

ANEJO 3.- GEOLOGÍA Y GEOTECNIA

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. AMBITO DEL PROYECTO	1
3. ANTECEDENTES	2
4. TRABAJOS REALIZADOS	2
4.1. REVISIÓN DE LA CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE SUPERFICIE	2
4.2. REVISIÓN DE LOS SONDEOS	3
4.2.1. Revisión de la testificación del Estudio Geotécnico	3
4.2.2. Selección de muestras para realizar nuevos ensayos	3
5. GEOLOGIA	4
5.1. MARCO GEOLÓGICO	4
5.2. ESTRATIGRAFIA Y LITOLOGIA	4
5.2.1. Pizarras paleozoicas, (Pz)	4
5.2.2. Pelitas rojas del pérmico, (Pt)	5
5.2.3. Conglomerados del Buntsandstein (TBcg)	6
5.2.4. Areniscas del Buntsandstein, (TBsl)	6
5.2.5. Limolitas rojas del Buntsandstein, (TBl)	7
5.2.6. Argilitas Brechoides del Buntsandstein, (TBbr)	7
5.2.7. Calizas del Muschelkalk, (TMc y TMa)	7
5.2.8. Arcillas abigarradas del Keuper (Ty)	8
5.2.9. Ofitas (Tof)	8
5.2.10. Brechas poligénicas, (Tb)	10
5.2.11. Calizas, dolomías del Jurásico, (Jc)	10
5.2.12. Margas negruzcas del Cretácico Inferior, (Cm)	10
5.2.13. Arcillas, areniscas y pizarras del Cretácico inferior, (Cs)	10
5.2.14. Suelos de alteración	10
5.2.15. Cuaternario	10
5.3. TECTONICA	10
5.4. SISMICIDAD	11
5.4.1. Criterios de aplicación de la Norma	11
5.4.2. Cálculo de acciones sísmicas	11
5.5. HIDROGEOLOGÍA	12
5.5.1. Actualización de la hidrogeología del Túnel de Belate II	13
5.5.2. Actualización de la hidrogeología del Túnel de Almandoz II	15
6. TERRENOS ATRAVESADOS	16
7. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA	18
7.1. CARACTERIZACIÓN DE ROCA INTACTA	18
7.1.1. Metodología para la caracterización de la roca intacta	20
7.1.2. Pizarras negras (Pz)	20
7.1.3. Pelitas rojas (Pt)	22
7.1.4. Conglomerados (TBcg)	22
7.1.5. Areniscas (TBsl)	23
7.1.6. Limolitas (TBl)	24
7.1.7. Argilitas brechoides (TBbr)	25
7.1.8. Calizas	26
7.1.9. Ofitas (Tof)	27
7.1.10. Brechas poligénicas, (Tb)	28
7.1.11. Calizas jurásicas (Jc)	29
7.2. CARACTERIZACIÓN DE ALTERACIONES RESIDUALES Y SUELO	30
7.2.1. Metodología para la caracterización de suelos	30
7.2.2. Argilitas brechoides alteradas (TBbr)	30

7.2.3. Argilitas abigarradas alteradas (TMa)	32
7.2.4. Brechas poligénicas alteradas	33
7.2.5. Arcillas del Keuper (Ty)	33
7.2.6. Coluvión (Qco)	34
8. GEOTECNIA DE TÚNELES	34
8.1. DETERMINACIÓN DE LOS CRITERIOS DE ROTURA DE LOS MACIZOS ROCOSOS	34
8.1.1. Determinación del RMR	35
8.1.2. Determinación de los parámetros de Hoek-Brown del macizo rocoso	36
8.2. EVALUACIÓN DE LA DIFICULTAD CONSTRUCTIVA DE LOS TÚNELES DE BELATE II Y ALMANDOZ II	36
8.2.1. Dificultad constructiva del Túnel de Belate II	39
8.2.2. Dificultad constructiva del Túnel Almandoz II	41
8.3. RIESGOS GEOLÓGICO- GEOTÉCNICOS EN LOS TÚNELES	43
9. GEOTECNIA DE LOS EMBOQUILLES DE LOS TÚNELES	45
9.1. METODOLOGÍA DEL ANALISIS	45
9.2. EMBOQUILLE SUR TUNEL DE BELATE II	46
9.3. EMBOQUILLE NORTE TÚNEL DE BELATE II	47
9.4. EMBOQUILLE SUR TÚNEL DE ALMANDOZ II	49
9.5. EMBOQUILLE NORTE TÚNEL DE ALMANDOZ II	49
10. GEOTECNIA DEL TRAMO A CIELO ABIERTO	51
10.1. TRAMO DESDE EL INICIO HASTA EMBOQUILLE SUR DEL TÚNEL DE BELATE II	51
10.1.1. Desmonte D1	51
10.1.2. Desmonte D2	51
10.1.3. Desmonte D3	51
10.2. TRAMO DESDE EL INICIO HASTA EMBOQUILLE SUR DEL TÚNEL DE BELATE II	52
10.2.1. Desmonte D4	52
10.2.2. Desmonte D5	53
10.2.3. Desmonte D6	53
10.2.4. Desmonte D7	53
10.2.5. Desmonte D8	53
10.3. TRAMO NORTE DEL TÚNEL DE ALMANDOZ II HASTA EL FINAL DEL TRAZADO	53
10.3.1. Desmonte D9	53
10.4. RIESGOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS EN LOS TRAMOS A CIELO ABIERTO.	53
11. CONCLUSIONES	54

PLANOS

Plano 1.- Planta geológica – Ubicación de prospecciones.

Plano 2.- Perfil longitudinal – Túnel de Belate II.

Plano 3.- Perfil longitudinal – Túnel de Almandoz II.

1. INTRODUCCIÓN

En el presente Anejo se presenta la Geología y Geotecnia para el Proyecto de Trazado de la duplicación de los Túneles de Belate y Almandoz en la carretera N-121-A (Pamplona-Behobia).

2. AMBITO DEL PROYECTO

La nueva calzada a proyectar entre el P.K. 27+000 y el P.K. 34+650 de la N-121-A, que totalizan una longitud de 7.650 m, se sitúa a la izquierda (oeste) del trazado existente de los túneles, separado de éstos una distancia comprendida de 30 a 100 m,

En su desarrollo se distinguen claramente 5 tramos:

- Tramo a cielo abierto entre el P.K. 0+000 de inicio y el emboquille sur del Túnel de Belate II, P.K. 0+970.
- Túnel de Belate II entre los PP.KK.0+970 a 3+856 (inicio de los falsos túneles sur y norte).
- Tramo entre túneles desde el emboquille norte del túnel de Belate II, P.K.3+856 y el emboquille sur del túnel de Almandoz II, P.K.5+843.
- Túnel de Almandoz II entre los PP.KK.5+843 a 7+206 (inicio de los falsos túneles sur y norte).
- Tramo a cielo abierto entre el emboquille norte del Túnel de Almandoz II, P.K.7+206 y el P.K.7+650 final.

En las Figuras 2.a y 2.b se muestran, respectivamente, el alzado y la planta de los Túneles de Belate II y Almandoz II; que, prácticamente, son adyacentes a los actuales.

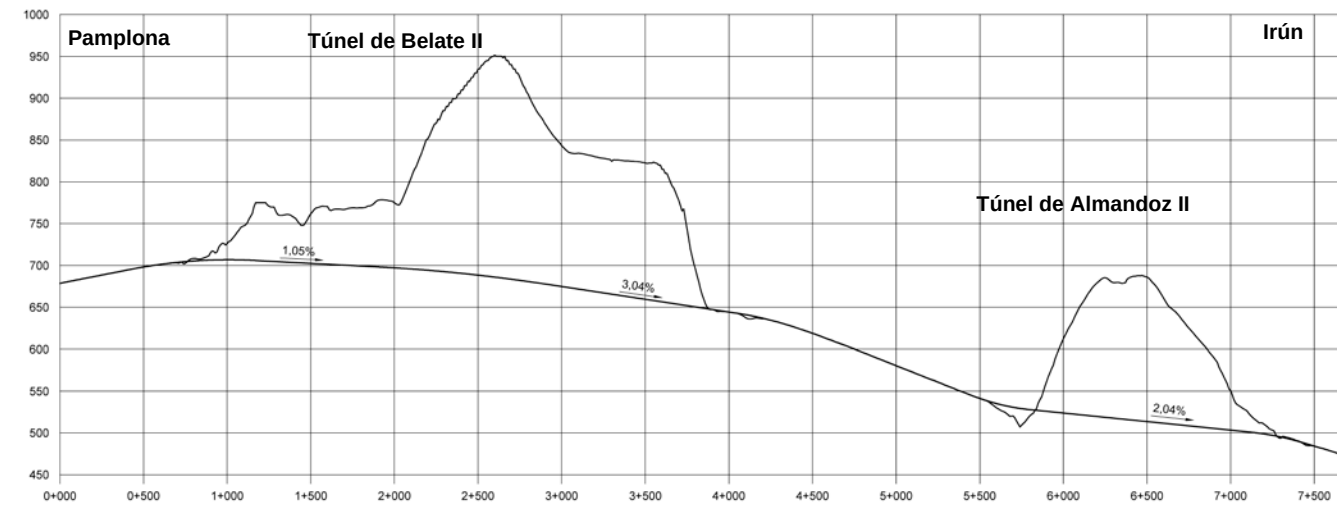


Figura 2.a.- Alzado de los Túneles de Belate II y Almandoz II.

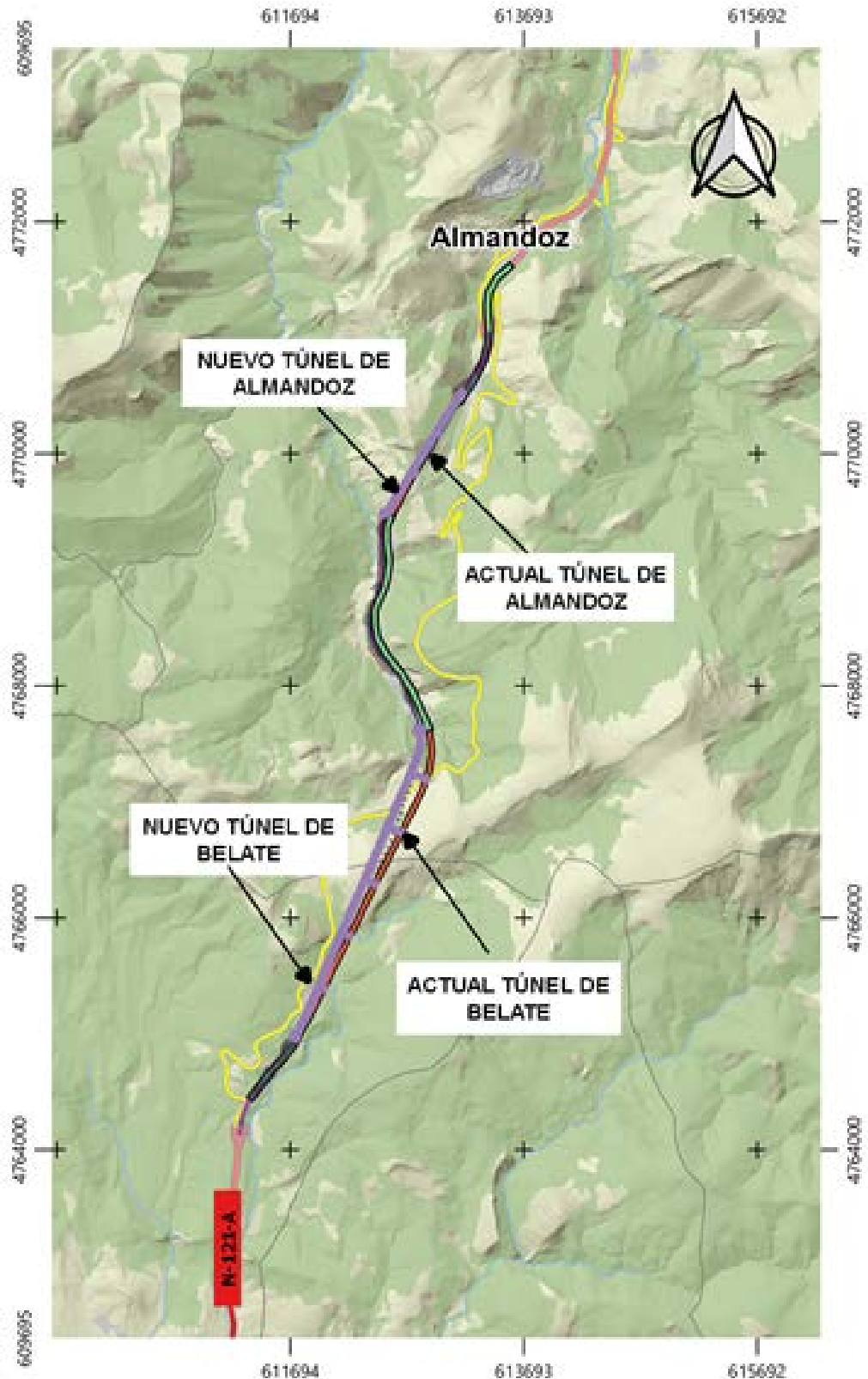


Figura 2.b.- Planta del trazado de los nuevos túneles.

3. ANTECEDENTES

Para la redacción de este documento se ha tenido en cuenta los siguientes antecedentes:

■ Proyectos de Construcción elaborados por EUROESTUDIOS (1991)

- Proyecto de Construcción del Túnel de Belate.
- Proyecto de Construcción del Puerto de Belate. Tramo: Venta de Arraiz – Zozaiá. Subtramo 1: P.K. 2+080 - P.K. 7+780.
- Proyecto de Construcción del Puerto de Belate. Tramo: Venta de Arraiz – Zozaiá. Subtramo 2: P.K. 7+780 - P.K. 10+620 que incluye la definición del Túnel De Almandoz.

■ Informes elaborados por GEOCONTROL, (1999-2018)

- Diagnóstico preliminar del Túnel de Belate 1999.
- Proyecto de reparación estructural del Túnel de Belate, 1999.
- Informe del desprendimiento en el Túnel de Belate 2000.
- Proyecto de Reparación estructural complementaria, 2001.
- Informe desprendimiento Belate, 2006.
- Informe de inspección paramentos Túnel de Belate 2007.
- Informes de Reparaciones del Túnel de Belate, 2007.
- Informe de caracterización de Pelitas, 2007.
- Proyecto de reparación de la zona de las Pelitas rojas, 2009.
- Informes de medidas de instrumentación en el Túnel de Belate, desde 1999 a 2017.
- Inspecciones del Túnel de Belate en 2016, 2017, 2018 y 2020.

■ Estudio de Alternativas realizado por SERS, 2014.

■ Estudio geotécnico previo al Proyecto de Duplicación de los Túneles de Belate y Almandoz, 2018.

En la **Tabla 3.a** se presentan los reconocimientos geológico-geotécnico realizados en la etapa de Proyecto de los túneles existentes realizados por Euroestudios en 1990-1991, los realizados por Geocontrol en el interior del Túnel existente de Belate y los realizados recientemente para el Estudio de Alternativas y el Estudio Geotécnico (2018).

Campaña	Nº de Sondeos	Longitud perforada (m)	Nº de Calicatas	Nº de Penetrómetros	Perfil geofísico (m)
Proyecto inicial Euroestudios 1990-1991	25	1.814	-	-	-
Geocontrol en el interior del T. Belate 1999-2007	7	64	-	-	-
Estudio de Alternativas y Estudio Geotécnico 2017-2018	47	2.984	39	30	2.880
TOTAL	79	4.862	39	30	2.880

Tabla 3.a.- Total de reconocimientos geológico-geotécnicos realizados en el tramo objeto del Proyecto.

4. TRABAJOS REALIZADOS

Entre los días 23 y 28 de noviembre, Técnicos de GEOCONTROL y SERTECNA realizaron trabajos de campo en los que revisaron los testigos de los sondeos ya perforados y la cartografía de superficie; además, se tomaron datos hidrogeológicos complementarios y se seleccionaron testigos de roca para hacer ensayos de laboratorio.

4.1. REVISIÓN DE LA CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE SUPERFICIE

La visita realizada por dos Geólogos de Geocontrol-Sertecna a la zona donde se ubican los Túneles existentes de Belate y Almandoz tuvo como objeto revisar in situ la litología, los contactos y las fallas recogidas en la cartografía geológica del Estudio Geotécnico, realizada por SERINKO en 2018, para actualizarla. De las observaciones realizadas en campo y en los sondeos se ha modificado la cartografía geológica del Estudio Geotécnico en las zonas siguientes:

- **Emboquille Sur del Túnel de Belate II.** Se han modificado ligeramente la posición de las arcillas abigarradas, intercaladas en las calizas triásicas.
- **Tramo entre los PP.KK 26+800 y 29+100.** Se ha modificado la dirección de las fallas presentes en este tramo y se ha suprimido la interpretación realizada por SERINKO de un pinzamiento de pizarras intercalado entre las limolitas triásicas, porque no se han detectado ni en campo ni en los sondeos.
- **Tramo entre los PP.KK: 26+800 y 29+100.** En este tramo, respecto a la interpretación cartográfica de SERINKO, se ha modificado la posición en la planta de los niveles de conglomerados triásicos, así como la dirección y posición de dos fallas y la traza de tres fallas más.
- **Tramo del Túnel de Almandoz II, entre PP.KK 33+400 y 33+700.** Se ha modificado la posición del contacto de las arcillas del Keuper y se ha añadido una fractura con caolinización en las ofitas.

En el Apéndice 1 se presenta la nueva Cartografía Geológica de estos terrenos a escala 1:1000, una vez revisada por GEOCONTROL y SERTECNA.

4.2. REVISIÓN DE LOS SONDEOS

En la visita realizada, también se revisaron los testigos de los sondeos almacenados en una nave ubicada en el Polígono Arazuri-Orcoyen en la calle B Nº5, parcela 3-3; que se muestra en la **Fotografía 4.2.a.**



Fotografía 4.2.a.- Almacenamiento de las cajas de los sondeos realizados para el Estudio de Alternativas y el Estudio geotécnico.

La revisión ha consistido en llevar a cabo las actividades siguientes:

- Revisión de la testificación efectuada para el Estudio de Geotécnico.
- Valoración y clasificación geomecánica de los terrenos a cota de túnel.
- Selección de muestras para realizar nuevos ensayos de resistencia a compresión simple, triaxiales y brasileños.

A continuación se presentan los resultados obtenidos.

4.2.1. Revisión de la testificación del Estudio Geotécnico

En general, se está de acuerdo con la descripción litológica recogida en la Testificación del Estudio Geológico, salvo en la descripción de los testigos del sondeo S-40; pues en concreto:

- Entre 113,7 y 128,7 m de profundidad, se considera que son brechas poligénicas, en vez de brechas margosas como se indica en el Estudio Geotécnico.
- Entre 128,7 y 134,0 m de profundidad, son ofitas muy alteradas en vez de brechas meteorizadas.
- Entre 134,0 y 148,6 m de profundidad, son ofitas muy fracturadas y caolinizadas, relleno de falla, en vez de brechas arcillosas.

Por último, señalar que se ha detectado la falta de algunas cajas del sondeo S-12.

4.2.2. Selección de muestras para realizar nuevos ensayos

Junto con la revisión de los sondeos se han seleccionado muestras representativas de las litologías existentes para la realización de nuevos ensayos de laboratorio: resistencia a compresión simple para la determinación de módulos de deformación, triaxiales y ensayos brasileños; en la **Tabla 4.2.2.a** se presenta la relación de las 32 muestras seleccionadas.

LITOLOGÍA	SONDEO	PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA	Nº
PIZARRAS	S-10	48 - 48,50	1
		49,0-49,50	2
		53,0 - 55,0	3
		51,4 - 52,5	4
		56,0 - 57,30	5
		69,0 - 71,0	6
		81 - 81,7	7
		72,5 - 75,0	8
		99,0 - 101,0	9
CONGLOMERADO	S-12	247,3-249	10
	S-11	203,10-206,10	11
ARENISCA	S-13	144,7-145	12
	S-14	130,8 - 132,0	13
		182,0 - 182,36	14
LIMOLITAS	S-16	184,7 - 185,0	15
		149,10 - 152	16
		152,0 - 154,0	17
ARCILLAS BRECHOIDES	S-8	10,25 - 10,50	18
		11,50 - 11,80	19
		26,7 - 27,30	20
		35,3 - 35,80	21
CALIZA	S-39	115,6 - 115,9	22
		115,6 - 115,9	23
BRECHA POLIGÉNICA	S-40	121,05 - 121,60	24
		121,60 - 121,9	25
		12,5 - 122,7	26
OFITAS	S-37	53,85 - 54,15	27
	S-39	82,3 - 82,5	28
		83,50 - 83,70	29
		86,7 - 86,9	30
BRECHA DE FALLA	S-40	145,85 - 146,15	31
		150,50 - 152,60	32

Tabla 4.2.2.a.- Relación de muestras seleccionadas para realizar nuevos ensayos de laboratorio.

5. GEOLOGIA

La zona de estudio se sitúa en el Pirineo Occidental, en el sector septentrional navarro, en la confluencia entre las elevaciones pirenaicas del Macizo Quinto Real y la comarca de La Ultzama.

Nos situamos en una zona de altos contrastes altimétricos, en la que el puerto de Belate constituye una barrera hidrológica cuya vertiente Sur, corresponde a cuenca del río Ultzama, que pertenece a la vertiente mediterránea, y presenta relieves suaves; en cambio la vertiente Norte, que corresponde a la cuenca del río Bidasoa, pertenece a la vertiente cantábrica y presenta un relieve más abrupto.

5.1. MARCO GEOLÓGICO

Desde el punto de vista geológico, se enmarca en la confluencia de la parte oriental de la cuenca Vasco-Cantábrica con la parte occidental de la Cordillera Pirenaica; en una zona estructuralmente compleja, situada al norte de la Falla de Pamplona, con cabalgamientos y plegamientos entre el Macizo Quinto Real y el Valle de La Ultzama ;y, constituida por materiales paleozoicos fracturados con una cobertera mesozoica plegada, despegada del zócalo resistente y deformada por la intrusión de un diapiro subvolcánico de ofitas, denominado Lacolito de Almandoz. En la **Figura 5.1.a** se presenta la planta geológica de los terrenos por los que discurren los nuevos Túneles de Belate y Almandoz.

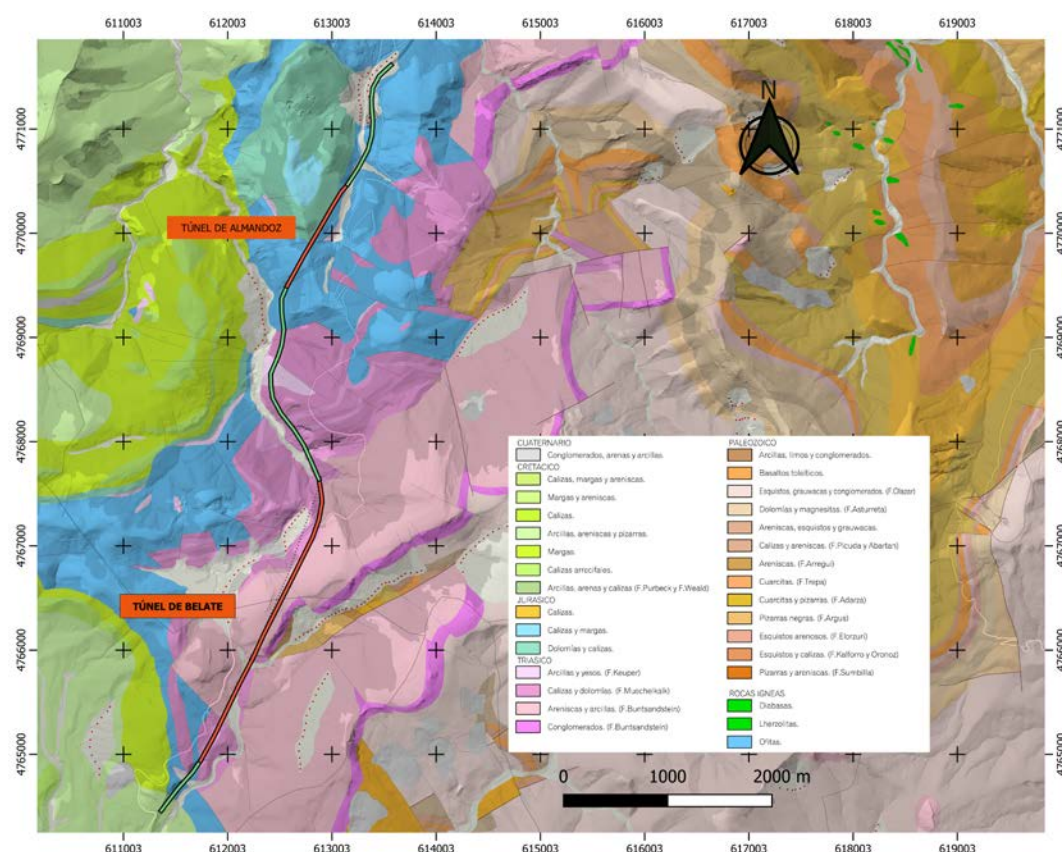


Figura 5.1.a.- Planta geológica de los terrenos por los que discurren los Túneles de Belate II y Almandoz II.

5.2. ESTRATIGRAFIA Y LITOLOGIA

El trazado de los túneles discurre por materiales de diversas edades cuyas litologías son las siguientes:

- **Paleozoicos**, constituidos por pizarras y grauvacas grises carboníferas, con pasadas de areniscas, que afloran al este del trazado en el macizo de Quinto Real y se han atravesado en la fase de excavación del Túnel de Belate I y en varios de los sondeos de reconocimiento realizados.
- **Pérmicos**, conjunto arcilloso-limolítico, discordante con los materiales anteriores, de tonos rojos, con intercalaciones conglomeráticas y brechas polimícticas. Afloran en las inmediaciones del convento de Belate y se han atravesado en el túnel y en sondeos de reconocimiento realizados.
- **Triásicos**, terrenos ampliamente representados a lo largo del todo el trazado y constituidos por un tramo detrítico, con conglomerado, areniscas y limolitas de tonos rojos (Facies Buntsantein), el tramo intermedio carbonatado (Facies Muschelkalk) y el tramo superior arcilloso-evaporítico (Facies Keuper). Estos materiales afloran en todo el trazado y se han atravesado en la ejecución de ambos túneles y en los sondeos de reconocimiento realizados. Relacionados con los materiales del Triásico superior, Keuper, y del Jurásico inferior abundan masas de rocas volcánicas, denominadas ofitas.
- **Jurásicos**: Son dolomías, calizas brechas calcáreas y margas y calizas que afloran al sur del actual Túnel de Almandoz.
- **Cretácicos**, son terrenos que afloran en el tramo inicial y en el desmonte sur de entrada al nuevo Túnel de Belate, constituidos por una serie margosa con pasadas de calizas y, encima una serie arcillo-margosa con niveles detríticos.
- **Cuaternarios**, son depósitos de ladera, coluviones y fondos de valle de pequeña entidad. Se presentan en todo el trazado de carretera, en las terrazas fluviales y suelos aluviales ligados al trazado de la red hidrográfica actual.

A continuación se describen de más antigua a más moderna cada una de las litologías por las que discurren los Túneles de Belate II y Almandoz II y el tramo de calzada que les une.

5.2.1. Pizarras paleozoicas, (Pz)

Conocidas coloquialmente como Pizarras negras, se presentan fracturadas, en bancos decimétricos; incluyendo pasadas centimétricas de areniscas, cristales de pirita y niveles carbonosos. En el actual Túnel de Belate, el tramo de pizarras paleozoicas ha sido uno de los tramos más problemáticos.

En la **Fotografía 5.2.1.a** se puede apreciar el aspecto de las pizarras negras en un afloramiento de la Ermita localizado en el cauce del río Ultzama y en la **Fotografía 5.2.1.b** las pizarras negras cortadas a cota de rasante del túnel por el sondeo S-10.



Fotografía 5.2.1.a - Aspecto de las pizarras negras paleozoicas en un afloramiento, en el cauce del río Ultzama, en la proximidad de la Ermita de Belate.



Fotografía 5.2.1.b.- Aspecto de testigos pizarras negras extraídos a cota de túnel en el sondeo S-10.

5.2.2. Pelitas rojas del pérmico, (Pt)

El conjunto arcillo-limolítico y de pelitas rojas, que aflora muy alterado en la proximidad de la Ermita de Belate, se ha perforado a cota del túnel, en el sondeo ST4, perteneciente a la campaña del Proyecto de 1990 y se ha constatado su presencia en actual Túnel de Belate entre sus PP.KK.. de obra 5+760 y 5+875.

En las **Fotografías 5.2.2.a** y **5.2.2.b** se muestra, respectivamente, el aspecto de las pelitas rojas pérmicas en afloramiento en superficie y en sondeos realizados por GEOCONTROL desde el interior del actual Túnel de Belate en 2007.



Fotografía 5.2.2.a.- Aspecto de las arcillas y pelitas rojas alteradas, presentes en las proximidades de la Ermita de Belate.



Fotografía 5.2.3.a.- Aspecto de las pelitas rojas extraídas de uno de los sondeos realizado en 2007, por GEOCONTROL, desde el interior del actual Túnel de Belate.

5.2.3. Conglomerados del Buntsandstein (TBcg)

Son conglomerados cementados por sílice, con cantos de cuarzo y cuarcita redondeados, tamaños medios de 5 cm y máximo de 20 cm, espesor de 20 a 50 m y discordantes sobre los materiales pérmicos.

Los conglomerados del Buntsandstein afloran en la vertiente este del monte Urbanbidegi y en la carretera N121a antigua, a 1 km del Puerto de Belate y se han perforado en los sondeos ST-1 y S-12. En la **Fotografía 5.2.3.a** muestra el aspecto de los afloramientos de bancos de conglomerado y **Fotografía 5.2.3.b** testigos obtenidos de esta litología.



Fotografía 5.2.3.a - Aspecto de afloramientos de conglomerados del Buntsandstein.



Fotografía 5.2.3.b.- Aspecto de los conglomerados en testigos extraídos a cota del Túnel de Belate II.

5.2.4. Areniscas del Buntsandstein, (TBsl)

Suprayacentes y concordantes con los conglomerados se presentan un gran paquete de areniscas silíceas de grano medio y tonos rojizos, localmente blanquecinas, con cemento silíceo, grado de meteorización II y, en fallas, III-IV. Presentan pasadas de limolitas, que progresivamente hacia techo van aumentando hasta que desaparecen las areniscas.

Las areniscas del Buntsandstein afloran en varios puntos de la N-121 alrededor del Puerto de Belate, se han atravesado en el actual Túnel de Belate en 1.040 m, concretamente entre el PK 6+190 y el PK 7+230 de obra.

En la **Fotografía 5.2.4.a** se muestra un afloramiento de areniscas en la vertiente Este del Monte Urbanbidegi y en la **Fotografía 5.2.4.b** el aspecto de los testigos de areniscas a cota del Túnel de Belate II.



Fotografía 5.2.4.a- Afloramiento de areniscas rojas del Buntsandstein en la vertiente Sur del Monte Urbanbidegi.



Fotografía 5.2.4.b.- Aspecto de los testigos de areniscas del Buntsandstein a cota del Túnel de Belate II.

5.2.5. Limolitas rojas del Buntsandstein, (TBI)

Las limolitas rojas, a veces verdosas, tienen cemento silíceo y pasadas de areniscas. Localmente incluyen intercalaciones de brechas sedimentarias cementadas, presentan un grado de meteorización de II-III en superficie y en profundidad I-II son suprayacentes y concordantes con las areniscas.

Afloran en la boca sur y norte del túnel de Belate y se han atravesado en un tercio de la longitud del Túnel de Belate I. En las **Fotografía 5.2.5.a** se presenta el aspecto de las Limolitas rojas en un afloramiento en la boca sur del Túnel de Belate y en la **Fotografía 5.2.5.b** los testigos extraídos del sondeo S-7 a cota del Túnel de Belate II.



Fotografía 5.2.5.a.- Aspecto de las limolitas rojas en afloramiento de la boca sur del Túnel de Belate.



Fotografía 5.2.5.b.- Aspecto de los testigos de limolitas roja a cota de túnel.

5.2.6. Argilitas Brechoides del Buntsandstein, (TBbr)

Son argilitas de colores rojo-vinoso, verde, marrón y/o violeta, brechificadas hacia la base, que constituyen una banda afectada por la tectónica de despegue regional.

Afloran en la boca norte del Túnel de Belate, pero se presentan muy alteradas y constituyen un suelo, también se han perforado en los sondeos S-15, S-16 y S-17.

En la **Fotografía 5.2.6.a** se presenta el aspecto de los testigos de argilitas.



Fotografía 5.2.6.a.-Aspecto de las argilitas brechoides del Buntsandstein.

5.2.7. Calizas del Muschelkalk, (TMc y TMa)

Son calizas de grano fino, laminadas y/o tableadas, que se presentan en bancos decimétricos con intercalaciones de dolomías y de arcillas abigarradas; tienen un grado de meteorización general de II y, en zonas de falla, puede llegar a IV.

Afloran en la boca sur del Túnel de Belate, en varios taludes del tramo existente entre túneles y se han perforado en los sondeos S-4, S-5 y S-6, del Túnel de Belate II y en S-37, S-38, S-39, S-40, S-41, S-43. S-44 del Túnel de Almandoz II.

En las **Fotografías 5.2.7.a y 5.2.7.b** y se puede apreciar, respectivamente, el aspecto de las calizas del Muschelkalk en superficie y en los testigos extraídos a la profundidad de la cota del Túnel de Almandoz II.



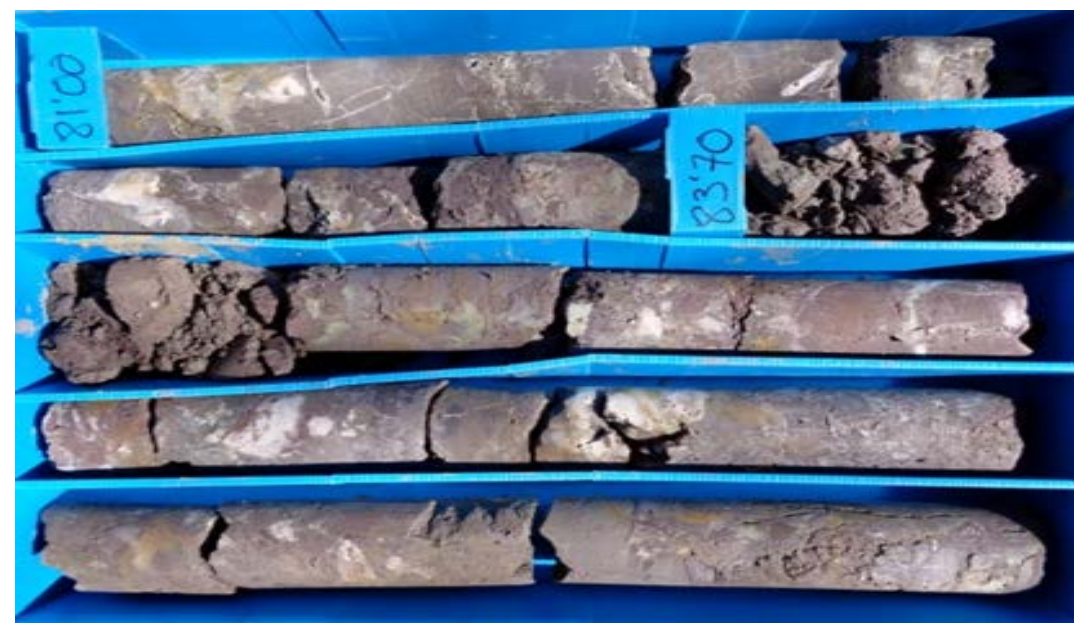
Fotografía 5.2.7.a.- Aspecto de un afloramiento de calizas del Muschelkalk en la boca sur del actual Túnel de Belate.



Fotografía 5.2.7.b.- Aspecto de los testigos de caliza de Muschelkalk a cota del trazado.

5.2.8. Arcillas abigarradas del Keuper (Ty)

Son arcillas rojas y arcillas abigarradas con yesos. En la **Fotografía 5.2.8.a** se puede apreciar el aspecto en profundidad de las arcillas con yesos del Keuper, en testigos del sondeo S-40.



Fotografía 5.2.8.a.- Aspecto de testigos de arcillas abigarradas del Keuper en testigos del sondeo S-40.

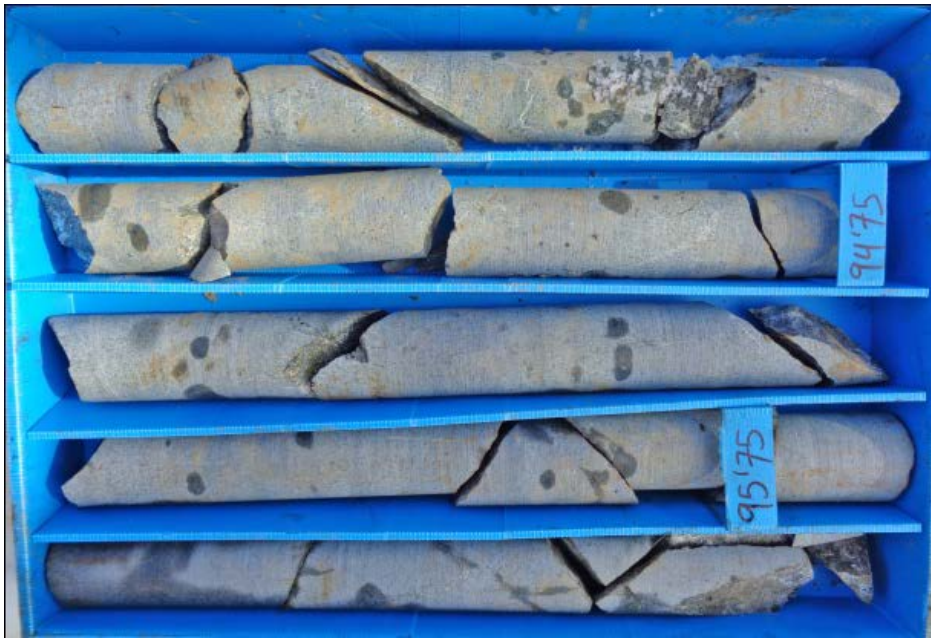
5.2.9. Ofitas (Tof)

Las ofitas del Keuper son rocas volcánicas de composición basáltica, de color verde oscuro muy duras y fracturadas; que presentan un grado de meteorización II- III y en zonas de falla IV-V.

