ANEJO 06.

ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO.

ÍNDICE

1. SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y GEOLÓGICA 3
2. GEOLOGÍA 3
2.1. ESTRATIGRAFÍA 3
3. TECTÓNICA. 4
4. GEOMORFOLOGÍA 4
5. HIDROLOGÍA. 4
6. CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LOS MATERIALES 5
7. SISMICIDAD 6
8. OTROS FACTORES A TENER EN CUENTA 6
9. ESTUDIO GEOLÓGICO PARA AL ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y TÚNELES. 9
9.1. TRABAJOS REALIZADOS. 10
9.1.1. VISITA DE CAMPO. 10
9.2. ENCUADRE GEOLÓGICO REGIONAL. 10
9.3. GEOLOGÍA LOCAL. 12
9.3.1. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DE LOS MATERIALES. 14
9.4. TECTÓNICA. 20
9.5. CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO. 21
10. ESTUDIO sísmico PARA AL ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y TÚNELES. 22
10.1.1. INTRODUCCIÓN. 22
10.1.2. APLICACIÓN DE LA NORMATIVA. 23
10.1.3. CONCLUSIONES. 24

1. SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y GEOLÓGICA

El área de estudio se localiza en la zona central de la provincia de Teruel, en la comarca de Teruel, entre los 990 y los 1250 m de altitud.

Nos encontramos en mitad de la depresión tectónica que ocupa actualmente el valle el río Jiloca, en el sector del aragonés del dominio Ibérico, en el surco mesozoico que separa el macizo del Ebro al noroeste de la plataforma Castellana al sudeste.

Desde el punto de vista estratigráfico la zona está representada por materiales pliocenos – cuaternarios, con morfología de glacis y materiales triásico, jurásicos y paleozoicos que afloran en la margen de la Oeste de la depresión y que forman los relieves de Sierra Menera.

2. GEOLOGÍA

2.1. ESTRATIGRAFÍA

La zona de estudio se puede dividir en tres grandes sectores:

Un tramo inicial con materiales pliocuaternarios, un tramo intermedio donde afloran las series triásicas y jurásicas y el tramo final con afloramientos de materiales paleozoicos.

Tramo inicial (Carretera A-1511 a Rambla de Almohaja.

La zona de estudio se localiza sobre un extenso glacis que se desarrolla de oeste a este.

Discurre por depósitos en forma de glacis de edad Villanyense (Plioceno superior).

Se han definido como conglomerados calizos, con cantos subangulosas de tamaño centimétrico, englobados en una matriz limo arcillosa de tonos pardos, dando una imagen más bien lutítica al conjunto.

Tramo intermedio (Rambla de Almohaja a Almohaja)

Facies Muschelkalk (10)

Estas facies se caracterizan por un tramo inferior, de unos 60 m de potencia, de dolomías tableadas, con tramos rojizos y ocres por la presencia de óxidos de hierro, dando un aspecto compacto con resales morfológicos; y un tramo superior, de unos 40 m de potencia, donde predominan la calizas margosas y calizas microcristalinas.

Facies Keuper (12)

Se trata de las típicas arcillas y margas abigarradas con presencia de yesos, aunque en este sector la presencia de yesos es escasa.

Tramo final (Almohaja al límite Comarca de Teruel)

En este tramo el trazado atraviesa en el entorno del casco urbano de Almohaja materiales cuaternarios que se han deposito en un valle interior y que están

constituidos por abundantes cantos en una matriz limo – arcillosa. Su potencia puede alcanzar los 20 m.

El resto del trazado discurre por materiales de edad Ordovícico medio, formados por areniscas y pizarras negras.

3. TECTÓNICA.

La complejidad del área de estudio desde el punto de vista geotectónico radica en ser una zona de convergencia de las fosas terciarias separando las clásicas Rama Aragonesa (NE) y Rama Castellana (SO) de la Cadena Ibérica. El estilo tectónico es de zócalo y cobertera distinguiendo Ciclo Hercínico (estructurador de materiales paleozoicos del zócalo) y Ciclo Alpino que afectó tanto al zócalo como a la cubierta sedimentaria mesozoico-terciaria.

La zona de estudio en sentido estricto está constituida por afloramientos de cobertera terciaria postorogénica y se englobaría dentro de la Fosa de Calatud-Teruel.

4. GEOMORFOLOGÍA

El ámbito geomorfológico está configurado por los afloramientos neógenos que confieren a la zona de estudio una morfología poco expresiva constituida por relieves suaves y alomados modelados sobre los materiales detríticos con pendientes comprendidas entre el 0 y 7 %.

Los materiales neógenos que fosilizan al zócalo mesozoico, presentan una morfología muy monótona y poco expresiva, con relieves alomados sobre terrenos detríticos; donde puede apreciarse la regularización de las vertientes y la formación de fondos de valle plano.

A ambos lados de los sedimentos que forman el aluvial del río Jiloca, se han desarrollado los glacis de derrame de potencia variable con potencial frontales que no suelen sobrepasar los 3-5 m. Localmente existen encostramientos de estos materiales.

En zonas del borde oriental de la fosa es posible apreciar cómo es glacis pliocuaternario está afectado por fallas con expresión morfológica constitutivas de borde de la fosa, y que nos indican una actividad tectónica cuaternaria.

El río Jiloca discurre de sur a norte, formando una llanura aluvial que en la zona de estudio es de algo más de 1,5 km, sin que sea evidente la formación de terrazas relacionadas.

5. HIDROLOGÍA.

La red hidrológica principal la forma el río Jiloca, que discurre a unos 1,5 km al este de la zona de estudio.

El trazado del antiguo ferrocarril discurre remontando el barranco de Almohaja por su margen izquierda.

Estas ramblas, que conectan los relieves que delimitan la fosa tectónica con el Jiloca, no presenta agua, pero funcionan como verdaderos colectores de agua después de

las precipitaciones con caudales elevados y tiempos de concentración relativamente cortos debido a las pendientes elevadas.

6. CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA DE LOS MATERIALES

Atendiendo a los criterios de división del Mapa geotécnico del Instituto Geológico y Minero de España a escala 1:200.000 (hoja 47-Teruel).

Tramo inicial (Carretera A-1511 a Rambla de Almohaja.

Se trata de gravas con una matriz limo-arenosa que forman las acumulaciones aluviales, de escasa extensión y espesor en la zona.

Su resistencia a la erosión es media o baja, dado su poco grado de cementación; y su estabilidad puede considerarse aceptable.

Se trata de materiales semipermeables y el drenaje varía de deficiente en áreas llanas a favorable en aquellos puntos en que la escorrentía resulta activa.

Sus características mecánicas son de tipo medio, con capacidad de carga entre media y baja y los asentamientos que pueden experimentar bajo la acción de esas cargas serán de magnitud media.

Atendiendo a los criterios empleados en el mapa geotécnico, y a modo de síntesis cualitativa, señalaremos que estos materiales están clasificados como terrenos con condiciones constructivas aceptables donde pueden aparecer problemas de tipo hidrológico y geotécnico.

Tramo intermedio (Rambla de Almohaja a Almohaja)

Materiales carbonatados del Muchelkalk

El relieve es muy variable, con zonas llanas a zonas con taludes verticalizados. Su estabilidad general es buena, con problemas locales en presencia de niveles margosos. Por regla general presentan una capacidad portante elevada y asientos nulos. Inestabilidad por caída de rocas en taludes naturales o antrópicos en algunos puntos a favor de la fracturación o buzamientos de los estratos. El drenaje varía de aceptable a favorable.

Atendiendo a los criterios empleados en el mapa geotécnico, y a modo de síntesis cualitativa, señalaremos que estos materiales están clasificados como terrenos con condiciones constructivas desfavorables donde pueden aparecer problemas de tipo geomorfológico.

Arcillas yesíferas del Keuper

Las cargas unitarias serán en general medias o bajas y se pueden producir asientos apreciables de manera lenta. La estabilidad general es precaria y es necesaria la utilización de cementos sulforresistentes para las obras por la presencia de sulfatos.

Atendiendo a los criterios empleados en el mapa geotécnico, y a modo de síntesis cualitativa, señalaremos que estos materiales están clasificados como terrenos con

condiciones constructivas muy desfavorables donde pueden aparecer problemas de tipo geomorfológico, hidrológico y geotécnico.

Tramo final (Almohaja al límite Comarca de Teruel)

Se corresponde con los afloramientos paleozoicos.

Su morfología presenta relieves desde suaves a muy acusados; su estabilidad general es buena, pudiendo aparecer focos puntuales de inestabilidad ligados a tectonización y lajosidad de los materiales.

