
25	87 E	4-6	10 metros	20 cm	Patinas ferruginosas	Precipitación de CaCO ₃			15
170	82 W	4-6	50 cm	2 cm	X	Si, cuando llueve			25
165	85 W	4-6	50 cm	5 cm	X	Si, cuando llueve			30

170	85 W	4-6	50 cm	2 cm	X	Si, cuando llueve				22
173	80 W	4-6	50 cm	1 cm	X	Si, cuando llueve				40

ESTRATOS 2ª ESTACION

Dirección	Buz .	Rugosidad	Continuidad	Apertura	Relleno	Presencia de Agua			MARTILLO SCHMIDT
151	20 NE	4-6	15 metros	0,5 cm	Margas	Húmedo, Precipitación de CaCO3			35
152	22 NE	4-6	15 metros	0,5 cm	Margas	Húmedo, Precipitación de CaCO3			30
148	23 NE	4-6	15 metros	0,5 cm	Margas	Húmedo, Precipitación de CaCO3			42
142	24 NE	4-6	15 metros	0,5 cm	Margas	Húmedo, Precipitación de CaCO3			43
151	26 NE	4-6	15 metros	0,5 cm	Margas	Húmedo, Precipitación de CaCO3			45
153	22 NE	4-6	15 metros	0,5 cm	Margas	Húmedo, Precipitación de CaCO3			39
154	20 NE	4-6	15 metros	0,5 cm	Margas	Húmedo, Precipitación de CaCO3			40
160	20 NE	4-6	1 metros	2 mm	x	Si, cuando llueve			45
158	24 NE	6-8	3 metros	1 mm	X	Si, cuando llueve			40
165	20 NE	6-8	3 metros	1 cm	X	Si, cuando llueve			42
155	30 NE	4-6	5 metros	1 mm	X	Si, cuando llueve			30
162	25 NE	6-8	5 metros	1 mm	X	Si, cuando llueve			38
152	32 NE	4-6	5 metros	1 mm	X	Si, cuando llueve			41
148	20 NE	6-8	5 metros	2 mm	X	Si, cuando llueve			35
145	20 NE	6-8	10 metros	1 mm	X	Si, cuando llueve			42

FRACTURAS 2ª ESTACION

Dirección	Buz .	Rugosidad	Continuidad	Apertura	Relleno	Presencia de Agua			MARTILLO SCHMIDT
152	70 S	4-6	6 metros	0,5 cm	Ferruginosas y Calcita	Precipitación de CaCO3			36
129	70 S	6-8	80 cm	1 cm	Calcita	Húmedo, Precipitación de CaCO3			35

135	80 S	4-6	80 cm	1 cm	Calcita	Húmedo, Precipitación de CaCO ₃				28
140	75 S	4-6	80 cm	3 mm	Calcita	Húmedo, Precipitación de CaCO ₃				43
130	70 S	4-6	80 cm	1 cm	Calcita	Húmedo, Precipitación de CaCO ₃				25
150	75 S	4-6	6 metros	1 cm	Ferruginosas y Calcita	Precipitación de CaCO ₃				30
149	80 S	4-6	6 metros	0,5 cm	Ferruginosas y Calcita	Precipitación de CaCO ₃				32
145	70 S	4-6	6 metros	0,5 cm	Ferruginosas y Calcita	Precipitación de CaCO ₃				34
30	70 SE	4-6	15 metros	X	Ferruginosas y Calcita	Precipitación de CaCO ₃				35
45	40 SE	4-6	15 metros	X	Ferruginosas y Calcita	Precipitación de CaCO ₃				32
43	50 SE	4-6	15 metros	X	Ferruginosas y Calcita	Precipitación de CaCO ₃				24
35	65 SE	6-8	15 metros	X	Ferruginosas y Calcita	Precipitación de CaCO ₃				40

ESQUISTOSIDAD

Dirección	Buz.	Rugosidad	Continuidad	Apertura	Relleno	Presencia de Agua			MARTILLO SCHMIDT
28	7 SW	6-8	5 cm	X	X	no			24
55	8 SW	6-8	5 cm	X	X	no			18
43	15 SW	6-8	10 cm	X	X	no			20
35	10 SW	6-8	10 cm	X	X	no			15
50	5 SW	6-8	10 cm	X	X	no			28