

APÉNDICE Nº 12. ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO

ÍNDICE

APÉNDICE Nº 12. ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO		3
1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO.....		3
1.1.	ANTECEDENTES	3
1.2.	INFORMACIÓN ESPECIFICA	3
1.3.	BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA.....	3
2. ESTUDIO GEOLOGICO.....		4
2.1.	ENCUADRE GEOLOGICO GENERAL	4
2.2.	MARCO GEOLÓGICO GENERAL	5
2.3.	TECTÓNICA.....	5
2.3.1.	Tectónica Hercínica	5
2.3.2.	Cordillera Maesozóica y Paleógena.....	6
2.3.3.	Depresión del Vallés-Penedés (Neógeno)	6
2.3.4.	Síntesis tectónica.....	6
2.4.	HISTORIA GEOLÓGICA.....	7
2.5.	ESTRATIGRAFÍA	7
2.5.1.	Paleozoico	7
2.5.2.	Terciario	8
2.5.3.	Cuaternario	10
2.6.	GEOMORFOLOGÍA.....	11
3. HIDROGEOLOGÍA		11
3.1.	MARCO HIDROGEOLÓGICO GENERAL.....	11
3.1.1.	Acuífero Gaiá-Anoia	12
3.1.1.1.	Características morfológicas e hidrodinámicas	12
3.1.1.2.	Piezometría.....	13
3.1.1.3.	Descripción de la zona no saturada	13
3.1.1.4.	Conexión con cauces superficiales	13
3.1.2.	Acuíferos aluviales del Penedés y Acuífero local del Bruc- Esparreguera	13
3.1.2.1.	Características morfológicas e hidrodinámicas	14
3.1.2.2.	Piezometría.....	14
3.1.2.3.	Descripción de la zona no saturada	14
3.1.2.4.	Conexión con cauces superficiales	14
3.1.3.	Cubeta de Abrera	14
3.1.3.1.	Características morfológicas e hidrodinámicas	15
3.1.3.2.	Características geométricas e hidrodinámicas	15
3.1.3.3.	Piezometría.....	16
3.1.3.4.	Características de la zona no saturada	16
3.1.3.5.	Conexión con cauces superficiales	16
3.2.	PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS.....	17
3.3.	NIVELES FREÁTICOS.....	21

3.4.	INVENTARIOS DE PUNTOS DE AGUA.....	21
3.4.1.	Inventario de puntos de agua del Instituto Geológico y Minero Español	22
3.4.2.	Base Cartográfica Nacional a escala 1:25.000 del CNIG Base Cartográfica Nacional a escala 1:25.000 del CNIG.	22
3.4.3.	Información procedente de la Agencia Catalana del Agua	22
3.5.	ZONAS PROTEGIDAS	24
3.5.1.	Zonas protegidas para la captación de agua destinada al consumo humano	24
3.5.2.	Zonas protegidas en relación con la aportación de nutrientes. Zonas vulnerables en virtud de la Directiva 91/676/CEE	25
3.5.3.	Zonas protegidas por hábitats o especies. Protección de hábitats relacionados con aguas subterráneas	25
3.5.4.	Perímetros de protección de aguas minerales y termales	26
3.5.5.	Zonas de protección especial en masas de agua subterránea	26
3.6.	INTERACCIÓN ENTRE EL TRAZADO Y EL MEDIO ACUÍFERO.....	27
3.6.1.	Estudio del “efecto drenaje”. Estimación de caudales de infiltración en el Nuevo Túnel del Bruç.	27
3.6.2.	Estudio del “efecto drenaje” en el desmonte proyectado entre los PPKK 1+570 y 1+730.	30
3.6.3.	Estudio del “efecto drenaje” en el Falso Túnel proyectado entre los PPKK 1+250 y 1+490.....	30
3.6.4.	Estudio del “efecto barrera” en el Túnel en mina y en el Falso Túnel proyectado entre los PPKK 1+250 y 1+490.....	33
3.6.5.	Estudio del “efecto drenaje” y del “efecto barrera” en el Falso Túnel proyectado en el núcleo urbano de Collbató.....	33
3.6.6.	Estudio de posibles afecciones a puntos de agua	35
3.6.7.	Estudio de posibles afecciones a Zonas protegidas	36
3.6.8.	Estudio de posibles afecciones a cauces superficiales	37
3.7.	RECOMENDACIONES GENERALES PARA EVITAR LA GENERACIÓN DE VERTIDOS ACCIDENTALES DURANTE LA FASE DE OBRA	37
	CONCLUSIONES	38

ANEXO 1. PLANTA GEOLÓGICA DE DETALLE DEL TÚNEL EL BRUÇ.....	40
ANEXO 2. PERFIL GEOLÓGICO DE DETALLE DEL TÚNEL EL BRUÇ	41
ANEXO 3. ENSAYOS LUGEON REALIZADOS EN LA CAMPAÑA PROPIA DEL ANTEPROYECTO	42
ANEXO 4. ESTIMACIÓN DE CAUDALES DE INFILTRACIÓN SUBTERRÁNEOS.....	43

APÉNDICE Nº 12. ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO

El presente apéndice tiene por objeto caracterizar y analizar la geología e hidrogeología del “Anteproyecto y Estudio de Viabilidad de Adecuación, Reforma y Conservación de la Autovía A-2. Tramo: Igualada - Martorell. P.K. 550,6 al P.K. 585,5”.

El Anteproyecto coincide en su mayor parte con el corredor de la actual A-2, habiéndose planteado las siguientes actuaciones:

1. Cambio de la sección transversal por una nueva sección de tres carriles por sentido.
2. Ampliación del radio de curvatura de alguna curva, con la correspondiente modificación en planta del trazado.
3. Variantes de trazado.
4. Adecuación de los enlaces existente para mejorar su funcionalidad.
5. Túneles del Bruc.

Para la elaboración del siguiente informe se ha realizado el siguiente trabajo, de acuerdo a la metodología que a continuación se expone:

- Recopilación de la información existente
- Análisis de la información recopilada
- Planteamiento y ejecución de una campaña geotécnica específica para esta esta fase de anteproyecto.
- Recorrido minucioso de la traza.
- Cartografía y longitudinal geológico de detalle del trazado
- Estudio geológico
- Estudio hidrogeológico
- Determnación y análisis preliminar de posibles impactos o afecciones sobre el medio acuífero
- Redacción del documento.

1.1.ANTECEDENTES

Para la redacción de este documento la información consultada ha sido de 2 tipos, una de índole específico que incluye Proyectos y Estudios realizados en la zona o alrededores, y otra complementaria que incluye publicaciones relacionadas con la geotecnia en general.

1.2.INFORMACIÓN ESPECIFICA

- ANTEPROYECTO DE ADECUACIÓN, REFORMA Y CONSERVACIÓN DEL CORREDOR NORDESTE. TRAMO: IGUALADA-MARTORELL
- PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE UNA PASARELA PEATONAL PROVISIONAL SOBRE LA AUTOVÍA A-2, P.K. 580,025. T.M. DE ESPARREGUERA, CLAVE 33-B-4790 (2010)
- MEJORA DE ACCESOS. PROLONGACIÓN VÍA DE SERVICIO DE LA CARRETERA A-2, P.K. 570,700 AL P.K. 571,200. TRAMO: EL BRUC - PIEROLA (BARCELONA)
- PROYECTO DE PROTECCIÓN HIDRÁULICA EN EL VIADUCTO ANTIGUO DE LA AUTOVÍA N-2 SOBRE LA RIERA DE LA MAGAROLA EN EL T.M. DE ABRERA Y ESPARRAGUERA EN LA PROVINCIA DE BARCELONA
- PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN: MEDIDAS DE PROTECCIÓN ACÚSTICA EN LA AUTOVÍA A-2 DEL PK 573+000 AL PK 575+400. TÉRMINO MUNICIPAL DE COLLBATÓ.
- PROYECTO DE REORDENACIÓN DE ACCESOS EN LA AUTOVÍA A-2, MEJORA DE LA BIFURCACIÓN EN LA CARRETERA B-23 Y PAVIMENTACIÓN DE LOS RAMALES DE ENLACES EN LA RED DE CARRETERAS DEL ESTADO EN LA PROVÍNCIA DE BARCELONA. TRAMO: VARIOS. AUTOVÍA A-2 Y CARRETERAS B-30 Y B-23
- CONEXIÓN ENTRE LA N-V Y N-401. D VILAFRANCA UTE: EUROESTUDIOS, S.L. – ETT, S.A
- P.C.: APARCAMIENTO DE EMERGENCIA EN LA AUTOVÍA A2 EN EL P.K. 580, JUNTO AL ENLACE CON LA C-1414.

1.3.BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

- Mapa Geológico de España (E: 1/50.000) 2ª Serie (MAGNA). Hoja.391. Igualada.
- Mapa Geológico de España (E: 1/50.000) 2ª Serie (MAGNA). Hoja.420. Hospitalet de Llobregat
- Mapa Geológico de España (E: 1/50.000) 2ª Serie (MAGNA). Hoja.490. Cervera.
- Mapa Geológico de España (E: 1/50.000) 2ª Serie (MAGNA). Hoja.4189. Villafranca del Penedrés.
- Mapa Geológico de España (E: 1/50.000) 2ª Serie (MAGNA). Hoja.392. Sabadell.
- Mapa Hidrogeológico de España. (E: 1/200.000). Hoja nº 34. Hospitalet

- Mapa Geotécnico de España. (E: 1/200.000). Hoja nº 34. Hospitalet
- Mapa de Rocas Industriales. E: 1/200.000. Hoja nº 34. Hospitalet
- Geología de España. Instituto Geológico y Minero de España. Editor principal, J.A. Vera. 2004.
- González de Vallejo, Luís I. y otros. (2002). Ingeniería Geológica. Ed. Pearson Educación. Madrid.
- Jiménez Salas, Jose A. y otros. (1981). Geotecnia y Cimientos II. Ed. Rueda. Madrid.
- Rodríguez Ortiz, José María (1982). Curso aplicado de cimentaciones.
- Ministerio de Fomento. (2003). Guía de cimentaciones en obras de carretera.
- Pliego de Prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes (PG-3).
- Norma 6.1-IC. Secciones de Firme.
- Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente (1994). ROM 0.5-94. Recomendaciones geotécnicas para el proyecto de obras marítimas y portuarias.

2. ESTUDIO GEOLOGICO

2.1. ENCUADRE GEOLOGICO GENERAL

El trazado objeto del presente anteproyecto se encuentra en el Nordeste peninsular, en la provincia de Barcelona entre las comarcas del Anoia y el Baix Llobregat. El tramo en estudio discurre por los términos municipales de Jorba, Igualada, Ódena, Castellolí, El Bruc, Els Hostalets de Pierola, Collbató, Esparreguera y Abrera.

En este sector de la península Ibérica las principales unidades geológico-estructurales son las siguientes:

- Cordillera Pirenaica
- Cuenca del Ebro
- Cordillera Costero-Catalana

Concretamente, la traza se ubica entre el límite meridional de la Cuenca del Ebro y el sector central de la cordillera Costero-Catalana.

La Cuenca del Ebro corresponde fundamentalmente a la cuenca de antepaís de la Cordillera Pirenaica. En superficie sus límites están marcados por esta misma cadena al Norte, la Cordillera Ibérica al Suroeste y la Cordillera Costero Catalana al Sur, y en subsuelo su extensión es mayor, ya que está recubierta parcialmente por el Pirineo y su prolongación occidental, la Cordillera Cantábrica y por parte de la Cordillera Ibérica. De estos orogénos, son los Pirineos los que han ejercido una mayor influencia en la génesis y evolución de la cuenca de antepaís.

La cordillera Costero-Catalana (conocida también como los Catalánides) es un cinturón estrecho de sierras que cierra la Cuenca del Ebro en el Antepaís Pirenaico. Está integrado por un conjunto de relieves de baja cota, dispuestos de forma paralela a la costa, en dirección Sudoeste – Nordeste.

La cordillera Costero-Catalana se descompone en tres grandes unidades morfoestructurales: la cordillera Prelitoral, la depresión del Vallés-Penedés y la Cordillera Litoral (atravesada esta última en su parte central por el río Llobregat, que desemboca en las proximidades de Barcelona), situadas cada una, respectivamente más alejadas de la costa. Así mismo, en la estructura de esta cadena montañosa se distinguen tres unidades que corresponden a tres láminas de cabalgamiento, la del Vallès-Penedès, la del Camp y la del Priorat, situadas sobre cabalgamientos vergentes hacia el Noroeste.

El sector donde se encuentra la zona de anteproyecto forma parte de la cordillera Prelitoral, en su límite con la depresión del Vallés-Penedés. Esta cordillera presenta unos 200 km de longitud entre Girona y Falset y tiene una altitud media, con relieves como el macizo del Montseny (1706 m), las montañas de Prades (1203 m) y la sierra del Montsant (1109 m).

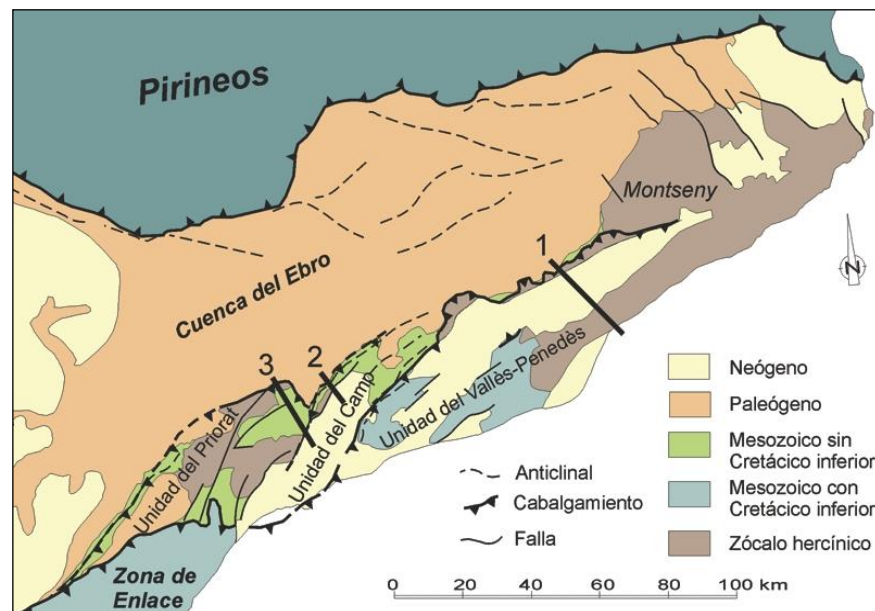


Figura 1: Esquema estructural de los Catalánides (Vera, J.A., Ed.2004).

2.2.MARCO GEOLÓGICO GENERAL

El trazado de la autovía A-2, en la zona de anteproyecto, atraviesa tres unidades morfoestructurales diferentes: la depresión central catalana o Cuenca del Ebro, la Cordillera Prelitoral y la fosa tectónica del Vallés-Penedés en su límite con la cuenca baja del río Llobregat (ver figura 2). Las estructuras geológicas más importantes presentan una dirección estructural principal NE – SW.

El trazado en estudio comienza en la parte Oriental de la cuenca o depresión central catalana (zona de Igualada), para después atravesar la Cordillera prelitoral (zona El Bruc) y seguidamente atravesar transversalmente la fosa tectónica del Vallés – Penedès, finalizando en la zona de Abrera, sobre los sedimentos cuaternarios de antiguas terrazas fluviales del Llobregat.

El sustrato de la Cuenca del Ebro está constituido por un zócalo paleozoico sobre el que se dispone una cobertera mesozoica incompleta, con predominio de los materiales triásicos y jurásicos, ocupando los materiales más modernos la posición más meridional. El relleno sedimentario de la cuenca muestra una pauta clara: los depósitos más antiguos se ubican en los sectores septentrional y oriental, y los más modernos en las áreas meridionales y orientales. Esto es un reflejo de la evolución de la deformación en el orógeno, hacia el antepaís y progresivamente más moderna de este a oeste.

La Cuenca del Ebro, que es de edad Terciaria, concretamente Paleógeno, en este sector está caracterizada por dos tipos de facies, las facies grises y las facies rojas que se corresponden con diferentes episodios de transgresión-regresión marinas. Las primeras, son materiales de origen marino formados por calizas y margas. Por el contrario, las segundas tienen un origen continental detrítico y son areniscas, conglomerados y arcillas.

La cordillera prelitoral que separa las dos cuencas, está representada, en esta zona, por las pizarras del zócalo paleozoico.

La fosa tectónica del Vallés-Penedés, que también es de edad Terciaria, concretamente Neógeno, se caracteriza en esta zona por facies continentales de areniscas, conglomerados y arcillas.

El final del trazado discurre por los sedimentos del cuaternario antiguo de origen coluvial (Qc) y acaba sobre las terrazas fluviales del Llobregat (Qt). Estos sedimentos están compuestos principalmente por arcillas rojizas con arenas, gravas y costras de carbonato y gravas con arcillas, respectivamente.

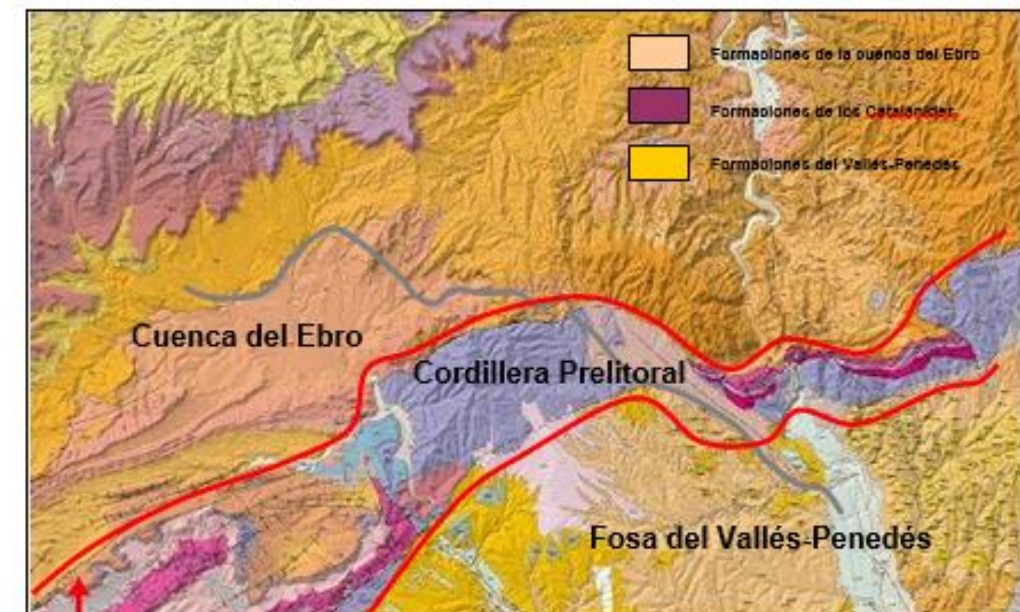


Figura 2: Esquema geológico de la zona donde se ubica el trazado.

2.3.TECTÓNICA

La cordillera de los Catalánides es una zona tectónicamente elevada, donde el límite entre ésta y la Depresión del Ebro resulta algo difuso. No ocurre así con el borde sur, que queda bien definido y que se presenta como una falla directa.

El zócalo paleozoico de los Catalánides está separado de la cobertera mesozoica por la discordancia pretriásica, que es un rasgo tectónico de primer orden en toda la Cordillera. Ello ha sido favorecido por otros accidentes importantes: las fallas de desgarre por las que discurren algunos ríos importantes de la zona (Llobregat, Anoia, Francolí). Los accidentes tectónicos de mayor importancia alpídica no sólo afectaron a la cobertera, sino que alcanzaron también al zócalo herciniano, cruzando indistintamente a uno y otra.

Las características tectónicas de la zona se presentan siguiendo el esquema que comentamos a continuación:

2.3.1. Tectónica Hercínica

El basamento o nivel tectónico profundo corresponde a la orogenia hercínica, que en su fase principal dio origen a una esquistosidad de flujo, si bien con transformaciones de metamorfismo regional

relativamente importantes, produciéndose un plegamiento de acusada vergencia, acompañado de fenómenos de despegue. Posteriores fases orogénicas han determinado una segunda generación de pliegues más laxos y afectados por numerosas fracturas.

Durante la fase de deformación inicial se generó una primera esquistosidad, responsable de los planos de pizarrosidad que presentan los materiales hercinianos y que solo son visibles cuando los bancos son bastante potentes. La dirección de esta esquistosidad es difícil de determinar, al hallarse afectada por una segunda fase de plegamiento y al estar fuertemente distorsionada por las fracturas. Sin embargo, predomina la dirección Noroeste-Suroeste u Oeste/Noroeste-Este/Sureste con fuertes inclinaciones hacia el Norte.

La segunda fase de deformación originó una esquistosidad de “Strain Slip”, dando lugar a pliegues de tipo subparalelo. Su dirección es casi coaxial con la de los pliegues de la primera fase. En los niveles cuarcíticos de grano más grueso y en los niveles calcáreos es frecuente que esta esquistosidad se traduzca en una simple microfracturación. Posteriormente a esta segunda deformación, con desarrollo de esquistosidad de fractura y formación de pliegues paralelos, tuvo lugar en la región la intrusión del batolito granodiorítico, que en este sector aflora únicamente en la zona de Capellades, que dio lugar a un metamorfismo regional.

Son estos materiales, en su condición de cabalgantes, los que constituyen la manifestación tectónica más importante a lo largo de la cordillera.

2.3.2. Cordillera Maesozóica y Paleógena

Los materiales que cubren el zócalo paleozoico, son los que responden a los esfuerzos tectónicos dando lugar a las estructuras y elevaciones más importantes de la zona, mayoritariamente los materiales Triásicos son los más tectonizados. También y en menor medida, los primeros estadios del Terciario (Paleoceno y Eoceno inferior), responden de manera similar a los materiales Mesozoicos y son los últimos materiales que dan lugar a estructuras y elevaciones significativas en todo este sector.

El estudio de superficie de la Cuenca del Ebro muestra una estructura geológica muy sencilla, con capas subhorizontales o con buzamientos muy suaves en la mayor parte de la cuenca. La cartografía de detalle pone de manifiesto la existencia de estructuras que, si bien no suelen ser deformaciones de gran intensidad, sí presentan cierta continuidad lateral que refleja la presencia de direcciones paralelas a las estructuras ibéricas a lo largo de prácticamente la totalidad de la cuenca, así como otras de orientación NNE a NE, más difíciles de detectar.

En general, ambas coberteras muestran estructuras análogas, aunque en determinados sectores, no es así. Dentro de la cobertera Paleógena, las calizas del Eoceno inferior, son las últimas que sufren actualmente elevación tectónica notable.

Hasta las calizas del Eoceno inferior, se presentan fundamentalmente pliegues que siguen la orientación de la cordillera, y que se ven cortados por los materiales paleozoicos en el sector de Capellades.

A partir de estas calizas, el aspecto importante es la ausencia de estructuras significativas. En la que cabe destacar, únicamente, la falla directa del borde sur de la cordillera.

2.3.3. Depresión del Vallés-Penedés (Neógeno)

En líneas generales, en la fosa tectónica del Vallés-Penedés, nos encontramos con acumulaciones masivas de material detrítico grueso y solamente las capas más bajas de la fosa parecen estar dispuestas a acompañar a los materiales infrayacentes, que se ven condicionados por la tendencia del zócalo paleozoico a avanzar hacia el N a partir del borde sur de la cordillera.

La disposición actual no permite observar juntos a los sedimentos paleógenos y neógenos, aunque posiblemente los primeros estén fosilizados en parte bajo los sedimentos del Terciario Superior.

2.3.4. Síntesis tectónica

Etapas Hercínicas:

- a) Esquistosidad, etc.
- b) Supuestas líneas estructurales (línea del Llobregat, línea de Cordillera.
- c) Intrusión granítica (granito de Capellades).

Etapas Alpínicas:

- a) Movimientos paleo-alpinos: Sin representación de accidentes en la zona, aunque con supuesta influencia paleogeográfica regional y posible coincidencia en las grandes líneas con la estructura hercínica.
- b) Movimientos meso-alpinos.

Fases Pirenaicas.

- 1) Conjunto paleozoico-ígneo (Cordillera): Cabalgamientos, fallas inversas (entre ellas la relación Buntsandstein-Paleozoico), desgarres.
- 2) Conjunto triásico (Cordillera): Fallas Inversas (entre ellas la relación mecánica con la Depresión del Ebro), pliegues fallados, laminaciones, inversiones con cobijadura de los materiales más modernos, desgarres.
- 3) Conjunto paleógeno (Depresión del Ebro): Diaclasación.

Fases Postpirenaicas

- 1) Conjunto paleógeno (Depresión del Ebro): fallas directas con el bloque Este hundido
- 2) Falla del borde Norte de la depresión Vallés-Penedés y fallas de escaso salto.

2.4. HISTORIA GEOLÓGICA

A pesar de la presencia de materiales paleozoicos dentro del área cartografiada, el ciclo hercínico está poco desarrollado. Cabe reseñar la existencia de sedimentos detríticos metamorfoseados por la intrusión granítica que implica la formación de un relieve más o menos importante al que seguiría un período de desmantelamiento hasta la instalación de una perillanura que luego quedó fosilizada por los materiales del Mesozoico y que se traduce en la discordancia pre-triásica.

Por tanto, es en el ciclo alpino donde se materializan todas las estructuras y formaciones importantes de la zona.

Los primeros sedimentos mesozoicos corresponden a los conglomerados basales del Buntsandstein, que fosilizarían la etapa erosiva final del ciclo hercínico.

Estos conglomerados sólo pueden verse en pequeños afloramientos que han sido arrastrados por las pizarras paleozoicas en su avance. Posteriormente la instalación de un régimen entre continental y lagunar daría lugar a los depósitos rojos del Buntsandstein. Después los cambios ambientales son rápidos, hay una transgresión representada por las calizas y dolomías del Muschelkalk inferior (1).

Una rápida regresión da paso a depósitos rojos con areniscas y yesos del Muschelkalk medio (2). Los depósitos carbonatados de Muschelkalk superior (3) marcarían una nueva etapa transgresiva con instalación de una plataforma marina que paulatinamente irá dejando paso a los depósitos regresivos del Keuper.

A pesar de la fluctuación ambiental en el tiempo, la situación espacial de dichos ambientes es amplia y bastante constante, sobre todo en los tramos carbonatados.

Es inmediatamente después del Keuper cuando tienen lugar diferenciaciones importantes que darán paso a las condiciones paleogeográficas de los depósitos siguientes.

Los depósitos mesozoicos post-triásicos quedan relegados al Sur de la línea de la cordillera y al Oeste de la del Llobregat. En el resto de las áreas se desarrolló una laguna estratigráfica que abarcaría desde el Keuper hasta el Paleoceno.

A esta etapa de emersión corresponden sedimentos rojos, que al oeste de la línea del Llobregat tienen un techo bien señalado (calizas del Eoceno inferior).

Durante el Eoceno inferior tiene lugar una transgresión marina procedente de la Cuenca del Ebro, manteniéndose alguna diferenciación a lo largo de la línea del Llobregat. Al Oeste de ella la invasión marina posiblemente sobrepase la actual Depresión del Vallés-Penedés. Al Este los mares quedan relegados hacia el Norte y en su lugar estarían sedimentos rojos con aportes locales de materiales gruesos desde el Sur.

El Eoceno medio está representado por areniscas y arcillas rojas que hacia el Oeste contienen lechos de calizas lacustres y niveles de yesos, y hacia el Este se ven influenciadas por el aporte de material grueso asociado posiblemente a la zona que más tarde perfilaría Montserrat.

A esta etapa regresiva, sigue la que sería la más importante invasión marina paleógena y que duraría con oscilaciones ambientales desde el Eoceno medio hasta el Eoceno superior. En la distribución espacial de estos mares vuelve a marcarse un mayor avance hacia el Sur en la zona al Oeste de la línea del Llobregat, incluyendo el actual Penedés. Hacia el Este, donde la llegada de material grueso es importante en muchos puntos (Montserrat, Sant Llorenç del Munt), los mares quedan relegados hacia el Norte.

Al final del Eoceno superior hacen aparición los ambientes de transición que darán paso definitivo a los depósitos regresivos que representan los sedimentos rojos de esta época.

Durante esta etapa, son generalizados los depósitos de tipo lagunar, con yesos y gran riqueza en microflora, aunque sigue manteniéndose la influencia de los aportes gruesos en la zona de Montserrat, que marcarían una separación ambiental, al Oeste, los citados depósitos con yesos, y al Este, calizas lacustres de la misma edad.

A esta etapa compresiva sigue una de distensión, en la que el accidente más señalado es la falla que forma el borde norte de la Depresión del Vallés-Penedés y que irá dando lugar a la cuenca en la que se acumularán bajo un régimen fluvio-torrencial los depósitos del Mioceno Superior, procedentes de la Cordillera Prelitoral.

2.5. ESTRATIGRAFÍA

A lo largo del recorrido de la A-2 que incluye este estudio, se han diferenciado materiales paleozoicos, terciarios y cuaternarios. A continuación, se hace una descripción de las principales unidades geológicas afectadas ordenadas cronológicamente de más antigua a más moderna:

2.5.1. Paleozoico

Está constituido por materiales pizarrosos afectados de metamorfismo regional. Se trata fundamentalmente de pizarras y pizarras arenosas con diques de cuarzo y albita (P).

Localmente pueden encontrarse diques de pórfidos granodioríticos con cuarzo, plagioclasa y biotita.



Fotografía 1: Pizarras paleozoicas en la zona del Bruc



Fotografía 2: Pizarras paleozoicas en la variante de Collbató

2.5.2. Terciario

Como hemos comentado anteriormente, se reparte entre dos cuencas diferentes, una paleógena al N (Depresión del Ebro), y otra neógena, que formaría parte de la Depresión del Vallés-Penedés.

- **Paleógeno (Eoceno)**

Tiene una amplia representación en la zona y a él corresponden las fácies marinas existentes.

- **Eoceno inferior (Formación Orpi) (T_{21}^{Aa})**

Tiene un espesor de 60-70 metros. Regionalmente se le conoce como el nivel de calizas con alveolinas. Está formado por calizas y dolomías micríticas, que contienen abundantes foraminíferos.

- **Eoceno inferior-medio**

Sobre las calizas de alveolinas aparecen niveles de ambiente salobre de margas grises y calizas (T_{22}^{Aa1}), para después generalizarse una sedimentación de arcillas y areniscas rojas ($T_{22-21}^{Aa1-Ab3}$) que localmente pueden contener yesos (Formación Pontils).

Alcanzan la máxima potencia con unos 600 m en Orpi (Igualada), disminuyendo notablemente hacia el NE, donde en la zona de Aiguafreda se miden 100 m. En la zona de Igualada (Santa María de Miralles) aparecen calizas micríticas arcillosas ($T_{C22-21}^{Aa1-Ab3}$) de ambiente lacustre-salobre, que más hacia el SW se corresponden con niveles de yesos. Queda así marcado un paso gradual a la formación marina superior. Hacia el NE, en la zona de La Pobla de Claramunt, son frecuentes las fácies detríticas gruesas ($T_{G22-21}^{Aa1-Ab3}$), que realmente tendrían su equivalencia con alguno de los términos más bajos de Montserrat.

- **Eoceno medio-superior**

Las etapas finales del Eoceno medio representan un nuevo impulso transgresivo para la cuenca del Ebro en la zona de Igualada.

Se establecen así unas condiciones de sedimentación que, aunque con fluctuaciones, llevarán al depósito de fácies grises que durarán hasta el Eoceno superior. Este conjunto constituye la Formación Santa María.

Se diferencian estos depósitos en tres tramos, que en orden ascendente serían: calizas arenosas, margas grises y calizas generalmente arrecifales. Esta distinción, ha servido para la separación de la Formación Santa María en tres miembros: Collbas (T_{C22-21}^{Ab-Ac}), Igualada (T_{m22-21}^{Ab-Ac}) y Tossa (T_{S22-21}^{Ab-Ac}).



Fotografía 3: Calizas margosas de la Formación Santa María



Fotografía 5: Areniscas, lutitas rojizas y conglomerados del Eoceno medio-superior



Fotografía 4: Margas del miembro Igualada de la Formación Santa María

En la zona de influencia de Montserrat toda la formación se carga en sedimentos rojos detríticos (T_{22-21}^{Ab-Ac}) hasta convertirse lateralmente en parte de los que serían la propia Formación Montserrat (T_{C22-31}^{Ab-A}). Este cambio puede observarse en la zona del Bruc, donde una boca del túnel, en sentido Barcelona, está excavada en la formación marina y la otra en su equivalente rojo.



Figura 3: Planta geológica esquemática de la zona de los túneles del Bruc

La Formación Santa María tiene una potencia máxima en Igualada, sobre todo debido a las margas grises, de 1190 m.

- **Eoceno superior**

A los materiales anteriores, se les superponen sedimentos que se mueven entre ambientes salobre-lacustres.

Así, en orden cronológico tenemos la siguiente alternancia:

Sobre las barras calizas (Miembro Tossa) suelen aparecer areniscas de ambiente costero (T_{c22-23}^{Ac}) que dan paso a una alternancia de areniscas y margas rojas (T_{c22-23}^{Ac}) (Formación Artés), o bien localmente a su equivalente de conglomerados y margas rojas (Formación Montserrat) (T_{c22-31}^{Ab-A}).

Por otro lado, sobre la sedimentación de margas grises (Margas de Igualada), encontramos, en general, niveles de anhidrita que hacia el Norte se convertirían en el término inicial o final de un ciclo evaporítico (Formación Salina de Cardona) (Y). Estos yesos afloran a lo largo de una línea entre San Martí de Tous y Ódena.

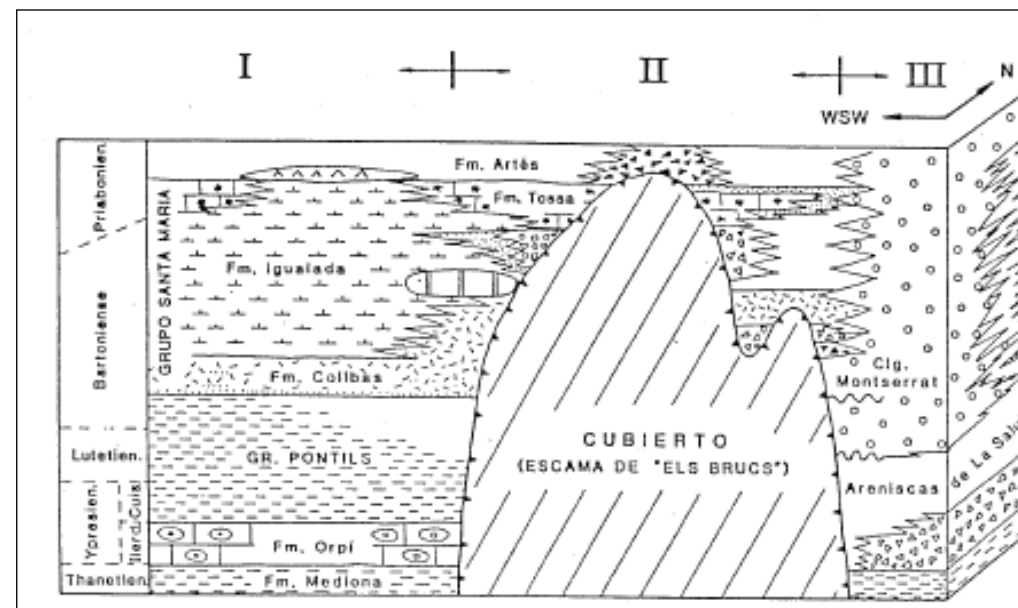


Figura 4: Esquema estratigráfico que muestra las relaciones temporales entre los diferentes materiales del Eoceno de la zona

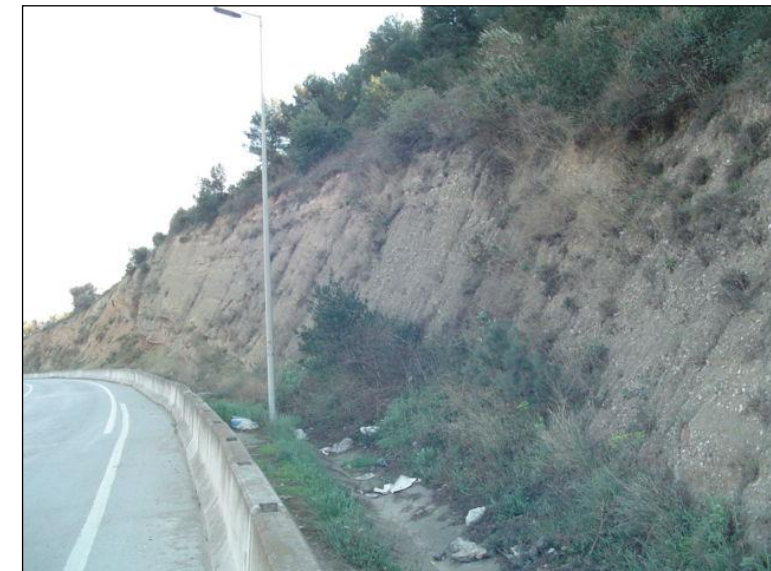
- **Neógeno (Mioceno)**

Sólo se encuentran los horizontes superiores del Mioceno formado exclusivamente por facies continentales. Hemos distinguido las siguientes litologías:

($T_{c11-c12}^{Bb-Bc1}$) Arcillas; areniscas y lentejones de conglomerados: las areniscas son amarillas, con ligeros tonos rojizos. En ellas se intercalan pequeños lentejones de arenas y a veces verdaderos nidos de conglomerados. Las arcillas incluyen frecuentemente nódulos calcáreos de color blanco.