En la **Fotografía 5.2.9.a** y en la **Fotografía 5.2.9.b** se puede apreciar, respectivamente, el aspecto de las ofitas fracturadas y alteradas en una zona de falla y de los testigos de ofitas sanas a cota del Túnel de Almandoz.



Fotografía 5.2.9.a.- Aspecto de un afloramiento de ofitas fracturadas y alteradas, en la proximidad del Túnel de Almandoz.



Fotografía 5.2.9.a.- Aspecto de las ofitas perforadas en el sondeo S-39.

Localmente y asociadas a fallas, las ofitas se presentan muy alteradas y caolinizada que en algunos casos ha sido objeto de explotaciones mineras; como la ya abandonada existente en el alto del puerto de Belate.

En la **Fotografía 5.2.9.c** se muestra una banda de caolín en ofitas alteradas y fracturadas presente en la explotación abandonada.



Fotografía 5.2.9.c.- Banda de caolín en la explotación abandonada existente en el Puerto de Belate.

El sondeo S-40, ubicado en la vertical del PK 33+600, sobre el Túnel de Almandoz, a partir de la profundidad de 134 m hasta 155 m se atraviesa una brecha de falla, muy arcillosa con tramos de caolín. La presencia de esta brecha caolinizada se interpreta como la zona de núcleo de una falla por la que han ascendido flujos hidrotermales que han provocado la caolinización de la ofita. La falla tiene una orientación E-W y es transversal al Túnel de Almandoz.

En la **Fotografía 5.2.9.d** se presenta el aspecto de los testigos del relleno de falla a cota del Túnel de Almandoz.



Fotografía 5.2.9.d.-Aspecto de ofitas brechificadas y caolinizadas, presentes a cota de Túnel de Almandoz en el PK 33+600.

5.2.10. Brechas poligénicas, (Tb)

Consiste en una mezcla de ofitas fracturas y alteradas, calizas brechificadas, brechas gris-azuladas y marrones, cementadas. Aparecen en el contacto mecánico entre ofitas y calizas, tanto del Muschelkalk como del Jurásico, con un grado de meteorización III-IV. Se ha previsto que se atravesarán en el Túnel de Almandoz II. En la **Fotografía 5.2.10.a** se presentan testigos de las brechas poligénicas cementadas.

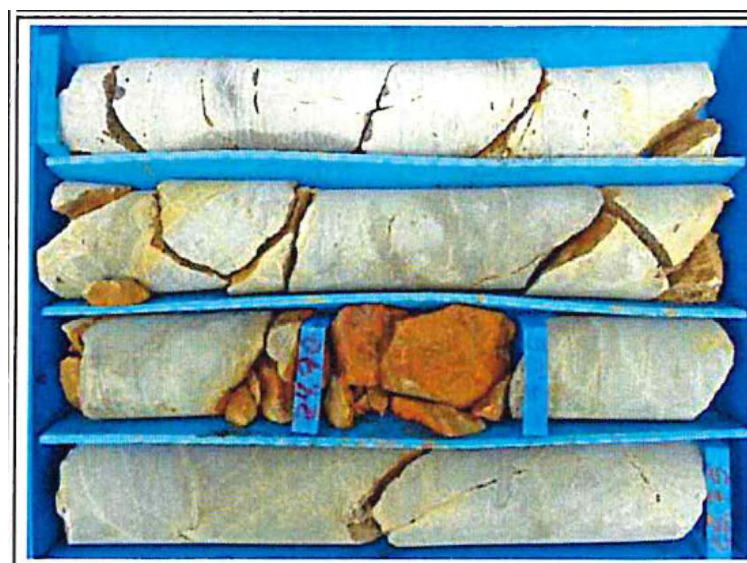


Fotografía 5.2.10.a.- Aspecto de los testigos de brecha poligénica cementada.

5.2.11. Calizas, dolomías del Jurásico, (Jc)

Afloran a la salida del Túnel de Almandoz, en el talud de desmonte de la margen izquierda, apareciendo un conjunto dolomítico-calcáreo inferior y otro margoso-calcáreo, asignados ambos al Lías.

En la **Fotografía 5.2.11.a** se puede apreciar el aspecto de estos terrenos en testigos del sondeo S-41.



Fotografía 5.2.11.a aspecto de las calizas y dolomías jurásicas en el sondeo S-41 a la profundidad de 25 m.

5.2.12. Margas negruzcas del Cretácico Inferior, (Cm)

Es un conjunto carbonatado fundamentalmente margoso muy alterado con intercalaciones calcáreas, No afectan al trazado pero si afloran en las proximidades del inicio del tramo y presenta relieves muy suaves.

5.2.13. Arcillas, areniscas y pizarras del Cretácico inferior, (Cs)

Conjunto con predominio arcillo-margoso con intercalaciones centimétricas micáceas que le confieren un aspecto pizarroso.

Están presentes en el inicio del tramo.

5.2.14. Suelos de alteración

Son materiales de alteración de formaciones triásicas y jurásicas y tramos de brechas poligénicas y arcillas brechoides que pueden ser asimilables a suelos.

5.2.15. Cuaternario

Son terrenos pertenecientes a coluviones, aluviales o fondos de valle y a rellenos antrópicos, en la **Tabla 5.2.15.a** se recoge su presencia en el trazado y en los sondeos que se han detectado.

Tipo de depósito Cuaternario	Presencia en el Trazado	Sondeos y calicatas en estos terrenos
Coluvión	Diseminada en todo el trazado, pero sobre todo desde el PK 29+800 al PK 30+790.	S-1, S-2, S-9, S-10, S-15, S-16, S-17, S-31, S-32, S-34, S-35, S-36, S-42, S-45 y S-46.
Aluvial	PK 29+020 al PK 29+040	
Relleno antrópico	En la boca Norte del Túnel de Belate II entre PK 30+880 y PK 31+200. Localmente entre túneles. En la boca Norte de Almandoz II.	C-9, y C-10 S-18, S-19, S-20, S-21, S-22 y S-24, C-11, C-12, C-13 y C-38. S-43 y S-44

Tabla 5.2.15.a.- Tipos de depósitos Cuaternarios y presencia en el trazado.

5.3. TECTONICA

El territorio sobre el que se localizan el trazado está afectado por dos grandes deformaciones, la Orogénea Hercínica y la Orogénea Alpina, generando gran número de fallas y una complejidad estructural elevada.

El ciclo hercínico está caracterizado por pliegues y cabalgamientos de dirección NO-SE a N-S, y una etapa de fracturación tardihercínica con desgarres de direcciones NE-SO, NO-SE y E-O que se han reactivado en el ciclo alpino. Entre los accidentes tardihercínicos más destacados de esta zona, se encuentran la falla de Pamplona y la Falla de Leitza que es la continuación de la Falla Norpirenaica.

Sobre el trazado se identifican cabalgamientos de la orogenia alpina de dirección NE-SO y dos sistemas principales de fracturación tardihercínica, de dirección NE-SO y NO-SE; que han producido numerosas fallas en el Túnel de Belate II y dos de gran desarrollo en el Túnel de Almandoz II, una en la proximidad de la Boca Sur y otra aproximadamente en la mitad del túnel.

Asociado a una reactivación de fallas tardhiércinicas han ascendido las ofitas que se han emplazado en los niveles del Keuper, desplazando parcial o totalmente las arcillas versicolores y afectando también a los materiales del Jurásico.

5.4. SISMICIDAD

Cerca de la zona del proyecto, en los alrededores de la ciudad de Pamplona, se han sucedido varios terremotos de los cuales históricamente hay catalogados tres con intensidades entre IV y IV-V, uno en 1903 con intensidad VI y otro con intensidad IV en 1990; al sur de Pamplona se dispone registro de dos con intensidad V ocurridos en Legarda (M 4,5) en 1982 y en Gazólaz (M 4,0) en 1996; y, más recientemente, cabe destacar un terremoto de magnitud 4,2 registrado en Olave en 2017 con intensidad V y los registrados el 30 septiembre y el 1 de octubre de 2020 en el municipio de Lizoain, de Intensidad V (M 4,5 y 4,4). En la **Figura 5.4.a** se presenta la sismicidad histórica registrada en los alrededores de la zona de estudio.

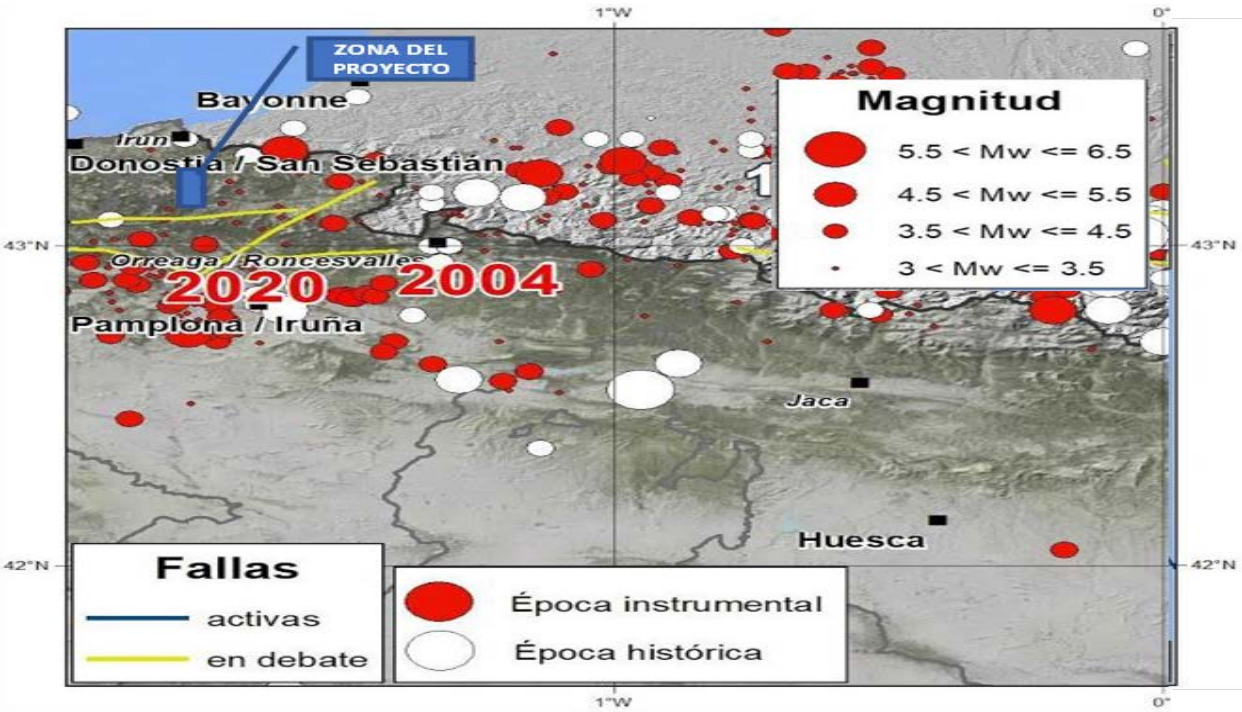


Figura 5.4.a.- Sismicidad histórica en los alrededores de la zona de estudio, Fuente MITNA,2020.

Para la redacción del presente apartado de peligrosidad sísmica se considera la metodología expuesta en la normativa vigente:

- Norma de Construcción Sismorresistente. Parte General y Edificación (NCSR-02) aprobada por el Real Decreto 997/2002 de 27 de septiembre.

- Norma de Construcción Sismorresistente: puentes (NCSP-07) aprobada por el Real Decreto 637/2007 de 18 de mayo.

5.4.1. Criterios de aplicación de la Norma

Según el apartado 2.8. de la Norma NCSP-07, no será necesaria la consideración de las acciones sísmicas en las situaciones siguientes:

- Cuando la aceleración sísmica horizontal básica del emplazamiento, a_b , sea inferior a 0,04 g; siendo g la aceleración de la gravedad.
- Cuando la aceleración sísmica horizontal de cálculo a_c sea inferior a 0,04 g.

5.4.2. Cálculo de acciones sísmicas

La Norma de Construcción Sismorresistente NCSR-02 delimita la peligrosidad sísmica de cada punto del territorio nacional, en base a lo que denomina aceleración sísmica básica (a_b). La aceleración sísmica básica se representa en relación con el valor de la gravedad, g, e indica un valor característico de la aceleración horizontal de la superficie del terreno.

La **Figura 5.4.2.a** muestra el mapa de peligrosidad sísmica publicado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN), aplicable en la Norma de construcción sismorresistente NCSR-02 para el territorio español y para un periodo de 500 años

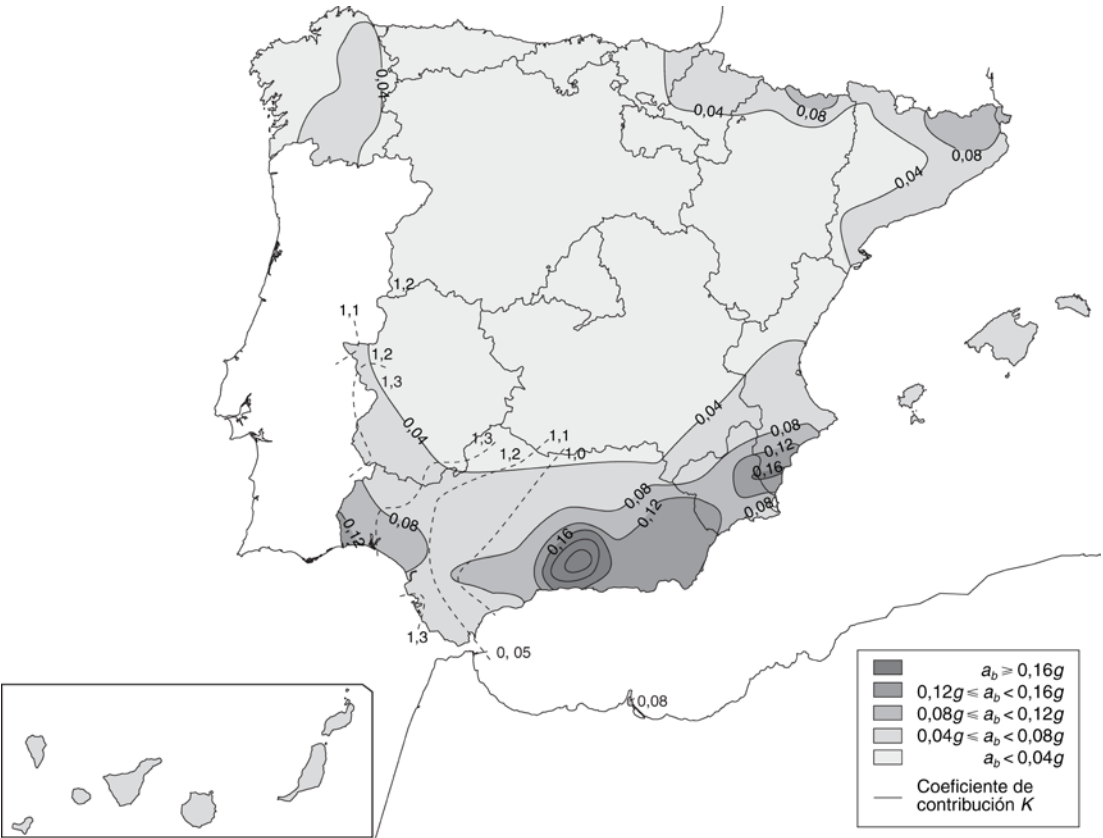


Figura 5.4.2.a - Mapa de peligrosidad sísmica (Según NCSE-02).

Según las isolíneas de este mapa, a la zona de estudio le corresponde un valor de $a_b \geq 0,04g$.

En el Anejo 1 de la NCSE-02 se indican los valores de la aceleración sísmica básica, a_b , de los Términos Municipales con $a_b \geq 0,04 g$, organizado por Comunidades Autónomas. Según dicho anejo y el mapa de peligrosidad sísmica incluido en la norma sismorresistente NCSE-02, el valor de la aceleración sísmica horizontal básica, a_b , para los municipios por donde discurre el trazado, en concreto Ultzama y Baztan es, respectivamente, igual a 0,04g,y 0,05g, siendo g la aceleración de la gravedad. En este caso, para el cálculo se tomará **$a_b = 0,05g$** .

De acuerdo con los criterios de aplicación establecidos en las normas indicadas, al ser $a_b \geq 0,04g$ sí es preceptiva la consideración de las acciones sísmicas en el diseño de los elementos estructurales y actuaciones de este proyecto.

La aceleración sísmica de cálculo a_c se determina mediante la siguiente expresión, recogida en las normas sismorresistentes de aplicación:

$$a_c = S \times \rho \times a_b$$

ρ coeficiente adimensional de riesgo:

para un periodo de retorno $T = 500$ años y construcciones de importancia especial $\rightarrow \rho = 1,3$

S coeficiente de amplificación del terreno:

$$\rho \times a_b \leq 0,1g \rightarrow S = \frac{c}{1,25}$$

C coeficiente del terreno:

$C = 1,0$ Terreno tipo I (Roca compacta, suelo cemento o granular muy denso)

$C = 1,3$ Terreno tipo II (Roca muy fracturada, suelos granulares densos o cohesivos duros)

$C = 1,6$ Terreno tipo III (Suelo granular de compacidad media o suelo cohesivo de consistencia firme a muy firme)

$C = 2,0$ Terreno tipo IV (Suelo granular suelto o suelo cohesivo blando)

De acuerdo con estos criterios los terrenos que se encuentran en el ámbito de los Túneles de Belate y Almandoz serán los siguientes: **en el emboquille Norte del Túnel de Belate II** se acogen a los considerados como **Terreno tipo I** (roca compacta); los terrenos del **emboquille Sur del Túnel de Belate II y de ambos emboquilles del Túnel de Almandoz II** son **Terreno tipo II** (suelos granulares densos o cohesivos duros); y **los materiales del tramo entre túneles** se corresponden con **Terreno tipo III** (suelos granulares de compacidad media o cohesivos firmes a muy firmes).

Así pues, en la **Tabla 5.4.2.b** se establecen siguientes aceleraciones de cálculo para los tipos de terrenos afectados por el nuevo trazado.

Tipo de terreno	Unidades geológicas	C	S	a_c
Tipo I	Emboquille Norte T. Belate II (Pizarras, pelitas del Permotrias, conglomerados, areniscas limolitas y arcillas del Buntsandstein y calizas del Muschelkalt y Ofitas)	1,0	0,8	0,052
Tipo II	Terrenos en emboquille Sur del Túnel del Belate II y ambos emboquilles del T. de Almandoz II (brechas, poligénicas Ofitas muy alteradas y arcillas del Keuper)	1,3	1,0	0,065
Tipo III	Terrenos entre túneles: Alteraciones y depósitos cuaternarios	1,6	1,3	0,085

Tabla 5.4.2.b Aceleraciones sísmicas de cálculo según la tipología de terrenos.

5.5. HIDROGEOLOGÍA

El macizo de Quinto Real, con una orientación NE-SO, por donde transcurrirá el trazado, supone la divisoria de dos cuencas hidrográficas; al norte y a la salida del Túnel de Belate II, la regata Galdábaro continúa hacia la regata Zebería, pertenecientes a la cuenca del Bidasoa (vertiente cantábrica), mientras que al sur, el río Ultzama se encuentra en la cuenca del Ebro (vertiente mediterránea).

Desde el punto de vista hidrológico la zona presenta diferencias de cota acusadas con pendientes pronunciadas, que permiten una la escorrentía elevada y formaciones hidrogeológicas susceptibles de desarrollar acuíferos, cuya recarga se realiza por infiltración del agua de lluvia y la descarga por flujo directo a ríos y manantiales.

Los materiales de la cuenca sur, constituidos por pizarras, conglomerados, areniscas y limolitas, son impermeables con porosidad secundaria por fracturación e hidrogeológicamente homogéneos en cuanto a su comportamiento. La permeabilidad se incrementará en función del grado de fracturación en las zonas de falla y hacia la superficie o menor montera, donde las fracturas se encuentran más abiertas.

Los materiales de la cuenca norte, que son limolitas, argilitas, calizas y ofitas, presentan diferente comportamiento hidrogeológico. Las limolitas son permeables, por fracturación; las argilitas son impermeables y las calizas presentan una porosidad primaria y secundaria por fracturación y disolución. El agua filtra por escorrentía en las calizas permeables hasta las argilitas inferiores que actúan como barrera impermeable lo que origina manantiales; que, temporalmente, son de gran importancia.

A finales de noviembre de 2020 Geocontrol-Sertecna realizaron una campaña de caracterización hidrogeológica en la zona de los Túneles de Belate II y Almandoz II que ha permitido actualizar el conocimiento hidrogeológico de esta zona, tal como se expone en los apartados siguientes.

5.5.1. Actualización de la hidrogeología del Túnel de Belate II

Entre los trabajos realizados por SERINKO en 2018 se incluyen ensayos Lugeon en la mayoría de los litotipos a excavar durante la construcción del Túnel Belate II, cuyos resultados se presentan en la **Tabla 5.5.1.a**.

SONDEO	ZONA	LITOTIPO	Ud LUGEON	TIPO DE MACIZO
S-5	Tramo inicial	Calizas del Muschelkalk (TM _c)	27,80	Muy permeable
S-8	Túnel Belate II	Argilitas brechoides (TB _{br})	29,70	Muy permeable
S-9	Túnel Belate II	Limolitas (TB _l)	1,60	Prácticamente impermeable
S-10	Túnel Belate II	Pizarras (P _z)	27,20	Muy permeable
S-12	Túnel Belate II	Conglomerados (TB _{cg})	1,40	Prácticamente impermeable
S-13	Túnel Belate II	Areniscas y lutitas rojas (TB _{sl})	21,00	Muy permeable
S-15	Túnel Belate II	Argilitas brechoides (TB _{br})	3,40	Permeable
S-16	Túnel Belate II	Argilitas brechoides (TB _{br})	4,00	Permeable

Tabla 5.5.1.a.- Resultados de los ensayos Lugeon, en terrenos del Túnel de Belate II.

De los resultados incluidos en la Tabla 5.5.1.a se concluye que las Limolitas, Conglomerados y Argilitas brechoides presentan una permeabilidad baja y no es previsible la afluencia de agua al túnel a través de ellos; mientras que el resto de los terrenos son permeables y permitirán el paso del agua con facilidad.

En la **Tabla 5.5.1.b** se muestran las lecturas del nivel freático en alguno de los sondeos perforados por SERINKO en la zona del Túnel de Belate II, realizadas desde mediados de 2018 hasta mediados de 2020.

SONDEO	ZONA	Profundidad del nivel de agua (m)						
		29/05/2018	30/05/2018	06/06/2018	07/06/2018	14/06/2018	15/06/2018	21/06/2020
S-1	Tramo inicial		15,39	14,50		14,46		17,51
S-2	Tramo inicial		5,44	5,02		4,58		9,23
S-4	Tramo inicial		38,3	38,35		38,14		38,69
S-5	Tramo inicial		TAPADO 3,75					
S-7	Tramo inicial		27,98	31,37		27,60		27,86
S-8	Túnel Belate II		15,43	21,23		20,66		24,31
S-9	Túnel Belate II		5,64		3,88	3,19		14,61
S-11	Túnel Belate II		TAPADO 51,40					
S-12	Túnel Belate II		TAPADO 87,00					
S-14	Túnel Belate II		TAPADO 30,00					
S-15	Túnel Belate II	TAPADO 2,80						
S-16	Túnel Belate II	FONDO 152,5 SECO						

Tabla 5.5.1.b.- Evolución de la profundidad del nivel freático en la zona del Túnel de Belate II.

De acuerdo con los datos de la tabla 5.5.1.b se puede afirmar que en los últimos dos años se ha producido en la zona del Túnel de Belate II un descenso del nivel freático, más acusado en el sondeo S-9.

Habrà que esperar a las medidas que se efectuarán en la primavera de 2021 para ver si se mantiene este descenso o se modula de acuerdo con el régimen de lluvias.

A finales de 2020, Geocontrol-Sertecna realizaron un inventario de puntos de agua en la zona del Túnel de Belate II, que permitió identificar los 13 manantiales; cuyas características se muestran en la **Tabla 5.5.1.c**. En algunos de estos manantiales se midió la conductividad y la temperatura del agua, con los resultados que se muestran en la **Tabla 5.5.1.d**.

Identificación	Manantial	Municipio	Cuenca	Fecha aforo	Coordenadas			Caudal (L/S)
PA-02	RÍO ULTZAMA	Ultzama	EBRO	25/11/2020	611798,73	4765075,74	747	4,70
PA-02	RÍO ARATXURI	Ultzama	EBRO	25/11/2020	612507,16	4765994,03	795	334,00
PA-03	BORDALDEA	Ultzama	EBRO	25/11/2020	611328,59	4764731,72	752	0,016
PA-04	ALTITUD	Baztan	NORTE	25/11/2020	613124,06	4767240,56	857	1,47
PA-05	DE LAS PLANTAS	Baztan	NORTE	25/11/2020	612504,06	4767030,56	812	0,17
PA-06	ARPECHAR	Baztan	NORTE	25/11/2020	613494,07	4767401,55	932	3,20
PA-11	BELATE	Baztan	NORTE	26/11/2020	612846,46	4767680,69	647	82,00
PA-12	BELATE	Ultzama	EBRO	26/11/2020	611737,28	4764946,18	707	0,39
PA-14	COPARAIN II	Ultzama	EBRO	25/11/2020	611474,04	4765005,57	780	0,00
PA-15	URBIMCHO	Ultzama	EBRO	25/11/2020	611600,04	4765252,57	755	0,00
PA-16	URBIMCHO	Ultzama	EBRO	25/11/2020	611931,04	4765581,57	800	0,00
PA-17	SANTIAGO ETXOLA	Ultzama	EBRO	25/11/2020	612247,05	4765962,56	810	0,00
PA-18	TELLEGUI KOLARRI	Ultzama	EBRO	25/11/2020	612393,04	4765527,56	840	0,00

Tabla 5.5.1.c.- Puntos de agua identificados por Geocontrol-Sertecna en la zona del túnel de Belate II.

ID	Manantial	Conductividad (uS/cm)	Temperatura (C°)
PA-01	RÍO ULTZAMA	86	9,4
PA-02	RÍO ARATXURI	12	7,1
PA-03	BORDALDEA	29	9,6
PA-04	ALTITUD	14	8,1
PA-05	DE LAS PLANTAS	15	7,5
PA-06	ARPECHAR	6	7,2
PA-11	BELATE	69	11,4
PA-12	BELATE	27	10,2

Tabla 5.5.1.d.- Conductividad y temperatura del agua en algunos de los manantiales inventariados por Geocontrol-Sertecna.

De acuerdo con todo lo anterior, se concluye que las entradas de agua en el Túnel de Belate II se pueden producir en los tramos excavados en calizas, conglomerados y areniscas; pero hay que tener presente que las mayores entradas de agua se producirán al excavar fallas con brechificación en que pongan en contacto estas litologías con otras más impermeables,

Como dato importante que resaltar, hay que indicar que actualmente por la boca norte del Tunel de Belate I los colectores laterales de drenaje del túnel vierten un caudal de 6 a 8 l/s. En la **Fotografías 5.5.1.e y 5.5.1.f** se puede apreciar el caudal drenado por cada uno de los colectores.



Fotografía 5.5.1.e.- Caudal drenado en la Boca norte del Túnel de Belate por el colector del hastial Este.



Fotografía 5.5.1.f.- Caudal drenado en la Boca norte del Túnel de Belate por el colector del hastial Oeste.

5.5.2. Actualización de la hidrogeología del Túnel de Almandoz II

De forma análoga a lo realizado con el Túnel de Belate II, en la **Tabla 5.5.2.a** se presentan los resultados de los ensayos Lugeon realizados en dos litotipos a excavar en el Túnel de Almandoz II.

SONDEO	ZONA	LITOTIPO	Unidades LUGEON	PERMEABILIDAD
S-37	Túnel Almandoz II	Ofitas (T_{of})	15,50	Muy permeable
S-41	Túnel Almandoz II	Brechas poligénicas (T_b)	3,20	Poco Permeable

Tabla 5.5.2.a.- Resultados de los ensayos Lugeon en los terrenos del Túnel de Almandoz II.

De acuerdo con los datos incluidos en la Tabla 5.5.2.a las posibles entradas de agua en el nuevo Túnel de Almandoz se concentrarán en los tramos excavados en ofitas.

En la **Tabla 5.5.2.b** se muestran las lecturas del nivel freático en los sondeos perforados por SERINKO en la zona del Túnel de Almandoz II, realizadas desde finales de mayo de 2018 hasta finales de junio de 2020.

SONDEO	ZONA	Profundidad del nivel de agua (m)					
		29/05/2018	07/06/2018	14/06/2018	15/06/2018	21/06/2020	22/06/2020
S-37	Túnel Almandoz II	46,80			38,70		39,05
S-40	Túnel Almandoz II	92,23	90,83	90,19		90,99	
S-41	Túnel Almandoz II	76,60	73,64	73,87		74,64	
S-44	Tramo final	40,65	39,14	37,25		39,96	
S-45	Tramo final	32,94	30,60	30,17		31,16	
S-47	Tramo final	1,96	1,48	1,35		1,78	

Tabla 5.5.2.b.- Evolución de la profundidad del nivel freático en los sondeos del Túnel de Almandoz II.

De los datos contenidos en la Tabla 5.5.2.b se puede concluir que el efecto drenante sobre el nivel freático del Túnel de Almandoz II es muy pequeño.

De forma análoga a lo realizado en el Túnel de Belate II por Geocontrol-Sertecna a finales de 2020, en el entorno del Túnel de Almandoz II se han identificado los manantiales que se muestran en la **Tabla 5.5.2.c**.

Identificación	Manantial	Municipio	Cuenca	Fecha aforo	COORDENADAS			Caudal (l/s)
PA-07	PEROCHENEA II	Baztan	NORTE	26/11/2020	612396,27	4769954,24	560	0,21
PA-08	ALCANTARILLAS	Allo	EBRO	26/11/2020	613568,08	4770404,56	557	9,69
PA-09	GAMIOA	Baztan	NORTE	26/11/2020	613344,20	4770661,67	500	27,21
PA-10	ESCASENEA	Baztan	NORTE	26/11/2020	613566,08	4771090,56	523	0,20
PA-13	VENTA BERRI	Baztan	NORTE	26/11/2020	613266,08	4770916,56	478	30,1
PA-19	SAN BLAS	Baztan	NORTE	26/11/2020	613108,08	4769204,56	715	0,00
PA-20	ARIZTICHELAY	Baztan	NORTE	26/11/2020	613476,08	4769838,56	705	0,00
PA-21	BEITICOECHEA	Baztan	NORTE	26/11/2020	613230,08	4770334,56	560	0,00
PA-22	GAMIOA	Baztan	NORTE	26/11/2020	613359,08	4770604,56	519	0,00
PA-23	GAMIOA	Baztan	NORTE	26/11/2020	613337,08	4770750,56	496	0,00
PA-24	PEROCHENEA	Baztan	NORTE	26/11/2020	612500,07	4769902,56	585	0,00

Tabla 5.5.2.c.- Puntos de agua identificados por Geocontrol-Sertecna en la zona del Túnel de Almandoz II.

En la **Tabla 5.5.2.d** se presentan las medidas de conductividad y temperatura en algunos de los manantiales inventariados en el entorno en el Túnel de Almandoz II.

ID	Manantial	Conductividad (uS/cm)	Temperatura del agua (C°)
PA-07	PEROCHENEA II	111	12,4
PA-08	ALCANTARILLAS	108	10,7
PA-09	GAMIOA	80	10,2
PA-10	ESCASENEA	24	10,2
PA-13	VENTA BERRI	85	11,4

Tabla 5.5.2.d.- Conductividad y temperatura del agua en algunos de los manantiales inventariados por Geocontrol-Sertecna.

De acuerdo con todo lo anterior se concluye que el efecto de drenaje del Túnel de Almandoz I sobre la posición del nivel piezométrico es muy pequeño y respecto al nuevo túnel a construir las posibles entradas de agua se concentrarán en el tramo a excavar en ofitas.

6. TERRENOS ATRAVESADOS

En la **Tabla 6.a** se presenta una tramificación del nuevo trazado en función de las características específicas de cada tramo, indicando los terrenos afectados y reconocimientos geológico-geotécnicos realizados en cada uno de ellos.

Tramo	PK N-121-A		PK DE TRAZADO		Longitud (m)	Tipología y estructura	TALUD	INCLINACIÓN DEL TALUD H:V	ALTURA MÁXIMA (m)	Terrenos afectados
	Desde PK	Hasta PK	Desde PK	Hasta PK						
Cielo abierto Sur Inicio del tramo	27+040	27+140	0+000	0+100	100	Explanada ampliación de Paso inferior existente				Arcillas, areniscas y pizarras del Cretácico Inferior (Cs) Rellenos de la carretera actual
	27+140	27+420	0+100	0+380	280	Extensión de explanada existente				
	27+420	27+580	0+380	0+540	160	Desmonte D1	Margen derecho	1:1	7	Ofitas (Tof)
	27+580	27+700	0+540	0+660	120	Explanada				Calizas (TMc) del Muschelkalk
	27+700	27+770	0+660	0+730	70	Desmonte D2	Margen izquierdo	1:1	31	Calizas (TMc) del Muschelkalk)
	27+770	27+800	0+730	0+760	30	ODT relleno	Margen izquierdo	1:2	4	Calizas (TMc) con intercalaciones de arcillas abigarradas (TMa) del Muschelkalk)
	27+800	27+940	0+760	0+900	140	Desmonte D3	Margen izquierdo	1:1	49	Calizas (TMc) con intercalaciones de arcillas abigarradas (TMa) del Muschelkalk Limolitas rojas del Buntsandstein
Desmonte emboquille Sur del Túnel de Belate	27+940	28+024	0+900	0+984	84	Emboquille Sur Túnel de Belate	Ambos	1:2	30	Calizas (TMc) con intercalaciones de arcillas abigarradas (TMa) del Muschelkalk Limolitas rojas del Buntsandstein
Tunel Belate	28+024	30+890	0+984	3+850	2.866	Túnel de Belate y 4 galerías peatonal y una vehicular de conexión con el túnel existente				
Desmonte emboquille T.Belate	30+890	30+920	3+850	3+880	30	Emboquille Túnel de Belate	Margen izquierdo y derecho	1:2	11	Arcillas brechoides (TBbr) y Calizas (TMc) del Muschelkalk
Cielo Abierto entre túnel	30+920	31+090	3+880	4+050	170	Explanada				Rellenos antrópicos, Arcillas brechoides (TBbr) y Calizas (TMc) del Muschelkalk
	31+090	31+200	4+050	4+160	110	Terraplén		2:1		Calizas (TMc) del Muschelkalk Arcillas abigarradas (TMa) del Muschelkalk
	31+200	31+280	4+160	4+240	80	Relleno lateral y pequeño retranqueo del talud Desmonte 4	Margen izquierdo y margen derecho	1:2	8	Calizas (TMc) del Muschelkalk Arcillas abigarradas (TMa) del Muschelkalk
	31+280	31+400	4+240	4+360	120	Desmonte D5 en calzada existente	Margen derecho	1:2	6	Calizas (TMc) del Muschelkalk Arcillas abigarradas (TMa) del Muschelkalk
	31+400	31+500	4+360	4+460	100	Desmonte D6 en calzada existente	Margen derecho	1:2	38	Calizas (TMc) del Muschelkalk y localmente coluvión
	31+500	31+560	4+460	4+520	60	Explanada				Calizas (TMc) del Muschelkalk y localmente coluvión
	31+560	31+790	4+520	4+750	230	Desmonte D7 en calzada existente	Margen derecho	1:2	36	Calizas (TMc) del Muschelkalk y localmente coluvión
	31+790	31+860	4+750	4+820	70	Explanada				Calizas (TMc) del Muschelkalk y localmente coluvión
	31+860	32+260	4+820	5+220	400	Desmonte D8 en calzada existente	Margen derecho	1:2	25	Calizas (TMc) del Muschelkalk y localmente coluvión
	32+260	32+360	5+220	5+320	100	Explanada				Calizas (TMc) del Muschelkalk, Arcillas abigarradas (TMa) del Muschelkalk, coluvión y terrenos del Keuper
	32+360	32+520	5+320	5+480	160	Relleno lateral	Margen derecho	1:2	10	Calizas (TMc) del Muschelkalk Brechas poligénicas (Tb) Ofitas (Tof)
	32+520	32+580	5+480	5+540	60	Explanada				Ofitas (Tof)
	32+580	32+630	5+540	5+590	50	Relleno lateral	Margen izquierdo	1:2		Ofitas (Tof) Coluvión ((Qcol)
	32+630	32+850	5+590	5+810	220	Viaducto			22	Ofitas (Tof) Coluvión ((Qcol)
	32+850	32+870	5+810	5+830	20	Explanada				Ofitas (Tof) Coluvión ((Qcol)
Emboquille Sur del T.Almandoz	32+870	32+892	5+830	5+852	22	Emboquille Túnel de Almandoz		1:1	13	Ofitas (Tof) Coluvión ((Qcol)
Tune de Almandoz	32+892	34+237	5+852	7+197	1.345	Túnel de Almandoz y 2 galerías peatonales de conexión con el existente.				
Emboquille Norte del T.Almandoz	34+237	34+320	7+197	7+280	83	Emboquille norte T.Almandoz		1:1	21	Calizas jurásicas Brechas poligénicas
Cielo abierto Norte final del tramo	34+320	34+500	7+280	7+460	180	Desmonte D9	Margen izquierdo	1:1	22	Calizas jurásicas Brechas poligénicas Ofitas (Tof)
	34+500	34+690	7+460	7+650	190	Explanada				Ofitas (Tof)

Tabla 6.a.- Tramificación de la nueva calzada de los Túneles de Belate II y Almandoz II, en función de sus características.

7. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

La caracterización geotécnica consiste en el análisis pormenorizado de los datos disponibles, realizando un tratamiento estadístico para, finalmente, establecer las propiedades de las unidades geotécnicas.

El proceso de caracterización seguido se ha diferenciado para: materiales tipo suelo, unidades del sustrato rocoso y discontinuidades.

Para la caracterización geomecánica se va a utilizar la metodología del Diseño Estructural Activo (DEA), desarrollado por GEOCONTROL desde 1997, cuando fue presentado en la primera edición del Manual de Túneles y Obras Subterráneas y posteriormente actualizado tanto en su segunda edición (Celada, 2011), así como en el libro Fundamentos del Diseño de Túneles (Celada y Bieniawski, 2016).

El DEA es una metodología, aplicable tanto a excavaciones en suelos como en rocas, así como a la excavación con tuneladoras o explosivos, que incluye la fase de diseño y construcción, combinando el método científico y el observacional retroalimentado. El DEA comprende tres fases:

- **Fase I.- Caracterización del Terreno.** Tiene por objeto minimizar los riesgos geológicos y valorar, lo mejor que sea posible, el comportamiento tenso-deformacional de los terrenos.
- **Fase II.- Diseño Estructural.** Tiene por objeto seleccionar el método constructivo, definir las Secciones Tipo de Sostenimiento, minimizar los riesgos de Diseño y estimar los movimientos del terreno durante la construcción.
- **Fase III.- Ingeniería durante la Construcción.** Tiene por objeto resolver los problemas constructivos que se presentan durante la obra, medir los movimientos del terreno para comprobar la bondad de los cálculos realizados y, en su caso, optimizar el proceso constructivo del Túnel y Galerías; aprovechando el comportamiento real del terreno excavado.

En la **Figura 7.a** se presenta el diagrama de flujo de las tres fases que conforman el DEA.

El presente apéndice sólo abarca la parte inicial de la Fase I, Caracterización del terreno, incluyendo tanto los trabajos de campo como los ensayos de laboratorio.

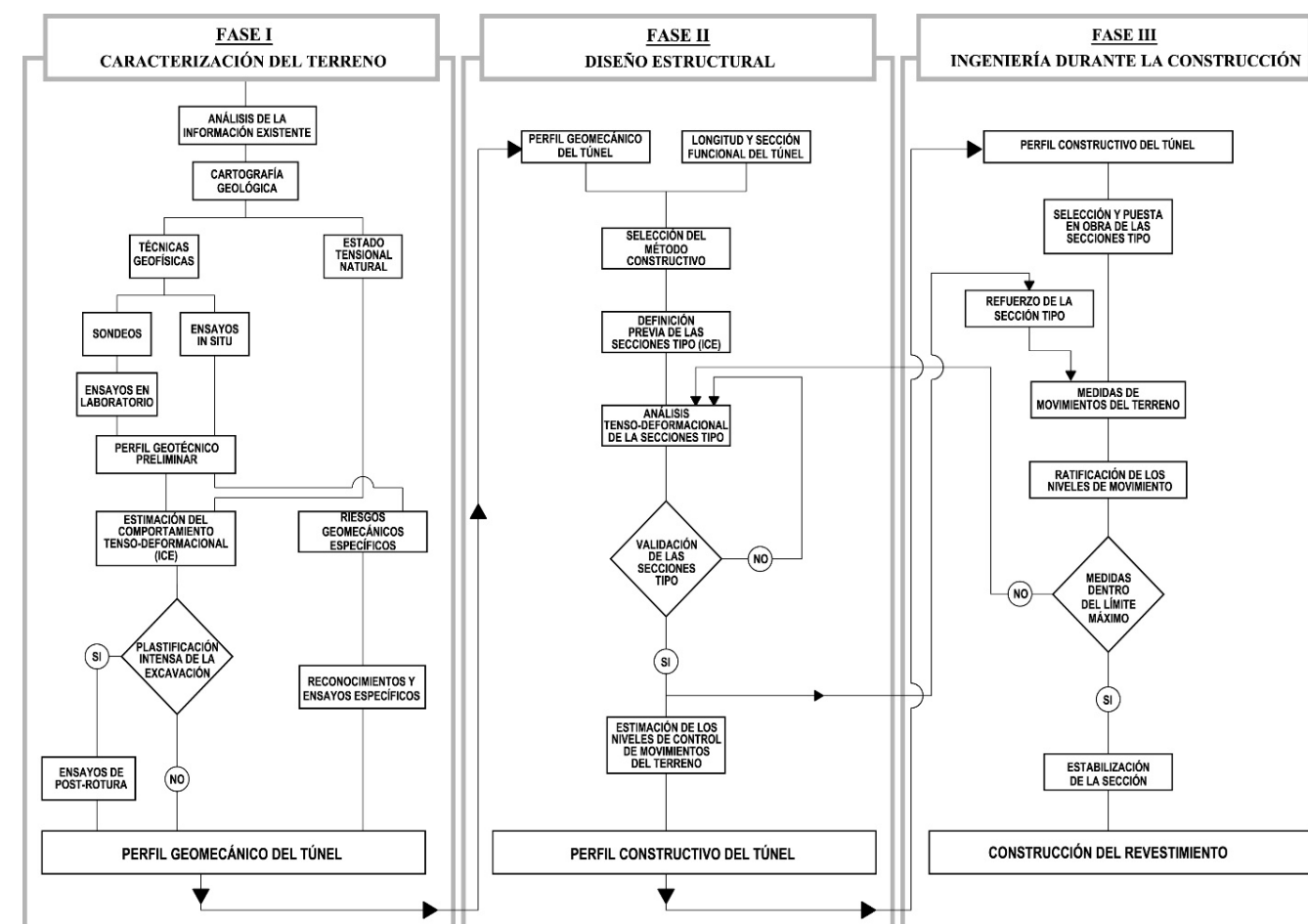


Figura 7.a.- Diagrama de flujo de las tres fases que conforman el DEA.

7.1. CARACTERIZACIÓN DE ROCA INTACTA

A partir de las muestras seleccionadas de los testigos obtenidos en los sondeos, Geocontrol y Sertecna han realizado 81 nuevos ensayos en testigos de roca, con objeto de complementar a los realizados en campañas anteriores y realizar una correcta caracterización de los terrenos de los Túneles de Belate II y Almandoz II. En la **Tabla 7.1.a** se muestra la distribución total de los ensayos realizados sobre testigos de roca.

CAMPAÑA	RCS	TRIAXILES	BRASILEÑOS	CARGA PUNTUAL	TOTAL
PROYECTO-1991	18	0	16	77	34
GSA 1999-2007	25	0	0		25
EST. GEOT 2018	34	15	7	22	56
GEOCONTROL-SERTECNA 2020	34	19	28		81
TOTAL	111	34	51	99	196

Tabla 7.1.a.- Ensayos mecánicos realizados con muestras de los litotipos presentes en los Túneles de Belate II y Almandoz II.

En la tabla anterior se observa que en total se han realizado 196 ensayos mecánicos; de los cuales 81, que representan el 41% del total, han sido realizados por Geocontrol-Sertecna en 2020.

Además de lo anterior, hay que señalar que se ha realizado un gran número de ensayos de carga puntual, denominado ensayo franklin o PLT; pero, como se comenta a continuación, estos ensayos tienen una escasa utilidad.

Mediante este ensayo se consigue determinar la denominada resistencia a la carga puntual de la muestra ensayada, (Is); cuyo valor se puede relacionar con la Resistencia a Compresión Simple (RCS) de la roca, mediante un coeficiente de proporcionalidad, según la expresión:

$$RCS = \alpha \times I_s(50)$$

Siendo:

RCS: Resistencia a compresión Simple (MPa).

α : Coeficiente de proporcionalidad.

Is(50): Resistencia a la carga puntual corregido para una probeta de 50 mm. (MPa).

El coeficiente **α** es un valor característico de cada roca que depende de la naturaleza de la roca, de su textura y de composición mineralógica; que ha sido determinado empíricamente por varios autores, tal como se muestra en la **Tabla 7.1.b**.

FUENTE (AÑO)	RELACIÓN RCS -*Is(50)	TIPO DE ROCA
Broch y Franklin (1972)	RCS = 23,7*Is(50)	Varios
Bieniawski (1975)	RCS = 23*Is(50)	Varios
Gunsallus y Kulhawy (1984)	RCS = 16,5*Is(50) + 51	Sedimentario
Ghosh y Srivastava (1991)	RCS = 16*Is(50)	Ígneo
Singh y Singh (1993)	RCS = 23,37*Is(50)	Metamórfico
Ulusay y col. (1994)	RCS = 19*Is(50) + 12,7	Sedimentario
Chau y Wong (1996)	RCS = 12,5*Is(50)	Ígneo
Smith (1997)	RCS = 14,3*Is(50)	Sedimentario
Tugrul y Zarif (1999)	RCS = 15,25*Is(50)	Ígneo
Kahraman (2001)	RCS = 8.41*Is(50) + 9.51	Varios
Tsiambaos y Sabatakakis (2004)	RCS = 23*Is(50)	Sedimentario
Fener y col. (2005)	RCS = 9.08*Is(50) + 39.32	Varios
Kahraman y col. (2005)	RCS = 10,22*Is(50) + 24,31	Varios
Agustawijaya (2007)	RCS = 13,4*Is(50)	Varios
Kahraman y Gunaydin (2009)	RCS = 8,2*Is(50) + 36,43	Ígneo
	RCS = 18,45*Is(50) - 13,63	Metamórfico
	RCS = 29,77*Is(50) - 51,49	Sedimentario
	RCS = 10,92*Is(50) + 24,24	Varios
Basu y Kamran (2010)	RCS = 11.103*Is(50) + 37.659	Metamórfico
Kohno y Maeda (2012)	RCS = 16,4*Is(50)	Varios
Aliyu y col. (2019)	RCS = 17,6*Is(50) + 13,5	Sedimentario

Tabla 7.1.b - Ecuaciones empíricas entre la resistencia a compresión (RCS) y la resistencia a la carga puntual Is(50).

A la vista de la variabilidad de las ecuaciones empíricas, no se aconseja en este caso utilizar los ensayos Franklin para el cálculo de la resistencia a Compresión; porque la aplicación de cualquiera de los coeficientes de proporcionalidad empíricos, al no estar contrastado con los ensayos específicos con muestras de los nuevos Túneles de Belate y Almandoz, puede llevar a subestimar o sobrestimar el valor de RCS.

A continuación se presenta la metodología aplicada y la caracterización geotécnica de cada una de las unidades litoestratigráficas rocosas presentes en la zona del estudio.

7.1.1. Metodología para la caracterización de la roca intacta

En la actualidad el modelo constitutivo que mejor representa el comportamiento tensional de las rocas es el de Hoek-Brown, que obedece a la siguiente ecuación.

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{m \cdot \sigma_c \cdot \sigma_3 + s \cdot \sigma_c^2}$$

Donde:

- σ_1 . tensión principal mayor en la rotura.
- σ_3 . tensión principal menor en la rotura.
- m. parámetro específico de cada terreno, relacionado con su fricción interna.
- σ_c . resistencia a compresión simple de la roca intacta.
- s. parámetro específico de cada terreno, relacionado con el efecto escala.

En la **Figura 7.1.1.a** se muestra la representación del criterio de rotura de Hoek-Brown y los puntos representativos de los ensayos de compresión, de tracción y triaxiales, que permiten ajustar este criterio para un tipo de roca determinado.

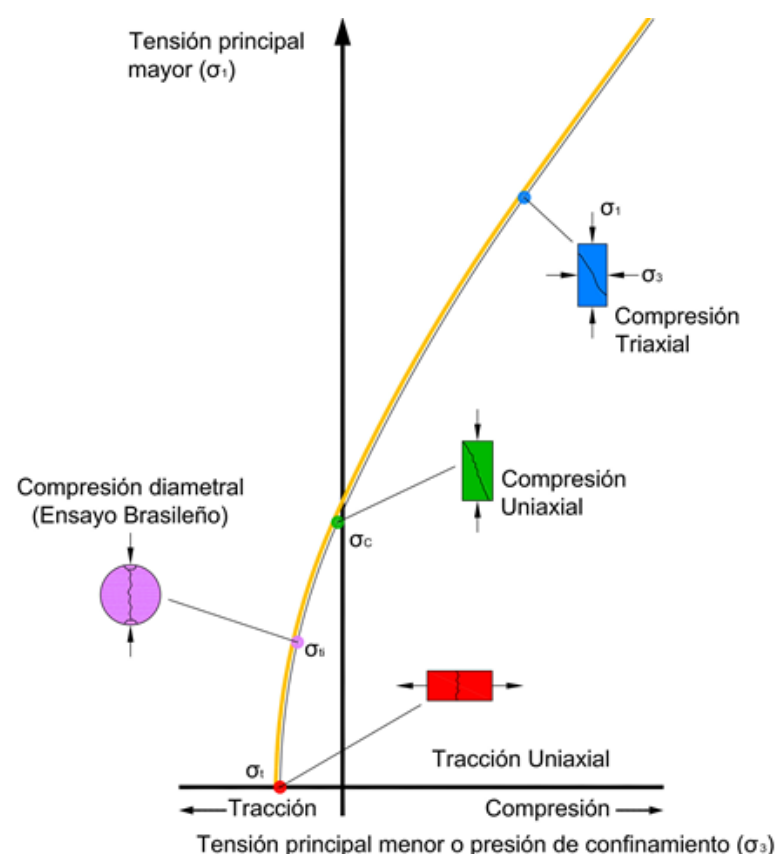


Figura 7.1.1.a.- Representación del criterio de rotura de Hoek-Brown, 1980.

A continuación, se presenta la caracterización de la roca intacta de las siguientes unidades litológicas presentes en el estudio: Pizarras negras (PZ), Pelitas rojas del permotrias (Pt), Conglomerados (TBcg), Areniscas (TBsl), Limolitas (TBI), Arcillas brechoides (TBbr), Calizas del Muschelkalk (CM), Ofitas (Tof), Brechas poligénicas (Tb) y Calizas jurásicas (Jc).

Para muestras intactas, que son las que no incluyen discontinuidades, se cumple $S=1$ y llamando σ_1 a la resistencia a compresión simple el criterio de Hoek-Brown toma la forma:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{m_i \sigma_{ci} \cdot \sigma_3 + \sigma_{ci}^2}$$

De acuerdo con esta expresión, para definir el criterio de Hoek-Brown para una roca intacta solo hay que definir el parámetro m_i y la resistencia a compresión simple σ_{ci} ; para lo cual se ajusta la expresión de Hoek-Brown, en unos ejes σ_1 y σ_3 , con los resultados de los ensayos mecánicos disponibles.

En los apartados siguientes se presentan los resultados de ajustar los valores de m_i y σ_{ci} para los litotipos presentes en los nuevos Túneles de Belate y Almandoz; ajuste que se ha realizado con la ayuda del programa PROPTUN, desarrollado por Geocontrol.

7.1.2. Pizarras negras (Pz)

En la **Tabla 7.1.2.a** se muestran los resultados de todos los ensayos mecánicos realizados sobre pizarras negras y los valores medios y el coeficiente de variación para cada tipo de ensayos realizados.

Sondeo (Año de los ensayos)	Profundidad [m]	Densidad [kN/m³]	Compresión simple [MPa]	Triaxial		Brasileño [MPa]
				σ_3 [MPa]	σ_1 [MPa]	
ST-1	163,6-163,8					1,58
	164,1-164,3	27,65	8,3			
S1-GSA-1999	1,4					
S2-GSA-1999	0,90-1,10		15,93			
	1,50-1,80		15,8			
	1,90-2,10		9,44			
	2,20-2,50		21,26			
	1,65-2,00		31,28			
	2,05-2,28		27,45			
	2,28-2,55		13,06			

Tabla 7.1.2.a.- Resultados de los ensayos de laboratorio con Pizarras Negras (1 de 2).

Sondeo (Año de los ensayos)	Profundidad [m]	Densidad [kN/m³]	Compresión simple [MPa]	Triaxial		Brasileño [MPa]
				σ_3 [MPa]	σ_1 [MPa]	
S-10 Geocontrol- Sertecna 2020	48,0-48,5	27,64	15,7			
	49,0-49,5	27,8	38,1			
	51,4-52,5					8,4
	51,4-52,5					1,2
	51,4-52,5					4,5
	51,4-52,5					3,3
	51,4-52,5					4,4
	53,0-55	27,27	11,42			
	56,0-57,3	27,28	33,4			
	56,0-57,3	27,56	19,8			
	69,0-71,0	27,52		0,5	20,4	
	69,0-71,0	27,52		1	23,2	
	69,0-71,0	27,52		1,5	23,3	
	81-81,7	27,42	32,1			
Nº Ensayos Total		10	14	3		6
Valor medio		27,52	20,9	-		3,9
Desviación típica		0,016	3,181	-		1,546
Coeficiente de variación		0,6%	15,2%	-		39,7%

Tabla 7.1.2.a.- Resultados de los ensayos de laboratorio con Pizarras Negras (2 de 2).

También se han indicado los valores de la densidad para cada muestra; pues este parámetro suele tener un coeficiente de variación muy bajo y permite conocer si en un mismo grupo de ensayos están mezcladas muestras de varios litotipos.

En la Tabla 7.1.2.a se aprecia que la mayor parte de los ensayos de laboratorio sobre Pizarras Negras han sido realizados por Geocontrol-Sertecna en 2020.

También se observa que el coeficiente de variación de las determinaciones de densidad es solo del 0,6% lo cual confirma que en este grupo solo hay muestras de un solo litotipo.

Los ensayos de compresión simple presentan un coeficiente de variación del 15,2%; que es bueno para este tipo de ensayos.

Sin embargo, los resultados de los ensayos brasileños presentan un coeficiente de variación del 39,7%; que es elevado, pues está cerca del 40% que es el máximo admisible.

En la **Figura 7.1.2.b** se muestra la representación del diagrama σ_1 y σ_3 de los puntos representativos de los ensayos realizados así como el ajuste de la parábola Hoek-Brown.

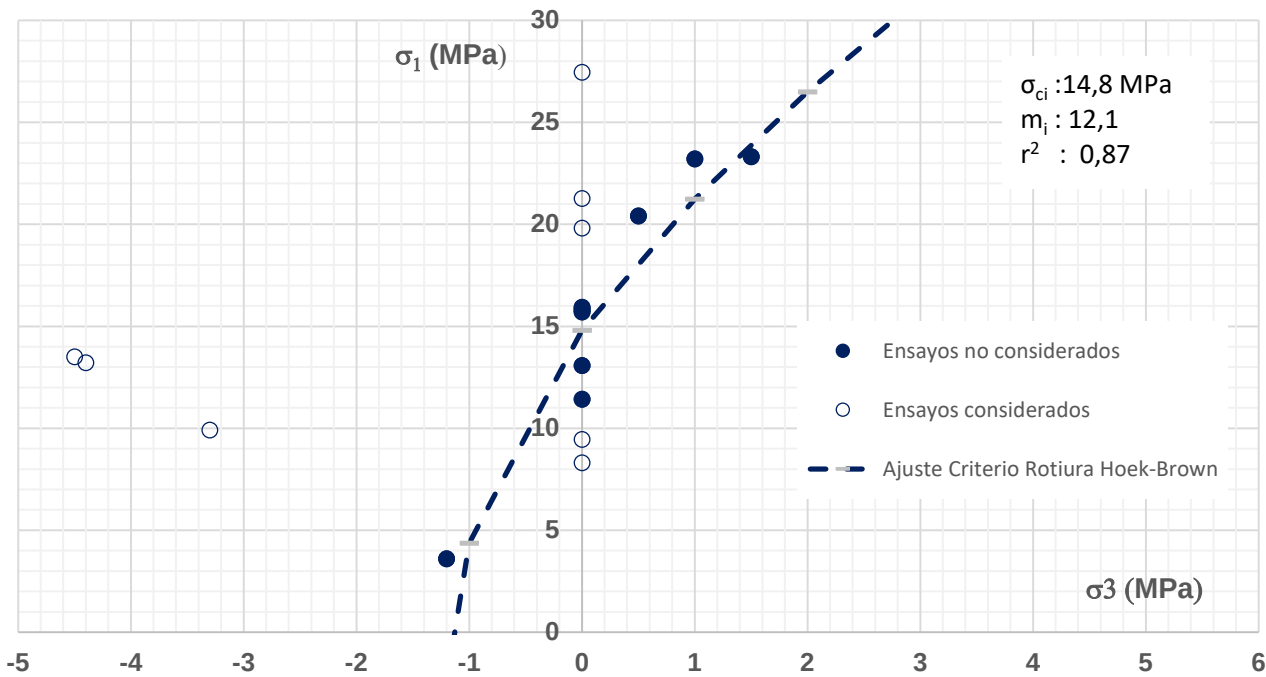


Figura 7.1.2.b.- Representación de los resultados de los ensayos mecánicos realizados en Pizarras negras y ajuste de la parábola de Hoek-Brown.

En el ajuste realizado ha sido que rechazar los resultados de los ensayos que se representan mediante el símbolo (o); para poder obtener un coeficiente de correlación razonable.

La resistencia a **compresión simple ajustada es de 14,8 MPa**, algo inferior a la resistencia media de 20,9 MPa, y se obtiene un valor **m_i de 12,1**.

La resistencia a compresión simple ajustada para las Pizarras Negras, 14,8 MPa, es excesivamente alta para lo que sería esperable en estos terrenos; de acuerdo con las experiencias previas de Geocontrol.

Esta anomalía puede deberse al hecho de que no es posible obtener muestras intactas de las Pizarras Negras con mayor proporción de grafito, que son las menos resistentes; razón por la cual los ensayos realizados no representan adecuadamente el comportamiento del conjunto de las Pizarras Negras.

Para tratar de superar este problema, durante la campaña complementaria de reconocimientos que se realizará durante la redacción del Proyecto de Construcción se realizarán ensayos presiométricos in situ; que sí pueden tener en cuenta la fracción de las Pizarras Negras menos resistentes.

7.1.3. Pelitas rojas (Pt)

En la **Tabla 7.1.3.a** se presentan los resultados de los ensayos realizados sobre testigos extraídos de sondeos realizados en 2007 en el interior del actual Túnel de Belate.

Sondeo	Profundidad [m]	Densidad [kN/m³]	Compresión simple [MPa]	Triaxial		Brasileño [MPa]
				σ_3 [MPa]	σ_1 [MPa]	
S-2	6,8	27,8	15,4			
S-2	7,1	27,8	15,6			
S-3	8,9	28,1	28,3			
S-4	6,8	28,1	26,1			
Nº Ensayos Total		4	4	-	-	-
Valor medio		27,989	21,4	-	-	-
Desviación típica		0,176	6,81	-	-	-
Coeficiente de variación		0,63%	31,92%	-	-	-

Tabla 7.1.3.a.- Resultados de los ensayos de laboratorio con Pelitas rojas del Permotrás.

En la Tabla 7.1.3.a se aprecia que los ensayos realizados son insuficientes para caracterizar las pelitas y además el coeficiente de variación de los valores de resistencia a compresión se considera alto.

Tal y como se indicado en el caso de las pizarras, durante la campaña complementaria de reconocimientos que se realizará durante la redacción del Proyecto de Construcción se realizarán ensayos presiométricos en sondeos de realizados en el interior del túnel que complementen los realizados en 2007 para caracterizar estos terrenos.

7.1.4. Conglomerados (TBcg)

En la **Tabla 7.1.4.a** se presentan los resultados de los ensayos de laboratorio con conglomerados; la mayoría de los cuales han sido realizados por Geocontrol-Sertecna, pues con anterioridad a 2020 para caracterizar los Conglomerados sólo se habían hecho dos ensayos a compresión simple y cinco brasileños.

Sondeo (Año de los ensayos)	Profundidad [m]	Densidad [kN/m³]	Resistencia a compresión (MPa)	Triaxial (MPa)		Brasileño (MPa)
				σ_3 [MPa]	σ_1 [MPa]	
ST-1 (2001)	140,4-140,5					5,13
	140,5-140,7					5,24
	140,8-141,0	27,67	42			4,87
	141,0-141,2					3,88
	141,5-141 '8	28,10	35			6,58
S-11 (2020)	144,7 - 145 (1)	27,42		2	57,5	
	144,7 - 145 (2)	27,91		6	83,4	
S-12 (2020)	247,3 - 249 (1)	27,68	42,6	10	145	4,22
	247,3 - 249 (2)	27,89	54,9			3,34
	247,3 - 249 (3)	27,89	33,3			7,28
	247,3 - 249 (4)	27,16	16,21 (*)			
Nº Ensayos Total		8	6	3		8
Valor medio		27,72	41,5	-		4,8
Desviación típica		0,030	18,588	-		1,947
Coeficiente de variación		1,1%	44,7%	-		41%

Tabla 7.1.4.a.- Resultados de los ensayos de laboratorio en Conglomerados.

El coeficiente de variación de la densidad es muy bajo, 1,1%; lo cual indica que en este grupo solo hay muestras de un litotipo.

Sin embargo; el coeficiente de variación de la compresión simple es excesivamente alto, pues ampara el 40% y lo mismo sucede con los ensayos brasileños.

En la **Figura 7.1.3.b** se representan los resultados de los ensayos realizados en un diagrama σ_1 , σ_3 y, también el ajuste realizado; que proporciona un valor de la **compresión simple de $\sigma_{ci} = 45,3$ MPa, con $m_i = 12,2$.**

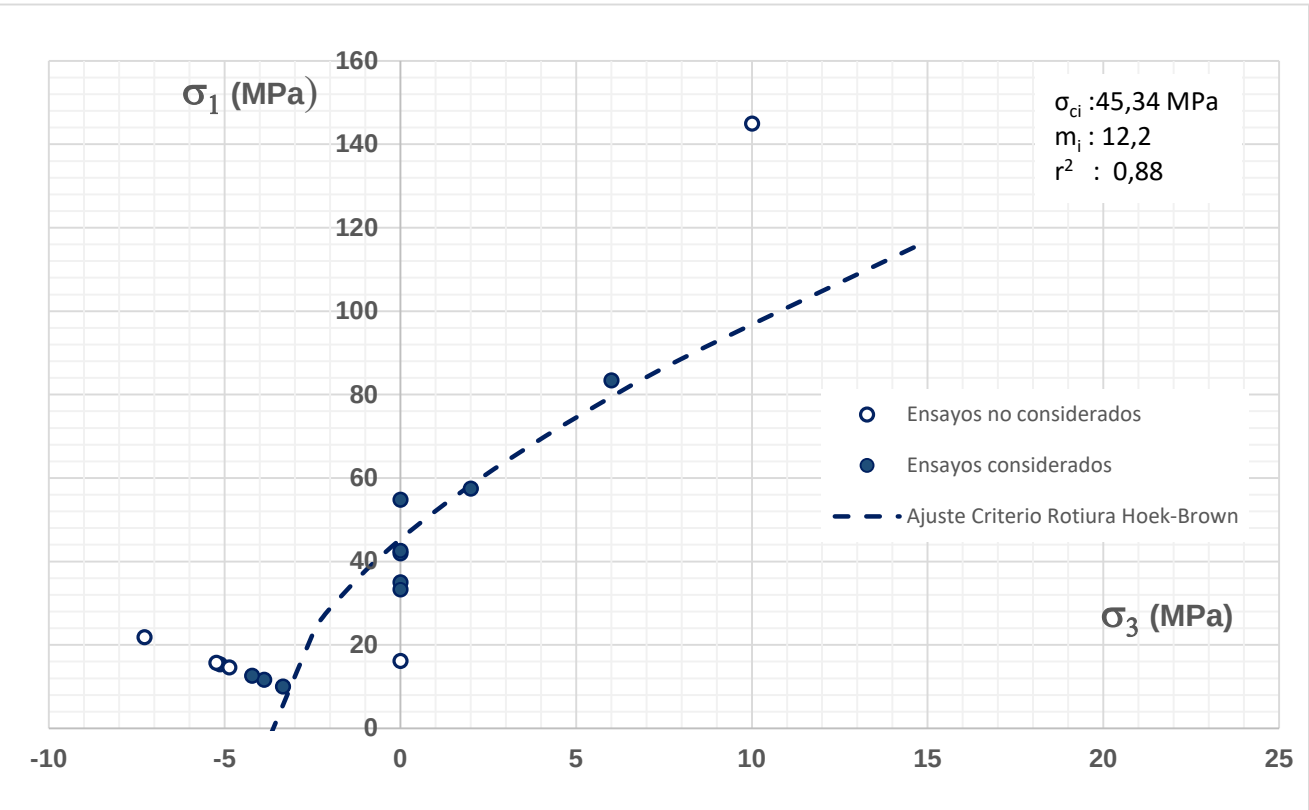


Figura 7.1.3.b.- Representación de los resultados de los ensayos mecánicos realizados en Conglomerados y ajuste de la parábola de Hoek-Brown.

En este caso el valor de la resistencia a compresión simple ajustada, **45,3 MPa**, es un poco mayor que el de la resistencia media que vale 41,5 MPa.

7.1.5. Areniscas (TBsl)

Los resultados de los ensayos de laboratorio realizados con muestras de areniscas se muestran en la **Tabla 7.1.5a**. En este caso se han incorporado los resultados de los ensayos a compresión simple realizados por Geocontrol en el año 2007.

Sondeo (Año de los ensayos)	Profundidad [m]	Densidad [kN/m³]	Resistencia a compresión [MPa]	Triaxial		Brasileño [MPa]
				σ_3 [MPa]	σ_1 [MPa]	
S-11	119,50-119,85		42,5			
	119,50-119,85		113,5			
	129,65-130,00		17,6			
	129,65-130,00		21,6			
S-13	199,85-200,00					4,49
S-13	186,80-187,10	25,62	31			
	191,15-191,40	24,9	15,2			
	200,00-203,30			2,5	77,4	
				5	80,2	
ST-4	188,30-188,70		50			
	188,70-188,90		55			
ST-1	121,30-121,60					9,18
	121,60-121,90					8,76
	119,40-119,90					12,44
	119,90-119,95					9,78
	119,95-120,00					7,81
S1-GSA-2007	8,8		22,3			
S3-GSA-2007	9,5		53,3			
	10,9		42,5			
S4-GSA-2007	4,3		67,7			
	5,3		61,5			
S13 -2020	130,8-132-0	26,67		2	90,8	
						12,2
						15,3
						14,5
						8,5
S14 2020	182-182,36	27,26		4	134,8	
	184,70-185,0	27,35		10	170,2	
	184,70-185,0					12,2
	184,70-185,0					15,3
	184,70-185,0	27,35				14,5
Nº Ensayos Total		6	13	6		13
Valor medio		26,53	45,7	-		11,4
Desviación típica (s)		0,10	26,74	-		3,45
Coeficiente de variación (C.V.)		3,9%	58,5%	-		30,3%

Tabla 7.1.5.a.- Resultados de los ensayos de laboratorio en Areniscas.

En este caso el coeficiente de variación de la densidad es del 3,9%, valor mucho más elevado que el de los litotipos anteriores y próximo al límite del 5% establecido para este parámetro; lo cual indica que en este grupo puede haber muestras de varias litologías.

El coeficiente de variación de las compresiones simples es demasiado elevado, 58,5%; lo cual indica una dispersión excesiva en estos resultados. Por su parte el coeficiente de variación de los ensayos brasileños es del 30,3%; que es un valor aceptable.

En la **Figura 7.1.5.b** se representan, en un diagrama σ_1 , σ_3 los resultados de todos los ensayos realizados con muestras de Areniscas y el correspondiente ajuste, tras rechazar algunos ensayos; que proporciona una **resistencia a compresión de 105,8 MPa, con $m_i = 10,7$** .

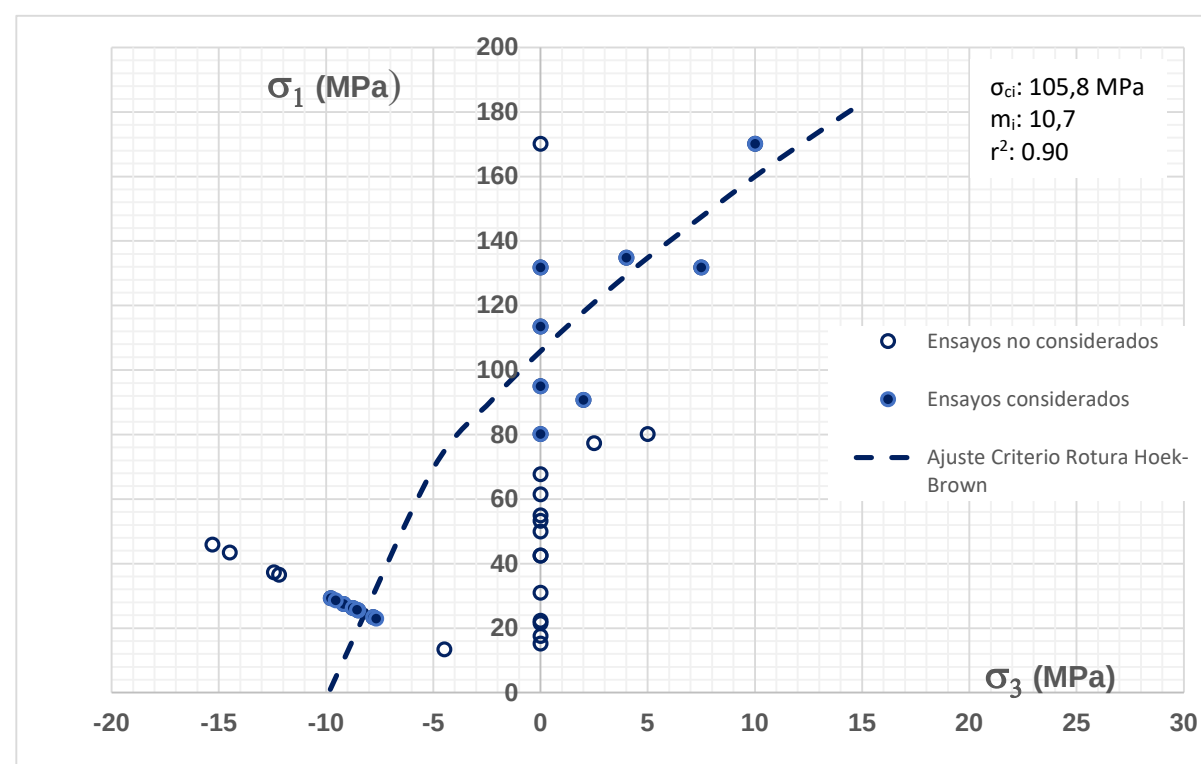


Figura 7.1.5.b.- Representación de los resultados de los ensayos mecánicos realizados en Areniscas y ajuste de la parábola de Hoek-Brown.

La resistencia a compresión simple ajustada para las Areniscas resulta ser $\sigma_{ci} = 105,8$ MPa; valor muy superior a la resistencia media de las muestras ensayadas, que es de 45,7 MPa. En la Figura 7.1.5.b se aprecia que han debido rechazarse numerosos ensayos, por haber dado resistencias muy bajas no acordes con las características de estas Areniscas.

El valor ajustado del parámetro m_i es de 10,7.

7.1.6. Limolitas (TBI)

En la **Tabla 7.1.6.a** se muestran los resultados de los ensayos de laboratorio con Limolitas, la mayoría de los cuales no han sido realizados por Geocontrol-Sertecna.

Sondeo (Año de los ensayos)	Profundidad [m]	Densidad [kN/m³]	Resistencia a compresión (MPa)	Triaxial		Brasileño [MPa]
				σ_3 [MPa]	σ_1 [MPa]	
S-7	23,4-23,8	27,8	54,4			
	30,0-30,4	27,2	73,3			
S-9	48,5-48,95	26,8		0,5	33	
				1	41	
				2	25,7	
	60,2-60,8		19			1,48 *
ST-5	65,5-65,8		3,2(*)			
	108,3-108,7					7,66
	108,7-108,9					10,53
	108,9-109,2					10,59
	109,2-109,3					9,55
S16 (2020)	109,3-109,4					8,56
	149,0-152,0	27,4		5	66,7	3,6
	149,0-152,0					12,1
	152,0-154,0					11,1
	152,0-154,0					8,3
	152,0-154,0					10,4
	152,0-154,0	27,37	35,7			
	152,0-154,0	27,64	95,6			
Nº Ensayos Total		6	4	4		4
Valor medio		27,37	55,6	-		9,2
Desviación típica		0,035	35,29	-		3,60
Coeficiente de variación		1,3%	63,5%	-		39,0%

Tabla 7.1.6.a.- Resultados de los ensayos de laboratorio en Limolitas.

El coeficiente de variación de la densidad es bajo, 1,3%; lo cual hace pensar que en este grupo solo hay litotipo.

Sin embargo; el coeficiente de variación de las compresiones simples es muy alto, 63,5%, lo cual supone una dispersión anómala de los resultados de estos ensayos.

En el caso de los ensayos brasileños el Coeficiente de Variación es bastante alto, 39,0%; pues está muy próximo al límite del 40% adoptado para ensayos mecánicos en laboratorio.

En la **Figura 7.1.6.b** se han representado en unos ejes σ_1 , σ_3 , los resultados de los ensayos mecánicos realizados y la correlación con la parábola de Hoek-Brown; una vez rechazados algunos valores extremos de los ensayos a compresión simple y brasileños.