Son materiales, en pequeño, impermeables, pero a nivel de afloramientos se considera permeables por la fracturación que presentan. El drenaje es favorable, mayoritariamente por escorrentía superficial y en menor grado por percolación a través de las fracturas. La capacidad de carga de sus materiales es alta y los asentamientos bajos.

Atendiendo a los criterios empleados en el mapa geotécnico, y a modo de síntesis cualitativa, señalaremos que estos materiales están clasificados como terrenos con condiciones constructivas desfavorables donde pueden aparecer problemas de tipo geomorfológico y geotécnico.

7. SISMICIDAD

En cumplimiento de lo especificado en la Norma de Construcción Sismorresistente: parte general y edificación NCSE-02, aprobada por Real Decreto 997/2002, de 27 de septiembre, se hace constar que se han tenido en cuenta las acciones sísmicas.

En la zona objeto del proyecto se tiene una aceleración sísmica inferior a 0,04 veces la aceleración de la gravedad y para un periodo de retorno de 500 años estamos en una zona de intensidad por debajo de VI (se adjuntan los planos de peligrosidad para un periodo de retorno de 500 años y de aceleración sísmica).

Por lo tanto, no es obligatorio la aplicación de esta normativa debido a lo indicado en el punto 1.2.3 Criterios de aplicación de la Norma.

8. OTROS FACTORES A TENER EN CUENTA

No se interviene en la cimentación de ningún elemento estructural existente y tampoco se proyectan nuevas cimentaciones de entidad, en consecuencia, se considera que no se requiere ensayo geotécnico alguno.

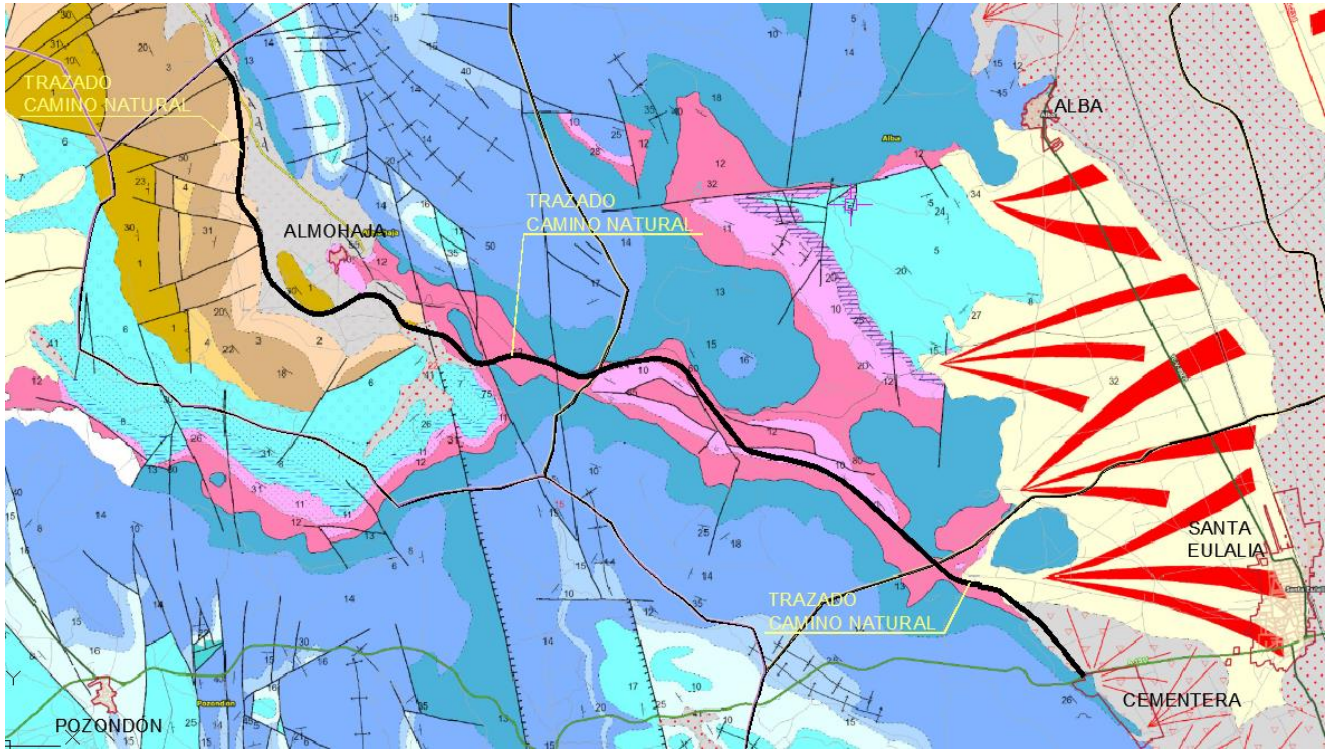
La capacidad portante de la plataforma de los antiguos trazados ferroviarios, sobre la que se dispondrá el nuevo firme para el nuevo tráfico (viandantes y ciclistas fundamentalmente), es mucho menos intenso que para el que fue construido, por lo que se considera adecuada como base para el nuevo firme. Con el mismo criterio, también se considera suficiente la capacidad portante de los caminos agrícolas sobre los que discurrirán determinados tramos del Camino Natural, teniendo en cuenta que en la actualidad circulan vehículos.

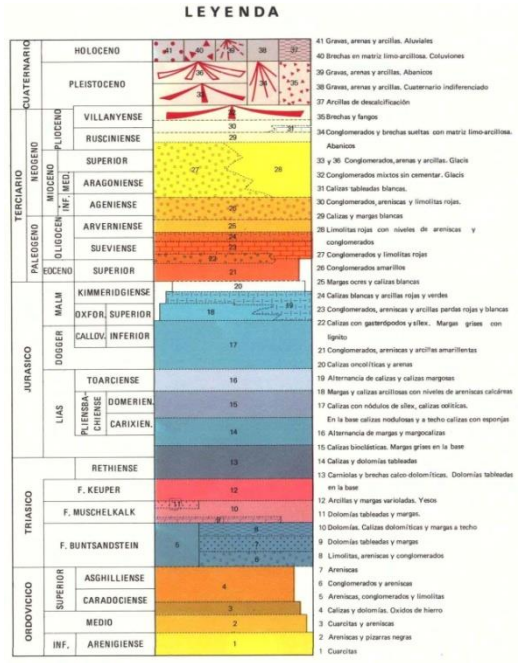
En el tramo 03, la intervención mejora la capacidad portante del trazado por donde discurren los camiones de la fábrica de cemento. A pesar de incrementar el ancho del camino existente, los vehículos seguirán transitando por la zona más consolidada, que

ahora con la intervención recibirá además un recrecido con un firme de zahorra para unificar todo el ancho proyectado.

De la comprobación realizada in situ (sin asentamientos, grietas relevantes, patologías, etc.) se desprende la idoneidad de la geotecnia del terreno en los estribos de las estructuras observadas, así como de las bóvedas de los puentes. No obstante, será necesario, conforme se contempla en el anejo de mantenimiento, un control periódico de las estructuras afectadas, entre ellas los túneles y puentes de fábrica.

Tal y como se ha detallado en la memoria del presente documento, los taludes (incluidos los que están en peor estado (situados en los PK195.665 y PK 199.230), no necesitan estudios específicos, cálculos o comprobaciones de estabilidad adicionales, ya que, vista su situación, se entiende que únicamente requieren las labores de limpieza superficial (a menos de diez metros de altura) mediante maquinaría y algunos sistemas de contención descritos.







IGME (1981): Mapa Geológico de España. Hoja nº 541 (26-21) Santa Eulalia. Escala 1:50.000.

9. ESTUDIO GEOLÓGICO PARA AL ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y TÚNELES.

En el presente apartado se plasman los resultados del estudio geológico y geotécnico del “Informe de estabilidad de taludes y túneles para la adaptación del proyecto de acondicionamiento del antiguo trazado del FF.CC Santander Mediterráneo como camino natural, Alba (Teruel, Aragón), elaborado por el Doctor Ingeniero de Caminos Canales y puertos Rubén Sancho Gómez-Zurdo, adjunto en el “Anejo 12 de Cálculos estructurales”.