($T_{c11-c12}^{Bb-Bc1}$) Conglomerados de color gris con matriz arcillosa y sin cementar: los cantos son de pizarra y caliza. La disposición sedimentaria de las capas de conglomerados es siempre en forma de canales, con el contacto inferior erosional. La dirección de aporte es sensiblemente N-S. Son, junto con las arcillas anteriores, depósitos de tipo torrencial.

($T_{c12}^{Bc1-Bc2}$) Arcillas rojas: En las inmediaciones de Piera aparece una facies de arcillas rojizas, que tienen su equivalente en otras zonas más el Este, en el sector del Vallés.



Fotografía 6: Areniscas, arcillas y conglomerados de color gris del Mioceno



Fotografía 7: Arcillas rojizas con gravas y costras de carbonato del cuaternario antiguo

2.5.3. Cuaternario

Se incluyen aquí, los depósitos de valle de los ríos y rieras (Qal) y las terrazas fluviales, las más importantes serían las del río Llobregat (Qt). Estos son principalmente limos, gravas y arenas.

También, y con representación notable, los depósitos torrenciales de origen coluvial (Qc) asociados a los relieves, fundamentalmente paleozoicos (arcillas con gravas y abundantes nódulos de carbonato que localmente forman costras).

En la zona que se extiende entre El Bruc y Esparreguera estos depósitos (Qc) forman un extenso manto sobre los materiales paleozoicos y miocénicos, que se ve diseccionado por el encajamiento de la actual red hidrográfica.

2.6.GEOMORFOLOGÍA

El sector estudiado se localiza entre la zona Oriental de la Depresión Central catalana y la Depresión del Vallés-Penedés, atravesando la Cordillera Prelitoral. Los materiales terciarios de la Depresión Central se inclinan suavemente dibujando un abombamiento que recubre el macizo paleozoico, no obstante, la erosión ha desmantelado parte de esta cobertera terciaria. El contacto se realiza a través de una gran flexión y no mediante una falla, lo que determina el tipo de relieve.

Entre este gran altiplano de la Depresión Central y la Cordillera Prelitoral se interponen un serie de pequeñas cuencas de erosión de marcada personalidad geográfica; una de ellas es la cuenca de Ódena excavada por el río Anoia, caracterizada por peculiares relieves en “Badlands”(cárcavas o abarrancamientos), debidos a los materiales que la constituyen (margas grises y azuladas). Entre estas pequeñas cuencas de erosión y la Cordillera Prelitoral, se intercalan relieves más abruptos constituidos por las masas de conglomerados que afloran especialmente en la zona de Montserrat, El Bruc y Castellolí. Estos conglomerados eocénicos determinan a consecuencia de la erosión diferencial, relieves tabulares, cuyos estratos se inclinan ligeramente hacia el interior de la cuenca.

Hacia la Cordillera Prelitoral el contacto se realiza mediante un cabalgamiento de los materiales paleozoicos sobre los terciarios dando lugar a un escarpe bastante marcado en el relieve.

Es interesante mencionar que las altitudes de los materiales terciarios, a menudo, son superiores a las del paleozoico, lo que nos da idea de un relieve invertido.

En la Depresión del Vallés-Penedés los estratos se caracterizan por su disposición subhorizonta (los buzamientos no superan los 10º) y sobre ella se ha producido el encaje de la actual red hidrográfica. Por esto, los relieves son poco importantes (no superan los 300 m) y solo existen escarpes en las cuencas de ríos y rieras.

Los depósitos del cuaternario antiguo que recubren los materiales de la Depresión Vallés-Penedés en la zona de Esparreguera, se encuentran también horizontales y también se han visto afectados por el encaje de la red hidrográfica actual.

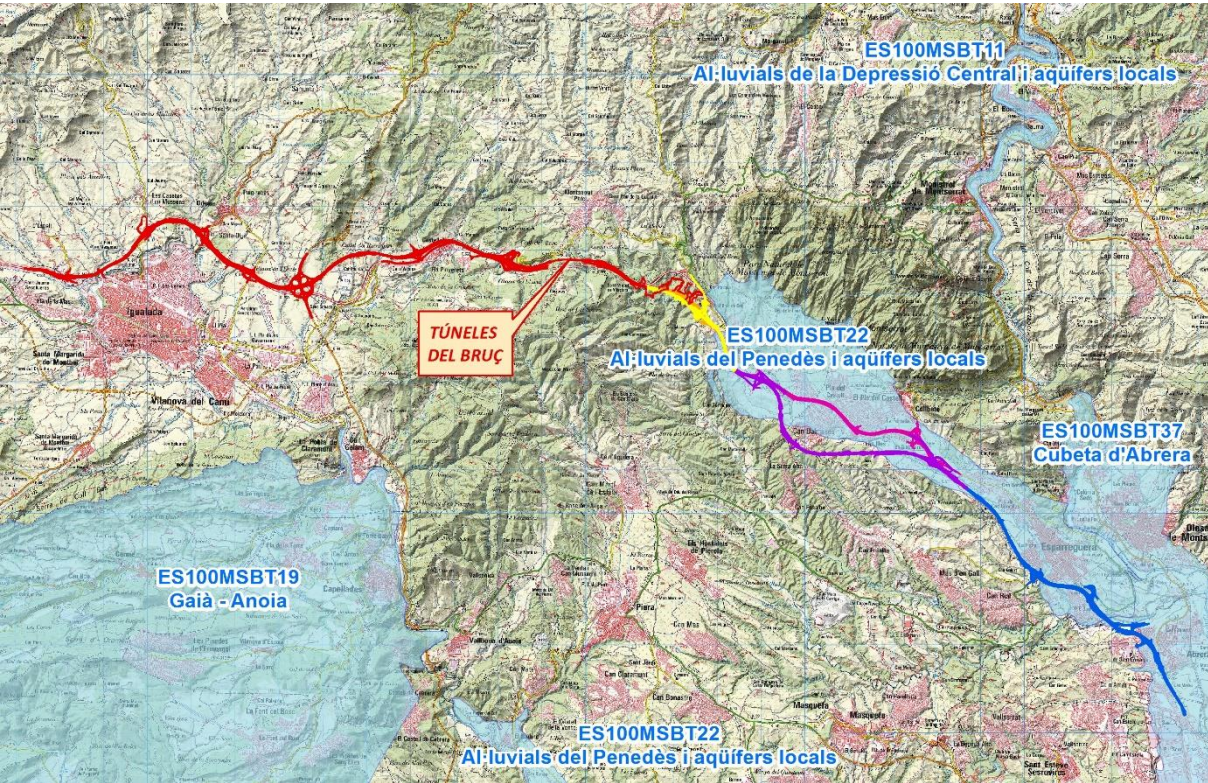
3. HIDROGEOLOGÍA

A continuación, se describen, tanto a nivel regional como a escala más local, las características hidrogeológicas del entorno donde se localiza el trazado.

3.1.MARCO HIDROGEOLÓGICO GENERAL

Desde el punto de vista hidrológico el trazado se sitúa atravesando la depresión central catalana o Cuenca del Ebro, la Cordillera Prelitoral y la fosa tectónica del Vallés-Penedés en su límite con la cuenca baja del río Llobregat.

Para dar respuesta a los artículos 5, 6 y 7 de la Directiva Marco del Agua (2000/60/CE; en adelante, DMA), en el año 2004 se llevó a cabo la caracterización de las masas de agua subterránea (en adelante MASb) en Cataluña.



Alternativas de Trazado	
Tramo 1	Tramo 3 - Alternativa Collbato3 Variante de Poblacion
Tramo 2 - Alternativa Bruc2 Sur	Tramo 3 - Alternativa Collbato1 Sobre Calzada
Tramos 2 - Alterntaiva Bruc1 Norte	Tramo 3 - Alternativa Collbato2 Falso Túnel
	Tramo 4

Figura 4: Situación del trazado junto con las masas de agua subterráneas. Elaboración propia.

En el entorno del presente proyecto se definieron tres masas de agua subterránea, por un lado, en el sector oriental del trazado la MASb Cubeta de Abrera, en la parte central la MASb Aluviales del Penedés y acuíferos locales y en el extremo más occidental del trazado, la MASb Gaià-Anoia.

3.1.1. Acuífero Gaià-Anoia

Este acuífero, se encuentra limitado al Norte por la riera de Carme, al NE por la lámina cabalgante del Bruc y el río Anoia y al SE por la falla del Vallés- Penedés. Al Oeste por la divisoria de aguas superficiales entre el Gaià y el Anoia. Si bien estructuralmente el bloque del Gaià queda limitado por la falla del Port d'Armentera.

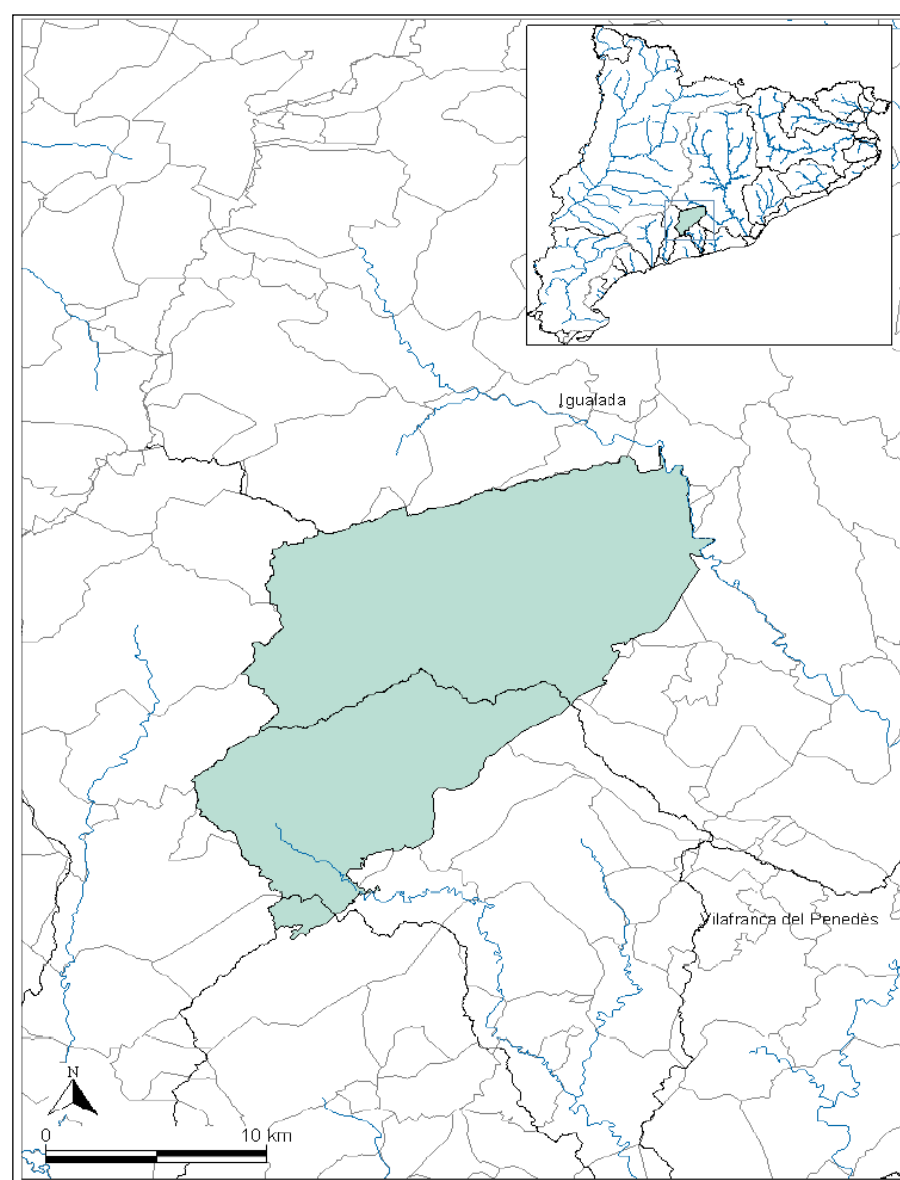


Figura 5: Situación del acuífero Gaià-Anoia (fuente ACA)

3.1.1.1. Características morfológicas e hidrodinámicas

Dentro de esta masa de agua se pueden diferenciar tres acuíferos principales, separados por formaciones litoestratigráficas de menor permeabilidad, superpuestos a lo largo de la columna estratigráfica, con una potencia conjunta de unos 300-350 metros. Son acuíferos libres y confinados con una circulación de agua predominantemente de tipo Cárstico.

Los niveles carbonatados Eocenos de la Formación Orpí conocidos también como calizas de alveolinas, constituyen el acuífero más moderno de la unidad. Las calizas con alveolinas se encuentran estratigráficamente separadas de los acuíferos del Triásico medio, por los materiales menos permeables del Paleoceno (Formación Mediona), constituidos por arcillas, arcillas arenosas y niveles conglomeráticos cementados con matriz arcillosa, y del Keuper (Triásico superior), formados por arcillas, margas y, localmente, niveles dolomíticos. Las calizas pueden encontrarse localmente confinadas por materiales arcillosos (Formación Pontils).

En todo el Macizo del Gaià, el Muschelkalk superior está separado estratigráficamente del Muschelkalk inferior por los niveles arcillosos del Muschelkalk medio.

La orogenia alpina provoca el plegamiento y la compartimentación en boques de las formaciones sedimentarias citadas anteriormente, poniendo en contacto, en determinados sectores de la unidad, los materiales paleozoicos y jurásicos con las series Triásicas y Paleógenas.

La estructura geológica resultante, una sucesión de pliegues con una inclinación de su eje hacia el NE y zonas con intensa fracturación, condiciona sobremanera el comportamiento hidrogeológico de los niveles acuíferos; especialmente en lo que se refiere su piezometría, así como la posición de las actuales zonas de descarga.

Los límites que definen esta masa de agua son de dos tipos: hidrodinámicos y geológicos.

Los hidrodinámicos son: en el oeste la divisoria de aguas superficiales entre cuencas del Gaià y de la Anoia; al este el curso del río Anoia que a la vez es un límite de tipo estructural puesto que coincide con la falla de cizalla que provoca un encabalgamiento de materiales paleozoicos sobre los materiales triásicos y cenozoicos según un sistema de fallas NE-SO correspondientes al límite de la Cordillera Pre-litoral Catalana y la Depresión del Vallès Penedès. Los límites de tipo estructural son: en el norte un límite donde otro sistema de fallas NE-SO separa la Cordillera de la Depresión del Ebro, provocando el hundimiento de los materiales calcáreos eocenos y mesozoicos bajo los depósitos terciarios de la depresión norte del Ebro. Finalmente en el sur existe un contacto que forma una de las estructuras principales del área de estudio: encabalgamientos paleozoicos y mesozoicos generados a partir de la falla del Vallès- Penedès, con una dirección NE-SO.

La única fuente de recarga es la lluvia infiltrada. La zona de recarga de la unidad Anoia se encuentra en las poblaciones de la Llacuna, Mediona, Santa Maria de Miralles y Orpí. Se distinguen tres zonas de recarga establecidas a partir de estudios isotópicos:

- 1) Altitud 600-750m. Drena agua hacia la zona no saturada de parte de las calcarenitas de alveolinas.

- 2) Altitud 650-700m. Corresponde a los altos topográficos del Muschelkalk superior que afloran al Sur de la Llacuna.
- 3) Altitud 475-580m. Afecta a los materiales del Keuper y Muschelkalk superior. Ubicada en el sinclinal de Mediona y la zona de la Llacuna-Rofes.

En cuanto a las zonas de descarga, se encuentran en los siguientes lugares en función del acuífero:

- 1) La caliza de alveolinas descarga a las diferentes fuentes y minas que se encuentran a lo largo de la riera de Carme.
- 2) Los acuíferos triásicos drenan principalmente hacia al Nordeste de manera que su flujo es drenado por las surgencias de Capellades. La principal surgencia es el lago del Molí de la Vila. Una parte del flujo Triásico es desviado hacia el Sureste y surge por las Deus.
- 3) El acuífero cretácico es poco conocido. Se considera que drena desde el Suroeste al Nordeste y las Deus sería su principal salida.

Teniendo en cuenta la variabilidad geológica espacial y en profundidad, la circulación predominante es de tipo Kárstico.

3.1.1.2. Piezometría

Este acuífero muestra oscilaciones importantes y relativamente rápidas del nivel piezométrico, provocadas por la variabilidad estacional de la principal, y posiblemente única recarga del acuífero, que es la infiltración de la lluvia. A partir de los puntos de control piezométrico para el área hidrogeológica, en su sector Este, se constata que hay áreas claramente surgentes, y de otras en las cuales la potencia de acuífero no saturado varía entre dos y más de veinticinco metros.

Según la piezometría se puede diferenciar una zona principal de recarga central y varias zonas de descarga. Entre la zona de recarga y las de descarga se establece un flujo subterráneo con una piezometría controlada por el gradiente hidráulico y la estructura tectónica del Macizo. Todo el ámbito de la Anoia, tanto en el caso del complejo Triásico del Muschelkalk superior y Keuper, como en el caso de las calizas de alveolinas, tiene unas isopiezas de sentido general SSO- NNE. Se considera que sus límites hidrogeológicos son aproximadamente los de las cuencas superficiales de la riera de Carme y del Mediona.

Toda la masa de agua de Gaià - Anoia, en el caso del complejo Triásico del Muschelkalk superior y Keuper, presenta un flujo subterráneo de dirección general SSO- ENE, pasando de los 550 msnm a la zona de la Laguna a los 320 msnm a la altura de Carme.

El flujo principal tiene una tendencia general de descarga en dirección a Capellades, Carme y la Torre de Claramunt, mientras que un flujo secundario presenta su dirección desde la Laguna hacia Los Manantiales en dirección S-SE.

En cuanto a la evolución de niveles, la relación entre estos y la precipitación se puede considerar directa. En líneas generales, se observa un descenso progresivo de los niveles de la unidad Anoia en

los últimos 30 años, a causa de dos factores: el descenso de las precipitaciones y el aumento de la presión extractiva.

3.1.1.3. Descripción de la zona no saturada

Dentro de la masa de agua, a su sector Este se constata que hay áreas claramente surgentes, y otros a las cuales la potencia de acuífero no saturado varía entre 2 y más de 25 metros al acuífero de las calizas Eocenas. El grosor de la zona no saturada a las áreas de recarga puede ser de unos 35 a 50 m.

3.1.1.4. Conexión con cauces superficiales

La única fuente de recarga es la lluvia infiltrada. El área de estudio está drenada principalmente por la riera de Carme y la riera de Mediona, los dos, afluentes del río Anoia. La zona de Capellades, principal zona de descarga del acuífero Triásico, junto a la riera de Carme desagua sus aguas directamente en este río que recoge además las aguas de lluvia de su cuenca.

La riera de Carme compilación principalmente las aguas de lluvia de su cuenca la cual tiene una superficie de 104 km² y las aguas de descarga de las fuentes del acuífero de las calizas de alveolinas.

La riera de Carme incorpora mayor superficie de cuenca y por tanto los caudales son mayores. La evolución de las dos rieras es similar en la mayoría de los casos (picos correlativos). Aun así, la riera de Mediona tiene un caudal de mantenimiento más constante pero menor que el de la riera de Carme, que muestra tendencias más decrecientes. Las aguas subterráneas que la riera de Mediona se lleva presentan un comportamiento más regular que las de la riera de Carme, donde el almacenamiento es mayor pero más variable.

El río Anoia, que recoge las aguas de todo el sistema, limita la zona de estudio. Su relación con la zona es puramente la de la recogida de las aguas de la riera de Carme, de las surgencias no consuntivas de Capellades, y de la riera de Mediona. El volumen de descarga (hm³) de las fuentes para un año medio en régimen influenciado (periodo 1970-2000) es:

- A la riera de Carme: 6,1 hm³
- Las surgencias de Capellades(El río Anoia): 5,5 hm³
- Los manantiales de la riera de Mediona : 2,4 hm³

3.1.2. **Acuíferos aluviales del Penedés y Acuífero local del Bruc- Esparreguera**

Esta masa de agua está situada principalmente en el Alto Penedès. Sigue el curso del río Anoia dentro de esta comarca desde Piera hasta a Martorell, así como la riera de Riudebitlles que es afluente del Anoia.

También incluimos aquí, la zona de los aluviales que se encuentran desde El Bruc (límite NO) hasta Esparreguera (límite SE).

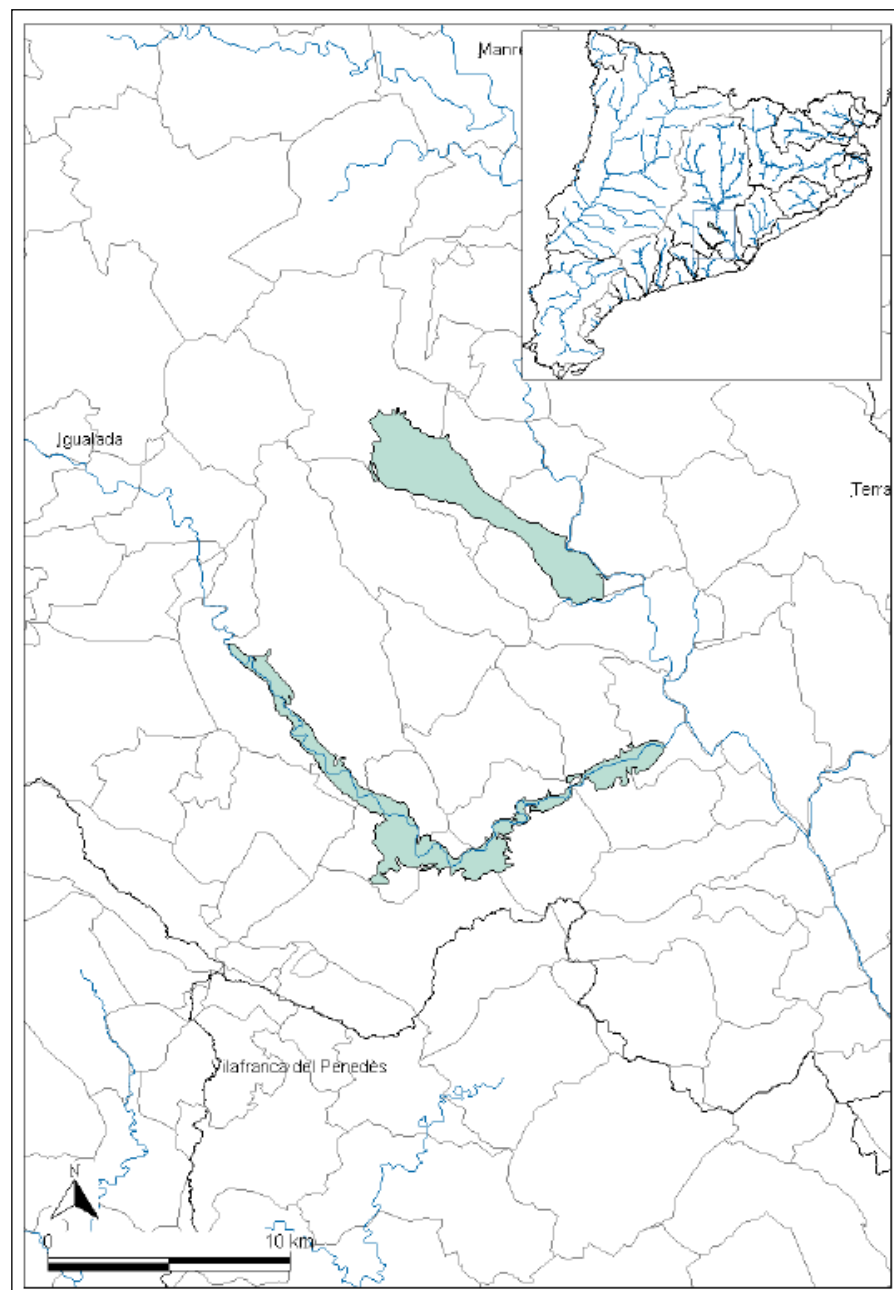


Figura 6: Situación de los acuíferos aluviales del Penedès y el Bruc-Esparreguera (fuente ACA)

3.1.2.1. Características morfológicas e hidrodinámicas

Estos dos acuíferos están compuestos por los materiales aluviales cuaternarios de los ríos Anoia, Foix y la riera de Riudebitlles (afluente del Anoia), así como los aluviales de la zona de Esparreguera y el Bruc.

Generalmente tienen pequeña extensión lateral (algunos centenares de metros) como máximo y una profundidad media de 6 a 8 m y máxima entre 15 y 20 m. Son depósitos aluviales constituidos principalmente por gravas y conglomerados en una matriz areno-limosa.

Son acuíferos libres, cuyos límites coinciden con los límites geológicos de las formaciones cuaternarias que constituyen los aluviales. El tipo de circulación de agua predominante es de tipo poroso.

La recarga es principalmente por infiltración de la precipitación. El aluvial del Anoia también se recarga por aportaciones laterales de los acuíferos miocenos de la depresión del Penedès, mientras que el aluvial de Esparreguera se recarga también por la infiltración del río Llobregat. La recarga también se realiza en afloramientos y en los contactos con materiales miocenos.

En cuanto a la descarga, el aluvial de Esparreguera es descargado por las extracciones y por el flujo subterráneo también al Llobregat hacia el valle de Martorell. El aluvial del Anoia descarga al río Anoia y probablemente una parte por flujo subterráneo hacia el Llobregat.

Teniendo en cuenta la variabilidad geológica espacial y en profundidad, la circulación predominante es de tipo poroso.

3.1.2.2. Piezometría

En los aluviales del Anoia y Riudebitlles, la superficie piezométrica sigue a grandes rasgos la topografía del curso del río. Únicamente en zonas donde hay pozos de bombeo que explotan este acuífero se pueden dar pequeños conos. A pesar de no tener datos más concretos, se puede suponer que pasa el mismo en los aluviales del Foix y Esparreguera.

3.1.2.3. Descripción de la zona no saturada

Como se ha descrito previamente, los depósitos tienen una profundidad media de 6 a 8 m y máxima entre 15 y 20 m. El grosor no saturado en metros es de 3 a 10 m dependiendo de las zonas.

3.1.2.4. Conexión con cauces superficiales

El río Anoia tiene una cuenca receptora de 726 km², a pesar de que solo la parte situada en el Alto Penedès forma parte de esta masa de agua. Tanto las ramblas del Avernó como la del Riudebitlles son afluentes del río Anoia. La Riera del Riudebitlles presenta la cabecera a la altura de la Laguna a la Cordillera Prelitoral, con una cuenca receptora de 100 km².

El río Foix tiene una cuenca receptora de 312 km² y una longitud de recorrido de 48 km. Suele llevar un caudal muy reducido en cabecera, con mínimos entre 5 y 10 l/s y máximos alrededor de 10-15 m³/s. Antes de su confluencia con el Arroyo de Pontons los caudales son prácticamente nulos, debido a las explotaciones próximas al río. En su tramo medio, a la altura de Santa Margarida i els Monjos, los caudales residuales y en particular los derrames de la depuradora de Vilafranca hacen aumentar los caudales.

3.1.3. Cubeta de Abrera

La Cubeta de Abrera se ubica al extremo más septentrional de la comarca del Bajo Llobregat y se incluye dentro del área fluviodeltaica del Llobregat haciendo de divisoria entre las áreas del Vallès y del Penedès, extendiéndose paralelamente en el curso del río Llobregat. El Cubeto de Abrera se emplaza perpendicularmente a la Depresión del Vallès-Penedès, paralela al cauce del río Llobregat

desde la cordillera Prelitoral a la cordillera Litoral. El acuífero correspondiente está constituido por los depósitos aluviales del río Llobregat, dispuestos en terrazas escalonadas a diferentes alturas según su antigüedad: las más bajas son las más recientes. Se disponen discordantes sobre los materiales paleozoicos o miocenos. Incluyendo el aluvial actual del río, pueden distinguirse cuatro niveles de terrazas.

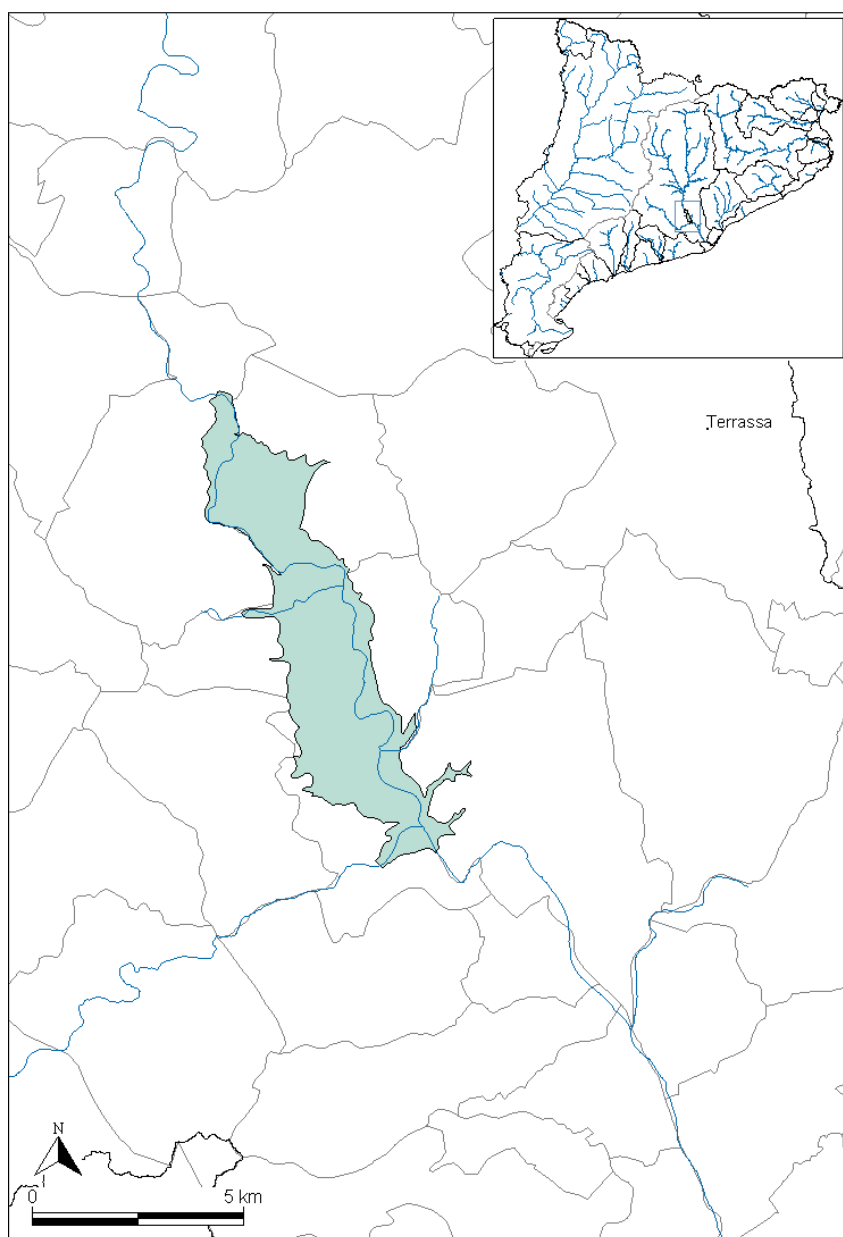


Figura 7: Situación geográfica de la masa de agua subterránea Cubeta de Abrera (fuente ACA).

3.1.3.1. Características morfológicas e hidrodinámicas

La Cubeta de Abrera se emplaza perpendicularmente a la Depresión del Vallès-Penedès, paralela al cauce del río Llobregat desde la cordillera Prelitoral a la cordillera Litoral. El acuífero está constituido por los depósitos aluviales cuaternarios del río Llobregat, dispuestos en terrazas escalonadas a

diferentes alturas según su antigüedad: las más bajas son las más recientes. Se disponen discordantes sobre los materiales paleozoicos o miocenos. Si se incluye el aluvial actual del río, pueden distinguirse cuatro niveles de terrazas. De mayor a menor antigüedad son las siguientes:

- Terraza superior (T3): formada por grabas y conglomerados de cemento calcáreo, presentando en el techo un nivel de brechas de matriz arcillosa y un nivel de limos. Su potencia puede ser en algunos casos considerable (de la orden de los 90 m) y suele estar asociada a depósitos de vertiente (coluviales) o a glacis poco desarrollados.
- Terraza media (T2): compuesta por grabas poco cimentadas con brechas y limos de poco grosor a techo. Su potencia es de 30 a 40 m. También aparece asociada a depósitos coluviales.
- Terraza baja (T1): presenta grabas sueltas cubiertas por una capa de limos arenosos de tonos ocre.
- Terraza inferior (T0): es el actual aluvial del río. Es por eso la más continua. Su potencia llega a ser de 30 m y está formada por grabas muy redondeadas y sueltas, de naturaleza predominantemente calcárea. Sobre ella aparece un nivel de 2 a 4 metros de potencia de limos arenosos.

Las dos terrazas que conforman básicamente el acuífero son la T0 (cauce actual del río) y la T1:

- Terraza baja (T1): constituida por grabas cubiertas por una capa de limos arenosos de coloración ocre. Corresponde a la terraza situada unos 2 metros por encima del nivel del río Llobregat. Equivale lateralmente a las unidades de la llanura aluvial y deltaica actual y a los depósitos de los cauces actuales.
- Terraza inferior (T0): gravas, arenas y lutitas. Representa los sedimentos más modernos: cauce actual, llanura de inundación ordinaria y terraza más baja, entre 0 y 2 metros por encima del nivel del río. En general estos depósitos se organizan en secuencias granodecrecientes, con gravas en la base y sedimentos cada vez más hasta hacia el techo.

Equivale lateralmente a los materiales que forman la llanura aluvial y deltaica actual y aparte de los depósitos de los cauces actuales

3.1.3.2. Características geométricas e hidrodinámicas

La masa corresponde a los materiales característicos de las terrazas cuaternarias del Llobregat: son depósitos sedimentarios no consolidados (gravas, arenas, limos, arcillas), que se encuentran encajados por materiales de más baja permeabilidad.

En el norte, limita con la masa de agua 12, Prelitoral Castellar del Vallès –La Garriga- Centelles; a ambos lados del curso fluvial, se distingue la Sierra de Rubió y la Sierra de la Vigueta, donde afloran las pizarras del Paleozoico. En segundo lugar se puede observar la disposición de los materiales del Mioceno, a ambos lados del río Llobregat. En el sur, se encuentra en contacto con la masa de agua 38, Cubeta de San Andreu y Vall baja del Llobregat. Al este limita con la masa de agua 22, aluviales del Penedès.

La recarga se origina por infiltración del agua de lluvia, por los retornos del riego, por entradas laterales desde otras masas de agua subterránea y a través de cauces superficiales:

- Infiltración de lluvia: Se considera que la infiltración corresponde al 25-30% de la precipitación, unos 175 mm/año.
- Retornos de riego: Los retornos de riego ha sido una componente que, atendido el progresivo abandono de las explotaciones agrícolas, ha ido menguando significativamente en los últimos 30 años.
- Entradas laterales: Entendemos como entradas laterales los aportes que recargan el sistema del Cubeto de Abrera a través de su contorno. Los principales materiales en los cuales se encuentra encajado el sistema son formaciones del Mioceno, por estos materiales se toma un valor de 4,2 hm³ como entrada lateral, resultado de considerar un área de influencia de 70 km² y una lluvia útil de 60 mm. Los valores promedio de entrada la MASb Aluvial de la Anoia en el periodo 2000 – 2003 fueron de 1,76 hm³ anuales . Los aportes a través de la MASb Cubeta de Abrera no han sido cuantificados pero se estimó un valor promedio de entrada de en el periodo 2000 - 2003 es de 1,12 hm³ anuales.
- Recarga desde cauces superficiales: La recarga del río es la principal componente de entrada al sistema y la que presenta mayor dificultad para ser cuantificada. Se estima un valor de 20 hm³.

Los bombeos constituyen la principal fuente de descarga de esta masa de agua subterránea.

Teniendo en cuenta la variabilidad geológica espacial y en profundidad, la circulación predominante se considera de tipo poroso.

3.1.3.3. Piezometría

Entre las piezometrías de 1970 y 1985 se observa un descenso generalizado de entre 2 y 4 metros aguas arriba de la confluencia del río Llobregat con el torrente del Morral. En el sector más en el sur (polígono industrial de Martorell) las diferencias no son tan grandes, y se puede observar un descenso en las curvas piezométricas de entre 1 y 2 metros.

Las zonas de mayor depresión de niveles se localizan en la zona de influencia de los pozos situados en Olesa y Abrera y a Martorell. Según las piezometrías, el comportamiento de los niveles de la zona situada aguas abajo de la confluencia del río Llobregat con el torrente del Morral, han seguido un comportamiento ligeramente diferente al del resto de la Cubeta.

Las diferencias de la superficie piezométrica entre mayo de 1995 y mayo de 2001 responden a hechos puntuales. En la zona más en el norte, en Olesa de Montserrat, los niveles disminuyen unos 2 metros en el mencionado periodo. En segundo lugar se plantea la desaparición del cono de descensos a la zona de los pozos “La Torre” del Ayuntamiento de Martorell, como consecuencia de la disminución en los bombeos de estos pozos.

Sin embargo, el histórico de extracciones de los pozos del Ayuntamiento de Martorell no muestra una reducción excesivamente importante con 2,2 hm³ durante el año 1999, 1,9 hm³ durante el 2000 y 2,7 hm³ el 2001. Hay que considerar pues que el cono no habría desaparecido.