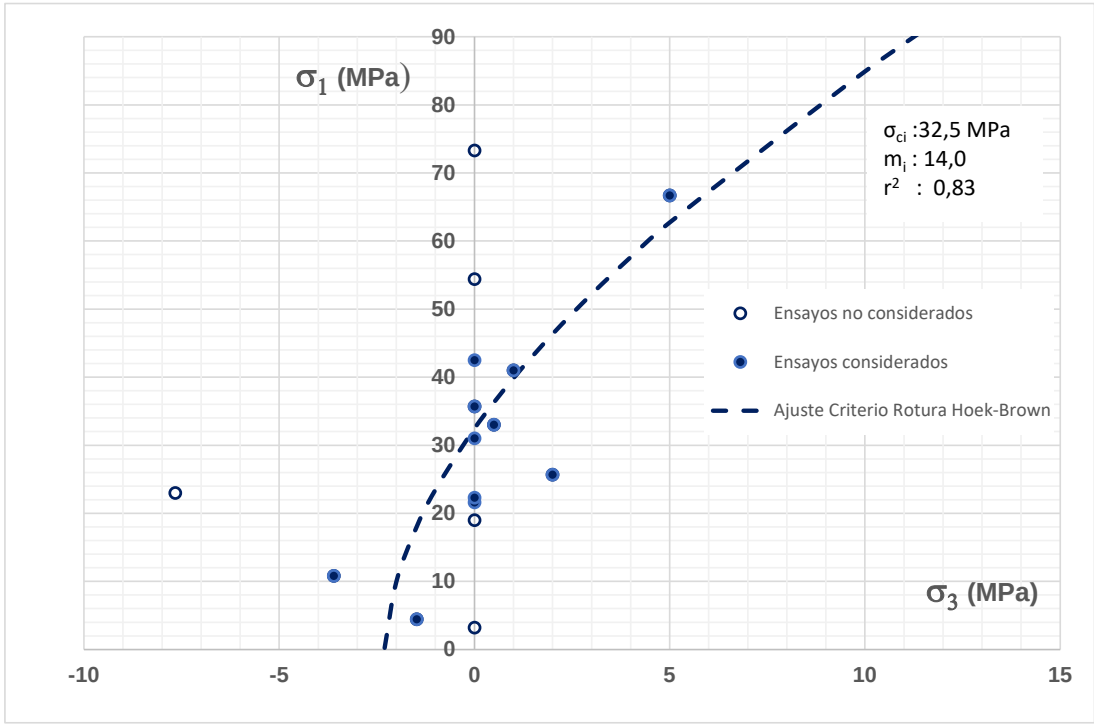


Figura 7.1.6.b.- Representación de los resultados de los ensayos mecánicos realizados en limolitas y ajuste de la parábola de Hoek-Brown.

La resistencia a compresión simple ajustada para las limolitas es de **32,5 MPa**, valor relativamente próximo a la media de los ensayos que es de 55,6 MPa.

En valor del parámetro **m_i ajustado para las limotitas es de 14,0.**

7.1.7. Argilitas brechoides (TBbr)

Los resultados de los ensayos mecánicos con muestras intactas de Argilitas se muestran en la **Tabla 7.1.7.a**. En este caso Geocontrol-Sertecna han realizado los tres tipos de ensayos mecánicos más frecuentes: compresión simple, compresión triaxial y brasileño; los ensayos realizados anteriormente eran claramente insuficientes.

Sondeo (Año de los ensayos)	Profundidad [m]	Densidad [kN/m³]	Resistencia a compresión (MPa)	Triaxial		Brasileño [MPa]
				σ_3 (MPa)	σ_1 (MPa)	
S-8 (2018)	27,25-27 ,55	25,0	0,297			
	43,3-43,7	23,6		1	5,9	
		23,8		2	7,3	
S-8 (2020)	60,5-60 ,9	23,0		3	15,7	
	1'0,25 -10,50	22,91		0,2	0,11	
	11,50 - 11,79					0,12
	11,50 - 11,80	23,14		0,5	0,68	0,11
	35,30 - 35,80 (1)	21,76				
S-18	35,30 - 35,80 (2)	21,59	15,71			
ST-3	13,8-14,4		0,25			
	88, 1-88,2		2,73			
	88,4-88 ,6		2,06			
Nº Ensayos Total		8	5	5		2
Valor medio		23,10	8,7	-		0,11
Desviación típica		0,11	6,33	-		-
Coeficiente de variación		4,8%	72,4%	-		-

Figura 7.1.7.a.- Resultados de los ensayos de laboratorio con Argilitas.

El Coeficiente de Variación de la densidad es muy alto, 4,8%; lo cual indica que en este grupo probablemente se han incluido resultados de otros litotipos y lo mismo indica el Coeficiente de Variación de la compresión simple que es del 72,4%.

En la **Figura 7.1.7.b** se han representado, en unos ejes σ_1 , σ_3 , los resultados de los ensayos mecánicos realizados y la correlación de la parábola de Hoek-Brown, tas haber rechazado varios valores anómalos.

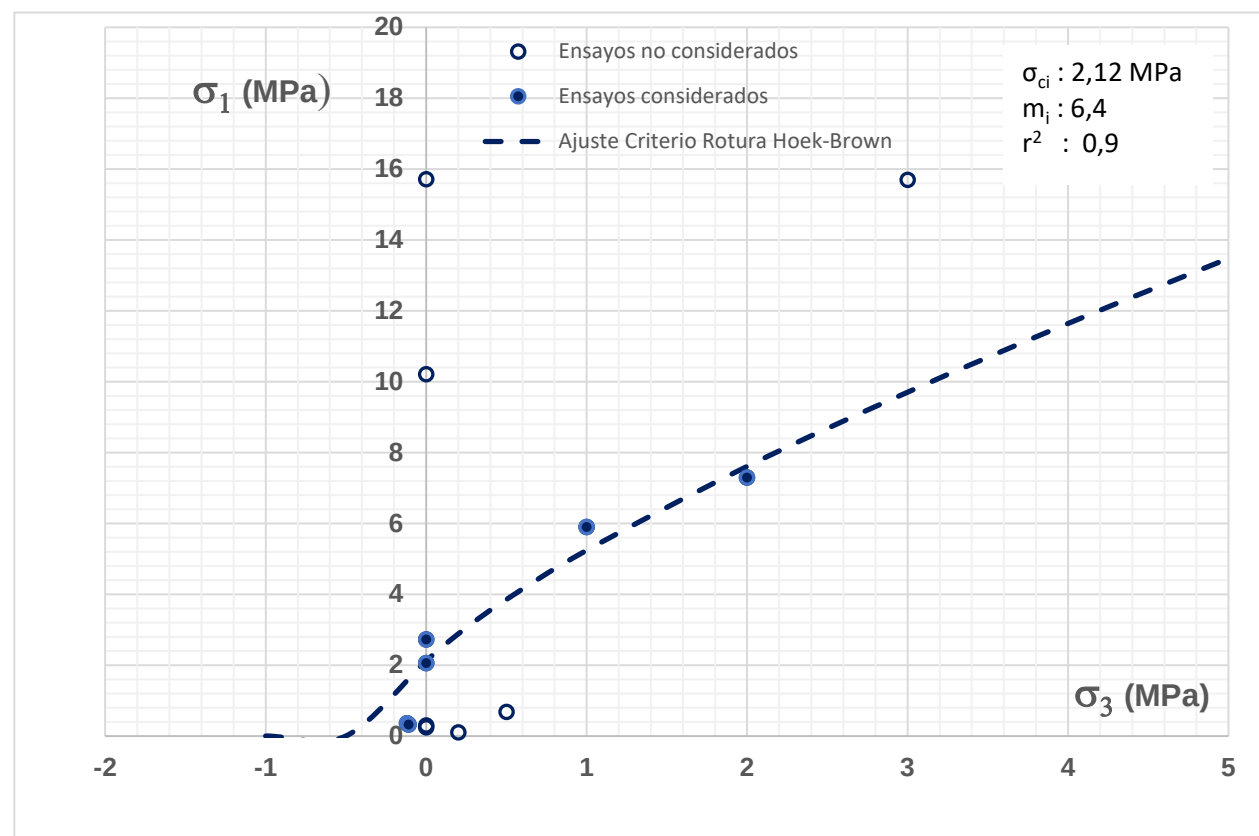


Figura 7.1.7.c.- Representación de los resultados de los ensayos mecánicos en Argilitas y ajuste de la parábola de Hoek Brown.

En este caso la resistencia a **compresión simple ajustada es de 2,1 MPa**, valor muy inferior a la media de los ensayos realizados que es de 8,7 MPa y el valor del parámetro **m_i es de 6,4**.

7.1.8. Calizas

En la **Tabla 7.1.8.a** se muestran los resultados de los ensayos de laboratorio realizados con calizas; que, en su mayoría, no han sido realizados por Geocontrol-Sertecna.

Sondeo	Prof. [m]	Densidad [kN/m³]	Resistencia a compresión [MPa]	Triaxial		Brasileño [MPa]
				σ ₃ [MPa]	σ ₁ [MPa]	
S-4	30,60-31,00		15,20*			2,84
	36,60-37,20	26,78		0,5	45	
		26,54		1	58,3	
		26,53		2	66,6	
	45, 15-45,6	27,28	37,3			
		27,16	33,6			
S-5	31,05-31,35	25,8	19,4			
	37,10-37,50	26,1	12,70*			
	61,95-62,30	27,17	24,2			3,08
S-31	17,00-17,30	24,3	5,30*			3,6
S-32	11,40-11,65	26,84	51,1			
S-37	64,25-64,60		12,60*			
	65,65-65,95		36,1			
S-39	129,30-129,90	28,0	8,40*			
	138,15-138,40	25,78	22,2			3,5
	168,45-168,90	24,25		2,5	23	
				4,5	45	
		26,67		6,5	52	
S-40	150,3-150,75	23,69	0,50*			6,73
	156,7-157,15	24,8		2	10,6	
		25,0		4	18,5	
		24,89		6	37,5	
	160,9-161,3	24,4	5,5			
ST-13	24,50-24,90		53,4			
	23,60-23,90		41,1			
ST-15	9,50-9,90		32,6			
ST-16	5,50-5,90		79,2*			
	24,50-24,70		31,8			
S39 (2020)	115,6-115,9	26,64		4	31,6	
	115,6-115,10	27,33		6	78,9	
	125,0-125,8	25,53		2	24	4,5
Nº Ensayos Total		22	12	12		3
Valor medio		25,98	32,4	-		4,0
Desviación típica (s)		0,121	19,15	-		1,43
Coeficiente de variación (C.V.)		4,7%	59,2%	-		35,5%

Tabla 7.1.8.a.- Resultados de los ensayos de laboratorio con calizas.

En la Tabla 7.1.8.a se aprecia que el Coeficiente de Variación de la densidad es muy elevado para este parámetro 4,7%; lo cual indica que en este grupo hay muestras de más de un litotipo.

Consecuentemente, el Coeficiente de Variación de la Compresión Simple es también muy elevado; pues alcanza el valor del 59,2%.

En la **Figura 7.1.8.b** se han representado, en unos ejes σ_1 , σ_3 , los resultados de los ensayos mecánicos realizados y la correlación de la parábola de Hoek-Brown.

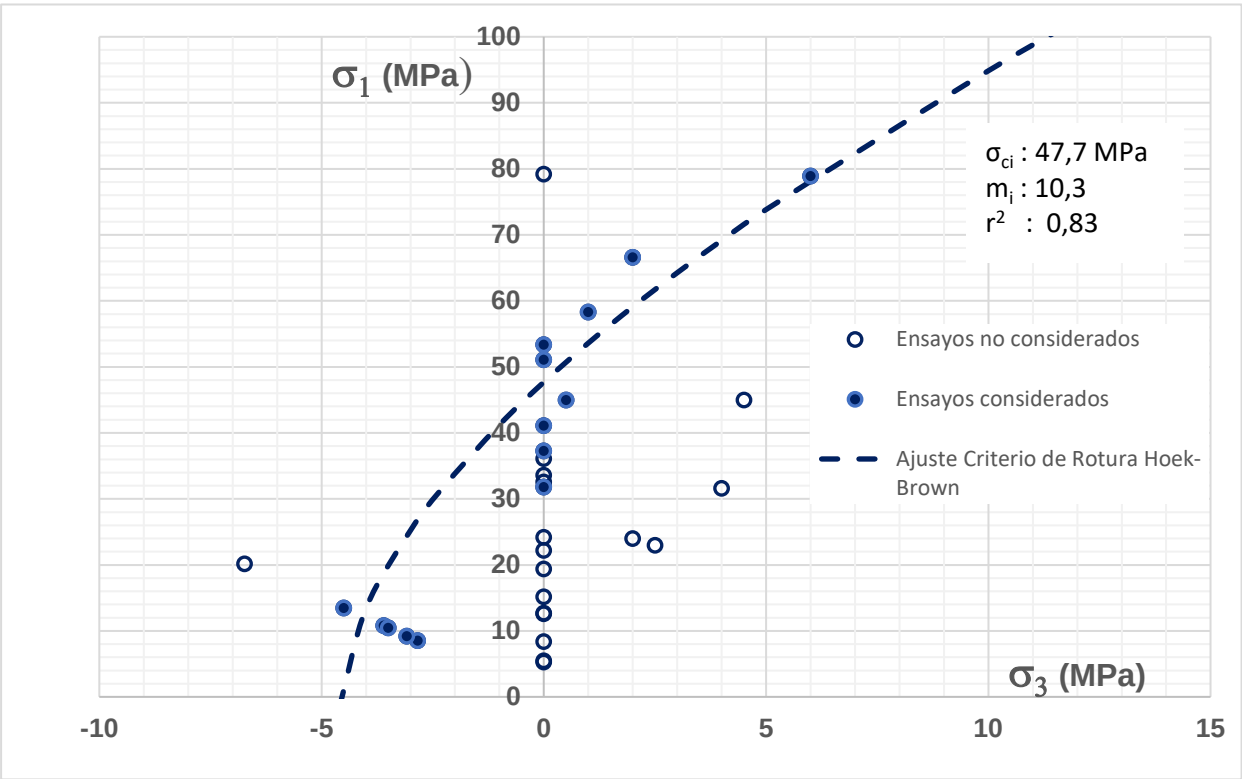


Figura 7.1.8.b.- Representación de los resultados de los ensayos mecánicos en Calizas y ajuste de la parábola de Hoek-Brown.

En la Figura 7.1.8.b se aprecia claramente que hay numerosos ensayos que dan unos valores de resistencia muy bajos; por lo que han sido rechazados para conseguir un coeficiente de correlación razonable.

Finalmente, el valor ajustado para la resistencia a **compresión simple es de 47,7 MPa**; que es algo bajo para las calizas.

El valor ajustado de **m_i es 10,3**.

7.1.9. Ofitas (Tof)

En la **Tabla 7.1.9.a** se presentan los resultados de los ensayos de laboratorio realizados con muestras de ofitas; de las cuales en el pasado solo se había hecho un ensayo a compresión simple, lo cual era claramente insuficiente.

Sondeo (Año de los ensayos)	Profundidad [m]	Densidad [kN/m³]	Resistencia a compresión (MPa)	Triaxial		Brasileño [MPa]
				σ_3 [MPa]	σ_1 [MPa]	
ST-8 (1991)	30,00-30,15		220			
S-37 (2020)	53,85-54,15	29,31	101			
	82,3-82,5	28,94	47,8			
	83,5-83,7					14
	83,5-83,7					16,3
	83,5-83,7			5	136,7	
	83,5-83,7			10	125,6	
Nº Ensayos Total		2	2	-		2
Nº Ensayos Considerados		2	3	-		2
Valor medio		29,13	122,9	-		15,2
Desviación típica		0,03	88,17	-		1,63
Coeficiente de variación		0,9%	71,7%	-		10,7%

Tabla 7.1.9.a.- Resultado de los ensayos de laboratorio con ofitas.

En la Tabla 7.1.9.a se aprecia que el Coeficiente de Variación de la densidad es muy bajo, lo cual confirma que en este grupo solo existe un litotipo.

Por el contrario, las compresiones realiza presentan un Coeficiente de Variación del 71,7%, que es extraordinariamente alto; pero esto es debido a que uno de los tres ensayos realizados da un resultado anormalmente bajo y tendrá que ser rechazado.

En la **Figura 7.1.9.b** se han representado, en unos ejes σ_1 , σ_3 , los resultados de todos los ensayos realizado con ofitas y la correlación de la parábola Hoek-Brown.

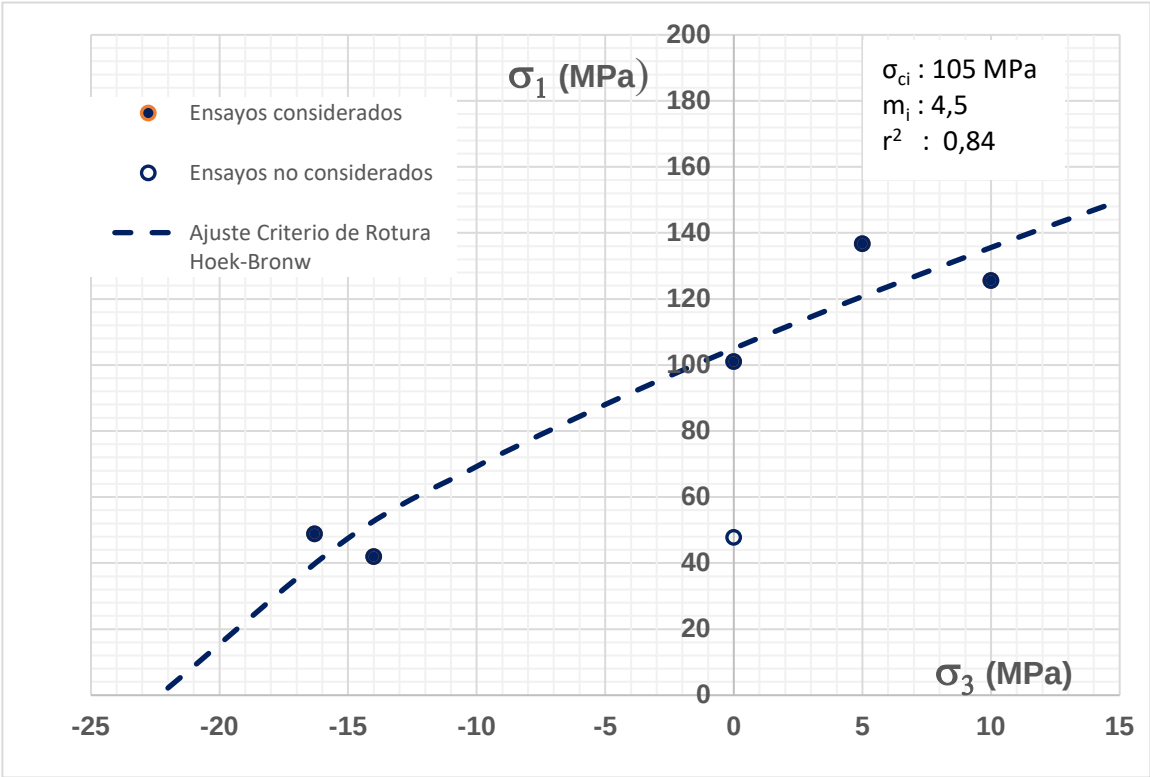


Figura 7.1.9.b.- Representación de los resultados de los ensayos mecánicos en Ofitas y ajuste e la parábola Hoek-Brown.

En esta figura se aprecia claramente que el único resultado anómalo es la compresión simple antes mencionada y tras eliminarla se ha ajustado una **compresión simple de 105 MPa**, que es valor razonable para las ofitas, mientras que el **m_i vale 4,5**.

7.1.10. Brechas poligénicas, (Tb)

Los resultados de los ensayos de laboratorio realizados con brechas se muestran en la **Tabla 7.1.10.a**. La totalidad de los ensayos realizados los han efectuado Geocontrol-Sertecna; pues con anterioridad no se había hecho ningún ensayo con este litotipo.

Sondeo	Prof. (m)	Densidad (kN/m3)	RCS (MPa)	Triaxial		Brasileño [MPa]	Deform. Ei [MPa]	Presiómetro Ep [MPa]
				σ_3 (MPa)	σ_1 (MPa)			
S40 (2020)	121,05-121,90	25	7,05					498
	121,05-121,90			0,5	13	0,93		
	121,05-121,90		10,61	1	15,7	0,56		
	122,5		23,24			0,25		
	152,0-152,6	23	3,9					
Nº Ensayos Total		2	4	-		3	0	2
Valor medio		24,00	11,20	-		0,58	-	525
Desviación típica		1,41	8,48	-		0,34	-	38,18
Coeficiente de variación		5,9%	75,7%	-		58,7%	-	7,27%

Tabla 7.1.10.a.- Resultado de los ensayos de laboratorio en brechas poligénicas.

En la Tabla 7.1.10.a el valor de la densidad es de 24 kN/m³ que es un valor elevado para este parámetro; lo cual indica que en este grupo puede haber más de un litotipo.

El Coeficiente de Variación de la compresión simple es de 75.7%, que es extraordinariamente alto y se explica por la gran dispersión de los resultados.

En la **Figura 7.1.10.b** se han representado, en los ejes σ_1 , σ_3 , los resultados de todos los ensayos realizados con brechas y la correlación de la parábola de Hoek-Brown.

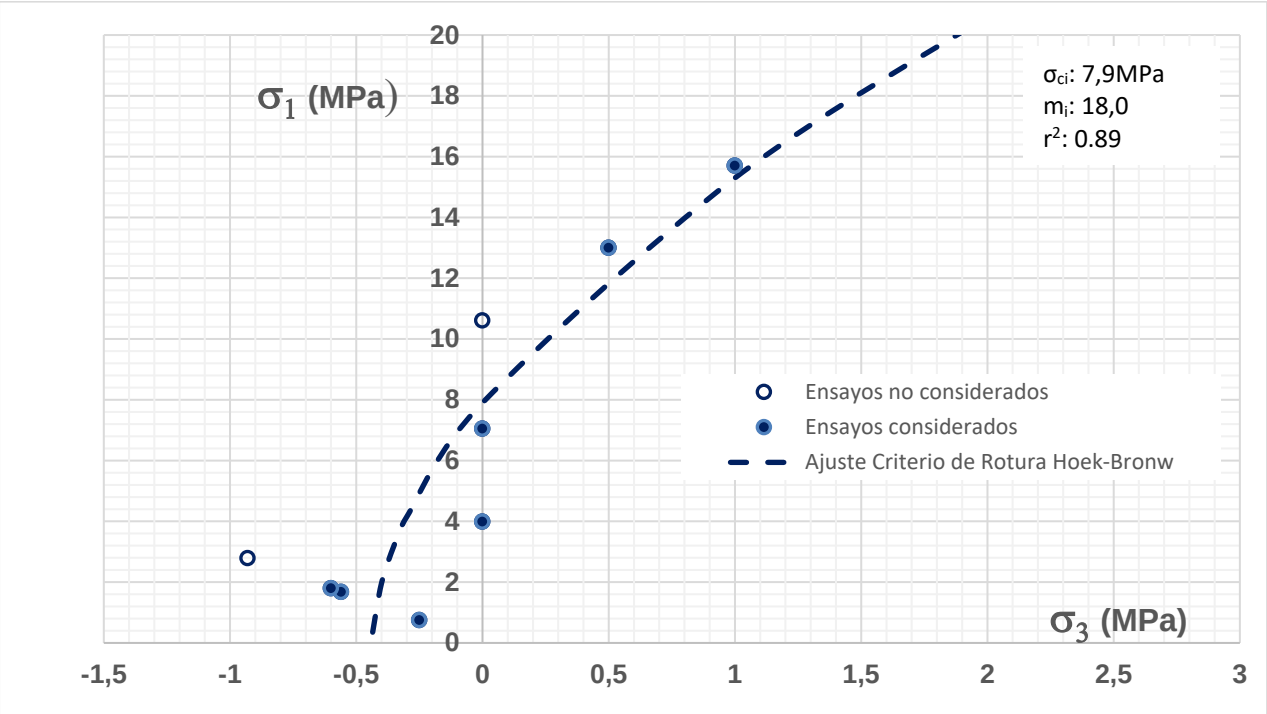


Figura 7.1.10.b.-Representación de los resultados de los ensayos mecánicos en brechas y ajuste de la parábola de Hoek-Brown.

El valor de la resistencia a compresión simple ajustado para las brechas es de **7,9 MPa**, que es inferior a los 11,20 MPa obtenidos como promedio en los ensayos de compresión simple.

El valor ajustado del parámetro **m_i** es de **18,0**.

7.1.11. Calizas jurásicas (Jc)

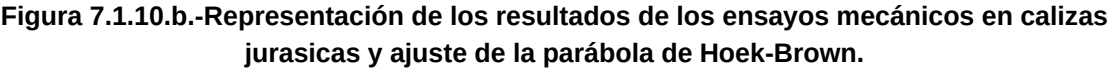
En la **Tabla 7.1.11.a** se presentan los resultados de los ensayos de laboratorio realizados con muestras de calizas jurásicas, que como se observa no se dispone de ensayos triaxiales.

Sondeo	Prof. (m)	Densidad (kN/m3)	RCS (MPa)	Triaxial		Brasileño [MPa]
				σ ₃ (MPa)	σ ₁ (MPa)	
S-44	35-05-35,4	24,04	18			
	43.95-44,35	24,62	20,8			1,01
		23,07	22			1,94
	52,25-52,75	24,62	19,01			0,97
		23,88	16,6			1,03
Nº Ensayos Total		5	5	-		4
Nº Ensayos Considerados		5	5	-		4
Valor medio		24,05	19,3	-		1,238
Desviación típica		0,640	2,157	-		0,469
Coeficiente de variación		2,66%	11,18%	-		37,90%

Tabla 7.1.11.a.- Resultado de los ensayos de laboratorio en calizas jurásicas.

En la **Tabla 7.1.11.a** el valor de la densidad es de 24,05 kN/m³ con un coeficiente de variación muy pequeño y de 19,3 para la resistencia a compresión, ambos valores con un coeficiente de variación muy pequeño.

En la **Figura 7.1.11.b** se han representado, en unos ejes σ₁, σ₃, los resultados de todos los ensayos realizado con calizas jurásicas y la correlación de la parábola Hoek-Brown.



El valor ajustado del parámetro m_i es de **18,5** que se considera un poco alto para las calizas

Para la zona de estudio las unidades litoestratigráficas consideradas como alteraciones residuales y materiales tipo suelos son los materiales anteriores, pero con un grado de alteración muy importante y los materiales cuaternarios; en concreto: Argilitas brechoides alteradas (TBbrs), Argilitas abigarradas alteradas (TMA), Arcillas del Keuper (Ty), Margas y coluvión (Qco)

Para realizar la caracterización de estos materiales se analizarán los ensayos realizados en muestras de alteración o suelos. En la Tabla 7.2.a se presentan los ensayos realizados en 2018, que por ahora son los únicos que se han realizado en estos terrenos.

	ENSAYOS DE IDENTIFICACIÓN Y ESTADO								PARÁMETROS DE RESISTENCIA INTRÍNSECA			
	HUMEDAD NATURAL (%)	DENSIDAD NATURAL (kN/m³)	GRANULOMETRÍA			LÍMITES DE ATTERBERG						
			GRAVAS (%)	ARENAS (%)	FINOS (%)	L.L	LP	I.P	TRIAxIAL		CORTE DIRECTO CD	
									Fricción (°)	Cohesión (kp/cm²)	Fricción (°)	Cohesión (kp/cm²)
Nº DE ENSAYOS REALIZADOS	38	13	38	38	38	27	27	27	4	3	11	11

Tabla 7.2.a.- Relación de ensayos realizados en terrenos blandos como zonas de alteración y suelos.

7.2.1. Metodología para la caracterización de suelos

En los materiales tipo suelo los parámetros resistentes se han obtenido a partir de los ensayos realizados utilizando el criterio lineal de Mohr-Coulomb.

7.2.2. Argilitas brechoides alteradas (TBbr)

En la **Tabla 7.2.2.a** se presentan los resultados de los ensayos realizados en el Estudio Geotécnico sobre muestras de **argilitas brechoides** alteradas procedentes de prospecciones realizadas en los tramos a cielo abierto.

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA		ENSAYOS DE IDENTIFICACIÓN Y ESTADO								INDICE LIQUIDEZ	PARÁMETROS DE RESISTENCIA INTRÍNSECA			
		HUMEDAD NATURAL (%)	DENSIDAD NATURAL (kN/m³)	GRANULOMETRÍA			LÍMITES DE ATTERBERG				TRIAXIAL	CORTE DIRECTO		
RECONOCIMIENTO	PROFUNDIDAD			GRAVAS (%)	ARENAS (%)	FINOS (%)	L.L	LP	I.P	IL		FRICCIÓN (°)	COHESIÓN (kp/cm²)	FRICCIÓN (°)
S-8	32,5-32,86	8, 1		33	20,7	46,1	22	18,6	3, 1	-3,39				
S-8	39,3-39,7	10,3		34,3	12,7	53,0	25,0	18,0	7,0	-1,100				
S-17	9,0-9,6	13,1	22,1	8,2	18,1	73,7	27	19,9	7,3	-0,930	30,42	0,42		
S-17	19,2-19,8	16,5		11,1	78,5	10,4	NP	NP	NP					
S-17	37,6-37,8	17,6	18,8	21,3	48,2	30,5	NP	NP	NP				23,8 (*)	0,04(*)
S-17	45,6-45,8	10,2		40, 1	43,4	16,5	22,5	18,5	4,0	-2,080			35,3	0,52
S-18	17,15-17,4	9,7		46,6	32,2	21,2	23	17,8	4,7	-1,720			38,4	0,45
S-19	19,4-19,55	7,1		23,3	47,7	29,0	15	12,7	2,5	-2,240				
S-20	3,0-3,6	18,6		61,9	11,8	26,3	36,5	27,4	9,1	-0,970				
S-20	12,0-12,6	8,7		36,6	49,2	14,2	NP	NP	NP					
S-21	1,5-2,1	21,7		29,7	12,7	57,6	34,8	23,5	11,3	-0,160				
S-21	5,4-6	4,7		31,3	21,9	46,8	28	18,4	9,5	-1,440	31,37	0,26		

(*) Ensayo no válido

VALOR MÁXIMO	21,70	22,10	61,9	78,5	73,7	36,5	27,4	11,3	-0,16	31,4	0,42	38,4	0,52
VALOR MÍNIMO	4,70	18,80	8,2	11,8	7,9	15,2	12,7	2,5	-3,39	30,4	0,26	23,8	0,45
MEDIA	12,70	20,45	29,8	36,2	33,3	25,9	19,4	6,9	-1,56	30,9	0,34	36,9	0,49
DESVIACIÓN	6,04	2,33	16,4	22,7	20,4	6,6	4,1	3,6	0,94	0,7	0,11	21,3	0,05
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	48%	11%	55%	63%	61%	26%	21%	53%	-60%	2%	33%	58%	10%

Tabla 7.2.2.a.- Resultados de los ensayos realizados sobre argilitas brechoides alteradas.

A la vista de los resultados de los ensayos, las argilitas brechoides alteradas tienen **29,8% de gravas, 36,2% de arenas y 33,3% de finos y una densidad de 20,65 kN/m³.**

Para definir la plasticidad se tiene un valor de **33,3 para el límite líquido**, de **25,9 para el límite plástico** y un **índice de plasticidad de 19,4 que lo define como CL.**

Para determinar las propiedades resistentes, en la **Figura 7.2.2.b** se muestra una representación gráfica de los valores de cohesión y fricción de los ensayos en **argilitas brechoides alteradas**, resaltando el valor considerado para el cálculo que para la **fricción es de 34°** y para la **cohesión de 41 kPa.**

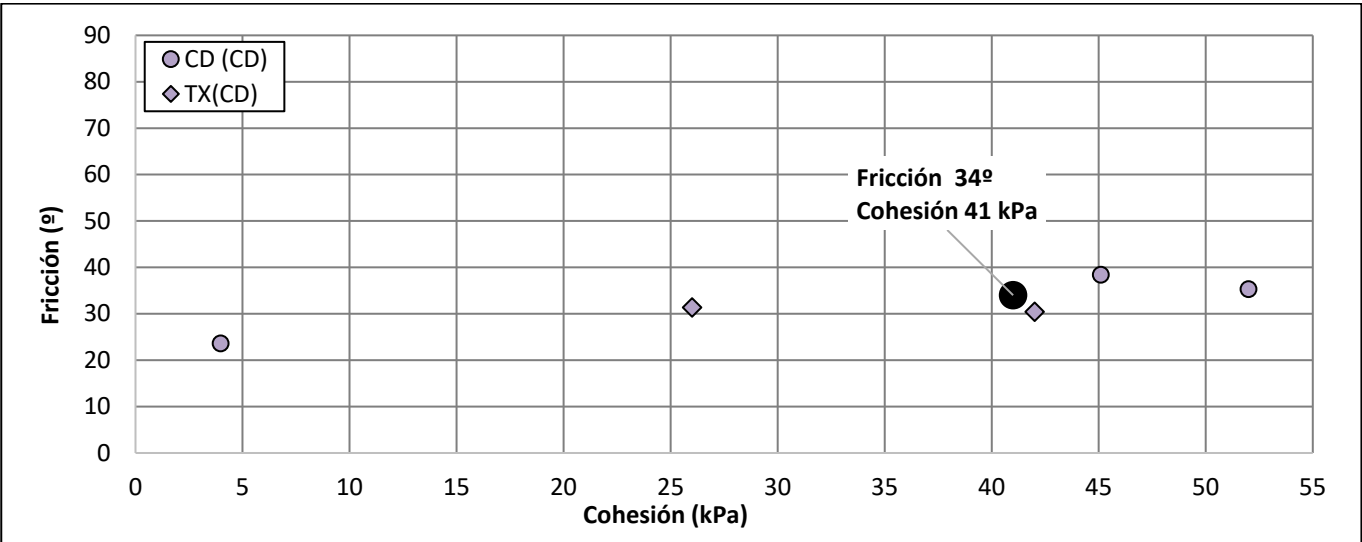


Figura 7.2.2.b.- Representación gráfica de los valores de cohesión y fricción para las argilitas brechoides alteradas y, resaltado, el valor considerado para el cálculo.

7.2.3. Argilitas abigarradas alteradas (TMa)

En la **Tabla 7.2.3.a** se presentan los resultados de los ensayos realizados en el Estudio Geotécnico sobre muestras de **argilitas abigarradas alteradas**, procedentes de prospecciones realizadas en los tramos a cielo abierto.

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA		ENSAYOS DE IDENTIFICACIÓN Y ESTADO								INDICE LIQUIDEZ	PARÁMETROS DE RESISTENCIA INTRÍNSECA				
		HUMEDAD NATURAL (%)	DENSIDAD NATURAL (kN/m³)	GRANULOMETRÍA			LÍMITES DE ATTERBERG				TRIAXIAL	CORTE DIRECTO CD		RESISTENCIA A COMPRESIÓN (kPa)	
RECONOCIMIENTO	PROFUNDIDAD			GRAVAS (%)	ARENAS (%)	FINOS (%)	L.L	LP	I.P	IL		FRICCIÓN (°)	COHESIÓN (kN/cm²)		FRICCIÓN (°)
S-2	11,4-12	9,6		7,80	33,40	58,80	25,50	17,90	7,60	-1,09					
S-3	12,0- 12,3	9,8		39,70	38,20	22,10	22 ,5	19,70	2,80	-3,54					
S-3	21,0-21,3														
S-3	23,0-23,3	9,5		43,00	35, 1	21,90	20,80	16,60	4,20	-1,69			48,4	0,17	
S-4	8,4-9,0	22,3	21,2	6,20	17,50	76,30	32,80	20,90	11,90	0,12			33,1	0,32	
S-6	8,4-9,0	15,9		24,20	27,00	48,80	22,00	17,40	4,60	-0,33			35,7	0,30	
S-6	21,0-21 ,6	12,8		36,60	28,40	35,00	22,50	17,70	4,80	-1,02	36 (*)	0,03			
S-6	39,6-40,2	25,3		O, 1	62,30	37,60	NP	NP	NP						
S-22	10,2-10,8	6,4		54,60	23,40	22,00									
S-22	25,2-25 ,8	10,0		47,00	30,50	22,50	17,30	14,50	2,80	-1,61					
S-23	6,0-6,6	4 ,8		83,60	9, 1	7,30									
S-23	9,0-9,6	5,5		68,50	16,40	15,10	19,50	15,80	3,70	-2,78					
S-24	3,0-3,6	6,4	24,0	46,40	30,60	23,00	17,20	12,00	5,20				42,3	0,15	
S-24	9,0-9, 18	15,9	23,7	41,40	19,90	38,70	14,50	12,50	2,00	1,70					
S-25	12,0-12,6	10,7	21,7	2,50	28,70	68,80	22,00	17,20	4,80	-1,35					192,00
S-31	3,0-3,6	23,4		41,40	21,00	37,60	27,50	22,20	5,30	0,23					
S-34	10,8-11,4	13,4		13,90	11,90	74,20	NP	NP	NP				27,6	0,47	
S-35	10,2-10,8	13,7		17,50	31,80	50,70	NP	NP	NP				19,6	0,72	

(*) Ensayo no válido

VALOR MÁXIMO	25,30	24,00	83,6	62,3	76,3	32,8	22,2	11,9	1,70			48,4	0,72	192
VALOR MÍNIMO	5,50	21,20	2,5	11,9	7,3	14,5	12,0	2,0	-3,54			19,6	0,15	192
MEDIA	13,16	22,65	35,9	28,1	38,8	22,0	17,0	5,0	-1,03			34,5	0,36	192
DESVIACIÓN	6,70	1,41	23,7	14,5	21,1	11,0	7,6	3,1	1,45			10,3	0,21	
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)	51%	6%	66%	52%	54%	50%	44%	62%	-141%			30%	60%	

Tabla 7.2.3.a.- Resultados de los ensayos realizados sobre argilitas abigarradas alteradas

A la vista de los resultados de los ensayos, las **argilitas abigarradas** tienen **35,9% de gravas, 28,1% de arenas y 38,8% de finos** y una densidad de **22,65 kN/m³**.