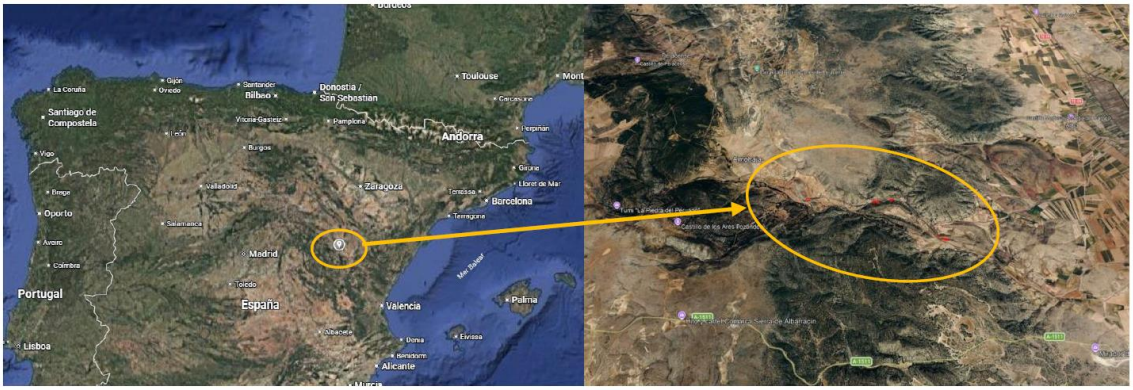
A continuación, se describe el marco geológico, geomorfológico y geotécnico que afecta a la zona del proyecto. El ámbito de actuación se localiza en el término municipal de Alba, provincia de Teruel, comunidad autónoma de Aragón. Alba, también conocida como Alba del Campo, pertenece a la comarca Comunidad de Teruel y se sitúa en el sector central de la provincia, en las proximidades de la depresión del río Jiloca.

El proyecto objeto de estudio comprende dos túneles, con sus respectivos emboquilles de entrada y salida, así como un talud situado en las inmediaciones de la traza. La zona se emplaza en un entorno característico de la Cordillera Ibérica turolense, condicionado por la presencia de relieves mesozoicos en los márgenes de la depresión del Jiloca y por depósitos neógenos y cuaternarios asociados a glacis, abanicos aluviales, coluviones y fondos de valle.

Desde el punto de vista fisiográfico, el entorno de Alba se caracteriza por la transición entre las sierras y plataformas carbonatadas jurásicas, con presencia local de materiales triásicos, y la llanura o semifosa tectónica del Jiloca. Las sierras próximas presentan relieves aplanados por antiguas superficies de erosión, posteriormente incididas por barrancos que descienden hacia la llanura. Estos barrancos, al alcanzar zonas de menor pendiente, generan abanicos y conos aluviales formados por gravas, arenas, limos y arcillas.

La morfología de la zona está directamente relacionada con la estructura regional de la Cordillera Ibérica, donde predominan las directrices NO-SE y NNE-SSO, así como con la evolución neotectónica de la fosa del Jiloca. En este contexto, los emboquilles de los túneles y el talud asociado pueden verse afectados por la presencia de macizos rocosos carbonatados fracturados, materiales detríticos parcialmente cementados, recubrimientos coluviales y depósitos de abanico o glacis, cuya distribución y espesor deberán ser contrastados mediante cartografía geológica de detalle y reconocimientos de campo.

El clima presenta rasgos mediterráneos continentalizados, propios del interior turolense, con inviernos fríos, veranos secos y amplitud térmica anual acusada. Las precipitaciones son moderadas a escasas e irregulares, aunque los episodios de lluvia intensa pueden activar procesos de escorrentía concentrada, erosión en barrancos, lavado de finos y pequeños desprendimientos o deslizamientos superficiales en taludes naturales y excavados.



Ubicación de la zona del proyecto.

9.1. TRABAJOS REALIZADOS.

9.1.1. VISITA DE CAMPO.

La campaña de investigación ha consistido en la inspección visual de la zona objeto de estudio, incluyendo los dos túneles previstos, sus respectivos emboquilles y el talud situado en el entorno de la traza. La inspección se ha orientado a identificar las unidades litológicas aflorantes, el grado de fracturación y meteorización del macizo rocoso, la presencia de recubrimientos superficiales, indicios de inestabilidad y posibles condicionantes hidrogeológicos.

Durante la visita se han revisado los emboquilles de ambos túneles, prestando especial atención a la geometría de las laderas, continuidad de los estratos, orientación de discontinuidades, presencia de diaclasas abiertas, bloques potencialmente inestables, desprendimientos previos, acumulaciones de derrubios y zonas de alteración superficial. Asimismo, se han inspeccionado los taludes existentes, evaluando su estado actual y las posibles condiciones de estabilidad a corto y medio plazo.

La metodología aplicada se basa en la inspección visual, vuelo de dron para obtención de modelos y en un reconocimiento geológico previo al comienzo de los trabajos. Este reconocimiento tiene como objetivo obtener una visión geológica general del área de proyecto, definir los puntos más críticos y establecer una primera zonificación geotécnica de los materiales afectados por la excavación de túneles, emboquilles y taludes.

La información empleada para la redacción del presente anejo se ha obtenido a partir de la cartografía geológica disponible, especialmente la hoja MAGNA 541, Santa Eulalia, del Instituto Geológico y Minero de España, así como de los reconocimientos de campo realizados por técnicos con experiencia en cartografía geológica y caracterización geotécnica de macizos rocosos y depósitos cuaternarios.

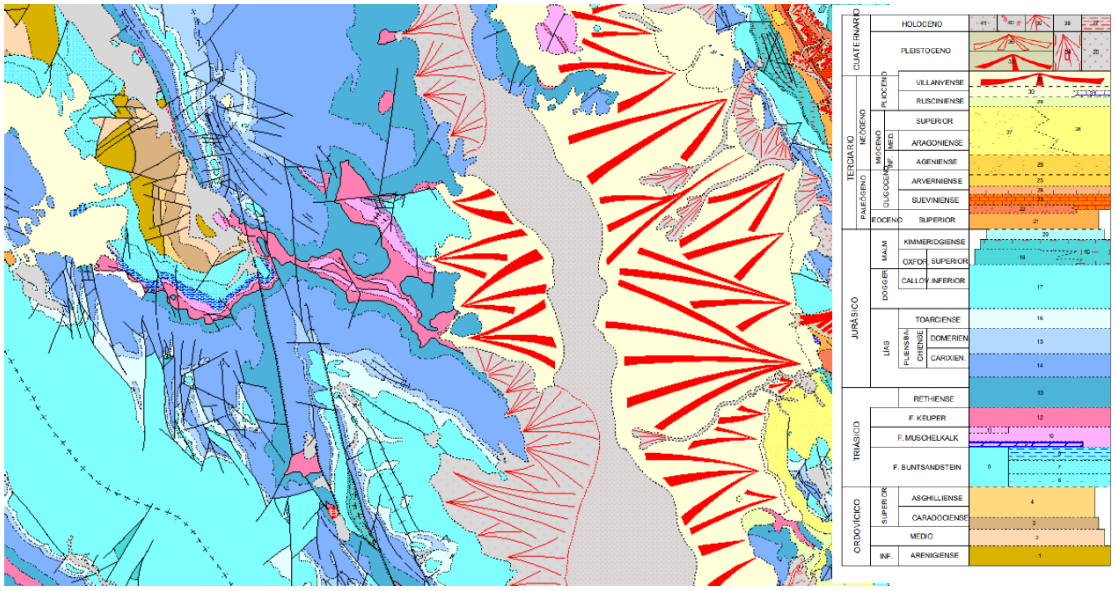
9.2. ENCUADRE GEOLÓGICO REGIONAL.

En un contexto geológico regional, la zona de Alba se sitúa en la Cordillera Ibérica, dentro del sector turolense asociado a la depresión o fosa del Jiloca. La Cordillera Ibérica constituye una cadena intraplaca de dirección dominante NO-SE, formada por materiales paleozoicos, triásicos, jurásicos, cretácicos, paleógenos, neógenos y

cuaternarios, afectados por distintas fases tectónicas alpinas y por etapas distensivas posteriores.

El área de estudio queda integrada en la hoja geológica 541, Santa Eulalia, donde afloran materiales pertenecientes al Ordovícico, Triásico, Jurásico, Eoceno superior, Oligoceno, Mioceno, Plioceno y Cuaternario. La región está condicionada por la presencia de la fosa del Jiloca, una depresión tectónica orientada aproximadamente según la directriz ibérica, que separa sectores elevados de sustrato mesozoico y paleozoico.

En la siguiente figura se muestra un mapa geológico regional del área del proyecto.



Mapa geológico a escala regional de la zona del proyecto en Alba (Teruel) (fuente: IGME).