Durante la década de los 80 se observa una tendencia descendente, generalizada en toda la masa de agua. A principios de los 90 (1991 y 1992) se observa cierta recuperación de niveles debido a una alternancia de episodios de grandes avenidas con considerables subidas de nivel y periodos con caudales poco generosos y progresivo descenso de niveles.

Los niveles experimentan aumentos notables durante épocas de crecida de caudal del río Llobregat y es durante periodos secos que siguen una tendencia decreciente (como se observa entre los meses de febrero a noviembre de 1997 o entre enero de 1998 y junio de 2000).

La salida hacia el Cubeto de San Andreu se ha calculado considerando una sección de 2200 m² a la altura del Congost de Martorell, y con un gradiente de 0,004.

3.1.3.4. Características de la zona no saturada

La zona no saturada se ha estimado de la orden de 5 a 7 m de potencia en función del régimen de avenidas del río Llobregat y de las extracciones de los pozos existentes. Las terrazas están constituidas por gravas y arenas pero en la parte superior presentan una capa de limos arenosos de permeabilidades medianas o bajas. Estos materiales más superficiales protegen a la masa de la entrada superficiales de contaminantes.

3.1.3.5. Conexión con cauces superficiales

La cuenca de drenaje del Riu Llobregat, antes de entrar a la Cubeta, tiene una extensión de unos 3423 km² y los principales cursos superficiales que acontecen afluentes del Riu Llobregat a su paso por la Cubeta de Abrera son:

- El Río Anoia; afluente del Llobregat en el tramo final del Cubeto (municipio de Martorell). Su cuenca de drenaje es la más extensa de los cursos que tributan el Llobregat al Cubeto de Abrera con un total de 900 km².
- El Torrente de Magarola; drena una cuenca próxima a los 100 km² y es afluente del Llobregat por su margen derecho a la altura del municipio de Abrera.
- El Torrente del Morral; con una cuenca de drenaje de 66 km², afluente del Llobregat por el margen izquierdo a las proximidades del núcleo de Martorell.
- Los torrentes de Sauces y de Lobos que se ha considerado dentro de una misma *sub-cuenca de drenaje de 25 km² de extensión.

La evaluación de la parte del caudal del río que se infiltra en la masa de agua subterránea es difícil de realizar, entre otras cuestiones, porque es función de las extracciones que llevan a cabo al acuífero. No obstante, la infiltración del río en el acuífero se estima en turno de los 20 hm³/a.

3.2.PARÁMETROS HIDROGEOLÓGICOS

En la campaña geológico – geotécnica realizada en septiembre de 2020, se ejecutaron 3 sondeos en la zona del túnel en mina proyectado (S-1, S-2 y S-3). En ellos se procedió a realizar 4 ensayos tipo Lugeon según las cotas aproximadas de dicha estructura. En la siguiente tabla, se resumen los resultados; por su parte, las actas originales, se adjunta en el Anexo 3 al presente documento.

SONDEO	ENSAYO	TRAMO	FECHA	LITOLOGÍA	U. L.	K (cm/s)	K (m/s)
S-1	L-1	37.00 – 42.00 m	30/11/2020	Margocalizas	2.52	2.52E-05	2.52E-07
	L-2	49.00 – 54.00 m	02/12/2020	Margocalizas (nivel intermedio de calizas gris azuladas con fósiles hacia los 51 m)	2.36	2.36E-05	2.36E-07
S-2	L-1	37.00 – 42.00 m	19/11/2020	Calizas gris azulada con fósiles	11.14	1.11E-04	1.11E-06
S-3	L-1	16.00 – 21.00 m	24/11/2020	Calizas gris azulada con fósiles	12.79	1.28E-04	1.28E-06

Resumen de los resultados de los ensayos de permeabilidad puntual efectuados durante la campaña (elaboración propia)

Como puede apreciarse en ella, se identifican dos tipos de materiales, si bien ambos se encuentran integrados en la misma unidad geológico – geotécnica, la unidad Tm_{22-21}^{Ab-Ac} Margas grises fosilíferas.

- Las margocalizas presentan una permeabilidad media de 2.44E-07 m/s (2.11E-02 m/día), con un máximo de 2.52E-07 m/s (2.18E-02 m/día).
- Las calizas grises con fósiles, presentan una permeabilidad media de 1.19E-06 m/s (1.03E-01 m/día), lo que supone prácticamente un orden de magnitud más que la presentada por las margocalizas. El valor máximo corresponde a 1.28E-06 m/s (1.11E-01 m/día).

La permeabilidad media de todo el conjunto de la unidad se cifra en 5.40E-07 m/s.

No se dispone de datos de permeabilidad de la unidad la unidad T_{22-21}^{Ab-Ac} Conglomerados heterométricos de color rojo, arcillas y areniscas, subyacentes a la unidad anterior. Éstos únicamente se ven afectados por la excavación del Falso Túnel a continuación del Túnel en mina.

Estos valores de permeabilidad pueden resultar localmente algo más altos, en tramos de mayor densidad de fracturación o diaclasamiento. Los ensayos puntuales en sondeos tienden a evaluar la permeabilidad de la matriz rocosa, pudiendo presentar problemas de ejecución cuando existen zonas abiertas (fracturas abiertas, karstificación relevante, etc.) en el intervalo ensayado.

Tomando como referencia, nuevamente, la tabla de la *Clasificación de terrenos* incluida en Custodio, E. & Llamas, R. Ediciones Omega (1983), se encuentra que los valores obtenidos para las margocalizas, en torno a 2.5E-7 m/s (equivalentes a 2.16E-2 m/día), sitúa a estos materiales entre los **Acuíferos pobres** y los **Acuitardos**. Por su parte, los valores correspondientes a los términos más calizos, en torno a 1.2E-6 m/s (equivalentes a 1.04E-01 m/día), lo hacen dentro de la categoría de **Acuífero Pobre**.

CLASIFICACIÓN DE TERRENOS POR LA PERMEABILIDAD (Custodio, E. & Llamas, R. Ediciones Omega, 1983)										
PERMEABILIDAD (m/día)	10 ⁻⁶	10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻³	10 ⁻²	10 ⁻¹	1	10	10 ²	10 ³
CLASIFICACIÓN PERMEAB.	Impermeable		Poco Permeable		Algo Permeable		Permeable		Muy Permeable	
CLASIFICACIÓN ACUIFERO	Acuícludo		Acuitardo		Acuífero Pobre		Acuífero Regular-Bueno		Acuífero Excelente	
TIPO DE MATERIAL	Arcilla compacta Pizarra Granito		Limo arenoso Limo Arcilla limosa		Arena fina Arena limosa Caliza fracturada		Arena limpia Grava y arena Arena fina		Grava limpia	

Clasificación de terrenos según su permeabilidad (tomado de Custodio, E. & Llamas, R. Ediciones Omega, 1983).

De forma general, la unidad geológica en el que emplaza el túnel proyectado, se encuentra integrada por una alternancia de margocalizas con niveles de calizas bioclásticas; estos últimos, constituirían niveles algo más permeables que los primeros (de baja permeabilidad). Así pues, el conjunto puede considerarse como un acuífero multicapa, subhorizontal, confinado o semiconfinado (según los tramos), cuya permeabilidad estaría asociada a tramos fisurados (permeabilidad secundaria) o al escaso desarrollo kárstico que puedan presentar los tramos más calizos en algunas zonas (permeabilidad terciaria).

En la inspección geológica sobre el terreno se ha observado una predominancia de los términos más calizos hacia techo de la unidad (observaciones efectuadas en la boca de entrada, según kilometración, que presenta la mayor cota topográfica). Hacia el muro, por el contrario, predominarían los términos más margocalizos (observaciones efectuadas en la boca de salida, según kilometración, de cota topográfica inferior). Esto resultaría coherente con las testificaciones de los sondeos y con los resultados de los ensayos de permeabilidad comentados anteriormente. De esta forma, los ensayos lugeon practicados en los sondeos S-2 y S-3, más próximos al emboquille de entrada, habrían registrado la permeabilidad de los términos dominantes a techo -las calizas bioclásticas-, mientras que en los practicados en el sondeo S-1, cercano al emboquille de salida, se habría evaluado la permeabilidad de las margocalizas predominantes a muro.

La transición entre un carácter y otro dentro, de la unidad sería muy gradual, sin advertirse un contacto neto específico. No obstante, la identificación de manantiales en la zona del emboquille de salida de los túneles ya existentes, resultaría ser un indicio de esta transición (revelando un contraste de permeabilidades).

Por lo que respecta al resto del trazado, se dispone de la información cualitativa suministrada por el **“Mapa Litoestratigráfico y de Permeabilidades a escala 1:200.000”**, así como por el **“Mapa Hidrogeológico a escala 1:200.000”**, ambos elaborados por **IGME (marzo 2015)**.

Con respecto al *Mapa de Permeabilidades*, el tramo más occidental del trazado, hasta el PK 554+000, discurre por materiales de **permeabilidad baja**, fundamentalmente detríticos (clase **D-B**), aunque marginalmente, también carbonáticos (**C-B**). Estos se identifican con la clase **Illa Formaciones detríticas, volcánicas, carbonatadas y cuaternarias de permeabilidad baja** del *Mapa Hidrogeológico*.

A partir de este punto, y hasta el emboquille de los Túneles del Bruç (PK 564+013) el trazado se adentra en materiales carbonáticos también de baja permeabilidad (clase **C-B**), que siguen perteneciendo a la categoría hidrogeológica **Illa**. En algunos márgenes se observan materiales carbonatados de

permeabilidad alta (clase **C-A**) a cotas elevadas, si bien éstos no llegan a ser afectado por la traza, que se desarrolla a cota inferior al contacto.

Según el *Mapa de Permeabilidades*, la geología de superficie por la que discurre el túnel propuesto se corresponde con materiales detríticos de **permeabilidad media (D-M)**, si bien, por medio de los sondeos practicados, en profundidad dicha estructura se emplaza en materiales calizos y margocalizos. En el *Mapa Hidrogeológico*, éstos se corresponden con la categoría **I Ib Formaciones detríticas y cuaternarias de permeabilidad media**.

Entre los PPKK 567+500 y 568+400, el trazado se emplaza en materiales metadetríticos de **permeabilidad baja** (clase **M-B**). En el *Mapa Hidrogeológico*, éstos se corresponden con la categoría **IIIb Formaciones generalmente impermeables o de muy baja permeabilidad y formaciones metadetríticas, ígneas y evaporíticas de permeabilidades baja y media**.

Seguidamente, hacia el Este, el trazado discurre sobre materiales cuaternarios. La primera parte, hasta el PK 577+000, lo hace sobre materiales de **permeabilidad muy alta** (clase **Q-MA**), que se

corresponden con la clase **I Ia Formaciones detríticas y cuaternarias de permeabilidad alta o muy alta, así como formaciones volcánicas de permeabilidad muy alta** del *Mapa Hidrogeológico*. El último tramo discurre por materiales cuaternarios de **permeabilidad media** (clase **Q-M**), correspondientes a la categoría **I Ib Formaciones detríticas y cuaternarias de permeabilidad media** del *Mapa Hidrogeológico*.

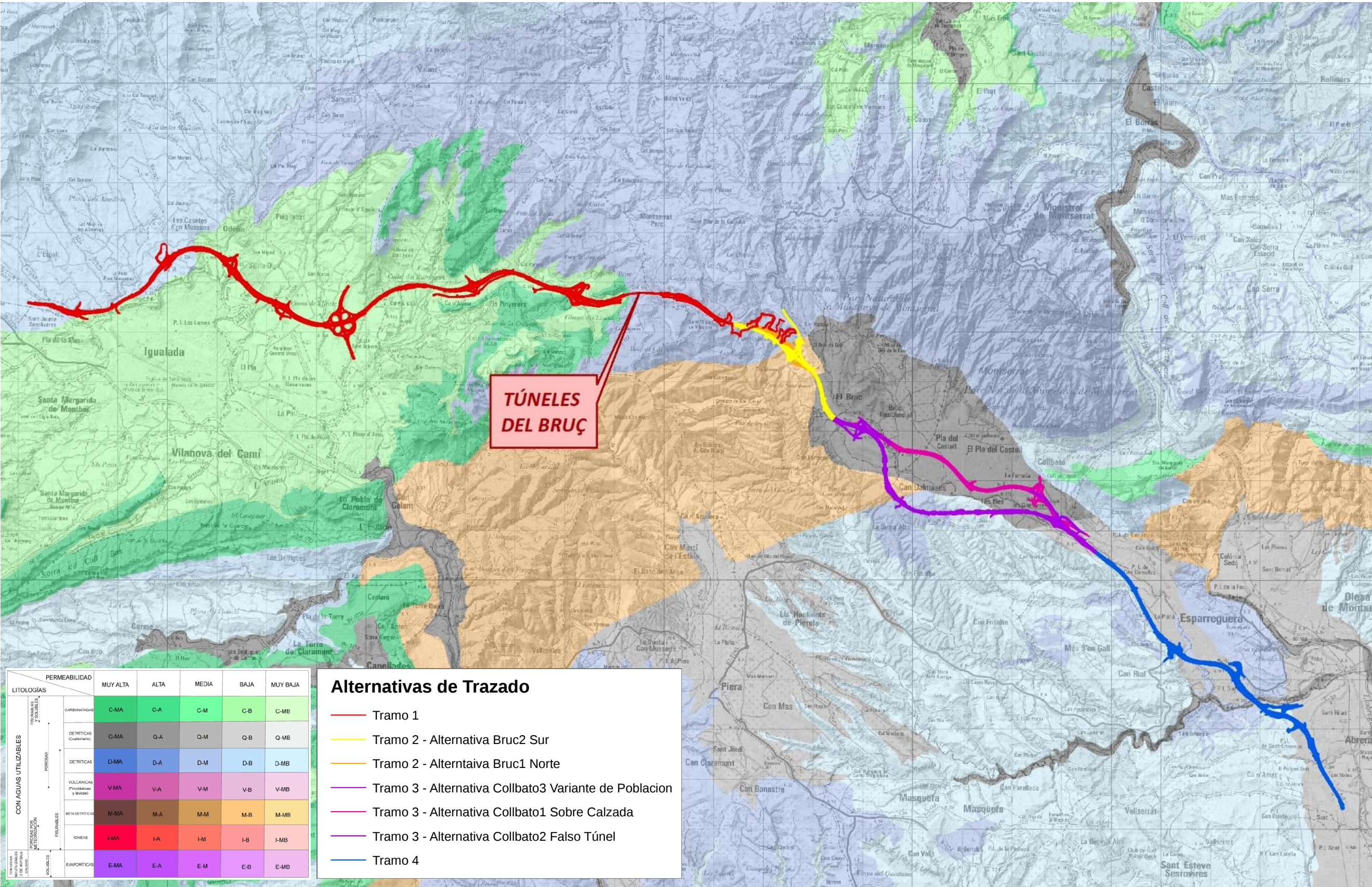


Figura 8: Trazado sobre Mapa de Permeabilidades a escala 1:200.000. (Elaboración propia a partir de la información procedente de IGME).

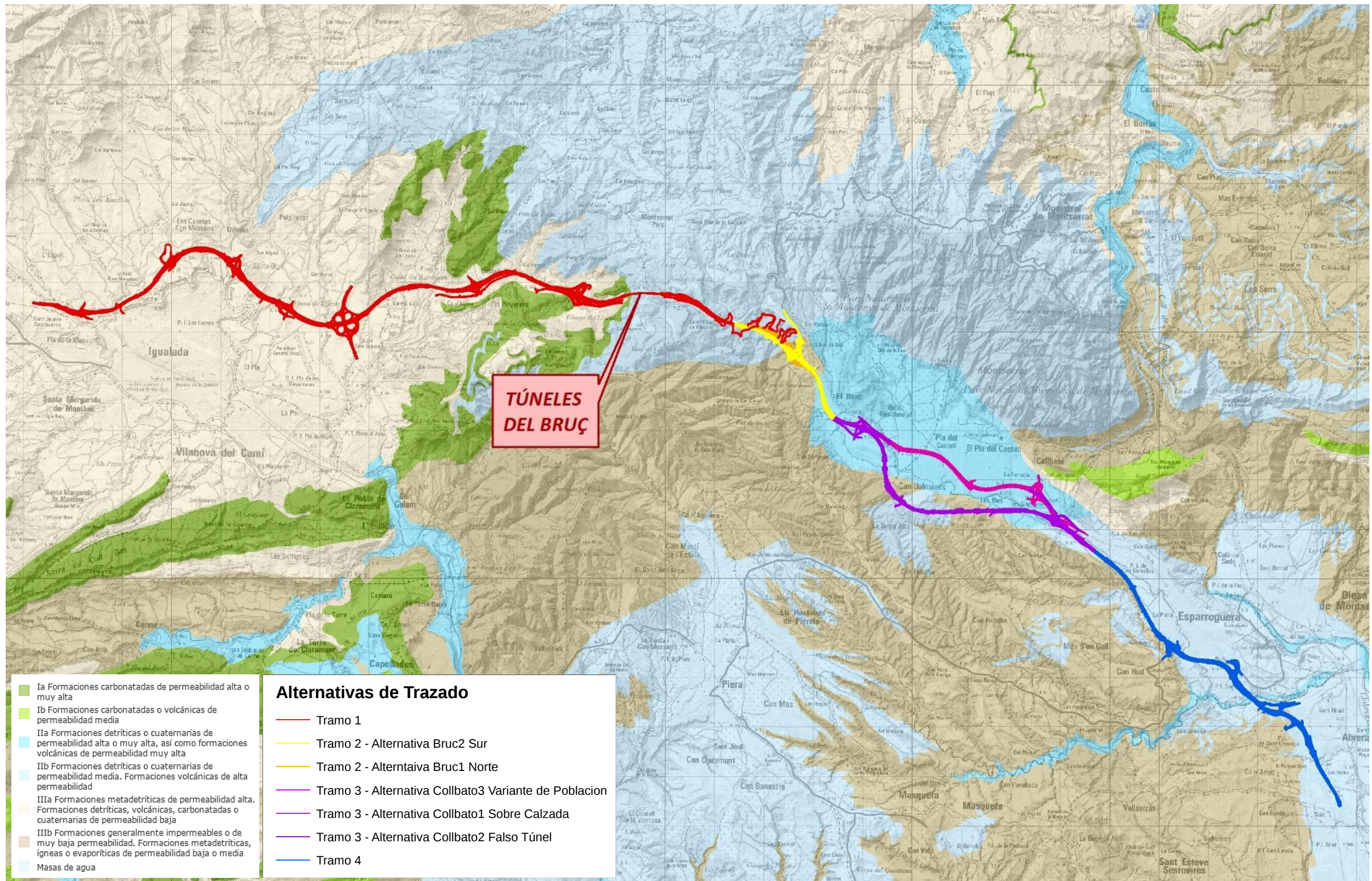


Figura 9: Trazado sobre Mapa Hidrogeológico a escala 1:200.000. (Elaboración propia a partir de la información procedente de IGME).

3.3.NIVELES FREÁTICOS

También en la campaña geológico – geotécnica realizada en septiembre de 2019, se procedió a realizar un breve seguimiento freático en los sondeos ejecutados (S-1, S-2 y S-3) en la zona del túnel en mina proyectado. En la siguiente tabla, se resumen los datos recabados.

SONDEO	Cota emboquille (msnm)	FECHAS				
		01/12/2020	03/12/2020	04/12/2020	09/12/2020	10/12/2020
S-01	594			27,50 m (566,5 msnm)	27,57 (566,43 msnm) (se baja a 31,30 m)	27,77 m (566,23 msnm)
S-02	595	No se puede purgar, se queda fijo a 25,80 m (569,2 msnm)	25,80 m (569,2 msnm)	25,80 m (569,2 msnm)	25,80 m (569,2 msnm)	25,80 m (569,2 msnm)
S-03	585	Se purga y se deja en 32,00 m (553 msnm)	30,30 m (554,7 msnm)	29,90 m (555,1 msnm)	29,66 m (555,34 msnm)	29,66 m (555,34 msnm)

Seguimiento de niveles freáticos efectuado durante la campaña (elaboración propia)

Como puede apreciarse, la máxima cota piezométrica se alcanza en el entorno del sondeo S-2. Esto resulta lógico considerando que dicha prospección se encuentra en la parte media de la estructura, donde la montera es máxima. Hidrogeológicamente se ubica en un interfluvio, que se correspondería con una zona de recarga local.

3.4.INVENTARIOS DE PUNTOS DE AGUA

A continuación, se resumen los inventarios de puntos de agua, usos y aprovechamientos. La información ha sido extraída de la Agencia Catalana del Agua (ACA), la base de datos de puntos de agua del Instituto Geológico y Minero Español (IGME) así como la información disponible en la Base Cartográfica Nacional 1:25.000 del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG). Además, se han incorporado al mismo los piezómetros de la red de seguimiento.

Para llevar a cabo el análisis de proximidad a las obras se han proyectado dichos inventarios junto con el trazado del proyecto mediante herramientas de información geográfica (ArcGIS) y se han seleccionado los puntos de agua situados a menos de 100 m del trazado.

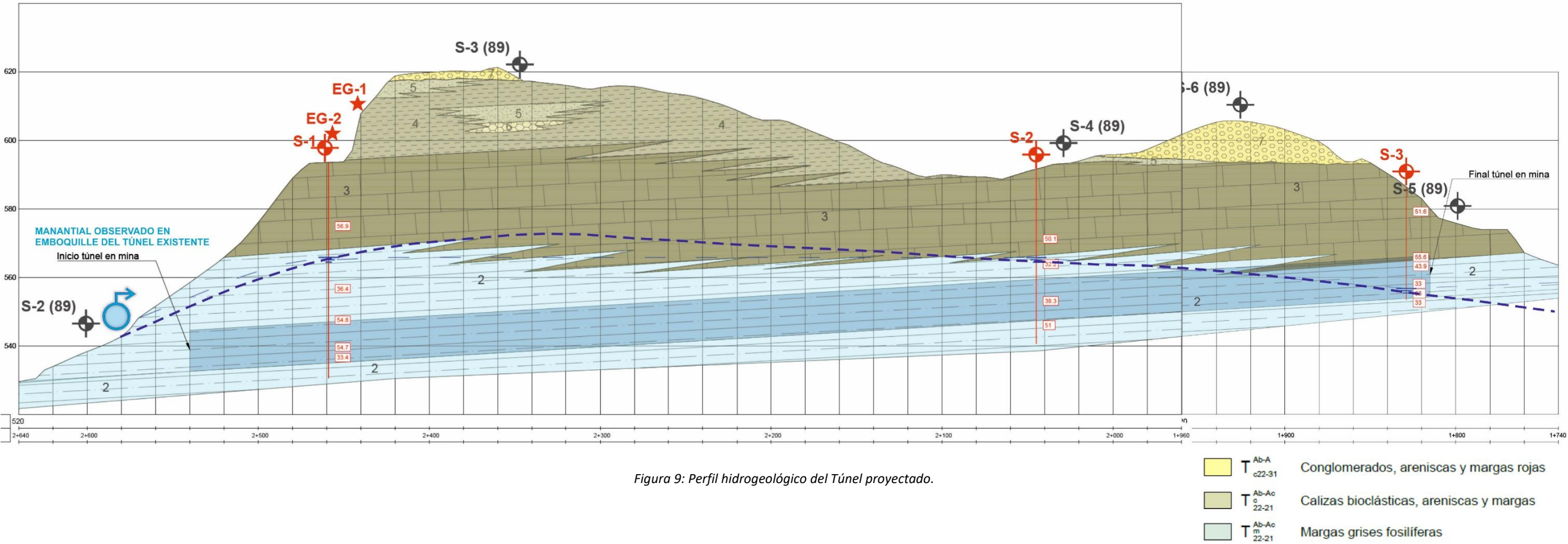


Figura 9: Perfil hidrogeológico del Túnel proyectado.

3.4.1. Inventario de puntos de agua del Instituto Geológico y Minero Español

A partir de la Base de Datos Hidrogeológicos del IGME se han seleccionado los puntos de agua situados en dicho ámbito de influencia. Tan solo dos puntos de agua del inventario de ese inventario se sitúan a 100 m del trazado. En la tabla que se muestra a continuación se resumen las características:

Id	Naturaleza	Cota(m)	Provincia	Municipio	Utilización	X (ETRS89)	Y (ETRS89)
3515-3-0008	Manantial	390	Barcelona	CASTELLOLI	No se utiliza	1,70467144	41,601366
3515-3-0010	Manantial	960	Barcelona	CASTELLOLI	No se utiliza	1,68523186	41,5984163

3.4.2. Base Cartográfica Nacional a escala 1:25.000 del CNIG Base Cartográfica Nacional a escala 1:25.000 del CNIG.

Las hojas topográficas a escala 1:25.000 que constituyen la Base Cartográfica Nacional, se encuentran públicamente disponibles en formato vectorial. Dicho formato se compone de varias capas temáticas en formato SHP (ArcView).

Una vez consultada, tan solo se ha encontrado un punto de agua dentro de la zona acotada al estudio, bajo el código de identificación 78288717. . En la tabla que se muestra a continuación se resumen las características:

ID	Nombre	X	Y	Fecha Alta	Naturaleza
78288717	Font de la Cova	397327	4604868	25/11/2015	Manantial

3.4.3. Información procedente de la Agencia Catalana del Agua

A partir las capas cartográficas disponibles en la ACA, se han descargado los inventarios de manantiales, piezómetros y registros de aguas que se encuentran bajo su demarcación.

En la tabla que se muestra a continuación se resumen las características del Registro de aguas, de pozos y sondeos situados en la zona de influencia del trazado:

ID	Propietario	Tipo	Municipio	UTM_X	UTM_Y
19343902	AIGÜES D'ESPARREGUERA VIDAL, SA	Captación	ESPARREGUERA	405732,97	4598325,87
19349292	AJUNTAMENT DE COLLBATÓ	Captación	COLLBATÓ	401697,39	4601771,5
19349229	AIGÜES D'ESPARREGUERA VIDAL, SA	Captación	ESPARREGUERA	405688,97	4598383,87
19356601	USINVER, SA	Captación	COLLBATÓ	400626	4602531,91
19361180	FERNÁNDEZ HUGUET, JOSÉ MARIA	Captación	ÒDENA	385098,7	4606564,33
19360056	CASTILLO EXPÓSITO, ANA	Captación	ÒDENA	383075,59	4605454,05
19365543	ROVIRA CAPELLA, JOAQUIM	Captación	COLLBATÓ	402900,99	4601370,89
19370293	FERNÁNDEZ HUGUET, FRANCISCO	Captación	ÒDENA	385098,7	4606564,33
19370294	FERNÁNDEZ HUGUET, PATRICIO	Captación	ÒDENA	385098,7	4606564,33
19370401	MORENO GARCIA, JUAN	Captación	ÒDENA	383075,59	4605454,05

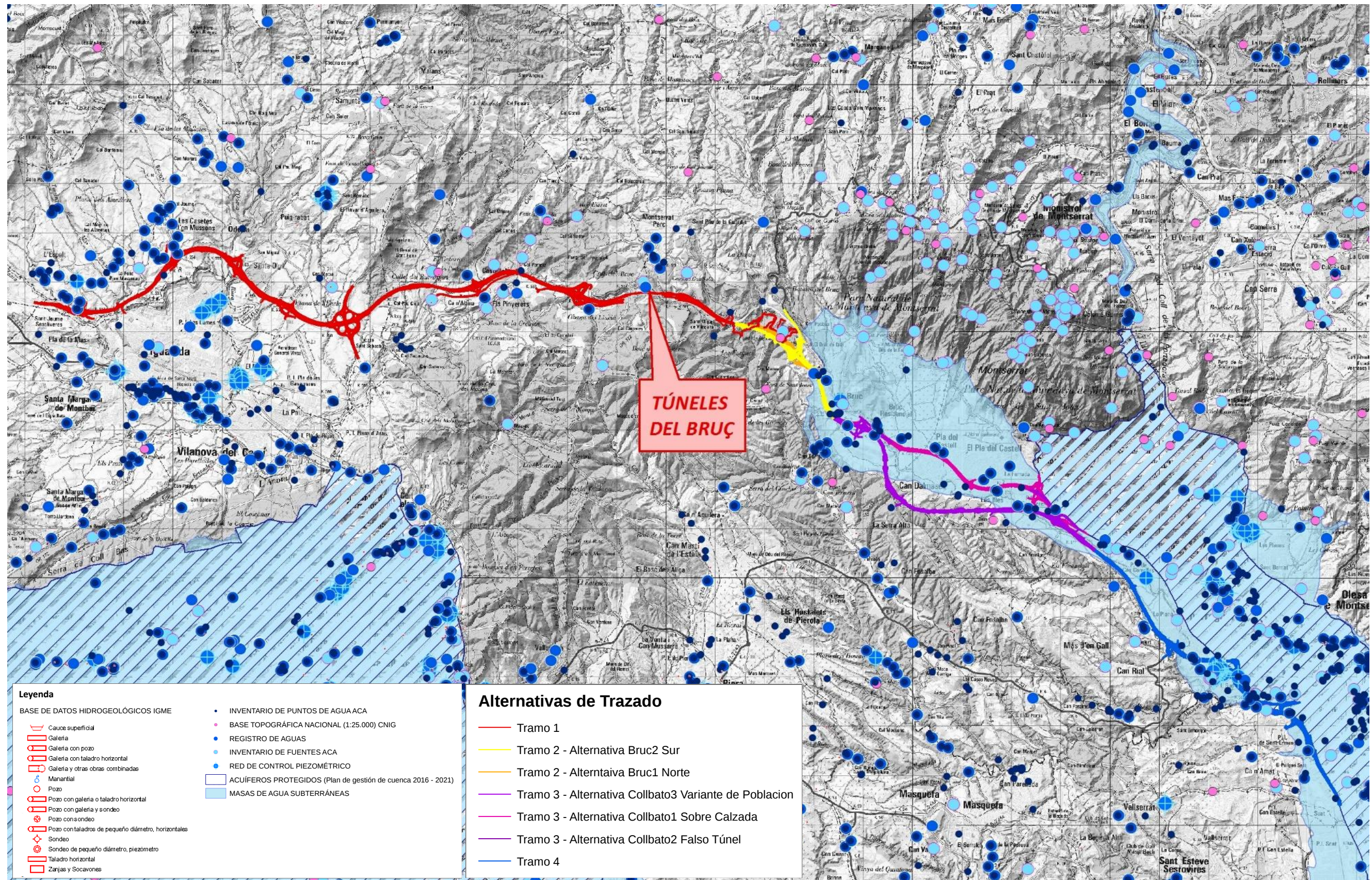
ID	Propietario	Tipo	Municipio	UTM_X	UTM_Y
19375695	LLEIDA NORT, SL	Captación	ABRERA	408016,96	4596484,85
19375697	RIBAS MARSAL, JOAN	Captación	ABRERA	406973,97	4597373,85
19375698	GENERAL DE GASOLINERAS, SL	Captación	ABRERA	408016,96	4596484,85
19375143	TRUEBA MARTÍNEZ, JOSE	Captación	ABRERA	407649	4597245,8
19383394	PIEDRA NATURAL LEIRO, SA	Captación	HOSTALET DE PIEROLA	399239	4602893,92
19386823	BANCO BILBAO VIZCAYA ARGENTARIA, SA	Captación	HOSTALET DE PIEROLA	398681	4603080,93
19386830	CEFRUSA, SERVICIOS FRIGORIFICOS, SA	Captación	HOSTALET DE PIEROLA	398681	4603080,93
19386436	ARGIMODE, SA	Captación	ESPARREGUERA	406840,97	4597525,86
19388062	PUNSOLA FABREGAT, MANUEL	Fuente	BRUC, EL	398006	4604135
19392798	AJUNTAMENT DE COLLBATÓ	Captación	COLLBATÓ	401720,39	4601752

En la tabla que se muestra a continuación se resumen las características de los piezómetros situados en la zona de influencia del trazado:

ID	Nombre	UTM_X	UTM_Y	Municipio	MASb	Acuífero
15642694	PIEZ.CR II JUNTA D'AIGÜES	406250,97	4598175,86	ESPARREGUERA	Detrític neogen del PenedèsAl·luvials del Penedès i aquífers locals	Aquífer detrític quaternari d'Esparreguera
15643151	PIEZÒMETRE BENZINERA REPSOL - ESPARREGUERA	406610	4597990	ESPARREGUERA	Detrític neogen del PenedèsAl·luvials del Penedès i aquífers locals	Aquífer detrític quaternari d'Esparreguera
15643377	PIEZ.DEL PONT	406847,97	4597579,86	ESPARREGUERA	Cubeta d'Abrera	Aquífer al·luvial de la cubeta d'Abrera
15643659	PIEZ.CR III JUNTA D'AIGÜES	406148,97	4598268,86	ESPARREGUERA	Detrític neogen del PenedèsAl·luvials del Penedès i aquífers locals	Aquífer detrític quaternari d'Esparreguera

Por último, en la siguiente tabla que se muestra se resumen las características de los manantiales situados en la zona de influencia del trazado:

ID	Nombre	Tipo	Municipio	Cuenca	MASb	Uso
15642131	FONT PUNSOLA	Fuente	El Bruc	Cuencas internas de Cataluña. El Llobregat		Abastecimiento
15642771	MINA RESSOL	Mina	Abrera	Cuencas internas de Cataluña. El Llobregat	Aluviales del Penedes	Ambiental
15643463	DREN-1 ESQUERRA	Mina	Esparraguera	Cuencas internas de Cataluña. El Llobregat	Cubeta de Abrera - Aluviales del Penedes	
15643464	DREN-2 MIG	Mina	Esparraguera	Cuencas internas de Cataluña. El Llobregat	Cubeta de Abrera - Aluviales del Penedes	



Inventarios de Puntos de Agua y Zonas protegidas relacionadas con las aguas subterráneas. (Elaboración propia a partir de la información procedente de IGME, CNIG y ACA).

3.5.ZONAS PROTEGIDAS

La planificación hidrológica del Distrito de Cuenca Fluvial de Està integrada por el *Plan de Gestión del Distrito de Cuenca Fluvial de Catalunya (2016 – 2021)* y su Programa de medidas. El Programa de medidas se acompaña de un Plan económico - financiero, del estudio ambiental estratégico y de la declaración ambiental estratégica. Este plan de gestión ha sido aprobado oficialmente mediante el Real Decreto 450/2017, de 5 de mayo de 2017, y el citado plan de medidas, por el Decreto 1/2017, de 3 de enero del mismo año.

En el **Anexo IX** se recogen todo lo referente al registro de zonas que son objeto de una protección especial, dentro del ámbito del distrito de cuenca fluvial de Catalunya (DCFC).

3.5.1. Zonas protegidas para la captación de agua destinada al consumo humano

Son protegidas para la captación de agua destinada al consumo humano aquellas zonas en las cuales se realizan captaciones de agua destinada a la producción de agua potable por abastecimiento, siempre y cuando proporcionen un volumen medio superior a 10 m³ diarios o abastezcan más de cincuenta personas. Se protegen las zonas donde actualmente hay captaciones de estas características, así como aquéllas donde están previstas en el futuro. En la siguiente figura se ilustran las masas de agua protegidas para la captación de agua destinada al consumo humano.

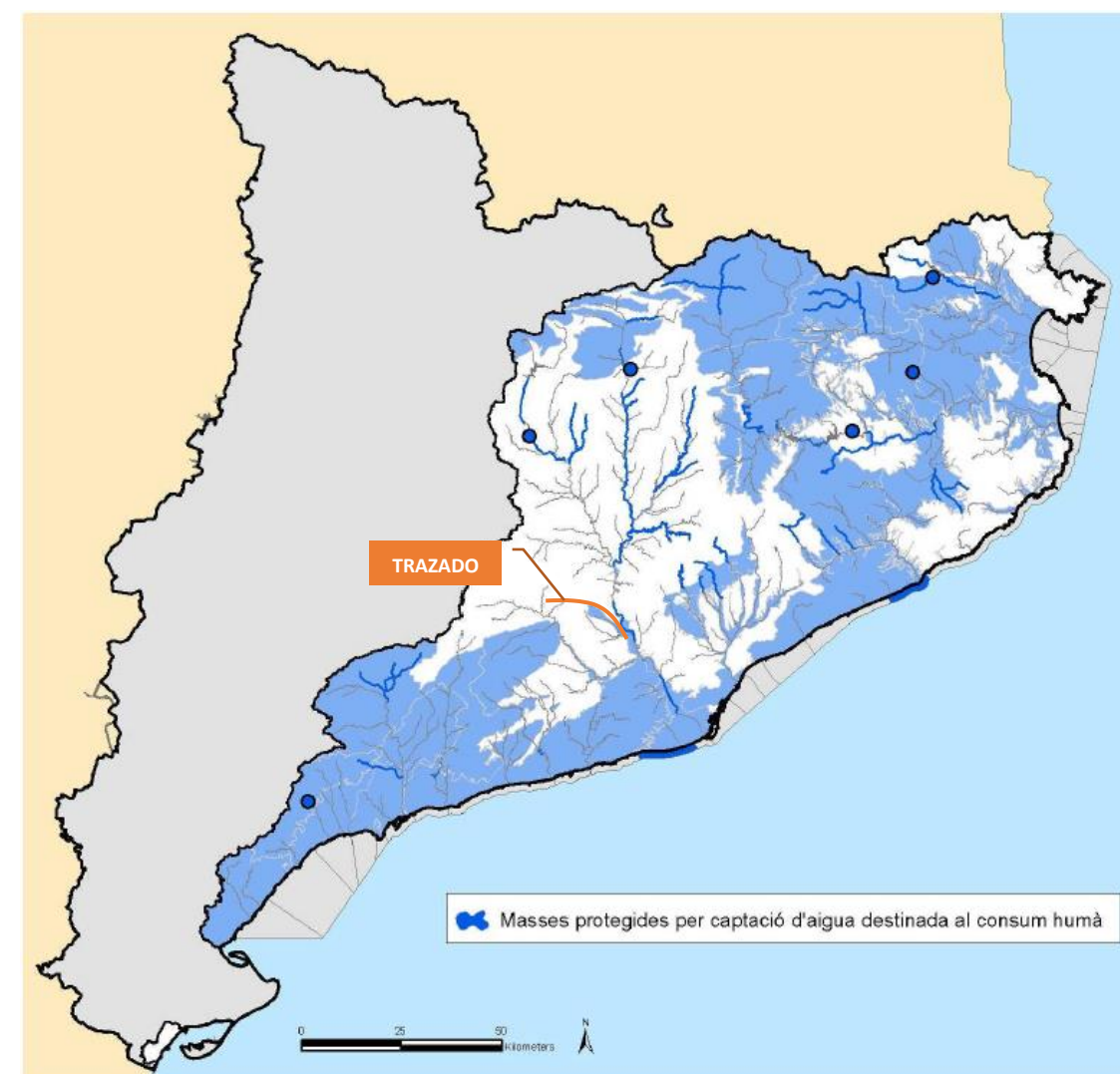
Con respecto a las masas de agua subterráneas, el registro de zonas protegidas comprende parcialmente un total de 37 masas. Éstas corresponden a los puntos de captación que cumplen con las especificaciones de volumen de extracción o de población abastecida descritos anteriormente, así como su perímetro de protección o zona de salvaguardia establecida en su defecto.