Para definir la plasticidad se tiene un valor de **38,8 para el límite líquido**, de **22,0 para el límite plástico** y un **índice de plasticidad de 17,0** que lo define como **CL**.

Para determinar las propiedades resistentes, en la **Figura 7.2.3.b** se representan los valores de cohesión y fricción obtenidos de los ensayos en **argilitas abigarradas alteradas**, resaltando el valor considerado para el cálculo que para la **fricción es de 38º** y para la **cohesión de 28 kPa**.

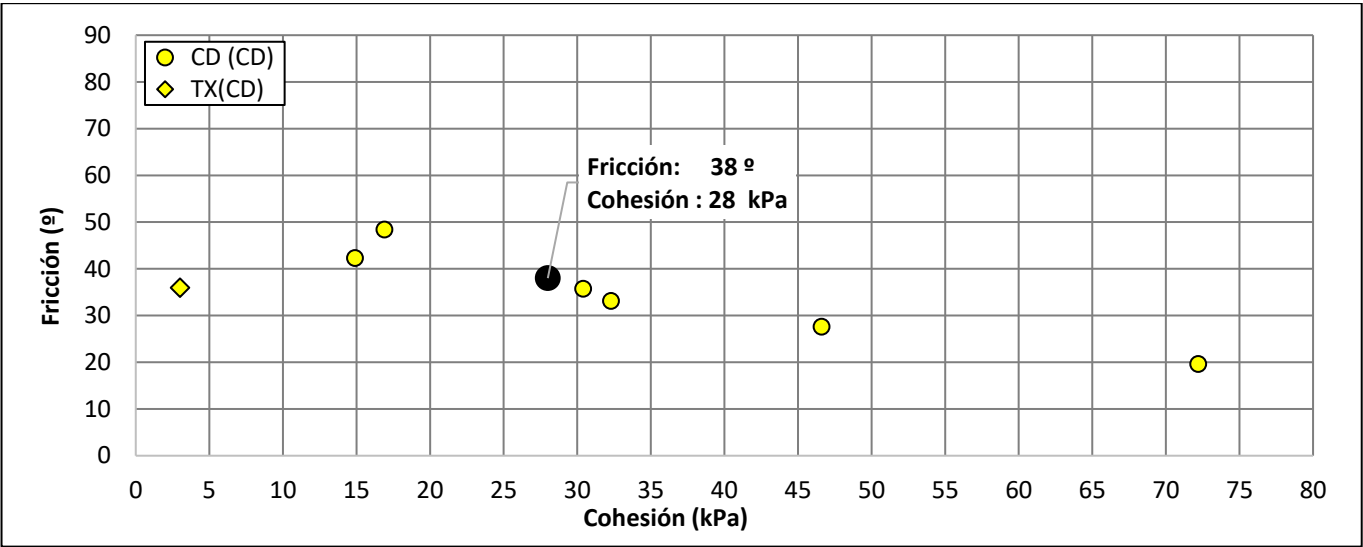


Figura 7.2.3.b.- Representación gráfica de los valores de cohesión y fricción para las argilitas abigarradas del Muschelkalk alteradas y el valor considerado para el cálculo.

7.2.4. Brechas poligénicas alteradas

En la **Tabla 7.2.4.a** se presentan los resultados de los ensayos realizados en el Estudio Geotécnico sobre muestras de **Brechas poligénicas** alteradas, procedentes de prospecciones realizadas en los tramos a cielo abierto.

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA		ENSAYOS DE IDENTIFICACIÓN Y ESTADO								INDICE LIQUIDEZ	PARÁMETROS DE RESISTENCIA INTRÍNSECA			
RECONOCIMIENTO	PROFUNDIDAD	HUMEDAD NATURAL (%)	DENSIDAD NATURAL (kN/m ³)	GRANULOMETRÍA			LÍMITES DE ATTERBERG				IL	TRIAXIAL		CORTE DIRECTO
				GRAVAS (%)	ARENAS (%)	FINOS (%)	L.L	LP	I.P	FRICCIÓN (°)		COHESIÓN (kp/cm ²)	FRICCIÓN (°)	COHESIÓN (kp/cm ²)
S-43	3,0-3,6	16,80	21,30	15,00	24,20	60,80	30,00	23,10	6,90	-0,91			16,7(**)	1,06(**)
S-43	9,0-9,6	18,70	21,10	0,30	34,40	65,30	26,60	20,30	6,30	-0,25	33,5 (*)	0,14(*)		
S-45	13-13,4	16,40	21,70	1,40	38,10	60,50	24,60		5,70				30,4	0,38
S-46	21,0-21,6	16,40	22,00	8,40	24,30	67,70	23,00	17,60	5,40	-0,22			19,0	0,17
S-47	2,4-3,0	11,50	21,34	27,50	42,10	30,40	NP	NP	NP	-			29,5	0,68
(*) Ensayo no válido		(**) Ensayo no considerado												
VALOR MÁXIMO		18,70	22,00	27,50	42,10	67,70	30,00	23,10	6,90	-0,22			30,40	0,68
VALOR MÍNIMO		11,50	21,10	0,30	24,20	30,40	23,00	17,60	5,40	-0,91			19,00	0,17
MEDIA		15,96	21,49	10,52	32,62	56,94	26,05	20,33	6,08	-0,46			25,30	0,41
DESVIACIÓN		2,67	0,36	11,19	8,11	15,15	11,94	10,41	2,78	0,39			15,09	0,26
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)		17%	2%	106%	25%	27%	46%	51%	46%				57%	63%

Tabla 7.2.4.a.- Resultados de los ensayos realizados sobre brechas poligénicas alteradas.

A la vista de los resultados de los ensayos, las **brechas poligénicas** tienen **10,5% de gravas, 32,6% de arenas y 56,9% de finos** y una densidad de **21,49 kN/m³**.

Para definir la plasticidad se tiene un valor de **26,1 para el límite líquido**, de **20,3 para el límite plástico** y un **índice de plasticidad de 6,1**, que lo define en el límite **CL - ML**.

Para determinar las propiedades resistentes, en la **Figura 7.2.4.b** se representan los valores de cohesión y fricción obtenidos de los ensayos en **brechas poligénicas alteradas**, resaltando el valor considerado para el cálculo que para la **fricción es de 25º** y para la **cohesión de 41 kPa**.

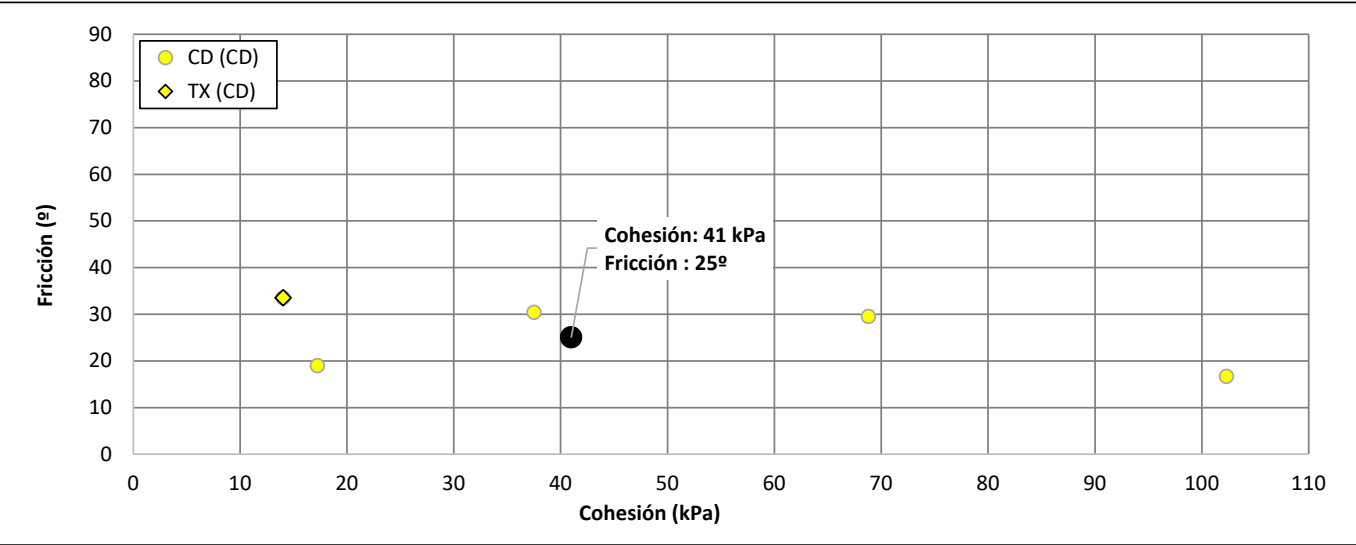


Figura 7.2.4.b Representación gráfica de los valores de cohesión y fricción para las brechas poligénicas alteradas y el valor considerado para el cálculo.

7.2.5. Arcillas del Keuper (Ty)

En la **Tabla 7.2.5.a** se presentan los resultados de los ensayos realizados en el Estudio Geotécnico sobre muestras de **arcillas del Keuper** alteradas, procedentes de prospecciones realizadas en los tramos a cielo abierto.

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA		HUMEDAD NATURAL (%) DENSIDAD (kN/m³)		ENSAYOS DE IDENTIFICACIÓN Y ESTADO						INDICE LIQUEDEZ	PARÁMETROS DE RESISTENCIA INTRÍNSECA	
				GRANULOMETRÍA			LÍMITES DE ATTERBERG				CORTE DIRECTO	
RECONOCIMIENTO	PROFUNDIDAD			GRAVAS (%)	ARENAS (%)	FINOS (%)	L.L	LP	I.P	IL		
		S-36	24,8 - 25,2	12,20	18,9	5,60	15,50	78,90	26,20	19,60	6,60	-1,12

Figura 7.2.5.a. Representación gráfica de los valores de cohesión y fricción para las arcillas del Keuper y el valor considerado para el cálculo.

A la vista de los resultados de los ensayos, las **arcillas del Keuper** tiene **5,50% de gravas, 15,5% de arenas y 48,9% de finos** y una densidad de **18,9 kN/m³**.

Para definir la plasticidad se tiene un valor de **26,2 para el límite líquido**, de **19,6 para el límite plástico** y un **índice de plasticidad de 6,6**, que lo define en el límite **CL - ML**.

Para definir las propiedades de resistencia de las **arcillas versicolores del Keuper** solo se dispone de los resultados de un ensayo, cuyos valores de **fricción y cohesión son 17,70º y 17 kPa**, que se consideran válidos para estos terrenos.

7.2.6. Coluvión (Qco)

En la **Tabla 7.2.6.a** se presentan los resultados de los ensayos realizados en el Estudio Geotécnico sobre muestras de **coluvión**, procedentes de prospecciones realizadas en los tramos a cielo abierto.

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA			ENSAYOS DE IDENTIFICACIÓN Y ESTADO								INDICE LIQUIDEZ	PARÁMETROS DE RESISTENCIA INTRÍNSECA	
			HUMEDAD NATURAL (%)	DENSIDAD NATURAL (kN/m³)	GRANULOMETRÍA			LÍMITES DE ATTERBERG					
RECONOCIMIENTO	PROFUNDIDAD	TIPO DE MUESTRA			GRAVAS (%)	ARENAS (%)	FINOS (%)	L.L	LP	I.P	IL	CORTE DIRECTO	
												FRICCIÓN (°)	COHESIÓN (kp/cm²)
S-2	2,4-3,0	MI	14,8	16,8	60,3	26,4	13,3	NP	NP	NP		47,2	0,59
S-3	3,0-3,6	MI	9,5	19,9	59,2	30,7	10,1	NP	NP	NP			
S-34	3,0-3,6	MI	20,4		31,2	21,6	47,2	27,5	18,5	9	0,21		
S-36	3,0-3,6	MI	11,7		59	18,9	22,1	29	23,2	5,8	-1,98		
VALOR MÁXIMO			20,40	19,9	60,30	30,70	47,20	29,00	23,20	9,00	0,21	47,20	0,59
VALOR MÍNIMO			9,50	16,8	31,20	18,90	13,30	27,50	18,50	5,80	-1,98	47,20	0,59
MEDIA			14,10	18,35	52,43	24,40	30,25	28,25	20,85	7,40	-0,89	47,20	0,59
DESVIACIÓN			5,45	2,19	14,16	5,22	22,28	16,32	12,19	4,47	1,55		
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)			39%	12%	27%	21%	74%	58%	58%	60%	-175%		

Tabla 10.3.a.- Resultados de los ensayos realizados sobre coluvión alteradas

A la vista de los resultados de los ensayos, **el coluvión tiene 52,4% de gravas, 24,4% de arenas y 30,25% de finos y una densidad de 18,35 kN/m³.**

Para definir la plasticidad indicar que se tiene un valor de **28,3 para el límite líquido, de 20,9 para el límite plástico y un índice de plasticidad de 7,4, que lo define como CL.**

Para definir los parámetros de resistencia se dispone de un solo ensayo y sus resultados de fricción 47,2° y cohesión de 0,59 kp/cm², se consideran muy altos; se utilizará una **cohesión de 20 kPa y 33° de fricción.**

8. GEOTECNIA DE TÚNELES

En este apartado se determinan las propiedades tensodeformacionales del macizo rocoso por el que discurren los Túneles de Belate II y Almandoz II y se realiza una estimación en función del Índice de Comportamiento Elástico (ICE) de la dificultad constructiva de cada uno de ellos.

8.1. DETERMINACIÓN DE LOS CRITERIOS DE ROTURA DE LOS MACIZOS ROCOSOS

En los apartados anteriores se han determinado los parámetros de rotura para siete de los ocho litotipos, que se excavaron al construir los nuevos Túneles de Belate y Almandoz, que utilizan los resultados de ensayos de laboratorio realizados con muestras intactas, que no tienen en cuenta las discontinuidades existentes en los macizos rocosos.

El efecto de las discontinuidades, no incluidas en la roca intacta, se traduce en que la resistencia real del macizo rocoso es inferior a la ajustada para la roca intacta.

Esta disminución de resistencia se tiene en cuenta minorando los parámetros m y s del criterio Hoek-Brown mediante las expresiones de Priest-Brown (1983) siguientes:

$$m = m_i \cdot e^{\frac{RMR-100}{28}}$$

$$S = S_i \cdot e^{\frac{RMR-100}{9}}$$

Donde RMR es el Rock Mass Rating, establecido por Bieniawski.

En la **Figura 8.1.a** se ilustra gráficamente la diferencia entre los criterios de rotura de la roca intacta y el macizo rocoso.

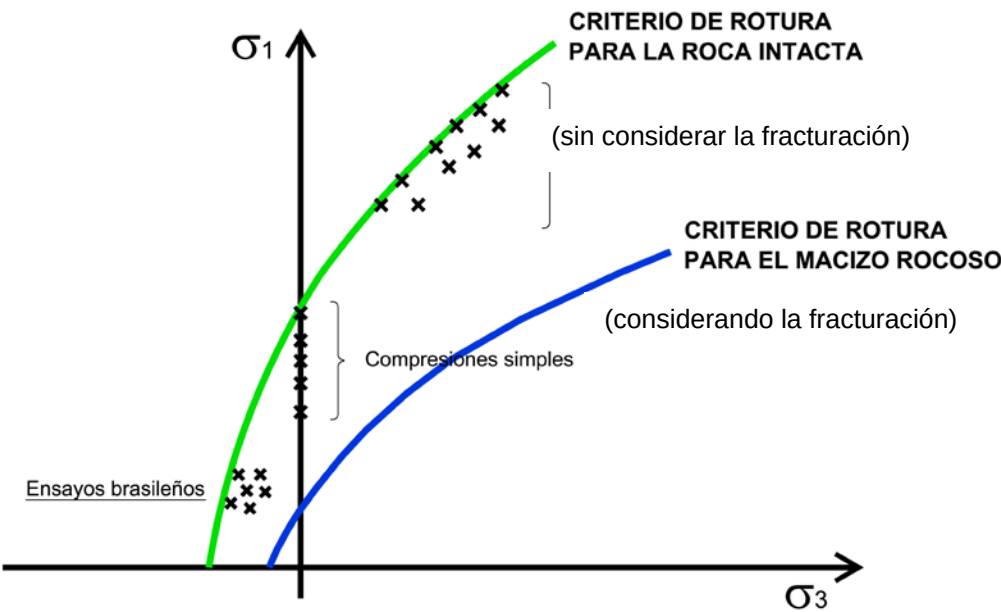


Figura 8.1.a.- Criterios de rotura para la Roca Intacta y el Macizo Rocos.

8.1.1. Determinación del RMR

El RMR se determina evaluando los cuatro parámetros siguientes:

- Resistencia a compresión simple de la roca intacta.
- Número de juntas por metro en el macizo rocoso.
- Estado de las diaclasas.
- Efecto del agua.

Para la valoración de estos parámetros se utilizan los criterios contenidos en la **Tabla 8.1.1.a**, que también incluye la corrección del RMR en función de la orientación del eje del túnel, respecto al buzamiento de los estratos del macizo rocoso.

PARÁMETROS DE CALIFICACIÓN

RMR (1)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE DE LA ROCA INTACTA								
VALOR (MPa)	>240	240 - 175	175 - 125	125 - 100	100 - 75	75 - 50	50 - 30	30 - 10	< 10
VALORACIÓN	15	14	12	10	8	6	4	2	1

RMR (2+3)	ROD Y ESPACIADO ENTRE DISCONTINUIDADES																			
JUNTAS POR m	0	0,5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
VALORACIÓN	40	37	34	31	29	28	27	26	25	23	22	22	21	20	19	18	17	16	16	15
JUNTAS POR m	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
VALORACIÓN	15	14	14	12	12	11	11	10	10	10	9	9	9	8	8	8	8	8	7	7
JUNTAS POR m	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50								
VALORACIÓN	7	7	7	7	5	5	5	4	4	4	4	3								

RMR(4)	CONDICIONES DE LAS DISCONTINUIDADES				
CONTINUIDAD	< 1 m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m
	6	4	2	1	0
APERTURA	0	<0,1 mm	0,1-1 mm	1-5 mm	>5 mm
	6	5	4	1	0
RUGOSIDAD	Muy rugosa	Rugosa	Liger. rugosa	Lisa	Espejo falla
	6	5	3	1	0
RELLENO	Ninguno	Relleno duro		Relleno blando	
		apertura < 5 mm	apertura > 5 mm	apertura < 5 mm	apertura > 5 mm
	6	4	2	2	0
GRADO DE METEORIZACIÓN	No afectado	Ligero	Moderado	Alto	Descompuesto
	6	5	3	1	0

Tabla 8.1.1.a.- Parámetros de calificación para la determinación del RMR de Bieniawski (1 de 2).

RMR (5)	CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS				
ESTADO	Seco	Lig. Húmedo	Húmedo	Goteando	Flujo
FLUJO (l/minm)	0	< 1	1 - 2,5	2,5 - 12,5	> 12,5
RATIO (u/σ1)	0	< 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,5	> 0,5
VALORACIÓN	15	10	7	4	0

II.- CORRECCIÓN SEGÚN LA ORIENTACIÓN DE LA OBRA / DISCONTINUIDAD

DIRECCIÓN PERPENDICULAR AL EJE DEL TÚNEL				DIRECCIÓN PARALELA AL EJE DEL TÚNEL		Buzamiento 0°-20° cualquier dirección
Excavación hacia buzamiento	Excavación contra buzamiento			Buzam. 45-90	Buzam. 20-45	
Buzam. 45-90	Buzam. 20-45	Buzam. 45-90	Buzam. 20-45	Buzam. 45-90	Buzam. 20-45	
Muy favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy desfavorable	Media	Media
0	-2	-5	-10	-12	-5	-5

Tabla 8.1.1.a.- Parámetros de calificación para la determinación del RMR de Bieniawski (2 de 2).

El valor de RMR varía entre 0 y 100; en función de este valor, los macizos rocosos se pueden clasificar en las cinco categorías indicadas en la **Tabla 8.1.1.b**.

RMR	81-100	61-80	41-60	21-40	<20
CLASE	I	II	III	IV	V
CLASIFICACIÓN DEL TERRENO	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala

Tabla 8.1.1.b.- Calidad del macizo rocoso en función del valor RMR.

La determinación del RMR de los litotipos a excavar en los Túneles de Belate II y Almandoz II fue realizada por dos geólogos de a partir de los testigos almacenados en la nave del Polígono Arazuri-Orcogen, en el mes de diciembre de 2020.

En la **Tabla 8.1.1.b** se presentan la calificación de los parámetros del RMR realizada por Geocontrol para el valor medio y la estimación del rango de variación en función de la presencia de agua, grado de fracturación y del estado de las diaclasas.

Litología	RMR Rango (valor medio)	RCS	nºJuntas/m	Cont	Apert	Rug	Rel	Alt	Agua	RMR _b	Correcc. Orient.
Pizarras negras	24 -33 (29)	2	6	2	2	2	3	2	15	34	-5
Conglomerados	60 - 70 (65)	4	29	2	5	5	5	5	15	70	-5
Areniscas	56 - 65 (60)	7	24	2	4	4	4	5	15	65	-5
Limolitas	40 - 45(43)	3	15	2	4	2	4	3	15	48	-5
Argilitas	30 -38 (34)	1	15	2	2	2	0	2	15	39	-5
Calizas	60 - 68 (64)	3	29	2	4	5	5	5	15	68	-5
Ofitas	46 - 60 (51)	11	15	4	3	4	2	2	15	56	-5
Brechas	27- 35 (32)	1	10	4	3	2	1	1	15	37	-5

Tabla 8.1.1.b.- Calificación de los parámetros del RMR para las litologías de los túneles.

8.1.2. Determinación de los parámetros de Hoek-Brown del macizo rocoso

Aplicando a las expresiones Priest-Brown, presentadas en el apartado 8.1 y los valores del RMR para cada litotipo, se han obtenido los valores de los parámetros m_m y S_m para cada macizo rocoso que se muestran en la **Tabla 8.1.2.a.**

Nº	Litotipo	PARÁMETROS ROCA INTECTA		RMR		PARÁMETROS DEL MACIZO ROCOSO	
		σ_{ci} (MPa)	m_i	Rango	Valor de Cálculo	mm	S_m
1	Pizarras negras	No se pueden tener muestras intactas representativas					
2	Conglomerados	45,3	12,2	60 - 70	65	3,495	0,02046808
3	Areniscas	105,8	10,7	56 - 65	60	2,564	0,01174363
4	Limolitas	32,5	14,0	40 - 45	43	1,828	0,0017761
5	Argilitas brechoides	2,1	6,4	30 - 38	34	0,606	0,00065339
6	Calizas	47,7	10,3	60 - 68	64	2,847	0,01831564
7	Ofitas	105,0	4,5	46 - 60	51	0,782	0,00432024
8	Brechas Poligénicas	7,9	18,0	28 - 35	32	1,587	0,0005232

Tabla 8.1.2.a.- Parámetros de Hoek-Brown para los macizos rocosos a excavar en la construcción de los Túneles de Belate II y Almandoz II.

No se han calculado los parámetros del criterio Hoek-Brown para las Pizarras negras, pues tal como se indicado en el apartado 7.1. los ensayos realizados se considera que no representan bien el comportamiento de las Pizarras negras predominantemente grafitosas. La caracterización de este litotipo se intentará de nuevo con ensayos presiométricos en sondeos que se perforarán en la fase del Proyecto de Construcción.

El resto de los litotipos que deberán excavar al construir los Túneles de Belate II y Almandoz II se consideran suficientemente caracterizados para afrontar con éxito los trabajos de diseño a desarrollar.

8.2. EVALUACIÓN DE LA DIFICULTAD CONSTRUCTIVA DE LOS TÚNELES DE BELATE II Y ALMANDOZ II

Uno de los parámetros que condicionan más la elección del método constructivo de un túnel es el grado de plastificación del terreno en el frente, pues cuando éste es bajo la excavación puede hacerse a Sección Completa y el sostenimiento a colocar puede ser ligero.

A medida que la plastificación se intensifica la excavación a sección completa debe sustituirse por las dos fases clásicas: Avance y Destroza y si el proceso de plastificación se hace más intenso hay que recurrir a métodos de división de la excavación de la sección dividiéndola horizontalmente.

Para evaluar el grado de plastificación del frente de un túnel Geocontrol, en colaboración con el Profesor Bieniawski, desarrolló el Índice de Comportamiento Elástico (ICE); que está definido por las siguientes ecuaciones:

$$\text{para } K_0 \leq 1 \quad ICE = \frac{3704 \cdot \sigma_{ci} \cdot e^{\frac{RMR-100}{24}}}{(3 - K_0) \cdot H} \cdot F$$

$$\text{para } K_0 \geq 1 \quad ICE = \frac{3704 \cdot \sigma_{ci} \cdot e^{\frac{RMR-100}{24}}}{(3K_0 - 1) \cdot H} \cdot F$$

Donde:

- K_0 = Coeficiente de reparto de tensiones naturales.
- σ_{ci} = Resistencia a compresión simple de la roca intacta (MPa).
- RMR_c = Rock Mass Rating corregido por la orientación de las discontinuidades.
- H = Profundidad a que está situado el túnel (m).
- F = Factor de forma, que toma los siguientes valores:

- Túneles circulares de 6 m de diámetro: $F = 1,3$
- Túneles circulares de 10 m de diámetro: $F = 1,0$
- Túneles convencionales de 14 m de diámetro: $F = 0,75$
- Cavernas de 25 m de ancho y 60 m de altura: $F = 0,55$

El ICE ha sido estudiado para que el valor 100 corresponda al límite elasto-plástico de una excavación.

No obstante, dado que en este índice se engloban parámetros que se suelen conocer con cierta incertidumbre, se considera que una excavación tendrá un comportamiento que estará en el límite entre elasticidad y plasticidad si su ICE está dentro del intervalo 70-130.

Una vez conocido el valor del ICE para un tramo dado de un túnel se pueden estimar su dificultad constructiva y las posibles inestabilidades que podrían producir durante la construcción aplicando los criterios contenidos en la **Tabla 8.2.a.**

ICE	Comportamiento Tenso-deformacional	Dificultad constructiva	Presencia de inestabilidades
>130	Totalmente elástico	Muy baja	No
70-130	En el límite elasto-plástico	Baja	Desprendimientos puntuales y pequeños
40-69	Plastificación moderada	Media	Desprendimientos pequeños
15-39	Plastificación intensa	Alta	Desprendimientos moderados
<15	Plastificación muy intensa	Muy alta	Riesgo de hundimiento del frente

Tabla 8.2.a.- Evaluación de la dificultad constructiva de un tramo de un túnel mediante el ICE.

Mediante el ICE además de definirse el comportamiento tenso-deformacional se puede obtener una estimación, de forma empírica, el método constructivo a utilizar y las Secciones Tipo de sostenimiento a aplicar en los túneles utilizando la **Tabla 8.2.b**

De los datos tabla hay que destacar por encima de ICE de 70 puntos la excavación se puede realizar sección completa y no es necesaria la contrabóveda, por el contrario por debajo de este valor se recomienda realizar la excavación en dos fases, Avance y Destroza, y se estima necesaria la ejecución de una contrabóveda que será tanto más robusta a medida que disminuya el ICE.

Para estimar la dificultad constructiva de los nuevos túneles se ha partido de los perfiles geotécnicos de los nuevos túneles, que se han establecido tras revisar la cartografía de superficie y los testigos de los sondeos realizados en el Estudio Geotécnico y en el Estudio de Alternativas; también se ha utilizado la abundante información obtenida en las obras de reparación que se hicieron en el Túnel de Belate desde su inauguración.

En los apartados siguientes se presenta la estimación de la dificultad constructiva de los Túneles de Belate II y Almandoz II.

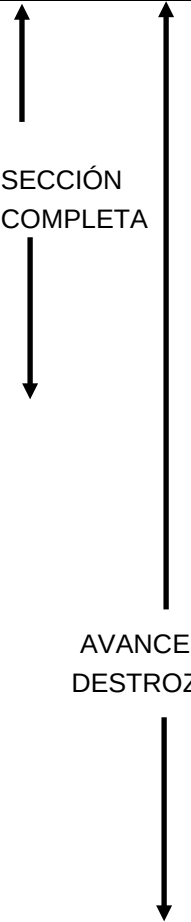
ICE	Comportamiento de la excavación	Posible mecanismo de la inestabilidad	Excavación de la Sección	Sostenimiento orientativo	Elementos especiales de sostenimiento	Pase de Avance	Convergencia medible en obra	Tipo de revestimiento
> 130	Totalmente elástico	Caída gravitacional de bloques de roca. En estados tensionales muy asimétricos y con grandes recubrimientos, posibles estallidos de roca.		Bulones $\left\{ \begin{array}{l} E_T = 2 \text{ m} \\ E_L = 2,5 \text{ m} \end{array} \right.$ L=4,5 m Hormigón proyectado: 5 cm	NO	EN FUNCIÓN DEL RME	Inapreciable	Bóveda y paramentos de hormigón. Solera en terreno natural.
70-130	En el límite elasto-plástico	Caída gravitacional de bloques de roca		Bulones $\left\{ \begin{array}{l} E_T = 2 \text{ m} \\ E_L = 2 \text{ m} \end{array} \right.$ L=4,5 m Hormigón proyectado: 10 cm	NO		Milimétrica	Bóveda, paramentos y solera plana de hormigón.
40-69	Plastificación moderada	Colapsos puntuales de pocos m ³		Bulones $\left\{ \begin{array}{l} E_T = 1,5 \text{ m} \\ E_L = 1,5 \text{ m} \end{array} \right.$ L=4,5 m Hormigón proyectado: 15 cm	NO	EN FUNCIÓN DEL RMR	Centimétrica	Bóveda y paramentos de hormigón. Contrabóveda de hormigón con flecha 0,1 x Anchura de excavación.
15-39	Plastificación intensa	Colapsos puntuales de algunas decenas de m ³ . Hincamiento del sostenimiento colocado en el Avance		Cerchas TH-29 a 1 m 20 cm HP Hormigón proyectado: 25 cm	Patatas de elefante para apoyar las cerchas del Avance			Bóveda y paramentos de hormigón. Contrabóveda de hormigón con flecha del 0,2 x Anchura de excavación.
<15	Plastificación muy intensa	Hincamiento del sostenimiento colocado en el Avance. Inestabilidad del frente		Cerchas HEB-180 a 1 m Hormigón proyectado: ≥ 30 cm	Patas de elefante. Paraguas pesado. Bulonaje del frente Micropilotes de recalce		Decimétrica	Revestimiento casi circular de hormigón, armado en la contrabóveda.

Tabla 8.2.b.- Excavación y Secciones Tipo de sostenimiento en función del ICE.

8.2.1. Dificultad constructiva del Túnel de Belate II

En la **Tabla 8.2.1.a** se presenta una tramificación del Túnel de Belate II en función de la valoración del ICE realizada.

Tramo	PK Inicio	PK fin	LONGITUD (m)	RECUBRIMIENTO (m)	LITOLOGÍA	RCS (MPa)	RMR	ICE	Dificultad constructiva
1	0+984	1+000	16	10 - 30	Limolitas	27	35 - 40 (38)	174 - 96 (111)	Muy baja
2	1+000	1+080	80	30-42	Limolitas	32,5	40 - 45(43)	111 - 79 (94)	Baja
3	1+080	1+210	130	42 -70	Argilitas Brechoides	2,1	30 -38 (34)	6 - 2 (4)	Muy alta
4	1+210	1+650	440	70-75	Limolitas	32,5	40 - 45(43)	48 - 40 (46)	Media
5	1+650	2+090	440	73 - 90	Pizarras	7	22 -32 (27)	10 - 2 (6)	Muy alta
6	2+090	2+470	380	90 - 180	Conglomerado	45,3	60 - 70 (65)	85 - 65 (70)	Baja
7	2+470	2+720	250	180-257-250	Conglomerado	45,3	60- 70 (65)	65 - 40 (51)	Media
8	2+720	2+840	120	250 -207	Areniscas y conglomerado	90	55 - 65 (60)	70 - 95 (85)	Baja
9	2+840	2+880	40	207 - 190	Arenisca	109	40 - 46 (43)	50 -62 (56)	Media
10	2+880	3+380	500	190 - 170	Arenisca	109	56 - 65 (60)	118 - 131 (124)	Baja
11	3+380	3+750	370	170-100	Limolitas	33	40 - 45(43)	20 - 33 (25)	Alta
12	3+750	3+850	100	100 - 30	Argilitas Brechoides	6,1	30 -38 (34)	6 -20 (10)	Muy alta

Tabla 8.2.1.a.- Tramificación del Túnel de Belate II en función del ICE.

En el **Plano 8.2.1.a** se presenta el perfil longitudinal del Túnel Belate II, la estimación de su dificultad constructiva y algunas recomendaciones sobre el método constructivo a emplear.

Lógicamente el perfil geotécnico del Túnel Belate II es muy parecido conceptualmente al del túnel ya construido; aunque hay que señalar que el trazado adoptado en el Estudio de Alternativas es muy favorable pues se disminuye notablemente la longitud a excavar en Pizarras negras y, lo que es más importante, disminuye sensiblemente, el espesor de los terrenos de recubrimiento.

En el Túnel de Belate ya construido el recubrimiento de las Pizarras Negras es del orden de 200 m; mientras que en el Túnel Belate II el recubrimiento sobre las Pizarras negras no llega a los 100 m. Esta diferencia es muy importante pues en el nuevo Túnel de Belate la presión natural sobre las Pizarras negras, en la cota del túnel, será la mitad en el Túnel Belate I.

También es positiva la propuesta de trazado del Proyecto de Trazado, ya que supone elevar la cota del túnel a unos 10 m en la zona de Pizarras negras.

En la **Tabla 8.2.1.b** se presenta la evaluación de la dificultad constructiva estimada para los 12 tramos homogéneos respecto al ICE, en los que se ha dividido el Túnel Belate II.

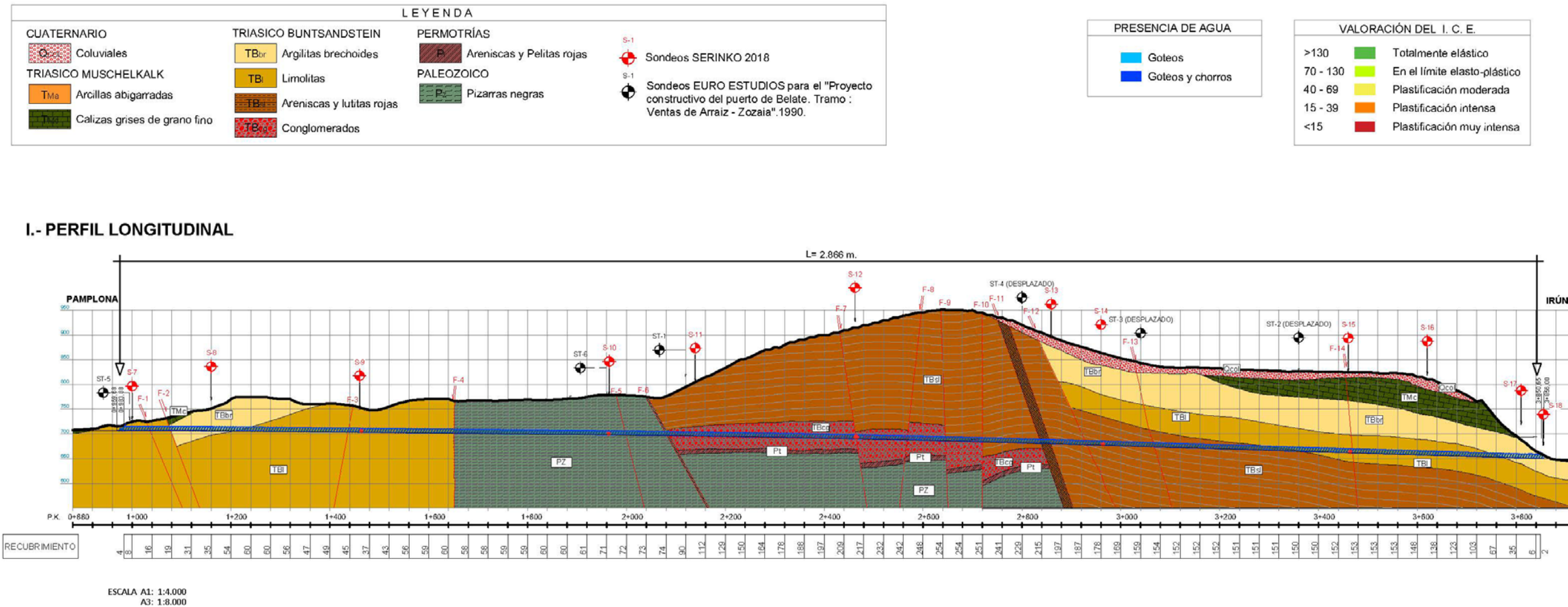
Dificultad constructiva	Longitud del túnel afectada (m)	Proporción de la longitud total (%)
Muy baja	16	0,5
Baja	1.080	37,7
Media	730	25,5
Alta	370	12,9
Muy alta	670	23,4
Total	2.866	100,0

Tabla 8.2.1.b.- Distribución de la dificultad constructiva en el Túnel Belate II.

De acuerdo con los datos contenidos en la Tabla 8.2.1.b el 38,2% de la longitud del nuevo Túnel de Belate tendrá una dificultad constructiva baja o muy baja, el 25,5% tendrá una dificultad media y el 36,3% una dificultad alta o muy alta.

Por otro lado; la previsión realizada indica que a lo largo de 1.770 m, que supone el 61,8% de la longitud del túnel, será necesario construir una contrabóveda.

De la previsión realizada también se deduce que en 1.096 m, que suponen el 38,3% de la longitud total, la excavación se podría realizar a sección completa.



