



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Estudio geológico-geotécnico y de estabilidad de
los taludes del tramo PK-22+500 a PK-23+500 de
la CV-345 (Valencia)

Presentado por

Canet Sánchez, Sara

Para la obtención del

Grado de Ingeniería Civil

Curso: 2019/2020

Fecha: Diciembre 2019

Tutor: Francisco Javier Torrijo Echarri

Cotutor: Julio Garzón Roca





Índice

1.	INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES	5
1.1	Objetivo del estudio.....	5
1.2	Antecedentes	5
1.2.1	Tráfico y trazado	5
1.2.2	El sector primario	7
1.2.3	Riesgo geológico	8
2.	ESTUDIO GEOLÓGICO.....	10
2.1	Introducción.....	10
2.2	Encuadre geográfico	10
2.3	GEOLOGÍA GENERAL	12
2.4	ESTRATIGRAFÍA	14
2.4.1	Triásico	14
2.4.2	Jurásico.....	14
2.4.3	Cretácico	15
2.4.4	Terciario (Plioceno T ₁).....	15
2.4.5	Cuaternario (Q)	15
2.5	TECTÓNICA.....	16
2.6	CONDICIONES SÍSMICAS	16
2.7	HIDROLOGÍA.....	18
2.7.1	hidrología subterránea.....	18
2.7.2	hidrología superficial.....	18
2.8	GEOMORFOLOGÍA.....	19
2.9	CONCLUSIONES	20
3.	ESTUDIO GEOTÉCNICO.....	22
3.1	Introducción.....	22
3.2	Trabajos realizados	23
3.2.1	Trabajos de campo.....	23
3.2.2	Trabajos de laboratorio.....	31
3.2.3	Proyección estereográfica del talud	34
3.3	Nivel Freático	36
3.4	Hidrogeología.....	36
3.5	Características litológicas del terreno.....	37
3.5.1	Propiedades físicas de la matriz rocosa	37



3.5.1.1	Identificación del terreno.....	38
3.5.1.2	Porosidad	39
3.5.1.3	Peso específico.....	40
3.5.1.4	Humedad.....	40
3.5.1.5	Permeabilidad	42
3.5.2	Propiedades geotécnicas del macizo rocoso	42
3.5.2.1	Meteorización y alteración	42
3.5.2.2	Resistencia a compresión simple (RCS).....	44
3.5.2.3	RMR.....	51
3.5.2.4	Orientación	55
3.5.2.5	Espaciado	55
3.5.2.6	Continuidad o persistencia	56
3.5.2.7	Rugosidad.....	57
3.5.2.8	Resistencia de las paredes	58
3.5.2.9	Abertura	59
3.5.2.10	Relleno	60
3.5.2.11	Filtraciones.....	60
3.5.3	Comportamiento mecánico del macizo rocoso	61
3.5.3.1	El índice GSI.....	62
3.5.3.2	El parámetro <i>mi</i>	63
3.5.3.3	El parámetro D	63
3.5.4	Comportamiento mecánico del macizo rocoso	64
3.6	Estabilidad de taludes.....	65
3.6.1	Tipos de rotura de taludes en roca	65
3.6.1.1	Rotura planar	65
3.6.2	Rotura en cuña.....	68
3.6.3	Rotura por vuelco o toppling	71
3.6.4	CLASIFICACIÓN SMR.....	72
3.6.5	Análisis cinemático del talud.....	77
3.1	Conclusiones	79
4.	ESTUDIO DE SOLUCIONES	81
4.1	Introducción	81
4.2	Condicionantes	81
4.3	Alternativas	82
4.3.1	No realizar ninguna acción.....	82
4.3.2	Modificar la geometría del talud	83



4.3.3	Muros y elementos de contención	84
4.3.4	Drenajes y otros elementos de protección pasiva.....	85
4.3.5	Elementos estructurales resistentes.....	85
4.4	Solución adoptada	86
4.4.1	Selección de la alternativa óptima.....	86
4.4.2	Desarrollo de la alternativa adoptada	87
4.4.3	Medidas auxiliares	89
4.4.3.1	Medidas superficiales de corrección.....	89
4.4.3.2	Integración ambiental.....	90
4.4.3.3	Drenaje.....	90
4.5	Conclusiones	91
5.	Valoración económica y plan de trabajos	94
5.1	Introducción.....	94
5.2	Valoración económica.....	94
5.3	Plan de obra	98
6.	Bibliografía	100

1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

1.1 OBJETIVO DEL ESTUDIO

El objetivo de este documento es el estudio geológico-geotécnico de los taludes de la carretera CV-345 a su paso entre Higuieruelas y La Yesa (PK 22+500 a PK 23+500) que se pretende ampliar. Asimismo, también se procederá al estudio de soluciones en lo que a la estabilidad de los taludes se refiere y se elaborará una valoración económica y un plan de trabajo de la solución adoptada.

1.2 ANTECEDENTES

Este estudio se centra en la estabilidad de los taludes de la carretera CV-345 a su paso por Higuieruelas y La Yesa, ambas poblaciones de la Comunidad Valenciana. Las razones por las que se ha elegido este tramo en concreto de carretera para este estudio se exponen a continuación:

1.2.1 Tráfico y trazado

La carretera objeto de estudio corresponde a la CV-345 de la red de carreteras de la Generalitat Valenciana y se caracteriza por un elevado paso de tráfico pesado, en su mayoría vehículos destinados al transporte de áridos puesto que esta carretera une varias explotaciones mineras con la vía principal. Conjuntamente, el entorno montañoso motiva el tráfico de ciclistas por la vía cuando los camiones circulan ininterrumpidamente, lo que supone un algo riesgo para la integridad de los usuarios.

Las características de la vía no reúnen las mínimas recogidas por la normativa de carreteras actual (Instrucción 3.1-IC Trazado) y las características de esta suponen un riesgo para la seguridad vial.

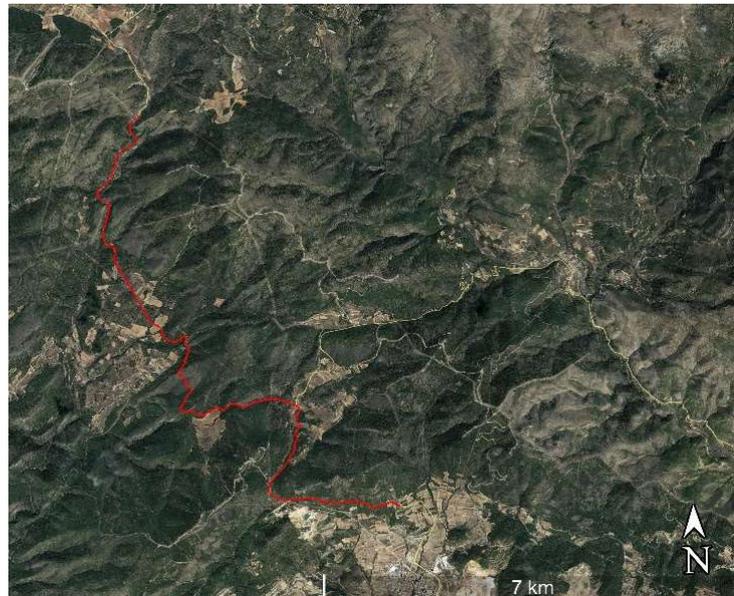


Figura 1: Carretera objeto de estudio, CV-345 a su paso entre Higuieruelas y La Yesa. Fuente Google Earth.

En el 2013, cuando se tomaron los datos de los aforos en esta carretera, la IMD era de 285 vehículos/día en su primer tramo (PK 21+000 al PK 24+000), 28 vehículos/día en su segundo tramo (PK 24+000 al PK 29+000), y por último de 33 vehículos/día en su último tramo (PK 29+000 al PK

37+000). Esta IMD ha aumentado estos años por su tendencia al alza y por la necesidad del transporte de carácter industrial de dicha zona.

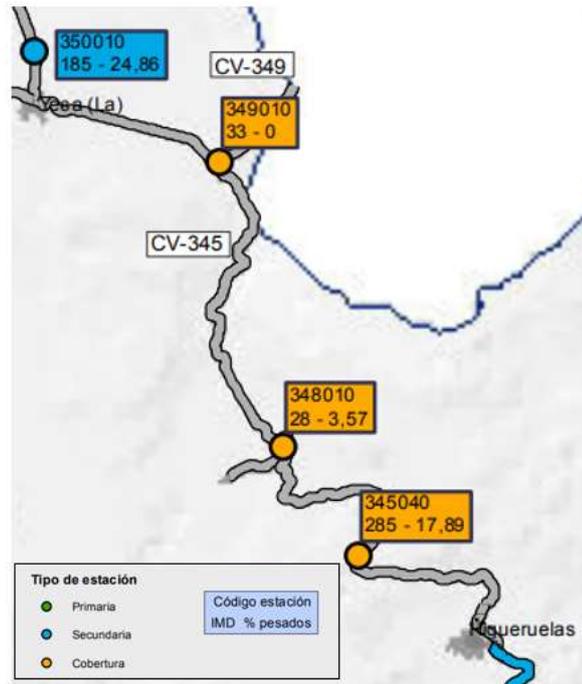


Figura 2: Mapa de aforos 2013, carretera CV-345. Fuente Mapa de Tráfico del Área de Carreteras de la Diputación de Valencia

Estas cifras tienen carácter ascendente y para el cálculo de obra civil se obtienen con unas aproximaciones que estadísticamente simulan la IMD del año de estudio. En este caso se han obtenido de la FOM/3317/2010: Instrucción sobre las medidas específicas para la mejora de la eficiencia en la ejecución de las obras públicas de infraestructuras ferroviarias, carreteras y aeropuertos del Ministerio de Fomento. por la normativa de carreteras vigente.

Período	Incremento anual acumulativo
2010-2012	1,08%
2013-2016	1,12%
2017 en adelante	1,44%

Figura 3: Incremento anual acumulativo de la IMD. Datos obtenidos de FOM/3317/2010: Instrucción sobre las medidas específicas para la mejora de la eficiencia en la ejecución de las obras públicas de infraestructuras ferroviarias, carreteras y aeropuertos del Ministerio de Fomento. Elaboración propia.

De forma que la IMD para el año de puesta en servicio de la carretera (2020) en el tramo de estudio sería:

$$IMD_{2016} = IMD_{2013} * \left(\frac{112}{100}\right)^{2016-2013}$$

$$IMD_{2020} = IMD_{2016} * \left(\frac{144}{100}\right)^{2020-2016}$$

Tramo	<i>IMD</i> ₂₀₁₃ (vehículos/día)	<i>IMD</i> ₂₀₁₆ (vehículos/día)	<i>IMD</i> ₂₀₂₀ (vehículos/día)
PK 21+000 – PK 24+000	285	401	1722
PK 24+000 – PK 29+000	28	40	170
PK 29+000 – PK 37+000	33	47	200

Figura 4: IMD de los tramos de la carretera. Elaboración propia.

Como se puede observar la IMD de la carretera aumentaría notablemente y por ello es necesario la intervención en ella.

1.2.2 El sector primario

La extracción de minerales constituye una parte importante de la base industrial de la zona de estudio, ya que las canteras que se encuentran en esta abastecen a la industria azulejera de Castellón. Esto se debe a que en su mayoría extraen sílice, caolín y arcilla. La Yesa, al igual que Alpuente, Higuieruelas y Villar del Arzobispo son centros exportadores de áridos para las industrias de la construcción.

Entre las canteras más importantes podemos destacar: Caolines Lapiedra S.L. extractora de caolín con una ocupación de 47,54 hectáreas; SIKAMR, S.L. extractora de caolín, sílices y arcillas; y Caolineras Cerrillo Sociedad Limitada. De las canteras de esta zona salen cientos de metros cúbicos diariamente, la ubicación de estas se muestra a continuación junto a la zona de estudio.

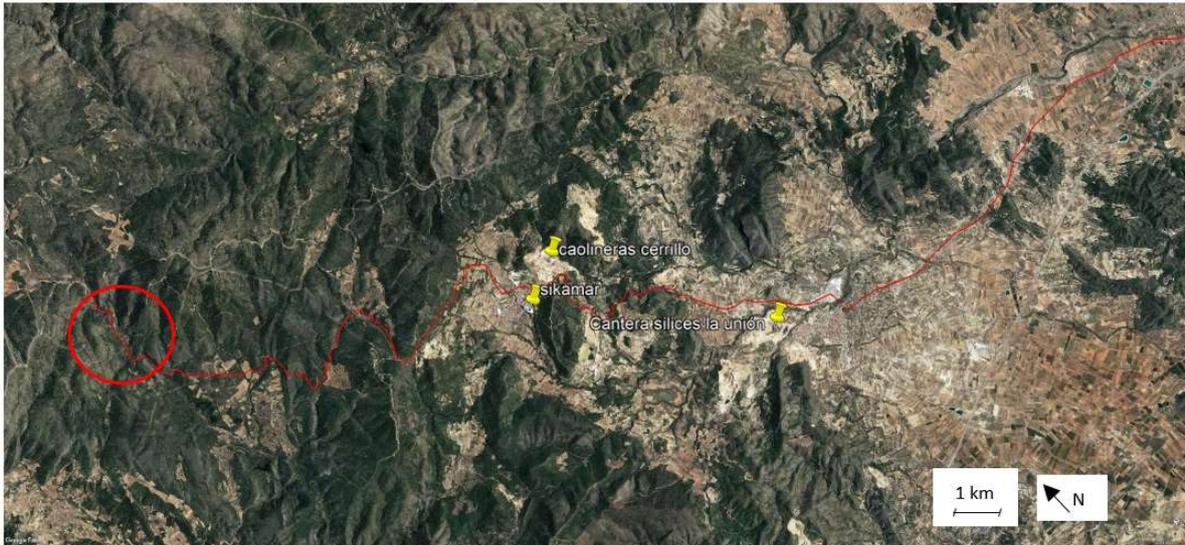


Figura 5: Situación de las canteras respecto a la zona de obra, fuente Google earth

1.2.3 Riesgo geológico

Como se indica en los datos de la cartografía temática de la comunidad Valenciana proporcionados por la Generalitat, una parte de la zona de estudio está caracterizada como zona de peligrosidad geomorfológica. Además, se encuentra afectada por el Plan de Acción Territorial de carácter sectorial sobre prevención del Riesgo de inundación en la Comunidad Valenciana (PATRICOVA). Las zonas marcadas a continuación son las que presentan el riesgo de deslizamiento en el entorno de la carretera objeto de estudio.

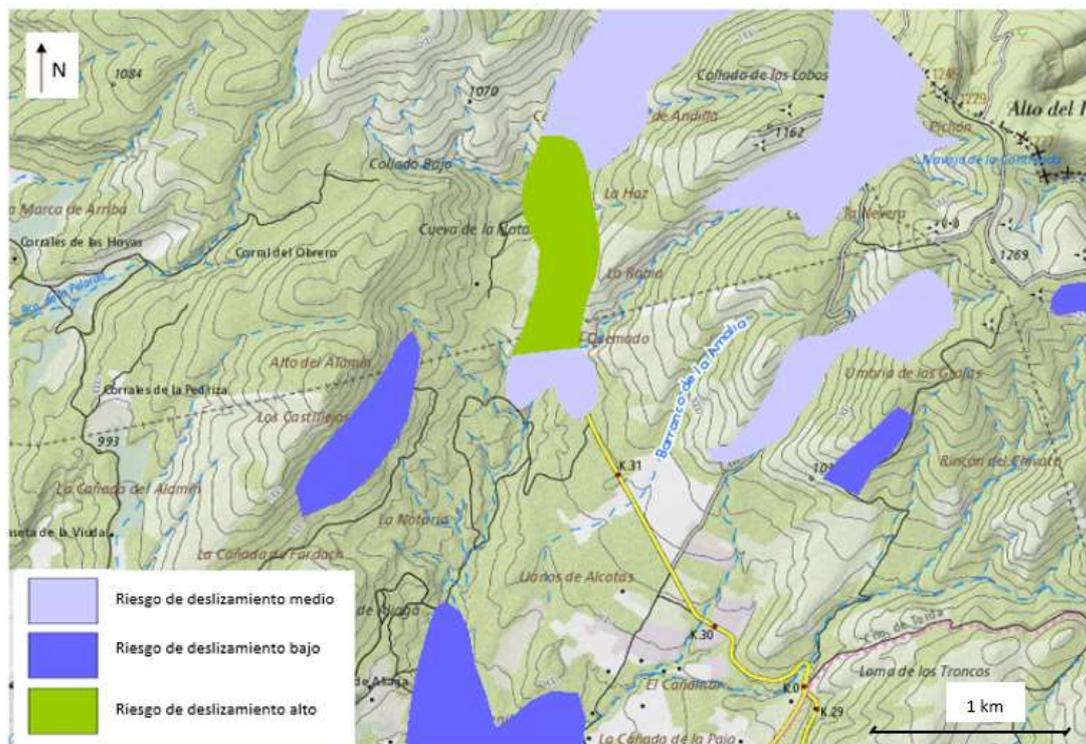


Figura 6: Riesgo de deslizamiento en la zona de estudio. Fuente cartografía temática de la Comunidad Valenciana.



A la hora de seleccionar el talud representativo que se usará para caracterizar el macizo rocoso de la zona de estudio, se tendrá en cuenta el tramo de la carretera que se engloba en el grupo de alto riesgo de deslizamiento según el instituto cartográfico de la Generalitat Valenciana.

2. ESTUDIO GEOLÓGICO

2.1 INTRODUCCIÓN

En este punto se ha procedido a estudiar, con carácter general, la geología del tramo por el que transcurre la carretera objeto de estudio. Para ello, se ha consultado el Mapa Geológico Nacional (MAGNA) elaborado por el Instituto Geológico y Minero de España. La zona en cuestión pertenece a la hoja de Alpuente, por lo que se ha estudiado en profundidad la hoja 638.

Seguidamente, se ha visitado la zona de estudio y se han recogido muestras para analizar y corroborar que la traza del tramo de la carretera discurre sobre los materiales estudiados en este punto.

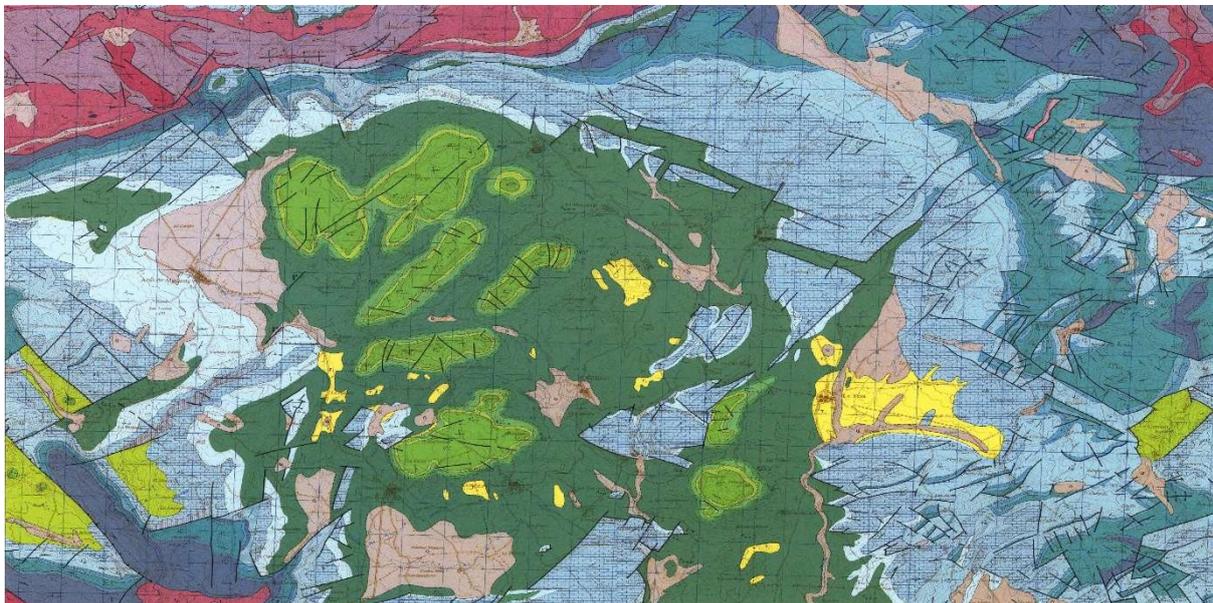


Figura 7: Página 638 MAGNA 50, fuente Mapa Geológico Nacional (MAGNA) elaborado por el Instituto Geológico y Minero de España

2.2 ENCUADRE GEOGRÁFICO

La zona objeto de estudio pertenece a la Comunidad Valenciana. Se encuentra en la comarca de Los Serranos, al noroeste de la Ciudad de Valencia. Esta comarca comprende el curso alto del río Turia y territorios adyacentes y limita al este con la comarca del Campo de Turia, al sur con las comarcas de Plana de Utiel-Requena y la Hoya de Buñol, al oeste con la provincia de Cuenca, y al norte con la comarca del Alto Palancia y la Gúdar-Javalambre, ya en la provincia de Teruel.

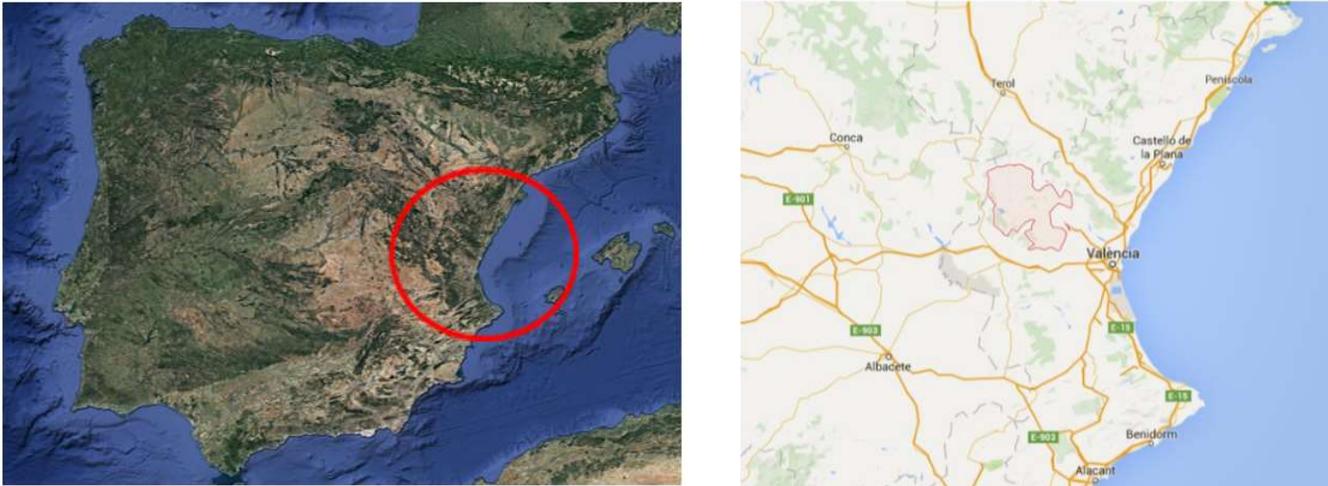


Figura 8: Comarca de Los Serranos, fuente Google Earth.

El tramo de la carretera objeto de este estudio pertenece a la CV-345 de la red de carreteras de la diputación Valenciana y comunica los municipios de Higuieruelas y La Yesa. Estos dos municipios se caracterizan por tener poca población que aumenta en periodos vacacionales además de tener un predominante sector primario enfocado principalmente hacia la minería.

Por un lado, Higuieruelas es el municipio más cercano a Valencia y cuenta con una superficie de 18,80 km² y tiene 540 habitantes, por otro lado, el municipio de La Yesa está situado en la falda de la sierra de Javalambre y en los límites de Aragón con una extensión de 84.70 km² y 234 habitantes.



Figura 9: Situación de las poblaciones en la red de carreteras, fuente Conselleria de Política Territorial, Obras Públicas y Movilidad



Figura 10: Carreteras de la comarca de los Serranos, elaboración propia.

2.3 GEOLOGÍA GENERAL

Como se puede observar en la figura 10, la geología de la zona a nivel regional se caracteriza por una predominancia de materiales del jurásico, estando también muy presentes los materiales del terciario y los del cretácico, pudiéndose encontrar algunos yacimientos puntuales de materiales del Paleozoico y de rocas volcánicas. La zona objeto de este estudio está definida por materiales del cretácico y del jurásico, apareciendo materiales del triásico en la parte NO.