Los perímetros de protección, según los artículos 56 y 97 del Texto refundido de la Ley de aguas, se definen como el contorno que delimita una superficie en torno a un punto o puntos de captación de aguas subterráneas que son captadas y explotadas para usos de abastecimiento de población, domésticos o similares, determinada en función de las características de la captación y del acuífero, dentro de la cual se establecen limitaciones de las actividades que se desarrollan con el objeto de impedir la alteración de la calidad y cantidad de las aguas.

Actualmente, 385 captaciones de agua subterránea para consumo humano disponen de perímetros de protección, delimitados siguiendo los criterios técnicos supletorios para la determinación de los perímetros de protección que utiliza la Agencia Catalana del Agua en la tramitación habitual de concesiones de captaciones municipales.

De manera paralela, y atendiendo al hecho de que la mayoría de captaciones de aguas subterráneas que lo requieren todavía no disponen de la correspondiente declaración del perímetro de protección, con el fin de dar protección a estas captaciones de manera inmediata y de acuerdo con lo que dispone el artículo 4.1 de la Instrucción de planificación hidrológica (Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre), se declara zona protegida las captaciones de prioridad moderada y alta y a la correspondiente zona de salvaguardia.

Se considera como zona de salvaguardia la delimitación provisional de un área de protección especial en torno a una captación de abastecimiento de agua de consumo humano que no disponga de perímetro de protección, con el fin de preservar la cantidad y la calidad de las aguas subterráneas captadas.



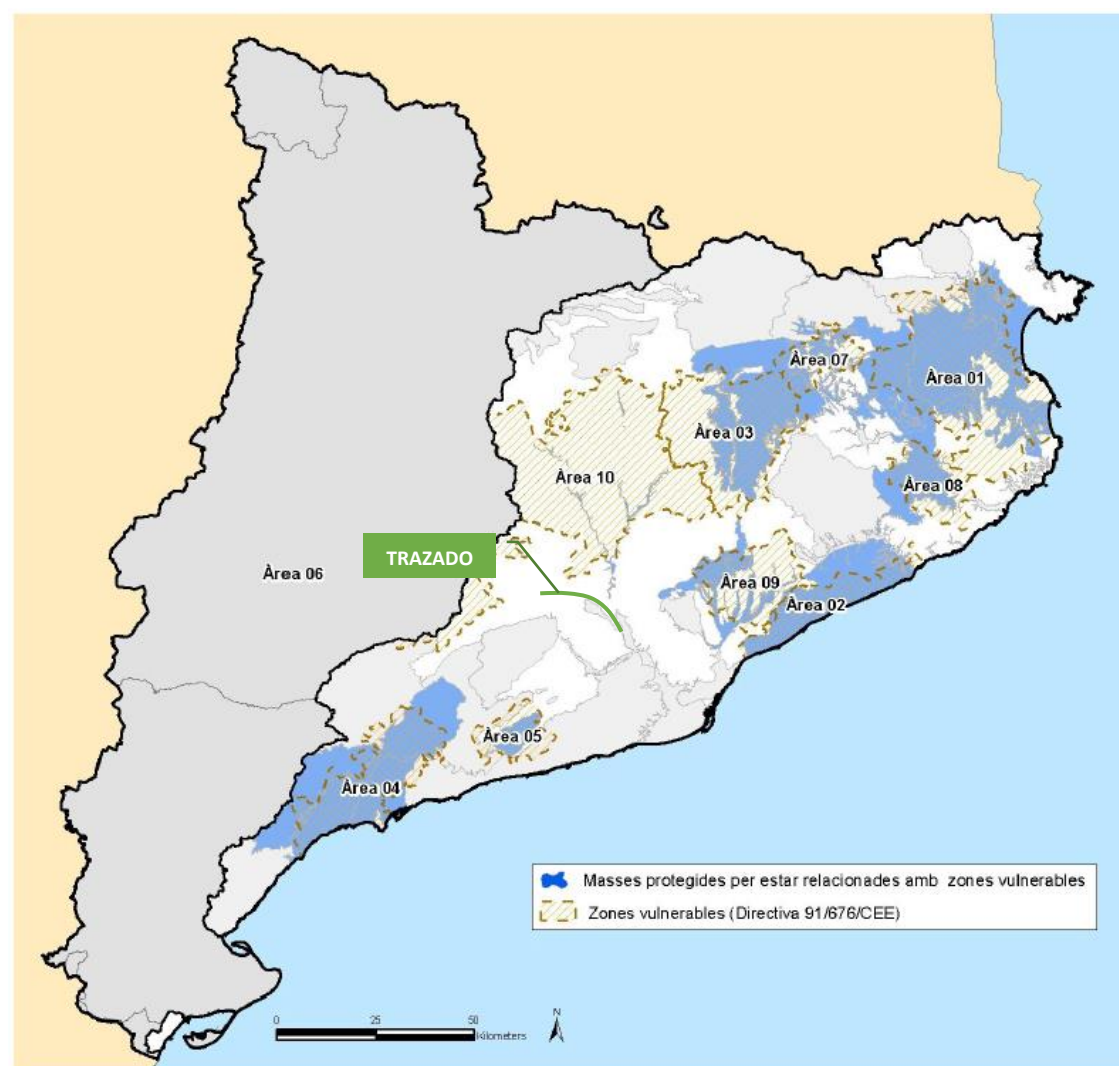
Zonas protegidas para la captación de agua destinada al consumo humano recogidas en el Anexo IX del Plan de Gestión del Distrito de Cuenca Fluvial de Catalunya (2016 – 2021)

Las zonas de salvaguardia constituyen, por lo tanto, declaraciones provisionales de protección, como paso previo al desarrollo detallado de los trabajos hidrogeológicos de asignación individualizada de áreas y perímetros. Para ello se ha procedido a la aplicación de un criterio único de delimitación general e indiscriminada a todas las captaciones, según el cual se establece un radio de salvaguardia único de 300 m en torno a cada una de las captaciones municipales que no disponen de una protección natural (acuíferos confinados). Las captaciones ubicadas a una distancia inferior a 50 metros se incluyen dentro de la misma zona de salvaguardia con el epicentro en la más superficial.

Las captaciones de agua subterránea destinada al consumo humano recogidas en el Plan de Gestión del Distrito de Cuenca Fluvial de Cataluña (2016 – 2021) se han tenido en cuenta dentro del apartado 3.4. “Inventarios de puntos de agua”.

3.5.2. Zonas protegidas en relación con la aportación de nutrientes. Zonas vulnerables en virtud de la Directiva 91/676/CEE

Se considera zona vulnerable a aquella superficie de terreno en la cual la escorrentía y la infiltración afectan o pueden afectar a las aguas continentales y litorales en relación con la contaminación por nitratos. El registro de zonas vulnerables en relación con la contaminación de nitratos procedentes de fuentes agrarias se actualiza según la revisión que se hace de estas zonas cada cuatro años. La última revisión se ha llevado a cabo el año 2015, y ha sido aprobada mediante el Acuerdo de Gobierno 13/2015, de 3 de febrero. En la siguiente figura se ilustra su distribución.

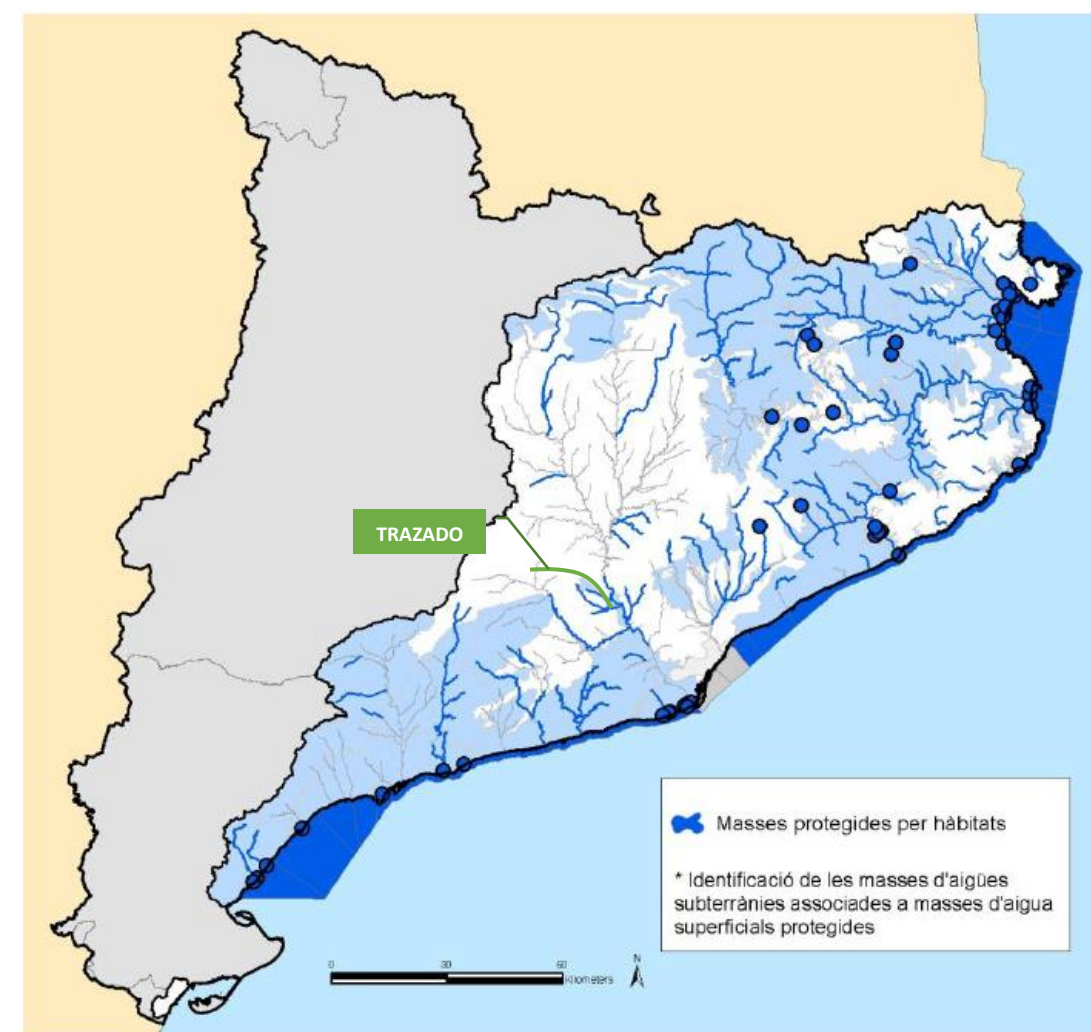


Zonas vulnerables en virtud de la Directiva 91/676/CEE recogidas en el Anexo IX del Plan de Gestión del Distrito de Cuenca Fluvial de Cataluña (2016 – 2021)

3.5.3. Zonas protegidas por hábitats o especies. Protección de hábitats relacionados con aguas subterráneas

Con el fin de identificar las relaciones entre las aguas subterráneas y los ecosistemas dependientes se han considerado los espacios de la Red Natura 2000 relacionados con el medio acuático donde es susceptible que haya una dependencia entre el espacio y el medio (según recomendaciones del Documento Guía nº 18 "Guía sobre el estado de las aguas subterráneas y evolución de tendencias" de la Comisión Europea). En el caso de interacción de un Espacio de la Red Natura 2000 con una masa de agua subterránea se diferencian dos supuestos:

- Ecosistemas Acuáticos Asociados: Ecosistemas asociados a masas de agua epicontinentales (ríos, lagos, transición, costeras), el estado de los cuales podría estar afectado por alteraciones del nivel de las aguas subterráneas o concentraciones de contaminantes
- Ecosistemas terrestres dependientes: Ecosistemas que dependen de las aguas subterráneas en una parte significativa o un periodo significativo del año

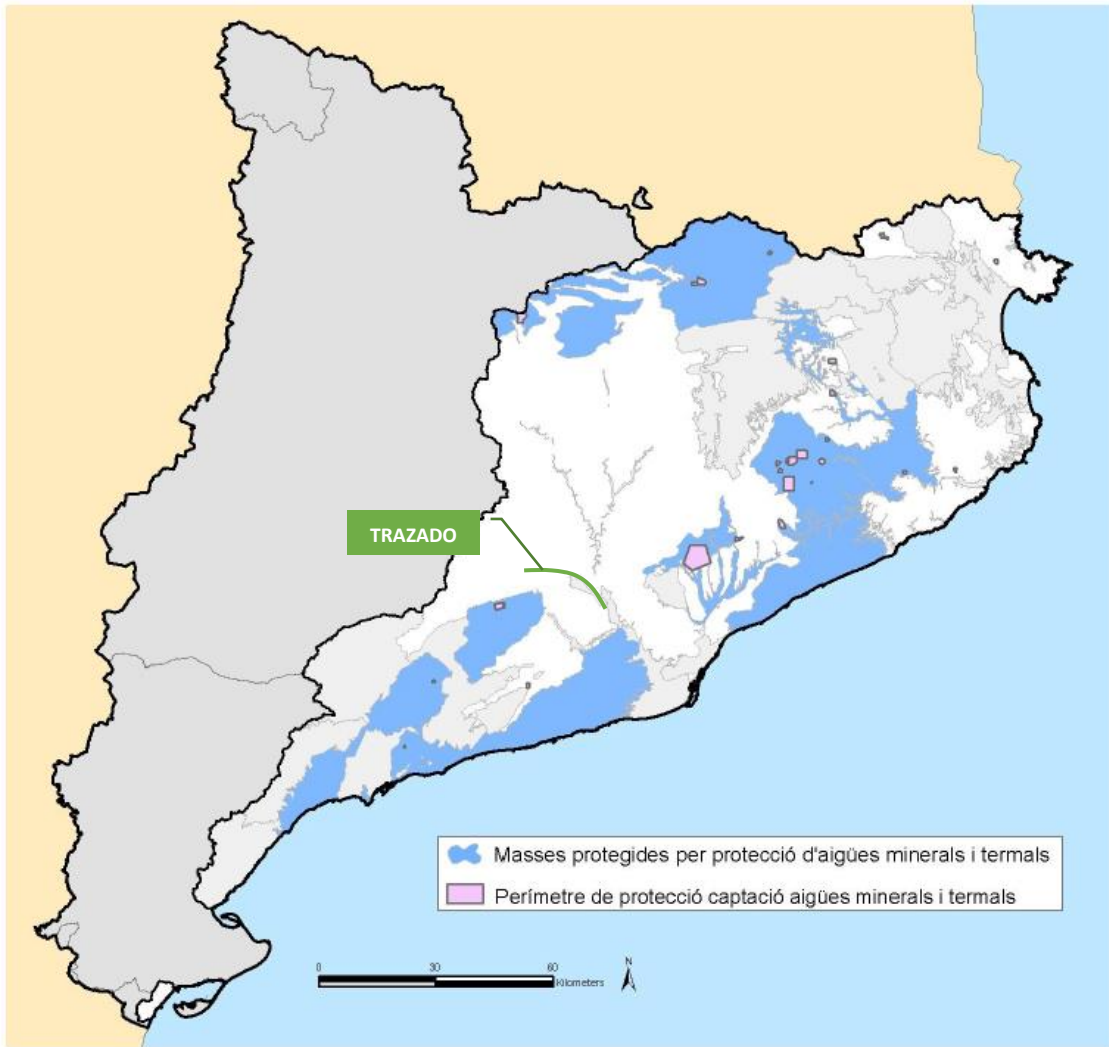


Masas de agua subterránea asociadas a masas de agua superficial protegidas, recogidas en el Anexo IX del Plan de Gestión del Distrito de Cuenca Fluvial de Cataluña (2016 – 2021)

3.5.4. Perímetros de protección de aguas minerales y termales

Los perímetros de protección de las aguas minerales y termales se rigen por la Ley 22/1973, de 21 de julio, de minas y son aquéllos inventariados por la Dirección General de Energía y Minas. Esta figura de protección busca garantizar la calidad y cantidad de las aguas minerales y termales en los puntos de captación. La garantía se obtiene mediante la regulación de los usos del suelo y restricción de usos dentro del perímetro establecido, así como del volumen de las extracciones con el fin de asegurar la disponibilidad de recurso. El número de masas de agua subterránea del DCFC sobre las cuales hay delimitados perímetros de protección de aguas minerales y termales es de 14.

En la siguiente figura, se ilustra su distribución. Por su parte, en la tabla que se presenta a continuación, se recoge la normativa vinculada a la delimitación de los perímetros de protección de aguas minerales y termales.



Masas protegidas relacionadas con aguas minerales y termales y perímetros de protección definidos. Fuente: Anexo IX del Plan de Gestión del Distrito de Cuenca Fluvial de Cataluña (2016 – 2021). Elaboración a partir de inventario de la Dirección General de Energía y Minas

Marco legal

Ley 22/1973, de 21 de julio, de minas. BOE núm.189 de 24/07/1973.
Decreto 307/1994, de 16 de noviembre, sobre competencias y procedimiento que hay que seguir para la declaración y la autorización del aprovechamiento de aguas minero-medicinales, minerales naturales, de manantial y termales a efectos de comercialización como agua de bebida envasada. DOGC núm.1978 de 28/11/1994.

Normativa relativa a los perímetros de protección de aguas minerales y termales recogida en el Anexo IX del Plan de Gestión del Distrito de Cuenca Fluvial de Cataluña (2016 – 2021)

3.5.5. Zonas de protección especial en masas de agua subterránea

Se consideran áreas de protección especial las delimitadas en una masa de agua subterránea donde se imponen restricciones o limitaciones a las actividades antrópicas, susceptibles de provocar la contaminación y/o la degradación del acuífero de manera que se alteren notablemente las condiciones del medio hídrico, de acuerdo con lo que establece el artículo 56 del Texto refundido de la Ley de aguas (RDL 1/2001 de 20 de junio).

A diferencia de los perímetros de protección, delimitados para resguardar captaciones o grupos de captaciones, las zonas de protección especial protegen el acuífero/masa de agua de manera total o sectorizada, según una delimitación previamente establecida.

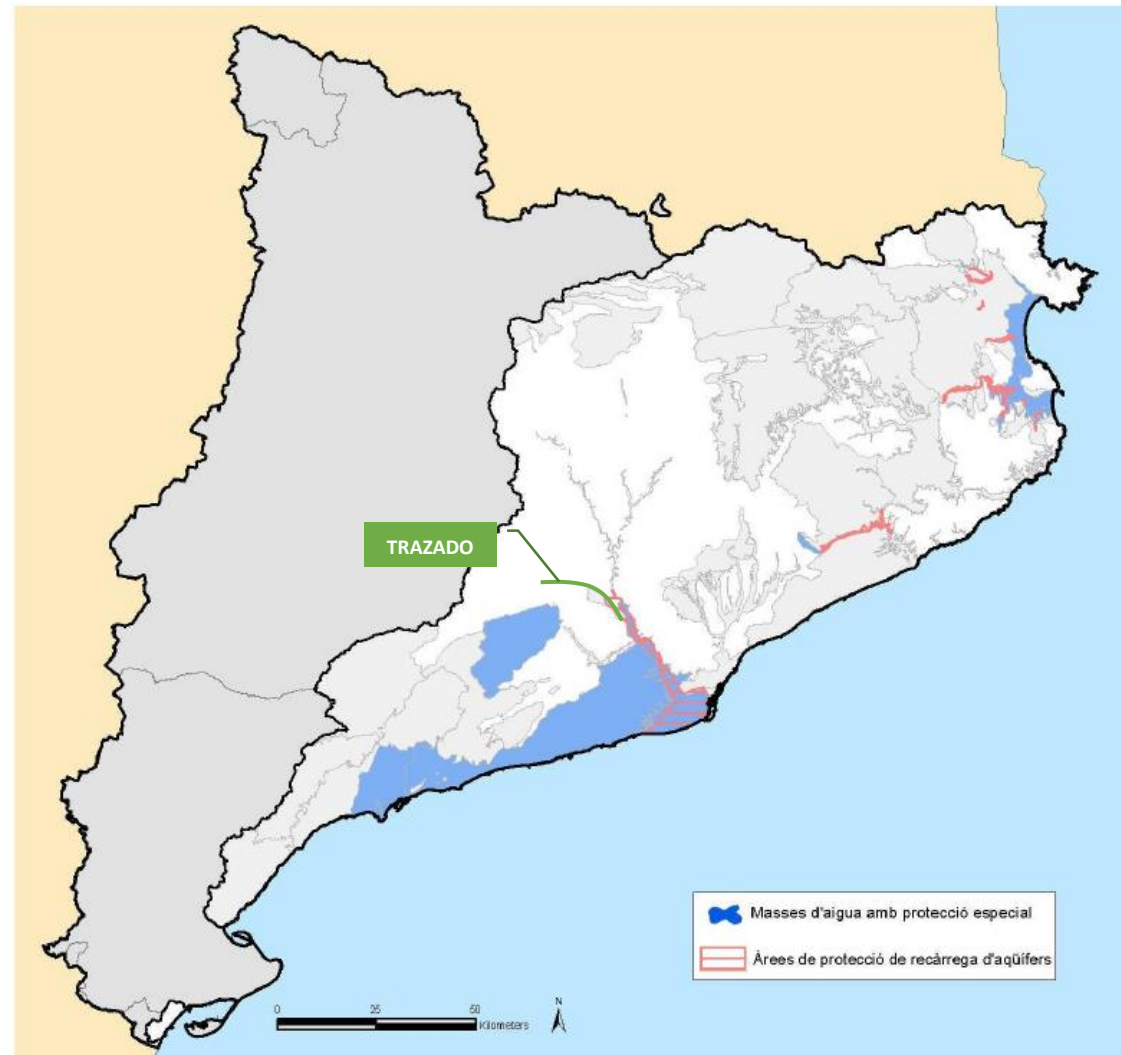
Así, se consideran zonas de protección especial:

- Los acuíferos que disponen de normas de gestión o explotación específicas. Estas normas, aplicadas en la mayoría de casos en los acuíferos en riesgo de sobreexplotación, vienen desarrolladas en los planes de ordenación de las extracciones, los planes directores de usos y los criterios de gestión aprobados para estos acuíferos.
- Las áreas de recarga de algunos acuíferos, atendiendo al mantenimiento de su buen estado y a la importancia estratégica de sus recursos, ya sea por explotación directa o por transferencia a otras masas.
- Las áreas de protección de las surgencias singulares, entendiendo como tales las descargas puntuales de algunos acuíferos, producidas de modo natural, con interés hidrológico, ambiental o paisajístico.
- Las áreas de protección de los puntos de las redes de control que, por importancia o por las condiciones de su entorno, precisen de una preservación especial.

Estos instrumentos se establecen con el fin de mejorar el estado cuantitativo y cualitativo de los acuíferos, definir umbrales de alarma que permitan adoptar medidas correctoras, posibilitar la recuperación de caudales ambientales o ecológicos, y favorecer la participación de los usuarios, entre otros.

El conjunto de normas aprobadas y previstas da lugar a la designación de zonas de protección especial de acuíferos en un total de 9 masas de agua subterránea del DCFC.

Este plan declara 7 zonas de recarga protegidas, ya estudiadas y delimitadas, que afectan acuíferos de 6 masas de agua subterránea. Su distribución se ilustra en la siguiente figura:



Zonas de protección especial en masas de agua subterránea recogidas en el Anexo IX del Plan de Gestión del Distrito de Cuenca Fluvial de Cataluña (2016 – 2021)

3.6.INTERACCIÓN ENTRE EL TRAZADO Y EL MEDIO ACUÍFERO

En los siguientes apartados, se realiza una valoración preliminar de los posibles impactos que la ejecución y/o explotación del trazado propuesto, podría tener sobre el medio hidrogeológico, así como de la influencia que dicho medio puede tener en el desarrollo de las obras.

El estudio del “efecto drenaje” se ha referido a las estructuras concretas susceptibles de interceptar el nivel piezométrico, tales como túneles, falsos túneles y grandes desmontes. En cambio, la afección a captaciones, cursos superficiales, etc. se ha extendido a todo el trazado.

Tratándose de un Anteproyecto, el estudio de estos aspectos no puede abordarse con detalle, puesto que éste viene limitado por el grado de definición y cálculo de estructuras, definición de medidas constructivas y de impermeabilización y drenaje, conocimiento del medio, etc. En fases posteriores, conforme estas incertidumbres vayan siendo solventadas, habrá de revisarse las valoraciones hidrogeológicas sobre la interacción entre el medio acuífero y el trazado.

3.6.1. Estudio del “efecto drenaje”. Estimación de caudales de infiltración en el Nuevo Túnel del Bruç.

Se ha realizado una estimación preliminar de caudales de infiltración en el túnel, a partir de la fórmula de Goodman et al. (1965). Dados los valores de permeabilidad obtenidos para los dos términos identificados en la unidad geológico – geotécnica en que se desarrolla el túnel proyectado (margocalizas y calizas bioclásticas), se ha procedido a aplicar dicho método paralelamente a dos escenarios:

- Túnel ejecutado enteramente en margocalizas, con permeabilidad media 2.44E-7 m/s
- Túnel ejecutado enteramente en calizas bioclásticas, con permeabilidad media 1.19E-6 m/s

De esta forma, se puede aproximar un intervalo de valores, entre máximos y mínimos, para los caudales de infiltración susceptibles de producirse en el túnel. No obstante, como ya se refería en apartados anteriores, esta permeabilidad puede resultar localmente algo más alta, en tramos de mayor densidad de fracturación o diaclasamiento, aunque es preciso tener en cuenta que una cartografía de este detalle es más propia de fases posteriores del proyecto. La estimación de caudales habrá de revisarse una vez se disponga de ella.

El método de Goodman et al (1965) se basa en la aplicación de la expresión:

$$Q = 2 \cdot \pi \cdot K \cdot \left(\frac{h}{2,3 * \text{Log} \left(\frac{2 \cdot h}{r} \right)} \right)$$

Donde:

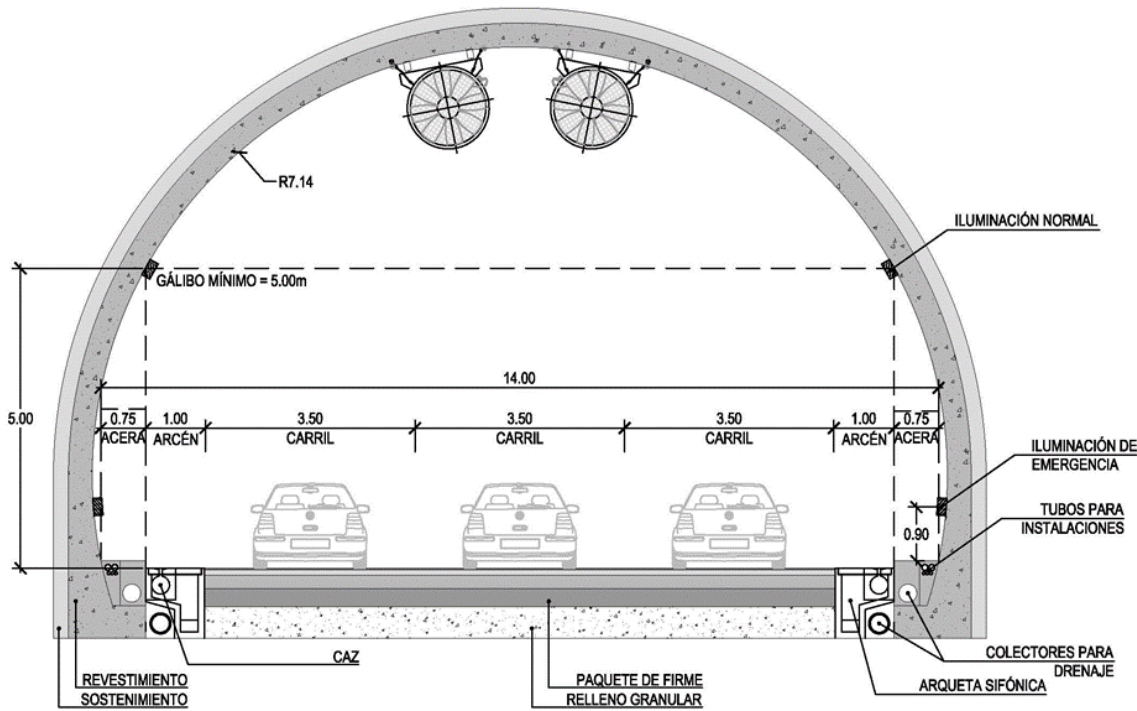
Q = caudal hacia la excavación en m³/s x m.

K = permeabilidad del terreno en m/s.

h = carga de agua en m.
 r = radio de la excavación, en m.

La estimación de los caudales se ha efectuado discretizando la longitud de los túneles según tramos homogéneos con una longitud máxima de 20 metros (con la excepción del tramo inicial, de 5 metros, para ajustar a la tramificación geotécnica), de modo que la carga de agua de cada tramo sea lo más precisa posible. Dicha carga de agua se ha estimado a partir de los niveles freáticos máximos medidos en los sondeos ejecutados en la campaña de septiembre de 2019 (apdo. 3.3. del presente apéndice).

A efectos de estimar el radio del túnel, y dado que éste no tiene una geometría completamente circular, se ha tomado como referencia el diámetro útil interior (14 m) propuesto en el Anejo 13 “Túneles” del Anteproyecto.



Sección del tercer túnel del Bruç (elaboración propia)

Cabe mencionar que este método de cálculo supone una situación estática sin gradientes de flujo laterales. Por ello, puntualmente, puede suponer incrementos entre el 2 y el 6% debido a estos aportes laterales.

Por otro lado, asume los caudales en un régimen transitorio, en el momento de la perforación de cada tramo. A largo o medio plazo, el flujo de agua hacia la excavación no puede considerarse estable, reduciendo progresivamente su magnitud en función de la porosidad efectiva y de la tasa de recarga del acuífero y, sobretudo, de posibles factores constructivos ligados al sistema de impermeabilización del túnel. Para estimar este transitorio, Goodman et al. han desarrollado la ley parabólica que minora

los caudales estimados de la expresión anterior, en función de la disminución de la carga hidráulica actuante. De este modo puede simplificarse que:

- a los 6 meses el flujo se reduce a un 20% del inicial.
- a los 12 meses el flujo es del 15% del inicial.
- a los 24 meses el flujo de agua hacia la excavación solamente alcanzará un 10% del inicial.

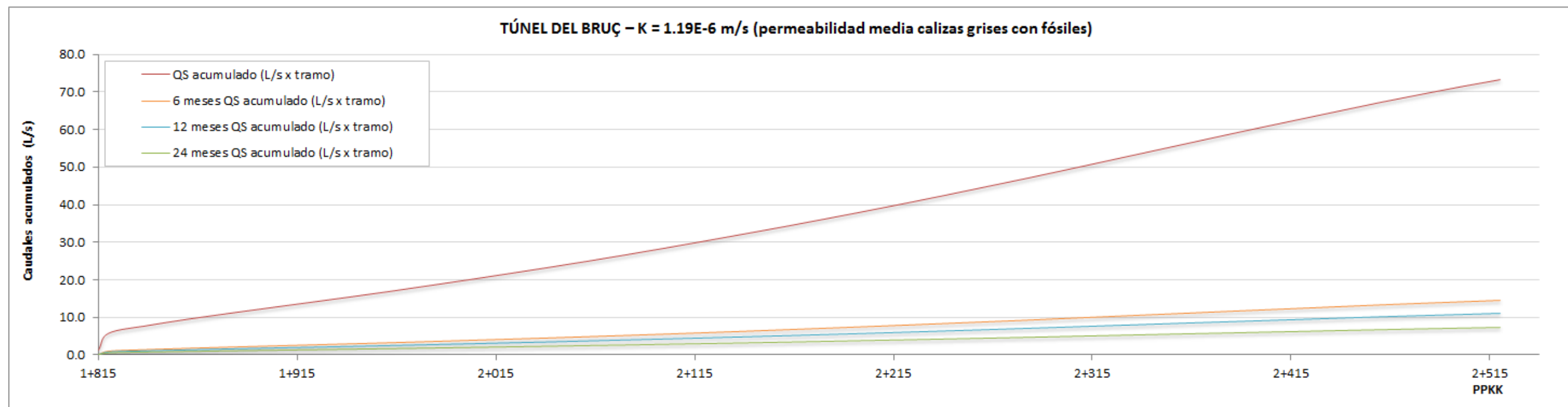
En las tablas siguientes se muestran los caudales estimados para el túnel contemplado en el Proyecto, según los dos escenarios de permeabilidad estudiados. El detalle de los cálculos, por su parte, se incluye en el Anexo 4 Se ha utilizado una kilometración propia del tramo en túnel, según el perfil geológico geotécnico del Anexo 2. Por su parte, en las figuras que se incluyen a continuación de ellas se muestra la distribución de los caudales drenados a lo largo de dichos túneles.

TÚNEL DEL BRUÇ – K = 1.19E-6 m/s (permeabilidad media calizas grises con fósiles)								
Tramo	PK inicio	PK Fin	Long. Tramo (m)	Unidad	INSTANTÁNEO	6 MESES	12 MESES	24 MESES
					Caudal L/s	Caudal L/s	Caudal L/s	Caudal L/s
1	1+815	1+840	25.0	Ud. 2	5.606	1.121	0.841	0.561
2	1+840	1+940	100.0	Ud. 2	8.130	1.626	1.219	0.813
3	1+940	2+040	100.0	Ud. 2	7.651	1.530	1.148	0.765
4	2+040	2+140	100.0	Ud. 2	8.795	1.759	1.319	0.879
5	2+140	2+240	100.0	Ud. 2	9.967	1.993	1.495	0.997
6	2+240	2+340	100.0	Ud. 2	11.101	2.220	1.665	1.110
7	2+340	2+440	100.0	Ud. 2	11.451	2.290	1.718	1.145
8	2+440	2+540	100.0	Ud. 2	10.469	2.094	1.570	1.047
					73.169	14.634	10.975	7.317

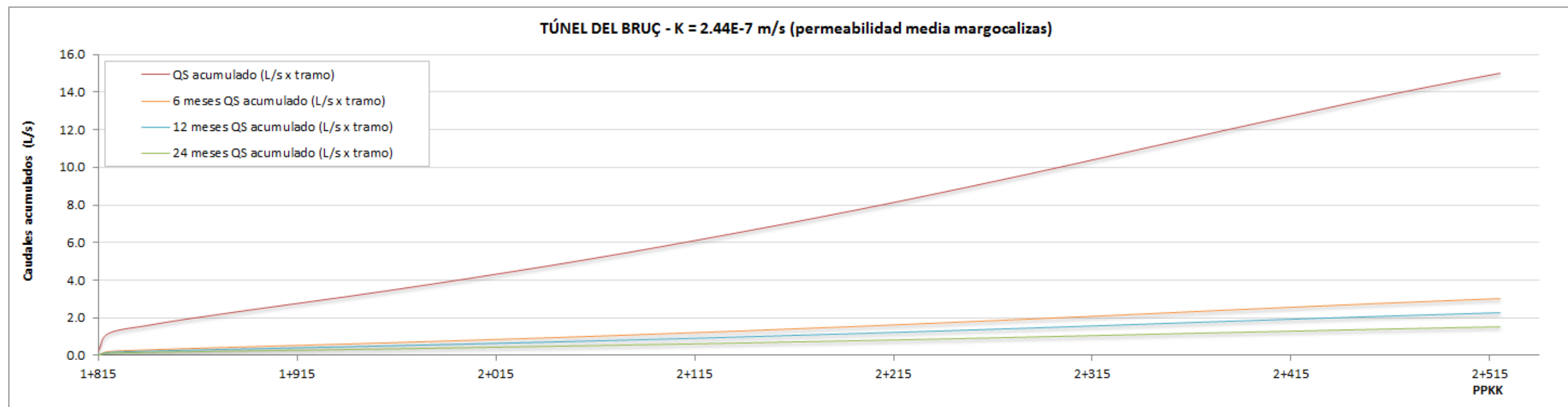
Estimación de caudales en el túnel propuesto según la permeabilidad media obtenida para los términos de calizas bioclásticas.