II.- ESTIMACIÓN DE LA DIFICULTAD CONSTRUCTIVA

TRAMO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
P.K. INICIO P.K. FINAL	0+000 0+080	0+080 - 1+210	1+210 - 1+850	1+850 - 2+090	2+090 - 2+470	2+470 - 2+720	2+720 - 2+840	2+840 - 2+880	2+880 - 3+380	3+380 - 3+750	3+750 - 3+850	
LONGITUD DE TRAMO (m)	80	130	640	240	380	250	120	40	500	370	100	
TIPO DE ACOTADO DE TÚNEL	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
RESISTENCIA A COMPRESIÓN (MPa)	32,5	2,1	32,5	7,0	45,3	45,3	90,0	105,8	105,8	32,5	6 - 9 (7)	
PRESENCIA DE AGUA												
ESTIMACIÓN RMR	40 - 45 (43)	30 - 38 (34)	40 - 45 (43)	22 - 32 (27)	60 - 70 (65)	61 - 70 (65)	55 - 65 (60)	40 - 45 (43)	50 - 65 (60)	40 - 45 (43)	30 - 38 (34)	
ICE	111 - 79 (94)	6 - 2 (4)	40 - 40 (40)	10 - 2 (8)	65 - 65 (70)	65 - 40 (51)	95 - 70 (65)	50 - 40 (50)	110 - 131 (124)	20 - 33 (25)	5 - 20 (10)	
DIFICULTAD CONSTRUCTIVA	BAJA	MUY ALTA	MEDIA	MUY ALTA	BAJA	MEDIA	BAJA	MEDIA	BAJA	ALTA	MUY ALTA	

III.- ESTIMACIÓN DE LA SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA

CONTRABÓVEDA (SI/NO)	NO	NO	SI	SI	SI	NO	SI	NO	NO	NO	SI	SI
EXC. SEC. COMPLETA (SI/NO)	SI	SI	NO	NO	NO	SI	NO	SI	SI	SI	NO	NO
TIPO DE SOSTENIMIENTO	ST-I	ST-II	ST-V	ST-III	ST-V	ST-II	ST-III	ST-II	ST-III	ST-II	ST-IV	ST-V
REFUERZO	PARAGUAS MICROPILOTES	-	-	-	-	-	-	-	PARAGUAS MICROPILOTES	-	-	PARAGUAS MICROPILOTES

Plano 8.2.1.a.- Perfil longitudinal del túnel Belate II, con estimación de su dificultad constructiva y algunas recomendaciones sobre el método constructivo a emplear.

8.2.2. Dificultad constructiva del Túnel Almandoz II

En la **Tabla 8.2.2.a** se presenta una tramificación del Túnel de Almandoz II en función de la valoración del ICE realizada.

Tramo	PK Inicio	PK fin	LONGITUD (m)	RECUBRIMIENTO (m)	LITOLOGÍA	RMR	ICE	Dificultad constructiva
1	5+852	5+960	108	10 - 90	Ofitas	25 - 43 (34)	347 - 39 (58)	Media
2	5+960	6+420	460	60 - 170 -150	Calizas del Muschelkalk	60 - 68 (64)	150-75 (85)	Baja
3	6+420	6+530	110	150	Brechas Poligénicas	32	3-5 (3)	Muy Alta
4	6+530	7+040	510	130 - 110	Ofitas fracturadas	46 - 60 (51)	92 -108 (99)	Baja
5	7+040	7+197	157	60 - 20	Ofitas fracturadas alteradas	40- 50 (45)	146- 200 (178)	Muy Baja

Tabla 8.2.2.a se presenta una tramificación del Túnel de Almandoz II en función de la valoración del ICE.

El perfil longitudinal del Túnel Almandoz II se muestra en la **Figura 8.2.2.b**, junto con la estimación de las dificultades para su construcción y algunas recomendaciones.

Este perfil longitudinal es muy parecido al del Túnel Almandoz I; pues la distancia entre el nuevo trazado y el antiguo es pequeña.

En la **Tabla 8.2.2.c** se muestra la evaluación de la dificultad constructiva en cada uno de los cinco tramos en los que se ha dividido el Túnel Almandoz II.

Dificultad constructiva	Longitud del túnel afectada (m)	Proporción de la longitud total (%)
Muy baja	157	11,7%
Baja	970	72,1%
Media	108	8,0%
Alta	0	0,0%
Muy alta	110	8,2%
Total	1.345	100 %

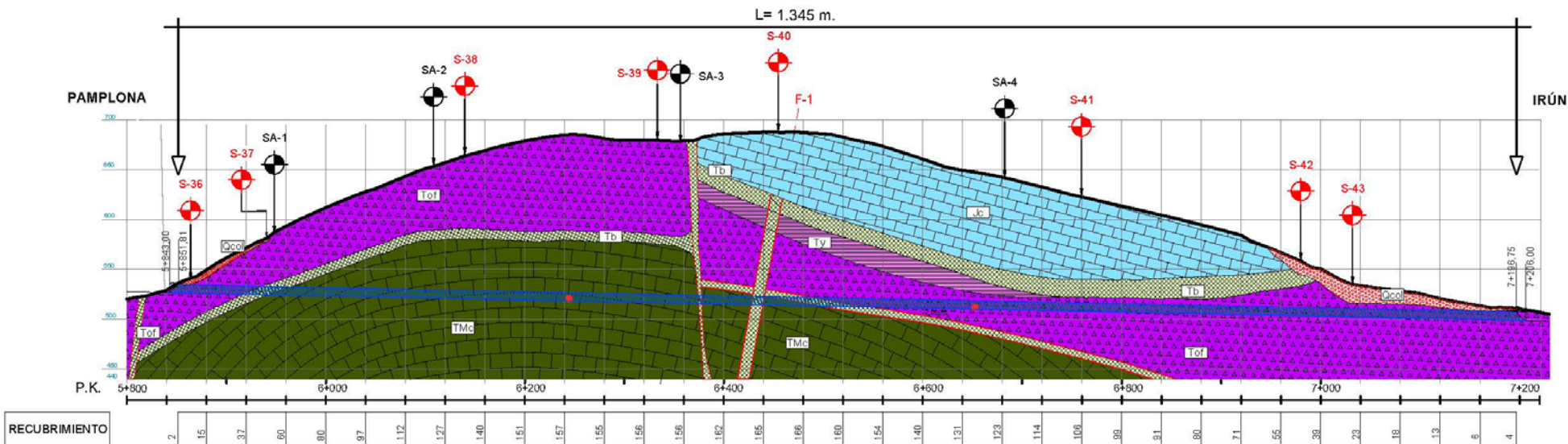
Tabla 8.2.2.c.- Distribución de la dificultad constructiva en el túnel Almandoz II.

En la tabla anterior se observa que el Túnel de Almandoz II tiene un tramo de unos 110 m de dificultad muy alta, que representa el 8,2% y que en el 83,8% de su longitud la estimación de la dificultad constructiva tiene la calificación de baja o muy baja; lo cual concuerda bien con las experiencias habidas durante la construcción del Túnel Almandoz I.

Por otro lado, se considera que solo será necesario construir una contrabóveda en los primeros 108 m del lado Pamplona y a lo largo del túnel se prevé que en 228 m no se podrá excavar a sección completa, debiéndose ejecutar los tramos de dificultad constructiva media y muy alta en Avance y destroza.



I.- PERFIL LONGITUDINAL



II.- ESTIMACIÓN DE LA DIFICULTAD CONSTRUCTIVA

TRAMO	1	2	3	4	5
P.K. INICIO/P.K. FINAL	5+852 - 5+960	5+960 - 6+420	6+420 - 6+530	6+530 - 7+040	7+040 - 7+197
LONGITUD DE TRAMO (m)	108	460	110	510	157
LITOTIPO A COTA DE TÚNEL	OFITAS	CALIZAS	BRECHAS POLIGÉNICAS	OFITAS ALTERADAS	OFITAS FRACTURADAS
RESISTENCIA A COMPRESIÓN (MPa)	50,0	47,7	9,0	105,0	65,0
PRESENCIA DE AGUA					
ESTIMACIÓN RMR	25 - 43 (34)	60 - 68 (64)	32	46 - 60 (51)	40 - 50 (45)
ICE	347 - 39 (58)	150 - 75 (85)	3 - 5 (3)	92 - 108 (99)	146 - 200 (178)
DIFICULTAD CONSTRUCTIVA	MEDIA	BAJA	MUY ALTA	BAJA	MUY BAJA

III.- ESTIMACIÓN DE LA SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA

CONTRABÓVEDA (SI/NO)	SI	NO	SI	NO	NO
EXC. SEC. COMPLETA (SI/NO)	NO	SI	NO	SI	SI
TIPO DE SOSTENIMIENTO	ST-III	ST-II	ST-V	ST-II	ST-I
REFUERZO	PARAGUAS MICROPILOTES	-	-	-	PARAGUAS MICROPILOTES

Figura 8.2.2.b.- Perfil longitudinal del Túnel Almandoz II, con estimación de su dificultad constructiva y algunas recomendaciones sobre el método constructivo a emplear.

8.3. RIESGOS GEOLÓGICO- GEOTÉCNICOS EN LOS TÚNELES

Como referencia a tener en cuenta para definir los riesgos geológicos-geotécnicos que supone la ejecución de los túneles, en la **Figura 8.3.a** se muestra el perfil geotécnico del Túnel Belate I y el historial de los refuerzos que se han realizado en él.

Por lo que se refiere al perfil longitudinal, se aprecia que es similar al preliminar del Túnel Belate II, presentado en el apartado 8.2.1, pero presenta una diferencia muy importante, pues en la parte central del Túnel Belate I se excavaron las Pizarras negras con recubrimientos que superaron los 200 m, sin que en ese tramo se hubiera proyectado una contrabóveda.

Las inestabilidades del túnel Belate I aparecieron antes de su puesta en servicio; pues en la primera mitad de 1997 ya se ejecutó un tramo de solera y se reforzó el hormigón proyectado en otro. Dos años más tarde, en 1999, se tuvo que reforzar el sostenimiento de hormigón proyectado en la parte central del túnel; pero la reparación más importante se realizó en el verano de 2001, cuando se construyó una bóveda anclada en un tramo de 294 m de longitud y se reforzó el sostenimiento a lo largo del resto de la bóveda del túnel. En los veranos de 2006 y 2007 se reforzaron los parámetros del túnel, tras haber retirado las placas de revestimiento colocadas.

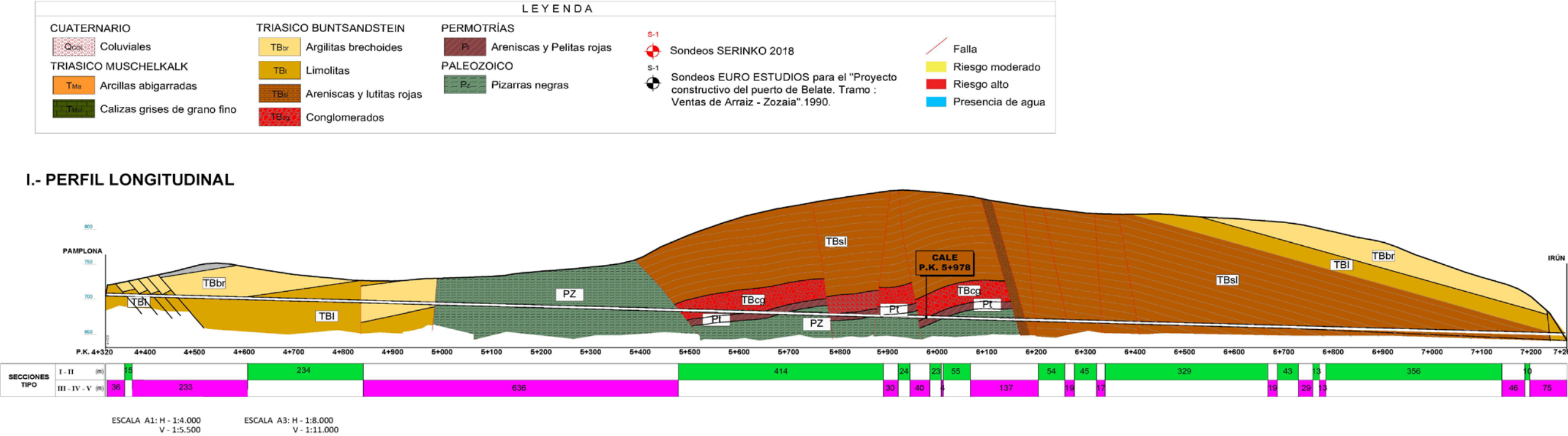
Tal como se acreditó en el juicio entre el Gobierno de Navarra y la empresa que realizó el Control y Vigilancia durante la construcción del Túnel Belate I, los problemas de este túnel se debieron a dos causas concretas:

1. No haber ejecutado una contrabóveda en el tramo de Pizarras negras, excavado en la zona central del túnel.
2. Haber colocado del orden de la mitad del hormigón proyectado previsto como sostenimiento y con una resistencia inferior a la especificada.

En el proyecto del Túnel Belate II se diseñará una contrabóveda en la zona de Pizarras negras; que, como se ha indicado, estarán sometidas a una presión natural del orden de la mitad que hay en el Túnel Belate I.

Además de lo anterior, cabe destacar que durante la ejecución del Túnel de Belate I, desde los primeros metros de excavación realizados por la boca Norte del túnel existían infiltraciones que afectaban a la marcha normal de los trabajos produciendo retrasos. El problema se agravó en el paso de una falla que ponía en contacto areniscas del Bundsantein con las pizarras negras donde se produjo un desprendimiento de un hastial y del frente que pararon los trabajos de avance del frente durante tres meses y se requirieron de tratamientos especiales para su continuación.

Respecto al actual Túnel de Almandoz, hay que indicar que desde su puesta en servicio no se ha registrado ninguna incidencia en el sostenimiento asociada a inestabilidad del terreno; tan solo se tiene referencia de que en la ejecución del túnel, cuando el frente avanzaba en brechas poligénicas éste era inestable y se tuvieron que aplicar medidas especiales como avanzar como ejecutar un machón central y aplicar una capa de sellado de hormigón proyectado en el frente.



II.- REPARACIONES REALIZADAS



Figura 8.3.a.- Perfil geotécnico e historial de refuerzo en el Túnel de Belate I.

9. GEOTECNIA DE LOS EMBOQUILLES DE LOS TÚNELES

En este apartado se analiza la posibilidad de rotura global en los taludes de los emboquilles de los nuevos túneles de Belate y Almandoz.

9.1. METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS

A partir del perfil geológico-geotécnico elaborado para cada talud, de la geometría prevista para cada uno de ellos y de lo indicado en el “Manual de ingeniería de taludes”. Instituto Geológico y Minero de España. 2006, se han llevado a cabo los cálculos de la posible rotura global de los taludes de cada uno de los emboquilles de los nuevos túneles de Belate y Almandoz y diseñado los refuerzos necesarios.

Las condiciones en las que se da normalmente la rotura circular son aquellas en las que el tamaño de las partículas del terreno, entendido como un medio continuo, es muy pequeño en comparación con las dimensiones del talud. Esto sucede en suelos o en macizos rocosos muy fracturados y/o alterados.

Para analizar la estabilidad de un talud determinado, excavado en un material de características resistentes conocidas, se necesita determinar la posición del centro y el diámetro del círculo por donde se va a producir el deslizamiento. Este círculo, conocido como círculo crítico, debe satisfacer la condición en la cual la relación entre la resistencia al corte del terreno y los esfuerzos tangenciales que tienden a producirlo sea mínimo. En general su posición se obtiene mediante tanteos.

Existen una serie de métodos generales para estudiar este tipo de rotura de taludes. Uno de ellos es el método de las fajas, basado en la hipótesis de que los esfuerzos normales se concentran en un punto único del arco de deslizamiento.

En aquellos casos en que la superficie del talud es muy irregular o las superficies de rotura intersecan materiales con características geotécnicas diferentes, es necesario analizar la estabilidad del talud mediante otros métodos que se basan todos ellos en el denominado método de las fajas. En el método de las fajas, la masa deslizante se divide en un determinado número de rebanadas verticales y se considera el equilibrio de cada una de ellas.

El análisis de los taludes se ha realizado siguiendo el método de Bishop, que es una simplificación del método de las fajas. Según el método de Bishop, el factor de seguridad del círculo analizado se define en función de los momentos de las fuerzas resistentes y volcadoras, respecto del centro del círculo de deslizamiento.

$$F = \frac{\text{Momento de las fuerzas resistentes a lo largo del arco}}{\text{Momento de las fuerzas volcadoras}}$$

En la **Figura 9.1.a** se muestra la descomposición en rebanadas de un talud para el análisis mediante el equilibrio límite de la rotura circular mediante el método de Bishop.

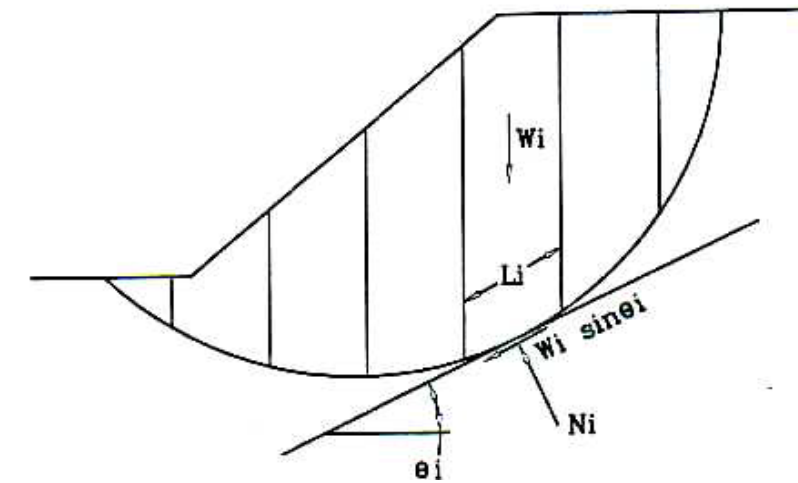


Figura 9.1.a.-Método de Bishop.

El análisis se ha realizado con ayuda del programa Slide V_6.0 de RocScience Inc. Este programa calcula el equilibrio plástico que se da en un círculo de rotura predeterminado, a partir de los parámetros de resistencia de los terrenos (cohesión, y ángulo de rozamiento), peso específico de los terrenos, geometría del talud y posición del nivel freático.

El programa calcula en una malla de centros dada por el usuario, el factor de seguridad de los posibles círculos que resultan de variar el radio en cada uno de los centros. Así es posible disponer de los contornos de factores de seguridad, lugar geométrico de los centros de los círculos de rotura, solventándose en parte la limitación de los métodos de equilibrio límite de tener que fijar el círculo de rotura a priori. No obstante, también es posible analizar un círculo determinado.

Cabe señalar que, de forma general, en los modelos de cálculo se han diseñado los taludes de excavación previstos hasta la cota máxima que alcanzarán en cada caso concreto, y una porción de terreno con su talud natural que no se verá afectado directamente por la excavación pero que debe ser estable una vez terminado el emboquille.

Para el análisis además de lo anterior se ha considerado:

- **Peso propio:**
 - Para los terrenos existentes en cada talud se considera la densidad indicada en los apartados
 - Para el hormigón: $\gamma_c = 24,0 \text{ kN/m}^3$.
- **Sobre carga por tráfico:** Se considera una carga de tráfico de 20 kN/m^2 en los taludes que tengan próximos caminos o carreteras.
- **Acción sísmica:** Según lo calculado en el apartado 5.4, siguiendo la normativa sismorresistente NCSE-02, se establece las siguientes aceleraciones de cálculo para los terrenos afectados por las excavaciones:
 - a_c : 0,052 para el emboquille Sur Túnel de Belate II.
 - a_c : 0,065 para el emboquille Norte Túnel de Belate II y ambos del Túnel de Almandoz II.

Seguendo las recomendaciones del Manual de Ingeniería de taludes del IGME se establece los siguientes factores de seguridad en el cálculo de estabilidad global de los taludes:

- Situación accidental 1,1.
- Situación provisional 1,3.
- Situación definitiva 1,5.

9.2. EMBOQUILLE SUR TUNEL DE BELATE II

El emboquille Sur del Túnel de Belate II se ejecuta en una zona de terreno rocoso constituido principalmente por las litologías siguientes: limolitas (TBI) y calizas (TMc); localmente el talud lateral izquierdo incluye un espesor pequeño de arcillas abigarradas (TMa).

La excavación de los taludes laterales y el frontal se realizan con una inclinación 1H:2V, siendo la diferencia de cota máxima igual a 30m en el talud izquierdo y 18m en el frontal. En concreto en el talud frontal se ha respetado el mismo talud del túnel existente ubicado en su margen derecha. Cabe señalar que habrá que demoler y reponer unos 4m del muro frontal para poder excavar el talud del nuevo emboquille.

Por el tipo de terreno existente en la zona de emboquille, se evaluará en fases posteriores de proyecto la estabilidad frente a la rotura estructural como por ejemplo la formación de cuñas.

En la **Tabla 9.2.a** se presentan las propiedades geomecánicas del macizo rocoso presente en la zona de emboquille determinadas considerando un RMR de 35-40 puntos.

LITOLOGIA	CÓDIGO	DENSIDAD (kN/m³)	RCS (MPa)	m	s
Calizas	TMc	27	47,7	1,208	0,0013
Limolitas	TBI	27	32,5	1,642	0,0013

Tabla 9.2.a.- Propiedades geomecánicas del macizo rocoso del emboquille Sur del Túnel de Belate II.

El resultado de la posibilidad de la ocurrencia de una rotura circular en los taludes frontales se muestra en la **Figura 9.2.b** para el caso de situación provisional dado que delante del talud frontal se realizará el falso túnel con su correspondiente relleno definitivo. Además, se indican los parámetros geotécnicos para el cálculo.

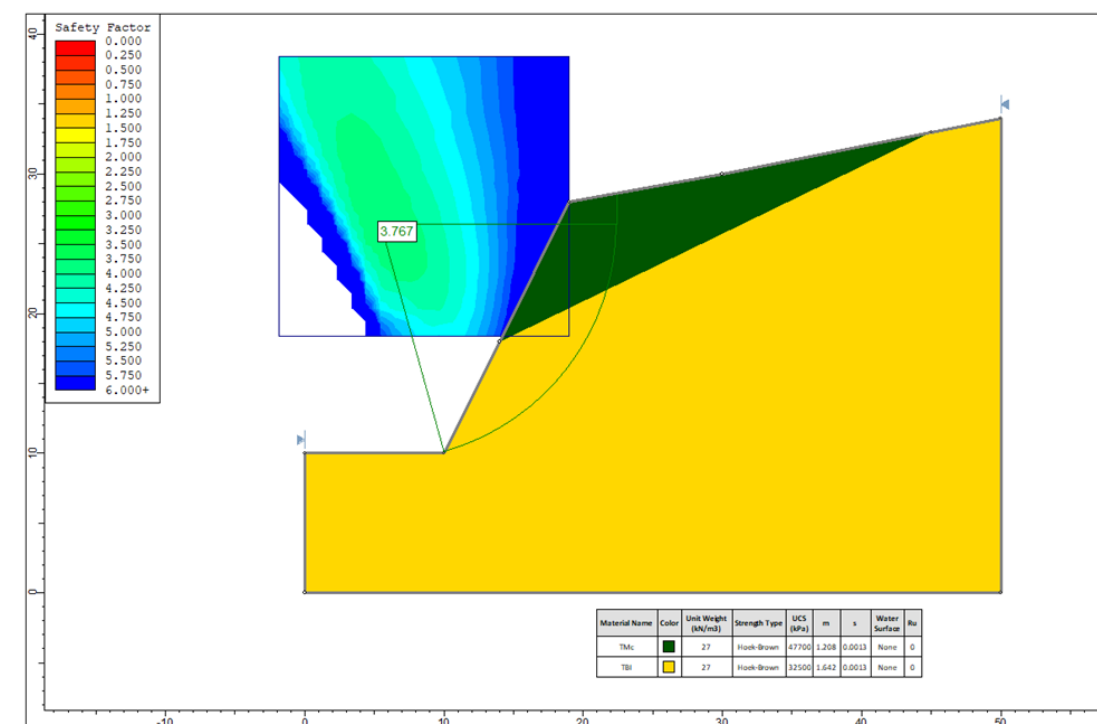


Figura 9.2.b.- Túnel de Belate II. Talud frontal del emboquille Sur. Rotura circular en situación provisional.

Como se puede observar, con el talud dispuesto 1H:2V, el coeficiente de seguridad obtenido es superior a 1,3 en situación provisional según recomienda el Manual de Ingeniería de taludes del IGME, por lo que se considera estable sin necesidad de aplicar medidas de refuerzo.

Los resultados de la posibilidad de la ocurrencia de una rotura circular en los taludes laterales se muestran en la **Figura 9.2.c** en caso de situación permanente o definitiva y en la **Figura 9.2.d** en caso de situación accidental debida al sismo. Además, se indican los parámetros geotécnicos adoptados para el cálculo.

Con el talud lateral dispuesto 1H:2V, el coeficiente de seguridad obtenido es superior a 1,5 en situación permanente y superior a 1,1 en situación accidental debida al sismo, por lo que se considera estable sin necesidad de aplicar ninguna medida de refuerzo o tratamiento.

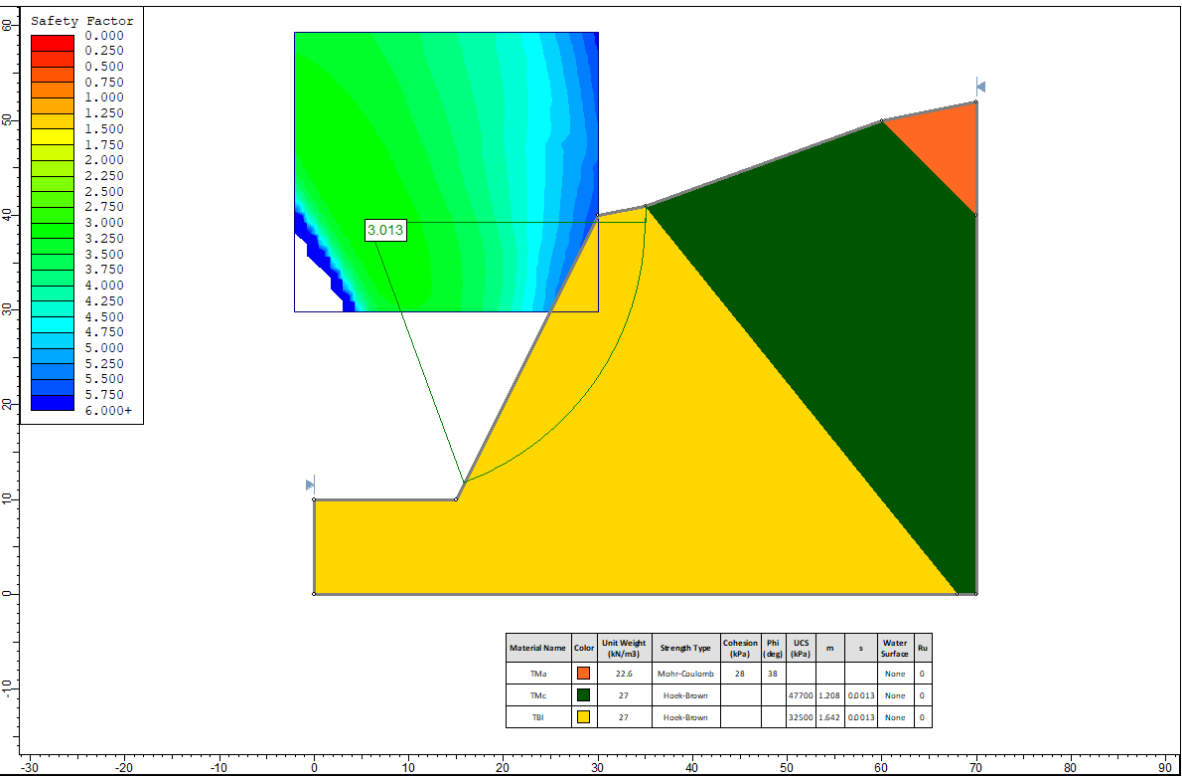


Figura 9.2.c.- Túnel de Belate II. Talud lateral del emboquille Sur. Rotura circular en situación definitiva.

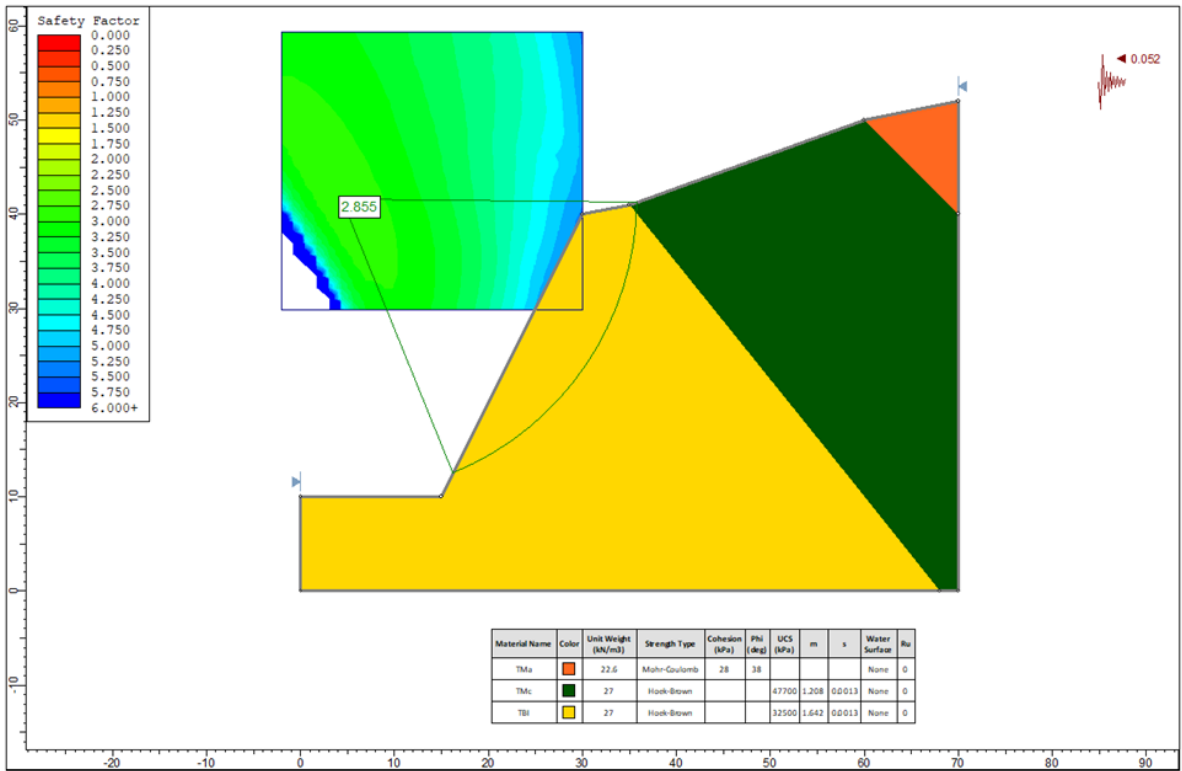


Figura 9.2.d.- Túnel de Belate II. Talud lateral del emboquille Sur. Rotura circular en situación accidental.

9.3. EMBOQUILLE NORTE TÚNEL DE BELATE II

El emboquille Norte del Túnel de Belate II se ejecuta en una zona donde el terreno se presenta bastante alterado constituido por: argilitas brechoides (TBbr). Para el cálculo y de manera conservadora se considera un comportamiento tipo suelo. En la **Tabla 9.3.a** se presentan las propiedades geomecánicas consideradas para estos terrenos.

LITOLOGIA	CÓDIGO	DENSIDAD (kN/m³)	COHESIÓN (kPa)	FRICCIÓN (°)
Argilitas brechoides	TBbr	20,4	41	34

Tabla 9.3.a.- Propiedades geomecánicas consideradas para los terrenos del emboquille Norte del Túnel de Belate II.

La excavación de los taludes laterales y el frontal se realizan con una inclinación 1H:2V, siendo la diferencia de cota máxima igual a 7m en el talud izquierdo y 11m en el frontal.

Por el tipo de terreno existente en la zona de emboquille, no procede llevar a cabo una comprobación de la estabilidad frente a la rotura estructural como por ejemplo la formación de cuñas.

Para analizar la estabilidad global de los taludes en la zona del emboquille se realiza un cálculo con el programa Slide, considerando una altura de unos 7 m para el lateral y 11 m para el frontal.

El resultado de la posibilidad de la ocurrencia de una rotura circular en los taludes frontales se muestra en la **Figura 9.3.b** para el caso de situación provisional dado que delante del talud frontal se realizará el falso túnel con su correspondiente relleno definitivo. Además se indican los parámetros geotécnicos adoptados para el cálculo.

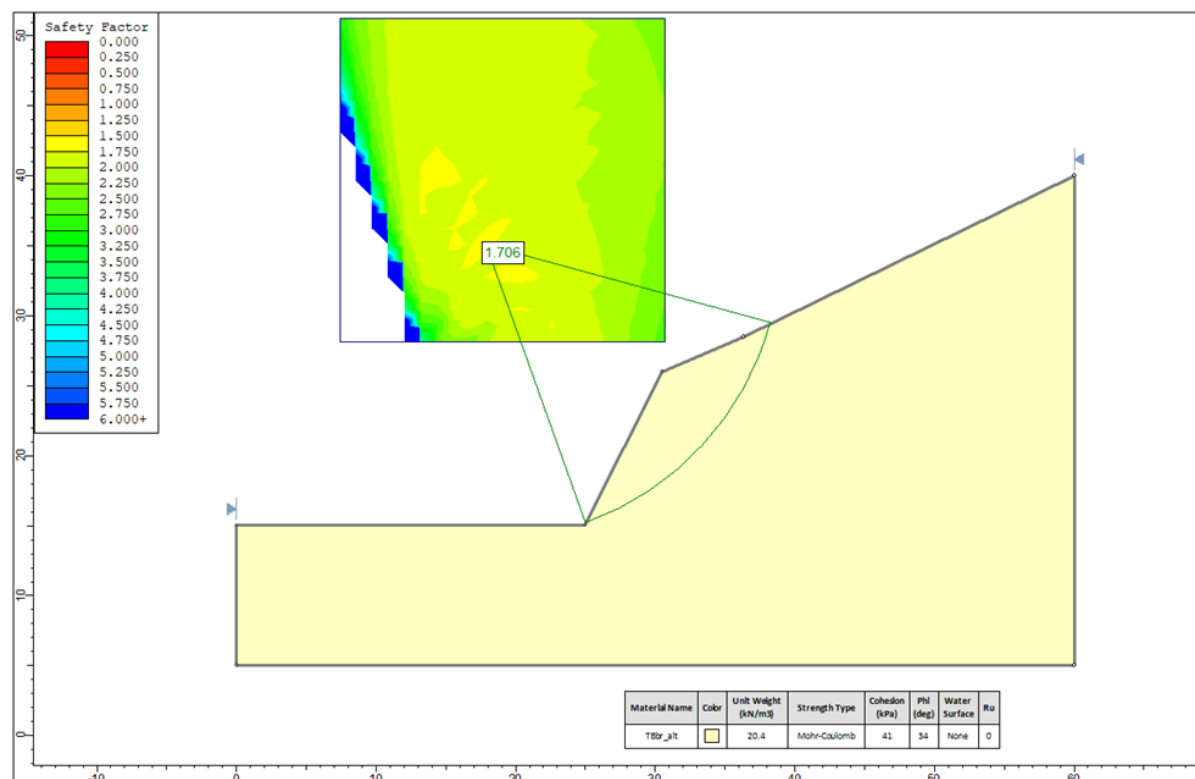


Figura 9.3.b.- Túnel de Belate II. Talud frontal del emboquille Norte. Rotura circular en situación definitiva.

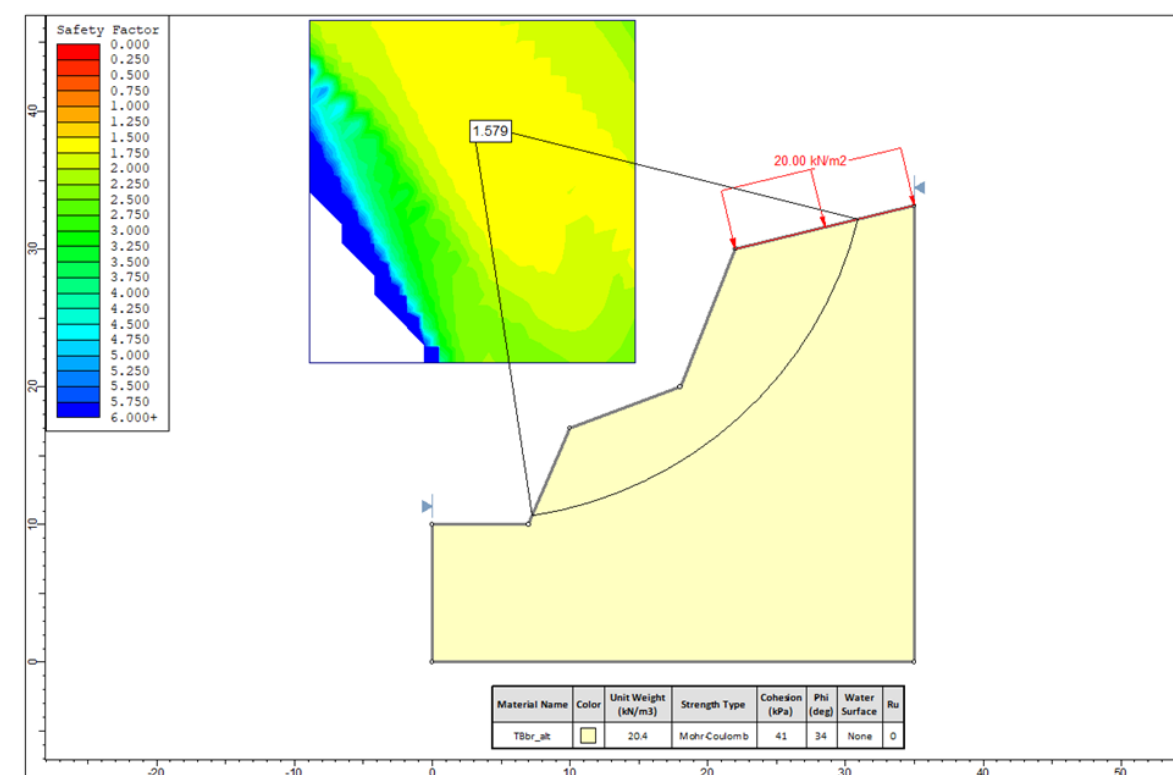


Figura 9.3.c.- Túnel de Belate II. Talud lateral del emboquille Norte. Rotura circular en situación definitiva.