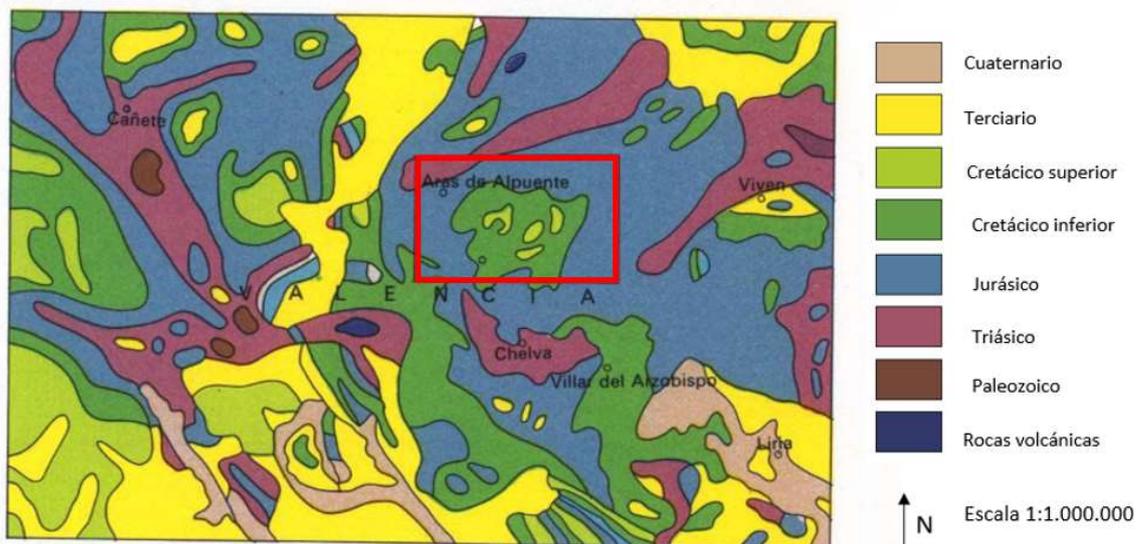


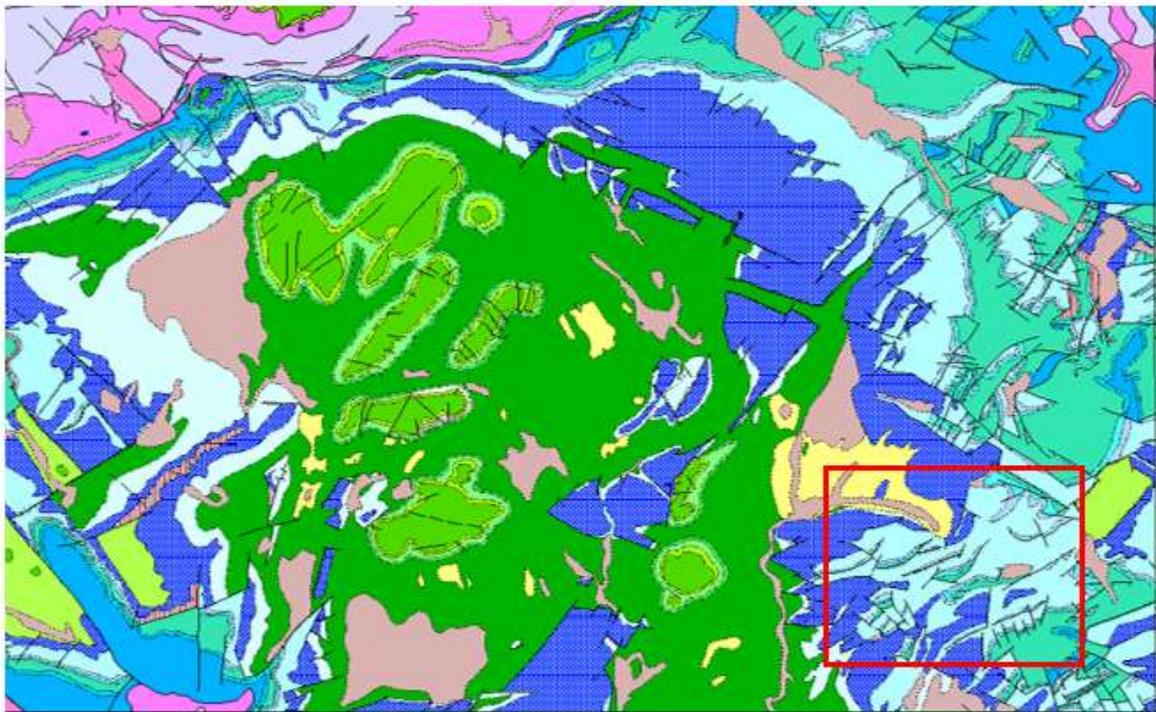
Figura 11: Geología regional, fuente Mapa Geológico Nacional (MAGNA) elaborado por el Instituto Geológico y Minero de España

Pasando a hablar a nivel comarcal, la geología de la zona que engloba la comarca de Los Serranos se caracteriza por una gran predominancia de materiales del jurásico y del cretácico inferior y superior. A grandes rasgos, en la comarca se pueden encontrar arenas, areniscas y arcillas del Cretácico, así como alternancias de calizas y margas del jurásico.



Figura 12: Geología de la comarca de Los Serranos, fuente Mapa Geológico Nacional (MAGNA) elaborado por el Instituto Geológico y Minero de España

Nuestra zona de estudio se encuentra en la hoja 638 de los mapas del IGME, en la cual el principal rasgo cartográfico está constituido por materiales del Cretácico que se encuentran en la parte central de esta zona, siendo rodeados por materiales del Jurásico. La zona por la que discurre el trazado de la carretera que se analiza en este estudio pertenece a estos últimos dentro del grupo Malm. Podemos observar calizas oolíticas y pisolíticas en contacto con una zona de Aluviones y fondos de valles indiferenciados.



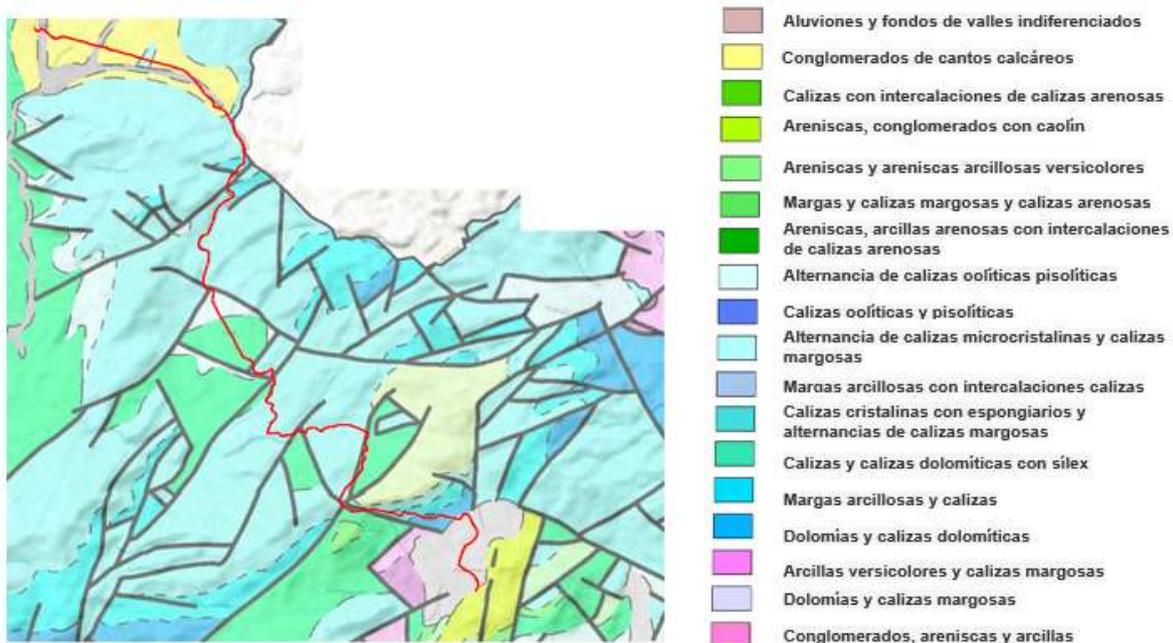


Figura 13: Geología de la zona de estudio, fuente Mapa Geológico Nacional (MAGNA) elaborado por el Instituto Geológico y Minero de España. Elaboración propia.

2.4 ESTRATIGRAFÍA

2.4.1 Triásico

Presenta los tres tramos clásicos del tipo germánico. Los afloramientos son escasos, reduciéndose a uno principal, el de Arcos de las Salinas. Hablando de la distribución de los pisos, la mayor superficie cartográfica es ocupada por el Keuper y en segundo lugar por el Muschelkalk.

- Buntsandstein (T_{G1}), en la región de estudio presenta tres tramos principales:
 - Conglomerados basales, son heterogéneos y se observan al oeste de las Caídas del Turia. La potencia de estos no se puede fijar al no aparecer la base.
 - Lutitas y areniscas intermedias, constituyen un potente paquete alternante, solo se observa en la parte superior de la zona, su espesor es de unos 200 m.
 - Areniscas, constituyen un conjunto de 60 m. se encuentran en gruesos bancos con estratificación normal y entrelazada.
- Muschelkalk (T_{G2}), Está compuesto en esta zona por dos tramos litológicos: El inferior es totalmente dolomítico, con una estratificación muy fina y perfectamente recta en la base, mientras que en el techo las capas son más gruesas y onduladas; el tramo superior es más calcáreo margoso y fácilmente erosionable
- Keuper (T_{G3}), Los materiales que componen el Keuper de la región pueden dividirse 5 formaciones definidas como unidades litoestratigráficas por F. ORTI (1973):
 - Yesos superiores (yesos de Ayora, K_5)

- Arcillas yesíferas (arcillas yesíferas de Quesa, K₄)
- Arcillas rojas (arcillas de Cofrentes, K₃)
- Areniscas (areniscas de Manuel, K₂)
- Arcillas y yesos inferiores (arcillas y yesos de Jarafuel, K₁)

2.4.2 Jurásico

- LIAS
 - Lías Inferior y Medio (J₁₁₋₁₃), Presenta una potencia máxima de entre 300 y 215 m.
 - Toarciense (J₁₄), Está integrado por tres tramos que pueden estudiarse en la pista de Casa Torda, cercano a la zona de traza de nuestra carretera. En el límite norte de la zona entre el techo del tramo superior y la base de las calizas del Dogger aparecen dos pequeños afloramientos de tobas volcánicas.
- DOGGER (J₁₄₋₂³⁻⁰), Está compuesto por un conjunto calcáreo muy potente, de 100-120 m. que ocupa los núcleos de los principales relieves jurásicos. La serie Dogger se puede dividir en tres tramos principales:
 - Tramo inferior, se estudia en la pista de Casa Torda, comienza por calizas dolomíticas con juntas de estrato muy onduladas. A partir de los 12 m. las juntas se hacen más rectas y presentan solidificación. Hacia los 50 m. aparecen niveles con más contenido de sílex.
 - Tramo medio, presenta 44 m. de calizas que alteran con capas margosas y calcáreo-margosas.
 - Tramo superior, presenta 6 m. de caliza microcristalina con juntas de estrato muy onduladas. Este nivel corresponde al Bathoniense y parte del Calloviense.
- MALM
 - Oxfordiense (J₃₁), Está constituido por un espesor de 28 m. que abarca el Oxfordiense inferior, medio y superior. En Abejuela fue reconocido como Argoviense por J. R. Bataller (1964) e identificado con las capas de Birmensdorf.
 - Kimmeridgiense inferior (J₃₂¹), Se compone de un paquete arcillo-margoso de unos 30 m.
 - Kimmeridgiense medio (J₃₂), Se compone de 13-30 m. de una alternancia de calizas microcristalinas con margas y calizas margo-hojosas en las juntas.
 - Kimmeridgiense superior (J₃₂³), Representado por potentes bancos calcáreos de 40-50 m.
 - Portlandiense (Facies Purbeckiense (J_{P32}), Presenta alternancia de bancos de calizas y calizas margosas de 12 m. En el techo comienzan las facies Weald con arcillas arenosas de tonos rojizos.

2.4.3 Cretácico

Los afloramientos más importantes constituyen la denominada 'Aras de Alpuente'.

- Cretácico inferior (Facies Weald)
 - Hauteriviense-Albiense (C_{w13-16}), Se han podido distinguir tres tramos, uno inferior de edad Hauteriviense constituido en su base por areniscas groseras.



Por encima se encuentra un conjunto de calizas arenosas y seguidamente una alternancia de arcillas y areniscas con niveles de conglomerados de cantos de cuarcita. En el techo yace un conjunto de calizas arenosas lumaquéticas.

- Albiense superior-Cenomaniense inferior (C_{16-21}^{2-3}), El tránsito con la serie inferior se realiza por la intercalación de niveles de calizas arenosas, hacia el techo aparecen niveles margosos y calizas lumaquéticas.
- Cretácico superior
 - Cenomaniense Medio-Superior (C_{21}^{2-3}), El tránsito con la serie anterior se realiza por la intercalación de niveles de calizas arenosas. Hacia el techo aparecen niveles margosos y calizas lumaquéticas.

2.4.4 Terciario (Plioceno T₁)

Está representado por una formación de tipo brecha, en discordancia con los sedimentos cretácicos y con un espesor variable.

2.4.5 Cuaternario (Q)

Está formado por aluviones redientes de poca importancia, situados en los cauces actuales con arcillas de decalcificación.

2.5 TECTÓNICA

La zona en general se encuentra dentro del nivel estructural superior y medio, cuyos mecanismos fundamentales de deformación son el cizallamiento y la flexión.

Pasando a analizar la tectónica de la zona que engloba a la carretera, se observa la interferencia de las dos direcciones de plegamiento. Otra característica fundamental de esta zona es la existencia de fallas normales cuyos movimientos se deben a la última fase de distensión. La presencia de fallas está vinculada con la aparición de otros materiales, sobre todo en los contactos de materiales calcáreos con otros blandos, lo que ha permitido el desarrollo de grandes colectores fluviales.

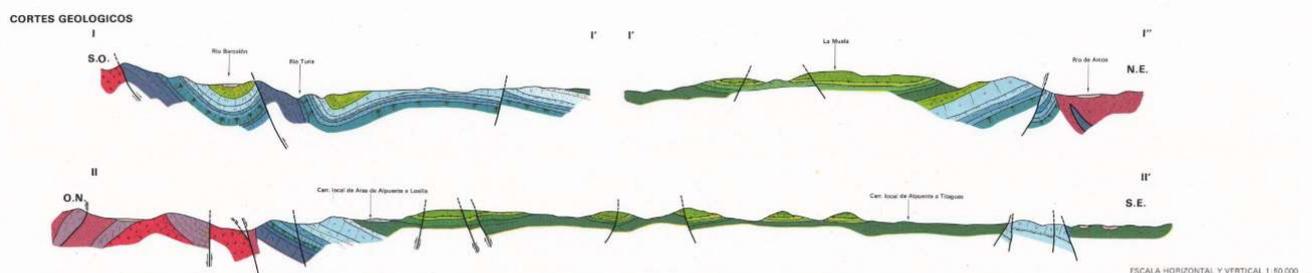


Figura 14: Tectónica del mapa 638, fuente Mapa Geológico Nacional (MAGNA) elaborado por el Instituto Geológico y Minero de España

2.6 CONDICIONES SÍSMICAS

Centrándonos en las condiciones sísmicas de la zona objeto de estudio, como se indica en la norma de construcción sismorresistente española general y de edificación (NCSE-02), la peligrosidad sísmica se define por medio del mapa de peligrosidad sísmica, como se indica en la figura 11. En este

mapa se expresa la aceleración sísmica básica (a_b) que representa un valor característico de la aceleración horizontal de la superficie del terreno en relación de la gravedad (g), y el coeficiente de contribución (k) que tiene en cuenta la influencia de los distintos terremotos expresados en la peligrosidad sísmica de cada punto.

La aceleración de cálculo se obtiene por medio de:

$$a_c = S * \rho * a_b$$

Donde:

- a_b , aceleración sísmica.
- ρ , coeficiente adimensional de riesgo en función de que se exceda a_c en el periodo de vida en el que se diseña la construcción. En este caso se considera que se trata de una construcción de importancia especial, por lo que se toma el valor de $\rho = 1,3$.
- S , coeficiente de amplificación del terreno, que se calcula en función de a_b y cuyo valor se obtiene por medio de C , el coeficiente del terreno que depende de las características geotécnicas del mismo.

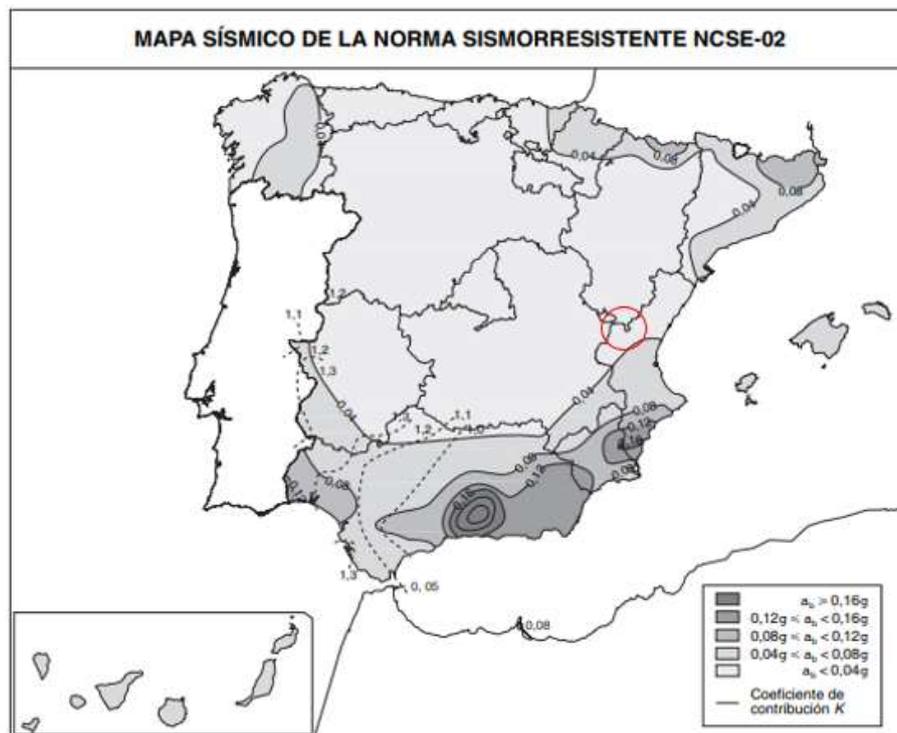


Figura 15: Mapa de la peligrosidad sísmica, fuente NCSE-02

El tramo en el que nos encontramos presenta una peligrosidad IV, por lo tanto, el valor de la aceleración sísmica básica (a_b) es de 0,05, el coeficiente de contribución (k) es de 1 y el coeficiente de amplificación del terreno para el valor de para $\rho * a_b \leq 0,1g$ es de $S = \frac{C}{1,25}$.

El terreno que se encuentra en esta zona pertenece al grupo I de la clasificación geotécnica de esta norma, siendo roca compacta, suelo cementado o granular muy denso, por lo que la velocidad



de propagación de las ondas elásticas transversales o de cizalla es de $v_s > 750 \text{ m/s}$. El coeficiente C que se le asocia a esta clase de terreno es el especificado en la tabla 1.

Tipo de terreno	Coefficiente C
I	1.0
II	1.3
III	1.6
IV	2.0

Figura 16: Coeficientes del terreno, fuente NCSE-02, elaboración propia

Por lo que la aceleración sísmica de cálculo es:

$$a_c = S * \rho * a_b = \frac{1}{1,25} * 1,3 * a_b = 1,04 * 0,04 * g = 0,416 * g$$

Después de estos cálculos se llega a la conclusión de que no es de gran importancia el sismo desarrollado en la zona objeto de estudio. Por lo que si se tuviera que hacer algún cálculo estructural no se tendría en cuenta.

2.7 HIDROLOGÍA

2.7.1 hidrología subterránea

En el ámbito de la Demarcación Hidrográfica del Júcar (DHJ) se han definido 90 masas de agua subterránea y 26 masas de agua impermeable o acuíferos de interés local, como se puede observar en la figura 12.



Figura 17: Delimitación de masas de agua subterránea en la DHJ. En gris las zonas impermeables o acuífero de interés local. La zona marcada se corresponde a la comarca de Los Serranos. Fuente Demarcación Hidrográfica del Júcar.

Se han estudiado las aguas subterráneas por medio de la información plasmada en la hoja del IGME referente a la zona de Alpuente en la que se puede observar que los acuíferos más importantes los constituyen las calizas del Jurásico. En la zona suroeste y el norte de dicha hoja estos acuíferos están drenados por el río Turia. Los manantiales de esta zona son de caudales bajos y se utilizan para el abastecimiento de aguas a las poblaciones.

2.7.2 hidrología superficial

En toda la cuenca del Júcar se han definido 304 ríos, de los cuales los que pasan por la comarca de los Serranos son el río Turia, que discurre por toda esta zona y el río Tuéjar, que atraviesa esta zona

perpendicularmente hasta llegar al embalse de Loriguilla. Estos ríos, por su situación geográfica, se engloban en el grupo de ríos mineralizados de baja montaña mediterránea y por su masa de agua en función de su temporalidad, ambos son ríos permanentes.



Figura 18: Ríos definidos en la DHJ. En verde los ríos naturales y en rojo los artificiales y muy modificados. La zona marcada se corresponde a la comarca de Los Serranos. Fuente Demarcación Hidrográfica del Júcar.

Pasando a hablar de otras masas de agua, se pueden clasificar en naturales y artificiales. Por una parte, como masa de agua natural cercano a la comarca de los Serranos se encuentra la Laguna de Talayuelas, que es un lago en cuenca de sedimentación y mineralización baja.

Por otra parte, de las masas de agua artificiales, en las que se diferencian:

- Los embalses y azudes, en esta zona se encuentran los embalses de Loriguilla y de Benagéber, siendo este uno de los mayores embalses de la cuenca en el río Turia junto con Alarcón, Contreras y Tous en el río Júcar.



Figura 19: Embalses principales en la Demarcación Hidrográfica del Júcar. La zona marcada se corresponde a la comarca de Los Serranos. Fuente Demarcación Hidrográfica del Júcar

- Canales y conducciones principales, en la comarca de los Serranos se encuentra el canal del campo del Turia, con una longitud de 72,9 km.

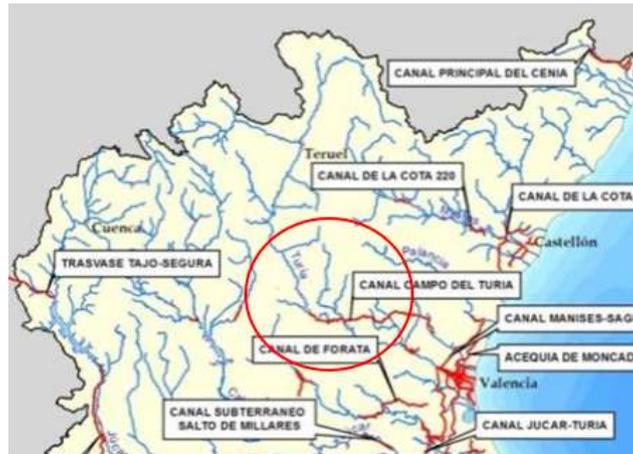


Figura 20: Conducciones principales en la Demarcación Hidrográfica del Júcar. La zona marcada se corresponde a la comarca de Los Serranos. Fuente Demarcación Hidrográfica del Júcar.

2.8 GEOMORFOLOGÍA

La comarca de Los Serranos es un espacio geográfico caracterizado por materiales duros en altitud como dolomías y calizas. Por el contrario, materiales más dúctiles se encuentran en superficies más llanas a modo de ondulaciones, sobre todo en la parte noroccidental de la comarca, que caracterizan la entrada a la meseta.

Analizando la geomorfología de la traza se observa que discurre por terreno montañoso > 30% con grandes desniveles al principio de esta y laderas moderadas 15%-30% según nos acercamos más a La Yesa. A continuación, se muestra el perfil de elevación de la traza de la carretera de estudio, siendo el punto más alto de esta los 1044m. La zona donde están los taludes analizados se encuentra más cercana a La Yesa y su altura es de 935m. La pendiente máxima es de 12.1% y la media es de 4.9%.



Figura 21: Perfil de elevación, fuente GOOGLE earth, elaboración propia.

La presencia de acuíferos va relacionada con la presencia de rocas altamente permeables. La construcción de los embalses presentes en esta zona, como el embalse de Buseo, se debe a la circulación de agua subterránea mediante un entramado fluvial que reaparece cuando encuentra otros materiales impermeables, como los que encontramos en los fondos de valle donde aparecen ríos como el Tuéjar y el Turia.

Aparecen también muelas como las de Alpuente o Aras de los Olmos, características en las litologías calizas, formando mesetas de estratos casi horizontales, pudiendo aparecer aisladas o recortadas por ríos. Es destacable la importancia de la erosión fluvial que ha originado gargantas de paredes de hasta 200 metros de altura.

2.9 CONCLUSIONES

La zona objeto de este estudio pertenece a **la Comarca de los Serranos**, al norteste de Valencia. La hoja del mapa Geológico Nacional de esta zona se corresponde con la de Alpuente (638), en la que se indica que en la comarca se pueden encontrar arenas, areniscas y arcillas del Cretácico, así como alternancias de calizas y margas del jurásico. En la zona de la traza de la carretera que se estudia se encuentran **materiales del jurásico** del grupo Malm.

La zona se encuentra dentro del nivel estructural superior y medio cuyos mecanismos fundamentales de deformación son el cizallamiento y la flexión. Además, se encuentran fallas que explican la aparición de otros materiales en las zonas de depósitos fluviales.

Pasando a hablar de la sismicidad, se llega a la conclusión de que no es de gran importancia el **sismo** desarrollado en la zona objeto de estudio. Por lo que si se tuviera que hacer algún cálculo estructural **no se tendría en cuenta**.

Respecto a la hidrología, la subterránea se caracteriza por acuíferos constituidos por las calizas del Jurásico, aunque los **manantiales** de esta zona son **de caudales bajos** y se utilizan para el abastecimiento de aguas a las poblaciones. La hidrología superficial se caracteriza por los **ríos más importantes**: el **rio Turia** y el **rio Tuéjar**. Pertenecen al grupo de ríos mineralizados de baja montaña mediterránea y por su masa de agua en función de su temporalidad, ambos son ríos permanentes. Otras masas de agua de interés son: los **embalses de Loriguilla y de Benagéber**; y el **canal del campo del Turia**.

La comarca de Los Serranos, es un espacio geográfico caracterizado por **materiales duros en altitud** como dolomías y calizas. materiales más **dúctiles** se encuentran **en superficies más llanas** a modo de ondulaciones, sobre todo en la parte noroccidental de la comarca, que caracterizan la entrada a la meseta.

Por último, se observa que **la traza** de la carretera **discurre por terreno montañoso** con grandes desniveles al principio de esta y laderas moderadas según nos acercamos más a La Yesa.

3. ESTUDIO GEOTÉCNICO

3.1 INTRODUCCIÓN

El objeto del presente estudio es el análisis y la descripción geotécnica de la zona de la traza de la carretera que se pretende ampliar. En este punto se estudiará como trabajan mecánicamente los materiales que se han descrito en el estudio geológico y se analizará geotécnicamente los taludes objeto de estudio y la estabilización de los taludes actualmente.

Para ello, se llevará a cabo un estudio de la caracterización geotécnica de cada material por el que discurre la traza descrito anteriormente y la comprobación cinemática ante rotura de los taludes seleccionados como representativos. Los cuales se indican en la siguiente figura:

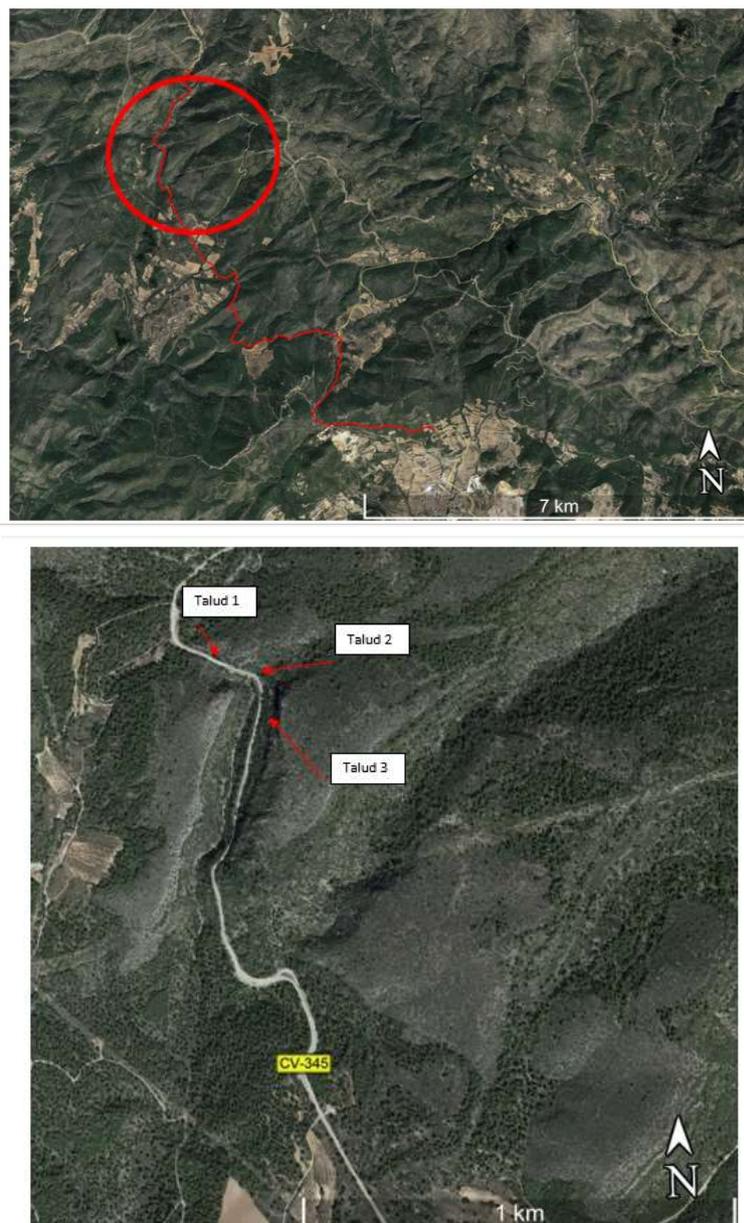


Figura 22: Taludes elegidos para la realización de las estaciones geomecánicas, fuente GOOGLE earth, elaboración propia.