TÚNEL DEL BRUÇ – K = 2.44E-7 m/s (permeabilidad media margocalizas)								
Tramo	PK inicio	PK Fin	Long. Tramo (m)	Unidad	INSTANTÁNEO	6 MESES	12 MESES	24 MESES
					Caudal L/s	Caudal L/s	Caudal L/s	Caudal L/s
1	1+815	1+840	25.0	Ud. 2	1.149	0.230	0.172	0.115
2	1+840	1+940	100.0	Ud. 2	1.667	0.333	0.250	0.167
3	1+940	2+040	100.0	Ud. 2	1.569	0.314	0.235	0.157
4	2+040	2+140	100.0	Ud. 2	1.803	0.361	0.270	0.180
5	2+140	2+240	100.0	Ud. 2	2.044	0.409	0.307	0.204
6	2+240	2+340	100.0	Ud. 2	2.276	0.455	0.341	0.228
7	2+340	2+440	100.0	Ud. 2	2.348	0.470	0.352	0.235
8	2+440	2+540	100.0	Ud. 2	2.147	0.429	0.322	0.215
					15.003	3.001	2.250	1.500

Estimación de caudales en el túnel propuesto según la permeabilidad media obtenida para los términos de margocalizas.



Estimación de caudales en el túnel propuesto según la permeabilidad media obtenida para los términos de calizas bioclásticas.



Estimación de caudales en el túnel propuesto según la permeabilidad media obtenida para los términos de margocalizas.

El caudal instantáneo acumulado a lo largo del túnel se cifra en torno a los 73,17 L/s, en el caso de que la perforación se realizase únicamente considerando los términos más calizos y permeables, con caudales de entre 8 y 12 L/s en tramos de 100 m. En el Anexo 4, se estiman caudales en tramos de 20 m (más aproximados a un ritmo realista de trabajo, entre 1 y 5 L/s).

En el caso más favorable, si la perforación se realiza exclusivamente en margocalizas, el caudal instantáneo acumulado se cifra en torno a 15 L/s. Los caudales en intervalos de 100 m oscilarían entre 1 y 2.5 L/s; en tramos de trabajo de 20 m, dicho intervalo estaría entre los 0,2 y 0,9 L/s.

Cabe aclarar que, según el método utilizado, los caudales obtenidos son aquellos susceptibles de producirse en el momento de la perforación de cada tramo. Los caudales drenados siempre serán mayores en fase de obra (régimen transitorio) e irán disminuyendo paulatinamente conforme se vayan produciendo la descarga de los niveles interceptados hasta estabilizarse en un régimen permanente. De este modo, en fase de explotación los caudales serán mucho más reducidos ya que se habrá producido la descarga total de dichos niveles. Una estimación más realista podría corresponder a los caudales calculados para 6 ó 12 meses.

En este sentido, para una perforación en calizas bioclásticas, los caudales acumulados a lo largo de todo el túnel, caerían a magnitudes entre 11 y 15 L/s, en ese periodo de tiempo. Los caudales en intervalos de 100 m, lo harían a rangos entre 0,85 y 2,3 L/s. Por su parte, en el caso de una excavación en margocalizas, los caudales acumulados oscilarían entre 2,25 y 3 L/s. Los caudales en intervalos de 100 m, variarían entre 0,23 y 0,5 L/s.

A la vista de estas cifras, especialmente los estimados para tramos de 100 m, los caudales instantáneos obtenidos no pueden considerarse elevados, lo cual es coherente con las características de permeabilidad determinadas para la unidad geológica en cuestión (apdo. 3.2.). Asimismo, estos cálculos se efectúan asumiendo una perforación en terreno natural, por lo que resultarían sobreestimados, a efectos de estar del lado de la seguridad. En estas condiciones cabría esperar un cierto “efecto drenaje” en fase de construcción, si bien éste se vería fácilmente minorado por el propio revestimiento del túnel y la impermeabilización al uso, que se contempla habitualmente. No obstante, resulta recomendable efectuar una revisión de los mismos en fases posteriores, conforme se disponga de una cartografía más detallada en la que se identifiquen zonas específicas de fracturación, datos geotécnicos de nuevas campañas de campo que permitan definir con más precisión la permeabilidad de las formaciones y/o una definición del trazado más detallada.

3.6.2. Estudio del “efecto drenaje” en el desmonte proyectado entre los PPKK 1+570 y 1+730.

En la figura que se muestra a continuación, se ilustra la situación del desmonte proyectado a continuación del emboquille del nuevo Túnel del Bruç. En él la rasante presenta cotas entre 561.1 y 556.89 m.s.n.m. La máxima profundidad se estima en torno a 25 m. Su longitud es de 160 m.

Las litologías en que se excava el desmonte en cuestión son similares interceptadas por el túnel en mina: Margocalizas y Calizas bioclásticas. Así pues, son extrapolables a esta estructura los parámetros hidrogeológicos estimados en el apdo. 3.2.

Puesto que no se dispone de ningún sondeo cercano en esta zona, se ha optado por proyectar simétricamente el dato del sondeo S-3, con respecto al arroyo que separa el desmonte del emboquille. La máxima piezometría registrada en dicho sondeo presenta una cota de 555.34 m.s.n.m. A la vista de la reconstrucción de la superficie piezométrica en el perfil mencionado, se hace evidente que dicho arroyo es estacional y se encuentra desconectado del medio hidrogeológico.

Según estos datos, el desmonte no llegaría a interceptar la Zona saturada ubicada en el interfluvio entre los dos arroyos. No obstante, en fases posteriores, conforme se disponga de datos de nuevas prospecciones y cartografía, resulta recomendable la revisión de estas valoraciones.

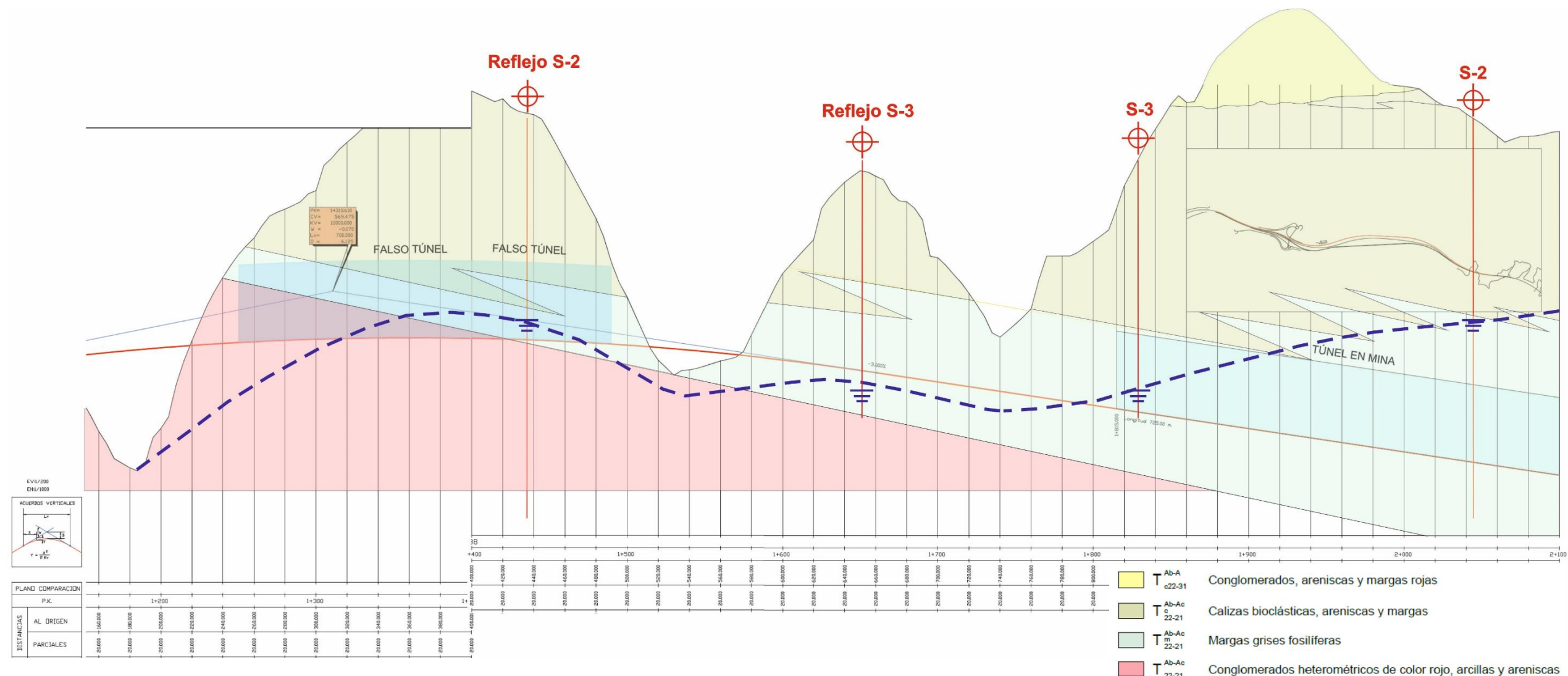
3.6.3. Estudio del “efecto drenaje” en el Falso Túnel proyectado entre los PPKK 1+250 y 1+490.

De forma similar a la del desmonte anteriormente estudiado, la siguiente figura se ilustra la situación del falso túnel proyectado a continuación del nuevo Túnel del Bruç. Éste presenta cotas mínimas de rasante en los emboquilles entre 562.76 y 562.5 m.s.n.m. La cota máxima resulta ser de 563.475 m.s.n.m. Asimismo, la máxima montera se halla en torno a 32 m. Su longitud es de 240 m.

Como en el caso anterior, las litologías en que se excava el falso túnel son mayoritariamente similares a las interceptadas por el túnel en mina: Margocalizas y Calizas bioclásticas. No obstante, en los últimos metros, dicha excavación afecta también a los Conglomerados heterométricos de color rojo, arcillas y areniscas. Se extrapolan aquí también los parámetros hidrogeológicos estimados en el apdo. 3.2., para las dos primeras litologías. No se dispone de datos que permitan hacer una estimación de este parámetro para la tercera.

Puesto que no se dispone de ningún sondeo cercano en esta zona, se ha optado por proyectar simétricamente el dato del sondeo S-2, con respecto al arroyo situado tras el emboquille, tal y como se puede observar en el perfil. La máxima piezometría registrada en dicho sondeo presenta una cota de 569.2 m.s.n.m. En la reconstrucción efectuada de la superficie piezométrica en el perfil, resulta probable que el fondo de excavación para la ejecución del falso túnel intercepte los últimos 3-4 m de la Zona Saturada, entre los PPKK 1+320 y 1+480 (160 m).

No obstante, la excavación prevista rebajaría dicha rasante en 2,67 m (cota mínima: 559.83 m.s.n.m.), por lo que la intercepción de la zona saturada sería, en la práctica, de 9.37 m ($\approx$ 9.5 m).



Teniendo en cuenta estas consideraciones, resulta posible efectuar una estimación de caudales de infiltración al interior de la excavación, durante la Fase de obra, mediante métodos analíticos. Se asume que, una vez concluida la estructura, ésta resultará estanca, por lo que el “efecto drenaje” se producirá únicamente en fase de ejecución. Para ello, se procedió a aplicar la **Fórmula de la Zanja Equivalente**. Los desarrollos matemáticos y consideraciones correspondientes vienen recogidas en tres publicaciones: “Geotecnia y Cimientos”. Vol. III, parte 2 (Jiménez Salas, 1980), “Manual de Hidrología Subterránea”. Vol. I y II (Custodio, E. y Llamas, R., 1983), “Mecánica de Suelos” (Berry, P. L. y Reid, D., 1993) e “Hidrogeología aplicada a la obra civil” (Garrido Ruíz, M. S., 2012). El cálculo asume cada lateral de la excavación como una zanja en un acuífero libre, alimentada por sólo por un lateral:

$$Q = L \cdot \frac{K}{2R_z} \cdot (2H - d) \cdot d$$

Donde:

- Q** es el Caudal captado, en m³/s.
- K** es el Coeficiente de permeabilidad, en m/s.
- H** es el Espesor estático de acuífero saturado, en m.
- d** es el Descenso producido, en m.
- R_z** es la Distancia de influencia de la captación, en m.
- L** es la Longitud de la zanja, en m.

La aplicación de esta fórmula ha de realizarse, lógicamente, a cada uno de los laterales de la excavación, puesto que el *método de la Zanja equivalente*, asume que el caudal proviene sólo de un lateral de la zanja. En el caso concreto que nos ocupa, se asume un recinto rectangular de sección máxima (para estar del lado de la seguridad), integrado por dos zanjas de 160 m (longitud que interfiere con la Zona saturada) y otras dos de 35 m (anchura máxima de la excavación). Por ello, el cálculo para un solo lateral se multiplica, en ambos casos, x 2.

La estimación de la Distancia de influencia (R_z), se aplica nuevamente la fórmula de Sichardt, si bien, en esta ocasión, cambia el coeficiente a utilizar:

$$R_z = 1500 \cdot d \cdot \sqrt{K}$$

Siguiendo las mismas consideraciones, en cuanto a la permeabilidad de los materiales, efectuadas para el túnel en mina, se ha procedido a aplicar dicho método paralelamente a dos escenarios:

- Excavación ejecutada enteramente en margocalizas, con permeabilidad media 2.44E-7 m/s.
- Excavación ejecutada enteramente en calizas bioclásticas, con permeabilidad media 1.19E-6 m/s.

De esta forma, se puede aproximar un intervalo de valores, entre máximos y mínimos, para los caudales de infiltración susceptibles de producirse en el túnel. No obstante, como ya se refería en apartados anteriores, esta permeabilidad puede resultar localmente algo más alta, en tramos de mayor densidad de fracturación o diaclasamiento, aunque es preciso tener en cuenta que una cartografía de este detalle es más propia de fases posteriores del proyecto. La estimación de caudales habrá de revisarse una vez se disponga de ella.

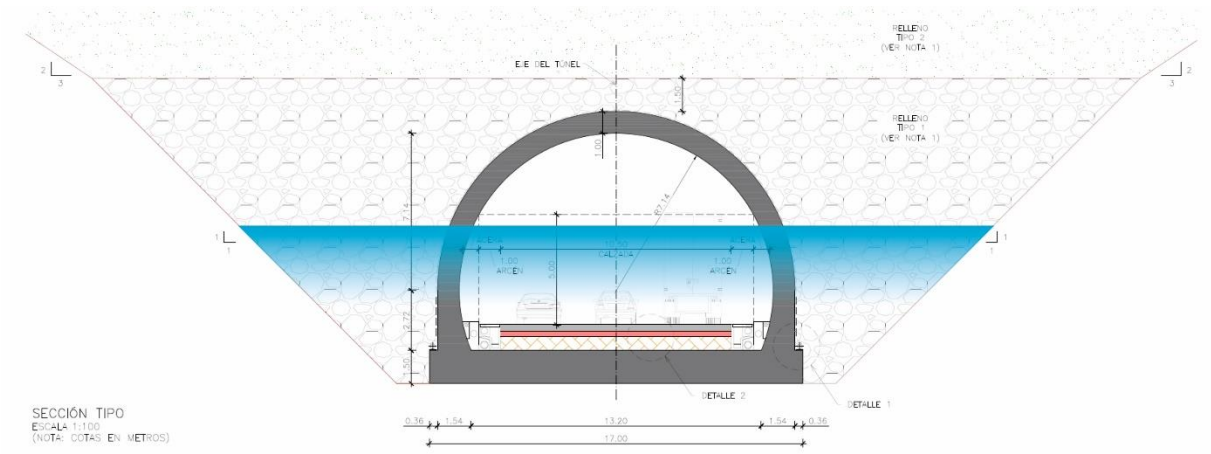


Figura 21: Sección del Falso túnel proyectado (elaboración propia)

Condiciones:

- Cota mínima de la excavación en sección (m.s.n.m.): 559.83 m.s.n.m.
- Cota máxima del nivel freático (m.s.n.m.):569.2 m.s.n.m. (reflejo Sondeo S-2 según arroyo).
- Rebaje máximo freático: 9,5 m.

En la siguiente tabla se resumen los resultados de la aplicación de la *Fórmula de la Zanja Equivalente*, para los dos escenarios de permeabilidad considerados. El detalle de los cálculos, por su parte, se incluye en el *Anexo 4*. Las cifras de caudal dadas en primer término, corresponden a los caudales específicos, referidos a un metro lineal de sección (2 laterales). A continuación, se incluyen los Caudales Totales, extrapolados a la longitud total de la estructura. Por último, se incluyen las distancias o radios de influencia asociados al abatimiento piezométrico ocasionado por el drenaje en la excavación, durante la fase de obra.

ZANJA EQUIVALENTE – RESUMEN DE RESULTADOS				
ESCENARIO	PERMEABILIDAD TERRENO (m/s)	CAUDAL ESPECÍFICO (L/s X m de sección)	CAUDAL TOTAL (L/s)	RADIO INFLUENCIA (m)
Excavación en Margocalizas	2.44E-7	0.013	2.440	7.04
Excavación en Calizas bioclásticas	1.19E-6	0.028	5.389	15.54

Resumen de los caudales obtenidos mediante la aplicación de la *Fórmula de la Zanja Equivalente*.

En el caso más favorable, si la perforación se realiza exclusivamente en margocalizas, el caudal total para el conjunto de la estructura se cifra en torno a 2,5 L/s. El caudal unitario por metro lineal de sección (2 laterales), por su parte, se estima en 0,013 L/s. El radio de influencia del abatimiento freático, suponiendo un drenaje de los caudales infiltrados durante la obra, se estima en torno a 7 m.

En el caso de una perforación en calizas bioclásticas, el caudal total a lo largo del falso túnel se estima en torno a 5,4 L/s. El caudal específico, se determina en 0,03 L/s por metro lineal de sección (2 laterales). El radio de influencia del abatimiento freático, se cifra en torno a 15,5 m.

Como en el caso del túnel en mina, los caudales estimados no pueden considerarse elevados, lo cual es coherente con las características de permeabilidad determinadas para la unidad geológica en cuestión (apdo. 3.2.). Asimismo, las distancias de influencia calculadas, incluso en el escenario más desfavorable (calizas bioclásticas), resulta igualmente pequeños. De ello se deduce que la banda de afección se restringiría prácticamente a la vertical inmediata de la estructura. Cabe recordar, también, que la duración de dicho efecto se limitaría a la fase de obra. No obstante, resulta recomendable efectuar una revisión de los mismos en fases posteriores, conforme se disponga de una cartografía más detallada en la que se identifiquen zonas específicas de fracturación, datos geotécnicos de nuevas campañas de campo que permitan definir con más precisión la permeabilidad de las formaciones y/o una definición del trazado más detallada.

3.6.4. Estudio del “efecto barrera” en el Túnel en mina y en el Falso Túnel proyectado entre los PPKK 1+250 y 1+490.

En el caso del túnel en mina, a priori no se prevé la producción de un “efecto barrera” de consideración, aun cuando se proceda a una impermeabilización al uso de la estructura, puesto que es asumible la restitución del flujo por debajo y, especialmente, por encima de ella (ya que es a techo de la formación donde predominan las litologías más permeables (calizas bioclásticas). No obstante, esta apreciación habrá de revisarse en fases posteriores, conforme se disponga de una cartografía más detallada en la que se identifiquen zonas específicas de fracturación, datos geotécnicos de nuevas campañas de campo y una caracterización más profunda de las permeabilidades de los miembros de la formación afectada, así como de la formación subyacente (Conglomerados rojos, arcillas y areniscas).

Por su parte, en el caso del falso túnel, una vez concluida su construcción y asumiendo una estructura estanca, es Fase de explotación éste interrumpirá de forma permanente los 5-6 primeros metros de la Zona Saturada. No obstante, dado que los cauces fluviales que limitan la elevación, por el este y el oeste, presentan una cota topográfica muy inferior a la de la excavación, este posible efecto barrera se vería limitado al interfluvio entre ellos. Asimismo, dichos arroyos desembocan en uno de los tributarios de cabecera del complejo Riera Magarola, Riera de Masquefa i Riera de can Dalmases (o torrent Mal), que discurre al sur, en paralelo al trazado, con cota topográfica aún más inferior a la de éste y que, por tanto, acotaría dicha afección también por este lado.

Por otra parte, en campañas geotécnicas correspondientes a fases posteriores se recomienda investigar la permeabilidad de la formación de conglomerados subyacente (bien con ensayos de permeabilidad puntual o ensayos de bombeo al uso, así como con estaciones geomecánicas con registro de medidas concretas de aperturas y espaciado de discontinuidades, etc.), a fin de evaluar las posibilidades de una restitución de flujo, de forma natural, a través de ella, por debajo de la estructura.

3.6.5. Estudio del “efecto drenaje” y del “efecto barrera” en el Falso Túnel proyectado en el núcleo urbano de Collbató

Se proyecta un falso túnel que atraviesa el núcleo urbano de Collbató, entre los PPKK 1+500 y 3+500 aproximadamente, con una longitud en torno a 2000 m. Las cotas de rasante oscilan entre 322 y 394 m.s.n.m., con una montera máxima de 15 m, en relación al terreno urbano actual. De forma similar a como se indicaba en el Falso Túnel del Bruç, puede asumirse entre 2 y 2,5 m adicionales, a efectos de excavación. Esto arroja unas cotas de excavación entre 319,5 y 391,5 m.s.n.m.

Geológicamente, la población se asienta en Gravas, arenas, limos, correspondientes a Depósitos aluviales, fondos de valle y terrazas bajas asociadas a los ríos principales, de edad Cuaternaria (Holoceno – Pleistoceno). Como se ha visto en el apdo. 3.2., dichos materiales presentan una **permeabilidad Muy Alta** por porosidad primaria, por lo que constituyen un acuífero de excelentes características, aunque su extensión no sea elevada.

Estos materiales conforman la **MASb ES100MSBT22 Al·luvials del Penedès i aqüífers locals**, que goza de figura de protección dentro del *Plan de Gestión del Distrito de Cuenca Fluvial de Catalunya (2016 – 2021)* como recurso para abastecimiento urbano.

El perímetro suroeste de la población viene marcado por el cauce del Can Dalmases que, en la zona, presenta cotas topográficas entre 288.94 y 390.21 m.s.n.m.



Figura 22a: Situación del trazado de la A-2 a su paso por el núcleo urbano de Collbató.

A falta de datos piezométricos en la zona, es preciso considerar el tipo de acuífero (depósitos aluviales y de terraza), así como la proximidad de la citada riera. Ésta ha de considerarse como el nivel de base regional del acuífero cuaternario. Por tanto, las cotas topográficas del cauce, constituyen las cotas de descarga de las aguas del mismo. Así pues, en el entorno de las obras es de esperar cierta someridad del nivel freático.

A la vista de las cotas de descarga del Can Dalmases y de las cotas de excavación de la rasante, resulta muy probable interceptar la Zona Saturada durante la Fase de obra. Si bien se carece de datos cuantitativos de permeabilidad, es razonable esperar caudales de infiltración medios o relativamente altos. Por tanto, cabe prever también la generación de un “efecto drenaje” de consideración, durante esta fase, con radios de influencia ocasionados por el abatimiento, igualmente considerables.

Por lo que respecta a la fase de explotación, y asumiendo que la estructura acabada resulte estanca, dada su longitud ésta podría ocasionar un “efecto barrera” de importancia.

Al tratarse de un medio urbano, y recordando nuevamente la probable someridad de los niveles freáticos, cualquier alteración de éstos podría tener consecuencias geotécnicas en estructuras bajo rasante, así como en captaciones cercanas.

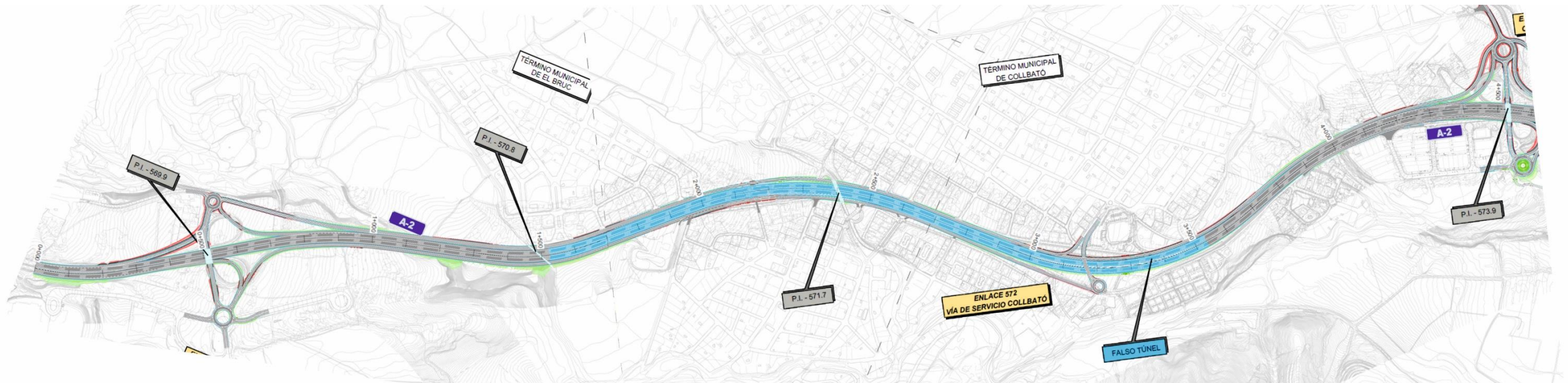


Figura 22b: Planta topográfica del trazado del Falso Túnel de Collbató (elaboración propia).

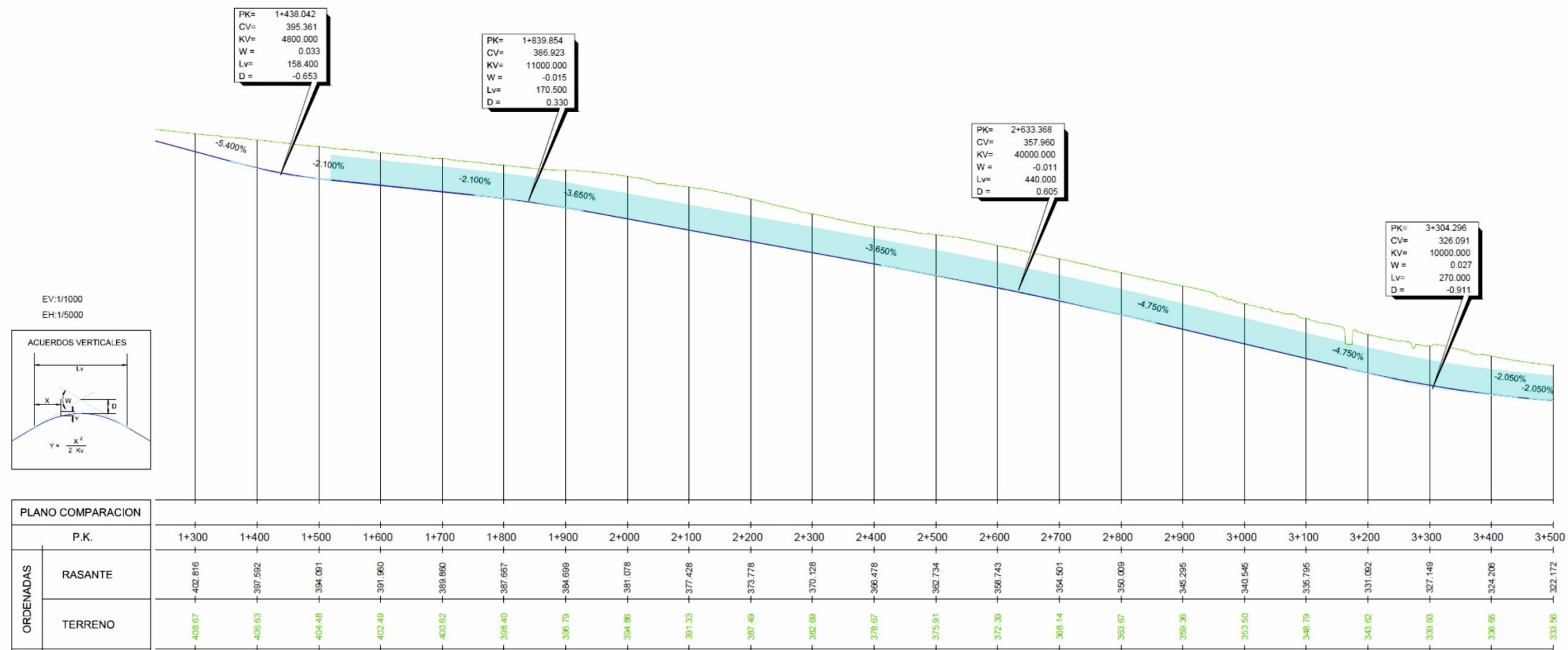


Figura 22c: Perfil topográfico del Falso Túnel de Collbató (elaboración propia).

En caso de resultar seleccionada esta alternativa, es recomendable la realización de un Estudio Hidrogeológico específico que permita determinar y cuantificar, en primer lugar, la piezometría y los parámetros hidrogeológicos del entorno (en sentido amplio) de la estructura. Para ello, resulta recomendable abordar la perforación de piezómetros (tanto cercanos a la traza como alejados de ella), al igual de ensayos de permeabilidad in situ, toma de muestras de testigo y análisis de las mismas por tamizado y sedimentología.

Asimismo, resulta recomendable comprobar (y completar, en su caso) los inventarios de puntos de agua del entorno. Igualmente, se abordaría un inventario de estructuras bajo rasante.

Por último, sería recomendable (una vez se disponga de prospecciones en el entorno), efectuar un seguimiento piezométrico y de calidad de las aguas. A priori, éste debería comenzar, al menos, un año hidrológico antes del inicio de las obras y prolongarse hasta un año hidrológico después de la puesta en servicio de la estructura. La periodicidad de las medidas piezométricas podría ser mensual fuera de la fase de obra y semanal durante ésta. La periodicidad de la toma de muestras de agua para análisis de su calidad, podría ser semestral fuera de la fase de obra y trimestral o cuatrimestral durante ella.

3.6.6. Estudio de posibles afecciones a puntos de agua

Para analizar las afecciones que las obras pudiesen tener sobre manantiales, captaciones y otros puntos de agua, se han analizado los puntos de agua de los inventarios situados a menos de 100 metros del trazado. De todos los puntos de agua analizados, se consideran en riesgo de ser destruidos por el transcurso de las obras aquellos situados a menos de 50 m del trazado.

En total, se consideran bajo este riesgo las siguientes captaciones del Registro de aguas de la ACA: 19388062, 19349229, 19343902, 19380738, 19380735 y 19365543. A ellos, hay que sumar el manantial identificado como 78288717 del inventario de CNIG del IGN.

Además, los piezómetros 15643659, situado en un aparcamiento del polígono industrial de Esparraguera, también es susceptible de ser arrasado con la construcción de la nueva carretera.

Por último, el piezómetro 15643377 se localiza bajo un viaducto, por lo que, aunque no se espera su destrucción, es posible que sufra daños durante la ejecución del proyecto.

En cualquier caso, independientemente de las estimaciones a la afección realizadas en el presente estudio, si alguno de los puntos de agua inventariados o no, sufriese algún tipo de afección, como un descenso prolongado del nivel freático, la clausura del acceso de manera temporal o permanente o la destrucción del mismo, debido a la ejecución de las obras, estos serán debidamente remediados, ya sea aumentando la profundidad del pozo o sondeo para asegurar el potencial piezométrico o reponiéndolos en otra situación cuando este sea destruido.

En el caso de que alguno de los piezómetros fuese arrasado, este será debidamente repuesto en otra localización que permita llevar a cabo el control hidrogeológico de la misma masa de agua.

En las siguientes figuras se puede ver la situación de los puntos de agua con el trazado del proyecto y la zona de influencia de 50 m a ambos lados.



Figura 23a: Localización de la captación 19388062 junto al trazado (elaboración propia).

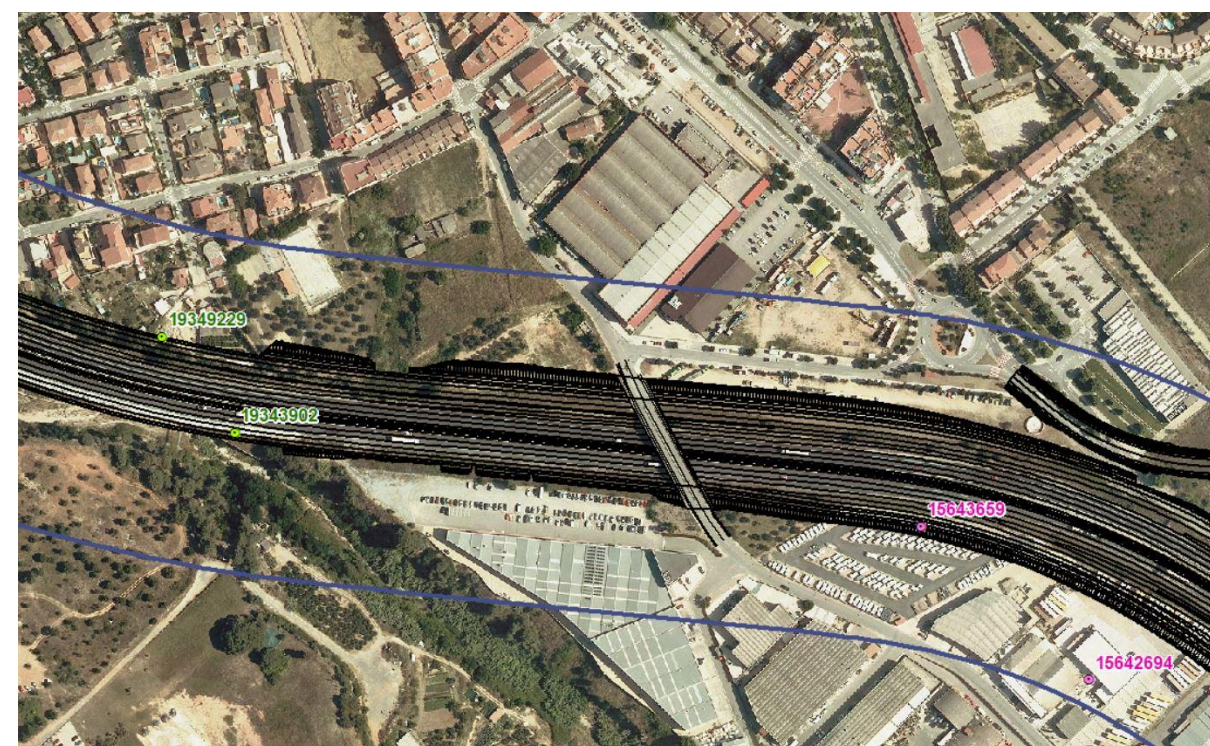


Figura 23b: Localización de las captaciones 19349229, 19343902 y el piezómetro 15643659 junto al trazado y el piezómetro 15642694 localizado a mayor distancia (elaboración propia).

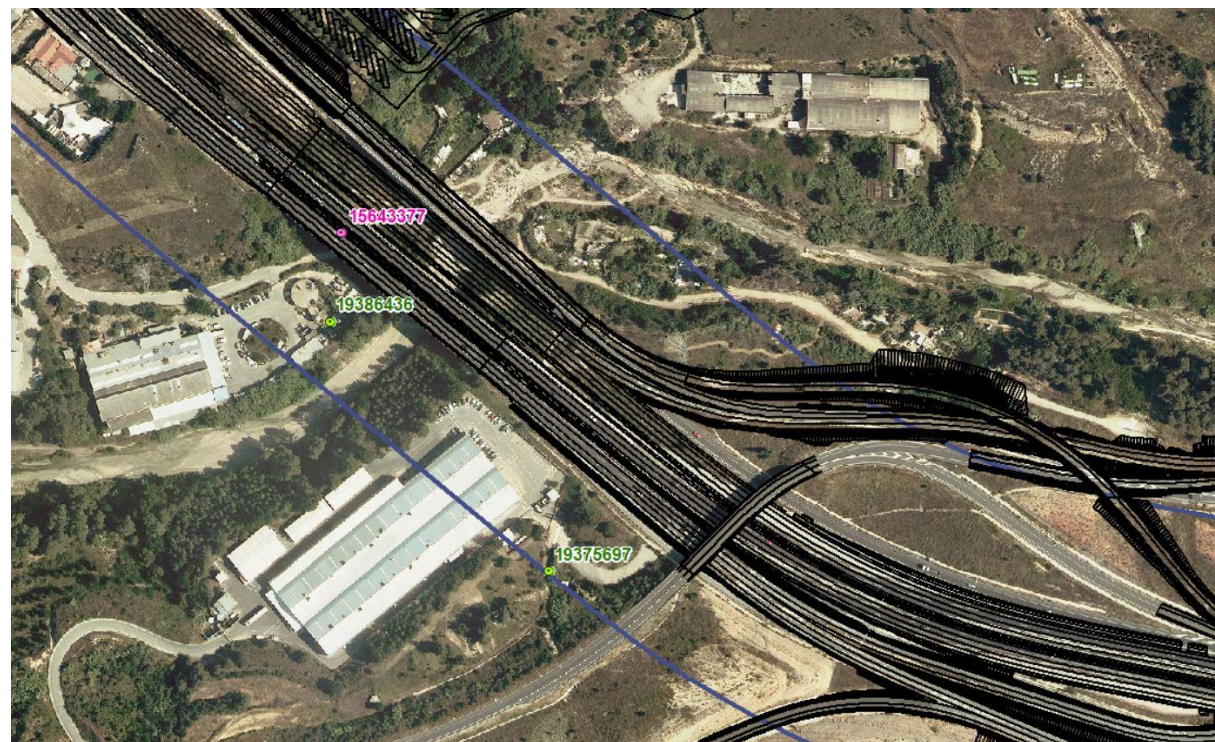


Figura 23c: Localización de las captaciones 19386436 y 19375697 al sur del trazado y el piezómetro 15643377 bajo el viaducto (elaboración propia).