Como se puede observar, con el talud dispuesto 1H:2V, el coeficiente de seguridad obtenido es superior a 1,3 en situación provisional, por lo que se considera estable sin necesidad de aplicar medidas de refuerzo.

Los resultados de la posibilidad de la ocurrencia de una rotura circular en los taludes laterales se muestran en la **Figura 9.3.c** en caso de situación permanente o definitiva y la **Figura 9.3.d** en caso de situación accidental debida al sismo. Además, se indican los parámetros geotécnicos adoptados para el cálculo, así como una sobrecarga de tráfico considerada por la presencia de un camino existente que discurre paralelo al eje del trazado de la carretera proyectada.

Con el talud lateral dispuesto 1H:2V, el coeficiente de seguridad obtenido es superior a 1,5 en situación permanente y superior a 1,1 en situación accidental debida al sismo, por lo que se considera estable sin necesidad de aplicar ninguna medida de refuerzo o tratamiento.

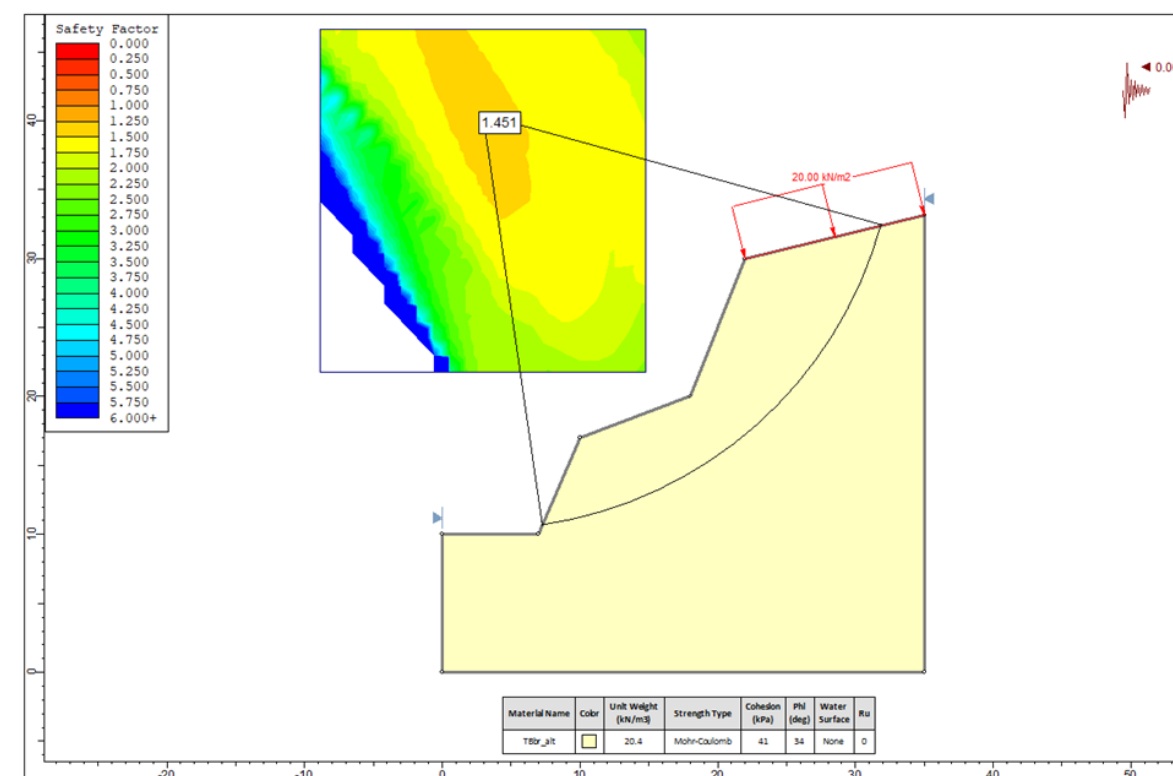


Figura 9.3.d.- Túnel de Belate II. Talud lateral del emboquille Norte. Rotura circular en situación accidental.

9.4. EMBOQUILLE SUR TÚNEL DE ALMANDOZ II

El emboquille Sur del Túnel de Almandoz II se excava en un suelo coluvial de unos 6m de espesor que se encuentra sobre un estrato de ofitas alteradas. En la **Tabla 9.4.a** se presentan las propiedades geomecánicas consideradas para el cálculo. Hay que indicar que para determinar los parámetros m y s de las ofitas se ha considerado un RMR de 40.

LITOLOGIA	CÓDIGO	DENSIDAD (kN/m³)	COHESIÓN (kPa)	FRICCIÓN (°)	RCS (MPa)	m	s
Coluvión	Qco	18	20	33			
Ofitas	Tof	27			105	0,442	0,0073

Tabla 9.4.a.- Propiedades geomecánicas de los terrenos del emboquille Sur del Túnel de Almandoz II.

La excavación del talud frontal del emboquille se realiza con una inclinación 1H:1V, siendo la diferencia de cota máxima aproximadamente de 13 m. Los taludes laterales del emboquille también se realizan con una inclinación 1H:1V y la altura alcanzada son de unos 3 m en el talud lateral oeste y de 8 m en el talud lateral este.

Los resultados de la posibilidad de la ocurrencia de una rotura circular en los taludes del emboquille en situación temporal se muestran en la **Figura 9.4.b** así como los parámetros geotécnicos considerados en el cálculo.

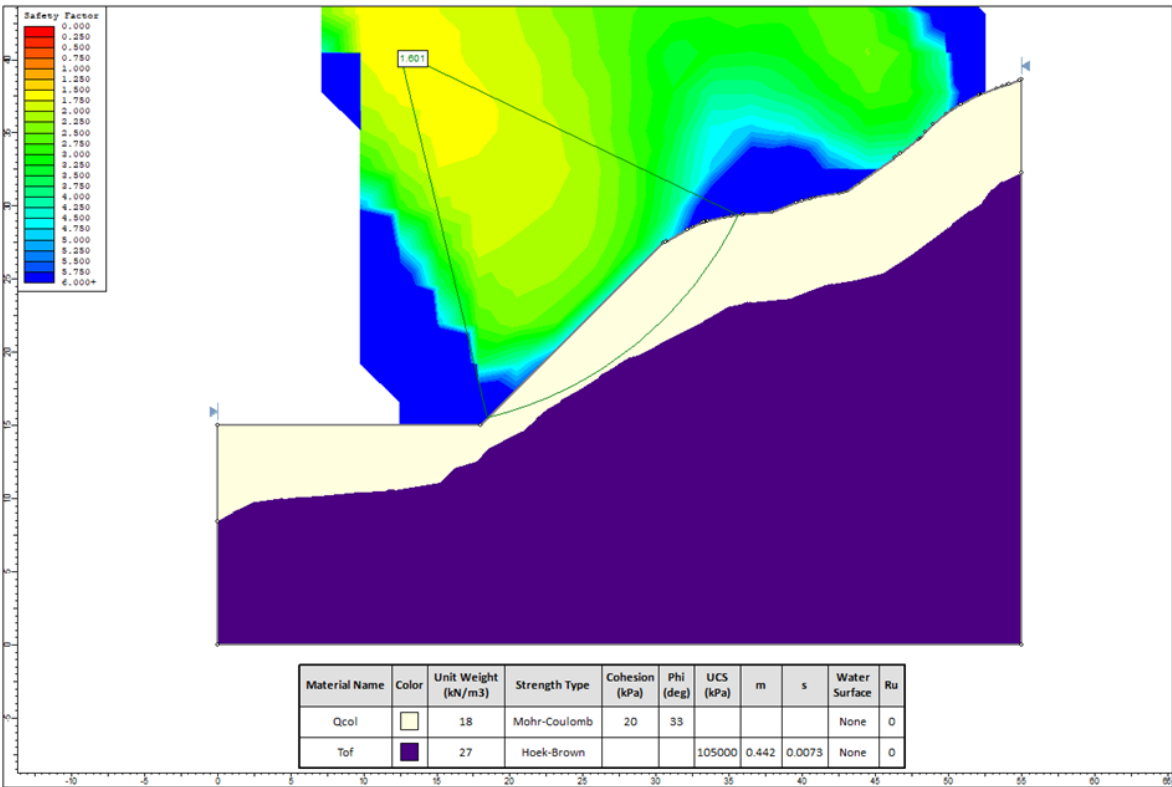


Figura 9.4.b.- Túnel de Almandoz II. Talud frontal del emboquille Sur. Rotura circular en situación provisional.

Como se puede observar en la figura anterior, el talud frontal dispuesto 1H:1V, tiene un coeficiente de seguridad en situación provisional superior a 1,3 por lo que se considera estable sin necesidad de aplicar medidas de refuerzo.

9.5. EMBOQUILLE NORTE TÚNEL DE ALMANDOZ II

El emboquille norte del Túnel de Almandoz II se excava en un suelo constituido por calizas jurásicas que se apoyan en brechas poligénicas (Tb) y éstas a su vez sobre un estrato de ofitas (Tof). Para el cálculo y de manera conservadora se considera que las brechas poligénicas se comportan como suelo. En la **Tabla 9.5.a** se presentan las propiedades geomecánicas de los terrenos del talud frontal emboquille norte del Túnel de Almandoz II. Para determinar los parámetros m y s de las ofitas se ha considerado un RMR de 35.

LITOLOGIA	CÓDIGO	DENSIDAD (kN/m³)	COHESIÓN (kPa)	FRICCIÓN (°)	RCS (MPa)	m	s
Calizas jurásicas	Jc	26			47.7	1,717	0.0039
Brechas Poligénicas	Tb	21,5	27	25			
Ofitas	Tof	27			105	0,369	0,0004

Tabla 9.5.a.-Propiedades geomecánicas de los terrenos del emboquille Norte del Túnel de Almandoz II

La excavación del talud frontal del emboquille se realiza con una inclinación 1H:1V, en un suelo constituido por brechas poligénicas (Tb) y ofitas (Tof) en la parte inferior, siendo la diferencia de cota máxima aproximadamente de 13 m.

El talud lateral oeste del emboquille, que es el que mayor altura, alcanza unos 24 m aproximadamente, una inclinación de 1H:1V y se excavará en ofitas (Tof), en el pie del talud, a continuación brechas poligénicas (Tb) y en la mitad superior hasta cabecera del talud en calizas jurásicas (Jc).

Los resultados de la posibilidad de la ocurrencia de una rotura circular en el talud frontal del emboquille en situación provisional se muestra en la **Figura 9.5.b** así como los parámetros geotécnicos considerados en el cálculo.

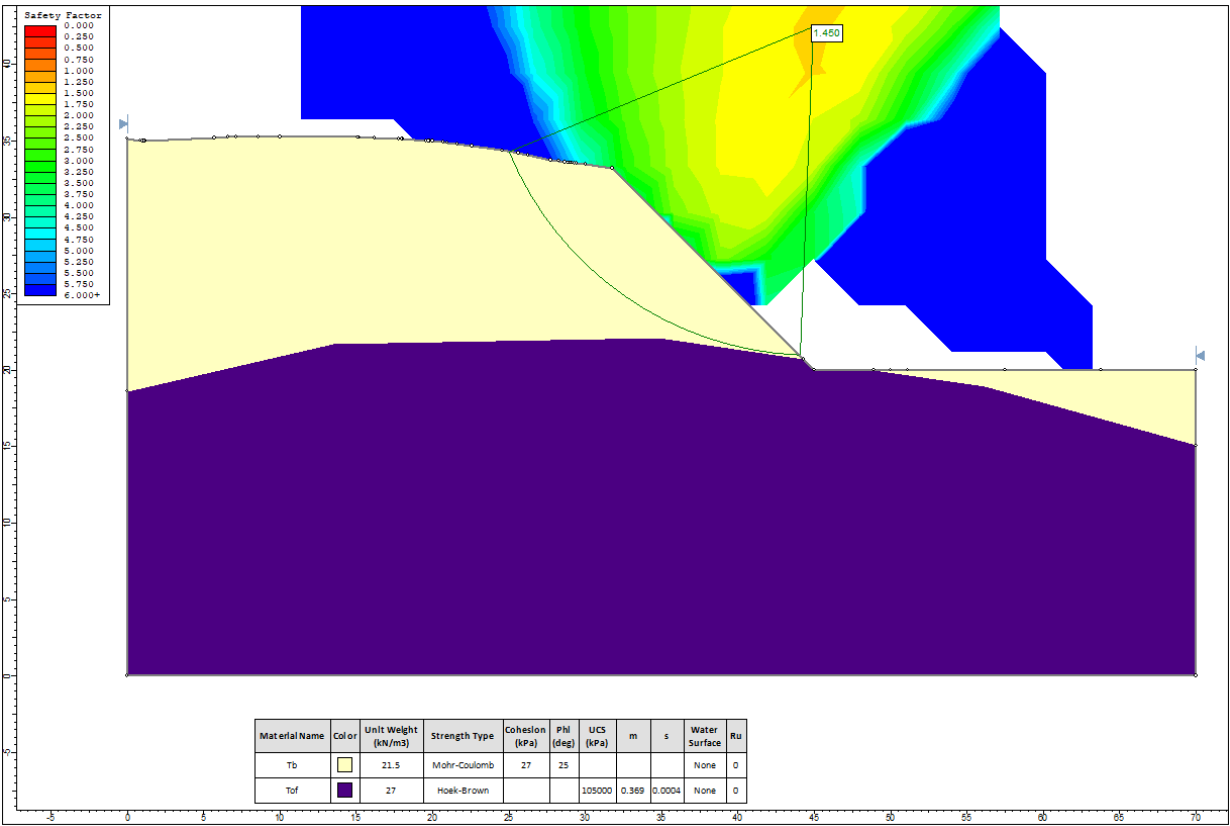


Figura 9.5.b.- Túnel de Almandoz. Talud frontal del emboquille Norte. Rotura circular en situación provisional.

Como se puede observar en la figura anterior, el talud frontal dispuesto 1H:1V, tiene un coeficiente de seguridad en situación provisional superior a 1,3 por lo que se considera estable sin necesidad de aplicar medidas de refuerzo.

Para los taludes laterales, los resultados de la posibilidad de la ocurrencia de una rotura circular se muestran en la **Figura 9.5.c** en caso de situación permanente o definitiva y la **Figura 9.5.d** en caso de situación accidental debida al sismo. Además se indican los parámetros geotécnicos adoptados para el cálculo.

Al igual que en el talud frontal, con el talud lateral dispuesto 1H:1V, el coeficiente de seguridad obtenido es superior a 1,5 en situación permanente y superior a 1,1 en situación accidental debida al sismo, por lo que se considera estable sin necesidad de aplicar ninguna medida de refuerzo o tratamiento.

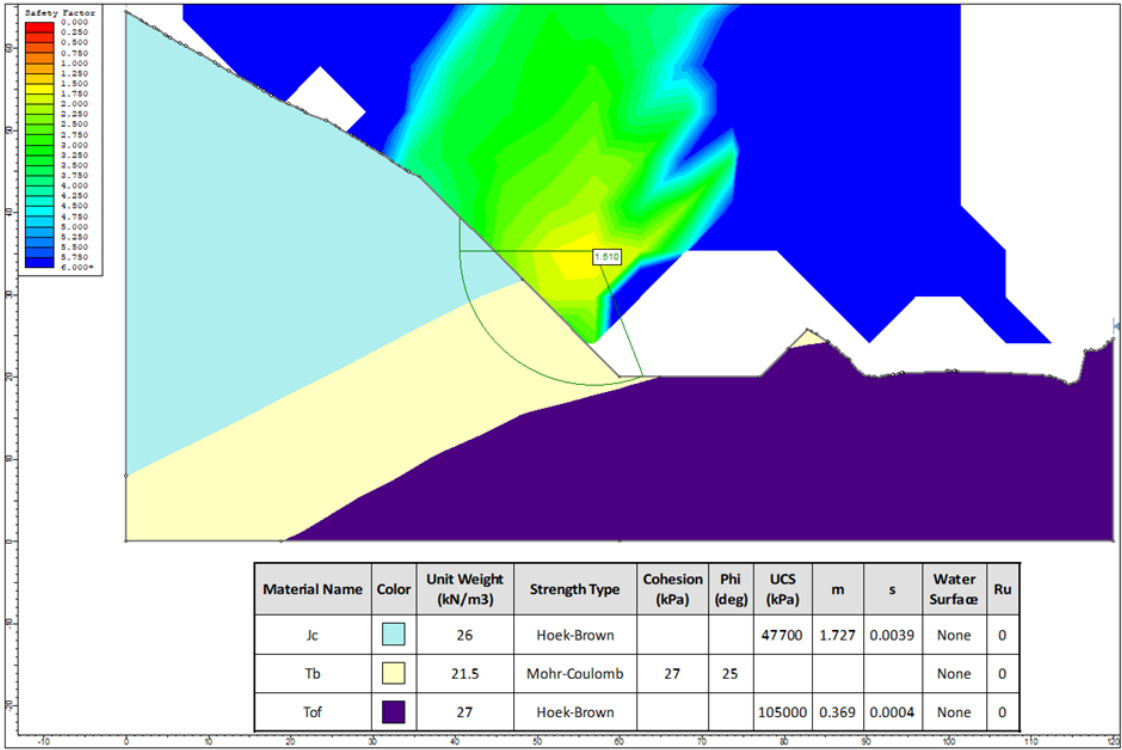


Figura 9.5.c.- Túnel de Almandoz II. Talud oeste del emboquille Norte. Rotura circular en situación definitiva.

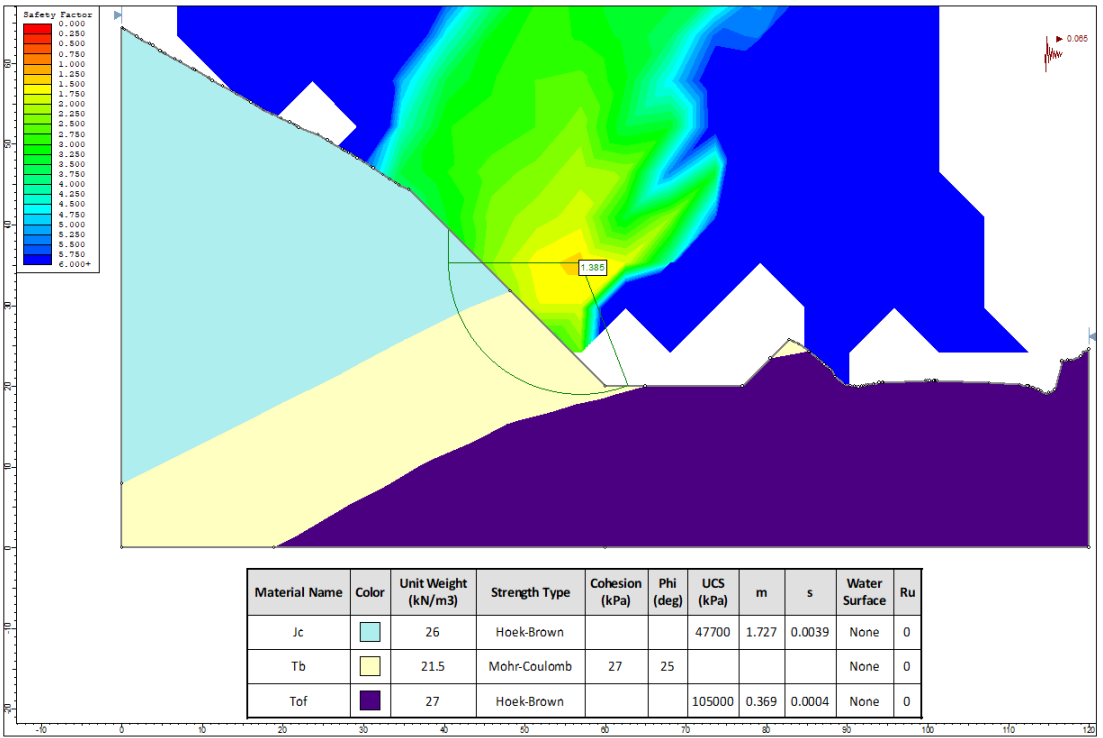


Figura 9.5.d.- Túnel de Almandoz II. Talud oeste del emboquille Norte. Rotura circular en situación accidental.

10. GEOTECNIA DEL TRAMO A CIELO ABIERTO

El trazado de la nueva calzada de los Túneles de Belate II y Almandoz II dispone de tres tramos a cielo abierto que son los siguientes:

- Tramo desde el inicio del tramo hasta el inicio del Túnel de Belate II, P.K.0+000 al P.K.0+984.
- Tramo entre túneles, P.K.3+850 al P.K.5+852.
- Tramo desde el túnel de Almandoz II hasta el final: P.K.7+197 al P.K.7+650.

En este apartado se presentan las propiedades geotécnicas de los terrenos asimilables a alteraciones residuales de formaciones triásicas y jurásicas, coluviones y rellenos antrópicos.

A continuación se presentan las características geotécnicas de estos terrenos.

10.1. TRAMO DESDE EL INICIO HASTA EMBOQUILLE SUR DEL TÚNEL DE BELATE II

En la **Tabla 10.1.a** se presentan las características y la solución prevista del trazado entre el inicio, enlace con la carretera antigua del Puerto de Belate y el Emboquille Sur del Túnel de Belate II en concreto desde el P.K.0+000 hasta el P.K.0+984, que totalizan 984 m.

PK N-121-A		PK DE TRAZADO		Longitud (m)	Tipología y estructura	TALUD	INCLINACIÓN DEL TALUD H:V	ALTURA MÁXIMA (m)	Terrenos afectados
Desde PK	Hasta PK	Desde PK	Hasta PK						
27+040	27+140	0+000	0+100	100	Explanada ampliación de Paso inferior existente				Arcillas, areniscas y pizarras del Cretácico Inferior (Cs) Rellenos de la carretera actual
27+140	27+420	0+100	0+380	280	Extensión de explanada existente				
27+420	27+580	0+380	0+540	160	Desmonte D1	Margen derecho	1:1	7	Ofitas (Tof)
27+580	27+700	0+540	0+660	120	Explanada				Calizas (TMc) del Muschelkalk
27+700	27+770	0+660	0+730	70	Desmonte D2	Margen izquierdo	1:1	31	Calizas (TMc) del Muschelkalk
27+770	27+800	0+730	0+760	30	ODT relleno	Margen izquierdo	2:1	4	Calizas (TMc) con intercalaciones de arcillas abigarradas (TMa) del Muschelkalk
27+800	28+000	0+760	0+900	140	Desmonte D3	Margen izquierdo	1:2	49	Calizas (TMc) con intercalaciones de arcillas abigarradas (TMa) del Muschelkalk Limolitas rojas del Buntsandstein

PK N-121-A		PK DE TRAZADO		Longitud (m)	Tipología y estructura	TALUD	INCLINACIÓN DEL TALUD H:V	ALTURA MÁXIMA (m)	Terrenos afectados
Desde PK	Hasta PK	Desde PK	Hasta PK						
28+000	28+084	0+900	0+984	84	Emboquille Sur Túnel de Belate	Ambos	2:1	30	Calizas (TMc) con intercalaciones de arcillas abigarradas (TMa) del Muschelkalk Limolitas rojas del Buntsandstein

Tabla 10.1.a.-Tramificación geotécnica desde el inicio hasta el emboquille del Túnel de Belate II.

En este tramo destacan tres desmontes (D1, D2 y D3) de 160, 70 y 140 m, con una altura de, respectivamente, 7, 31 y 49 metros; el primero ubicado en ofitas, el segundo, en calizas del Muschelkalk con pasadas de argilitas abigarradas y el tercero, correspondiendo con emboquille sur del Túnel de Belate II en calizas del Muschelkalk con pasadas de argilitas abigarradas y limolitas del Buntsandtein.

A continuación se presentan las características de cada uno de ellos y se analiza la estabilidad.

10.1.1. Desmonte D1

Corresponde al tramo de trazado entre los PP.KK 0+380 a 0+540, en total 160 m y una altura máxima de 7 m. La litología que forma este talud corresponde a ofitas. En campo aunque no se observan de forma clara ya que aparece cubierto de vegetación, si se aprecian algunos afloramientos rocosos muy alterados. en el talud actual que se presenta estable comuna altura de unos 4 m.

En este caso sólo se ha analizado la estabilidad del talud proyectado resultando estable para una altura máxima de 7 m e inclinación 1H:1V.

10.1.2. Desmonte D2

Este desmonte se localiza entre los PP.KK 0+660 y 0+730, que totalizan 70 m de longitud y tiene una altura máxima de 31 m. La litología que lo forma son terrenos del Muschelkalk constituidos por calizas (TMc) con intercalaciones de arcillas abigarradas (TMa).

Para este talud se ha previsto, en la parte inferior, una inclinación de 45° (1H:1V), mientras que en las zonas, altas donde se prevé la presencia de argilitas brechoides, la inclinación será de 20° (5H:2V).

10.1.3. Desmonte D3

Se localiza entre los PP.KK 0+760 y 0+900, en total 140 m con una altura máxima de 49 m. La litología que constituye este talud en su parte baja se corresponde con las limolitas y areniscas finas pertenecientes al Bundtsandstein, sobre las que aparecen las calizas grises del Muschelkalk.

El análisis realizado para este talud concluye que es estable con una inclinación de 60 °(1H:2V), similar a la que presenta el talud actual.

10.2. TRAMO DESDE EL INICIO HASTA EMBOQUILLE SUR DEL TÚNEL DE BELATE II

En la **Tabla 10.2.a** se presenta las características y la solución prevista del trazado el Emboquille Norte del Túnel de Belate II y el Emboquille Sur del Túnel de Almandoz II, entre los PP.KK.3+850 y 5+852, en total 2.002 m.

PK N-121-A		PK DE TRAZADO		Longitud (m)	Tipología y estructura	TALUD	INCLINACIÓN DEL TALUD H:V	ALTURA MÁXIMA (m)	Terrenos afectados
Desde PK	Hasta PK	Desde PK	Hasta PK						
30+890	30+920	3+850	3+880	30	Emboquille Túnel de Belate	Margen izquierdo y derecho	1:2	11	Arcillas brechoides (TBbr) y Calizas (TMc) del Muschelkalk
30+920	31+090	3+880	4+050	170	Explanada				Rellenos antrópicos, Arcillas brechoides (TBbr) y Calizas (TMc) del Muschelkalk
31+090	31+200	4+050	4+160	110	Terraplén		2:1		Calizas (TMc) del Muschelkalk Arcillas abigarradas (TMa) del Muschelkalk
31+200	31+280	4+160	4+240	80	Relleno lateral y pequeño retranqueo del talud Desmote D4	Margen izquierdo y margen derecho	1:2	8	Calizas (TMc) del Muschelkalk Arcillas abigarradas (TMa) del Muschelkalk
31+280	31+400	4+240	4+360	120	Desmote D5 en calzada existente	Margen derecho	1:2	6	Calizas (TMc) del Muschelkalk Arcillas abigarradas (TMa) del Muschelkalk
31+400	31+500	4+360	4+460	100	Desmote D6 en calzada existente	Margen derecho	1:2	38	Calizas (TMc) del Muschelkalk y localmente coluvión
31+500	31+560	4+460	4+520	60	Explanada				Calizas (TMc) del Muschelkalk y localmente coluvión
31+560	31+790	4+520	4+750	230	Desmote D7 en calzada existente	Margen derecho	1:2	36	Calizas (TMc) del Muschelkalk y localmente coluvión
31+790	31+860	4+750	4+820	70	Explanada				Calizas (TMc) del Muschelkalk y localmente coluvión
31+860	32+260	4+820	5+220	400	Desmote D8 en calzada existente	Margen derecho	1:2	25	Calizas (TMc) del Muschelkalk y localmente coluvión
32+260	32+360	5+220	5+320	100	Explanada				Calizas (TMc) del Muschelkalk, Arcillas abigarradas (TMa) del Muschelkalk, coluvión y terrenos del Keuper

Tabla 10.2.a.-Tramificación geotécnica desde el emboquille norte del Túnel de Belate II hasta el emboquille sur del Túnel de Almandoz II. (1 de 2).

PK N-121-A		PK DE TRAZADO		Longitud (m)	Tipología y estructura	TALUD	INCLINACIÓN DEL TALUD H:V	ALTURA MÁXIMA (m)	Terrenos afectados
Desde PK	Hasta PK	Desde PK	Hasta PK						
32+360	32+520	5+320	5+480	160	Relleno lateral	Margen derecho	1:2	10	Calizas (TMc) del Muschelkalk Brechas poligénicas (Tb) Ofitas (Tof)
32+520	32+580	5+480	5+540	60	Explanada				Ofitas (Tof)
32+580	32+630	5+540	5+590	50	Relleno lateral	Margen izquierdo	1:2		Ofitas (Tof) Coluvión ((Qcol)
32+630	32+850	5+590	5+810	220	Viaducto			22	Ofitas (Tof) Coluvión ((Qcol)
32+850	32+870	5+810	5+830	20	Explanada				Ofitas (Tof) Coluvión ((Qcol)
32+870	32+892	5+830	5+852	22	Emboquille Túnel de Almandoz		1:1	13	Ofitas (Tof) Coluvión ((Qcol)

Tabla 10.2.a.-Tramificación geotécnica desde el emboquille norte del Túnel de Belate II hasta el emboquille sur del Túnel de Almandoz II. (2 de 2).

Este tramo se caracteriza porque en vez ampliar la plataforma hacia el oeste actuando sobre las escolleras de pie de los rellenos con riesgo potencial de provocar desestabilizaciones no deseadas, se propone retranquear algunos de los taludes de la carretera actual existentes en roca y ampliar la plataforma hacia el Este. Esta propuesta requiere de situaciones o desvíos temporales para mantener el tráfico durante las obras.

También se ha previsto, sustituir un relleno en la proximidad del emboquille Sur del Túnel de Almandoz II por un viaducto.

A continuación se presentan las características de los desmontes previstos en esta zona.

10.2.1. Desmote D4

Se localiza entre los PP:KK 4+160 y 4+240, con un total de 80 m y una altura máxima de 8 m. La litología corresponde a calizas del Muschelkalk.

El desmote prepuesto consiste en el retranqueo de unos 3 a 4 m del talud actual en la margen derecha con una inclinación de 60° (1H:2V).

Localmente, en un tramo de unos 80 m se localizan arcillas abigarradas del Muschelkalk donde el talud actual aparece totalmente reforzado con piel de escollera en su parte inferior, muro bulonado en su parte media y varias pantallas dinámicas y varias cunetas de drenaje, en su parte superior.

Aunque actualmente el talud se manifiesta estable, en la fase de diseño se inspeccionaran detenidamente todos estos refuerzos con objeto de diseñar la ejecución del desmote sin provocar desestabilizaciones no deseadas.

10.2.2. Desmonte D5

Este desmonte, con una longitud de 120 m. se localiza en el margen derecho de la carretera actual, entre los PP.KK 4+240 a 4+360, en calizas del Muschelkalk.

El desmonte prepuesto, como en el caso anterior, consiste en el retranqueo, en este caso de unos 5 a 8 m del talud actual en la margen derecha con una inclinación de 60° (1H:2V).

10.2.3. Desmonte D6

El desmonte denominado como D6, se sitúa en la zona entre túneles, entre los PP.KK. 4+360 y 4+460 que totaliza una longitud de 100 m y tiene una altura máxima de 38 m.

Este desmonte, como los anteriores es un retranqueo de 5 a 8 m de la superficie actual, con una inclinación de 60° (1H:2V) construido sobre calizas de Muschelkalk.

10.2.4. Desmonte D7

El desmonte D7 se sitúa a continuación del anterior, entre los PP.KK. 4+520 y 4+750, que totaliza una longitud de 230 m y tiene una altura máxima de 36 m.

Como en los casos anteriores, este desmonte es un retranqueo de 5 a 8 m de la superficie actual, con una inclinación de 60° (1H:2V) construido sobre calizas de Muschelkalk .

10.2.5. Desmonte D8

Este desmonte, con una longitud de 400 m. se localiza en el margen derecho de la carretera actual, entre los PP.KK 4+820 a 5+220, en calizas del Muschelkalk y se ha previsto excavar hasta una altura de 25 m-

El desmonte prepuesto, como en casos anteriores, consiste en el retranqueo, de unos 5 a 8 m del talud actual de la margen derecha con una inclinación de 60° (1H:2V).

10.3. TRAMO NORTE DEL TÚNEL DE ALMANDOZ II HASTA EL FINAL DEL TRAZADO

En la **Tabla 10.3.a** se presenta las características y la solución prevista del trazado entre el Emboquille Norte del Túnel de Almandoz II y el Final del nuevo trazado, en concreto desde el PK 7+197 hasta el PK 7+650, en total 453 m.

A continuación se presentan las características de los desmontes previstos sen esta zona.

PK N-121-A		PK DE TRAZADO		Longitud (m)	Tipología y estructura	TALUD	INCLINACIÓN DEL TALUD H:V	ALTURA MÁXIMA (m)	Terrenos afectados
Desde PK	Hasta PK	Desde PK	Hasta PK						
34+237	34+320	7+197	7+280	83	Emboquille norte T.Almandoz		1:1	21	Calizas jurásicas Brechas poligénicas
34+320	34+500	7+280	7+460	180	Desmonte D9	Margen izquierdo	1:1	22	Calizas jurásicas Brechas poligénicas Ofitas (Tof)
34+500	34+690	7+460	7+650	190	Explanada				Ofitas (Tof)

Tabla 10.3.a.-Tramificación geotécnica desde el emboquille norte Túnel de Almandoz II hasta el final del trazado.

10.3.1. Desmonte D9

El desmonte denominado como D9, se sitúa después del emboquille norte del Túnel Almandoz II, entre los PP.KK. 7+280 y 7+460, que totaliza una longitud de 180 m y tiene una altura máxima de 22 m. En la margen izquierda se forma en ofitas alteradas en la base y brechas poligénicas en la cabecera y en la margen derecha ofitas, brechas y calizas jurásicas que se van perdiendo a medida que crecen los PP.KK.

El análisis realizado para este desmonte concluye que es estable para una inclinación de 1H:1V.

10.4. RIESGOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS EN LOS TRAMOS A CIELO ABIERTO.

El nuevo trazado, en los tramos a cielo abierto, es adyacente al actual y las zonas con potencial riesgo geológico-geotécnico son comunes a ambos trazados.

Desde la etapa de construcción hasta la actualidad se han registrado inestabilidades con deslizamiento de material en zonas asociadas a la presencia de terrenos de baja calidad geotécnica, en concreto:

- **PK 27+550, lateral izquierdo**, deslizamiento de terreno en abril de 2013.
- **Talud derecho en la boca norte de Túnel de Belate**, deslizamiento de terreno en fase de ejecución.
- **Talud derecho en la boca de Norte del Túnel de Almandoz**, deslizamiento de terreno en enero de 2012.

Dado que estas zonas han sido tratadas y actualmente están estabilizadas, el nuevo trazado las evita y discurre adyacente a la parte externa de la calzada actual.

Otro de los riesgos que presenta esta zona es la posible desestabilización de la escollera existente en el pie de algunos de los rellenos que conforman la calzada actual.

En estos casos, el nuevo trazado se desplaza hacia el interior del macizo, evitando movilizar las escolleras pero es necesario retranquear algunos de los taludes en roca de la calzada actual.

11. CONCLUSIONES

Para redactar este Anejo se ha tenido en cuenta la información geotécnica e hidrogeológica existente sobre los Túneles de Belate y Almandoz ya construidos, la obtenida en el Estudio de Alternativas y en el Estudio Geotécnico para la duplicación, así como los resultados de la revisión de la cartografía y de los ensayos de laboratorio realizados por Geocontrol-Sertecna.

La zona de estudio se sitúa en el Pirineo Occidental, en el sector septentrional navarro, en la confluencia entre las elevaciones pirenaicas del Macizo Quinto Real y la comarca de La Ultzama. Es una zona de altos contrastes altimétricos, en la que el puerto de Belate constituye una barrera hidrológica cuya vertiente Sur, de relieves suaves, corresponde a cuenca del río Ultzama, que pertenece a la vertiente mediterránea; y la vertiente Norte, más abrupta, corresponde a la cuenca del río Bidasoa.

El nuevo trazado para la duplicación de los Túneles de Belate y Almandoz, con una longitud de 7.650m, es adyacente al existente, separado entre ejes en los tramos de túnel entre 30 y 100 m y por ello los terrenos por los que discurre son los mismos que los de la calzada actual, que son los siguientes:

- Pizarras negras paleozoicas (Pz).
- Pelitas rojas del Permotrias (Pt).
- Conglomerados del Buntsantein (TBcg).
- Areniscas del Bundsantein (TBsl).
- Limolitas del Bundsantein (TBl).
- Arcillas brechoides del Bundsantein (TBbr).
- Calizas del Muschelkalk y arcillas abigarradas (TMc y TMa).
- Arcillas abigarradas del Keuper (Ty).
- Ofitas (Tof).
- Brechas poligénicas (Tb).
- Calizas y dolomías del Jurásico (Jc).
- Margas negruzcas del Cretácico Inferior (Cm).
- Arcillas, areniscas y pizarras del Cretácico Inferior (Cs).
- Alteraciones residuales de los materiales anteriores.
- Cuaternarios: coluviales (Qco), aluviales (Qal) y rellenos antrópicos (Qr).