En este punto, se pretende analizar y complementar los datos proporcionados por la información geológica con el fin de caracterizar correctamente el macizo rocoso de la zona de actuación.

La metodología que se ha seguido es:

- Realización de las estaciones geomecánicas.
- Realización de ensayos en laboratorio.
- Clasificación del macizo.
- Propuesta de parámetros geotécnicos de diseño.
- Y, por último, el análisis de estabilidad.

3.2 TRABAJOS REALIZADOS

3.2.1 Trabajos de campo

Para la elaboración de este estudio se han se ha llevado a cabo estaciones geomecánicas en varias visitas de campo, además, se han tomado muestras en campo de los taludes representativos para posteriormente ensayarlas en laboratorio. Estas estaciones se llevan a cabo para elaborar un análisis en campo tanto de los macizos como de sus discontinuidades y una toma de muestras de los materiales para el futuro análisis de la estabilidad del talud. Los taludes en los que se han realizado dichas estaciones han sido los que se han tomado como representativos del macizo.

Para la realización del reconocimiento del talud, se ha llevado a cabo una inspección visual de la zona, así como una serie de trabajos de campo en el mes de febrero, marzo y mayo de 2019, de modo que sea posible contrastar la información geológica previa con datos reales de campo.





Figura 23: Taludes estudiados en campo. Talud 2 (Izq), Talud 3 (dcha), Talud 1 (abajo). Elaboración propia.

Para la toma de datos de las estaciones geomecánicas se ha usado: una brújula Brunton, un martillo para roca y un flexómetro.

La brújula Brunton consiste en una brújula de precisión que incorpora un clinómetro, esto permite que sea capaz de medir el ángulo desde la vertical para poder obtener así la dirección de buzamiento de los planos de discontinuidad. Este instrumento posee una aguja imantada que se dispone en la dirección de las líneas de magnetismo natural de la Tierra. A diferencia de la mayoría de las brújulas modernas, utiliza amortiguación de inducción magnética en lugar de líquido para amortiguar la oscilación de la aguja orientadora.



Figura 24: Brújula Brunton, elaboración propia.

El martillo para roca o piqueta es un martillo que se usa para dividir y separar rocas del macizo con el fin de determinar su composición, su naturaleza, la mineralogía... además de permitir la toma de muestras alteradas, para posteriormente analizarlas en laboratorio. Este martillo es especialmente duro ya que se usa con materiales de gran tenacidad que oponen mucha resistencia. El martillo que se utilizó en campo fue un martillo estándar, sus características son: peso 624 gramos, largo 33 cm, cabeza pulida con extremo en punta.



- Continuidad, se refiere a su extensión superficial, medida por la longitud según la dirección del plano y según su buzamiento. Se obtienen estos valores con la cinta métrica.
- Apertura, es la distancia perpendicular que separa las paredes de la discontinuidad cuando no existe relleno. Se tomaron estas medidas con la cinta métrica en el caso de las discontinuidades en las que no existía relleno.
- Rugosidad, se emplea en sentido amplio para hacer referencia tanto a la ondulación de las superficies de discontinuidad, como a las irregularidades o rugosidades a pequeña escala de los planos. En campo se tomaron medidas de los tipos de rugosidad de forma empírica a mi interpretación con criterio.
- Rellenos, como la presencia de relleno gobierna el comportamiento de la discontinuidad, por lo que deben ser reconocidos y descritos todos los aspectos referentes a sus propiedades y estado.

Una de las cosas que se ha de tener en cuenta en esta toma de datos es que cuando no existe material de relleno, se denomina “apertura” a la distancia perpendicular que separa las paredes adyacentes de una discontinuidad. Si el relleno existe, entonces esta distancia se suele denominar “ancho”, pudiendo tener el relleno un espesor menor o igual que el ancho.

En las tablas adjuntas a continuación se observan los datos recopilados en campo después de realizar las estaciones geomecánicas en los taludes 1, 2 y 3 indicados anteriormente. Puesto que el talud 1 tiene mayor envergadura se han tomado más datos de ese talud para obtener un mejor estudio del mismo.

Se destaca el hecho de que los planos en los que aflora el talud de la carretera están marcados en los datos tomados de forma que queden referenciados cuales de ellos son para su futuro análisis cinemático de la rotura de los taludes.

3.2.2 Trabajos de laboratorio

Los ensayos de laboratorio permiten cuantificar las propiedades físicas y mecánicas de la matriz rocosa que definen su comportamiento mecánico: la naturaleza de la roca, la resistencia ante rotura, la deformación, la influencia del agua, la meteorización...

En campo se tomaron diversas muestras de cada uno de los taludes de estudio para sus análisis en laboratorio con el fin de conocer las características geotécnicas de los materiales. Las muestras fueron tomadas manualmente, con la ayuda de un martillo y fueron recogidas del macizo, de sus discontinuidades y de las zonas al pie del talud, por lo que se trata de muestras alteradas.

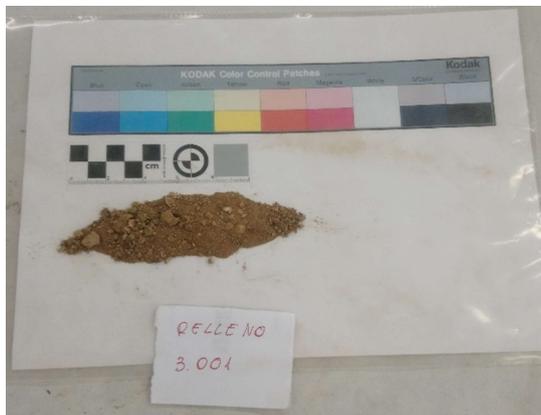


Figura 27: Ensayos en laboratorio, muestras ensayadas (arriba), ejemplo relleno (izq), ensayo plasticidad (dcha).
Elaboración propia.

En la siguiente figura se indica donde se tomaron las muestras.



Figura 28: Lugar donde se tomaron las muestras de laboratorio, elaboración propia.

A la vista de estas, y del objetivo de este trabajo, se decidió realizar los ensayos siguientes, según las normas UNE en vigor:

- Ensayo de rotura a carga puntual según norma UNE 22950-5.
- Ensayos de identificación y clasificación de rocas según norma ISO 14689-1:2003.
- Ensayos de laboratorio de suelos, ensayo de Límite Plástico según norma ISO 178921:2014
- Ensayos de determinación de la densidad real y aparente y de la porosidad abierta y total, según la norma UNE-EN 1936

Los resultados de los ensayos de las propiedades índice de las rocas quedan recogidos en la siguiente tabla:

PROPIEDADES ELEMENTALES DE LAS ROCAS.

Determinación de la Densidad y Porosidad de una roca

PROCEDIMIENTO DE LABORATORIO

<i>Pesadas en gramos (g) Precisión 0,1 g Volumen en cm³</i>	Muestra 1.01	Muestra 1.02	Muestra 1.03	Muestra 1.04	Muestra 1.05	Muestra 1.06	Muestra 1.07	Muestra 1.08	VALOR MEDIO
PESO ESPECIFICO APARENTE	2.70	2.69	2.63	2.66	2.66	2.63	2.66	2.69	2.67
PESO ESPECIFICO SECO	2.69	2.67	2.59	2.63	2.64	2.60	2.64	2.68	2.64
ABSORCIÓN (%)	0.2	0.7	1.5	1.0	0.8	1.1	0.9	0.4	0.82
POROSIDAD EFICAZ (%)	0.6	1.9	3.8	2.5	2.1	2.8	2.5	1.1	2.17
POROSIDAD TOTAL (%)	0.0	0.9	3.7	2.1	1.8	3.2	1.9	0.4	1.73

<i>Pesadas en gramos (g) Precisión 0,1 g Volumen en cm³</i>	Muestra 2.01	Muestra 2.02	Muestra 2.03	Muestra 2.04	Muestra 2.05	Muestra 2.06	VALOR MEDIO
PESO ESPECIFICO APARENTE	2.67	2.66	2.69	2.62	2.66	2.66	2.66
PESO ESPECIFICO SECO	2.66	2.64	2.67	2.58	2.64	2.63	2.64
ABSORCIÓN (%)	0.7	0.7	0.7	1.7	0.9	0.8	0.93
POROSIDAD EFICAZ (%)	1.7	1.9	2.0	4.3	2.4	2.2	2.43
POROSIDAD TOTAL (%)	1.3	1.7	0.9	4.1	1.8	2.1	1.98

<i>Pesadas en gramos (g) Precisión 0,1 g Volumen en cm³</i>	Muestra 3.01	Muestra 3.02	Muestra 3.03	VALOR MEDIO
PESO ESPECIFICO APARENTE	2.66	2.49	2.65	2.60
PESO ESPECIFICO SECO	2.64	2.41	2.62	2.56
ABSORCIÓN (%)	0.7	3.24	1.1	1.68
POROSIDAD EFICAZ (%)	1.8	7.83	2.9	4.18
POROSIDAD TOTAL (%)	1.92	10.24	2.4	4.86

3.2.3 Proyección estereográfica del talud

La proyección estereográfica es una herramienta que permite que los datos de orientación tridimensionales sean a la vez representados y manipulados. Se usa esta proyección porque podemos representar orientaciones (dirección) e inclinación (buzamiento o inmersión) procedentes de elementos de la naturaleza. Además, este tipo de representación permite medir los ángulos entre rectas y planos de forma directa.

Para proyectar planos y líneas, se emplea una falsilla meridional, con un eje vertical que pasa por los polos Norte y Sur. Para construirla se proyectan unas líneas curvas que se denominan círculos mayores y menores. Los círculos mayores son proyecciones de planos inclinados, y que se intersecan donde el eje Norte-Sur corta a la primitiva. Los círculos menores representan la intersección con la esfera de una serie de conos con distintos ángulos apicales, todos con el eje horizontal y Norte-Sur.

Durante el análisis de una discontinuidad en un determinado lugar, la proyección estereográfica proporciona: una forma de visualizar los datos reunidos de manera sencilla; unos medios convenientes para identificar el número de familias de discontinuidad presentes y, con la ayuda de los contornos de densidad, sus orientaciones modales; una representación de las relaciones angulares que existen entre las direcciones dominantes de las discontinuidades y la estructura de ingeniería propuesta.

En este caso, con la proyección estereográfica se obtienen las magnitudes angulares necesarias para el cálculo del factor de seguridad del talud. Se observan las orientaciones de los grupos de discontinuidades y del talud puede llegarse a deducir, cuál será el tipo de rotura predominante.

En primer lugar, se exponen las familias de discontinuidades que se han observado en campo de los 3 taludes junto con el plano donde aflora el talud de la carretera.

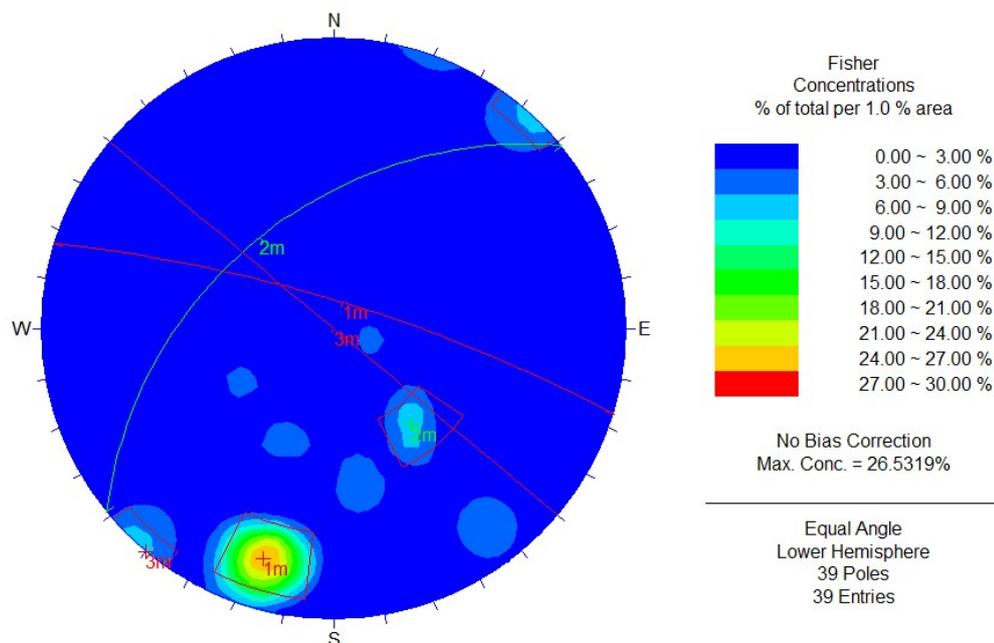


Figura 29: Proyección estereográfica del talud 1 con los datos tomados en campo, elaboración con el programa Dips de la compañía RockScience.

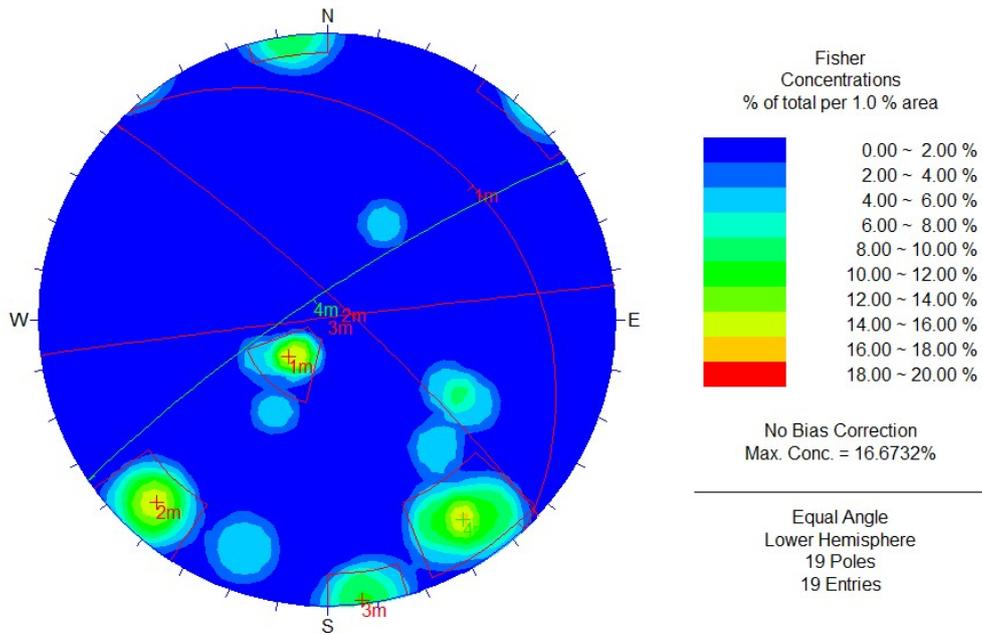


Figura 30:Proyección estereográfica del talud 2 con los datos tomados en campo, elaboración con el programa Dips de la compañía RockScience.

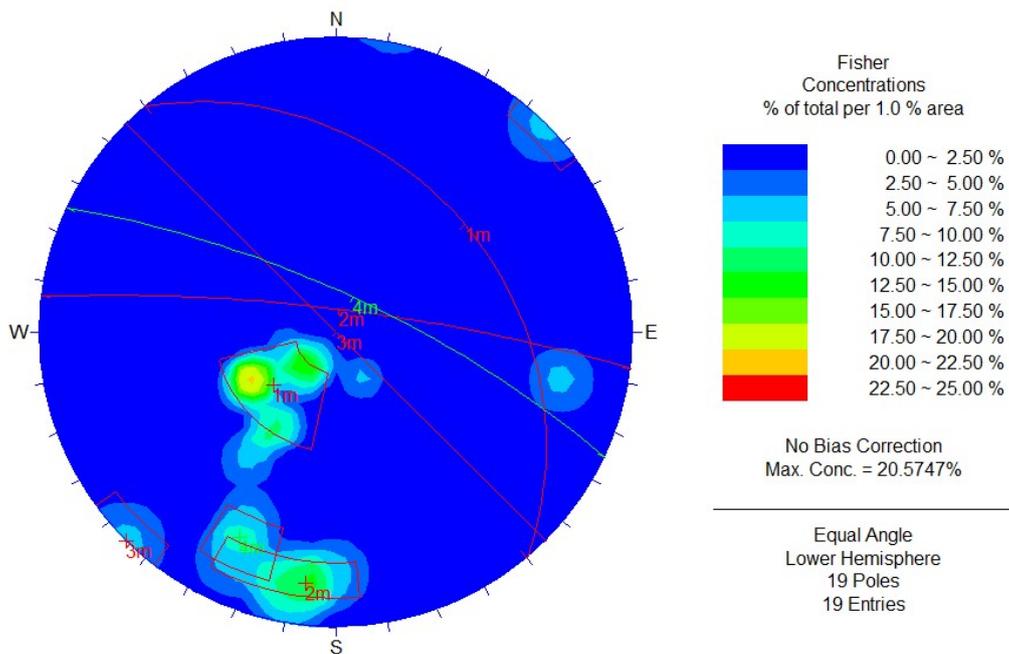


Figura 31: Proyección estereográfica del talud 3 con los datos tomados en campo, elaboración con el programa Dips de la compañía RockScience.

En la siguiente tabla se muestran los valores medios obtenidos de la dirección de buzamiento y buzamiento de la familia de diaclasas y de los planos de estratificación presentes en el macizo:

TALUD	FAMILIA	BUZAMIENTO	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO
1	1 (J1)	79	17
	2	46	321
	3 (J2)	90	40
2	1 (J3)	21	47
	2 (J2)	82	43
	3 (J4)	89	353
	4	80	326
3	1 (J4)	81	7
	2 (J2)	90	45
	3	75	25

Figura 32: Familias de discontinuidades observadas en las estaciones realizadas en campo.

Como se puede observar en la siguiente tabla, podemos organizar los datos medidos en campo en las diferentes familias que posee el macizo objeto de estudio (J1-J4), independientemente de en qué talud representativo se encuentren, ya que tratándose del mismo macizo las familias coinciden. Las familias de discontinuidades marcadas en rojo son el plano de afloramiento del talud a la carretera objeto de estudio, por lo que no representan una familia de discontinuidades del macizo, por lo que no se engloban dentro de las familias de discontinuidades.

Aunque la situación de rotura se ha estudiado con cada talud individual, puesto que la rotura del talud depende en gran medida del plano en el que aflora el talud con la carretera y cada talud aflora en un plano diferente según el tramo de la carretera en el que nos encontremos.

Se han estudiado estos tres taludes de forma orientativa al ser los más desfavorables, pero en el caso de continuar con la obra se tendrían que analizar cada talud con respecto al plano con el que afloran en la carretera de estudio, para observar las diferentes clases de rotura si se producen.

3.3 NIVEL FREÁTICO

No se observó la presencia del nivel freático en la zona de estudio en todas las visitas de campo que se realizaron. Por ello no se tendrá en cuenta la presencia de nivel freático a la hora de realizar los cálculos.

3.4 HIDROGEOLOGÍA

Una vez se ha estudiado en el punto anterior la hidrología de la zona de estudio y se han analizado las muestras en laboratorio, se llega a la conclusión de que, desde el punto de vista constructivo, las características hidrogeológicas de esta serie no constituyen condiciones desfavorables para el desarrollo de la actuación que se estudia.

En los ensayos realizados en laboratorio, se puede observar en alguna de las muestras un relleno de calcita, producido por precipitación, y en la muestra 3.01 se puede ver una cavidad interna de la roca llena de esta calcita, por lo que sí se tienen antecedentes de flujos de agua en el macizo. En campo se ha observado más precipitación de calcita en el talud de referencia 2, en el cual a la hora de la rotura en laboratorio se ha encontrado precipitación de calcita en algunas de sus cavidades internas. Pero no suponen problema para la actuación que nos ocupa el siguiente estudio.



Figura 33: Ejemplo de muestras de laboratorio que presentaron calcita en su interior. Elaboración propia.

3.5 CARACTERÍSTICAS LITOLÓGICAS DEL TERRENO

En este apartado se lleva a cabo el análisis de los materiales observados en el terreno a partir de los datos recolectados en campo y de los ensayos en laboratorio. Se analizan las características del macizo que se han podido obtener gracias a los resultados y la observación de las estaciones geomecánicas de campo y a continuación las características del macizo que se han podido obtener gracias a las prácticas y los ensayos realizados en laboratorio.

3.5.1 Propiedades físicas de la matriz rocosa

Estas propiedades son las que se toman en primera instancia por un lado están las propiedades de identificación y clasificación y por otro las propiedades mecánicas. Para este estudio se han conseguido determinar algunas de las propiedades de identificación y clasificación del macizo como la composición mineralógica, y el resto de las propiedades que se obtienen a base de percepción visual junto con la porosidad, la humedad y peso específico que se han obtenido mediante ensayos de laboratorio. Sin embargo, algunas de las características (permeabilidad, alterabilidad, durabilidad...) no se han podido obtener. Estas propiedades están directamente relacionadas con las características resistentes y las deformaciones de las rocas.

Pasando a hablar de las propiedades mecánicas se ha obtenido la resistencia a compresión siempre (RCS) a base de correlaciones con el ensayo de rotura por una carga puntual que se realizó en laboratorio. Otras propiedades tales como la resistencia a tracción, la velocidad de las ondas sónicas o la deformabilidad no se pudieron obtener por la heterogeneidad y la irregularidad de las muestras obtenidas en campo.

Las propiedades de identificación y clasificación del macizo que se está estudiando son:

3.5.1.1 Identificación del terreno

Después de lo observado en el macizo en campo y en las muestras de laboratorio se llega a la conclusión de que la zona de estudio se compone principalmente por roca caliza. En el talud de referencia uno predominantemente de tonos ocres y los taludes dos y tres se aprecian más con tonos grisáceos. Además, se identifican varios tipos de relleno en las discontinuidades, por un lado, una arena con aspecto arcilloso y unos cristales que corresponden a una clasificación de calcita.



Figura 34: Diferentes clases de rellenos, relleno tomado en el talud 2 entre las juntas (izq. y abajo) y relleno de calcita en el interior de una de las muestras del talud 2 (dch). Elaboración propia.

Una vez se analizó el relleno con el ensayo de plasticidad en laboratorio, se llegó a la conclusión de que el material es de carácter no plástico. Además, se observa una gran presencia de materia orgánica en todos los rellenos ensayados.



Figura 35: Ensayo de plasticidad en los rellenos analizados en laboratorio. Elaboración propia.

3.5.1.2 Porosidad

Consiste en la relación entre el volumen ocupado por los huecos o poros en la roca (V_p) y el volumen total (V). Esta es la propiedad que más afecta a las características resistentes y mecánicas, ya que es inversamente proporcional a la resistencia y a la densidad, y directamente proporcional a la deformabilidad.

La porosidad eficaz es la relación entre el volumen de poros interconectados y el volumen de la muestra, se ha obtenido en laboratorio a partir de los pesos seco y saturado de la muestra usando la fórmula:

$$n_e = \frac{(W_{sat} - W_{seco})}{(\gamma_w * V)}$$

Siendo:

n_e , porosidad eficaz

W_{sat} , el peso saturado de la muestra

W_{seco} , el peso seco de la muestra

γ_w , el peso específico del agua

V , el volumen

Para el estudio que se está realizando se tomará como dato de la porosidad para la caracterización del macizo objeto de este estudio la media de todos los resultados de las muestras ensayadas en laboratorio, excluyendo el valor más alto y más bajo.

$$n_e = 2.86\%$$



3.5.1.3 Peso específico

Es el peso por unidad de volumen, depende de los componentes de la roca. Se considera el mismo valor para el peso específico (γ) y para la densidad (ρ), por lo que en este estudio se utilizará densidad, aunque se esté haciendo referencia al peso específico.

Por lo que, siguiendo el mismo método de selección explicado anteriormente, la densidad del macizo objeto de este estudio es:

$$\gamma = 2.61$$

3.5.1.4 Humedad

La humedad es el contenido en agua de un suelo, consiste en una relación entre la masa de agua contenida en una muestra de suelo y la masa seca de la muestra de suelo o el volumen original de la muestra.

Los resultados de la humedad que se obtuvieron en laboratorio se adjuntan a continuación, siendo la humedad media del macizo:

$$\omega = 0.76\%$$



3.5.1.5 Permeabilidad

Es la capacidad de transmitir el agua de la roca, la mayoría de las rocas presentan una permeabilidad muy baja ya que la filtración de agua se produce a través de las fisuras y los poros de la propia roca. La permeabilidad se mide por el coeficiente de permeabilidad (k) y se expresa como:

$$k = K \left(\frac{\gamma_w}{\mu} \right)$$

Siendo:

K , la permeabilidad intrínseca de la roca que depende de las características del medio físico.

Ante la dificultad de la estimación y valoración de este parámetro se toman los valores de la permeabilidad de nuestro macizo en función del tipo de roca que tenemos usando la siguiente tabla.

Roca	k (m/s)
Arenisca	$10^{-5} \cdot 10^{-10}$
Caliza y dolomía	$10^{-6} \cdot 10^{-12}$
Esquisto	$10^{-7} \cdot 10^{-8}$
Pizarra	$10^{-11} \cdot 10^{-13}$
Granito	$10^{-9} \cdot 10^{-12}$
Lutita	$10^{-9} \cdot 10^{-13}$
Rocas metamórficas	$10^{-9} \cdot 10^{-12}$
Rocas volcánicas	$10^{-7} \cdot 10^{-12}$
Sal	$< 10^{-11} \cdot 10^{-13}$

Figura 36: Valores típicos de permeabilidad de la matriz rocosa, fuente Ingeniería geológica Luis González De Vallejo.