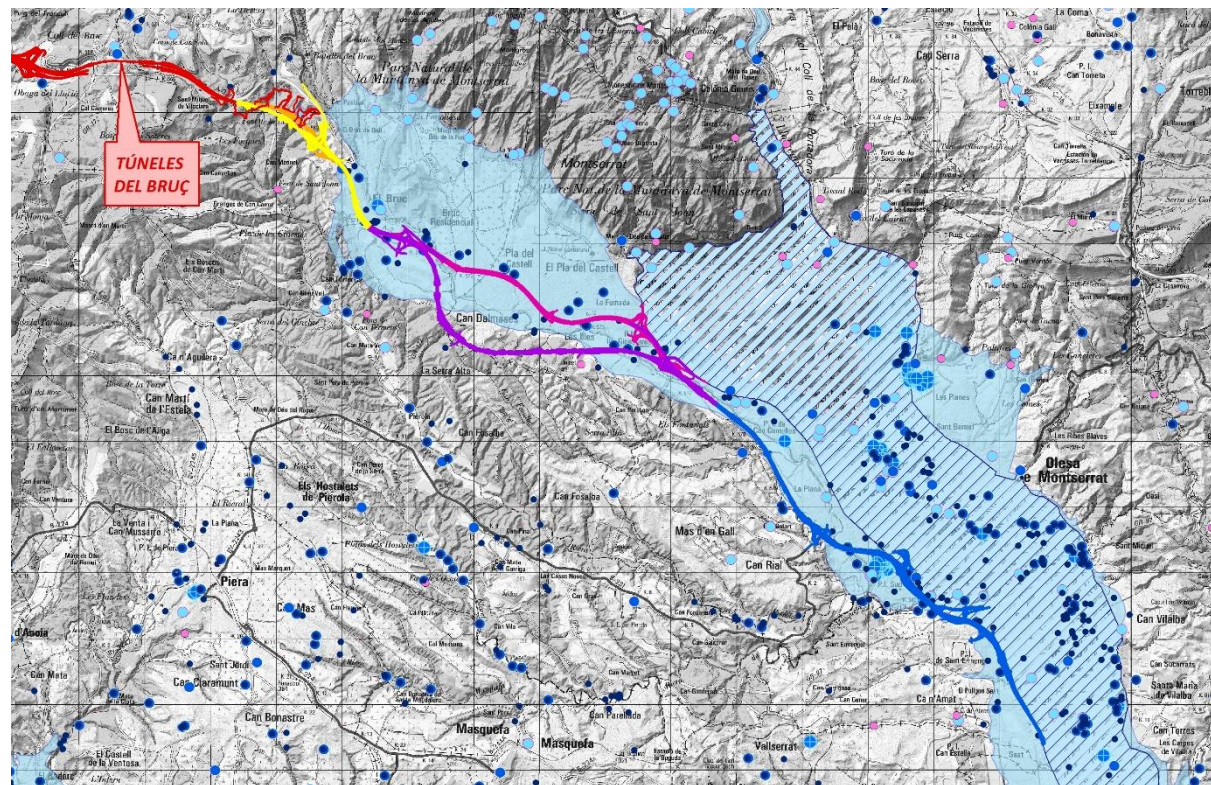
Figura 23d: Localización del manantial 78288717 que previsiblemente será destruido durante las obras de construcción del nuevo trazado (elaboración propia).



Figura 23e. Localización de las captaciones 19380738, 19380735 y 19365543 junto al trazado (elaboración propia).

3.6.7. Estudio de posibles afecciones a Zonas protegidas

Según la información disponible en los *Inventarios de Puntos de Agua* (apdo. 3.4.), así como en el *Anexo IX del Plan de Gestión del Distrito de Cuenca Fluvial de Cataluña (2016 – 2021)* (apdo. 3.5), en el presente análisis únicamente cabe reseñar la parte final del trazado, a partir aproximadamente del PK 568+500. Es preciso recalcar que dicho tramo se desarrolla enteramente en superficie y se encuentra a continuación de los Túneles del Bruç, por lo que estas estructuras subterráneas quedarían fuera de una posible afección a Zonas protegidas. En la siguiente figura se ilustra dicho tramo.



Alternativas de Trazado

- | | |
|--------------------------------------|---|
| — Tramo 1 | — Tramo 3 - Alternativa Collbato3 Variante de Poblacion |
| — Tramo 2 - Alternativa Bruc2 Sur | — Tramo 3 - Alternativa Collbato1 Sobre Calzada |
| — Tramos 2 - Alternativa Bruc1 Norte | — Tramo 3 - Alternativa Collbato2 Falso Túnel |
| | — Tramo 4 |

Figura 24: Masas de agua subterránea y acuíferos objeto de protección afectados por el trazado propuesto, según el Anexo IX del Plan de Gestión del Distrito de Cuenca Fluvial de Cataluña (2016 – 2021) (elaboración propia).

A partir del citado PK, el trazado se adentra en la **MASb ES100MSBT22 Al-luvials del Penedès i aquífers locals**, que goza de protección como *Zona para la captación de agua destinada al consumo humano*, así como *Hábitat relacionados con aguas subterráneas*. Las últimas decenas de metros del trazado, discurren marginalmente por la **MASb ES100MSBT37 Cubeta d'Abrera**, con idénticas figuras de protección.

Por último, en paralelo a estas masas de agua subterránea, el trazado discurre por el margen de los **Aquífers de la Cubeta d'Abrera**, recogidos como *Zona de protección especial*.

En este tramo, como ya se comentaba, el trazado discurre en superficie. Dado el paso por poblaciones y las estructuras de conexión con otras vías de comunicación, la cota de rasante se encuentra muy próxima a la del terreno actual, por lo que apenas se incluyen desmontes o éstos presentan una altura muy escasa, por lo que no es previsible una afección significativa a las citadas zonas protegidas. No obstante, durante la fase de construcción, y en aras de preservar la calidad de las aguas, se recomienda

tomar medidas específicas para evitar los posibles vertidos accidentales a terreno y la percolación de sustancias hacia el medio acuífero.

3.6.8. Estudio de posibles afecciones a cauces superficiales

Como se puede observar en la siguiente figura, el trazado atraviesa los cauces de las ramblas de Odena, Castellolí y can Dalmases, afluentes del Río Anoia mediante viaductos existentes, por ello, no es de esperar ningún tipo de afección importante a cauces de agua superficiales.

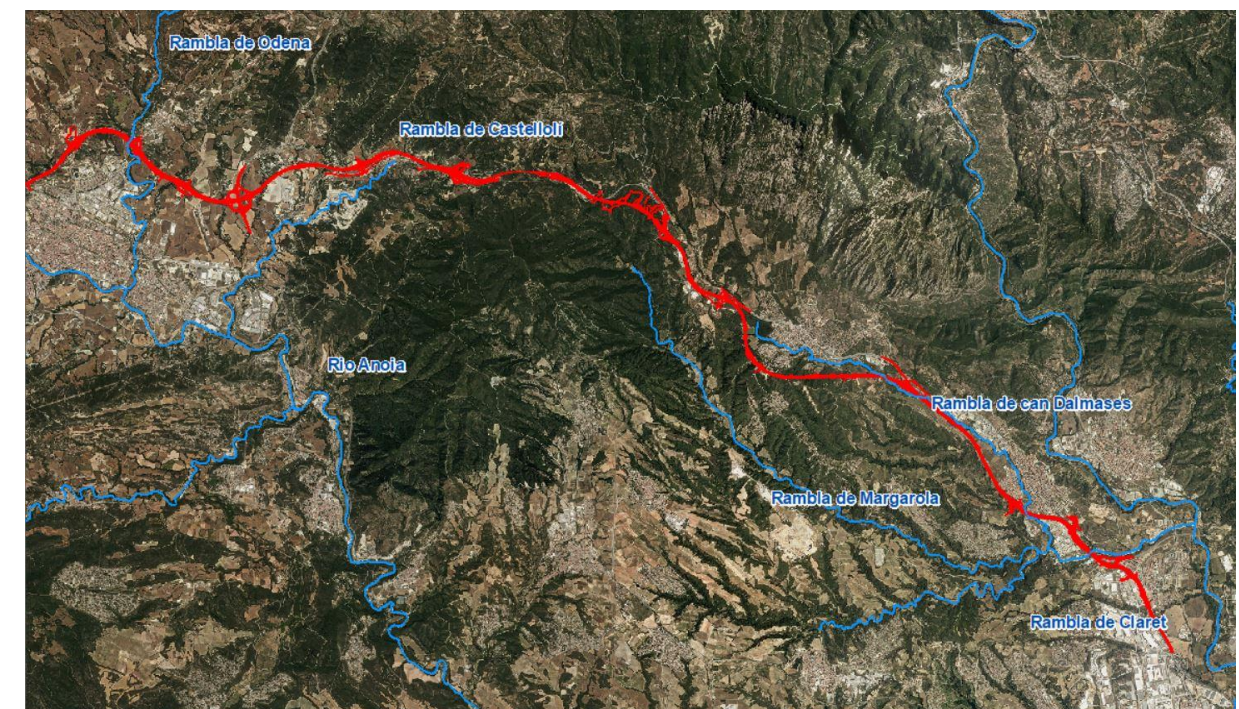


Figura 25: Cauces de aguas superficiales afectados por el trazado propuesto, según información de la ACA (elaboración propia).

3.7.RECOMENDACIONES GENERALES PARA EVITAR LA GENERACIÓN DE VERTIDOS ACCIDENTALES DURANTE LA FASE DE OBRA.

Por lo que respecta a la preservación de la calidad del agua subterránea, y de forma general para todo el trazado, durante la fase de obra habrán de considerarse ciertas medidas al uso, destinadas a evitar y prevenir la contaminación de las aguas subterráneas. A continuación, se proponen las siguientes:

- Realizar un control estricto sobre los posibles vertidos accidentales de contaminantes (aceites, combustibles, lechadas, etc.) que se produzcan directa o indirectamente sobre los terrenos afectados y a los cauces. Este control evitará en todo lo posible que el vertido se produzca y, en caso de producirse, éste será rápidamente retirado del terreno, así como tratados los suelos afectados.
- Se evitará situar instalaciones auxiliares para la obra, como plantas de hormigonado, casetas de obra, parques de maquinaria, etc. sobre terrenos con una vulnerabilidad alta o muy alta. Se

recomienda situar estas zonas sobre áreas adecuadas y correctamente impermeabilizadas. Se tomarán las medidas oportunas para recoger el agua de escorrentía que circula por estas zonas durante la duración de la obra. Posteriormente, a la finalización de la obra, se retirará la capa impermeable y se restituirán las condiciones naturales del terreno.

- Se evitará el vertido sobre el terreno y cauces de las aguas residuales generadas durante la realización de la obra. Éstas serán convenientemente depuradas con los tratamientos necesarios y se realizará un seguimiento analítico de las aguas, antes, durante y después de su depuración. Éstas solo serán vertidas cuando no se sobrepasen los valores establecidos por la legislación vigente relativa a vertidos.
- Las operaciones de mantenimiento de maquinaria deberán realizarse, en la medida de lo posible en áreas especializadas (talleres), en caso de no ser posible, se realizarán en zonas preparadas al efecto y los productos contaminantes generados deberán ser convenientemente recogidos y trasladados a una instalación especializada para su reciclaje.
- Se aconseja, muy especialmente, evitar cualquier tipo de vertido directo al terreno a través de excavaciones abiertas, pozos, sondeos o taladros realizados durante la obra o previamente existentes. Para ello, se sellará convenientemente con lechadas de cemento bentonita u hormigón, lo más rápidamente posible, cualquier tipo de taladro que quede dentro de las zonas de asentamiento permanente o provisional de la obra.
- Aquellos pozos o sondeos que por alguna razón sea necesario conservar después de la obra, serán entubados, se les colocará una tapa adecuada que evite cualquier tipo de vertido furtivo o accidental y se cementará adecuadamente el espacio anular comprendido entre la entubación y el terreno en los 2-3 m superiores a modo de sello sanitario, para evitar la entrada de contaminantes a través de este espacio anular.
- En las excavaciones abiertas, se recomienda, especialmente, evitar el vertido de escombros o aguas residuales en las zanjas abiertas, así como ser muy estrictos en cuanto al tipo de materiales usados para rellenar las zanjas.

En cuanto a la vigilancia de posibles afecciones a la cantidad del recurso subterráneo, se recomienda efectuar un seguimiento de la piezometría durante el tiempo que se prolonguen las obras, en los sondeos disponibles en la zona (tanto procedentes de campañas pasadas como de las campañas propuestas en este PC), con frecuencia semanal.

4. CONCLUSIONES

Desde el punto de vista hidrológico las alternativas de trazado se sitúa atravesando la depresión central catalana o Cuenca del Ebro, la Cordillera Prelitoral y la fosa tectónica del Vallés-Penedés en su límite con la cuenca baja del río Llobregat.

En el entorno del presente proyecto se definieron tres masas de agua subterránea, por un lado, en el sector oriental del trazado la MASb Cubeta de Abrera, en la parte central la MASb Aluviales del Penedés y acuíferos locales y en el extremo más occidental del trazado, la MASb Gaiá-Anoia.

Por lo que respecta a la Permeabilidad, el tramo más occidental del trazado, hasta el PK 554+000, discurre por materiales de **permeabilidad baja**, fundamentalmente detríticos. A partir de este punto, y hasta el emboquille de los Túneles del Bruç (PK 564+013) el trazado se adentra en materiales carbonáticos también de **baja permeabilidad**. En algunos márgenes se observan materiales carbonatados de **permeabilidad alta** a cotas elevadas, si bien éstos no llegan a ser afectado por la traza, que se desarrolla a cota inferior al contacto. Entre los PPKK 567+500 y 568+400, el trazado se emplaza en materiales metadetríticos de **permeabilidad baja**.

En la campaña geológico – geotécnica realizada en septiembre de 2020, se ejecutaron 4 ensayos tipo Lugeon en los sondeos situados en la zona del túnel en mina proyectado (S-1, S-2 y S-3). Según los resultados obtenidos, se identifican dos tipos de materiales, si bien ambos se encuentran integrados en la misma unidad geológico – geotécnica, la unidad Tm_{22-21}^{Ab-Ac} Margas grises fosilíferas.

- Las margocalizas presentan una permeabilidad media de $2.44E-07$ m/s ($2.11E-02$ m/día).
- Las calizas grises con fósiles, presentan una permeabilidad media de $1.19E-06$ m/s ($1.03E-01$ m/día), lo que supone prácticamente un orden de magnitud más que la presentada por las magorcalizas.

La permeabilidad media de todo el conjunto de la unidad se cifra en $5.40E-07$ m/s.

El seguimiento freático en los sondeos ejecutados en la zona del túnel en mina, revela que la máxima cota piezométrica (569,2 msnm) se alcanza en el entorno del sondeo S-2. Esto resulta lógico considerando que dicha prospección se encuentra en la parte media de la estructura, donde la montera es máxima. Hidrogeológicamente se ubica en un interfluvio, que se correspondería con una zona de recarga local.

En cuanto a la valoración preliminar de los posibles afecciones o impactos que la ejecución y/o explotación del trazado podría tener sobre el medio hidrogeológico, se ha determinado lo siguiente:

- El estudio del “efecto drenaje” ha encontrado únicamente 2 estructuras susceptibles de interceptar el nivel piezométrico: el Túnel en mina proyectado en el Bruç y el Falso túnel previsto a continuación.
- En el Túnel en mina del Bruç, considerando el caso más desfavorable (excavación en los términos más calizos y permeables de la unidad geológica) el caudal instantáneo acumulado

en tramos de 100 m se cifra entre 8 y 12 L/s. Para tramos de 20 m (más aproximados a un ritmo realista de trabajo) estaría entre 1 y 5 L/s.

En el caso más favorable, si la perforación se realiza exclusivamente en margocalizas, el caudal instantáneo acumulado, en intervalos de 100 m, oscilarían entre 1 y 2.5 L/s. En tramos de trabajo de 20 m, dicho intervalo estaría entre los 0,2 y 0,9 L/s.

En estas condiciones cabría esperar un cierto “efecto drenaje” en fase de construcción, si bien éste se vería fácilmente minorado por el propio revestimiento del túnel y la impermeabilización al uso, que se contempla habitualmente.

- Para el Falso Túnel proyectado entre los PPKK +250 y 1+490, si la perforación se realizara exclusivamente en margocalizas, el caudal total para el conjunto de la estructura se cifra en torno a 2,5 L/s. El caudal unitario por metro lineal de sección, se estima en 0,013 L/s. El radio de influencia del abatimiento freático, suponiendo un drenaje de los caudales infiltrados durante la obra, se estima en torno a 7 m.

En el caso de una perforación en calizas bioclásticas, el caudal total a lo largo del falso túnel se estima en torno a 5,4 L/s. El caudal específico, se determina en 0,03 L/s por metro lineal de sección. El radio de influencia del abatimiento freático, se cifra en torno a 15,5 m.

Como en el caso del túnel en mina, los caudales estimados no pueden considerarse elevados. Asimismo, las distancias de influencia calculadas, incluso en el escenario más desfavorable (calizas bioclásticas), resulta igualmente pequeños. De ello se deduce que la banda de afección se restringiría prácticamente a la vertical inmediata de la estructura. Cabe recordar, también, que la duración de dicho efecto se limitaría a la fase de obra.

- Por lo que respecta al Estudio del “efecto barrera” en el trazado en fase de explotación, éste únicamente se ha determinado en el tramo en Falso Túnel proyectado entre los PPKK 1+250 y 1+490.

Una vez concluida su construcción y asumiendo una estructura estanca, en Fase de explotación se prevé que éste interrumpa de forma permanente los 5-6 primeros metros de la Zona Saturada local. No obstante, dado que los cauces fluviales que limitan la elevación presentan una cota topográfica muy inferior a la de la excavación, este posible efecto barrera se vería limitado al interfluvio entre ellos.

- Los inventarios de puntos de agua muestran gran cantidad de entidades próximas al trazado, si bien, un análisis más detallado, considerando una banda de afección en torno a 50 m del trazado, ha revelado que únicamente 6 de los puntos de agua de la base de datos cartográfica de la ACA se consideran bajo riesgo de ser destruidos por el transcurso de las obras: 19388062, 19349229, 19343902, 19380738, 19380735 y 19365543. A ellos, hay que sumar el manantial identificado como 78288717 del inventario de CNIG del IGN. Por último, es preciso considerar también los piezómetros 15643659 y 15643377, como también susceptibles de ser arrasado por las obras de construcción.
- Según la información disponible en el *Anexo IX del Plan de Gestión del Distrito de Cuenca Fluvial de Cataluña (2016 – 2021)*, respecto a Zonas protegidas, cabe reseñar que la parte final del

trazado, a partir aproximadamente del PK 568+500, se adentra en la **MASb ES100MSBT22 Al-luvials del Penedès i aqüífers locals**, que goza de protección como *Zona para la captación de agua destinada al consumo humano*, así como *Hábitat relacionados con aguas subterráneas*. Las últimas decenas de metros del trazado, discurren marginalmente por la **MASb ES100MSBT37 Cubeta d'Abrera**, con idénticas figuras de protección. Únicamente el tramo de circunvalación de Collbató abandona parcialmente esta zona protegida. Por último, en paralelo a estas masas de agua subterránea, el trazado discurre por el margen de los **Aqüífers de la Cubeta d'Abrera**, recogidos como *Zona de protección especial*.

En este tramo, el trazado discurre en superficie; la cota de rasante se encuentra muy próxima a la del terreno actual, por lo que apenas se incluyen desmontes o éstos presentan una altura muy escasa. Debido a ello, no es previsible una afección significativa a las citadas zonas protegidas.

Es preciso recalcar que dicho tramo se desarrolla enteramente en superficie y se encuentra a continuación de los Túneles del Bruç, por lo que estas estructuras subterráneas quedarían fuera de una posible afección a Zonas protegidas. En la siguiente figura se ilustra dicho tramo.

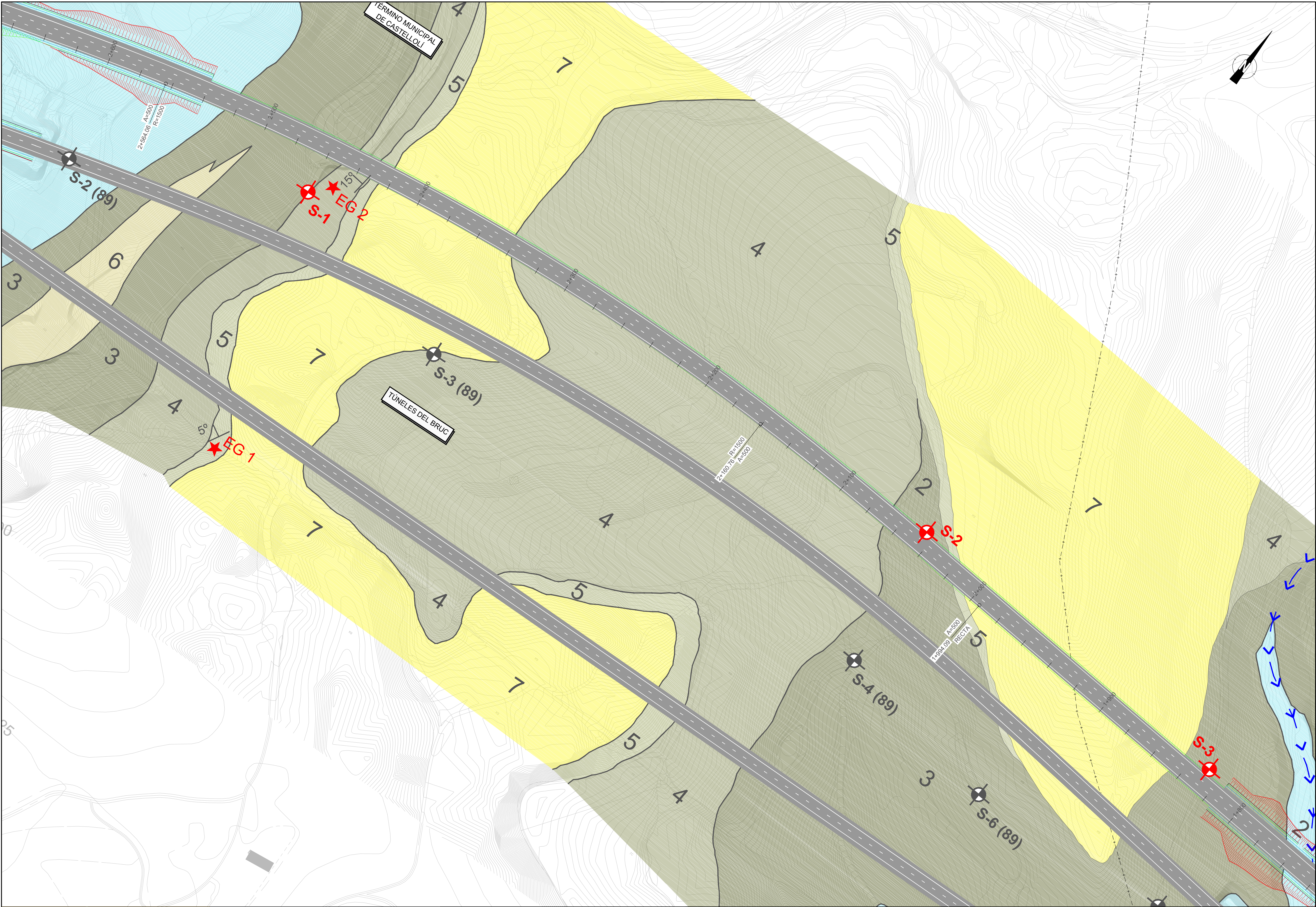
- El trazado atraviesa los cauces de las ramblas de Odena, Castellolí y can Dalmases, afluentes del Río Anoia mediante viaductos existentes, por ello, no es de esperar ningún tipo de afección importante a cauces de agua superficiales.

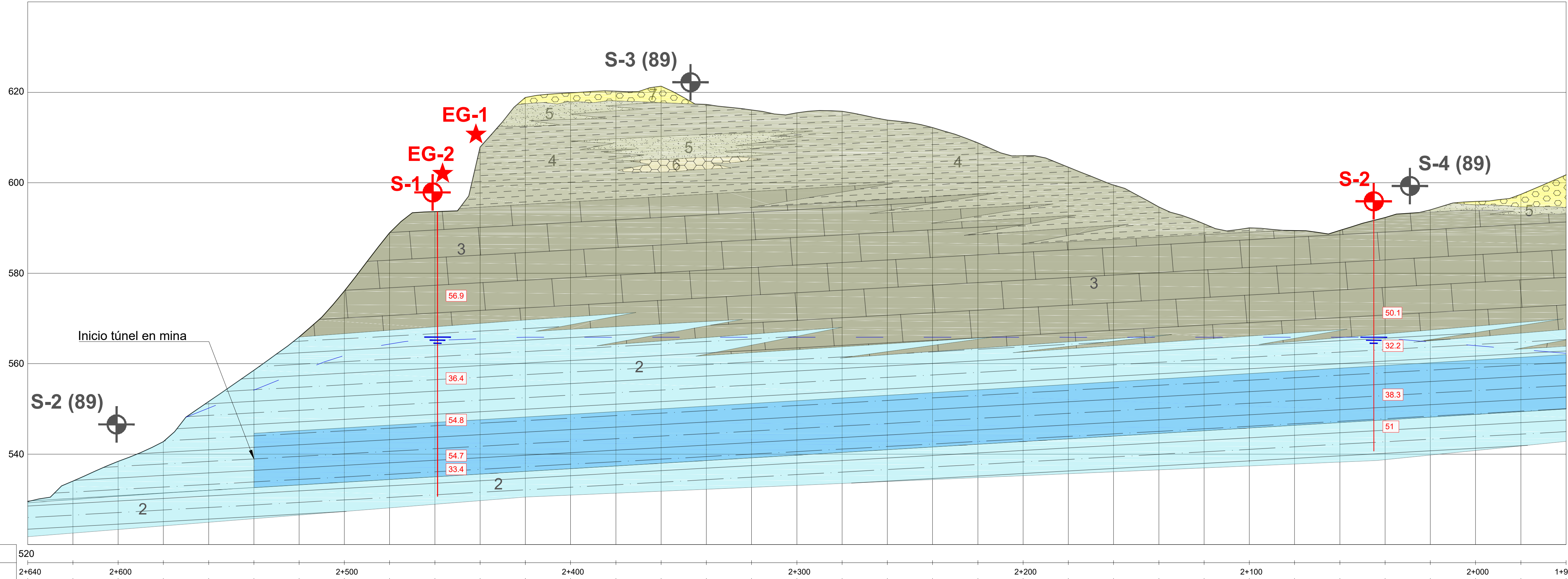
ANEXO 1. PLANTA GEOLÓGICA DE DETALLE DEL TÚNEL EL BRUÇ

ANEXO 2. PERFIL GEOLÓGICO DE DETALLE DEL TÚNEL EL BRUÇ

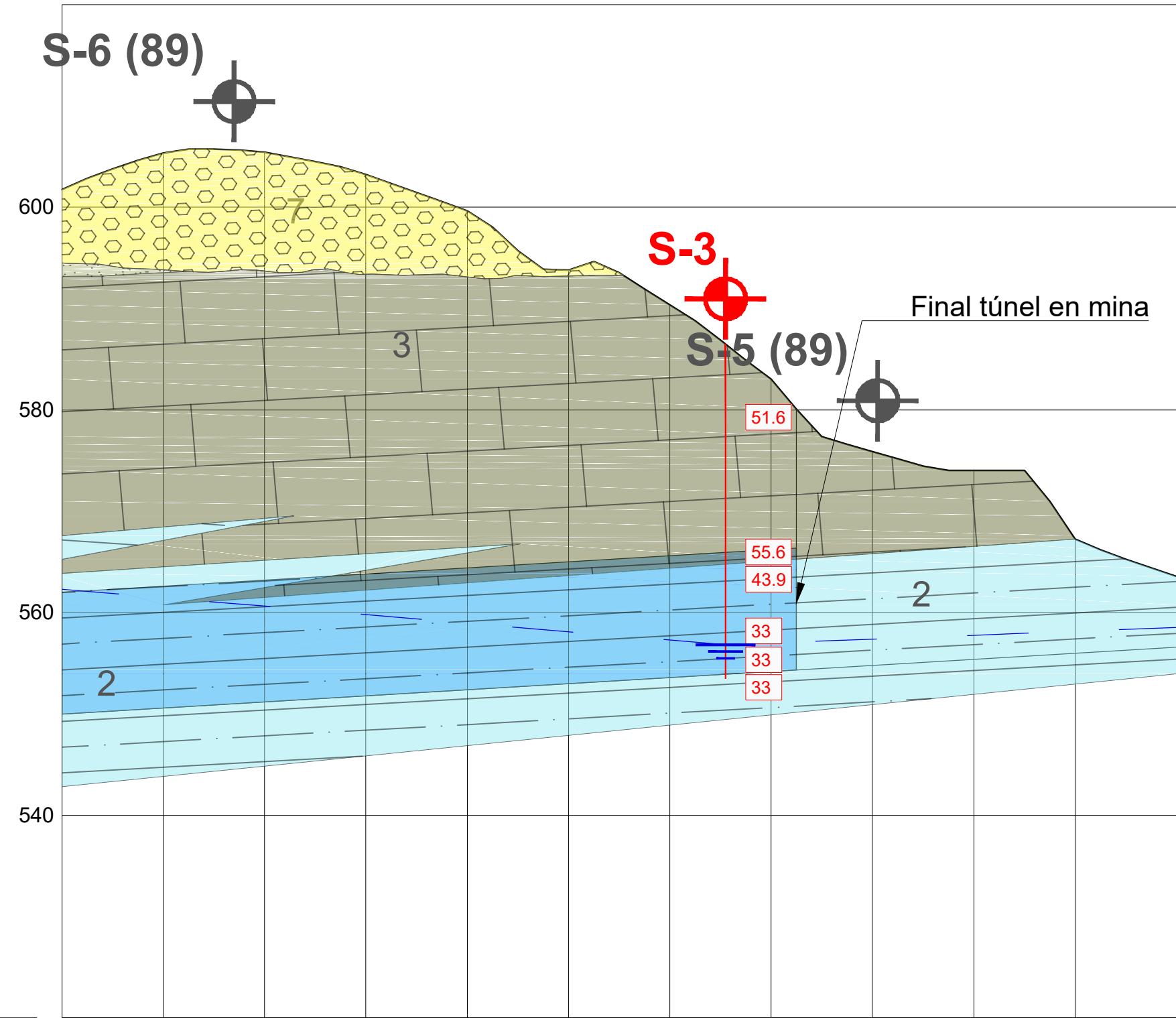
ANEXO 3. ENSAYOS LUGEON REALIZADOS EN LA CAMPAÑA PROPIA DEL ANTEPROYECTO

ANEXO 4. ESTIMACIÓN DE CAUDALES DE INFILTRACIÓN SUBTERRÁNEOS





TRAMO (m)		1	2	3	4	5
LONGITUD (m)		70	270	80	120	175
RECUBRIMIENTO (m)		40	80	55	42	54
UNIDAD GEOTÉCNICA		2	2	2	2	2
ROCA INTACTA	γ_{ap} (kN/M³)	25,9	25,9	25,9	25,9	25,9
	σ_c (MPa)	47,6	42,7	42,7	38,3	38,3
	m_i	10	10	10	10	10
CLASIF. GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO	RMR (Corregido)	47 - 53	53 - 59	49 - 56	49 - 56	51 - 57
	RMR DE CÁLCULO (Corregido)	47	53	49	49	51
MACIZO ROCOSO	m	1,506	1,866	1,618	1,618	1,738
	s	0,0028	0,0054	0,0035	0,0035	0,0043
	a	0,507	0,505	0,506	0,506	0,505
	c (MPa)	0,40	0,61	0,45	0,38	0,45
	Φ (°)	54	50	51	52	51
	E (MPa)	7122	10233	8081	7249	8182
	v	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
EXCAVABILIDAD		P y V	P y V	P y V	P y V	P y V
PRESENCIA DE AGUA EN ZONA DE EXCAVACIÓN		Ligeramente húmedo - Goteando				



TRAMO (m)		5	6
LONGITUD (m)		175	10
RECUBRIMIENTO (m)		54	33
UNIDAD GEOTÉCNICA		2	2
ROCA INTACTA	γ_{ap} (kN/M³)	25,9	25,9
	σ_c (MPa)	38,3	38,3
	m_i	10	10
CLASIF. GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO	RMR (Corregido)	51 - 57	48 - 54
	RMR DE CÁLCULO (Corregido)	51	48
MACIZO ROCOSO	m	1,738	1,561
	s	0,0043	0,0031
	a	0,505	0,507
	c(MPa)	0,45	0,32
	$\Phi(^{\circ})$	51	53
	E (MPa)	8182	6356
	v	0,25	0,25
EXCAVABILIDAD		P y V	P y V
PRESENCIA DE AGUA EN ZONA DE EXCAVACIÓN		Ligeramente húmedo - Goteando	



MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA

SECRETARÍA DE ESTADO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA
SECRETARÍA GENERAL DE INFRAESTRUCTURAS
DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS
DEMARCACIÓN DE CARRETERAS DEL ESTADO EN CATALUÑA

CONSULTOR:



ESCALA: H: 1/1000 V: 1/500
0 10 20 30 40
0 20 40 60 80
ORIGINAL-A1

TÍTULO DEL PROYECTO:
ANTEPROYECTO Y ESTUDIO DE VIABILIDAD DE ADECUACIÓN, REFORMA Y CONSERVACIÓN DE LA AUTOVÍA A-2. TRAMO: IGUALADA-MARTORELL P.K. 550,6 AL P.K. 585,5

CLAVE: AO-B-25

Nº ANEJO: 03

TÍTULO DEL ANEJO: DESIGNACIÓN:
VARIANTE TÚNEL LONGITUDINAL GEOTÉCNICO

FECHA: FEBRERO 2021
HOJA 02 DE 02

3.2.2. Actas de resultados de ensayos Lugeon

ENSAYO DE PERMEABILIDAD EN SONDEOS TIPO LUGEON

OBRA:	REDACCIÓN DEL ANTEPROYECTO Y ESTUDIO DE LA VIABILIDAD DE ADECUACIÓN, REFORMA, Y CONSERVACIÓN DE LA AUTOVÍA A-2, TUNEL BRUC	REFERENCIA:	223.047
-------	--	-------------	---------

ENSAYO DE PERMEABILIDAD LUGEON REALIZADO EN EL SONDEO: S-01	SUPERVISOR:	MGJ	FECHA Y HORA DE INICIO:	30/11/2020	OBSERVACIONES:
	SONDISTA:	PAV	FECHA Y HORA DE FIN:	30/11/2020	
	EMPRESA:	APPLUS	CONDICIONES METEOROLÓGICAS:		

ENSAYO DE PERMEABILIDAD LUGEON

GEOLOGIA	
Litología:	Margocalizas
Recuperación media en el tramo:	100%
RQD medio en el tramo:	95-100%

DATOS DE CAMPO			
Diámetro del sondeo (mm):	86	En (m):	0,086
Profundidad del nivel piezométrico (m):			
Diámetro interior de la tubería y varillaje (mm):	20	En (m):	0,020
Altura del manómetro sobre suelo (m):	1,5		
Profundidad del tramo ensayado			
Superior (m):	37,00	Longitud (m):	5,00
Inferior (m):	42,00	Prof.media (m):	39,50
Duración del escalón (min.):	10	En (seg):	600

Coefficiente de Permeabilidad (Custodio y Llamas, 1996)

Q, caudal (m3/s). P, presión en m. columna de agua
l, longitud ensayada (m.) r, radio (m.)

$$K = \frac{Q}{2\pi \cdot P \cdot l} \cdot \ln \frac{l}{r}$$

Coefficiente de Permeabilidad (González de Vallejo, 2002)

$$K_{U.L.} = \frac{Q(l/min.)}{l(m)} \cdot \frac{10}{P(Kp/cm^2)} \quad (1.U.L = 1 \frac{l}{m \cdot min} = 10^{-5} \frac{cm}{s})$$

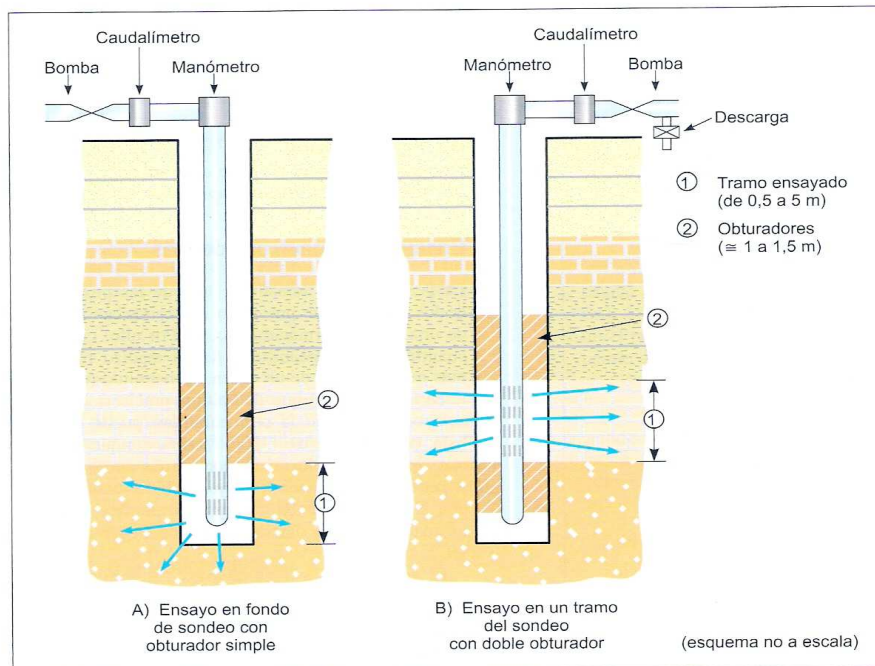


Figura 6.87 Ensayo Lugeon. A): Obturador simple. B): Obturador doble.