Desde el punto de vista estructural, la hoja de Santa Eulalia queda marcada por la interacción entre materiales mesozoicos y paleógenos deformados y depósitos neógenos y cuaternarios que rellenan o fosilizan parcialmente la depresión. Los relieves carbonatados jurásicos y los materiales triásicos forman sierras y plataformas aplanadas, mientras que las zonas deprimidas están ocupadas por depósitos detríticos continentales, glacis, abanicos aluviales, coluviones y aluviales recientes.

La fosa del Jiloca tiene un origen tectónico ligado a fases distensivas neógenas y pliocenas, con fallas normales de orientación principal NO-SE y NNE-SSO. Esta estructura ha condicionado tanto la sedimentación neógena y cuaternaria como el modelado actual del relieve, generando contrastes morfológicos entre los bloques elevados y la llanura del Jiloca.

De forma simplificada, los principales conjuntos geológicos presentes en el entorno regional son los siguientes:

- Materiales paleozoicos, representados principalmente por cuarcitas, pizarras y areniscas en los sectores de Sierra Menera y áreas próximas.

- Materiales triásicos, con areniscas, lutitas, dolomías, calizas, margas y niveles yesíferos, que actúan localmente como niveles de despegue o zonas de menor competencia geomecánica.
- Materiales jurásicos, dominados por calizas, dolomías, margas y calizas margosas, que forman relieves estructurales, cuestas, escarpes y plataformas carbonatadas.
- Materiales terciarios continentales, constituidos por conglomerados, areniscas, limolitas, arcillas, margas y calizas lacustres o palustres.
- Depósitos cuaternarios, asociados a glacis, abanicos, coluviones, fondos de valle y aluviales del río Jiloca y de los barrancos tributarios.

En la zona específica del proyecto, los materiales con mayor interés geotécnico para los túneles y emboquilles serán previsiblemente los carbonatos jurásicos, los materiales detríticos y arcillosos triásicos o terciarios, y los recubrimientos cuaternarios de ladera y abanico.

9.3. GEOLOGÍA LOCAL.

La geología local de Alba viene determinada por su posición en el borde de la depresión del Jiloca y por la proximidad de relieves mesozoicos formados principalmente por calizas jurásicas y, en menor medida, materiales triásicos. El relieve se organiza mediante sierras y plataformas carbonatadas, incididas por barrancos que drenan hacia la llanura del Jiloca y generan depósitos de abanico y coluvión en las zonas de pie de monte. En el ámbito de los túneles y del talud se pueden distinguir, con carácter general, las siguientes unidades litológicas y geomorfológicas:

Materiales carbonatados jurásicos

Los materiales jurásicos constituyen una de las unidades principales del entorno de Alba. Están formados por calizas, dolomías, calizas margosas y margas, con niveles de diferente competencia. Las calizas y dolomías suelen dar lugar a relieves resistentes, escarpes, plataformas y laderas de pendiente moderada a acusada, mientras que los niveles margosos intercalados pueden generar zonas de menor resistencia, alteración superficial y formación de pequeños rellanos o planos de debilidad.

Desde el punto de vista de las obras subterráneas, los tramos carbonatados son los más favorables cuando se presentan masivos, poco alterados y con fracturación moderada. No obstante, la presencia de diaclasas abiertas, planos de estratificación desfavorables, fracturas tectónicas, zonas karstificadas o niveles margosos intercalados puede condicionar la estabilidad de los emboquilles y del avance de excavación.

En superficie, estos materiales pueden presentar procesos de disolución y karstificación, especialmente en zonas de plataforma, con desarrollo de dolinas, arcillas de decalcificación y pequeñas cavidades. En el caso de que alguno de los túneles atraviese calizas karstificadas, será necesario prever posibles huecos, rellenos arcillosos, circulación preferente de agua y variaciones bruscas de calidad geomecánica.

Materiales triásicos

En el entorno regional pueden aparecer materiales triásicos formados por areniscas, lutitas, arcillas, margas, dolomías y yesos. Estos materiales presentan un comportamiento geotécnico muy variable. Las areniscas triásicas pueden formar niveles competentes, aunque frecuentemente afectados por fracturación y meteorización superficial. Por el contrario, las arcillas, margas y yesos del Keuper presentan menor resistencia, mayor deformabilidad y sensibilidad frente al agua.

La presencia de materiales margo-yesíferos o arcillosos en el entorno de emboquilles o taludes constituye un condicionante geotécnico importante, ya que puede favorecer procesos de alteración, reblandecimiento, lavado de finos, expansividad local, pérdida de resistencia y aparición de inestabilidades superficiales o profundas. En túneles, estos niveles pueden comportarse como zonas de baja calidad geomecánica, con necesidad de sostenimiento reforzado y control hidrogeológico.

Materiales terciarios continentales

Los materiales terciarios continentales están representados por conglomerados, areniscas, limolitas, arcillas, margas y calizas lacustres o palustres. Estos depósitos se relacionan con ambientes de abanico aluvial, sistemas fluviales, llanuras de inundación y medios lacustres. En la hoja geológica de Santa Eulalia se describen unidades miocenas y pliocenas formadas por conglomerados y limolitas rojas, calizas y margas blancas, conglomerados, areniscas y arcillas, así como conglomerados mixtos y fangos asociados a la fosa del Jiloca.

Desde el punto de vista geotécnico, los conglomerados pueden presentar comportamiento de roca blanda o suelo cementado, dependiendo del grado de cementación carbonatada. Cuando se encuentran bien cementados, pueden formar taludes relativamente estables, aunque con desprendimientos de bloques o cantos por erosión diferencial de la matriz. En cambio, las limolitas, arcillas y margas presentan menor resistencia y son más sensibles a los cambios de humedad, por lo que pueden condicionar la estabilidad de emboquilles y taludes.

Cuaternario – Glacis, abanicos, coluviones y aluviales

Se han reconocido depósitos cuaternarios con morfología de terraza, compuestos por gravas, arenas y limos. En las inmediaciones del Puente de Montañana se han reconocido tres niveles situados a las cotas de +2,5 m, +5-10 m y +20-25 m.

El espesor de estos materiales se sitúa en torno a los 2-3 m. Los dos niveles más altos se han atribuido al Pleistoceno, mientras que el más bajo sería de edad holocena.

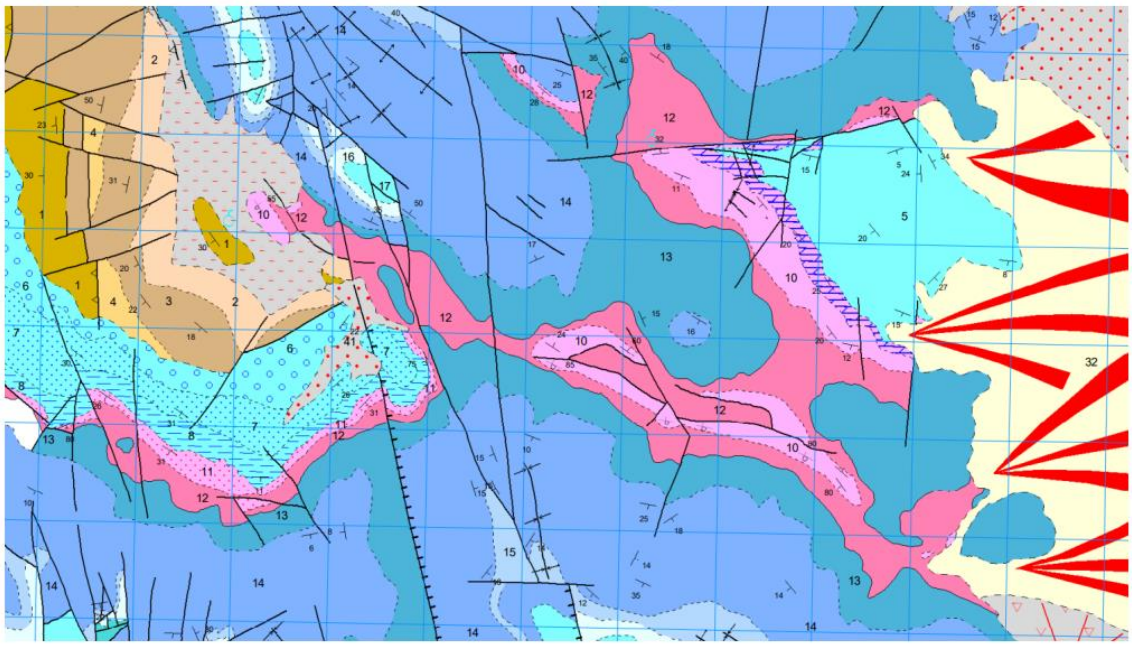
Cuaternario - Holoceno – Arenas, gravas y limos de fondo de valle (52)

Los depósitos cuaternarios tienen una presencia relevante en el entorno de Alba, especialmente en las zonas bajas, pie de ladera, fondos de barranco y margen de la llanura del Jiloca. Están formados por gravas, arenas, limos y arcillas, con cantos generalmente angulosos a subangulosos procedentes del desmantelamiento de los relieves mesozoicos.