Como se puede observar, la permeabilidad que tomamos para nuestro macizo al ser en su mayoría roca caliza es entre $k = 10^{-6}$ y $k = 10^{-12}$.

A continuación, se estudian y caracterizan las propiedades mecánicas del macizo objeto de estudio:

3.5.2 Propiedades geotécnicas del macizo rocoso

3.5.2.1 Meteorización y alteración

El grado de meteorización del macizo se ha observado en las visitas de campo. Dependiendo de si el macizo está más alterado o menos resultará más o menos factible trabajar con él, ya que cuanto más alterado esté menos resistencia tendrá. En la siguiente tabla se muestran los diferentes grados de materialización del macizo según los clasifica el ISRM.



GRADO	DENOMINACIÓN	CRITERIO DE RECONOCIMIENTO
I	Roca sana o fresca	La roca no presenta signos visibles de meteorización, pueden existir ligeras pérdidas de color o pequeñas manchas de óxidos en los planos de discontinuidad.
II	Roca ligeramente meteorizada	La roca y los planos de discontinuidad presentan signos de decoloración. Toda la roca ha podido perder su color debido a la meteorización y superficialmente ser más débil que la roca sana
III	Roca moderadamente meteorizada	Menos de la mitad del material está descompuesto a suelo. Aparece roca sana o ligeramente meteorizada de forma continua o en zonas aisladas.
IV	Roca meteorizada a muy meteorizada	Más de la mitad del material está descompuesto a suelo. Aparece roca sana o ligeramente meteorizada de forma discontinua.
V	Roca completamente meteorizada	Todo el material está descompuesto a un suelo. La estructura original de la roca se mantiene intacta.
VI	Suelo residual	La roca está totalmente descompuesta en un suelo y no puede reconocerse ni la textura ni la estructura. El material permanece «in situ» y existe un cambio de volumen importante.

Figura 37: Grados de meteorización de la roca, fuente Ingeniería geológica Luis González De Vallejo.

En la siguiente tabla se recogen los datos obtenidos en campo sobre los rellenos de los taludes elegidos como representativos:

RELLENOS																																			
TALUD 1.1							TALUD 1.2							TALUD 2							TALUD 3														
Composición	Meteorización						Filtraciones			Composición	Meteorización						Filtraciones			Composición	Meteorización						Filtraciones								
	Esesor mm	I Sana	II Algo meteoriz.	III Media meteoriz.	IV Muy meteoriz.	V Complet. met.	VI Suelo residual	Seco	Húmedo		Goteos	Flujo	Esesor mm	I Sana	II Algo meteoriz.	III Media meteoriz.	IV Muy meteoriz.	V Complet. met.	VI Suelo residual		Seco	Húmedo	Goteos	Flujo	Esesor mm	I Sana	II Algo meteoriz.	III Media meteoriz.	IV Muy meteoriz.	V Complet. met.	VI Suelo residual	Seco	Húmedo	Goteos	Flujo
100																																			
150																																			
20																																			
15																																			
50																																			
10																																			



Figura 39: Rellenos observados en campo, talud 1 (arriba) y talud 2 (abajo), elaboración propia.

3.5.2.2 Resistencia a compresión simple (RCS)

Es el máximo esfuerzo que soporta la roca sometida a compresión uniaxial, este valor aporta información sobre las propiedades ingenieriles de las rocas. Se suele determinar en laboratorio por medio del ensayo de compresión simple. Como no se pudieron obtener las muestras de campo necesarias para su tallado y posterior ensayado se obtuvo la resistencia a compresión simple del macizo por medio del ensayo de resistencia a carga puntual, ya que este permite realizarse con rocas irregulares.

Para este ensayo se seleccionaron fragmentos que sensiblemente rectangulares, aun siendo irregulares y se hizo una medida aproximada de la geometría de modo que la toma de datos de la geometría de las muestras se toma del siguiente modo según la norma UNE 22950-5: 1996:

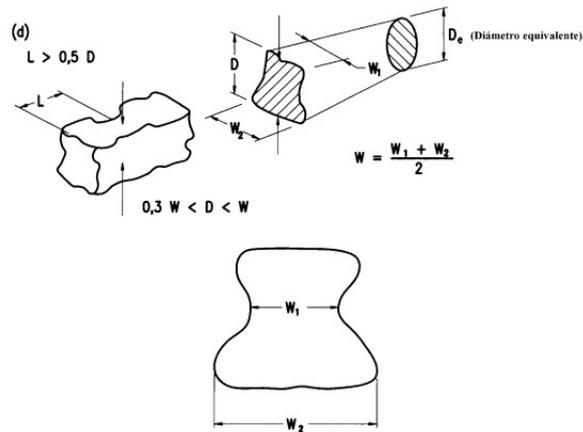


Figura 40: Medidas geométricas de las muestras de laboratorio para el ensayo. Fuente norma UNE 22950-5: 1996

Para obtener una medida más exacta del ancho de los bloques regulares del plano de rotura, las diferentes medidas se tomaron en las dos caras de fractura. De forma que se tomaron las mayores y las menores medidas del plano de rotura en los dos fragmentos para que la media de estas medidas de la siguiente forma:



Figura 41: Esquema de medición que se ha llevado a cabo en laboratorio, elaboración propia.

En la siguiente tabla se recogen los datos en cuanto a geometría se refiere que se han tomado para realizar los ensayos:

REFERENCIA	D (mm)	A (mm ²)	De (mm ²)	W (mm)	W _{1.1} (mm)	W _{1.2} (mm)	W _{2.1} (mm)	W _{2.2} (mm)	F
M 1.01	41.100	1535.085	44.210	37.350	37.970	31.420	38.120	41.890	0.946
M 1.02	27.540	1386.570	42.017	50.348	61.930	48.950	41.820	48.690	0.925
M 1.03	50.410	4445.280	75.232	88.183	104.500	74.940	97.950	75.340	1.202
M 1.04	34.490	2510.268	56.535	72.783	80.410	71.680	73.230	65.810	1.057
M 1.05	43.160	2618.625	57.742	60.673	73.680	63.340	54.100	51.570	1.067
M 1.06-B	18.300	793.763	31.791	43.375	47.150	42.660	42.380	41.310	0.816
M 1.07	26.100	1387.346	42.029	53.155	60.420	57.020	50.280	44.900	0.925
M 1.08	33.790	2041.338	50.981	60.413	62.690	57.260	65.130	56.570	1.009
M 2.01	58.220	2791.503	59.617	47.948	49.640	43.200	53.300	45.650	1.082
M 2.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M 2.03	20.010	720.710	30.292	36.018	39.110	31.230	39.860	33.870	0.798
M 2.04	19.150	939.499	34.586	49.060	58.670	38.310	44.100	55.160	0.847
M 2.05	32.620	1507.696	43.814	46.220	54.940	27.170	61.150	41.620	0.942
M 2.06	36.060	2757.598	59.254	76.473	62.060	100.310	82.430	61.090	1.079
M 3.01-A	24.170	1152.305	38.303	47.675	53.120	53.120	42.230	42.230	0.887
M 3.01-B	14.920	755.549	31.016	50.640	51.660	51.660	49.620	49.620	0.807
M 3.01-C	26.060	2186.825	52.767	83.915	84.820	84.820	83.010	83.010	1.025
M 1.06-A-A	29.270	2236.228	53.360	76.400	76.530	76.530	76.270	76.270	1.030
M 1.06-A-B	49.420	3360.807	65.415	68.005	85.660	85.660	50.350	50.350	1.129
M 1.06-A-C	38.000	2450.810	55.861	64.495	44.580	44.580	84.410	84.410	1.051
M 3.02	61.100	4373.691	74.624	71.583	64.200	78.640	64.150	79.340	1.197
M 3.03	35.800	2205.549	52.992	61.608	70.510	54.170	66.680	55.070	1.027

Figura 42: Datos geométricos obtenidos para los ensayos de laboratorio, elaboración propia.

Siendo:

- D, la distancia entre los puntos de aplicación de la carga, dato obtenido en laboratorio.
- A, el área mínima de la sección transversal.

$$A = W * D$$

- D_e, el diámetro equivalente, calculado de la siguiente forma:

$$D_e^2 = 4 * \frac{A}{\pi}$$

- W, el ancho de los bloques regulares, obtenido en nuestro caso como:

$$W = \frac{\left(\frac{(W_{1.1} + W_{1.2})}{2}\right) + \left(\frac{(W_{2.1} + W_{2.2})}{2}\right)}{2}$$

De donde $W_{1.1}$ y $W_{1.2}$ son respectivamente, el ancho máximo y el ancho mínimo de los bloques irregulares en mm de una de las caras de rotura, y $W_{2.1}$ y $W_{2.2}$ de la otra cara.

- F, el factor de correlación por tamaño que se obtiene como:

$$F = \left(\frac{D_e}{50}\right)^{0.45}$$

De multiplicar este factor por la resistencia a carga puntual (I_S) se obtiene la resistencia a carga puntual para $D_e = 50$:

$$I_{S(50)} = F * I_S$$

Siendo:

- $I_{S(50)}$, la resistencia a carga puntual para $D_e = 50$

Con el ensayo de resistencia a carga puntual se obtiene el valor estimado del índice $I_{S(50)}$. Este ensayo consiste en romper las muestras, en nuestro caso fragmentos irregulares, mediante la aplicación de una carga puntual concentrada usando un par de punzones cónicos truncados de forma esférica. Se pueden correlacionar ambos valores por medio de la siguiente expresión:

$$RCS = 23 * I_{S(50)}$$

De esta forma después de los ensayos en laboratorio se han obtenido los siguientes resultados:

REFERENCIA	F	P (KN)	P (N)	Is (Mpa)	Is ₍₈₀₎ (Mpa)	RCS (Mpa)
M 1.01	0.946	4.017	4017	2.055	1.945	44.724
M 1.02	0.925	5.051	5051	2.861	2.646	60.850
M 1.03	1.202	9.197	9197	1.625	1.953	44.917
M 1.04	1.057	11.450	11450	3.582	3.786	87.078
M 1.05	1.067	3.200	3200	0.960	1.024	23.552
M 1.06-B	0.816	4.529	4529	4.481	3.655	84.068
M 1.07	0.925	0.341	341	0.193	0.179	4.106
M 1.08	1.009	4.200	4200	1.616	1.630	37.493
M 2.01	1.082	8.141	8141	2.291	2.479	57.022
M 2.02	-	-	-	-	-	-
M 2.03	0.798	5.437	5437	5.925	4.729	108.763
M 2.04	0.847	4.067	4067	3.400	2.880	66.247
M 2.05	0.942	2.800	2800	1.459	1.374	31.612
M 2.06	1.079	6.780	6780	1.931	2.084	47.941
M 3.01-A	0.887	4.730	4730	3.224	2.860	65.771
M 3.01-B	0.807	3.480	3480	3.617	2.918	67.114
M 3.01-C	1.025	1.560	1560	0.560	0.574	13.202
M 1.06-A-A	1.030	4.561	4561	1.602	1.649	37.938
M 1.06-A-B	1.129	4.886	4886	1.142	1.289	29.638
M 1.06-A-C	1.051	14.330	14330	4.592	4.827	111.024
M 3.02	1.197	6.724	6724	1.207	1.446	33.255
M 3.03	1.027	13.595	13595	4.841	4.970	114.299

Figura 43: Datos obtenidos del ensayo de rotura a carga puntual. Elaboración propia.

Las muestras que por volumen no se podían colocar en la placa de ensayo para someterlas a la rotura, se fragmentaron manualmente con un cincel, de forma que la muestra 3.01 y 1.06-A (que ya se había dividido en ensayos anteriores) se dividieron en 3.01-A, 3.01-B, 3.01-C y 1.06 A-A, 1.06 A-B, 1.06 A-C que se ensayaron independientemente.



Figura 44: Fragmentado manual de muestras. Elaboración propia

A la hora de trabajar con los valores que se obtuvieron se desecharon el valor más bajo y el valor más elevado para el cálculo de la resistencia a compresión simple media. Además, una de las muestras presentó una rotura que se descartó por ser nula según la norma. Una rotura nula es aquella cuya superficie de fractura no contiene los dos puntos de aplicación de la carga que se le ha aplicado.

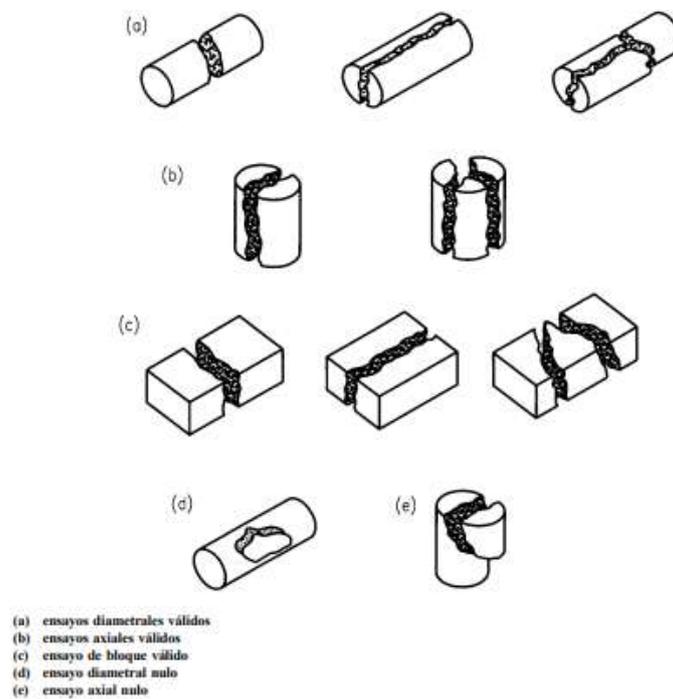


Figura 45: Ejemplos de roturas fallidas y nulas. Fuente, norma UNE 22950-5: 1996

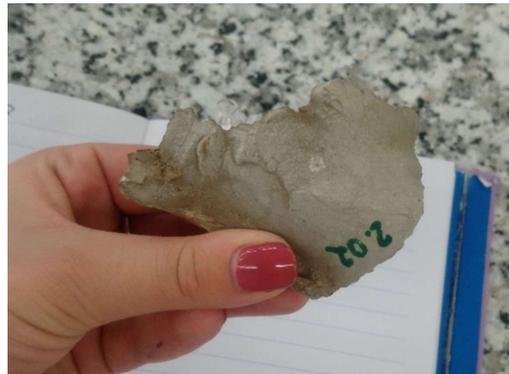


Figura 46: Ensayo 2.02, se obtuvo con la rotura nula, por lo que se descartó, elaboración propia.

La resistencia a compresión simple (RCS) media obtenida a partir de los ensayos rotura a carga puntual realizados en el laboratorio que se usarán para la caracterización del macizo objeto de estudio en este estudio es:

$$RCS = 55.743 \text{ Mpa}$$

Una vez obtenida la resistencia a compresión simple de nuestro macizo podemos estimar la dureza de este.

Clasificación de las rocas a partir de su resistencia a compresión simple				
Resistencia a la compresión simple (MPa)	ISRM (1981)	Geological Society of London (1970)	Bieniawski (1973)	Ejemplos
< 1	Suelos			
1-5	Muy blanda	Blanda > 1,25	Muy baja	Sal, lutita, limolita, margas, toba, carbón.
5-12,5	Blanda	Moderadamente blanda		
12,5-25		Moderadamente dura		
25-50	Moderadamente dura		Baja	Esquisto, pizarra.
50-100	Dura	Dura	Media	Rocas metamórficas esquistosas, mármol, granito, gneiss, arenisca, caliza porosa.
100-200	Muy dura	Muy dura	Alta	Rocas ígneas y metamórficas duras, arenisca muy cementada, caliza, dolomía.
> 200		Extremadamente dura	Muy alta	Cuarcita, gabro, basalto.
> 250				

Figura 47: Clasificación de la roca a partir de su RCS, fuente Ingeniería geológica Luis González De Vallejo.

La roca de la que se compone nuestro macizo corresponde a roca dura, aunque es más blanda de lo que se pone de ejemplo para las calizas, pero no se ha de olvidar que esto es una aproximación que se obtiene con la resistencia a rotura a carga puntual.

Este dato nos permite decidir qué clase de maquinaria se debe usar en la zona de actuación en el caso de que sea necesario hacer alguna alteración en la geometría del talud. Según la resistencia de la roca de la que se compone nuestro macizo, los métodos más idóneos para trabajar son los que permitan la rotura de una roca de más de 50 Mpa. como por ejemplo los realizados con pala excavadora con martillo rompedor.

3.5.2.3 RMR

Este índice fue desarrollado por Bieniawski en 1973, constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite a su vez relacionar índices de calidad con parámetros geotécnicos del macizo y de excavación. A partir de los resultados de la estación geomecánica se procede a estimar el valor del índice RMR.

Para su obtención se tienen en cuenta los siguientes parámetros:

- Resistencia a compresión simple de la matriz rocosa.
- Grado de fracturación en términos del RQD (Rock Quality Designation).
- Condiciones de las discontinuidades.
- Condiciones hidrogeológicas.

La incidencia de estos parámetros en el comportamiento geomecánico de un macizo se expresa por medio del índice de calidad RMR, rock mass raíng, que varía de 0 a 100.

Clasificación geomecánica RMR (Bienlawski, 1989)

Parámetros de clasificación

1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	Ensayo de carga puntual	> 10	10-4	4-2	2-1	Compresión simple (MPa)		
		Compresión simple	> 250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	< 1
		Puntuación	15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90 %-100 %	75 %-90 %	50 %-75 %	25 %-50 %	< 25 %		
	Puntuación		20	17	13	6	3		
3	Separación entre diaclasas		> 2 m	0,6-2 m	0,2-0,6 m	0,06-0,2 m	< 0,06 m		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	> 20 m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	< 0,1 mm	0,1-1,0 mm	1-5 mm	> 5 mm		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando > 5 mm		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
5	Agua freática	Caudal por 10 m de túnel	Nulo	< 10 litros/min	10-25 litros/min	25-125 litros/min	> 125 litros/min		
		Relación: Presión de agua/Tensión principal mayor	0	0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	> 0,5		
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
		Puntuación	15	10	7	4	0		

Figura 48: Parámetros de clasificación RMR, fuente Ingeniería geológica Luis González De Vallejo.

En la siguiente tabla se muestran los valores asignados a cada parámetro para el cálculo del índice RMR, así como el valor total obtenido del mismo.

Clasificación

Clase	I	II	III	IV	V
Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala
Puntuación	100-81	80-61	60-41	40-21	< 20

Figura 49: Clasificación del RMR, fuente Ingeniería geológica Luis González De Vallejo.

Para definir que parámetros son los que corresponden al macizo objeto de este estudio usamos los datos tomados en la salida de campo. De forma que los parámetros de clasificación que mejor corresponden son:

Clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989)

Parámetros de clasificación

1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	Ensayo de carga puntual	> 10	10-4	4-2	2-1	Compresión simple (MPa)		
		Compresión simple	> 250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	< 1
	Puntuación	15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD		90 %-100 %	75 %-90 %	50 %-75 %	25 %-50 %	< 25 %		
	Puntuación		20	17	13	6	3		
3	Separación entre diaclasas		> 2 m	0,6-2 m	0,2-0,6 m	0,06-0,2 m	< 0,06 m		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	> 20 m		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	< 0,1 mm	0,1-1,0 mm	1-5 mm	> 5 mm		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando > 5 mm		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
5	Agua freática	Caudal por 10 m de túnel	Nulo	< 10 litros/min	10-25 litros/min	25-125 litros/min	> 125 litros/min		
		Relación: Presión de agua/Tensión principal mayor	0	0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	> 0,5		
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
		Puntuación	15	10	7	4	0		

Figura 50: Parámetros de clasificación RMR del macizo objeto de estudio, fuente Ingeniería geológica Luis González De Vallejo, elaboración propia.

La suma de todos los parámetros que se pueden clasificar directamente con lo observado en campo hace un total de RMR= 49.

Como en campo no se han podido ejecutar sondeos, y a la hora de trabajar no siempre vamos a poder disponer de sondeos que nos proporcionen los datos necesarios para caracterizar el macizo, en este estudio se va a trabajar con correlaciones empíricas que se ha demostrado que proporcionan resultados similares. El parámetro RQD, lo obtenemos a partir de la correlación de Palmström (Palmström, 1974), que correlaciona el RQD con el tamaño de bloque y grado de fracturación del macizo rocoso. De forma que:

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

$$RQD = 100 \text{ para } J_v \leq 4,5$$

$$RQD = 0 \text{ para } J_v > 35$$

Siendo J_v las discontinuidades del macizo rocoso a analizar. Estas discontinuidades se clasifican en función de la forma y tamaño de los bloques y de la intensidad de fracturación sería:

Descripción	J_v (discontinuidades/m ³)
Bloques muy grandes	< 1
Bloques grandes	1-3
Bloques de tamaño media	3-10
Bloques pequeños	10-30
Bloques muy pequeños	> 30

Figura 51: Obtención del parámetro J_v a partir de las observaciones en campo, fuente Ingeniería geológica Luis González De Vallejo.

En el macizo objeto de estudio correspondería a $J_v = 1-3$, bloques grandes. Por lo tanto, el RQD del macizo, tomando como valor del lado de la seguridad $J_v = 3$, correspondería a:

$$RQD = 115 - 3,3 \cdot J_v = 115 - 3,3 \cdot 3 = 105,1$$

$$RQD = 100\%$$

	RQD	90 %-100 %	75 %-90 %	50 %-75 %	25 %-50 %	< 25 %
2	Puntuación	20	17	13	6	3

Figura 52: RQD obtenido para el macizo objeto de estudio. Fuente Ingeniería geológica Luis González De Vallejo, elaboración propia.

Por lo que el RMR se queda con un valor de RMR= 69.

Dependiendo de la orientación de las discontinuidades, si son favorables o desfavorables se le añade un factor de corrección que hace que la calidad del macizo varíe en su conjunto. En nuestro caso como no conocemos la orientación de discontinuidades de todo el macizo y queremos discretizar el RMR a todo este, suponemos que la orientación de las discontinuidades es media, por lo que el factor de corrección que le debemos aplicar a nuestro macizo es de -25, quedando un RMR = 44.

Corrección por la orientación de las discontinuidades						
Dirección y buzamiento		Muy favorables	Favorables	Medias	Desfavorables	Muy desfavorables
Puntuación	Túneles	0	-2	-5	-10	-12
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60

Figura 53: Corrección por la orientación de las discontinuidades, fuente Ingeniería geológica Luis González De Vallejo.

Se puede concluir que la calidad de la roca en base a la clasificación de Bieniawski empleando el índice RMR es media (III).

Con el RMR se pueden estimar los valores aproximados para c y ϕ con la siguiente tabla:

Valores aproximados para c y ϕ del macizo rocoso según su calidad					
Clase de roca	I	II	III	IV	V
RMR	> 80	61-80	41-60	21-40	< 20
Cohesión (MPa)	> 0,4	0,3-0,4	0,2-0,3	0,1-0,2	< 0,1
Ángulo rozamiento interno	> 45°	35°-45°	25°-35°	15°-25°	< 15°

Figura 54: Valores aproximados de c y ϕ en función del RMR, fuente Ingeniería geológica Luis González De Vallejo.



Los valores aproximados de c y ϕ dependiendo del RMR del macizo son:

$$c = 0,2 / 0,3 \text{ y } \phi = 25^\circ / 35^\circ$$

3.5.2.4 Orientación

La orientación de una discontinuidad en el espacio queda definida por su dirección de buzamiento y por su buzamiento. Las discontinuidades sistemáticas se presentan en familias con orientación y características más o menos homogéneas. La orientación relativa y el espaciado de las diferentes familias de un macizo rocoso definen la forma de los bloques que conforman el macizo. En cada estación geomecánica se han realizado numerosas mediciones de direcciones de buzamiento y buzamientos de las discontinuidades observadas.

La representación gráfica de la orientación de las diferentes familias de discontinuidades puede realizarse de varias formas, en este estudio se ha representado mediante la proyección estereográfica, representando los polos o planos con valores medios de las diferentes familias, de modo manual y mediante el uso del programa informático DIPS de Rockscience. En este estudio se ha usado dicho programa con el que se analiza la orientación de las discontinuidades en profundidad.

3.5.2.5 Espaciado

El espaciado se define como la distancia entre dos planos de discontinuidad de una misma familia, medida en la dirección perpendicular a dichos planos. El espaciado entre los planos de discontinuidad condiciona el tamaño de los bloques de matriz rocosa y, por tanto, define el papel que ésta tendrá en el comportamiento mecánico del macizo rocoso, y su importancia con respecto a la influencia de las discontinuidades. En macizos rocosos con espaciados grandes, de varios metros, en los procesos de deformación y rotura prevalecerán las propiedades de la matriz rocosa o de los planos de discontinuidad según la escala de trabajo considerada y la situación de la obra de ingeniería con respecto a las discontinuidades.

Se usa la clasificación de Bieniawski, para describir la condición del macizo en función del espaciamiento y la abertura entre las discontinuidades del macizo. Por un lado, según los espaciamientos el macizo puede clasificarse de forma que:

CALIFICATIVO	ESPACIAMIENTO (cm)
Especialmente pequeño	<2
Muy pequeño	2 a 6
Pequeño	6 a 20
Moderado	20 a 60
Amplio	60 a 200
Muy amplio	200 a 600
Especialmente amplio	>600

Figura 55: Clasificación de discontinuidades, fuente Ingeniería geológica Luis González De Vallejo.

Por lo que el espaciamiento medio del macizo objeto de estudio es pequeño, de 6 a 20 cm.



Descripción del grado de meteorización	
Término	Descripción
Fresca	No se observan signos de meteorización en la matriz rocosa.
Decolorada	Se observan cambios en el color original de la matriz rocosa. Es conveniente indicar el grado de cambio. Si se observa que el cambio de color se restringe a uno o algunos minerales se debe mencionar.
Desintegrada	La roca se ha alterado al estado de un suelo, manteniéndose la fábrica original. La roca es friable, pero los granos minerales no están descompuestos.
Descompuesta	La roca se ha alterado al estado de un suelo, alguno o todos los minerales están descompuestos.

Figura 60: Grado de meteorización en las paredes, fuente Ingeniería geológica Luis González De Vallejo.

Después de las estaciones geomecánicas, se llega a la conclusión de que el grado de meteorización que presentan las paredes del macizo objeto de estudio es decolorada, se observan cambios en el color que es debido por un lado a la calcita que precipita en las paredes de las discontinuidades, y por otros minerales y procesos físicos.

3.5.2.9 Abertura

La abertura es la distancia perpendicular que separa las paredes de la discontinuidad cuando no existe relleno, la influencia de la abertura en la resistencia al corte de la discontinuidad es importante incluso en discontinuidades muy cerradas, ya que modifica las tensiones efectivas que actúan sobre las paredes.