(Fuente: Gonzalez y Vallejo, 2004)

Observaciones:

(*) Presión total (Kg/cm²) = P (Kg/cm²) + h (m) / 10; siendo h la profundidad desde el manómetro al NF cuando estemos en la franja saturada; y la distancia del manómetro al punto medio del tramo ensayado cuando estemos en la zona no saturada.

Datos del ensayo							
Escalones de presión (Kp/cm²).	Volumen admitido (l)		Presión en m. de columna de agua (m)	Duración (min)	Caudal (l/min)	Permeabilidad k (Unidades Lugeon)	K (m/s) (Custodio y Llamas)
	Bomba	Total*					
0,0	0,15	50,0	1,50	10	5,00	66,67	8,41E-06
1,0	1,15	64,0	2,50	10	6,40	11,13	6,46E-06
2,0	2,15	82,0	3,50	10	8,20	7,63	5,91E-06
5,0	5,15	109,0	6,50	10	10,90	4,23	4,23E-06
10,0	10,15	128,0	11,50	10	12,80	2,52	2,81E-06
5,0	5,15	116,0	6,50	10	11,60	4,50	4,51E-06
2,0	2,15	102,0	3,50	10	10,20	9,49	7,36E-06
1,0	1,15	70,0	2,50	10	7,00	12,17	7,07E-06
0,0	0,15	39,0	1,50	10	3,90	52,00	6,56E-06

Resultados	
Volumen de agua inyectado a 10 Kp/cm² aprox.(l):	128,0
Duración del escalón, (min):	10
Longitud del tramo ensayado, (m):	5,00
Presión efectiva del escalón mayor.(Kp/cm²):	10,2

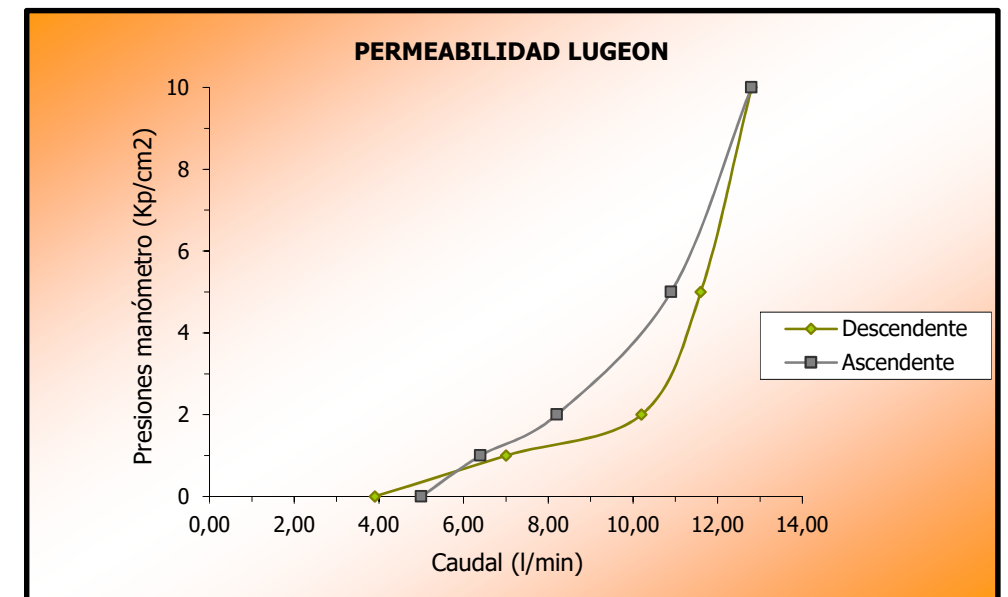
PERMEABILIDAD EN UNIDADES LUGEON	2,52	U.L.
----------------------------------	------	------

PERMEABILIDAD (González de Vallejo)	2,52E-05	cm/s
-------------------------------------	----------	------

PERMEABILIDAD MEDIA (Custodio y Llamas)	6,01E-06	K (m/s)
---	----------	---------

Clasificación de macizos rocosos en función de la permeabilidad (Olalla y Sopeña, 1991)

TIPO DE MACIZO	U.L.	Presión (Kp/cm²)
Muy impermeable	0 - 1	10
Prácticamente impermeable	1 - 3	10
Permeable	> 3	10
	1,5 - 6	5
Muy permeable	> 3	10
	> 6	5



ENSAYO DE PERMEABILIDAD LUGEON REALIZADO EN EL SONDEO: S-01	SUPERVISOR:	MGJ	FECHA Y HORA DE INICIO:	02/12/2020	OBSERVACIONES:
	SONDISTA:	PAV	FECHA Y HORA DE FIN:	02/12/2020	
	EMPRESA:	APPLUS	CONDICIONES METEOROLÓGICAS:		

ENSAYO DE PERMEABILIDAD LUGEON

GEOLOGIA	
Litología:	Margocalizas y calizas
Recuperación media en el tramo:	100%
RQD medio en el tramo:	95,00%

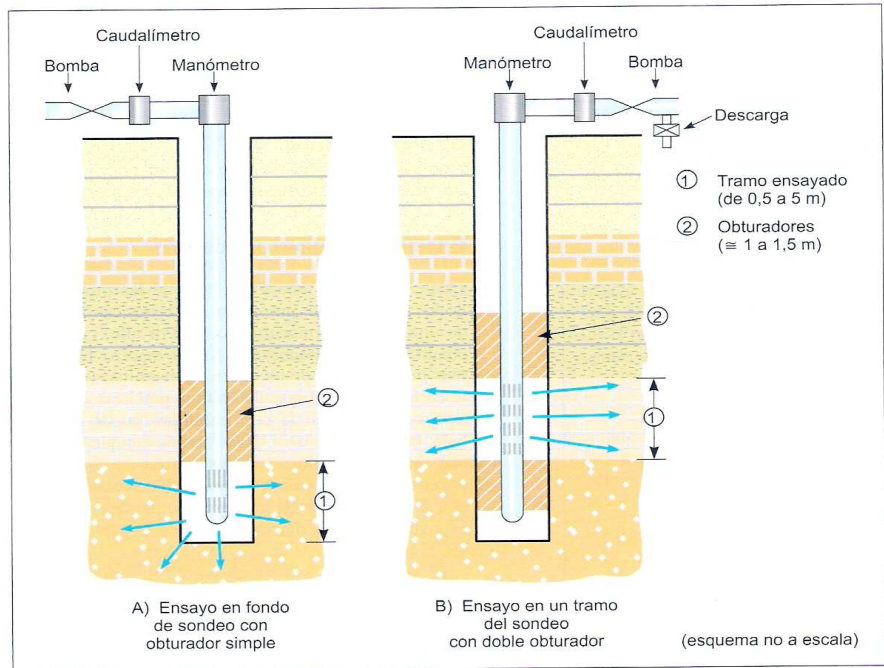


Figura 6.87 Ensayo Lugeon. A): Obturador simple. B): Obturador doble.

(Fuente: Gonzalez y Vallejo, 2004)

Observaciones:

(*) Presión total (Kg/cm²) = P (Kg/cm²) + h (m) / 10; siendo h la profundidad desde el manómetro al NF cuando estemos en la franja saturada; y la distancia del manómetro al punto medio del tramo ensayado cuando estemos en la zona no saturada.

DATOS DE CAMPO			
Diámetro del sondeo (mm):	86	En (m):	0,086
Profundidad del nivel piezométrico (m):			
Diámetro interior de la tubería y varillaje (mm):	20	En (m):	0,020
Altura del manómetro sobre suelo (m):	1,5		
Profundidad del tramo ensayado			
Superior (m):	49,00	Longitud (m):	5,00
Inferior (m):	54,00	Prof.media (m):	51,50
Duración del escalón (min.):	10	En (seg):	600

Datos del ensayo							
Escalones de presión (Kp/cm ²).	Volumen admitido (l)		Presión en m. de columna de agua (m)	Duración (min)	Caudal (l/min)	Permeabilidad k (Unidades Lugeon)	K (m/s) (Custodio y Llamas)
	Bomba	Total*					
0,0	0,15	47,0	1,50	10	4,70	62,67	7,91E-06
1,0	1,15	57,0	2,50	10	5,70	9,91	5,76E-06
2,0	2,15	68,0	3,50	10	6,80	6,33	4,90E-06
5,0	5,15	96,0	6,50	10	9,60	3,73	3,73E-06
10,0	10,15	120,0	11,50	10	12,00	2,36	2,63E-06
5,0	5,15	104,0	6,50	10	10,40	4,04	4,04E-06
2,0	2,15	87,0	3,50	10	8,70	8,09	6,27E-06
1,0	1,15	67,0	2,50	10	6,70	11,65	6,77E-06
0,0	0,15	47,0	1,50	10	4,70	62,67	7,91E-06

Resultados	
Volumen de agua inyectado a 10 Kp/cm ² aprox.(l):	120,0
Duración del escalón, (min):	10
Longitud del tramo ensayado, (m):	5,00
Presión efectiva del escalón mayor.(Kp/cm ²):	10,2

PERMEABILIDAD EN UNIDADES LUGEÓN	2,36	U.L.
----------------------------------	------	------

PERMEABILIDAD (González de Vallejo)	2,36E-05	cm/s
-------------------------------------	----------	------

PERMEABILIDAD MEDIA (Custodio y Llamas)	5,63E-06	K (m/s)
---	----------	---------

Coefficiente de Permeabilidad (Custodio y Llamas, 1996)

Q, caudal (m3/s). P, presión en m. columna de agua
l, longitud ensayada (m.) r, radio (m.)

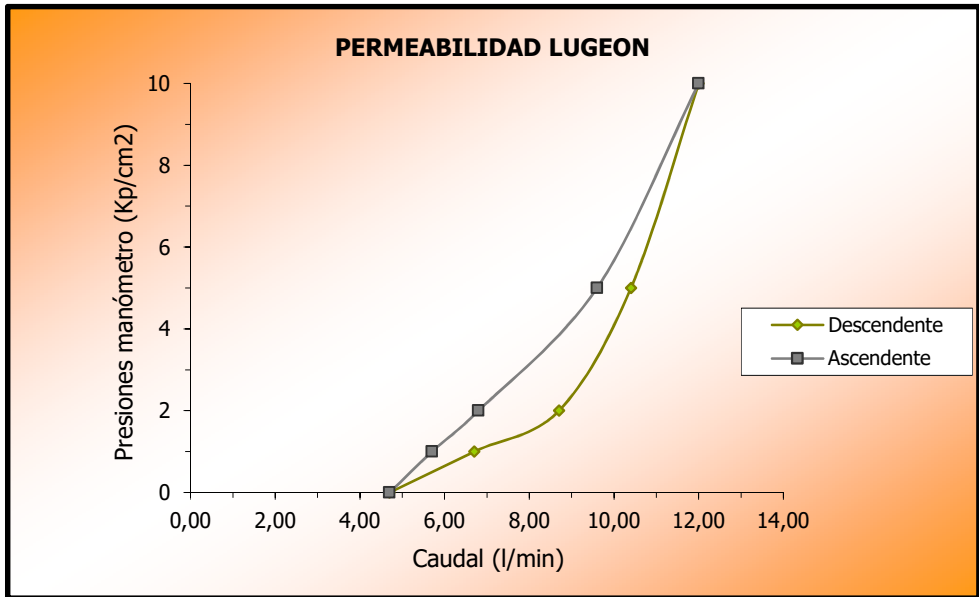
$$K = \frac{Q}{2\pi \cdot P \cdot l} \cdot \ln \frac{l}{r}$$

Coefficiente de Permeabilidad (González de Vallejo, 2002)

$$K_{U.L.} = \frac{Q(l/min.)}{l(m)} \cdot \frac{10}{P(Kp/cm^2)} \quad (1.U.L = 1 \frac{l}{m \cdot min} = 10^{-5} \frac{cm}{s})$$

Clasificación de macizos rocosos en función de la permeabilidad (Olalla y Sopeña, 1991)

TIPO DE MACIZO	U.L.	Presión (Kp/cm ²)
Muy impermeable	0 - 1	10
Prácticamente impermeable	1 - 3	10
Permeable	> 3	10
	1,5 - 6	5
Muy permeable	> 3	10
	> 6	5



ENSAYO DE PERMEABILIDAD EN SONDEOS TIPO LUGEON

OBRA:	REDACCIÓN DEL ANTEPROYECTO Y ESTUDIO DE LA VIABILIDAD DE ADECUACIÓN, REFORMA, Y CONSERVACIÓN DE LA AUTOVÍA A-2, TUNEL BRUC	REFERENCIA:	223.047
-------	--	-------------	---------

ENSAYO DE PERMEABILIDAD LUGEON REALIZADO EN EL SONDEO: S-02	SUPERVISOR:	MGJ	FECHA Y HORA DE INICIO:	19/11/2020	OBSERVACIONES:
	SONDISTA:	PAV	FECHA Y HORA DE FIN:	19/11/2020	
	EMPRESA:	APPLUS	CONDICIONES METEOROLÓGICAS:		

ENSAYO DE PERMEABILIDAD LUGEON

GEOLOGIA	
Litología:	Calizas
Recuperación media en el tramo:	100%
RQD medio en el tramo:	90-95%

DATOS DE CAMPO			
Diámetro del sondeo (mm):	86	En (m):	0,086
Profundidad del nivel piezométrico (m):	25,8		
Diámetro interior de la tubería y varillaje (mm):	20	En (m):	0,020
Altura del manómetro sobre suelo (m):	1,5		
Profundidad del tramo ensayado			
Superior (m):	37,00	Longitud (m):	5,00
Inferior (m):	42,00	Prof.media (m):	39,50
Duración del escalón (min.):	10	En (seg):	600

Coefficiente de Permeabilidad (Custodio y Llamas, 1996)

Q, caudal (m3/s). P, presión en m. columna de agua
l, longitud ensayada (m.) r, radio (m.)

$$K = \frac{Q}{2\pi \cdot P \cdot l} \cdot \ln \frac{l}{r}$$

Coefficiente de Permeabilidad (González de Vallejo, 2002)

$$K_{U.L.} = \frac{Q(l/\min.)}{l(m)} \cdot \frac{10}{P(Kp/cm^2)} \quad (1.U.L = 1 \frac{l}{m \cdot \min} = 10^{-5} \frac{cm}{s})$$

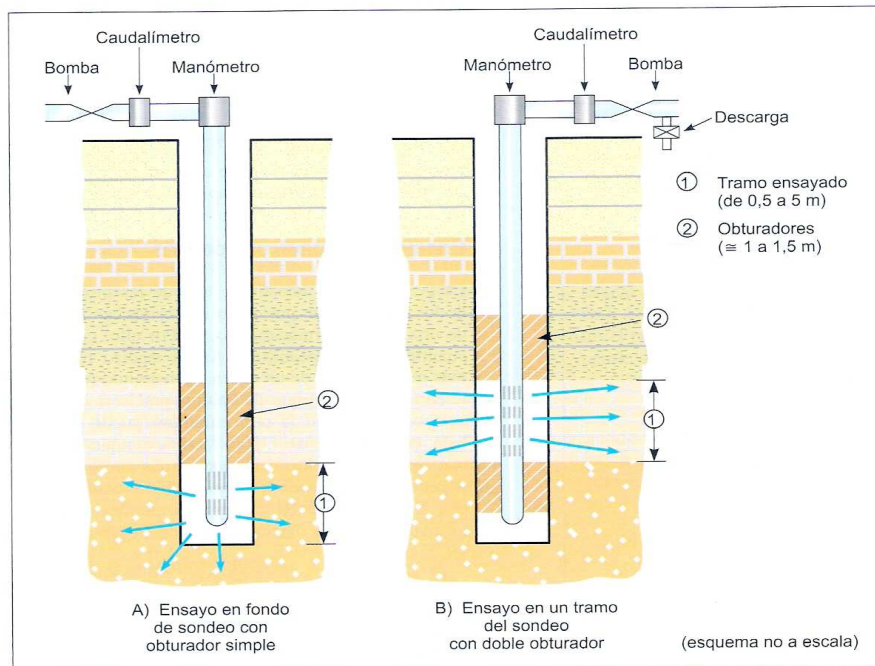


Figura 6.87 Ensayo Lugeon. A): Obturador simple. B): Obturador doble.

(Fuente: Gonzalez y Vallejo, 2004)

Observaciones:

(*) Presión total (Kg/cm²) = P (Kg/cm²) + h (m) / 10; siendo h la profundidad desde el manómetro al NF cuando estemos en la franja saturada; y la distancia del manómetro al punto medio del tramo ensayado cuando estemos en la zona no saturada.

Datos del ensayo							
Escalones de presión (Kp/cm ²).		Volumen admitido (l)	Presión en m. de columna de agua (m)	Duración (min)	Caudal (l/min)	Permeabilidad k (Unidades Lugeon)	K (m/s) (Custodio y Llamas)
Bomba	Total*						
0,0	2,73	131,0	27,30	10	13,10	9,60	1,21E-06
2,5	5,23	206,0	29,80	10	20,60	7,88	1,75E-06
5,0	7,73	349,0	32,30	10	34,90	9,03	2,73E-06
7,5	10,23	461,0	34,80	10	46,10	9,01	3,34E-06
10,0	12,73	709,0	37,30	10	70,90	11,14	4,80E-06
7,5	10,23	264,0	34,80	10	26,40	5,16	1,92E-06
5,0	7,73	113,0	32,30	10	11,30	2,92	8,83E-07
2,5	5,23	55,0	29,80	10	5,50	2,10	4,66E-07
0,0	2,73	11,0	27,30	10	1,10	0,81	1,02E-07

Resultados	
Volumen de agua inyectado a 10 Kp/cm ² aprox.(l):	709,0
Duración del escalón, (min):	10
Longitud del tramo ensayado, (m):	5,00
Presión efectiva del escalón mayor.(Kp/cm ²):	12,7

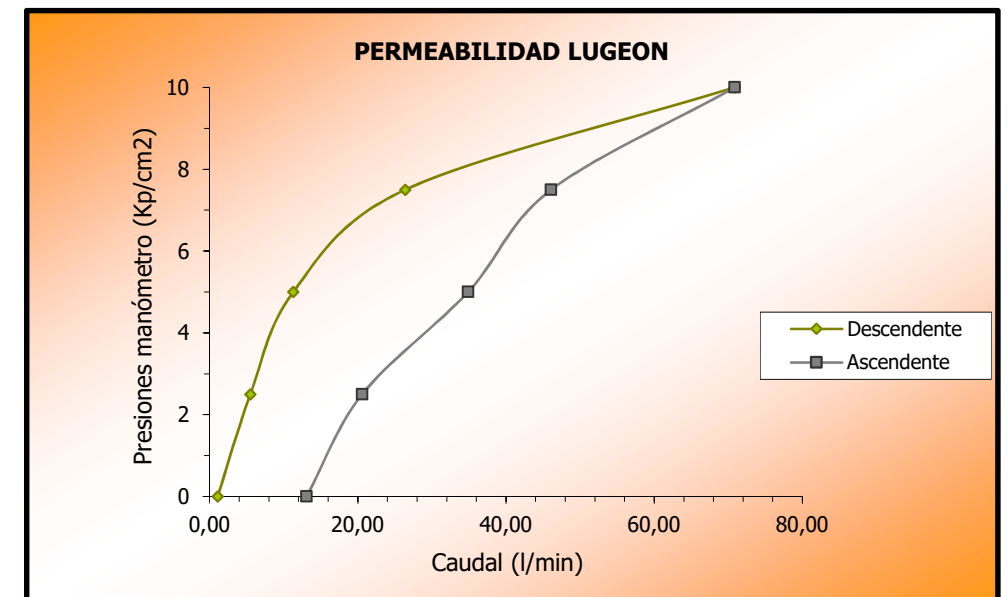
PERMEABILIDAD EN UNIDADES LUGEÓN	11,14	U.L.
----------------------------------	-------	------

PERMEABILIDAD (González de Vallejo)	1,11E-04	cm/s
-------------------------------------	----------	------

PERMEABILIDAD MEDIA (Custodio y Llamas)	1,76E-06	K (m/s)
---	----------	---------

Clasificación de macizos rocosos en función de la permeabilidad (Olalla y Sopeña, 1991)

TIPO DE MACIZO	U.L.	Presión (Kp/cm ²)
Muy impermeable	0 - 1	10
Prácticamente impermeable	1 - 3	10
Permeable	> 3	10
	1,5 - 6	5
Muy permeable	> 3	10
	> 6	5



ENSAYO DE PERMEABILIDAD EN SONDEOS TIPO LUGEON

OBRA:	REDACCIÓN DEL ANTEPROYECTO Y ESTUDIO DE LA VIABILIDAD DE ADECUACIÓN, REFORMA, Y CONSERVACIÓN DE LA AUTOVÍA A-2, TUNEL BRUC	REFERENCIA:	223.047
-------	--	-------------	---------

ENSAYO DE PERMEABILIDAD LUGEON REALIZADO EN EL SONDEO:

S-03

SUPERVISOR:	MGJ	FECHA Y HORA DE INICIO:	24/11/2020	OBSERVACIONES:
SONDISTA:	PAV	FECHA Y HORA DE FIN:	24/11/2020	
EMPRESA:	APPLUS	CONDICIONES METEOROLÓGICAS:		

ENSAYO DE PERMEABILIDAD LUGEON

GEOLOGIA	
Litología:	Calizas
Recuperación media en el tramo:	100%
RQD medio en el tramo:	80-90%

DATOS DE CAMPO			
Diámetro del sondeo (mm):	86	En (m):	0,086
Profundidad del nivel piezométrico (m):			
Diámetro interior de la tubería y varillaje (mm):	20	En (m):	0,020
Altura del manómetro sobre suelo (m):	1,5		
Profundidad del tramo ensayado			
Superior (m):	16,00	Longitud (m):	5,00
Inferior (m):	21,00	Prof.media (m):	18,50
Duración del escalón (min.):	10	En (seg):	600

Coefficiente de Permeabilidad (Custodio y Llamas, 1996)

Q, caudal (m3/s). P, presión en m. columna de agua
l, longitud ensayada (m.) r, radio (m.)

$$K = \frac{Q}{2\pi \cdot P \cdot l} \cdot \ln \frac{l}{r}$$

Coefficiente de Permeabilidad (González de Vallejo, 2002)

$$K_{U.L.} = \frac{Q(l/\min.)}{l(m)} \cdot \frac{10}{P(Kp/cm^2)} \quad (1.U.L = 1 \frac{l}{m \cdot \min} = 10^{-5} \frac{cm}{s})$$

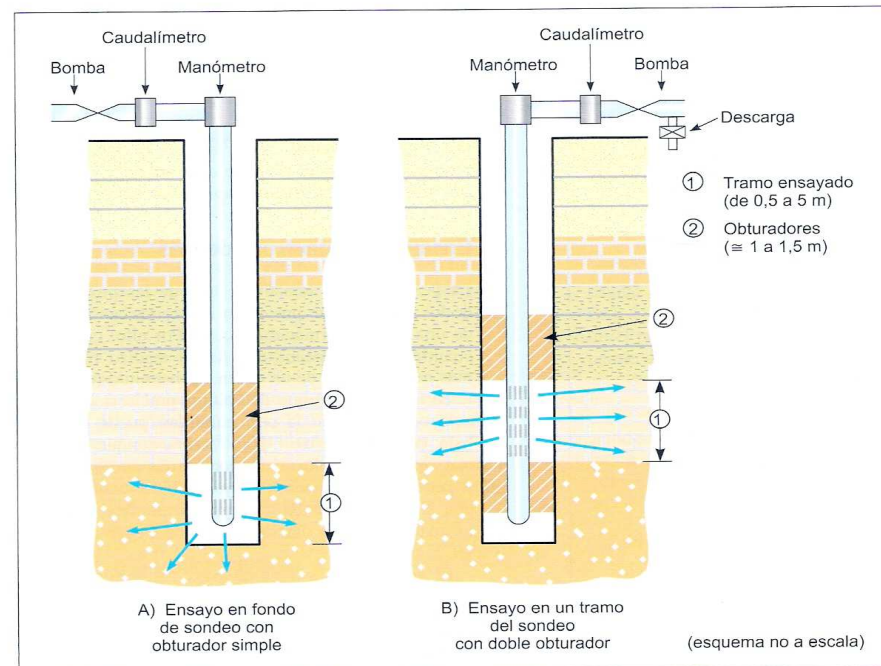


Figura 6.87 Ensayo Lugeon. A): Obturador simple. B): Obturador doble.

(Fuente: Gonzalez y Vallejo, 2004)

Observaciones:

(*) Presión total (Kg/cm²) = P (Kg/cm²) + h (m) / 10; siendo h la profundidad desde el manómetro al NF cuando estemos en la franja saturada; y la distancia del manómetro al punto medio del tramo ensayado cuando estemos en la zona no saturada.

Datos del ensayo							
Escalones de presión (Kp/cm²).		Volumen admitido (l)	Presión en m. de columna de agua (m)	Duración (min)	Caudal (l/min)	Permeabilidad k (Unidades Lugeon)	K (m/s) (Custodio y Llamas)
Bomba	Total*						
0,0	0,15	140,0	1,50	10	14,00	186,67	2,36E-05
2,5	2,65	220,0	4,00	10	22,00	16,60	1,39E-05
5,0	5,15	368,0	6,50	10	36,80	14,29	1,43E-05
7,5	7,65	487,0	9,00	10	48,70	12,73	1,37E-05
10,0	10,15	649,0	11,50	10	64,90	12,79	1,42E-05
7,5	7,65	517,0	9,00	10	51,70	13,52	1,45E-05
5,0	5,15	382,0	6,50	10	38,20	14,83	1,48E-05
2,5	2,65	289,0	4,00	10	28,90	21,81	1,82E-05
0,0	0,15	115,0	1,50	10	11,50	153,33	1,94E-05

Resultados	
Volumen de agua inyectado a 10 Kp/cm² aprox.(l):	649,0
Duración del escalón, (min):	10
Longitud del tramo ensayado, (m):	5,00
Presión efectiva del escalón mayor.(Kp/cm²):	10,2

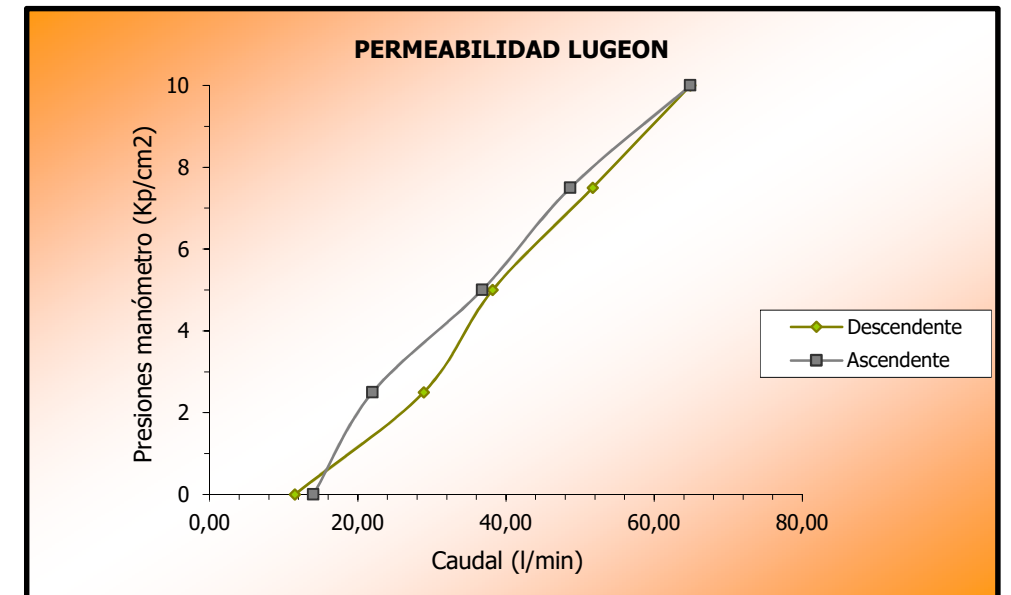
PERMEABILIDAD EN UNIDADES LUGEÓN	12,79	U.L.
----------------------------------	-------	------

PERMEABILIDAD (González de Vallejo)	1,28E-04	cm/s
-------------------------------------	----------	------

PERMEABILIDAD MEDIA (Custodio y Llamas)	1,56E-05	K (m/s)
---	----------	---------

Clasificación de macizos rocosos en función de la permeabilidad (Olalla y Sopeña, 1991)

TIPO DE MACIZO	U.L.	Presión (Kp/cm²)
Muy impermeable	0 - 1	10
Prácticamente impermeable	1 - 3	10
Permeable	> 3	10
	1,5 - 6	5
Muy permeable	> 3	10
	> 6	5



ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	Sobre los datos de permeabilidad disponibles	1
1.2.	Sobre los datos de Niveles Freáticos disponibles	2
1.3.	Metodología empleada para la estimación de caudales subterráneos en el Falso Túnel	2
1.4.	Metodología empleada para la estimación de caudales subterráneos en el Túnel en mina	3
2.	CÁLCULOS REALIZADOS PARA SECCIÓN DEL FALSO TÚNEL	4
2.1.	Escenario de excavación en Margocalizas (Permeabilidad $K = 2.44E-07$ m/s)	5
2.1.1.	Cálculo mediante la aplicación de la fórmula de la Zanja Equivalente para los laterales de 160 m.	5
2.1.2.	Cálculo mediante la aplicación de la fórmula de la Zanja Equivalente para los laterales de 35 m.	6
2.1.3.	Cálculo de caudal total mediante la aplicación de la fórmula de la Zanja Equivalente.	6
2.2.	Escenario de excavación en Calizas bioclásticas (Permeabilidad $K = 1.19E-06$ m/s)	6
2.2.1.	Cálculo mediante la aplicación de la fórmula de la Zanja Equivalente para los laterales de 160 m.	6
2.2.2.	Cálculo mediante la aplicación de la fórmula de la Zanja Equivalente para los laterales de 35 m.	7
2.2.3.	Cálculo de caudal total mediante la aplicación de la fórmula de la Zanja Equivalente.	7
3.	CÁLCULOS REALIZADOS PARA EL TÚNEL EN MINA	8

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Sobre los datos de permeabilidad disponibles

En la campaña geológico – geotécnica realizada en septiembre de 2019, se ejecutaron 3 sondeos en la zona del túnel en mina proyectado (S-1, S-2 y S-3). En ellos se procedió a realizar 4 ensayos tipo Lugeon según las cotas aproximadas de dicha estructura.

SONDEO	ENSAYO	TRAMO	FECHA	LITOLOGÍA	U. L.	K (cm/s)	K (m/s)
S-1	L-1	37.00 – 42.00 m	30/11/2020	Margocalizas	2.52	2.52E-05	2.52E-07
	L-2	49.00 – 54.00 m	02/12/2020	Margocalizas (nivel intermedio de calizas gris azuladas con fósiles hacia los 51 m)	2.36	2.36E-05	2.36E-07
S-2	L-1	37.00 – 42.00 m	19/11/2020	Calizas gris azulada con fósiles	11.14	1.11E-04	1.11E-06
S-3	L-1	16.00 – 21.00 m	24/11/2020	Calizas gris azulada con fósiles	12.79	1.28E-04	1.28E-06

Resumen de los resultados de los ensayos de permeabilidad puntual efectuados durante la campaña (elaboración propia)

Como puede apreciarse en ella, se identifican dos tipos de materiales, si bien ambos se encuentran integrados en la misma unidad geológico – geotécnica, la unidad Tm_{22-21}^{Ab-Ac} Margas grises fosilíferas.

- Las margocalizas presentan una permeabilidad media de 2.44E-07 m/s (2.11E-02 m/día), con un máximo de 2.52E-07 m/s (2.18E-02 m/día).
- Las calizas grises con fósiles, presentan una permeabilidad media de 1.19E-06 m/s (1.03E-01 m/día), lo que supone prácticamente un orden de magnitud más que la presentada por las magorcalizas. El valor máximo corresponde a 1.28E-06 m/s (1.11E-01 m/día).

La permeabilidad media de todo el conjunto de la unidad se cifra en 5.40E-07 m/s.

No se dispone de datos de permeabilidad de la unidad la unidad T_{22-21}^{Ab-Ac} Conglomerados heterométricos de color rojo, arcillas y areniscas, subyacentes a la unidad anterior. Éstos únicamente se ven afectados por la excavación del Falso Túnel.

Estos valores de permeabilidad pueden resultar localmente algo más altos, en tramos de mayor densidad de fracturación o diaclasamiento. Los ensayos puntuales en sondeos tienden a evaluar la permeabilidad de la matriz rocosa, pudiendo presentar problemas de ejecución cuando existen zonas abiertas (fracturas abiertas, karstificación relevante, etc.) en el intervalo ensayado.

Tomando como referencia, nuevamente, la tabla de la *Clasificación de terrenos* incluida en Custodio, E. & Llamas, R. Ediciones Omega (1983), se encuentra que los valores obtenidos para las

margocalizas, en torno a 2.5E-7 m/s (equivalentes a 2.16E-2 m/día), sitúa a estos materiales entre los **Acuíferos pobres** y los **Acuitardos**. Por su parte, los valores correspondientes a los términos más calizos, en torno a 1.2E-6 m/s (equivalentes a 1.04E-01 m/día), lo hacen dentro de la categoría de **Acuífero Pobre**.

CLASIFICACIÓN DE TERRENOS POR LA PERMEABILIDAD (Custodio, E. & Llamas, R. Ediciones Omega, 1983)										
PERMEABILIDAD (m/día)	10 ⁻⁶	10 ⁻⁵	10 ⁻⁴	10 ⁻³	10 ⁻²	10 ⁻¹	1	10	10 ²	10 ³
CLASIFICACIÓN PERMEAB.	Impermeable		Poco Permeable		Algo Permeable		Permeable		Muy Permeable	
CLASIFICACIÓN ACUÍFERO	Acuícludo		Acuitardo		Acuífero Pobre		Acuífero Regular-Bueno		Acuífero Excelente	
TIPO DE MATERIAL	Arcilla compacta Pizarra Granito		Limo arenoso Limo Arcilla limosa		Arena fina Arena limosa Caliza fracturada		Arena limpia Grava y arena Arena fina		Grava limpia	

Clasificación de terrenos según su permeabilidad (tomado de Custodio, E. & Llamas, R. Ediciones Omega, 1983).

De forma general, la unidad geológica en el que emplaza el túnel en mina, el desmonte posterior y el falso túnel siguiente, se encuentra integrada por una alternancia de margocalizas con niveles de calizas bioclásticas; estos últimos, constituirían niveles algo más permeables que los primeros (de baja permeabilidad). Así pues, el conjunto puede considerarse como un acuífero multicapa, subhorizontal, confinado o semiconfinado (según los tramos), cuya permeabilidad estaría asociada a tramos fisurados (permeabilidad secundaria) o al escaso desarrollo kárstico que puedan presentar los tramos más calizos en algunas zonas (permeabilidad terciaria).

En la inspección geológica sobre el terreno se ha observado una predominancia de los términos más calizos hacia techo de la unidad (observaciones efectuadas en la boca de entrada, según kilometración, que presenta la mayor cota topográfica). Hacia el muro, por el contrario, predominarían los términos más margocalizos (observaciones efectuadas en la boca de salida, según kilometración, de cota topográfica inferior). Esto resultaría coherente con las testificaciones de los sondeos y con los resultados de los ensayos de permeabilidad comentados anteriormente. De esta forma, los ensayos lugeon practicados en los sondeos S-2 y S-3, más próximos al emboquille de entrada, habrían registrado la permeabilidad de los términos dominantes a techo -las calizas bioclásticas-, mientras que en los practicados en el sondeo S-1, cercano al emboquille de salida, se habría evaluado la permeabilidad de las margocalizas predominantes a muro.

La transición entre un carácter y otro dentro, de la unidad sería muy gradual, sin advertirse un contacto neto específico. No obstante, la identificación de manantiales en la zona del emboquille de salida de los túneles ya existentes, resultaría ser un indicio de esta transición (revelando un contraste de permeabilidades).

1.2. Sobre los datos de Niveles Freáticos disponibles

También en la campaña geológico – geotécnica realizada en septiembre de 2019, se procedió a realizar un breve seguimiento freático en los sondeos ejecutados (S-1, S-2 y S-3) en la zona del túnel proyectado. En la siguiente tabla, se resumen los datos recabados.

SONDEO	Cota emboquille (msnm)	FECHAS				
		01/12/2020	03/12/2020	04/12/2020	09/12/2020	10/12/2020
S-01	594			27,50 m (566,5 msnm)	27,57 (566,43 msnm) (se baja a 31,30 m)	27,77 m (566,23 msnm)
S-02	595	No se puede purgar, se queda fijo a 25,80 m (569,2 msnm)	25,80 m (569,2 msnm)	25,80 m (569,2 msnm)	25,80 m (569,2 msnm)	25,80 m (569,2 msnm)
S-03	585	Se purga y se deja en 32,00 m (553 msnm)	30,30 m (554,7 msnm)	29,90 m (555,1 msnm)	29,66 m (555,34 msnm)	29,66 m (555,34 msnm)

Seguimiento de niveles freáticos efectuado durante la campaña (elaboración propia)

Como puede apreciarse, la máxima cota piezométrica se alcanza en el entorno del sondeo S-2. Esto resulta lógico considerando que dicha prospección se encuentra en la parte media de la estructura, donde la montera es máxima. Hidrogeológicamente se ubica en un interfluvio, que se correspondería con una zona de recarga local.