Los glacis y abanicos aluviales se disponen como superficies suavemente inclinadas hacia la depresión del Jiloca. Pueden presentar espesores variables y, localmente,

encostramientos carbonatados en los niveles superiores. Los coluviones aparecen adosados a las laderas y están formados por bloques y cantos calizos incluidos en matriz margo-arcillosa o limo-arcillosa. Los fondos de valle y aluviales actuales están constituidos por gravas, arenas y arcillas depositadas por el río Jiloca y por barrancos tributarios.

En relación con el proyecto, estos depósitos son especialmente relevantes en los emboquilles, donde pueden constituir recubrimientos superficiales sobre el macizo rocoso. Su espesor, compacidad, humedad y continuidad lateral condicionarán la excavabilidad, la estabilidad de los desmontes de acceso y la necesidad de saneo, sostenimiento, bulonado, mallazo, hormigón proyectado, drenaje o pantallas de protección.



Mapa geológico en detalle de la zona del proyecto.

9.3.1. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DE LOS MATERIALES.

A partir de los datos obtenidos de los trabajos de campo y del reconocimiento geológico-geotécnico realizado en el ámbito de actuación, se establecen las características principales de los materiales presentes en cada una de las zonas de estudio definidas para el proyecto.

La sectorización adoptada permite diferenciar el comportamiento geotécnico previsto en el talud aislado occidental y en los emboquilles de los dos túneles proyectados, teniendo en cuenta la litología dominante, el grado de alteración, la fracturación, la posible presencia de recubrimientos superficiales y los condicionantes asociados a la estabilidad de taludes y excavaciones.

Las unidades geotécnicas consideradas son las siguientes:

- UG-1: Depósitos carbonatados jurásicos, formados por calizas, dolomías y calizas margosas.

- UG-2: Materiales triásicos detríticos y margo-yesíferos, constituidos por areniscas, lutitas, arcillas, margas, dolomías y niveles yesíferos.
- UG-3: Materiales terciarios detríticos, formados por conglomerados, areniscas, limolitas, arcillas y margas.
- UG-4: Depósitos cuaternarios de glacis, abanico, coluvión y aluvial, constituidos por gravas, arenas, limos, arcillas y bloques incluidos en matriz fina.

9.3.1.1. ZONA 1. TALUD AISLADO OCCIDENTAL.

La Zona 1 corresponde a un talud aislado situado en el sector occidental del ámbito de actuación. Desde el punto de vista geológico-geotécnico, su análisis se centra en la estabilidad del talud, el reconocimiento de los materiales aflorantes, la posible presencia de recubrimientos superficiales y la identificación de mecanismos de inestabilidad asociados a la geometría de la ladera o excavación.

En esta zona se diferencian dos comportamientos principales. En los extremos izquierdo y derecho del talud predominan los afloramientos rocosos fracturados, con presencia de bloques y fragmentos susceptibles de desprendimiento puntual. En la zona central se reconoce un frente más degradado, asociado a procesos de desprendimiento previo, acumulación de material suelto y mayor sensibilidad frente a la erosión superficial. Esta diferenciación condiciona la necesidad de adoptar soluciones de protección y estabilización distintas en función del sector del talud.

Los depósitos carbonatados jurásicos, correspondientes a la UG-1, pueden constituir el sustrato rocoso principal o aparecer como afloramientos localizados en el entorno del talud. Están formados por calizas, dolomías y calizas margosas, generalmente estratificadas, con resistencia media a alta cuando se encuentran sanas. No obstante, su comportamiento geotécnico estará condicionado por la orientación de la estratificación, el grado de fracturación, la meteorización superficial y la posible presencia de discontinuidades abiertas o rellenas.

En los sectores rocosos del talud, estos materiales pueden dar lugar a desprendimientos de bloques, deslizamientos planares o formación de cuñas si las familias de discontinuidades presentan orientación desfavorable respecto a la cara libre. Las discontinuidades pueden delimitar bloques parcialmente desconfinados, especialmente en los extremos del talud.

Los materiales triásicos detríticos y margo-yesíferos, incluidos en la UG-2, pueden aparecer en el entorno de la zona como niveles de comportamiento heterogéneo, asociados a areniscas, lutitas, arcillas, margas, dolomías y posibles niveles yesíferos. Aunque su presencia pueda ser local o quedar parcialmente cubierta por depósitos superficiales, su influencia geotécnica es relevante cuando aparecen niveles arcillosos o margosos alterados, contactos litológicos o planos de debilidad.

Estos materiales pueden favorecer inestabilidades superficiales, pérdida de resistencia en presencia de agua, erosión diferencial y degradación progresiva del pie o del cuerpo del talud. En caso de presencia de niveles arcillosos o margosos, la circulación de agua superficial puede incrementar la alteración y favorecer procesos de reblandecimiento o lavado de finos. Los materiales terciarios detríticos, correspondientes a la UG-3, pueden presentarse en sectores próximos o en transición con el talud, constituidos por conglomerados, areniscas, limolitas, arcillas y margas. Su

comportamiento es variable en función del grado de cementación y de la proporción de matriz fina. Los niveles conglomeráticos cementados pueden generar desprendimientos de cantos o bloques por erosión diferencial de la matriz, mientras que las limolitas, arcillas y margas pueden presentar erosión superficial, formación de cárcavas y pérdida de resistencia por incremento de humedad.

Los depósitos cuaternarios de glacis, abanico, coluvión y aluvial, correspondientes a la UG-4, pueden aparecer como recubrimientos superficiales sobre el talud, depósitos de ladera, derrubios acumulados al pie o materiales de relleno natural en vaguadas próximas. Están formados por gravas, arenas, limos, arcillas y bloques de tamaño variable, generalmente con matriz limo-arcillosa. Estos materiales presentan elevada heterogeneidad y pueden condicionar la estabilidad superficial del talud, especialmente en presencia de escorrentía concentrada, lavado de finos o acumulación de materiales sueltos.

En conjunto, la Zona 1 deberá analizarse prestando especial atención a la presencia de bloques sueltos, niveles alterados, superficies de discontinuidad desfavorables, contactos entre materiales competentes e incompetentes, erosión superficial, acumulaciones de derrubios en pie de talud y posibles afecciones por circulación de agua superficial.

ZONA 1	Parámetros geotécnicos y Químicos			
UG-1 Depósitos carbonatados jurásicos	**Cohesión efectiva, Cu**	*20-60 kp/cm²* *	**Densidad seca, γ**	2,3-2,6 gr/cm³ *
	Ángulo de rozamiento interno, Φ	30 º- 40º *	**Meteorización**	Baja-Moderada
UG-2 Materiales triásicos detríticos y margo-yesíferos. Tramos arcilloso-margosos	**Cohesión efectiva, Cu**	*0,5-2 kp/cm²* *	**Densidad seca, γ**	1,9-2,2 gr/cm³ *
	Ángulo de rozamiento interno, Φ	18 º- 28º *	**Meteorización**	Moderada-alta
UG-2 Materiales triásicos detríticos y margo-yesíferos. Tramos areniscosos	**Cohesión efectiva, Cu**	*5-25 kp/cm²* *	**Densidad seca, γ**	2,1-2,4 gr/cm³ *
	Ángulo de rozamiento interno, Φ	28 º- 35º *	**Meteorización**	Moderada
UG-3 ateriales terciarios detríticos	**Cohesión efectiva, Cu**	*0,5-20 kp/cm²* *	**Densidad aparente, γ**	2,0-2,3 gr/cm³ *
	Ángulo de rozamiento interno, Φ	24º-35º *	**Meteorización**	Moderada-Alta
UG-4 Depósitos cuaternarios de glacis, abanico, coluvión y aluvial	**Cohesión efectiva, Cu**	*0 -0,5 kp/cm²* *	**Densidad seca, γ**	1,8-2,2 gr/cm³ *
	Ángulo de rozamiento interno, Φ	28 º- 36º *	**Meteorización**	Alta

9.3.1.2. ZONA 2. TÚNEL 1 Y ZONAS DE EMBOQUILLE.

La Zona 2 corresponde al primer túnel incluido en el proyecto y a sus zonas de emboquille. Para su análisis geológico-geotécnico se diferencian dos subzonas: Zona 2.1, correspondiente a uno de los emboquilles del túnel, y Zona 2.2, correspondiente al emboquille opuesto.