En campo se han medido las aberturas de forma que:

Descripción de la abertura	
Abertura	Descripción
< 0,1 mm	Muy cerrada
0,1-0,25 mm	Cerrada
0,25-0,5 mm	Parcialmente abierta
0,5-2,5 mm	Abierta
2,5-10 mm	Moderadamente ancha
> 10 mm	Ancha
1-10 cm	Muy ancha
10-100 cm	Extremadamente ancha
> 1 m	Cavernosa

(ISRM, 1981).

Figura 61: Descripción de la abertura, fuente Ingeniería geológica Luis González De Vallejo

Siendo en general cerrada y parcialmente abierta.

través de la matriz rocosa (permeabilidad primaria) pueden ser también importantes. En nuestro caso no se observó agua de ninguna clase en los diferentes días que se fue a observar el macizo en campo.

Para definir las filtraciones que puede tener el terreno se usa la siguiente tabla:

Descripción de las filtraciones en discontinuidades		
Clase	Discontinuidades sin relleno	Discontinuidades con relleno
I	Junta muy plana y cerrada. Aparece seca y no parece posible que circule agua.	Relleno muy consolidado y seco. No es posible el flujo de agua.
II	Junta seca sin evidencia de flujo de agua.	Relleno húmedo pero sin agua libre.
III	Junta seca pero con evidencia de haber circulado agua.	Relleno mojado con goteo ocasional.
IV	Junta húmeda pero sin agua libre.	Relleno que muestra señales de lavado, flujo de agua continuo (estimar el caudal en l/min.).
V	Junta con rezume, ocasionalmente goteo pero sin flujo continuo.	Relleno localmente lavado, flujo considerable según canales preferentes (estimar caudal y presión).
VI	Junta con flujo continuo de agua (estimar el caudal en l/min. y la presión).	Rellenos completamente lavados, presiones de agua elevadas.

(ISRM, 1981).

Figura 63: Descripción de las filtraciones en las discontinuidades, fuente Ingeniería geológica Luis González De Vallejo

Por lo que nuestro talud objeto de estudio corresponde a la clase 1: junta muy plana y cerrada aparece seca y no parece posible que circule agua, en caso de las discontinuidades sin relleno; y relleno muy consolidado y seco no es posible el flujo de agua, para las discontinuidades que sí que poseen relleno.

No obstante, en laboratorio cuando se rompieron varias muestras para analizarse se encontraron depósitos de cristalización de calcita en unos de los huecos de la muestra. Así que, aunque no se vea circulación de agua esta ha podido circular por el interior del macizo. Este dato sin embargo no supone un problema a la hora del trabajo con el macizo rocoso objeto de estudio.

3.5.3 Comportamiento mecánico del macizo rocoso

Una de las características principales de nuestro macizo y la que determinará mejor su comportamiento mecánico es la resistencia. Para poder modelizar el macizo objeto de este estudio y calcular su estabilidad tenemos que obtener la resistencia de este, que se obtiene por medio de los parámetros c y ϕ .

Los criterios de rotura y resistencia de los macizos se obtienen por métodos empíricos que permiten evaluar la resistencia de los macizos rocosos a partir de los esfuerzos actuantes y de las propiedades del material rocoso.

El criterio que usamos para este fin es el de Hoek y Brown. es un criterio de rotura válido para macizos rocosos isótropos, y tiene en cuenta los factores que determinan la rotura de un medio rocoso a gran escala. A fin de establecer los parámetros de resistencia y deformabilidad se emplea el criterio de rotura de Hoek-Brown de 2002. Para la realización de estas estimaciones se ha utilizado el programa Roclab, de la compañía Rocscience Inc. Este es un programa de computación que permite determinar los parámetros de resistencia del macizo rocoso de acuerdo con el criterio de rotura Generalizado de Hoek-Brown. Para su correcto funcionamiento, se determinan los parámetros de resistencia generalizados de Hoek-Brown (m_b , s y a), basados en la introducción de los siguientes datos:

- El índice GSI.
- El parámetro m_i .



- El parámetro D.

3.5.3.1 El índice GSI

El índice GSI, índice de resistencia geológica, fue desarrollado por Hoek (1994) para subsanar los problemas detectados con el uso del índice RMR para evaluar la resistencia de macizos rocosos según el criterio generalizado de Hoek-Brown. Se basa en caracterizar nuestro macizo a través de estimaciones cualitativas.

Este índice de calidad geotécnica se determina en base a la estructura del macizo rocosos y de la condición de la estructura presentes en el mismo, tal y como se muestra en la siguiente tabla, en la que se ingresa desde 2 puntos diferentes: el horizontal, referente al tamaño y el contacto entre bloques, composición y estructura; y el vertical referente a las condiciones de las discontinuidades. Se converge posteriormente en el valor del GSI dispuesto en las líneas diagonales.

INDICE GEOLÓGICO DE RESISTENCIA GSI (<i>geological strength index</i>)		CONDICIÓN DEL FRENTE				
ESTRUCTURA		MUY BUENA (MB) Superficies muy rugosas sin alterar	BUENA (B) Superficies rugosas ligeramente alteradas, con películas de oxidación	MEDIA (M) Superficies suaves moderadamente alteradas	POBRE (P) Superficies de cizalla muy alteradas con rellenos compactos conteniendo fragmentos rocosos	MUY POBRE (MP) Superficies de cizalla muy alteradas con rellenos arcillosos
	BLOQUES REGULARES (BR) Macizo rocoso sin alterar. Bloques en contacto de forma cúbica formados por tres familias de discontinuidades ortogonales, sin relleno.	80	70			
	BLOQUES IRREGULARES (BI) Macizo rocoso parcialmente alterado. Bloques en contacto de forma angular formados por cuatro o más familias de discontinuidades con rellenos con baja proporción de finos.		60	50		
	BLOQUES Y CAPAS (BC) Macizo alterado, plegado y fracturado con múltiples discontinuidades que forman bloques angulosos y con baja proporción de finos.			40	30	
	FRACTURACIÓN INTENSA (FI) Macizo rocoso muy fracturado formado por bloques angulosos y redondeados, con alto contenido de finos.				20	10

Figura 64: Estimación del índice GSI en base a descripciones geológicas fuente Hoek y Brown. (1997)

Después de analizar nuestro talud, se puede encontrar en la estructura de bloques irregulares, donde el macizo rocoso está parcialmente alterado y donde las discontinuidades están con rellenos de algunos finos. Por otro lado, se observa que la condición del frente es media, ya que se encuentra con superficies suaves moderadamente alteradas. En conclusión, se toma como valor medio de GSI de 45.

3.5.3.2 El parámetro m_i

Este parámetro indica la resistencia intrínseca de la roca intacta deducido de ensayos triaxiales o de las referencias bibliográficas publicadas por Hoek (1983, 1995 y 2000). Por lo que siguiendo la tabla que se adjunta a continuación, podemos obtener dicho parámetro de forma empírica siendo nuestro macizo: de roca carbonatada, de calidad media según su RMR, y conteniendo varias familias de discontinuidades moderadamente meteorizadas con espacios de 0.3 a 1m y estando alterado o afectado por voladuras.

Relaciones aproximadas entre la calidad de los macizos rocosos y los valores de las constantes m y s

Criterio de rotura empírico $\sigma_1 = \sigma_2 + \sqrt{200 \sigma_2 + 2\sigma_2^2}$ σ_1 y σ_2 : esfuerzos principales mayor y menor σ_2 : esfuerzo compresivo uniaxial de la matriz rocosa m y s : constantes empíricas del macizo rocoso	Constantes del empírico: m y s	Rocas arenholosas: calizas y mármol	Rocas arcillosas: esquistos, limonitas, talcos y pizarras	Rocas arenholosas: areniscas y travertinos	Rocas graníticas: granitos, dioritas, gneiss y micaesquistos	Rocas cristalinas: granitos y ortogneiss
Valores para el macizo rocoso alterado o afectado por voladuras (<i>disturbed</i>) Valores para el macizo rocoso sin alterar (<i>undisturbed</i>)						
Muestras de roca intacta Muestras de tamaño de prueba de laboratorio sin discontinuidades. RMR = 100 Q = 500	m	7.0	10.0	15.0	17.0	25.0
	s	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	m	7.0	10.0	15.0	17.0	25.0
	s	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Macizo rocoso de muy buena calidad Bloque de roca sana. Juntas sin meteorizar y con espaciado de 1 a 3 m. RMR = 85 Q = 100	m	2.40	3.43	5.14	5.82	8.56
	s	0.082	0.082	0.082	0.082	0.082
	m	4.10	5.85	8.78	9.95	14.63
	s	0.189	0.189	0.189	0.189	0.189
Macizo rocoso de calidad buena Bloques de roca sana o ligeramente meteorizada; con juntas espaciadas de 1 a 3 m. RMR = 65 Q = 10	m	0.575	0.821	1.231	1.395	2.052
	s	0.00293	0.00293	0.00293	0.00293	0.00293
	m	2.006	2.865	4.298	4.871	7.163
	s	0.0205	0.0205	0.0205	0.0205	0.0205
Macizo rocoso de calidad media Varias familias de discontinuidades moderadamente meteorizadas con espaciados de 0.3 a 1 m. RMR = 44 Q = 1	m	0.128	0.183	0.275	0.311	0.458
	s	0.00009	0.00009	0.00009	0.00009	0.00009
	m	0.447	1.152	2.040	2.301	3.383
	s	0.00198	0.00198	0.00198	0.00198	0.00198
Macizo rocoso de calidad mala Numerosas juntas meteorizadas con algo de relleno. Brechas compactas sin relleno. Espaciado de 0.03 a 0.5 m. RMR = 23 Q = 0.1	m	0.029	0.041	0.061	0.069	0.102
	s	0.000003	0.000003	0.000003	0.000003	0.000003
	m	0.447	0.639	0.959	1.087	1.598
	s	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019	0.00019
Macizo rocoso de calidad muy mala Numerosas juntas intensamente meteorizadas con relleno. Espaciado < 0.05 m. Brechas con relleno arcilloso. RMR = 3 Q = 0.01	m	0.007	0.010	0.015	0.017	0.025
	s	0.0000001	0.0000001	0.0000001	0.0000001	0.0000001
	m	0.219	0.313	0.469	0.532	0.782
	s	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002	0.00002

Hoek y Brown, 1988.

Figura 65: Relación entre los parámetros m y s , fuente Ingeniería geológica Luis González De Vallejo

Por lo que el parámetro m_i de nuestro macizo es 0.128.

3.5.3.3 El parámetro D

Los efectos de los intensos daños en el macizo, de las voladuras, así como aquellos esfuerzos que aparezcan en la excavación provocan una alteración del macizo rocoso. Esta alteración es medida con el índice D que varía desde 0 para macizos rocosos in situ inalterados hasta 1 para macizos rocosos muy alterados.



En nuestro caso, tomaremos un valor de $D = 0,7$ debido a que es el indicado para la realización de voladuras en taludes de forma controlada. Como no se sabe la actuación que va a soportar el talud en el caso de que se tenga que actuar en él, se usa en $0,7$ por estar del lado de la seguridad, ya que la actuación que más puede alterar el macizo es la voladura. Por lo que se usa esa D por el lado de la seguridad.

3.5.4 Comportamiento mecánico del macizo rocoso

Una vez obtenidos los parámetros de Hoek y Brown, pueden calcularse los valores de la cohesión y del ángulo de rozamiento interno del macizo rocoso ya que existe una relación para un determinado nivel de presión de confinamiento, la curva de resistencia intrínseca envolvente de los estados tensionales últimos definidos por el criterio de rotura puede sustituirse por una recta definida por el ángulo de rozamiento y la cohesión.

La fórmula que utiliza el programa que desarrolló Hoek (1983, 1994) y Hoek et al. (2002) proponen el siguiente criterio generalizado de resistencia intrínseca para macizos rocosos:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma'_{ci} * \left[m_b * \frac{\sigma'_3}{\sigma'_{ci}} + s \right]^a$$

Siendo:

- m_b : valor reducido del parámetro de resistencia intrínseca de la roca intacta m_i .
- σ'_1 : tensión efectiva principal mayor.
- σ'_3 : tensión efectiva principal menor.
- σ'_{ci} : resistencia a compresión simple de la roca intacta.
- a y s : parámetros de resistencia intrínseca del macizo rocoso.

La estimación de m_b , a y s puede realizarse a partir del "Geological Strength Index" (GSI) según las propuestas de Hoek (1994) y Hoek et al (1992, 1995 y 2002), basadas en las Priest y Brown (1983):

$$m_b = m_i * e^{\left[\frac{GSI-1}{28-14D} \right]}$$

$$a = 0.5 + \left[\frac{1}{6} * \left(e^{\left[\frac{-GSI}{15} \right]} - e^{\left[\frac{-20}{3} \right]} \right) \right]$$

$$s = e^{\left[\frac{GSI-100}{9-3D} \right]}$$

Siendo:

- m_i : el parámetro de resistencia intrínseca de la roca intacta deducido de ensayos triaxiales o de las referencias bibliográficas publicadas por Hoek (1983, 1995 y 2000).
- D : factor que depende del grado de alteración al que ha sido sometido el macizo rocoso durante su excavación.



Figura 66: Datos de partida a introducir en el programa Slide de RockScience.

Introduciendo estos valores se obtiene el coeficiente de seguridad del talud en el caso de colapso de este, ya que el programa al estar pensado para suelos sólo tiene en cuenta el caso de colapso global, para saber los fallos puntuales del talud se tiene que hacer la proyección estereográfica.

El coeficiente de seguridad que nos proporciona el programa es de 12,58 por lo que como el factor de seguridad al que se aspira es de entre 1,5 y 1,3 podemos asegurar que no se presenta rotura por colapso total del talud.

3.6 ESTABILIDAD DE TALUDES

Para llevar a cabo el estudio de la estabilidad de los taludes seleccionados, se ha utilizado el programa Dips, de la compañía Rockscience Inc. Este programa está diseñado para realizar análisis y visualizar información estructural de igual modo que si usáramos una red estereográfica.

Este programa resulta útil a la hora de llevar a cabo el análisis cinemático por medio de proyección estereográfica ante la rotura de los diferentes taludes. Estos pueden romper de diversas formas: plana, rotura por vuelco o toppling y rotura en cuña.

3.6.1 Tipos de rotura de taludes en roca

Existen tres tipos de rotura en taludes en roca: rotura plana, rotura por cuñas y vuelco. A continuación, se define en qué consiste cada tipo de rotura y se detalla cómo es posible determinar el tipo de rotura que se va a presentar a partir de la técnica de la proyección estereográfica.

3.6.1.1 Rotura planar

Este tipo de inestabilidad tiene lugar cuando una masa rocosa desliza respecto al resto del macizo a través de una discontinuidad plana preexistente que aflora en el exterior del talud, existiendo

en todo momento una superficie de contacto entre la masa deslizante y el macizo rocoso. El origen de esa discontinuidad puede ser planos de falla, planos de estratificación, juntas tectónicas...

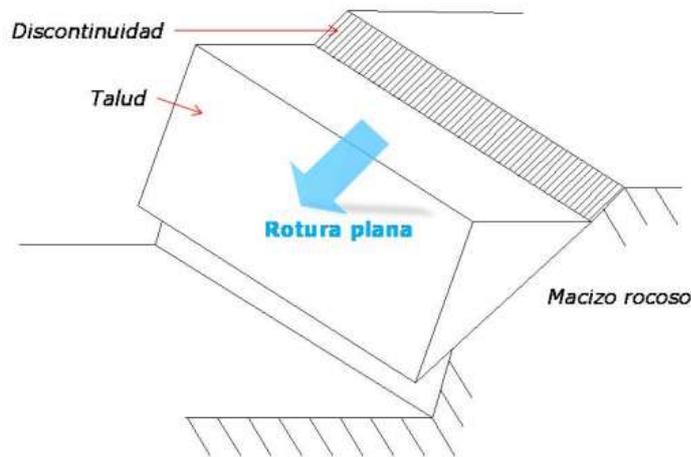


Figura 67: Rotura planar en roca. Elaboración propia

La dirección del movimiento tras producirse la rotura será perpendicular a la dirección del talud y en el sentido de buzamiento del mismo.

Las condiciones para que este tipo de rotura se produzca son:

- La dirección de buzamiento de la discontinuidad debe ser “sensiblemente” paralela a la dirección de buzamiento del talud, la diferencia entre la dirección de buzamiento de la discontinuidad y la dirección de buzamiento del talud debe encontrarse un rango de más / menos 20° .
- El buzamiento de la discontinuidad (β_{disc}) debe ser menor que el buzamiento del talud (β_{talud}), de forma que la discontinuidad debe aflorar en la superficie del talud.
- El buzamiento de la discontinuidad (β_{disc}) debe ser mayor que el ángulo de rozamiento (ϕ) del plano de deslizamiento.

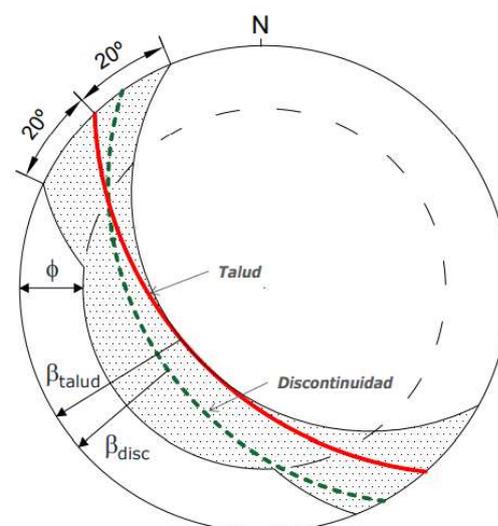


Figura 68: Análisis cinemático de la estabilidad de un talud en roca por rotura plana. Elaboración propia.

Mediante la determinación de ϕ se puede determinar fácilmente si un plano de debilidad es o no estable, a partir de sus ángulos de buzamiento.

Consideramos como ángulo de rozamiento (ϕ) del plano de deslizamiento el que se ha obtenido anteriormente del macizo rocoso, un $\phi = 30^\circ$, por lo que los diferentes taludes con sus respectivos planos de corte hacia la carretera, indicado en las fichas de los datos obtenidos en campo, se muestran a continuación:

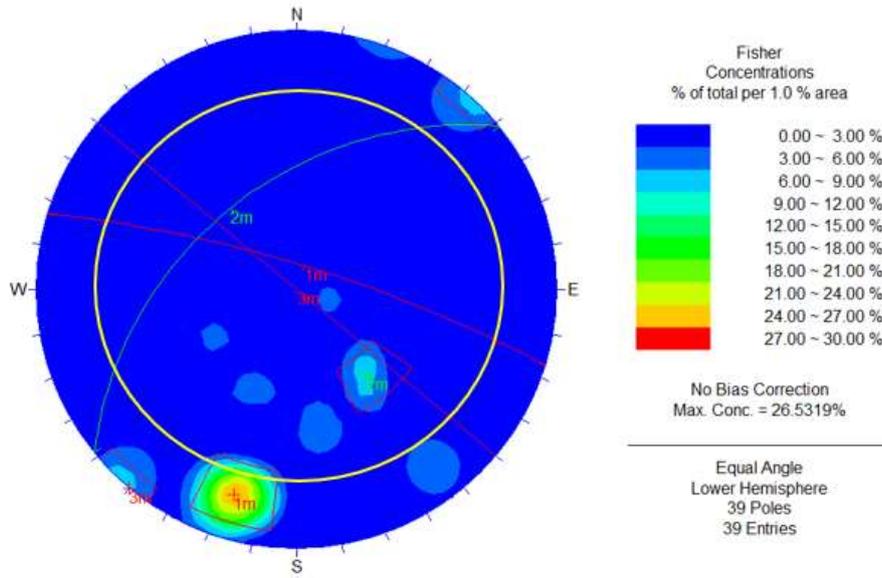


Figura 69: Comprobación a rotura planar del talud 1, proyección estereográfica obtenida por el programa Dips de Rock science. Elaboración propia.

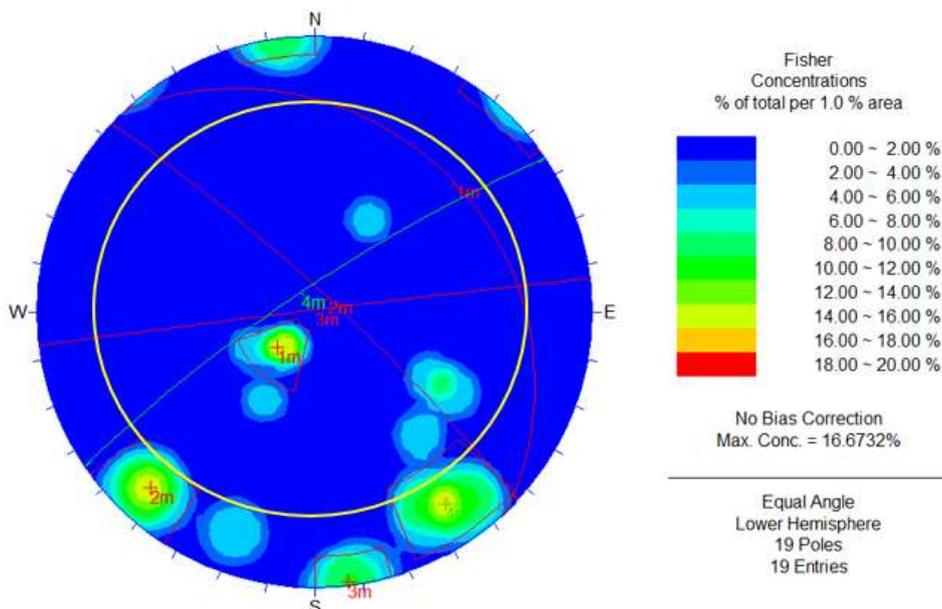


Figura 70: Comprobación a rotura planar del talud 2, proyección estereográfica obtenida por el programa Dips de Rock science. Elaboración propia.

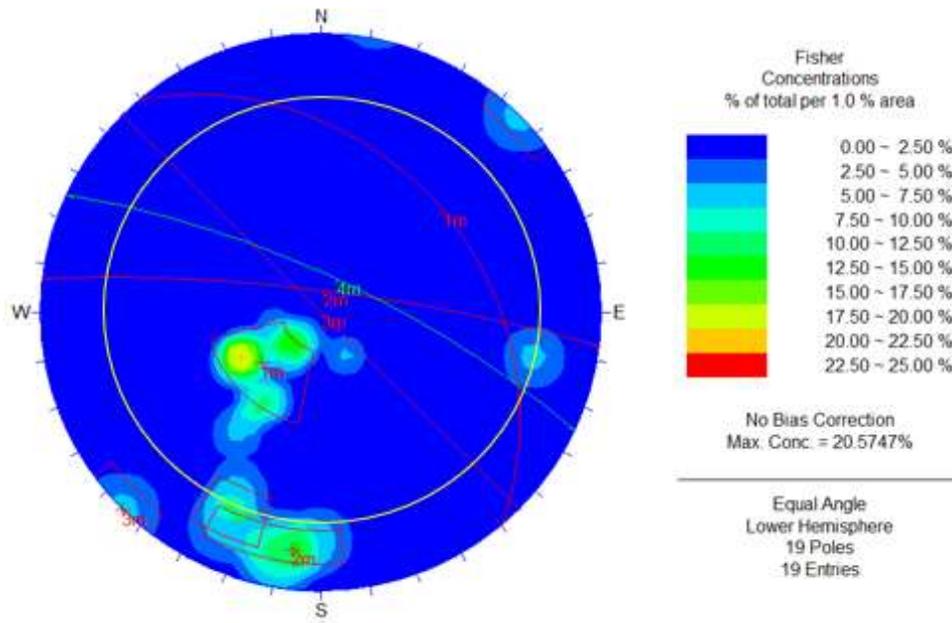


Figura 71: Comprobación a rotura planar del talud 3, proyección estereográfica obtenida por el programa Dips de Rock science. Elaboración propia.

Como se puede apreciar en los datos que se presentan no se produce riesgo de rotura planar en los taludes 1 y 2, sin embargo, en el talud 3 podemos apreciar como si hay riesgo de rotura planar en las familias de discontinuidades 2 y 3:

FAMILIA	BUZAMIENTO	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO
2	81	7
3	90	45

Figura 72: Familias de discontinuidades a las que afecta la posible rotura planar en el talud 3, elaboración propia.

3.6.2 Rotura en cuña

Este tipo de inestabilidad tiene lugar cuando una masa rocosa desliza respecto al resto del macizo a través de dos planos de discontinuidad, de forma que la recta intersección resultante buza hacia el exterior del talud, existiendo en todo momento una arista de contacto entre la masa deslizando y el macizo rocoso. La posible rotura en cuña quedará comprendida entre la de las dos familias de discontinuidades y la dirección de avance de la cuña será la de la línea de intersección de ambos planos de discontinuidad, cuya inmersión y dirección se obtienen directamente de la representación estereográfica.

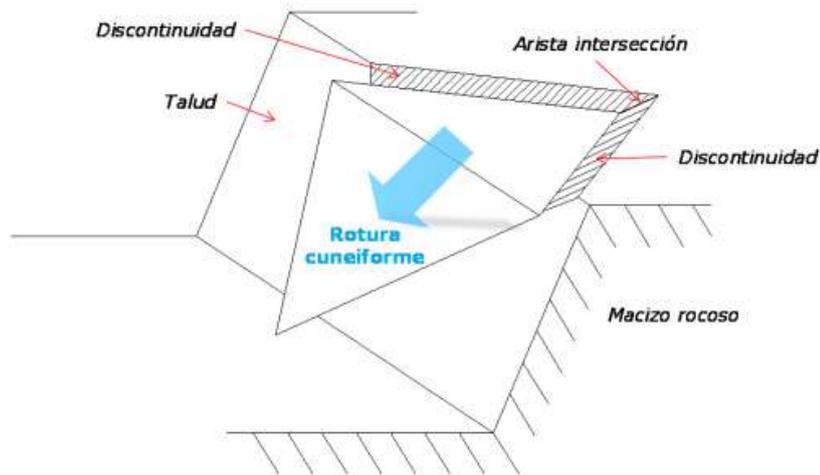


Figura 73: Rotura en cuña en roca. Elaboración propia

Las condiciones para que este tipo de rotura se produzca son:

- La línea intersección debe aflorar en la superficie del talud, por lo que su rumbo (dirección) debe ser “similar” a la dirección de buzamiento del talud y su inmersión (β_{arista}) debe ser menor que el buzamiento del talud (β_{talud}).
- La inmersión de la línea intersección (β_{arista}) debe ser mayor que el ángulo de rozamiento (ϕ) de los planos de deslizamiento.