1.3. Metodología empleada para la estimación de caudales subterráneos en el Falso Túnel

Para abordar los cálculos de caudal se ha utilizado inicialmente un método analítico de cálculo que, en esencia, asume que la obra prevista se va a comportar como una captación de agua subterránea, resolviendo las ecuaciones de flujo correspondientes. Éste corresponde a la *Fórmula de la Zanja Equivalente*. Los desarrollos matemáticos y consideraciones correspondientes vienen recogidas en tres publicaciones: “*Geotecnia y Cimientos*”. Vol. III, parte 2 (Jiménez Salas, 1980), “*Manual de Hidrología Subterránea*”. Vol. I y II (Custodio, E. y Llamas, R., 1983), “*Mecánica de Suelos*” (Berry, P. L. y Reid, D., 1993) e “*Hidrogeología aplicada a la obra civil*” (Garrido Ruíz, M. S., 2012).

La aplicación de la Fórmula denominada de la *Zanja equivalente* (según Custodio y Llamas, 1982), resulta recomendable cuando el agotamiento tiene una geometría alargada (la relación de aspecto entre el largo y ancho del solar supera el valor 4: $L/a > 4$). El cálculo asume cada lateral de la excavación como una zanja en un acuífero libre, alimentada sólo por un lateral:

$$Q = L \cdot \frac{K}{2R_z} \cdot (2H - d) \cdot d$$

Donde:

Q es el Caudal captado, en m³/s.

K es el Coeficiente de permeabilidad, en m/s.

H es el Espesor estático de acuífero saturado, en m.

d es el Descenso producido, en m.

R_z es la Distancia de influencia de la captación, en m.

L es la Longitud de la zanja, en m.

La aplicación de esta fórmula ha de realizarse, lógicamente, a cada uno de los laterales de la excavación, puesto que el *método de la Zanja equivalente*, asume que el caudal proviene sólo de un lateral de la zanja. En el caso concreto que nos ocupa, se asume un recinto rectangular de sección máxima (para estar del lado de la seguridad), integrado por dos zanjas de 160 m (longitud que interfiere con la Zona saturada) y otras dos de 35 m (anchura máxima de la excavación). Por ello, el cálculo para un solo lateral se multiplica, en ambos casos, x 2.

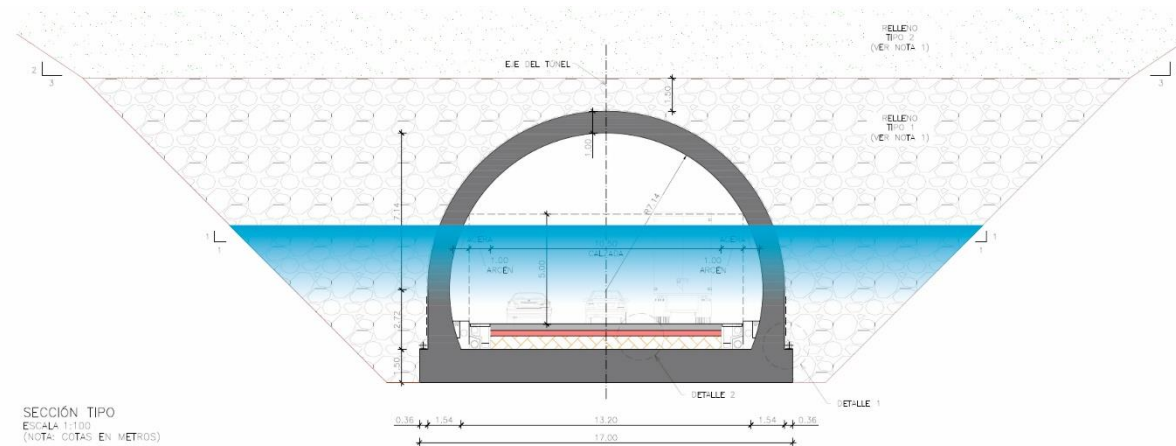
La estimación de la Distancia de influencia (R_z), se aplica nuevamente la fórmula de Sichardt, si bien, en esta ocasión, cambia el coeficiente a utilizar:

$$R_z = 1500 \cdot d \cdot \sqrt{K}$$

Siguiendo las mismas consideraciones, en cuanto a la permeabilidad de los materiales, efectuadas para el túnel en mina, se ha procedido a aplicar dicho método paralelamente a dos escenarios:

- Excavación ejecutada enteramente en margocalizas, con permeabilidad media 2.44E-7 m/s.
- Excavación ejecutada enteramente en calizas bioclásticas, con permeabilidad media 1.19E-6 m/s.

De esta forma, se puede aproximar un intervalo de valores, entre máximos y mínimos, para los caudales de infiltración susceptibles de producirse en el túnel. No obstante, como ya se refería en apartados anteriores, esta permeabilidad puede resultar localmente algo más alta, en tramos de mayor densidad de fracturación o diaclasamiento, aunque es preciso tener en cuenta que una cartografía de este detalle es más propia de fases posteriores del proyecto. La estimación de caudales habrá de revisarse una vez se disponga de ella.



Sección del Falso túnel proyectado (elaboración propia)

Condiciones:

- Cota mínima de la excavación en sección (m.s.n.m.): 559.83 m.s.n.m.
- Cota máxima del nivel freático (m.s.n.m.): 569.2 m.s.n.m. (reflejo Sondeo S-2 según arroyo).
- Rebaje máximo freático: 9,5 m.

1.4. Metodología empleada para la estimación de caudales subterráneos en el Túnel en mina

Se ha realizado una estimación preliminar de caudales de infiltración en el túnel, a partir de la fórmula de Goodman et al. (1965). Dados los valores de permeabilidad obtenidos para los dos términos identificados en la unidad geológico – geotécnica en que se desarrolla el túnel proyectado (margocalizas y calizas bioclásticas), se ha procedido a aplicar dicho método paralelamente a dos escenarios:

- Túnel ejecutado enteramente en margocalizas, con permeabilidad media 2.44E-7 m/s
- Túnel ejecutado enteramente en calizas bioclásticas, con permeabilidad media 1.19E-6 m/s

De esta forma, se puede aproximar un intervalo de valores, entre máximos y mínimos, para los caudales de infiltración susceptibles de producirse en el túnel. No obstante, como ya se refería en apartados anteriores, esta permeabilidad puede resultar localmente algo más alta, en tramos de mayor densidad de fracturación o diaclasamiento, aunque es preciso tener en cuenta que una cartografía de este detalle es más propia de fases posteriores del proyecto. La estimación de caudales habrá de revisarse una vez se disponga de ella.

El método de Goodman et al (1965) se basa en la aplicación de la expresión:

$$Q = 2 \cdot \pi \cdot K \cdot \left(\frac{h}{2,3 * \text{Log} \left(\frac{2 \cdot h}{r} \right)} \right)$$

Donde:

Q = caudal hacia la excavación en m³/s x m.

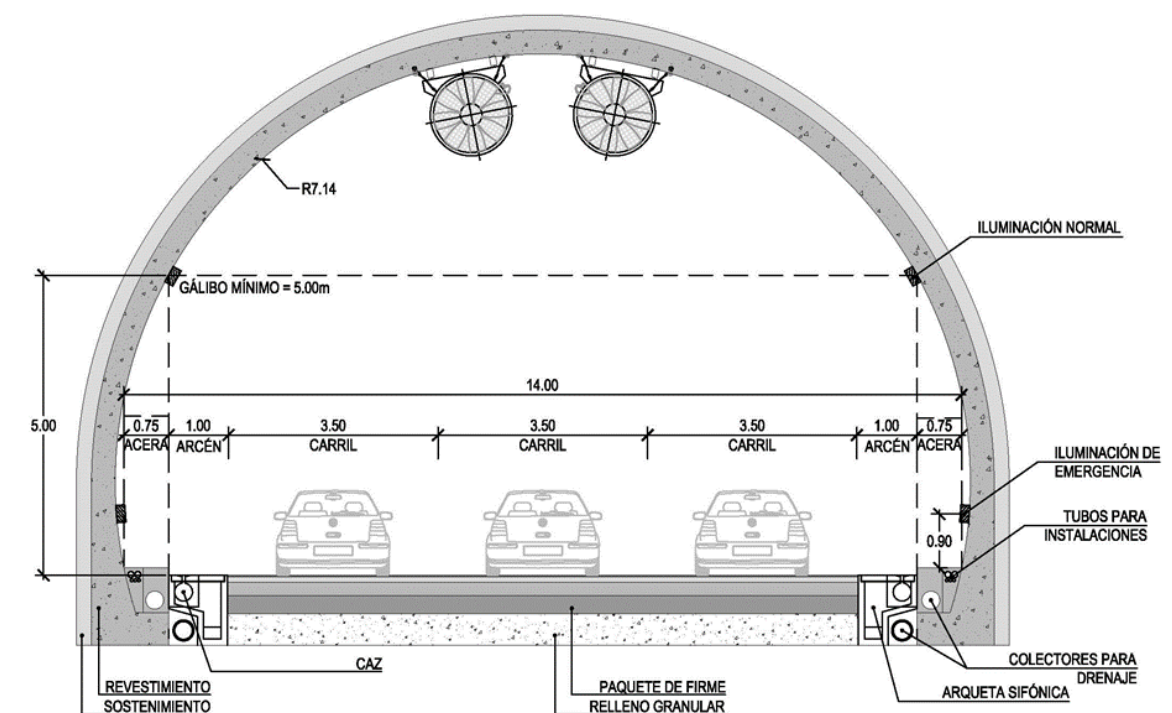
K = permeabilidad del terreno en m/s.

h = carga de agua en m.

r = radio de la excavación, en m.

La estimación de los caudales se ha efectuado discretizando la longitud de los túneles según tramos homogéneos con una longitud máxima de 20 metros (con la excepción del tramo inicial, de 5 metros, para ajustar a la tramificación geotécnica), de modo que la carga de agua de cada tramo sea lo más precisa posible. Dicha carga de agua se ha estimado a partir de los niveles freáticos máximos medidos en los sondeos ejecutados en la campaña de septiembre de 2019.

A efectos de estimar el radio del túnel, y dado que éste no tiene una geometría completamente circular, se ha tomado como referencia el diámetro útil interior (14 m) propuesto en el Anejo de Túneles al presente Anteproyecto.



Sección del tercer túnel del Bruç (elaboración propia. Anejo de Túneles)

Cabe mencionar que este método de cálculo supone una situación estática sin gradientes de flujo laterales. Por ello, puntualmente, puede suponer incrementos entre el 2 y el 6% debido a estos aportes laterales.

Por otro lado, asume los caudales en un régimen transitorio, en el momento de la perforación de cada tramo. A largo o medio plazo, el flujo de agua hacia la excavación no puede considerarse estable, reduciendo progresivamente su magnitud en función de la porosidad efectiva y de la tasa de recarga del acuífero y, sobretodo, de posibles factores constructivos ligados al sistema de impermeabilización del túnel. Para estimar este transitorio, Goodman et al. han desarrollado la ley parabólica que minora los caudales estimados de la expresión anterior, en función de la disminución de la carga hidráulica actuante. De este modo puede simplificarse que:

- a los 6 meses el flujo se reduce a un 20% del inicial.
- a los 12 meses el flujo es del 15% del inicial.
- a los 24 meses el flujo de agua hacia la excavación solamente alcanzará un 10% del inicial.

2. CÁLCULOS REALIZADOS PARA SECCIÓN DEL FALSO TÚNEL

En la siguiente tabla se resumen los resultados de la aplicación de la Fórmula de la Zanja Equivalente, para los dos escenarios de permeabilidad considerados. Las cifras de caudal dadas en primer término, corresponden a los caudales específicos, referidos a un metro lineal de sección (2 laterales). A continuación, se incluyen los Caudales Totales, extrapolados a la longitud total de la estructura. Por último, se incluyen las distancias o radios de influencia asociados al abatimiento piezométrico ocasionado por el drenaje en la excavación, durante la fase de obra.

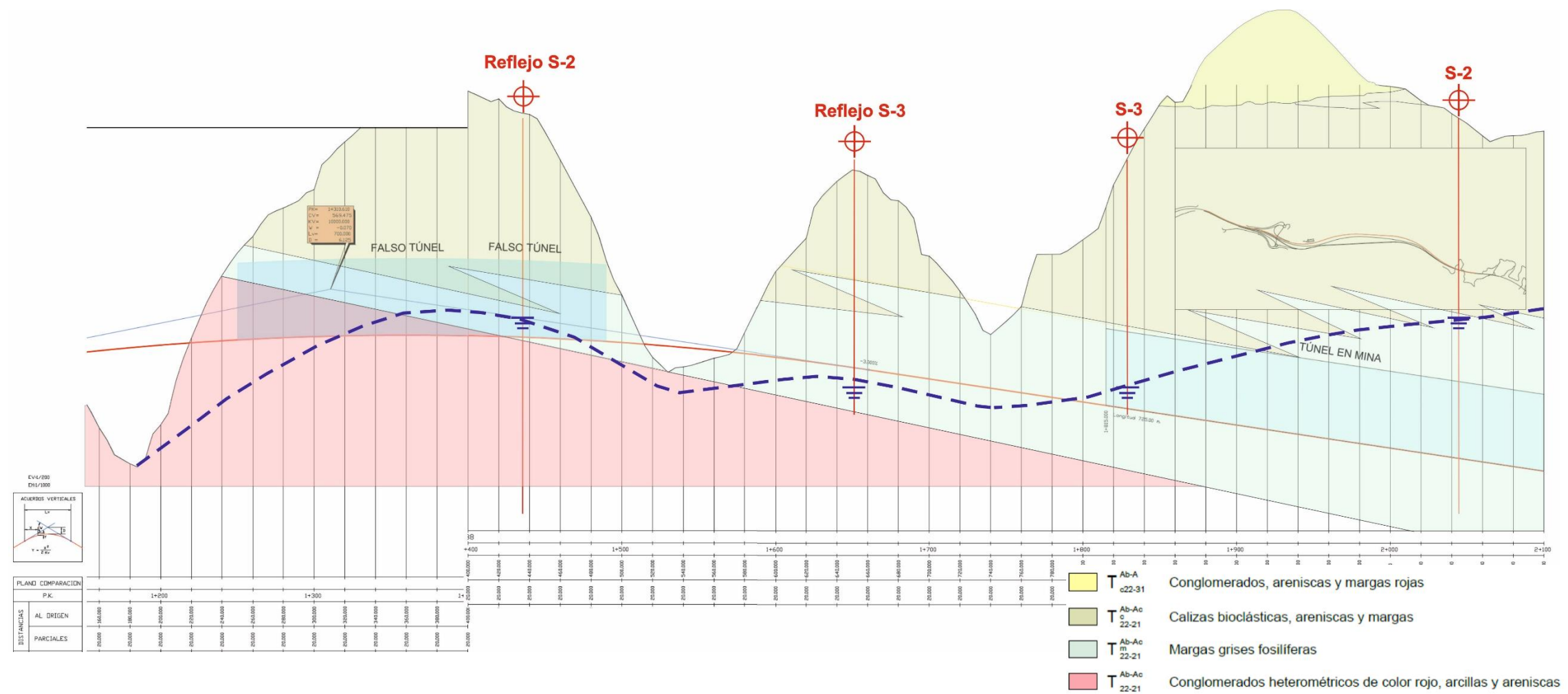
ZANJA EQUIVALENTE – RESUMEN DE RESULTADOS				
ESCENARIO	PERMEABILIDAD TERRENO (m/s)	CAUDAL ESPECÍFICO (L/s X m de sección)	CAUDAL TOTAL (L/s)	RADIO INFLUENCIA (m)
Excavación en Margocalizas	2.44E-7	0.013	2.440	7.04
Excavación en Calizas bioclásticas	1.19E-6	0.028	5.389	15.54

Resumen de los caudales obtenidos mediante la aplicación de la Fórmula de la Zanja Equivalente.

En el caso más favorable, si la perforación se realiza exclusivamente en margocalizas, el caudal total para el conjunto de la estructura se cifra en torno a 2,5 L/s. El caudal unitario por metro lineal de sección (2 laterales), por su parte, se estima en 0,013 L/s. El radio de influencia del abatimiento freático, suponiendo un drenaje de los caudales infiltrados durante la obra, se estima en torno a 7 m.

En el caso de una perforación en calizas bioclásticas, el caudal total a lo largo del falso túnel se estima en torno a 5,4 L/s. El caudal específico, se determina en 0,03 L/s por metro lineal de sección (2 laterales). El radio de influencia del abatimiento freático, se cifra en torno a 15,5 m.

El detalle de los cálculos de aplicación de la Fórmula de la Zanja Equivalente, se muestra en los subapartados incluidos a continuación.



Perfil hidrogeológico del desmonte y falso túnel proyectados a continuación del túnel en mina (elaboración propia).

2.1. Escenario de excavación en Margocalizas (Permeabilidad $K = 2.44E-07$ m/s)

2.1.1. Cálculo mediante la aplicación de la fórmula de la Zanja Equivalente para los laterales de 160 m.

De la misma forma, en las siguientes tablas se resumen los parámetros utilizados y los resultados obtenidos de la aplicación de la *Fórmula de la Zanja equivalente* a cada uno de los laterales de 160 m. Se ofrece también el caudal por metro lineal de ambos laterales, en conjunto:

PARÁMETROS UTILIZADOS PARA EL CÁLCULO DE CAUDALES A DRENAR EN EL RECINTO DE LA EXCAVACIÓN, SEGÚN LA APLICACIÓN DE LA FÓRMULA DE LA ZANJA EQUIVALENTE (LATERALES DE 160 m)			
PARÁMETRO	ABREV.	VALOR	UNIDADES
Espesor saturado estático del acuífero (m)	Ho	23.75	m
Nivel piezométrico a conseguir (m)	H	14.25	m
Descenso producido (m)	d	9.5	m
Coef. permeabilidad (m/s)	K	2.44E-07	m/s
Coef. permeabilidad (m/día)	K	2.11E-02	m/día
Transmisividad (m2/s)	T	5.80E-06	m2/s
Transmisividad (m2/día)	T	5.01E-01	m2/día
Longitud de la zanja (m)	L	160.00	m

Parámetros utilizados para el cálculo de caudales a drenar en el recinto de la excavación

RADIO DE INFLUENCIA DEL AGOTAMIENTO, SEGÚN LA APLICACIÓN DE LA FÓRMULA DE LA ZANJA EQUIVALENTE			
RADIO DE INFLUENCIA	ABREV.	VALOR	UNIDADES
Distancia de Influencia captación (Formula Sichart)	RZ	7.04	m

Radios de influencia del agotamiento

ESTIMACIÓN DE CAUDALES A DRENAR EN EL RECINTO DE LA EXCAVACIÓN, SEGÚN LA APLICACIÓN DE LA FÓRMULA DE LA ZANJA EQUIVALENTE (LATERALES DE 160 m)					
CAUDAL ESTIMADO PARA L = 160 M		ABREV.	VALOR 1 SÓLO LATERAL	VALOR 2 LATERALES (X2)	UNIDADES
Caudal captado (m3/s)	Expresión general: $Q = L \cdot \frac{K}{2R_z} \cdot (2H - d) \cdot d$	Q	0.001	0.002	m3/s
Caudal captado (L/s)		Q	1.001	2.002	L/s
Caudal específico (m3/s x m.l.)		q	0.000006	0.00001	m3/s x m.l.
Caudal específico (L/s x m.l.)		q	0.006	0.013	L/s x m.l.

Estimación de caudales a drenar en el recinto de la excavación

2.1.2. Cálculo mediante la aplicación de la fórmula de la Zanja Equivalente para los laterales de 35 m.

Por su parte, en las siguientes tablas se resumen los parámetros utilizados y los resultados obtenidos de la aplicación de la *Fórmula de la Zanja equivalente* a cada uno de los laterales de 35 m. Se ofrece también el caudal por metro lineal de ambos laterales, en conjunto:

PARÁMETROS UTILIZADOS PARA EL CÁLCULO DE CAUDALES A DRENAR EN EL RECINTO DE LA EXCAVACIÓN, SEGÚN LA APLICACIÓN DE LA FÓRMULA DE LA ZANJA EQUIVALENTE (LATERALES DE 35 m)			
PARÁMETRO	ABREV.	VALOR	UNIDADES
Espesor saturado estático del acuífero (m)	Ho	23.75	m
Nivel piezométrico a conseguir (m)	H	14.25	m
Descenso producido (m)	d	9.5	m
Coef. permeabilidad (m/s)	K	2.44E-07	m/s
Coef. permeabilidad (m/día)	K	2.11E-02	m/día
Transmisividad (m2/s)	T	5.80E-06	m2/s
Transmisividad (m2/día)	T	5.01E-01	m2/día
Longitud de la zanja (m)	L	35.00	m

Parámetros utilizados para el cálculo de caudales a drenar en el recinto de la excavación

RADIO DE INFLUENCIA DEL AGOTAMIENTO, SEGÚN LA APLICACIÓN DE LA FÓRMULA DE LA ZANJA EQUIVALENTE			
RADIO DE INFLUENCIA	ABREV.	VALOR	UNIDADES
Distancia de Influencia captación (Formula Sichart)	RZ	7.04	m

Radios de influencia del agotamiento

ESTIMACIÓN DE CAUDALES A DRENAR EN EL RECINTO DE LA EXCAVACIÓN, SEGÚN LA APLICACIÓN DE LA FÓRMULA DE LA ZANJA EQUIVALENTE (LATERALES DE 35 m)					
CAUDAL ESTIMADO PARA L = 35 M		ABREV.	VALOR 1 SÓLO LATERAL	VALOR 2 LATERALES (X2)	UNIDADES
Caudal captado (m3/s)	Expresión general: $Q = L \cdot \frac{K}{2R_z} \cdot (2H - d) \cdot d$	Q	0.000219	0.000438	m3/s
Caudal captado (L/s)		Q	0.219	0.438	L/s
Caudal específico (m3/s x m.l.)		q	0.000006	0.000013	m3/s x m.l.
Caudal específico (L/s x m.l.)		q	0.006	0.013	L/s x m.l.

Estimación de caudales a drenar en el recinto de la excavación

2.1.3. Cálculo de caudal total mediante la aplicación de la fórmula de la Zanja Equivalente.

En la siguiente tabla se totalizan los caudales de infiltración para los 4 laterales del recinto objeto de excavación.

ESTIMACIÓN DE CAUDALES A DRENAR EN EL RECINTO DE LA EXCAVACIÓN, SEGÚN LA APLICACIÓN DE LA FÓRMULA DE LA ZANJA EQUIVALENTE				
RADIO DE INFLUENCIA	VALOR 2 LATERALES. LATERAL 160 m	VALOR 2 LATERALES. LATERAL 35 m	CAUDAL TOTAL EXCAVACIÓN	UNIDADES
Caudal captado (m3/s)	0.002	0.000438	0.002438	m3/s
Caudal captado (L/s)	2.002	0.438	2.440	L/s

Tabla resumen de los resultados obtenidos mediante la aplicación de la *Fórmula de la Zanja Equivalente*.

2.2. Escenario de excavación en Calizas bioclásticas (Permeabilidad K = 1.19E-06 m/s)

2.2.1. Cálculo mediante la aplicación de la fórmula de la Zanja Equivalente para los laterales de 160 m.

De la misma forma, en las siguientes tablas se resumen los parámetros utilizados y los resultados obtenidos de la aplicación de la *Fórmula de la Zanja equivalente* a cada uno de los laterales de 160 m. Se ofrece también el caudal por metro lineal de ambos laterales, en conjunto:

PARÁMETROS UTILIZADOS PARA EL CÁLCULO DE CAUDALES A DRENAR EN EL RECINTO DE LA EXCAVACIÓN, SEGÚN LA APLICACIÓN DE LA FÓRMULA DE LA ZANJA EQUIVALENTE (LATERALES DE 160 m)			
PARÁMETRO	ABREV.	VALOR	UNIDADES
Espesor saturado estático del acuífero (m)	Ho	23.75	m
Nivel piezométrico a conseguir (m)	H	14.25	m
Descenso producido (m)	d	9.5	m
Coef. permeabilidad (m/s)	K	1.19E-06	m/s
Coef. permeabilidad (m/día)	K	1.03E-01	m/día
Transmisividad (m2/s)	T	2.83E-05	m2/s
Transmisividad (m2/día)	T	2.44E+00	m2/día
Longitud de la zanja (m)	L	160.00	m

Parámetros utilizados para el cálculo de caudales a drenar en el recinto de la excavación

RADIOS DE INFLUENCIA DEL AGOTAMIENTO, SEGÚN LA APLICACIÓN DE LA FÓRMULA DE LA ZANJA EQUIVALENTE			
RADIO DE INFLUENCIA	ABREV.	VALOR	UNIDADES
Distancia de Influencia captación (Formula Sichart)	RZ	15.54	m

Radios de influencia del agotamiento

ESTIMACIÓN DE CAUDALES A DRENAR EN EL RECINTO DE LA EXCAVACIÓN, SEGÚN LA APLICACIÓN DE LA FÓRMULA DE LA ZANJA EQUIVALENTE (LATERALES DE 160 m)					
CAUDAL ESTIMADO PARA L = 160 M		ABREV.	VALOR 1 SÓLO LATERAL	VALOR 2 LATERALES (X2)	UNIDADES
Caudal captado (m3/s)	Expresión general: $Q = L \cdot \frac{K}{2R_z} \cdot (2H - d) \cdot d$	Q	0.002	0.004	m3/s
Caudal captado (L/s)		Q	2.211	4.422	L/s
Caudal específico (m3/s x m.l.)		q	0.000014	0.00003	m3/s x m.l.
Caudal específico (L/s x m.l.)		q	0.014	0.028	L/s x m.l.

Estimación de caudales a drenar en el recinto de la excavación

2.2.2. Cálculo mediante la aplicación de la fórmula de la Zanja Equivalente para los laterales de 35 m.

Por su parte, en las siguientes tablas se resumen los parámetros utilizados y los resultados obtenidos de la aplicación de la *Fórmula de la Zanja equivalente* a cada uno de los laterales de 35 m. Se ofrece también el caudal por metro lineal de ambos laterales, en conjunto:

PARÁMETROS UTILIZADOS PARA EL CÁLCULO DE CAUDALES A DRENAR EN EL RECINTO DE LA EXCAVACIÓN, SEGÚN LA APLICACIÓN DE LA FÓRMULA DE LA ZANJA EQUIVALENTE (LATERALES DE 35 m)			
PARÁMETRO	ABREV.	VALOR	UNIDADES
Espesor saturado estático del acuífero (m)	Ho	23.75	m
Nivel piezométrico a conseguir (m)	H	14.25	m
Descenso producido (m)	d	9.5	m
Coef. permeabilidad (m/s)	K	1.19E-06	m/s
Coef. permeabilidad (m/día)	K	1.03E-01	m/día
Transmisividad (m2/s)	T	2.83E-05	m2/s
Transmisividad (m2/día)	T	2.44E+00	m2/día
Longitud de la zanja (m)	L	35.00	m

Parámetros utilizados para el cálculo de caudales a drenar en el recinto de la excavación

RADIOS DE INFLUENCIA DEL AGOTAMIENTO, SEGÚN LA APLICACIÓN DE LA FÓRMULA DE LA ZANJA EQUIVALENTE			
RADIO DE INFLUENCIA	ABREV.	VALOR	UNIDADES
Distancia de Influencia captación (Formula Sichart)	RZ	15.54	m

Radios de influencia del agotamiento

ESTIMACIÓN DE CAUDALES A DRENAR EN EL RECINTO DE LA EXCAVACIÓN, SEGÚN LA APLICACIÓN DE LA FÓRMULA DE LA ZANJA EQUIVALENTE (LATERALES DE 35 m)					
CAUDAL ESTIMADO PARA L = 35 M		ABREV.	VALOR 1 SÓLO LATERAL	VALOR 2 LATERALES (X2)	UNIDADES
Caudal captado (m3/s)	Expresión general: $Q = L \cdot \frac{K}{2R_z} \cdot (2H - d) \cdot d$	Q	0.000484	0.000967	m3/s
Caudal captado (L/s)		Q	0.484	0.967	L/s
Caudal específico (m3/s x m.l.)		q	0.000014	0.000028	m3/s x m.l.
Caudal específico (L/s x m.l.)		q	0.014	0.028	L/s x m.l.

Estimación de caudales a drenar en el recinto de la excavación

2.2.3. Cálculo de caudal total mediante la aplicación de la fórmula de la Zanja Equivalente.

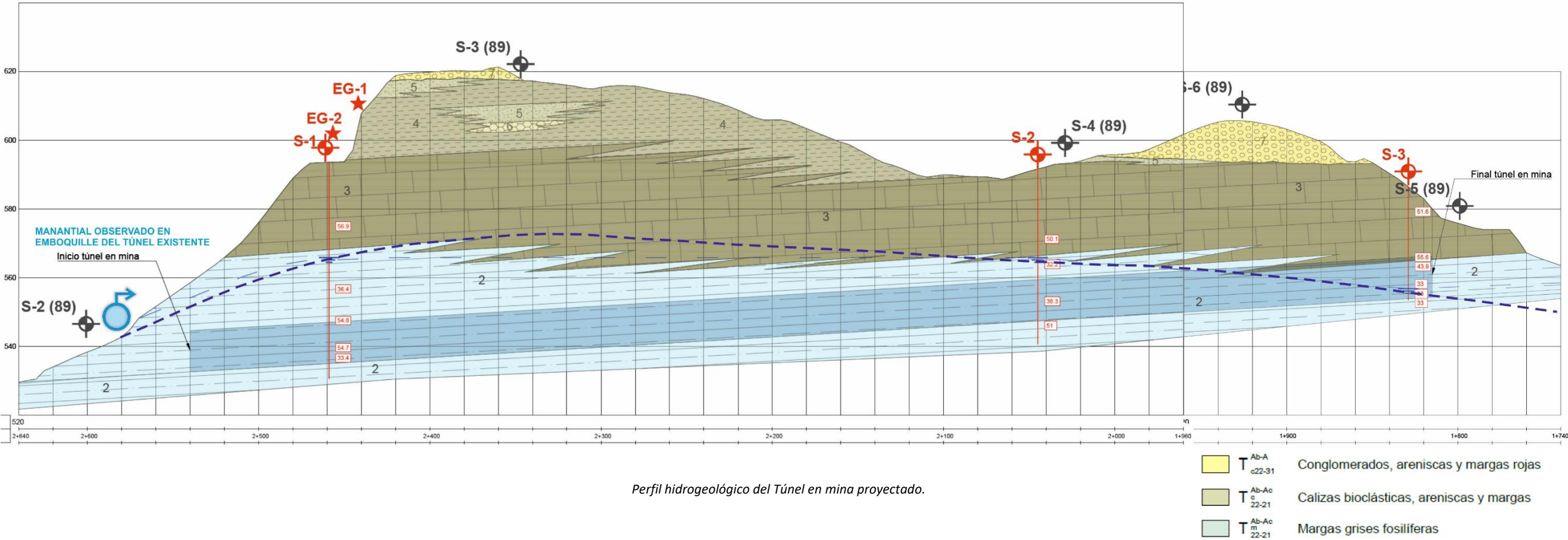
En la siguiente tabla se totalizan los caudales de infiltración para los 4 laterales del recinto objeto de excavación.

ESTIMACIÓN DE CAUDALES A DRENAR EN EL RECINTO DE LA EXCAVACIÓN, SEGÚN LA APLICACIÓN DE LA FÓRMULA DE LA ZANJA EQUIVALENTE				
RADIO DE INFLUENCIA	VALOR 2 LATERALES. LATERAL 160 m	VALOR 2 LATERALES. LATERAL 35 m	CAUDAL TOTAL EXCAVACIÓN	UNIDADES
Caudal captado (m3/s)	0.004	0.000967	0.004967	m3/s
Caudal captado (L/s)	4.422	0.967	5.389	L/s

Tabla resumen de los resultados obtenidos mediante la aplicación de la *Fórmula de la Zanja Equivalente*.

3. CÁLCULOS REALIZADOS PARA EL TÚNEL EN MINA

En las tablas siguientes se muestran los caudales estimados para el túnel contemplado en el Proyecto, obtenidos como resultado de la aplicación de la Fórmula de Goodman et al. (1965) a los dos escenarios de permeabilidad estudiados. Se ha utilizado una kilometración propia del tramo en túnel, según el perfil geológico geotécnico presentado en la siguiente figura.



Perfil hidrogeológico del Túnel en mina proyectado.

TÚNEL DEL BRUÇ – K = 1.19E-6 m/s (permeabilidad media calizas grises con fósiles)								
Tramo	PK inicio	PK Fin	Long. Tramo (m)	Unidad	INSTANTÁNEO	6 MESES	12 MESES	24 MESES
					Caudal L/s	Caudal L/s	Caudal L/s	Caudal L/s
1	1+815	1+840	25.0	Ud. 2	5.606	1.121	0.841	0.561
2	1+840	1+940	100.0	Ud. 2	8.130	1.626	1.219	0.813
3	1+940	2+040	100.0	Ud. 2	7.651	1.530	1.148	0.765
4	2+040	2+140	100.0	Ud. 2	8.795	1.759	1.319	0.879
5	2+140	2+240	100.0	Ud. 2	9.967	1.993	1.495	0.997
6	2+240	2+340	100.0	Ud. 2	11.101	2.220	1.665	1.110
7	2+340	2+440	100.0	Ud. 2	11.451	2.290	1.718	1.145

TÚNEL DEL BRUÇ – K = 1.19E-6 m/s (permeabilidad media calizas grises con fósiles)								
Tramo	PK inicio	PK Fin	Long. Tramo (m)	Unidad	INSTANTÁNEO	6 MESES	12 MESES	24 MESES
					Caudal L/s	Caudal L/s	Caudal L/s	Caudal L/s
8	2+440	2+540	100.0	Ud. 2	10.469	2.094	1.570	1.047
					73.169	14.634	10.975	7.317

Estimación de caudales en el túnel propuesto según la permeabilidad media obtenida para los términos de calizas bioclásticas.

TÚNEL DEL BRUÇ – K = 2.44E-7 m/s (permeabilidad media margocalizas)								
Tramo	PK inicio	PK Fin	Long. Tramo (m)	Unidad	INSTANTÁNEO	6 MESES	12 MESES	24 MESES
					Caudal L/s	Caudal L/s	Caudal L/s	Caudal L/s
1	1+815	1+840	25.0	Ud. 2	1.149	0.230	0.172	0.115
2	1+840	1+940	100.0	Ud. 2	1.667	0.333	0.250	0.167
3	1+940	2+040	100.0	Ud. 2	1.569	0.314	0.235	0.157
4	2+040	2+140	100.0	Ud. 2	1.803	0.361	0.270	0.180
5	2+140	2+240	100.0	Ud. 2	2.044	0.409	0.307	0.204
6	2+240	2+340	100.0	Ud. 2	2.276	0.455	0.341	0.228
7	2+340	2+440	100.0	Ud. 2	2.348	0.470	0.352	0.235
8	2+440	2+540	100.0	Ud. 2	2.147	0.429	0.322	0.215
					15.003	3.001	2.250	1.500

Estimación de caudales en el túnel propuesto según la permeabilidad media obtenida para los términos de margocalizas.

El caudal instantáneo acumulado a lo largo del túnel se cifra en torno a los 73,17 L/s, en el caso de que la perforación se realizase únicamente considerando los términos más calizos y permeables, con caudales de entre 8 y 12 L/s en tramos de 100 m. La estimación de caudales en tramos de 20 m (más aproximados a un ritmo realista de trabajo), se cifra entre 1 y 5 L/s.

En el caso más favorable, si la perforación se realiza exclusivamente en margocalizas, el caudal instantáneo acumulado se cifra en torno a 15 L/s. Los caudales en intervalos de 100 m oscilarían entre 1 y 2.5 L/s; en tramos de trabajo de 20 m, dicho intervalo estaría entre los 0,2 y 0,9 L/s.

Cabe aclarar que, según el método utilizado, los caudales obtenidos son aquellos susceptibles de producirse en el momento de la perforación de cada tramo. Los caudales drenados siempre serán mayores en fase de obra (régimen transitorio) e irán disminuyendo paulatinamente conforme se vayan produciendo la descarga de los niveles interceptados hasta estabilizarse en un régimen permanente. De este modo, en fase de explotación los caudales serán mucho más reducidos ya que se habrá producido la descarga total de dichos niveles. Una estimación más realista podría corresponder a los caudales calculados para 6 ó 12 meses.

En este sentido, para una perforación en calizas bioclásticas, los caudales acumulados a lo largo de todo el túnel, caerían a magnitudes entre 11 y 15 L/s, en ese periodo de tiempo. Los caudales en intervalos de 100 m, lo harían a rangos entre 0,85 y 2,3 L/s. Por su parte, en el caso de una excavación en margocalizas, los caudales acumulados oscilarían entre 2,25 y 3 L/s. Los caudales en intervalos de 100 m, variarían entre 0,23 y 0,5 L/s.

El detalle de los cálculos de aplicación de la Fórmula de Goodman et al. (1965), se muestra en los estadillos incluidos a continuación.