En esta zona se consideran las cuatro unidades geotécnicas definidas en el ámbito de estudio, ya sea por su presencia directa en los emboquilles y taludes asociados, por su posible aparición en el trazado subterráneo o por su influencia en zonas de contacto, recubrimiento o drenaje.

Los depósitos carbonatados jurásicos de la UG-1 pueden constituir tramos competentes del macizo rocoso atravesado por el túnel o aparecer en los taludes de

emboquille. Están formados por calizas, dolomías y calizas margosas, con resistencia media a alta en estado sano. Sin embargo, en los emboquilles el reducido confinamiento del terreno y la presencia de discontinuidades pueden favorecer la generación de bloques inestables, cuñas o desprendimientos localizados.

El comportamiento del macizo estará controlado por la estratificación, las familias de diaclasas, la fracturación tectónica, el grado de meteorización y la posible existencia de rellenos arcillosos o calcíticos. En las zonas próximas a la boca del túnel, la pérdida de confinamiento puede favorecer la apertura de discontinuidades y la caída de fragmentos desde los taludes o desde el entorno inmediato del emboquille.

Los materiales triásicos detríticos y margo-yesíferos de la UG-2 pueden representar una unidad especialmente condicionante en el análisis del túnel y sus bocas, debido a su heterogeneidad litológica y sensibilidad frente al agua. Las areniscas pueden comportarse como roca blanda a moderadamente competente, mientras que las arcillas, margas, lutitas y niveles yesíferos presentan menor resistencia, mayor alterabilidad y peor comportamiento frente a la humedad.

En los emboquilles, estos materiales pueden generar problemas de estabilidad si aparecen planos de estratificación desfavorables, niveles arcillosos reblandecidos, contactos entre materiales competentes e incompetentes o zonas de fracturación intensa. En excavación subterránea, su presencia puede requerir sostenimientos más próximos al frente, control de convergencias y medidas específicas de drenaje.

Los materiales terciarios detríticos de la UG-3 pueden aparecer en el entorno de la Zona 2 como depósitos continentales de conglomerados, areniscas, limolitas, arcillas y margas, especialmente en zonas de ladera, vaguada o transición hacia los accesos. Su comportamiento dependerá de la cementación y de la proporción de matriz fina. En los taludes de emboquille o accesos, los niveles conglomeráticos pueden favorecer desprendimientos de cantos por erosión de la matriz, mientras que las arcillas y limolitas pueden provocar erosión superficial, cárcavas e inestabilidades someras, especialmente en presencia de agua.

Los depósitos cuaternarios de la UG-4 tendrán una importancia particular en las zonas de emboquille, donde pueden formar recubrimientos poco competentes sobre el sustrato rocoso. Estos materiales pueden corresponder a glacis, abanicos, coluviones, aluviales o derrubios de ladera, con gravas, arenas, limos, arcillas y bloques de naturaleza mayoritariamente carbonatada. Durante la excavación de los taludes de acceso o de las bocas del túnel pueden presentar desprendimientos superficiales, caída de bloques, erosión de matriz, lavado de finos y pérdida de estabilidad en condiciones de humedad elevada.

En las zonas de emboquille de la Zona 2, además de la estabilidad general de los taludes, adquieren especial importancia los procesos de degradación superficial, caída de fragmentos rocosos y movilización de material suelto. El reducido confinamiento del terreno en el entorno de la boca del túnel, unido a la posible fracturación del macizo y a la presencia de recubrimientos superficiales, puede favorecer desprendimientos localizados y pérdida progresiva de estabilidad del frente.

La circulación de agua superficial y la posible infiltración hacia el entorno del túnel constituyen un condicionante geotécnico relevante. En particular, la escorrentía procedente de la coronación puede favorecer procesos de erosión, lavado de finos y degradación de los materiales más alterables, mientras que la presencia de agua en el

interior del túnel puede incrementar las presiones intersticiales y reducir la resistencia de niveles arcillosos, margosos o fracturados.

Por ello, en la Zona 2.1 se considera adecuada la protección de los taludes próximos al emboquille mediante geomanta reforzada, fijada al terreno, previa ejecución de saneo de bloques o fragmentos inestables. Asimismo, el refuerzo del emboquille mediante pletinas se justifica por el posible desconfinamiento, fracturación y riesgo de desprendimiento localizado en el entorno inmediato de la boca. La ejecución de drenes en el túnel permite favorecer la evacuación del agua infiltrada y reducir los efectos desfavorables asociados a la presencia de humedad o presión de agua.

En la Zona 2.2, además de la protección superficial mediante geomanta reforzada y el refuerzo del emboquille mediante pletinas, cobra especial importancia el control de la escorrentía superficial mediante cuneta de coronación. Esta medida permite interceptar y conducir las aguas procedentes de la parte superior del talud, reduciendo los procesos de erosión, lavado de finos, degradación superficial y posible pérdida de resistencia de los materiales.

Los emboquilles de la Zona 2 constituyen, por tanto, puntos especialmente sensibles desde el punto de vista geotécnico, debido al reducido confinamiento del terreno, la posible heterogeneidad litológica, la presencia de recubrimientos superficiales, la influencia del agua y la concentración de excavaciones en ladera. La caracterización deberá ser específica para cada subzona, evaluando la estabilidad de los taludes, la orientación de la estratificación y discontinuidades, la potencia de los recubrimientos, la circulación de agua y la existencia de contactos litológicos o zonas alteradas.

ZONA 2	Parámetros geotécnicos y Químicos			
UG-1 Depósitos carbonatados jurásicos	**Cohesión efectiva, Cu**	*20-60 kp/cm²* *	**Densidad seca, γ**	2,3-2,6 gr/cm³ *
	Ángulo de rozamiento interno, Φ	30 º- 40º *	**Meteorización**	Baja-Moderada
UG-2 Materiales triásicos detríticos y margo-yesíferos. Tramos arcilloso-margosos	**Cohesión efectiva, Cu**	*0,5-2 kp/cm²* *	**Densidad seca, γ**	1,9-2,2 gr/cm³ *
	Ángulo de rozamiento interno, Φ	18 º- 28º *	**Meteorización**	Moderada-alta
UG-2 Materiales triásicos detríticos y margo-yesíferos. Tramos areniscosos	**Cohesión efectiva, Cu**	*5-25 kp/cm²* *	**Densidad seca, γ**	2,1-2,4 gr/cm³ *
	Ángulo de rozamiento interno, Φ	28 º- 35º *	**Meteorización**	Moderada
UG-3 ateriales terciarios detríticos	**Cohesión efectiva, Cu**	*0,5-20 kp/cm²* *	**Densidad aparente, γ**	2,0-2,3 gr/cm³ *
	Ángulo de rozamiento interno, Φ	24º-35º *	**Meteorización**	Moderada-Alta
UG-4 Depósitos cuaternarios de glacis, abanico, coluvión y aluvial	**Cohesión efectiva, Cu**	*0 -0,5 kp/cm²* *	**Densidad seca, γ**	1,8-2,2 gr/cm³ *
	Ángulo de rozamiento interno, Φ	28 º- 36º *	**Meteorización**	Alta

9.3.1.3. ZONA 3. TÚNEL 2 ORIENTAL Y ZONAS DE EMBOQUILLE.

La Zona 3 corresponde al segundo túnel del proyecto, situado en el sector oriental del ámbito de actuación. Al igual que en la Zona 2, se diferencian dos subzonas de análisis: Zona 3.1, correspondiente a uno de los emboquilles del túnel, y Zona 3.2, correspondiente al emboquille opuesto.

En esta zona se consideran igualmente las cuatro unidades geotécnicas definidas para el ámbito de estudio, con especial atención a su distribución en los emboquilles, taludes de acceso, trazado subterráneo y entorno inmediato del túnel.

Los depósitos carbonatados jurásicos de la UG-1 pueden aparecer como sustrato rocoso competente o como afloramientos próximos al trazado del túnel y sus emboquilles. Están formados por calizas, dolomías y calizas margosas, generalmente estratificadas y de resistencia media a alta cuando se encuentran sanas. Su comportamiento geotécnico estará condicionado por la disposición de la estratificación, la fracturación, la meteorización superficial, la karstificación local y las posibles discontinuidades abiertas o rellenas.

En los emboquilles pueden producirse inestabilidades por caída de bloques, formación de cuñas, descalces localizados o apertura progresiva de discontinuidades. La disposición relativa entre estratificación, juntas y cara libre del talud puede delimitar paquetes rocosos potencialmente inestables, especialmente en sectores donde el macizo se encuentre desconfinado o afectado por fracturación persistente.