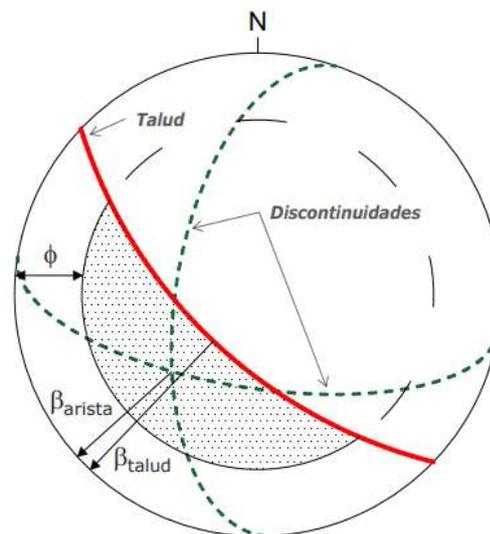


Figura 74: Análisis cinemático de la estabilidad de un talud en roca por rotura en cuña. Elaboración propia

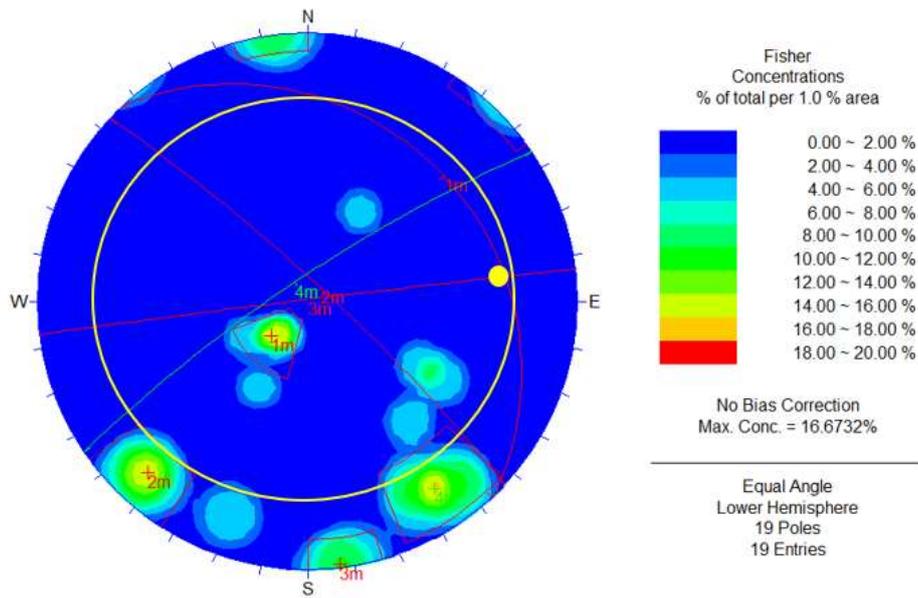


Figura 75: Comprobación a rotura por cuñas del talud 2, proyección estereográfica obtenida por el programa Dips de Rock science. Elaboración propia

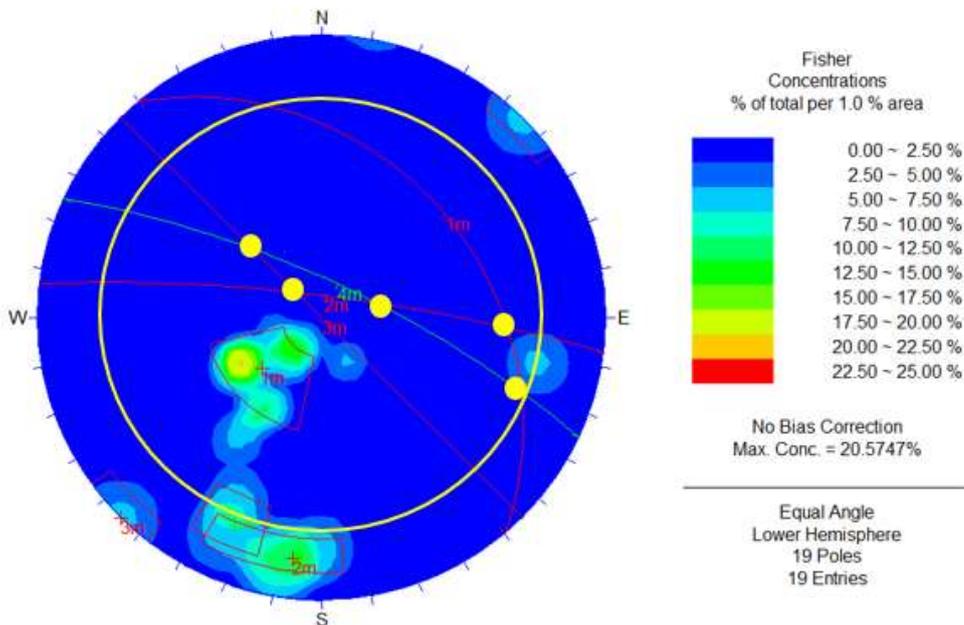


Figura 76: Comprobación a rotura por cuñas del talud 3, proyección estereográfica obtenida por el programa Dips de Rock science. Elaboración propia

Después del estudio de la rotura por cuñas en los taludes vistos en campo, se llega a la conclusión de que se produce rotura en cuña: en el talud número 2, entre las familias 1 - 2; y en el talud número 3, entre las familias 1 - 2, 1 - 4, 3 - 4, 3 - 2, y 4 - 2.

3.6.3 Rotura por vuelco o toppling

Este tipo de inestabilidad tiene lugar cuando las discontinuidades existentes en el macizo rocoso dan lugar a una serie de bloques o elementos columnares con un buzamiento muy pronunciado y contrario al buzamiento del talud, de forma que la rotura se produce, generalmente, por una rotación de dichas estructuras hacia el exterior del talud.

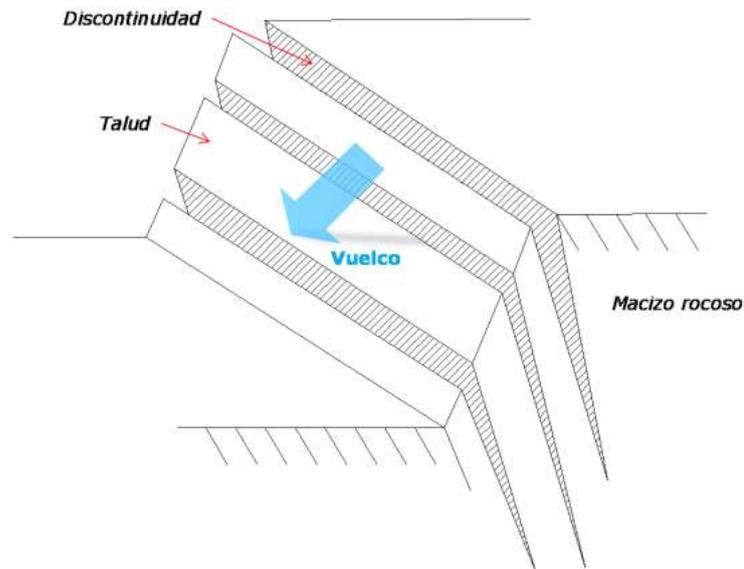


Figura 77: Rotura por vuelco. Elaboración propia.

Las condiciones para que este tipo de rotura se produzca son:

- La dirección de buzamiento de las discontinuidades debe ser “sensiblemente” ortogonal a la dirección de buzamiento del talud. Por lo general, se considera que la diferencia entre la dirección de buzamiento de las discontinuidades y la dirección de buzamiento del talud debe encontrarse un rango de entre 160° y 200° (es decir $180^\circ \pm 20^\circ$).
- La inmersión de la normal a los planos de discontinuidad debe ser menor que la inclinación resultante de restar al buzamiento del talud el ángulo de rozamiento de los planos de deslizamiento (normalmente se toma el ángulo de rozamiento o fricción de las discontinuidades).

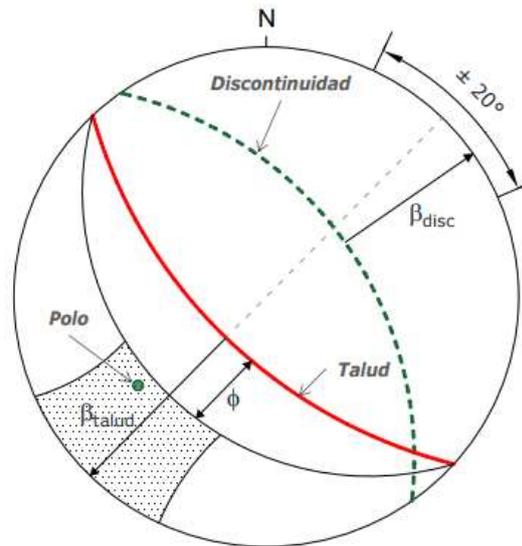


Figura 78: Análisis cinemático de la estabilidad de un talud en roca por rotura por vuelco. Elaboración propia

No existe rotura por vuelco en los taludes objeto de este estudio.

3.6.4 CLASIFICACIÓN SMR

El Índice SMR, Slope Mass Rating, permite evaluar empíricamente la estabilidad de una excavación a partir de la clasificación RMR definiéndose unos factores de ajuste por orientación de las discontinuidades y por el método de excavación, que es función de la orientación de las juntas (y producto de tres subfactores F_1 , F_2 y F_3) y un "factor de excavación" que depende del método utilizado, tal y como se indica en la siguiente Tabla.

Clasificación geomecánica de taludes SMR						
Factores de ajuste por la orientación de las juntas (F_1 , F_2 y F_3)						
Caso		Muy favorable	Favorable	Normal	Desfavorable	Muy desfavorable
P T	$ \alpha_j - \alpha_s $ $ \alpha_j - \alpha_s - 180^\circ $	$> 30^\circ$	$30^\circ - 20^\circ$	$20^\circ - 10^\circ$	$10^\circ - 5^\circ$	$< 5^\circ$
P/T	F_1	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
P	$ \beta_j $	$< 20^\circ$	$20^\circ - 30^\circ$	$30^\circ - 35^\circ$	$35^\circ - 45^\circ$	$> 45^\circ$
	F_2	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
T	F_2	1	1	1	1	1
P T	$\beta_j - \beta_s$	$> 10^\circ$	$10^\circ - 0^\circ$	0°	$0 - (-10^\circ)$	$< -10^\circ$
	$\beta_j + \beta_s$	$< 110^\circ$	$110^\circ - 120^\circ$	$> 120^\circ$	—	—
P/T	F_3	0	-6	-25	-50	-60
Factor de ajuste por el método de excavación (F_4)						
Método	Talud natural	Precorte	Voladura suave	Voladura o excavación mecánica	Voladura deficiente	
F_4	+15	+10	+8	0	-8	
Clases de estabilidad						
Clase	V	IV	III	II	I	
SMR	0 - 20	21 - 40	41 - 40	61 - 80	81 - 100	
Descripción	Muy mala	Mala	Normal	Buena	Muy buena	
Estabilidad	Totalmente inestable	Inestable	Parcialmente estable	Estable	Totalmente estable	
Roturas	Grandes roturas por planos continuos o por masa	Juntas o grandes cuñas	Algunas juntas o muchas cuñas	Algunos bloques	Ninguna	
Tratamiento	Reexcavación	Corrección	Sistemático	Ocasional	Ninguno	
P: rotura plana T: rotura por vuelco		α_s : dirección del talud α_j : dirección de las juntas	β_s : buzamiento del talud β_j : buzamiento de las juntas			

(Rotana, 1997)

Figura 79: Clasificación geotécnica de taludes, fuente Ingeniería geológica Luis González De Vallejo

Los factores de ajuste que usamos para determinar el SMR son:

- F_1 , depende del paralelismo entre la dirección de las juntas o discontinuidades y la del plano del talud, varía entre 1 (cuando las direcciones son paralelas) y 0.15 (cuando el ángulo entre ambas es mayor a 30). En el caso objeto de este estudio se pueden observar que las familias en los diferentes taludes son:

TALUD	FAMILIA	BUZAMIENTO	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO
1	1	79	17
	2	46	321
	3	90	40
2	1	21	47
	2	82	43
	3	89	353
	4	80	326
3	1	81	7
	2	90	45
	3	75	25

Figura 80: Familias de discontinuidades observadas en las estaciones realizadas en campo.

Como se puede apreciar en las discontinuidades estudiadas en campo en el talud 1 y en el talud 3, la dirección en el buzamiento de las discontinuidades no es paralelo, por lo que para estos taludes se tomaría un valor de 0,15. En el talud 2, por otro lado, se observa que las discontinuidades son paralelas dos a dos, por lo que se tomaría un valor intermedio de 0,4. Así que para calcular se tomara 0,40 para calcular del lado de la seguridad.

- F_2 , depende del buzamiento de la junta, siendo 1 en el caso de juntas planas (con un buzamiento superior a 45º) y 0.15 para aquellas con un buzamiento inferior a 20º.

Según los datos que se han estudiado en campo, prácticamente todas las familias de discontinuidades de todos los taludes tienen un buzamiento superior a 45º, por lo que el valor que se tomará en este caso es 1.

- F_3 , refleja la relación entre los buzamientos de la junta y el talud.

La relación entre buzamiento del talud y buzamiento de las discontinuidades según el talud que estamos estudiando se muestra a continuación marcado en rojo el buzamiento y la dirección del talud que aflora hacia la carretera objeto de estudio:

TALUD	FAMILIA	BUZAMIENTO	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO
1	1	79	17
	2	46	321
	3	90	40
2	1	21	47
	2	82	43
	3	89	353
	4	80	326
3	1	81	7
	2	90	45
	3	75	25

Figura 81: Familias observadas en campo, elaboración propia.

Por lo que las relaciones que se contemplan para obtener la F_3 , serian:

TALUD	FAMILIA	Buzamiento juntas – Buzamiento talud					Buzamiento juntas + Buzamiento talud		
		<10º	10º - 0º	0º	0º - (-10º)	>(-10º)	<110º	110º - 120º	>120º
1	1	X							X
	2	-	-	-	-	-	-	-	-
	3	X							X
2	1					X	X		
	2				X				X
	3		X						X
	4	-	-	-	-	-	-	-	-
3	1		X						X
	2	X							X
	3	-	-	-	-	-	-	-	-

Figura 82: Relaciones para obtener el F_3 , elaboración propia.

Por lo que los valores que tomaremos son de $10^\circ - 0^\circ$ para calcular del lado de la seguridad y $>120^\circ$. Lo que se corresponde con el valor **-6** manteniendo el lado de la seguridad.

- F_4 , es el factor de ajuste por el método de excavación.

Como se desconoce el medio por el que se excavará en el caso de que se precise, pero si se ha observado por medio de los ensayos en laboratorio que la roca es dura, nos ponemos en el peor de los casos y suponemos que el método de excavación va a ser voladura deficiente. Por lo que el valor que se **tomará será de -8**.

Clasificación geomecánica de taludes SMR						
Factores de ajuste por la orientación de las juntas (F_1, F_2 y F_3)						
Caso		Muy favorable	Favorable	Normal	Desfavorable	Muy desfavorable
P	$ \alpha_j - \alpha_s $	$> 30^\circ$	$30^\circ - 20^\circ$	$20^\circ - 10^\circ$	$10^\circ - 5^\circ$	$< 5^\circ$
T	$ \alpha_j - \alpha_s - 180^\circ $					
P/T	F_1	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
P	$ \beta_j $	$< 20^\circ$	$20^\circ - 30^\circ$	$30^\circ - 35^\circ$	$35^\circ - 45^\circ$	$> 45^\circ$
	F_2	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
T	F_3	1	1	1	1	1
P	$\beta_j - \beta_s$	$> 10^\circ$	$10^\circ - 0^\circ$	0°	$0 - (-10^\circ)$	$< -10^\circ$
T	$\beta_j + \beta_s$	$< 110^\circ$	$110^\circ - 120^\circ$	$> 120^\circ$	—	—
P/T	F_3	0	-6	-25	-50	-60
Factor de ajuste por el método de excavación (F_4)						
Método	Talud natural	Precorte	Voladura suave	Voladura o excavación mecánica	Voladura deficiente	
F_4	+ 15	+ 10	+ 8	0	- 8	

Figura 83: Valores que se usan para el cálculo del SMR según el Dr. Manuel Romana Ruíz, fuente Ingeniería geológica Luis González De Vallejo

Se mantienen los valores propuestos por Bieniawski (1976/79):

- Condiciones muy favorables
- Condiciones favorables
- Condiciones normales
- Condiciones desfavorables
- Condiciones muy desfavorables

Y se calcula con la siguiente relación:

$$SMR = RMR + (F_1 * F_2 * F_3) + F_4$$

Según se ha calculado anteriormente:

$$SMR = RMR + (F_1 * F_2 * F_3) + F_4 = 44 + (0.4 * 1 * (-6)) + (-8) = 30.4$$

Se obtiene el SMR para cada una de las familias del talud y se adopta el menor valor de los obtenidos, en este caso hemos tomado los datos más desfavorables de los taludes estudiados en

campo para realizarlo, por lo que nos mantenemos del lado de la seguridad. El problema es que esta clasificación no considera roturas en cuña. Con todo esto se obtiene un valor del SMR es 30.4, por lo que según el Dr. Manuel Romana Ruíz. Con los resultados obtenidos, se deduce que la clasificación del macizo en el entorno del talud de estudio es la siguiente:

Clases de estabilidad					
Clase	V	IV	III	II	I
SMR	0 - 20	21 - 40	41 - 40	61 - 80	81 - 100
Descripción	Muy mala	Mala	Normal	Buena	Muy buena
Estabilidad	Totalmente inestable	Inestable	Parcialmente estable	Estable	Totalmente estable
Roturas	Grandes roturas por planos continuos o por masa	Juntas o grandes cuñas	Algunas juntas o muchas cuñas	Algunos bloques	Ninguna
Tratamiento	Reexcavación	Corrección	Sistemático	Ocasional	Ninguno

Figura 84: Clases de estabilidad según los resultados del SMR del Dr. Manuel Romana Ruíz, fuente Ingeniería geológica Luis González De Vallejo

Según las recomendaciones del SMR de Romana en general, los taludes con valores de SMR superiores a 75 no requieren alguna, y 60 parece ser el límite por debajo del cual no existe ningún talud totalmente estable, mientras que 30 es el límite superior para los taludes totalmente inestables. Por lo que en el caso de este estudio al tener un valor de 30 se considera inestable y que presentará rotura por juntas o grandes cuñas, cuyo tratamiento que se sugiere es la corrección, pero no necesariamente la reexcavación del talud.

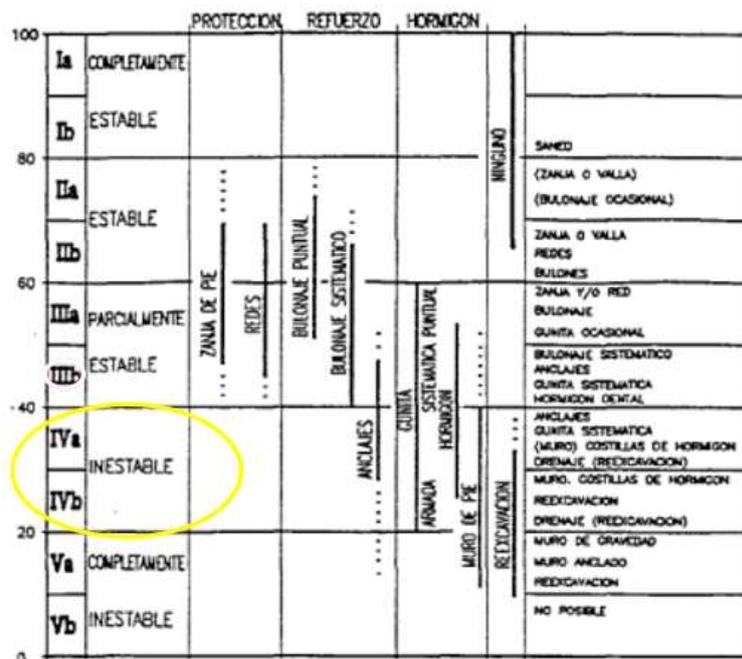


Figura 85: Recomendaciones según el resultado del SMR del Dr. Manuel Romana Ruíz, fuente Ingeniería geológica Luis González De Vallejo

Como se puede observar las recomendaciones de protección que se nos recomiendan dependiendo del valor del SMR para el talud que estamos estudiando son para el refuerzo anclajes y para el caso de trabajar estructuralmente con hormigón se recomienda el uso de gunita y la construcción de un muro al pie del talud.

Por otro lado, también se recomiendan medidas de sostenimiento dependiendo del valor de SMR obtenido:

Medidas de sostenimiento	Intervalo del SMR
Sin sostenimiento	> 65
Protección	45 ~ 75
Refuerzo	30 ~ 75
Hormigón	20 ~ 60
Drenaje	10 ~ 40
Reexcavación	10 ~ 30

Figura 86: Medidas de sostenimiento a tener en cuenta dependiendo del SMR del Dr. Manuel Romana Ruíz, fuente Ingeniería geológica Luis González De Vallejo.

Para los valores del SMR obtenidos tras el estudio realizado, según las recomendaciones de Dr. Manuel Romana Ruíz, son reforzar el talud, usar hormigón y complementarlo con un buen sistema de drenaje.

3.6.5 Análisis cinemático del talud

Los datos que utiliza el Slide para calcular son los obtenidos para el cálculo del GSI, ya especificados anteriormente. El talud que se ha tomado como ejemplo para el cálculo del factor de seguridad es el talud 1, por tener más envergadura, y las medidas que se han usado para su modelización han sido:

Point	X	Y
1	0	0
2	4	0
3	4	8
4	1	8
5	0	0.5
6	0	0
7		
8		
9		

Figura 87: Geometría del talud a modelizar, elaboración propia.

Con estos valores se modeliza el siguiente talud:

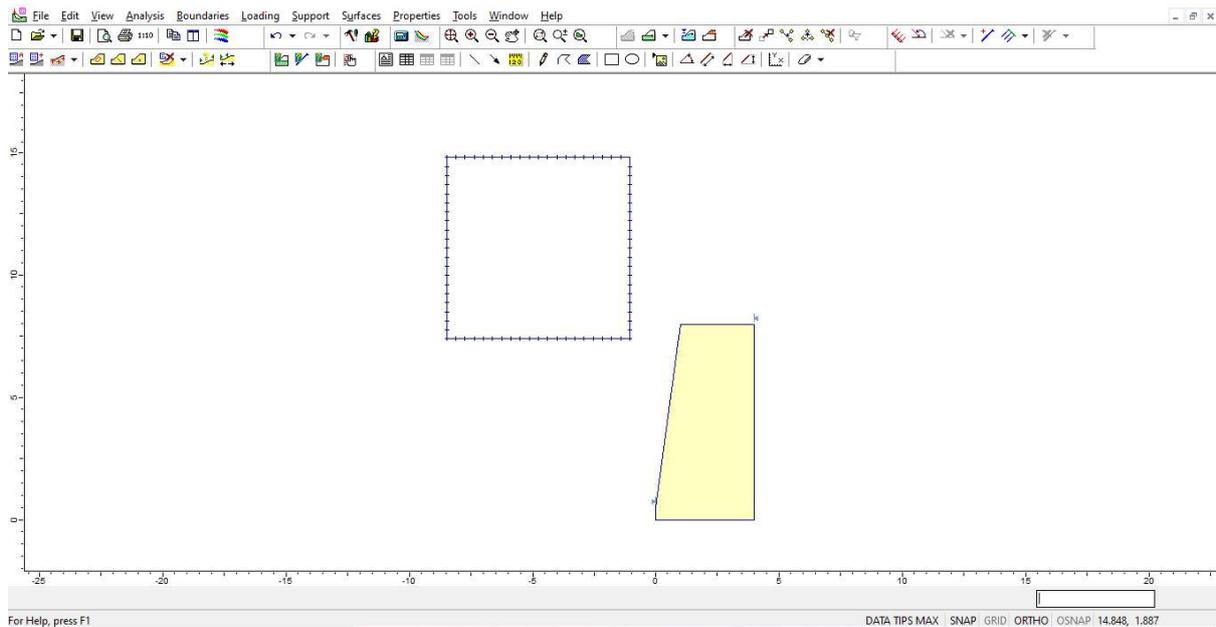


Figura 88: Datos de entrada para la modelización del talud, programa Slide de RockScience, elaboración propia.

En la figura que se adjunta a continuación, se muestran los resultados que nos proporciona el programa:

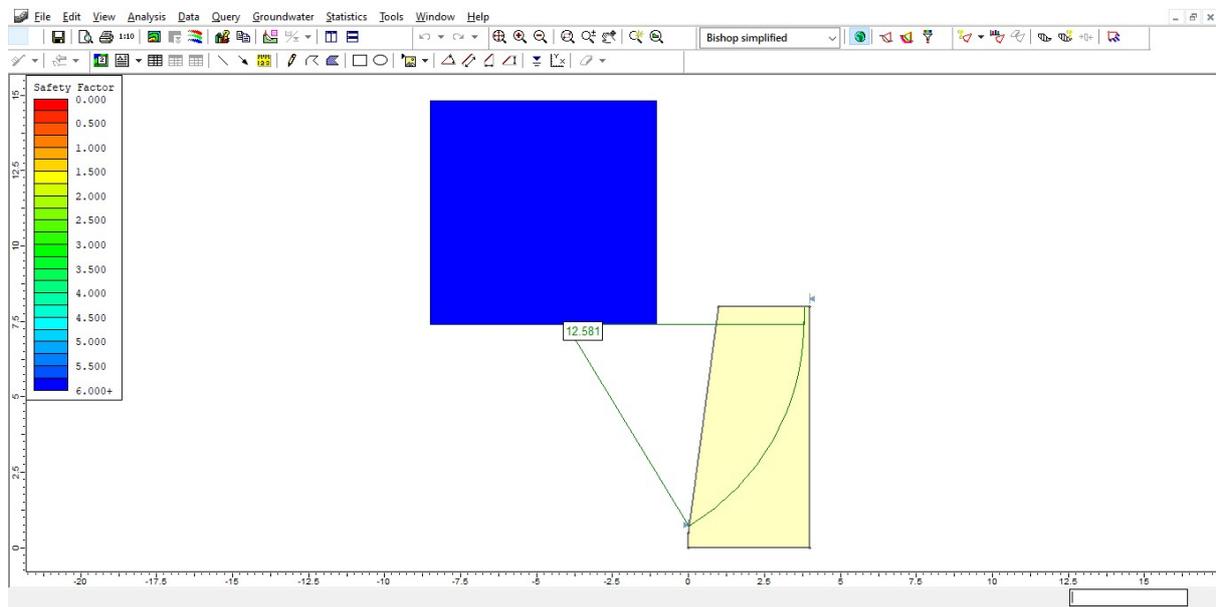


Figura 89: Estudio de estabilidad del talud 1 realizado con el programa Slide, de RockScience, elaboración propia.

Como se puede observar el factor de seguridad que se estima es de 12.581, por lo que no se produce rotura por colapso global del talud, ya que el factor de seguridad que se admite en este tipo de obras es de entre 1.3 – 1.5. Este programa está programado para el cálculo en suelos, pero se puede usar para el cálculo de macizos rocosos muy fracturados. En este caso, como se ha observado con la proyección estereográfica, se producen rotura por cuñas y planar de los planos de

discontinuidades del talud, pero como macizo rocoso no está lo suficientemente fracturado como para presentar un colapso global.

3.1 CONCLUSIONES

Después de las observaciones en campo **podemos clasificar las discontinuidades** del talud en **4 familias**, de la J1 a la J4:

TALUD	FAMILIA	BUZAMIENTO	DIRECCIÓN DE BUZAMIENTO
1	1 (J1)	79	17
	2	46	321
	3 (J2)	90	40
2	1 (J3)	21	47
	2 (J2)	82	43
	3 (J4)	89	353
	4	80	326
3	1 (J4)	81	7
	2 (J2)	90	45
	3	75	25

Las familias de discontinuidades marcadas en rojo son el plano de afloramiento del talud a la carretera objeto de estudio, por lo que no representan una familia de discontinuidades del macizo, por lo que no se engloban dentro de las familias de discontinuidades.

En cuanto a la hidrología, **no se observó** la presencia del **nivel freático** en la zona de estudio en todas las visitas de campo que se realizaron. Además, aunque se observó calcita en algunas muestras, lo que indica antecedentes de flujos de agua en el interior del macizo, **las características hidrogeológicas** de esta serie **no constituyen condiciones desfavorables** para el desarrollo de la actuación que se estudia.

Una vez analizados los trabajos en campo y en laboratorio de los taludes tomados como representativos, y después de proceder a modelizar los taludes con los programas de la compañía RockScience se llegan a las siguientes conclusiones:

- Los materiales que se observan en campo son principalmente **roca caliza**, aunque se observan rellenos que una vez después de analizarse se llegó a la conclusión de que son **arenas de carácter no plástico** con mucha presencia de materia orgánica.
- La **porosidad** del macizo es $n_e = 2.86\%$
- El **peso específico** del macizo es $\gamma = 2.61$
- La **humedad** del macizo es $\omega = 0.76\%$
- La **permeabilidad intrínseca** del macizo es **entre $k = 10^{-6}$ y $k = 10^{-12}$**
- El **grado de meteorización** del macizo es II, **roca ligeramente meteorizada**.
- La **resistencia a compresión simple** (RCS) del macizo es **$RCS = 55.743 \text{ Mpa}$** , por lo que la **roca** de la que se compone nuestro macizo es **dura**. Así que la maquinaria que

se usará en el caso de que se presente la necesidad de alterar la geometría del talud serán los que permita la rotura de una roca de más de 50 Mpa.

- El RMR del macizo es $RMR = 69$, aunque suponemos que la orientación de las discontinuidades es media, por lo que queda un **$RMR = 44$** .
- Los valores aproximados de c y ϕ del macizo son **$c = 0,2 / 0,3$ y $\phi = 25^\circ / 35^\circ$**
- El **espaciamiento** medio del macizo es **pequeño**, de 6 a 20 cm.
- En cuanto a **continuidad**, el macizo está constituido por **bloques grandes**.
- La **rugosidad** del macizo es dentro de la categoría **de superficie ondulada tiene una pared rugosa (IV)**.
- El **grado de meteorización** que presentan las paredes del macizo objeto de estudio es **decolorada**.
- La **apertura** del talud es **cerrada y parcialmente abierta**
- Las **filtraciones** del macizo corresponden a la clase 1: **junta muy plana y cerrada aparece seca y no parece posible que circule agua**, en caso de las discontinuidades **sin relleno**; y **relleno muy consolidado y seco** no es posible el flujo de agua, para las discontinuidades que sí que poseen relleno.
- El **GSI** del macizo es **$GSI = 45$**
- el parámetro m_i de nuestro macizo es **0.128**
- el parámetro D de nuestro macizo es **0.7**, macizos rocosos muy alterados
- El **SMR** del macizo es **$SMR = 30.4$**

Una vez analizado cinemáticamente el talud, se llega a la conclusión de:

- **No existe rotura por colapso total del talud.**
- **Se produce rotura de tipo planar en el talud 3.**
- **Se produce rotura por cuñas en el talud 2 y 3.**
- **No se produce rotura por vuelco.**

Según estas características las medidas de estabilización recomendadas para el talud objeto de estudio, son para el **refuerzo anclajes** y para el caso de trabajar estructuralmente con hormigón se recomienda el **uso de gunita** y la **construcción de un muro al pie del talud**.

4. ESTUDIO DE SOLUCIONES

4.1 INTRODUCCIÓN

El objeto de este punto es el estudio de las posibles soluciones al problema de estabilización en la zona de la traza de la carretera que se pretende ampliar. Se lleva a cabo después de la realización de los estudios geológico y geotécnico a fin de caracterizar el comportamiento del terreno y conocer sus características mecánicas para valorar las distintas alternativas que se van a proponer.

A partir de dicha información se busca establecer y definir para los taludes que se han tomado como representativos del macizo rocoso, el abanico de posibles soluciones o medidas correctoras, así como el cálculo de un factor de seguridad, la actuación más adecuada desde el punto de vista funcional, económico y constructivo.

El principal problema de estabilidad lo presenta el talud número tres (3), al ser el que presenta más posibilidad de rotura en función de los planos de rotura en comparación con el que aflora hacia la carretera, aunque, también es interesante estudiar el talud número un (1) ya que es el que presenta una mayor magnitud. Pero según se amplíe la traza de la carretera y la actuación en la misma presentaran el mismo problema de estabilización los taludes pertenecientes al mismo macizo rocoso que se está estudiando. Por lo que las alternativas que se van a estudiar en este punto, así como el análisis económico van a estar enfocadas al estudio previo en cuanto a estabilización de taludes en general de la obra, y puesto que el talud uno (1) es el de mayor magnitud se van a enfocar los cálculos a la estabilización de dicho talud.

Dichas medidas se pueden clasificar en dos tipos: las correctoras activas, que corrigen el problema de deslizamiento en los taludes; y las correctoras pasivas que proporcionan un control y unas menores afecciones a los elementos dentro de la zona de afección de desprendimiento del talud una vez ya se ha producido el desprendimiento.

De las siguientes alternativas se analizarán sus ventajas e inconvenientes para elegir la más adecuada en base a un análisis multicriterio que tiene en cuenta condicionantes económicos, medioambientales, técnicos y funcionales.

4.2 CONDICIONANTES

Debido a la actividad económica del entorno de la zona que estamos analizando, es de mucha importancia el buen funcionamiento de la carretera objeto de estudio. El tramo en el que realicemos las obras no podrá mantenerse cerrado completamente. Por lo tanto, para no entorpecer la actividad económica de las canteras se tendrán en cuenta métodos en los que no se corte por completo la carretera y en el caso de hacerlo que se haga el mínimo tiempo posible.

Además, a la hora de elegir la solución se tendrán en cuenta los criterios:

- Económico, tanto en la ejecución de la alternativa, así como en las posibles pérdidas económicas que puedan ir ligadas a esta solución, así como el coste que pueda suponer su mantenimiento a lo largo de su vida útil. No solo eso, también se tendrá en cuenta que no se paralice la actividad económica de las canteras que esta adyacentes a la obra cortando la carretera, y si tiene que hacerse al menos durante el menor tiempo posible.

- Técnico, se tendrá en cuenta la facilidad y sencillez a la hora de la ejecución de las alternativas, así como los condicionantes o dificultades que puedan surgir en cada caso.
- Funcional: se valorará cada una de las alternativas en función de la efectividad de la solución que plantean, tanto a corto como a largo plazo.
- Medioambiental: además de tener en cuenta tanto la afección al medio ambiente que pueda producir la ejecución de la solución, se considerará el posible impacto que pueda generar la alternativa en el futuro.

Según estos criterios se elegirá la opción óptima de entre todas las que se nos plantean, de forma que se compararan estas soluciones en una matriz. Los valores numéricos que se le otorgaran a las distintas soluciones son del 1 al 5 siendo no cumplir con el criterio un 1 y un 5 cumplirlo de forma óptima.

4.3 ALTERNATIVAS

Tras el estudio de la estabilidad del talud y después de llegar a la conclusión de que es necesario estabilizarlo se presentan las siguientes alternativas.

4.3.1 No realizar ninguna acción

Se debe estudiar si el no realizar ninguna acción frente al problema existente condujese a una solución de compromiso asumible con respecto a los criterios especificados anteriormente.

VENTAJAS:

- El gasto económico sería nulo.
- No existirían problemas medioambientales relacionados con la ejecución de una posible alternativa y no se dañaría el entorno. Por lo que no existiría ninguna afección ambiental.
- No se paraliza la actividad económica de las canteras.
- No se interrumpiría ni se alteraría el funcionamiento de las canteras que se ven afectadas por la carretera.

INCONVENIENTES:

- Las pérdidas en caso de que el talud deslizará supondrían un alto gasto económico y humano.

La zona en la que nos encontramos está afectada por un alto riesgo de deslizamiento, por lo que no podemos no asumir el riesgo de que se produzca un desprendimiento y que existan pérdidas humanas. Económicamente supondría un gran problema el caso de desprendimiento ya que no sólo se tendrían que asumir los costes de los daños a las estructuras colindantes, además, se tendrían que afrontar los gastos económicos que sufriría, en caso de verse afectada, la actividad económica de las canteras que se encuentran en la zona de afección. Funcionalmente esta alternativa tampoco tendría sentido ya que, si se produce desprendimiento y se retira, la propia ladera buscará un equilibrio para volver al punto de estabilidad, por lo que se producirían más desprendimientos en un futuro.

La valoración de esta alternativa es, por tanto:

Criterio	Valoración	Observaciones
Económico	2	Las pérdidas son altas en el caso de que falle el talud
Medioambiental	5	No se realiza acción
Técnico	0	No se realiza acción
Funcional	0	No se realiza acción

Tabla 1: Valoración alternativa 0, elaboración propia.

4.3.2 Modificar la geometría del talud

Una de las formas más efectivas de estabilizar un talud es modificar su geometría, además de ser de las alternativas más económicas. Aunque esta acción no es posible en algunas situaciones, ya sea por la dificultad de ejecución en su puesta en obra, o porque el talud requiera esa geometría en específico por necesidades de servicio o por necesidades relacionadas con la afección de zonas colindantes.

Las acciones que se pueden llevar a cabo para que cambiando su geometría se solucionen los problemas estructurales del talud son:

- Disminuir su inclinación.
- Eliminar el peso de la cabecera disminuyendo así las fuerzas desestabilizadoras.
- Incrementar el peso en el pie del talud aumentando así las fuerzas estabilizadoras.
- Construir bermas intermedias reduciendo así la inclinación del talud.

VENTAJAS

- No implica maquinaria ni personal especializado.
- Puede hacerse con material propio de la obra, sin necesidad de extraerlo de elementos externos lo que implicaría gastos económicos y ambientales, y en caso de tener que traer material de cantera nos encontramos con varias muy cercanas a la zona de obra.
- Tiene una larga vida útil ya que no es necesario ir modificando el talud a corto plazo.

INCONVENIENTES

- Al ser una obra de gran magnitud, ya que para modificar la geometría del macizo se tendrían que movilizar muchos m³, y con esto cortar la carretea influyendo directamente en la actividad económica de las canteras que esta conecta.
- Si tuviéramos que modificar sólo una parte de macizo o algún talud en concreto no supondría problema esta solución, pero al tener que ampliar toda la carretera, debemos modificar la geometría de todo el macizo rocoso. Además, para esta clase de obra la acción que se llevaría a cabo sería aumentar el peso en el pie del talud, ya que la disminución del ángulo general del talud y la retirada de peso en su cabecera llevaría a dificultades en la parte de acceso superior del talud, lo que técnicamente es inviable.
- Medioambientalmente, la maquinaria en el tiempo y las propias afecciones al macizo rocoso supondrían un alto impacto ambiental, además de un impacto por ruido

puesto que esta clase de actuaciones en las que se tiene que trabajar con roca son muy ruidosas.

- Aun no requiriendo modificaciones importantes a lo largo del tiempo, esta alternativa requiere control, ya que con el tiempo la geometría el talud va cambiando, y si llegara el punto de que cambiara esta o las fuerzas de equilibrio que generamos en el talud con este método, podría fallar.

La valoración de esta alternativa es, por tanto:

Criterio	Valoración	Observaciones
Económico	2	Se tendrá que actuar en mucha superficie
Medioambiental	2	Importante impacto ambiental
Técnico	1	-
Funcional	5	Se resolvería el problema desde la raíz.

Tabla 2: Valoración alternativa 1, elaboración propia.

Esta alternativa se descarta básicamente por la necesidad de alterar la geometría de todo el macizo, siendo este demasiado extenso como para que sea rentable realizar una actuación tan grande y costosa como para que sea económicamente viable. Además, que se necesitaría el reducir la actividad económica de las canteras de la carreta al tener que cortar la carretera por un periodo de tiempo bastante extenso en relación con otros métodos para el trabajo de la maquinaria.

4.3.3 Muros y elementos de contención

El estabilizar con muros es un método corrector pasivo, ya que cumple su función después de que el desplazamiento del talud se haya llevado a cabo.

VENTAJAS

- No hay afección directa sobre el talud.
- Requiere menos tiempo de obras que modificar toda la geometría del talud, con el ahorro económico y energético que ello conlleva. Además, es una acción que no requiere de una complicada puesta en obra.
- Aunque no evita un posible deslizamiento, si mitiga el problema.
- El material del muro es generalmente de hormigón, pero puede ser de otros materiales que puedan proporcionar una mejor flexibilidad de movimientos, un drenaje más eficaz y una incorporación ambiental que favorezca la sostenibilidad. Si ponemos un muro de gaviones reducimos el impacto paisajístico.

INCONVENIENTES

- Requiere de un control exhaustivo, ya que si se producen pequeños deslizamientos y no se retiran el muro pierde efectividad como método, además de que las fuerzas que estos desprendimientos ejercerían sobre el muro podrían hacer que se desestabilizara y colapsase.
- Para el uso de esta alternativa la superficie de deslizamiento no puede ser muy profunda para que la cimentación del muro pueda penetrar por debajo de la misma. En el caso en el que nos encontramos no sería muy factible hacer un muro cuya cimentación penetre por debajo de la superficie de deslizamiento durante todo el trazado de la carretera que abarca el talud.

- Es una acción pasiva, no evita el deslizamiento del talud por lo que aún existe el riesgo de provocar accidentes.

La valoración de esta alternativa es, por tanto:

Criterio	Valoración	Observaciones
Económico	3	Es más económico que hacer modificar la geometría del talud
Medioambiental	3	No se actúa en el propio talud, pero hay consecuencias medioambientales al poner los muros de hormigón
Técnico	2	No se requiere un trabajo muy especializado para hacerse esta alternativa
Funcional	1	El problema no se resuelve, sólo se mitigan los daños en caso de desprendimiento

Tabla 3: Valoración alternativa 2, elaboración propia.

4.3.4 Drenajes y otros elementos de protección pasiva.

No se presenta nivel freático en la zona de estudio, aun así, es muy importante un buen drenaje en la zona de actuación ya que el agua puede provocar problemas serios de inestabilidad en un macizo rocoso. Sin embargo, el drenaje no es una solución por sí misma, al mitigar los posibles problemas provocados por el agua, ayudamos a mantener el talud estable, pero no es suficiente por sí sólo. Por lo que el drenaje se estudiará en la solución adoptada como acción complementaria.

Por la misma razón, no se estudia el uso de protección en zanjas de pie, vallas (de pie o de talud) redes y/o mallas (sobre la superficie del talud), al menos como método de corrección por sí mismo, porque en el caso de un desprendimiento serían insuficientes.

4.3.5 Elementos estructurales resistentes

Para aumentar el coeficiente de seguridad de un talud se tiene que disminuir las fuerzas desestabilizadoras que tienden a la rotura o aumentando las fuerzas estabilizadoras. En todos los casos las actuaciones afectan a los factores que controlan básicamente el equilibrio de un talud: el peso de los materiales, sus propiedades resistentes y el agua.

La fuerza desestabilizadora más importante es, el mismo peso de la masa deslizante, juntamente con otras fuerzas exteriores, aunque no se ha observado nivel freático por lo que no tendremos empuje hidrostático. Por lo que con estos métodos se consigue un incremento de la tensión normal que producirá un incremento de la resistencia, lo que se traduce en un aumento de las fuerzas estabilizadoras del macizo.

En estos elementos constructivos se encuentran:

- Pilotes de hormigón.
- Anclajes metálicos, son elementos que trabajan a tracción, normalmente están constituidos por armaduras metálicas que se alojan en perforaciones

realizadas en el terreno, en cuyo fondo se sujetan o anclan por medio de inyecciones o dispositivos mecánicos expansivos, fijándose luego el exterior a la estructura a placas que se apoyan directamente en la superficie del terreno.

VENTAJAS

- Por la parte económica, se pueden emplear para el cosido de macizos fisurados, de forma que se evita el deslizamiento de taludes en roca actuando solamente en la zona del talud propensa al deslizamiento. Por lo que no se tendría que actuar en todo el macizo.
- Es el medio más efectivo de aplicar grandes esfuerzos a un talud de forma exacta y precisa.
- A la hora de su colocación no se necesitaría mucha maquinaria, ni mucho tiempo de actuación, por lo que es una alternativa rápida, en comparación de las anteriores. Con el ahorro energético que eso supone.
- Es un método activo, se actúa en el propio talud solucionando el problema.

INCONVENIENTES

- La utilización de anclajes es costosa en relación con otros métodos más sencillos.
- Requieren maquinaria y personal especializado, por lo que supondría un sobrecoste.
- Se actúa directamente sobre el talud, lo que genera un gran impacto ambiental.
- Se tiene que llevar un control para asegurarse que las tensiones que se transmiten al terreno se mantienen en el tiempo.
- Pierde agarre con el tiempo cuando la parte de la roca donde se pone el anclaje se deteriora.

La valoración de esta alternativa es, por tanto:

Criterio	Valoración	Observaciones
Económico	3	Se aplica en zonas puntuales y no en la totalidad del talud
Medioambiental	3	Se actúa en el propio talud, pero el tiempo y las afecciones a la zona de actuación son mínimas en comparación a otras alternativas
Técnico	2	Se requiere maquinaria y personal especializado
Funcional	4	Se trata el problema de raíz, aunque se tiene que llevar un control

Tabla 4: Valoración alternativa 3, elaboración propia.

4.4 SOLUCIÓN ADOPTADA

4.4.1 Selección de la alternativa óptima

Después del análisis anterior se comparan todos los pros y los contras de cada una de las alternativas y se suman los puntos que se le han otorgado a cada una para ver cuál es la óptima en

nuestro caso de estudio. La puntuación numérica de los criterios que se han otorgado individualmente a cada alternativa hacer que se pueda escoger de forma más objetiva.

Criterio	Valoración			
	Alternativa 0	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Económico	2	2	3	3
Medioambiental	5	2	3	3
Técnico	0	1	2	2
Funcional	0	5	1	4
TOTAL	7	10	9	12

Tabla 5: Valoración conjunta de todas las alternativas, elaboración propia.

Por lo que la conclusión a la que se llega es que la alternativa optima es el uso de anclajes como método para estabilizar el talud objeto de este estudio.

4.4.2 Desarrollo de la alternativa adoptada

Los anclajes, según la forma en la que trabajen, pueden clasificarse en activos, pasivos o mixtos. Los activos se pretensan después de su colocación de forma que ejercen una cierta fuerza sobre el terreno. Las dos componentes de la fuerza que se aplican al talud son estabilizadoras. Una se opone directamente a la dirección del movimiento, mientras que la otra incrementa la tensión normal sobre la superficie de deslizamiento.



Figura 90: Anclajes activos en talud de carretera, fuente Nacional de Perforaciones SAS

Los refuerzos pasivos, como los bulones, necesitan un movimiento adicional importante del talud para entrar en carga. Entra en tracción por sí solo, al aparecer la fuerza exterior y oponerse la cabeza al movimiento del terreno o de la estructura.



Figura 91: Anclaje pasivo formado por un bulón, fuente block de Víctor Yepes.

Los anclajes mixtos son un intermedio entre los dos anteriores. La armadura se pretensa con una carga inferior a la admisible, quedando una parte de su capacidad resistente en reserva para hacer frente a posibles movimientos del terreno.

El empleo de anclajes puede ser temporal o permanente, siendo los permanentes los que más importancia tienen en la estabilización de taludes. De hecho, se dimensionan con mayores coeficientes de seguridad y sobre todo se deben prever medidas extremas para hacer frente a la corrosión. Por ello, para este estudio se propone el uso de anclajes permanentes pasivos, ya que son más económicos que el uso de anclajes activos y las inestabilidades estudiadas anteriormente no requieren de una corrección inmediata al no presentar un peligro inminente.

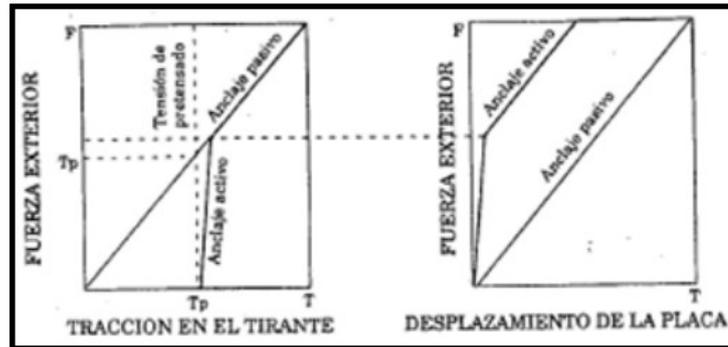


Figura 92: Comportamiento esquemático de un anclaje, fuente Ingeniería geológica Luis González De Vallejo.

Los bulones son barras de acero que se introducen en el talud, y se pueden considerar como anclajes pasivos de baja capacidad. Las longitudes suelen estar comprendidas entre 3 y 6 m y su diámetro varía de 25 a 40 mm. Se colocan en perforaciones realizadas en la roca y rellenas de cemento o resina. Los bulones estabilizan y consolidan el terreno, aumentando su capacidad portante.

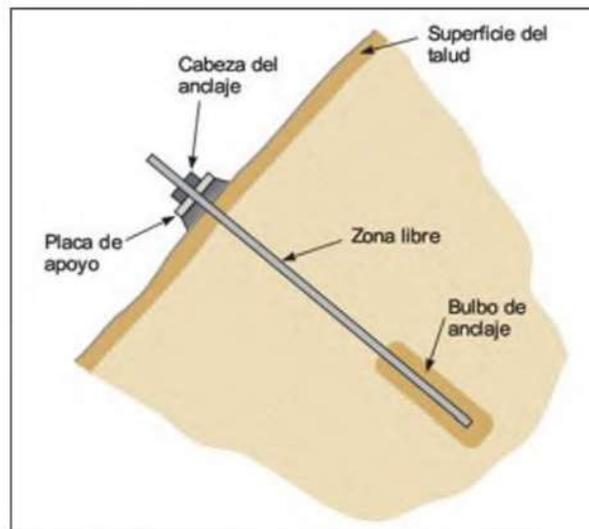


Figura 93: Partes de un anclaje, fuente Ingeniería geológica Luis González De Vallejo.

A la hora de trabajar con anclajes pasivos, una práctica que se tiene en estos casos es 'coser' el macizo con bulones dispuestos a tresbolillo. De forma que se evite el posible deslizamiento en las zonas del talud que no se hayan tenido en cuenta. Para mayor estabilidad de la rotura superficial del macizo y para obtener una buena integración de los materiales con el entorno en condiciones de

seguridad se usa una capa de hormigón proyectado o gunita, de forma que todo el talud queda asegurado. Con esta gunita debe disponerse de un buen sistema de drenaje, de forma que el agua no se acumule en el interior del macizo y genere presiones indeseadas. Por lo que juntamente con el hormigón proyectado se dispondrán de unos drenes colocados estratégicamente para asegurar que no hay problemas por el agua en el talud.



Figura 94: Izq. hormigón proyectado o gunita. Dcha. drenajes en la superficie del talud. Fuente, empresa Bulcanarte.

4.4.3 Medidas auxiliares

4.4.3.1 Medidas superficiales de corrección

Además de prestar atención a la estabilidad global, resulta importante tener en cuenta los fenómenos de inestabilidad o degradación superficial. Estas medidas son complementarias y no resuelven el problema de inestabilidad del talud, pero también son actuaciones de importancia que se deben considerar.

Se deben tener en cuenta los elementos de fenómenos de inestabilidad o degradación superficial, ya que aun calculando y estabilizando el macizo rocoso como conjunto no se da solución a los problemas superficiales y tratándose de un talud de roca, la erosión superficial la entrada de agua en las grietas superficiales es muy importante. Por lo que debemos tener en cuenta estos procesos y corregirlos en la medida de lo posible.

Estas medidas buscan entre otras cosas: eliminar los problemas de caídas de bloques de rocas, ya que aun cosiendo el talud pueden haber caídas de rocas en la capa superficial del macizo que no estén cosidas; aumentar la seguridad del talud frente a roturas superficiales, por la misma razón; evitar la erosión y la meteorización en el frente del talud, que aún cosido está sometido a las acciones ambientales que en estas zonas de montaña suelen ser más duras que en otros lugares; y evitar la entrada de agua de escorrentía en el cuerpo del talud, facilitando así que no se rompan los bloques superficiales.

Una de las acciones que se usan en el talud cuando se cose de la forma en la que se ha elegido solución es el uso de gunita o hormigón proyectado. Este método por sí solo no soporta el talud, pero unido a un buen drenaje si soluciona estos problemas de degradación superficiales del talud. La gunita constituye un mortero de cemento, agua y árido hasta 8 mm que se proyecta hacia el talud, puede reforzarse mediante la fijación de una malla metálica al talud sobre la que se proyecta la mezcla. El

espesor varía entre los 5-10 cm generalmente. No hay que olvidar que este método precisa medidas de drenaje que permitan la salida del agua a través del recubrimiento.

Para la degradación superficial del suelo en las zonas en las que sea necesario, se sugieren georedes combinadas con hidrosiembra, que permite controlar la erosión ya que las raíces ejercen una acción de refuerzo que impide que se produzcan fenómenos de inestabilidad superficial.

Por último, en las zonas en las que el talud contiguo a la carretera no presente problemas graves de deslizamiento y no sea necesario coser el talud como se ha tenido que hacer en este caso, se recomienda el uso de mallas metálicas, ya que estas están diseñadas para prevenir posibles caídas de roca producto de desprendimientos superficiales. Se puede emplear mallas electrosoldadas, vallas, bermas para recogidas de fragmentos de roca, etc. Las mallas electrosoldadas pueden simplemente colgar de forma libre o asegurarse mediante bulones a la roca acompañadas de redes de cables, para evitar afecciones al macizo en el caso de tener que ponerse mallas, se optará por las que cuelgan con un peso al pie del talud.