Los materiales triásicos detríticos y margo-yesíferos de la UG-2 pueden constituir una unidad de especial relevancia en la Zona 3, especialmente cuando aparezcan niveles arcillosos, margosos o yesíferos en contacto con materiales más competentes. Su comportamiento es heterogéneo y puede variar desde areniscas de comportamiento moderadamente competente hasta arcillas, margas y yesos de baja resistencia y elevada alterabilidad.

La presencia de agua puede producir reblandecimiento de niveles arcillosos, disolución local de yesos, pérdida de resistencia y generación de zonas de debilidad. En el entorno de los emboquilles, estos materiales pueden favorecer inestabilidades superficiales, deslizamientos someros y necesidad de medidas de drenaje, protección o sostenimiento preventivo.

Los materiales terciarios detríticos de la UG-3 pueden tener una presencia significativa en el entorno oriental del ámbito de actuación, estando constituidos por conglomerados, areniscas, limolitas, arcillas y margas de origen continental. Los conglomerados, si presentan cementación suficiente, pueden comportarse como materiales relativamente competentes, aunque la erosión de la matriz puede originar caída de cantos y desprendimientos localizados. Por su parte, las limolitas, arcillas y margas pueden comportarse como suelos duros o rocas blandas, con sensibilidad frente al agua, erosión superficial y formación de cárcavas en taludes.

Los depósitos cuaternarios de la UG-4 pueden aparecer como recubrimientos de glacis, abanico, coluvión, aluviales o derrubios de ladera en los accesos y emboquilles del túnel. Su espesor puede ser variable y su comportamiento dependerá de la granulometría, compacidad, cementación, contenido en finos y humedad. En excavaciones próximas a los emboquilles pueden generar problemas de estabilidad superficial, desprendimientos de bloques incluidos en matriz fina, lavado de finos y erosión por escorrentía.

En la Zona 3, además de las inestabilidades superficiales habituales en los taludes de emboquille, se identifican condicionantes asociados a la presencia de bloques y cuñas rocosas de mayor entidad. La disposición de la estratificación, junto con familias de juntas y fracturas, puede delimitar paquetes rocosos parcialmente desconfinados, especialmente en las proximidades de la boca del túnel y en los paños rocosos

laterales. Estos elementos pueden presentar riesgo de movilización por apertura de discontinuidades, descalce progresivo, vuelco, rotura planar o desprendimiento localizado.

Adicionalmente, en el interior del túnel, especialmente en los primeros metros desde el emboquille, el macizo puede presentar zonas de fracturación, lajeado o degradación localizada en clave y hastiales. Estas condiciones pueden favorecer la caída de fragmentos desde el contorno excavado y justifican la necesidad de medidas de sostenimiento interior, confinamiento del macizo y cosido de bloques mediante elementos pasivos.

En la Zona 3.2, los condicionantes geotécnicos se encuentran especialmente relacionados con la presencia de grandes cuñas rocosas junto al emboquille. La estabilidad de estas cuñas puede estar controlada por la continuidad de las discontinuidades, la apertura de fisuras, la orientación de la estratificación, la rugosidad de los planos de junta y el grado de conexión entre fracturas.

Con carácter previo al cosido de bloques, el sellado de fisuras y grietas con mortero compatible, así como la posterior inyección de lechada, permiten mejorar la continuidad del macizo, reducir la entrada de agua y consolidar las zonas más fracturadas o abiertas. Estas actuaciones resultan especialmente adecuadas en sectores donde la apertura de discontinuidades pueda favorecer mecanismos de vuelco, rotura planar, formación de cuñas o desprendimiento localizado.

El análisis de la Zona 3 deberá orientarse a determinar la calidad del terreno o macizo excavado, el grado de fracturación y meteorización, la potencia de los recubrimientos cuaternarios, la posible presencia de contactos entre unidades geotécnicas, la existencia de circulación de agua y los condicionantes derivados de estructuras tectónicas o discontinuidades desfavorables.

ZONA 3	**Parámetros geotécnicos y Químicos**			
UG-1 Depósitos carbonatados jurásicos	**Cohesión efectiva, Cu**	*20-60 kp/cm²* *	**Densidad seca, γ**	2,3-2,6 gr/cm³ *
	Ángulo de rozamiento interno, Φ	30 º- 40º *	**Meteorización**	Baja-Moderada
UG-2 Materiales triásicos detríticos y margo-yesíferos. Tramos arcilloso-margosos	**Cohesión efectiva, Cu**	*0,5-2 kp/cm²* *	**Densidad seca, γ**	1,9-2,2 gr/cm³ *
	Ángulo de rozamiento interno, Φ	18 º- 28º *	**Meteorización**	Moderada-alta
UG-2 Materiales triásicos detríticos y margo-yesíferos. Tramos areniscosos	**Cohesión efectiva, Cu**	*5-25 kp/cm²* *	**Densidad seca, γ**	2,1-2,4 gr/cm³ *
	Ángulo de rozamiento interno, Φ	28 º- 35º *	**Meteorización**	Moderada
UG-3 ateriales terciarios detríticos	**Cohesión efectiva, Cu**	*0,5-20 kp/cm²* *	**Densidad aparente, γ**	2,0-2,3 gr/cm³ *
	Ángulo de rozamiento interno, Φ	24º-35º *	**Meteorización**	Moderada-Alta
UG-4 Depósitos cuaternarios de glacis, abanico, coluvión y aluvial	**Cohesión efectiva, Cu**	*0 -0,5 kp/cm²* *	**Densidad seca, γ**	1,8-2,2 gr/cm³ *
	Ángulo de rozamiento interno, Φ	28 º- 36º *	**Meteorización**	Alta

9.4. TECTÓNICA.

La zona de estudio se sitúa en la Cordillera Ibérica, en un área afectada por varias fases tectónicas alpinas y por una etapa distensiva neógena y pliocuaternaria responsable de la configuración de la fosa del Jiloca.

Desde el punto de vista regional, los materiales mesozoicos y paleógenos fueron deformados durante las fases compresivas alpinas, generando pliegues, fallas inversas y estructuras con dirección predominante NO-SE, correspondiente a la directriz ibérica. También se reconocen estructuras transversales de orientación NE-SO y NNE-SSO, algunas de las cuales han sido reactivadas durante etapas posteriores.

La estructura regional puede resumirse en los siguientes conjuntos:

- Basamento paleozoico, constituido por series ordovícicas deformadas durante la orogenia hercínica.
- Tegumento triásico, integrado por materiales detríticos y carbonatados que se adaptan a las estructuras de fondo.
- Nivel de despegue, asociado a los materiales plásticos del Keuper, de naturaleza arcillosa, margosa y yesífera.
- Cobertera jurásica y terciaria, afectada por plegamiento, fracturación y basculamientos.
- Relleno neógeno y cuaternario de las depresiones tectónicas, con disposición generalmente subhorizontal o suavemente basculada.

La fosa del Jiloca se configura como una depresión tectónica asociada a fallas normales de dirección principal NO-SE y NNE-SSO. Estas fallas generaron el hundimiento relativo de la depresión y el levantamiento de bloques mesozoicos adyacentes, como Sierra Palomera y otros relieves próximos. La actividad tectónica reciente ha condicionado la formación de escarpes, abanicos aluviales, glacis y zonas de incisión lineal.

En relación con el proyecto, la tectónica regional puede tener incidencia directa en:

- La orientación y continuidad de las discontinuidades en el macizo rocoso.
- La presencia de zonas de falla o brecha tectónica en los túneles.
- La aparición de contactos bruscos entre materiales competentes e incompetentes.
- La estabilidad de emboquilles si las discontinuidades buzan desfavorablemente hacia la excavación.
- La circulación preferente de agua a través de fracturas, contactos litológicos o zonas karstificadas.
- La heterogeneidad de los depósitos de pie de monte y abanico en la zona del talud.

9.5. CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO.

El contexto geomorfológico del área de Alba está dominado por la transición entre los relieves mesozoicos de la Cordillera Ibérica y la depresión tectónica del Jiloca. Se distinguen relieves carbonatados relativamente resistentes, superficies de erosión elevadas, laderas regularizadas, barrancos encajados, glacis, abanicos aluviales y depósitos de fondo de valle.