4.4.3.2 Integración ambiental

Es muy importante tener en cuenta la integración ambiental en todos los proyectos de ingeniería civil, principalmente aquellos que tienen afección directa a zonas montañosas como es nuestro caso. Por lo que se deben tener en cuenta medidas que favorezcan esta integración ambiental como, por ejemplo:

- Regeneración de zonas de préstamos, antiguos vertederos y horquillas de la anterior traza mediante el relleno y, abancalamiento para la plantación de especies autóctonas.
- Siembra de las superficies llanas para la implantación de gramíneas y leguminosas que mejoren el suelo.
- Ayudas a la revegetación de las riberas al pie de los terraplenes.
- Integración ambiental de los terraplenes mediante la hidrosiembra de semillas seleccionadas y la plantación de especies autóctonas.
- Recuperación ambiental de la zona ocupada por las instalaciones provisionales de obra.

4.4.3.3 Drenaje

El agua es el principal agente que desencadena los problemas de inestabilidad de taludes, de todas las medidas de corrección de taludes, un drenaje adecuado es, en la mayoría de las ocasiones la más importante. Como en el talud objeto de estudio no se ha observado la presencia de nivel freático que favorezca la inestabilidad del macizo nos centramos en los sistemas de drenaje superficiales. El objetivo de estas medidas no es directamente disminuir las presiones de agua en el terreno, sino reduce la posibilidad de empuje hidrostático actuando en las grietas del terreno, aminora los procesos de degradación superficial del terreno y, disminuye la infiltración de agua en el talud, también contribuye a reducir las presiones de agua en la superficie de deslizamiento.

Se propone como solución de drenaje superficial colocar una tubería que recoja los fluidos superficiales y colocarla en una cuneta a la cabeza del talud, ya que de ponerse en el pie del talud la tubería podría romperse por las caídas de bloques del talud.

Además de estos elementos superficiales de drenaje, se deben instalar drenes en la superficie gunitada del talud, ya que la gunita para que funcione correctamente debe de disponer de un buen proceso de drenaje. Esto es porque al poner una capa de hormigón en el talud no dejamos evacuar el

agua como se evacua de manera natural si no actuamos sobre la superficie del talud. Esto puede provocar tensiones hidrostáticas que no se habían tenido en cuenta a la hora de calcular además de la rápida degradación de las medidas estabilizadoras del talud.

4.5 CONCLUSIONES

Para el estudio de soluciones se le da a cada una de las propuestas un valor en función de los factores:

- Económico
- Técnico
- Funcional
- Medioambiental

Los valores numéricos que se le otorgan a las distintas soluciones son del 1 al 5 siendo no cumplir con el criterio un 1 y un 5 cumplirlo de forma óptima. Las diferentes soluciones que se han estudiado son:

- No realizar ninguna acción

Criterio	Valoración	Observaciones
Económico	2	Las pérdidas son altas en el caso de que falle el talud
Medioambiental	5	No se realiza acción
Técnico	0	No se realiza acción
Funcional	0	No se realiza acción

- Modificar la geometría del talud

Criterio	Valoración	Observaciones
Económico	2	Se tendrá que actuar en mucha superficie
Medioambiental	2	Importante impacto ambiental
Técnico	1	-
Funcional	5	Se resolvería el problema desde la raíz.

- Muros y elementos de contención

Criterio	Valoración	Observaciones
Económico	3	Es más económico que hacer modificar la geometría del talud
Medioambiental	3	No se actúa en el propio talud, pero hay consecuencias medioambientales al poner los muros de hormigón
Técnico	2	No se requiere un trabajo muy especializado para hacerse esta alternativa
Funcional	1	El problema no se resuelve, sólo se mitigan los daños en caso de desprendimiento

- Elementos estructurales resistentes

Criterio	Valoración	Observaciones
Económico	3	Se aplica en zonas puntuales y no en la totalidad del talud
Medioambiental	3	Se actúa en el propio talud, pero el tiempo y las afecciones a la zona de actuación son mínimas en comparación a otras alternativas
Técnico	2	Se requiere maquinaria y personal especializado
Funcional	4	Se trata el problema de raíz, aunque se tiene que llevar un control

Por lo que la conclusión a la que se llega es que la alternativa optima es **el uso de anclajes** como método para estabilizar el talud objeto de este estudio.

Criterio	Valoración			
	Alternativa 0	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Económico	2	2	3	3
Medioambiental	5	2	3	3
Técnico	0	1	2	2
Funcional	0	5	1	4
TOTAL	7	10	9	12



Para este estudio se propone el uso de **anclajes permanentes pasivos**, ya que son más económicos que el uso de anclajes activos y las inestabilidades estudiadas anteriormente no requieren de una corrección inmediata al no presentar un peligro inminente.

A la hora de trabajar con anclajes pasivos, una práctica que se tiene en estos casos es ‘coser’ el macizo con bulones dispuestos a tresbolillo. Para mayor estabilidad de la rotura superficial del macizo y para obtener una buena integración de los materiales con el entorno en condiciones de seguridad se usa una **capa de hormigón proyectado o gunita**, de forma que todo el talud queda asegurado. Con esta gunita debe disponerse de un buen **sistema de drenaje**, de forma que el agua no se acumule en el interior del macizo y genere presiones indeseadas. Por lo que juntamente con el hormigón proyectado se dispondrán de unos **drenes** colocados estratégicamente para asegurar que no hay problemas por el agua en el talud.

Las medidas auxiliares que se proponen son: como medidas superficiales de contención en la parte más deteriorada o que más problemas presentes del talud el uso de **gunita**, en las zonas en las que el talud contiguo a la carretera no presente problemas graves de deslizamiento el uso de **mallas metálicas con peso al pie del talud**.

Como medidas de **protección ambiental**, entre otras medidas se propone la siembra de las superficies llanas para la implantación de gramíneas y leguminosas que mejoren el suelo, ayudas a la revegetación de las riberas al pie de los terraplenes...

Como medidas de drenaje superficial, la colocación de una tubería y la construcción de una **cuneta** en la cabeza del talud, ya que de ponerse en el pie del talud la tubería podría romperse por las caídas de bloques del talud.

5. VALORACIÓN ECONÓMICA Y PLAN DE TRABAJOS

5.1 INTRODUCCIÓN

En este apartado se hace a groso modo una valoración económica de los trabajos llevados a cabo para la estabilización de este talud. Cabe destacar que en este análisis de precios y plan de trabajos se incluyen solamente los trabajos relacionados con la estabilidad de taludes y sus obras auxiliares, no se tendrán en cuenta los trabajos relacionados con la ampliación de la carretera que nos ocupa.

Este presupuesto estará calculado para los taludes que hemos contemplado en este estudio de modo que los precios serán con relación a las dimensiones de estos taludes, extrapolándose para el resto de los taludes de la obra. Ya que este estudio se centra en los taludes que resultan más problemáticos a la hora de la actuación por lo que serán los más costosos a la hora del cálculo. Además, el talud 1 y 3 se estabilizarán de forma diferente al talud 2, ya que el 1 presenta con diferencia mayor envergadura y el 3 es en cuanto a deslizamiento el más desfavorable. Por lo que los taludes 1 y 3 se estabilizarán con bulones y gunita; y el talud 2 como es más estable y apenas presenta problemas de estabilidad, se estabilizará con mallas a triple torsión y la colocación de una cuneta de guarda a pie del talud.

5.2 VALORACIÓN ECONÓMICA

Los trabajos previos a la estabilización que se han tenido en cuenta para la valoración económica han sido, por una parte, el levantamiento de vallas metálicas para el cercado de seguridad de la obra por la propia implantación de esta. Este vallado se desarrolla por todo el perímetro de la obra, en nuestro caso el perímetro en el que se cierran los tres taludes estudiados, siendo este perímetro igual a 250 metros aproximadamente. Por otra parte, también se incluyen en este apartado las posibles excavaciones que se puedan realizar en el talud, en el caso de que alguno tuviera una forma geométrica que dificultara la estabilidad.

Además, en esta unidad de obra se tiene en cuenta el regulado y refino de las capas más superficiales al talud, facilitando así las siguientes tareas de estabilización. Como no se conoce el porcentaje del talud al que le hará falta dicha actuación, se coge un cuarto de forma representativa considerado al alza ya que a la hora de calcular el presupuesto no haya sobrecostes en la ejecución.

TRABAJOS PREVIOS					
UO.101	m	Levantamiento de vallas metálicas, por medios mecánicos, incluso carga y transporte a almacén o a vertedero de la Contrata a cualquier distancia incluyendo canon de vertido.	250	2.45	612.5
UO.102	m ³	Excavación a cielo abierto en roca en el <u>talud 1</u> , con medios mecánicos e inclusión de martillo, con agotamiento incluso refino de taludes y fondo de la excavación, retirada y transporte de productos sobrantes a vertedero de la Contrata a cualquier distancia incluyendo canon de vertido. Disposición de los medios de seguridad y protección reglamentarios, limpieza del lugar de trabajo y retirada de maquinaria. Incluso herramientas y medios auxiliares.	510	6.04	3080.4
UO.103	m ³	Excavación a cielo abierto en roca en el <u>talud 2</u> , con medios mecánicos e inclusión de martillo, con agotamiento incluso refino de taludes y fondo de la excavación, retirada y transporte de productos sobrantes a vertedero de la Contrata a cualquier distancia incluyendo canon de vertido. Disposición de los medios de seguridad y protección reglamentarios, limpieza del lugar de trabajo y retirada de maquinaria. Incluso herramientas y medios auxiliares.	120	6.04	724.8
UO.104	m ³	Excavación a cielo abierto en roca en el <u>talud 3</u> , con medios mecánicos e inclusión de martillo, con agotamiento incluso refino de taludes y fondo de la excavación, retirada y transporte de productos sobrantes a vertedero de la Contrata a cualquier distancia incluyendo canon de vertido. Disposición de los medios de seguridad y protección reglamentarios, limpieza del lugar de trabajo y retirada de maquinaria. Incluso herramientas y medios auxiliares.	112.5	6.04	679.5

Figura 95: Valoración económica de los trabajos previos a la obra, elaboración propia.

En la parte de la valoración que se centra en la estabilización, por un lado, tenemos las unidades de obras enfocadas a la estabilización del talud número dos, como representación de todos aquellos que no presenten serios problemas para la estabilidad a lo largo de la traza. La unidad de obras que se describe para este tipo de casos es la colocación del mallado.



Figura 96: Talud en la carretera CV-50 en la comarca de los Serranos estabilizado con mallado metálico. Elaboración propia.

Para estabilizar el resto de los taludes que se han estudiado se procede primero a la colocación de bulones a tresbolillo, de forma que todo el talud quede 'cosido', después se pasa a la fase de gunitado y por último, se colocan las tuberías de drenaje para el buen funcionamiento del gunitado.

ESTABILIZACIÓN					
UO.201	m ²	Malla de acero corrugado B-500 S, de límite elástico 5.100 Kp/cm ² , de medidas de cuadrícula 15x15 cm, Ø 6 mm colocada en cualquier posición, incluso solapes. Disposición de los medios de seguridad y protección reglamentarios, herramientas, y medios auxiliares. Ejecutado en horario nocturno, dentro de la banda de mantenimiento. <u>Talud 2</u>	160	3.42	547.2
UO.202	m	Bulón de barra acero B-500 S de 25 mm, incluyendo perforación a rotoperforación desde andamio, inyección posterior, placa, tuerca, tesado, totalmente colocado incluyendo maquinaria, herramientas y medios auxiliares necesarios. Disposición de los medios de seguridad y protección reglamentarios, herramientas y medios auxiliares. Ejecutado en horario nocturno, dentro de la banda de mantenimiento. <u>Talud 1.</u>	227	53.71	12174.27
UO.203	m	Bulón de barra acero B-500 S de 25 mm, incluyendo perforación a rotoperforación desde andamio, inyección posterior, placa, tuerca, tesado, totalmente colocado incluyendo maquinaria, herramientas y medios auxiliares necesarios. Disposición de los medios de seguridad y protección reglamentarios, herramientas y medios auxiliares. Ejecutado en horario nocturno, dentro de la banda de mantenimiento. <u>Talud 3.</u>	50	53.71	2685.5
UO.204	m ²	Gunitado de hormigón H/MP/25/III, con aditivos, en capas de espesor igual o superior de 10 cm, para protección de taludes, incluso saneamiento manual previo, parte proporcional de mechinales, andamiajes y todos los medios necesarios. Disposición de los medios de seguridad y protección reglamentarios, herramientas y medios auxiliares. Ejecutado en horario nocturno, dentro de la banda de mantenimiento.	680	20.6	14008
UO.205	m ²	Gunitado de hormigón H/MP/25/III, con aditivos, en capas de espesor igual o superior de 10 cm, para protección de taludes, incluso saneamiento manual previo, parte proporcional de mechinales, andamiajes y todos los medios necesarios. Disposición de los medios de seguridad y protección reglamentarios, herramientas y medios auxiliares. Ejecutado en horario nocturno, dentro de la banda de mantenimiento.	150	20.6	3090
UO.206	m ²	Drenes de tubería de PVC incluso sellado de juntas, transporte de productos sobrantes a vertedero de la Contrata a cualquier distancia incluyendo canon de vertido. Disposición de los medios de seguridad y protección reglamentarios, herramientas y medios auxiliares.o.	277	11.89	3293.53

Figura 97: Valoración económica de la estabilización de los taludes, elaboración propia.

A continuación, se presupuestan los trabajos auxiliares que son por un lado un drenaje superficial para todo el perímetro de los taludes, una zanja a pie de talud para recoger los posibles pequeños desprendimientos de la capa superficial del talud 2, y los trabajos de integración ambiental de toda la obra una vez han acabado las acciones sobre los taludes. Por último, se presupuestan la integración ambiental y la gestión de residuos.

MEJORA Y ESTABILIZACIÓN DEL MACIZO

VALORACIÓN ECONÓMICA: PRESUPUESTO

Código	Uds.	Descripción	Cantidad	Precio	Importe
Actividades a realizazr para estabilizar el talud					
TRABAJOS PREVIOS					
UO.101	m	Levantamiento de vallas metálicas, por medios mecánicos, incluso carga y transporte a almacén o a vertedero de la Contrata a cualquier distancia incluyendo canon de vertido.	250	2.45	612.5
UO.102	m³	Excavación a cielo abierto en roca en el <u>talud 1</u> , con medios mecánicos e inclusión de martillo, con agotamiento incluso refino de taludes y fondo de la excavación, retirada y transporte de productos sobrantes a vertedero de la Contrata a cualquier distancia incluyendo canon de vertido. Disposición de los medios de seguridad y protección reglamentarios, limpieza del lugar de trabajo y retirada de maquinaria. Incluso herramientas y medios auxiliares.	510	6.04	3080.4
UO.103	m³	Excavación a cielo abierto en roca en el <u>talud 2</u> , con medios mecánicos e inclusión de martillo, con agotamiento incluso refino de taludes y fondo de la excavación, retirada y transporte de productos sobrantes a vertedero de la Contrata a cualquier distancia incluyendo canon de vertido. Disposición de los medios de seguridad y protección reglamentarios, limpieza del lugar de trabajo y retirada de maquinaria. Incluso herramientas y medios auxiliares.	120	6.04	724.8
UO.104	m³	Excavación a cielo abierto en roca en el <u>talud 3</u> , con medios mecánicos e inclusión de martillo, con agotamiento incluso refino de taludes y fondo de la excavación, retirada y transporte de productos sobrantes a vertedero de la Contrata a cualquier distancia incluyendo canon de vertido. Disposición de los medios de seguridad y protección reglamentarios, limpieza del lugar de trabajo y retirada de maquinaria. Incluso herramientas y medios auxiliares.	112.5	6.04	679.5
ESTABILIZACIÓN					
UO.201	m²	Malla de acero corrugado B-500 S, de límite elástico 5.100 Kp/cm², de medidas de cuadrícula 15x15 cm, Ø 6 mm colocada en cualquier posición, incluso solapes. Disposición de los medios de seguridad y protección reglamentarios, herramientas, y medios auxiliares. Ejecutado en horario nocturno, dentro de la banda de mantenimiento. <u>Talud 2</u>	160	3.42	547.2
UO.202	m	Bulón de barra acero B-500 S de 25 mm, incluyendo perforación a rotoperforación desde andamio, inyección posterior, placa, tuerca, tesado, totalmente colocado incluyendo maquinaria, herramientas y medios auxiliares necesarios. Disposición de los medios de seguridad y protección reglamentarios, herramientas y medios auxiliares. Ejecutado en horario nocturno, dentro de la banda de mantenimiento. <u>Talud 1</u> .	227	53.71	12174.27
UO.203	m	Bulón de barra acero B-500 S de 25 mm, incluyendo perforación a rotoperforación desde andamio, inyección posterior, placa, tuerca, tesado, totalmente colocado incluyendo maquinaria, herramientas y medios auxiliares necesarios. Disposición de los medios de seguridad y protección reglamentarios, herramientas y medios auxiliares. Ejecutado en horario nocturno, dentro de la banda de mantenimiento. <u>Talud 3</u> .	50	53.71	2685.5
UO.204	m²	Gunitado de hormigón H/MP/25/III, con aditivos, en capas de espesor igual o superior de 10 cm, para protección de taludes, incluso saneamiento manual previo, parte proporcional de mechinales, andamiajes y todos los medios necesarios. Disposición de los medios de seguridad y protección reglamentarios, herramientas y medios auxiliares. Ejecutado en horario nocturno, dentro de la banda de mantenimiento.	680	20.6	14008

UO.205	m ²	Gunitado de hormigón H/MP/25/III, con aditivos, en capas de espesor igual o superior de 10 cm, para protección de taludes, incluso saneamiento manual previo, parte proporcional de mechinales, andamiajes y todos los medios necesarios. Disposición de los medios de seguridad y protección reglamentarios, herramientas y medios auxiliares. Ejecutado en horario nocturno, dentro de la banda de mantenimiento.	150	20.6	3090
UO.206	m	Drenes de tubería de PVC incluso sellado de juntas, transporte de productos sobrantes a vertedero de la Contrata a cualquier distancia incluyendo canon de vertido. Disposición de los medios de seguridad y protección reglamentarios, herramientas y medios auxiliares.o.	277	11.89	3293.53

TRABAJOS AUXILIARES

UO.301	m	Cuneta trapecial a pie de talud, de 0,50 m de base, altura de 0,75m, y revestida con un mínimo de 15 cm de hormigón HM-20/B/20/IIa , totalmente terminada. Incluso excavación de la cuneta en roca por medios mecánicos. Incluso herramientas y medios auxiliares. <u>Talud 2</u>	40	49.56	1982.4
UO.302	m	Drenes de tubería de PVC incluso sellado de juntas, transporte de productos sobrantes a vertedero de la Contrata a cualquier distancia incluyendo canon de vertido. Disposición de los medios de seguridad y protección reglamentarios, herramientas y medios auxiliares.o.	250	11.89	2972.5

INTEGRACIÓN AMBIENTAL

UO.303	m	Extracción de capa de tierra vegetal, mediante excavación por capas, apilado para su posterior utilización y retirada de productos sobrantes a vertedero de la Contrata.	250	1.87	467.5
UO.304	m	Aportación y extendido de tierra vegetal en zonas alteradas por las obras.	250	1.38	345
UO.304	m	Ejecución de plantación de quercus ilex subdp ballota (encina) de ½ savias en alveolo forestal de 300 cc, excavación de hoyo de plantación de 30 x30 x 30 cm con medios manuales y rellenos del hoyo con tierra de la excavación y tierra vegetal i/formación de alcorque, colocación de tutor de caña de bambú, abono mineral y primer riego de plantación, suministro, transporte y descarga de la planta.	250	3.31	827.5
UO.305	m	Ejecución de plantación rosmarinus officinalis (romero) de ½ savias en alveolo forestal de 300 cc, excavación de hoyo de plantación de 30 x 30 x 30 cm con medios manuales y relleno del hoyo con tierra de la excavación y tierra vegetal i/formación alcorque, colocación de tutor o caña de bambú, abono mineral y primer riego de plantación, suministro, transporte y descarga de la planta.	250	3.36	840
UO.306	m	Riego de arbustos mediante camión cisterna 8.000 l i/carga y transporte desde punto de abastecimiento hasta el lugar de uso.	250	1.88	470

GESTIÓN DE RESIDUOS

UO.401

m	Clasificación y recogida selectiva de residuos mediante medios manuales y mecánicos y depósito en la zona principal de almacenamiento de residuos de la obra.	250	7.19	1797.5
---	---	-----	------	--------



5.3 PLAN DE OBRA

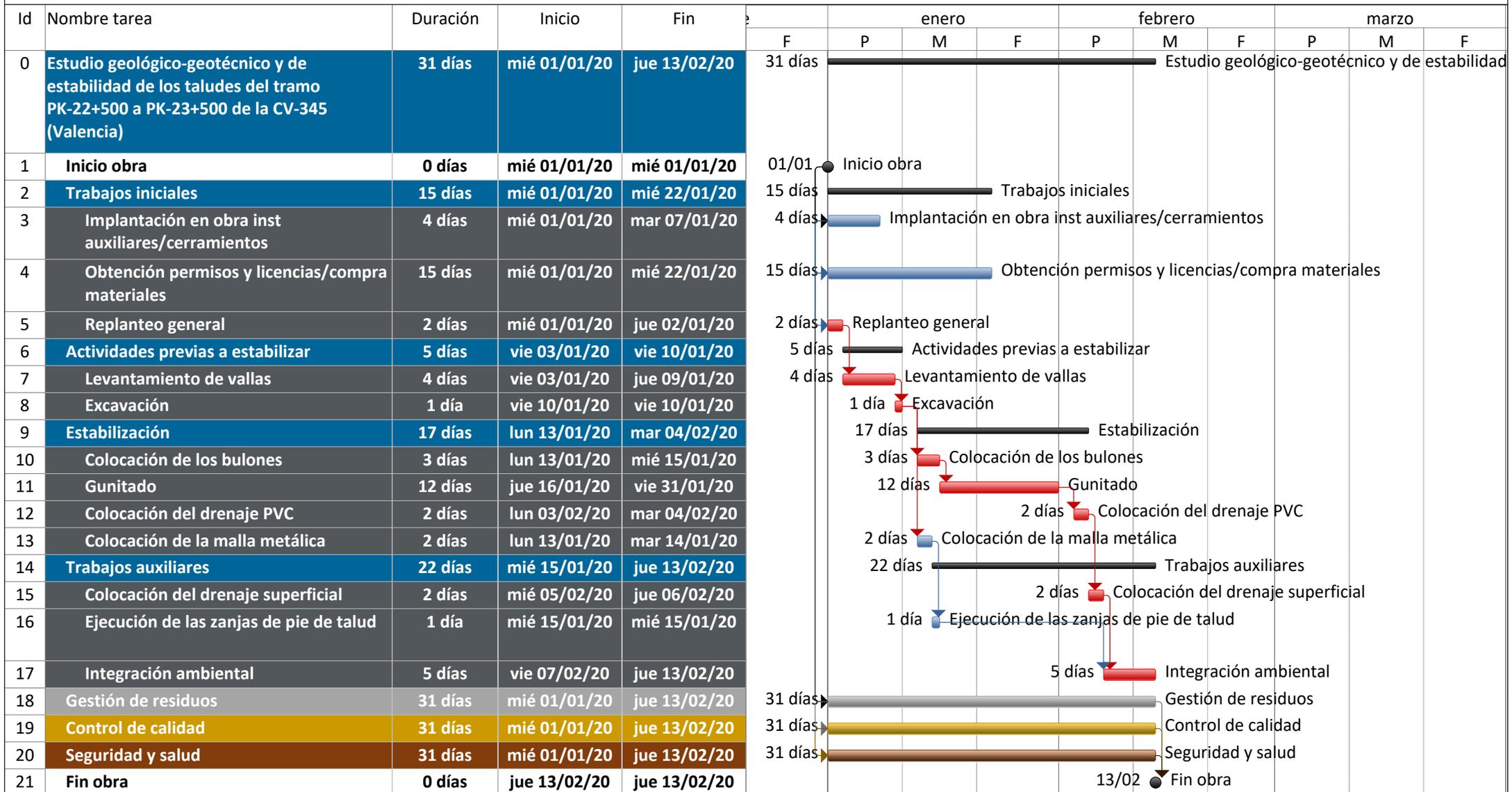
El plan de obra para los trabajos de estabilización de los taludes que se han estudiado se ha realizado con el programa Microsoft Project de Office. Se ha seguido el esquema de la valoración económica anteriormente definida y se incluyen varios puntos más de gran importancia a la hora de realizar las labores en la zona afectada. Estos son las que se desarrollan antes de empezar la obra, como la obtención de licencias, la implantación de obra y el replanteo de la zona. Y las unidades de obra que se desarrollan durante toda la duración de la obra, como son la gestión de residuos y la seguridad y salud.

Para la elaboración del plan de obra:

- La fecha de inicio de las obras se ha definido para el 1 de enero de 2020.
- El rendimiento se ha estimado según la experiencia en obra de actuaciones similares.
- Sólo se necesita un equipo de trabajo para desarrollar las unidades descritas en la valoración económica.
- El coeficiente de clima se ha calculado dependiendo de la provincia en la que se desarrolla la actuación de forma que:

ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO Y DE ESTABILIDAD DE LOS TALUDES DEL TRAMO PK-22+500 A PK-23+500 DE LA CV-345 (VALENCIA)

DIAGRAMA DE GANTT





6. BIBLIOGRAFÍA

Para la realización de este estudio se ha contado con la siguiente documentación bibliográfica:

- Instituto Tecnológico Geominerario de España (1995). Hoja Nº 638 (Alpuente) a escala 1:200.000 del Mapa Geotécnico General de España.
- Instituto Geográfico Nacional (2002). Mapas cartográficos, escala 1:200.000, 1:50.000 y 1:25.000.
- Ministerio de Fomento (2002). Norma de construcción sismorresistente NCSE-02. Parte general y edificación.
- Generalitat Valenciana (2005). Mapas de la Cartografía temática de la Comunidad Valenciana de la Generalitat Valenciana.
- Alonso F.J. (2007). Ingeniería geológica: Caracterización de macizos rocosos.
- Lisle R. y Lesion P. (2002). Técnicas de proyección estereográfica para geólogos e ingenieros civiles. Segunda edición. Cardif Universidad y Universidad de Glamorgan.
- Martínez J. R. (2001) Aplicaciones de la proyección estereográfica a la geofísica. 4º curso de Licenciado en Geología, Universidad de Salamanca.
- Izquierdo F. (2009). Estabilidad de taludes. Introducción a los métodos de análisis. Temario de la asignatura Excavaciones y Obras subterráneas. 5º curso de la titulación de Ingeniero Geólogo.
- González de Vallejo L. (2007). Ingeniería geológica. Prentice Hall.
- Ministerio de Fomento. Dirección General de Carreteras (2001). Guía para el diseño y ejecución de anclajes a terreno en obras de carretera.