Los relieves de calizas jurásicas y areniscas triásicas se encuentran muy aplanados por antiguas superficies de erosión, situadas localmente en torno a cotas superiores a la llanura del Jiloca. Estas superficies han sido posteriormente fracturadas, basculadas e incididas por la red de drenaje. Los barrancos que descienden desde las sierras

hacia la llanura presentan pendientes elevadas en cabecera y tramo medio, y al alcanzar la depresión generan conos y abanicos aluviales de gravas y arcillas.

A ambos lados del eje del Jiloca se desarrollan extensos glacis plio-cuaternarios y cuaternarios, formados por depósitos detríticos procedentes de la erosión de los relieves elevados. Estos glacis pueden presentar espesores variables y encostramientos carbonatados superficiales. En las zonas próximas a escarpes de falla y pies de ladera se desarrollan abanicos y coluviones con cantos y bloques calizos incluidos en matriz limoarcillosa.

La red fluvial principal está representada por el río Jiloca, que discurre con dirección general S-N en el sector de la hoja. A esta red principal se incorporan barrancos y arroyos de régimen generalmente estacional, con funcionamiento torrencial durante episodios de precipitación intensa. Estos cursos pueden provocar erosión lineal, incisión de cauces, socavación en pie de talud y transporte de gravas, arenas y limos.

Los procesos geomorfológicos con mayor incidencia potencial sobre el proyecto son los siguientes:

- Desprendimientos de bloques en laderas carbonatadas fracturadas.
- Inestabilidades superficiales en coluviones y depósitos de ladera.
- Erosión en cárcavas y barrancos sobre materiales arcillosos o limo-arcillosos.
- Lavado de finos y pérdida de soporte en depósitos de abanico.
- Reblandecimiento de margas y arcillas durante episodios húmedos.
- Circulación preferente de agua en discontinuidades, contactos litológicos y zonas karstificadas.
- Acumulación de derrubios en pies de talud y zonas de emboquille.

10. ESTUDIO SÍSMICO PARA AL ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE TALUDES Y TÚNELES.

10.1.1. INTRODUCCIÓN.

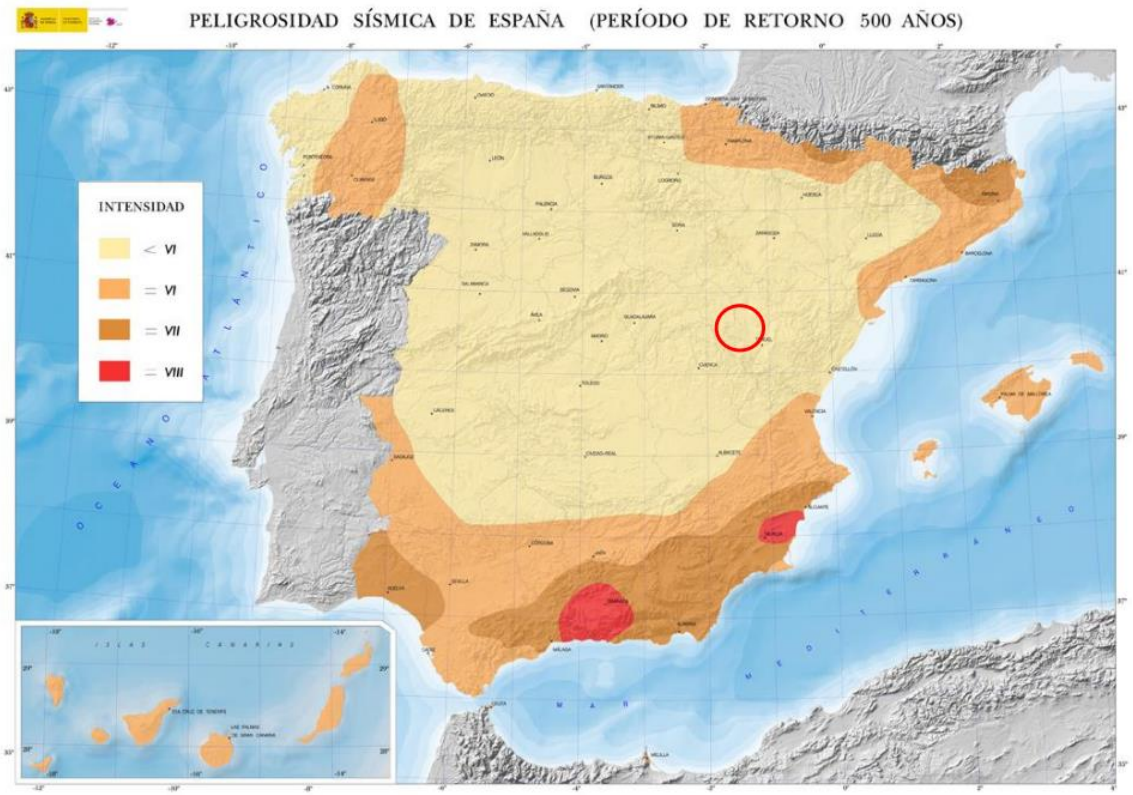
A pesar de ser un proyecto se deben dar unos datos aproximados de la actividad sísmica de la zona de proyecto, así como de la peligrosidad que ésta entraña. Para ello se recurre a la norma NSCE-02, editada por el Ministerio de Fomento. Esta norma establece la siguiente clasificación según el uso final de las construcciones:

- De importancia moderada: aquellas con probabilidad despreciable de que su destrucción por el terremoto pueda ocasionar víctimas, interrumpir un servicio primario o producir daños significativos a terceros.
- De importancia normal: aquellas cuya destrucción por el terremoto pueda ocasionar víctimas, interrumpir un servicio para la colectividad o producir importantes pérdidas económicas, sin que en ningún caso se trate de un servicio imprescindible ni dar lugar a efectos catastróficos.
- De importancia especial: aquellas cuya destrucción por el terremoto, pueda interrumpir un servicio imprescindible o dar lugar a efectos catastróficos. En este grupo se incluyen, entre otros: estructuras pertenecientes a vías de comunicación clasificadas como de importancia especial, centrales nucleares, hospitales, aeropuertos, etc.

Según lo expuesto anteriormente, interpretamos que nuestra obra se clasifica como una construcción de importancia normal.

10.1.2. APLICACIÓN DE LA NORMATIVA.

La peligrosidad sísmica viene definida por el siguiente mapa extraído del capítulo II de la NSCE-02 del Ministerio de Fomento:



Mapa de peligrosidad sísmica.

En dicho mapa se muestra en relación al valor de la gravedad (g), la aceleración sísmica, que corresponde a un valor característico de la aceleración horizontal de la superficie del terreno, correspondiente a un periodo de retorno de 500 años. A continuación, se muestra este mapa y que suministra adicionalmente los valores del coeficiente de contribución (k) que tiene en consideración la influencia en la peligrosidad sísmica, de cada punto, de los distintos tipos de terremotos considerados en el cálculo de la misma. Señalado en círculo rojo, la zona del proyecto. Este mapa suministra, expresada en relación del valor de la gravedad, g, la aceleración sísmica básica ab. Debido que el valor de ab en nuestra zona de estudio presenta un valor inferior a 0,04g, será ese valor el utilizado para los cálculos oportunos.

A partir de este valor de aceleración sísmica básica y con la ayuda de los coeficientes S (coeficiente de amplificación del terreno) y ρ (coeficiente adimensional de riesgo) obtendremos el valor de la aceleración de cálculo.

La aplicación de esta norma es obligatoria en el ámbito de aplicación establecido excepto en:

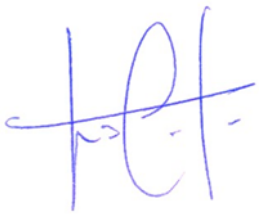
- Construcciones de importancia moderada.
- Edificaciones de importancia normal o especial en el caso de que la aceleración sísmica básica ab sea inferior a 0,04g, siendo g la aceleración de la gravedad.
- En las construcciones de importancia normal con pórticos bien arriostrados entre sí en todas las direcciones cuando la aceleración sísmica básica sea inferior a 0.08g. No obstante, la norma será de aplicación en los edificios de más de siete plantas si la aceleración sísmica de cálculo, ac, es igual o mayor de 0,08g. 3.

10.1.3. CONCLUSIONES.

Teniendo en cuenta el mapa sísmico resistente anterior y la clasificación de las obras, llegamos a la conclusión de que el presente estudio, además de encontrarse en una zona con una aceleración básica inferior a 0,04g se clasifica como una obra de importancia moderada; lo cual supone teniendo en cuenta lo establecido en la norma, que en el cálculo de la estructura no será necesario tener en cuenta cargas sísmicas

Madrid, septiembre de 2026.

Autor del proyecto, Luis Cañada López



Ingeniero Agrónomo