Desde el punto de vista tectónico, sobre el trazado se identifican cabalgamientos de la orogenia alpina de dirección NE-SO y dos sistemas principales de fracturación tardihercínica, de dirección NE-SO y NO-SE; que han producido numerosas fallas en las zonas donde se ubican los túneles.

Los materiales que atraviesan los túneles son impermeables con porosidad secundaria por fracturación e hidrogeológicamente homogéneos en cuanto a su comportamiento. La permeabilidad se incrementará en función del grado de fracturación en las zonas de falla y hacía la superficie o menor montera, donde las

fracturas se encuentran más abiertas. En la boca norte del Túnel de Belate I, los colectores de drenaje vierten un caudal de 6 a 8 l/s.

Tras analizar los resultados de los ensayos disponibles y de los realizados por Geocontrol-Sertecna se ha llegado a la conclusión que los materiales rocosos están razonablemente caracterizados excepto las pizarras y las pelitas rojas del Permotrias pues no se pueden obtener testigos para hacer ensayos de laboratorio de los terrenos menos resistentes.

En la **Tabla 11.a** se presentan las propiedades de los litotipos que se excavarán para duplicar los Túneles de Belate y Almandoz y en la **Tabla 11.b** las propiedades de los terrenos tipo suelos presentes en los tramos a cielo abierto inicial, entre túneles y final de trazado

LITOTIPO	CÓDIGO	DENSIDAD (kN/m³)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (MPa)	m _i
Pizarras Negras	Pz	27,52	Resultados no representativos	
Pelitas Rojas	Pt	27,99	Resultados no representativos	
Conglomerado	TBcg	27,72	45,3	12,3
Arenisca	TBsl	26,53	105,8	10,7
Limolitas	TBl	27,37	32,5	14
Argilitas brechoides	TBbr	23,10	2,1	6,9
Calizas	TMc	25,98	47,7	10,3
Ofitas	Tof	29,30	105	9,5
Brechas Poligénicas	Tb	24,00	7,9	18,0
Calizas jurásicas	Jc	24,05	19,40	18,5

Tabla 11.a.- Propiedades mecánicas de los litotipos presentes en los Túneles de Belate II y Almandoz II.

UNIDAD LITOLOGICA	CÓDIGO	ENSAYOS DE IDENTIFICACIÓN Y ESTADO							PARÁMETROS DE RESISTENCIA INTRÍNSECA	
		DENSIDAD NATURAL (kN/m³)	GRANULOMETRÍA			LÍMITES DE ATTERBERG				
			GRAVAS (%)	ARENAS (%)	FINOS (%)	L.L	LP	I.P	FRICCIÓN (º)	COHESIÓN (kp/cm²)
Argilitas brechoides alteradas	TBbr	29,75	36,2	33,3	25,9	19,4	6,9	1,6	34º	0,41
Argilitas abigarradas alteradas	TMa	22,65	35,9	28,1	38,8	22,0	17,0	5,0	38	0,28
Brechas poligénicas	TB	21,49	10,5	32,6	56,9	26,1	20,3	6,1	25	0,41
Arcillas Keuper	Ty	18,90	6	16	79	26	20	7	17,70	0,17
Coluvión	Qco	18,35	52	24	30	28	21	7	33,00	0,20

Tabla 11.b.- Propiedades de los terrenos de alteración de los litotipos y de coluvi3n, considerados geotécnicamente como suelos.

En la campaña complementaria de reconocimientos que se realizará durante la redacción del Proyecto de Construcción se realizarán ensayos presiométricos in situ, que permitirán caracterizar las Pizarras Negras menos resistentes y las Pelitas Rojas del Permotrías.

Los principales riesgos geológico-geotécnicos están asociados a potenciales inestabilidades en el frente de avance de los túneles y en los taludes de los emboquilles en presencia de terrenos de peor calidad geotécnica, en concreto: argilitas brechoides, brechas poligénicas y zonas de falla; y, al registro de convergencias altas en las zonas de pizarras y pelitas en el actual Túnel de Belate en zonas con recubrimiento superior a 200 m.

El análisis realizado sobre la posibilidad de la ocurrencia de una rotura circular en los taludes de los emboquilles concluye que los taludes de los emboquilles sur y norte del Túnel de Belate II superan el coeficiente de seguridad para cada situación provisional, definitiva y accidental, con una inclinación de 1H:2V; por otra parte, los emboquilles del Túnel de Almandoz II tienen un talud proyectado con una inclinación de 1H:1V.

En el tramo entre túneles, en vez ampliar la plataforma para alojar el nuevo carril paralelo al actual que requiere actuar sobre las escolleras de pie de los rellenos con riesgo potencial de provocar desestabilizaciones no deseadas, se propone retranquear algunos de los taludes existentes en roca de la carretera actual y ampliar la plataforma hacia el Este. Esta propuesta requiere de situaciones o desvíos temporales para mantener el tráfico durante las obras; en estos casos la inclinación de los nuevos taludes sería la misma que actualmente tienen, 1H:2V.

PLANOS

PLANO 1.- PLANTA GEOLÓGICA – UBICACIÓN DE PROSPECCIONES

LITOLOGÍA

R

RELLENOS COMPACTADOS

CUATERNARIO

ALUVIALES

COLUVIALES

CRETÁCICO INFERIOR

Cs

ARCILLAS, ARENISCAS Y PIZARRAS

Cm

MARGAS NEGRUZCAS CON INTERCALACIONES CALCAREAS

JURÁSICO INTERMEDIO

Jc

CALIZA

TRIÁSICO KEUPER

Ty

ARCILLAS YESIFERAS

Tof

OFITAS

Tb

BRECHAS POLIGÉNICAS

TRIÁSICO MUSCHELKALK

TMa

ARCILLAS ABIGARRADAS

TMc

CALIZAS

TRIÁSICO BUNTSANDSTEIN

TBbr

ARGILITAS BRECHOIDES

TBl

LIMOLITAS

TBsl

ARENISCAS Y LUTITAS ROJAS

TBcg

CONGLOMERADOS

PERMOTRIAS

Pt

PELITAS ROJAS

PALEOZOICO

Pz

PIZARRAS

LEYENDA

EGM-1

ESTACIONES GEOMECÁNICAS

P-1

ENSAYOS DE PENETROS DINÁMICOS DPSH

C-1

CALICATA

S-1

SONDEOS SERINKO 2018

S-A/S-T

SONDEOS EURO ESTUDIOS PARA EL "PROYECTO CONSTRUCTIVO DEL PUERTO DE BELATE TRAMO: VENTAS DE ARRAIZ-ZOZAIA". 1990.

CABALGAMIENTO

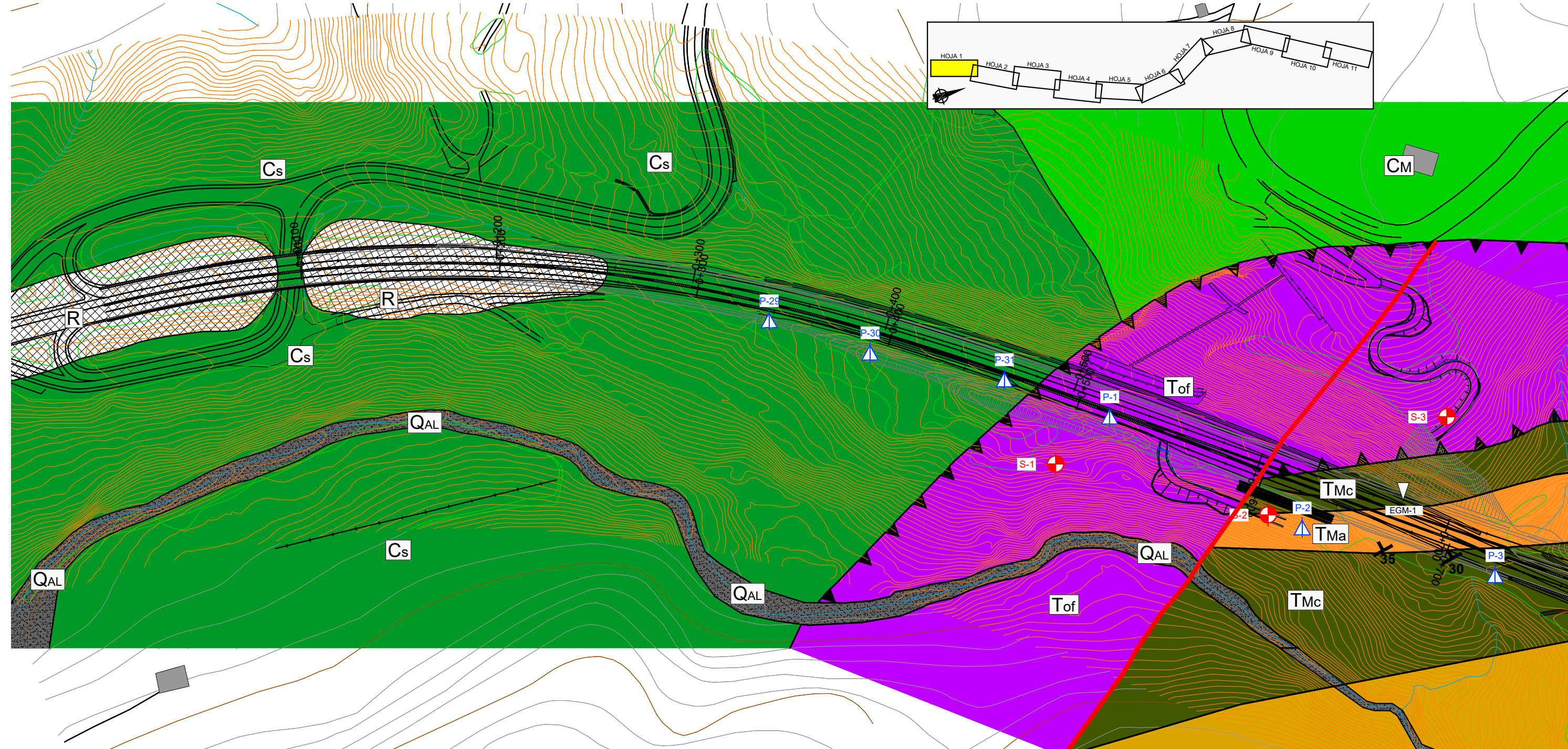
FALLA SUPERPUESTA

FALLA CON INDICACIÓN DE BUZAMIENTO

INDICACIÓN DE DIRECCIÓN Y BUZAMIENTO

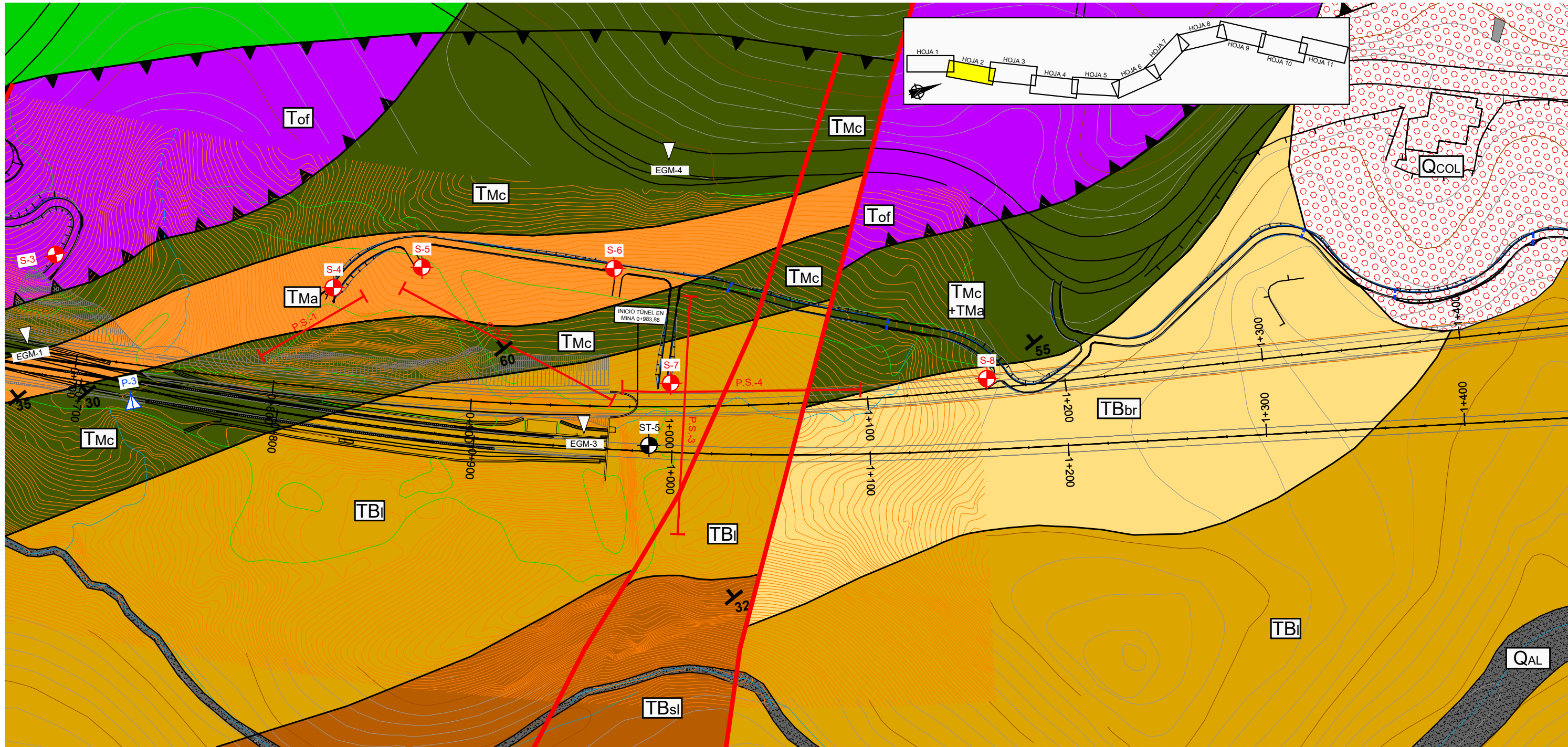
P.S.-13

PERFILES SISMICOS



NOTA:
LAS CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO SOLO SE CONOCEN EN LOS PUNTOS ESTUDIADOS, EL RESTO ES UNA INTERPRETACIÓN RAZONADA, BASADA EN LOS DATOS DISPONIBLES

LITOLOGÍA		LEYENDA	
	RELLENOS COMPACTADOS		ESTACIONES GEOMECÁNICAS
CUATERNARIO			ENSAYOS DE PENETROS DINÁMICOS DPSH
	ALUVIALES		CALICATA
	COLUVIALES		SONDEOS SERINKO 2018
CRETÁCICO INFERIOR			SONDEOS EURO ESTUDIOS PARA EL "PROYECTO CONSTRUCTIVO DEL PUERTO DE BELATE TRAMO VENTAS DE ARRAIZ-ZOZAIA". 1990.
	ARCILLAS, ARENISCAS Y PIZARRAS		S-A/S-T
	MARGAS NEGRUZCAS CON INTERCALACIONES CALCÁREAS		CABALGAMIENTO
JURÁSICO INTERMEDIO			FALLA SUPERPUESTA
	CALIZA		FALLA CON INDICACIÓN DE BUZAMIENTO
TRIÁSICO KEUPER			INDICACIÓN DE DIRECCIÓN Y BUZAMIENTO
	ARCILLAS YESIFERAS		P.S.-13
	OFITAS		P.S.-13
	BRECHAS POLIGÉNICAS		PERFILES SÍSMICOS
TRIÁSICO MUSCHELKALK			
	ARCILLAS ABIGARRADAS		
	CALIZAS		
TRIÁSICO BUNTSANDSTEIN			
	ARGILITAS BRECHOIDES		
	LIMOLITAS		
	ARENISCAS Y LUTITAS ROJAS		
	CONGLOMERADOS		
PERMOTRIAS			
	PELITAS ROJAS		
PALEOZOICO			
	PIZARRAS		



NOTA:
LAS CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO SOLO SE
CONOCEN EN LOS PUNTOS ESTUDIADOS, EL
RESTO ES UNA INTERPRETACIÓN RAZONADA,
BASADA EN LOS DATOS DISPONIBLES

LITOLOGIA

RELLENOS COMPACTADOS

R

CUATERNARIO

ALUVIALES

QAL

COLUMVIALES

QCOL

CRETÁCICO INFERIOR

ARCILLAS, ARENISCAS Y PIZARRAS

Cs

MARGAS NEGRUZZAS CON INTERCALACIONES CALCAREAS

Cm

JURÁSICO INTERMEDIO

CALIZA

Jc

TRIÁSICO KEUPER

ARCILLAS YESIFERAS

Ty

OFITAS

Tof

BRECHAS POLIGÉNICAS

Tb

TRIÁSICO MUSCHELKALK

ARCILLAS ABIGARRADAS

TMa

CALIZAS

TMc

TRIÁSICO BUNTSANDSTEIN

ARGILITAS BRECHOIDES

TBbr

LIMOLITAS

TBl

ARENISCAS Y LUTITAS ROJAS

TBsl

CONGLOMERADOS

TBcg

PERMOTRIAS

PELITAS ROJAS

Pt

PALEOZOICO

PIZARRAS

Pz

LEYENDA

EGM-1

ESTACIONES GEOMECÁNICAS

P-1

ENSAYOS DE PENETROS DINÁMICOS DPSH

C-1

CALICATA

S-1

SONDEOS SERINKO 2018

S-A/S-T

SONDEOS EURO ESTUDIOS PARA EL "PROYECTO CONSTRUCTIVO DEL PUERTO DE BELATE TRAMO VENTAS DE ARRAIZ-ZOZAIA". 1990.

CABALGAMIENTO

FALLA SUPERPUESTA

FALLA CON INDICACIÓN DE BUZAMIENTO

INDICACIÓN DE DIRECCIÓN Y BUZAMIENTO

P.S.-13

PERFILES SÍSMICOS

NOTA:
LAS CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO SOLO SE CONOCEN EN LOS PUNTOS ESTUDIADOS, EL RESTO ES UNA INTERPRETACIÓN RAZONADA, BASADA EN LOS DATOS DISPONIBLES

The geological map displays a cross-section of the terrain with various geological units labeled: TBsl (Areniscas y lutitas rojas), QCOL (Columviales), QAL (Aluviales), TBcg (Conglomerados), TBl (Limolitas), and Pz (Pizarras). The map also shows a road with a tunnel section, and various engineering points marked with symbols like S-9, S-10, ST-6, ST-1, EGM-5, and EGM-6. A scale bar indicates distances up to 20m. A legend in the top left corner defines the symbols and units used. A note in the top right corner states that the terrain characteristics are based on available data and are a reasoned interpretation.

Gobierno de Navarra
Departamento de
Cohesión territorial

**DIRECCIÓN GENERAL DE OBRAS PÚBLICAS
E INFRAESTRUCTURAS**

Servicio de Estudios y Proyectos

sertecna
Proyectos, Estudios y Servicios
Técnicos de Navarra, S.A.

EL AUTOR DEL PROYECTO:

Mario Fernández Pérez
Ing. Caminos, CC. y PP.

Ignacio Sainz de los Terreros
Ing. Caminos, CC. y PP.

PROYECTO DE TRAZADO:

**DUPLICACIÓN DE LOS TÚNELES DE BELATE Y ALMANDOZ
EN LA CARRETERA N-121-A**

ESCALAS:

DIN A1: 1:500
DIN A3: 1:1.000
Gráfica: 0 5 10 15 20m

DESIGNACIÓN DEL PLANO:

**GEOLÓGIA Y GEOTECNIA
PLANTA GEOLÓGICA
UBICACIÓN DE PROSPECCIONES**

FECHA:

ABRIL 2021

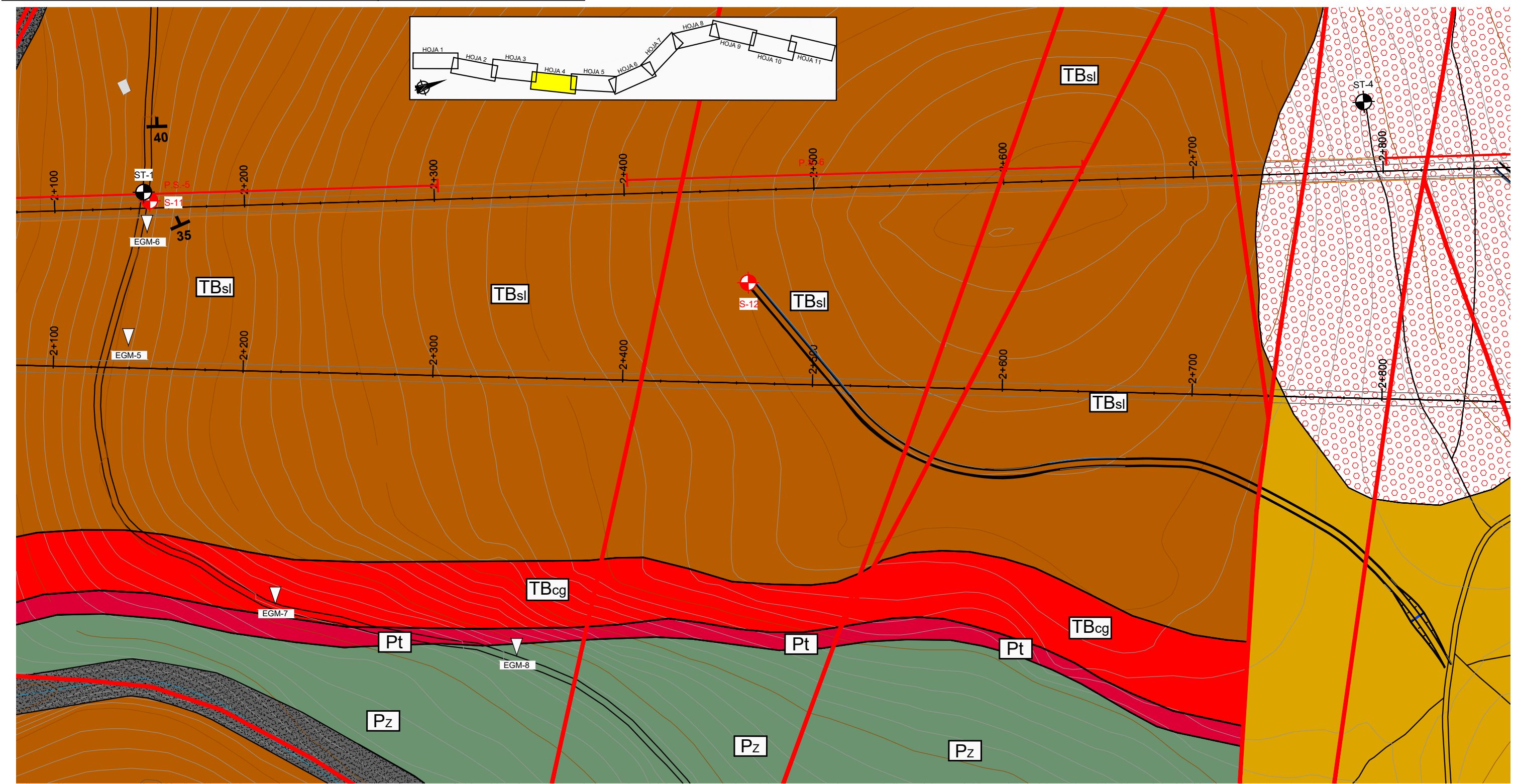
PLANO:

A3-1

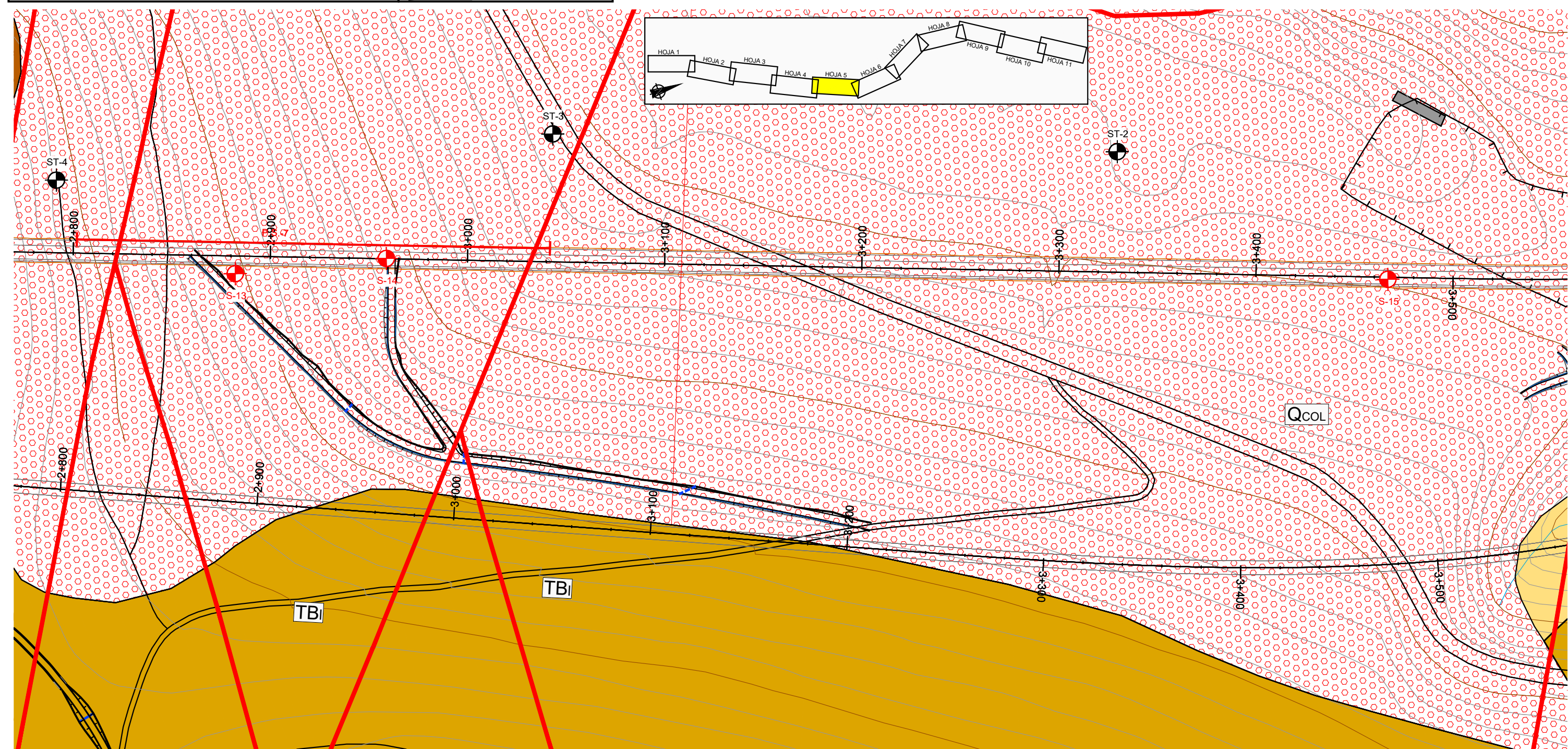
HOJA 3 DE 11

LITOLOGIA		LEYENDA	
	RELLENOS COMPACTADOS		ESTACIONES GEOMECANICAS
CUATERNARIO			ENSAYOS DE PENETROS DINAMICOS DPSH
	ALUVIALES		CALICATA
	COLUVIALES		SONDEOS SERINKO 2018
CRETACICO INFERIOR			SONDEOS EURO ESTUDIOS PARA EL "PROYECTO CONSTRUCTIVO DEL PUERTO DE BELATE TRAMO: VENTAS DE ARRAIZ-ZOZAIA". 1990.
	ARCILLAS, ARENISCAS Y PIZARRAS		CABALGAMIENTO
	MARGAS NEGRUZCAS CON INTERCALACIONES CALCAREAS		FALLA SUPERPUESTA
JURASICO INTERMEDIO			FALLA CON INDICACIÓN DE BUZAMIENTO
	CALIZA		INDICACIÓN DE DIRECCIÓN Y BUZAMIENTO
TRIASICO KEUPER			PERFILES SISMICOS
	ARCILLAS YESIFERAS		
	OFITAS		
	BRECHAS POLIGENICAS		
TRIASICO MUSCHELKALK			
	ARCILLAS ABIGARRADAS		
	CALIZAS		
TRIASICO BUNTSANDSTEIN			
	ARGILITAS BRECHOIDES		
	LIMOLITAS		
	ARENISCAS Y LUTITAS ROJAS		
	CONGLOMERADOS		
PERMOTRIAS			
	PELITAS ROJAS		
PALEOZOICO			
	PIZARRAS		

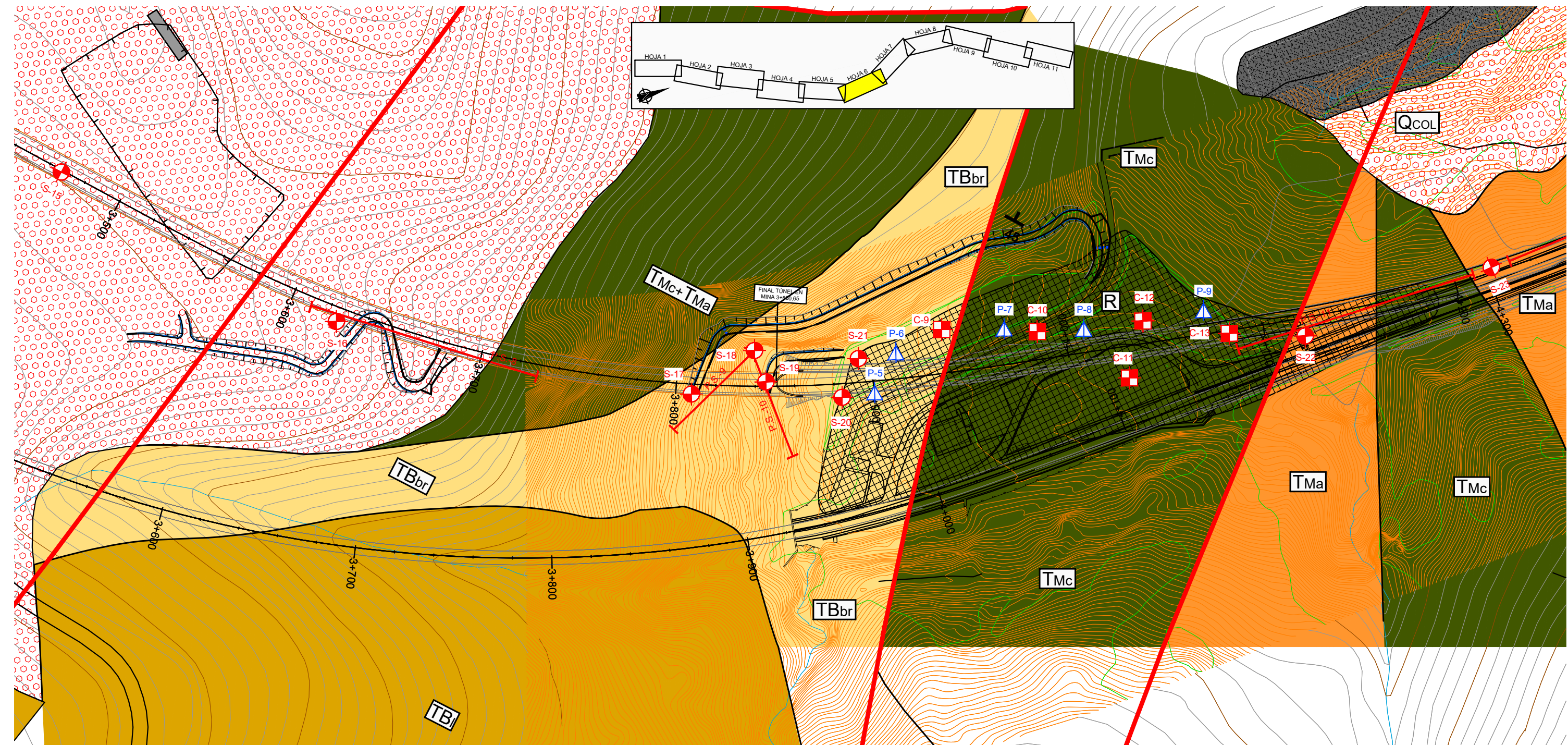
NOTA:
LAS CARACTERISTICAS DEL TERRENO SOLO SE CONOCEN EN LOS PUNTOS ESTUDIADOS, EL RESTO ES UNA INTERPRETACIÓN RAZONADA, BASADA EN LOS DATOS DISPONIBLES



LITOLOGÍA		LEYENDA	
	RELLENOS COMPACTADOS		ESTACIONES GEOMECÁNICAS
CUATERNARIO			ENSAYOS DE PENETROS DINÁMICOS DPSH
	ALUVIALES		CALICATA
	COLUVIALES		SONDEOS SERINKO 2018
CRETÁCICO INFERIOR			SONDEOS EURO ESTUDIOS PARA EL "PROYECTO CONSTRUCTIVO DEL PUERTO DE BELATE TRAMO: VENTAS DE ARRAIZ-ZOZAIA". 1990.
	ARCILLAS, ARENISCAS Y PIZARRAS		CABALGIEMIENTO
	MARGAS NEGRUZCAS CON INTERCALACIONES CALCÁREAS		FALLA SUPERPUESTA
JURÁSICO INTERMEDIO			FALLA CON INDICACIÓN DE BUZAMIENTO
	CALIZA		INDICACIÓN DE DIRECCIÓN Y BUZAMIENTO
TRIÁSICO KEUPER			PERFILES SÍSMICOS
	ARCILLAS YESIFERAS		
	OFITAS		
	BRECHAS POLIGÉNICAS		
TRIÁSICO MUSCHELKALK			
	ARCILLAS ABIGARRADAS		
	CALIZAS		
TRIÁSICO BUNTSANDSTEIN			
	ARGILITAS BRECHOIDES		
	LIMOLITAS		
	ARENISCAS Y LUTITAS ROJAS		
	CONGLOMERADOS		
PERMOTRIAS			
	PELITAS ROJAS		
PALEOZOICO			
	PIZARRAS		

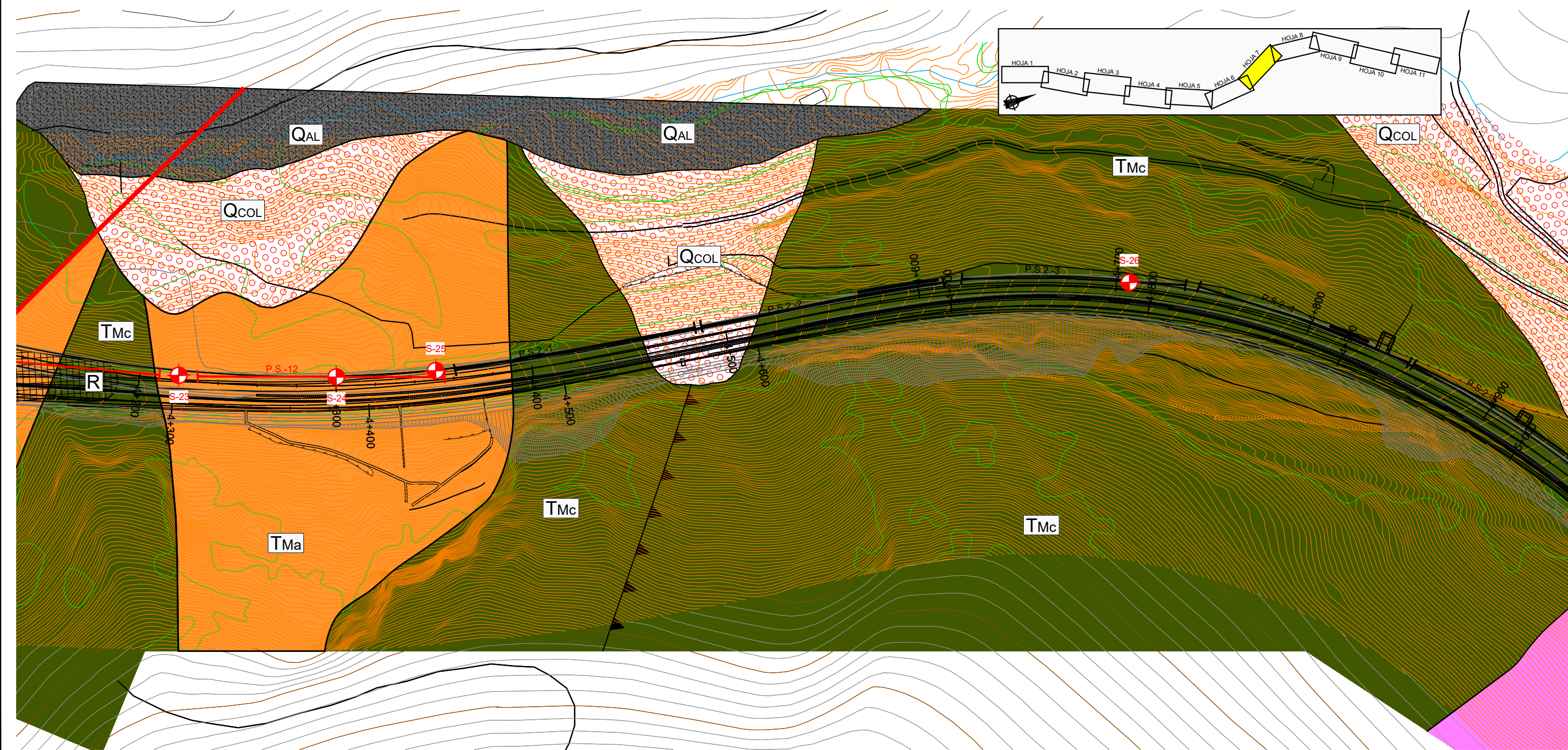


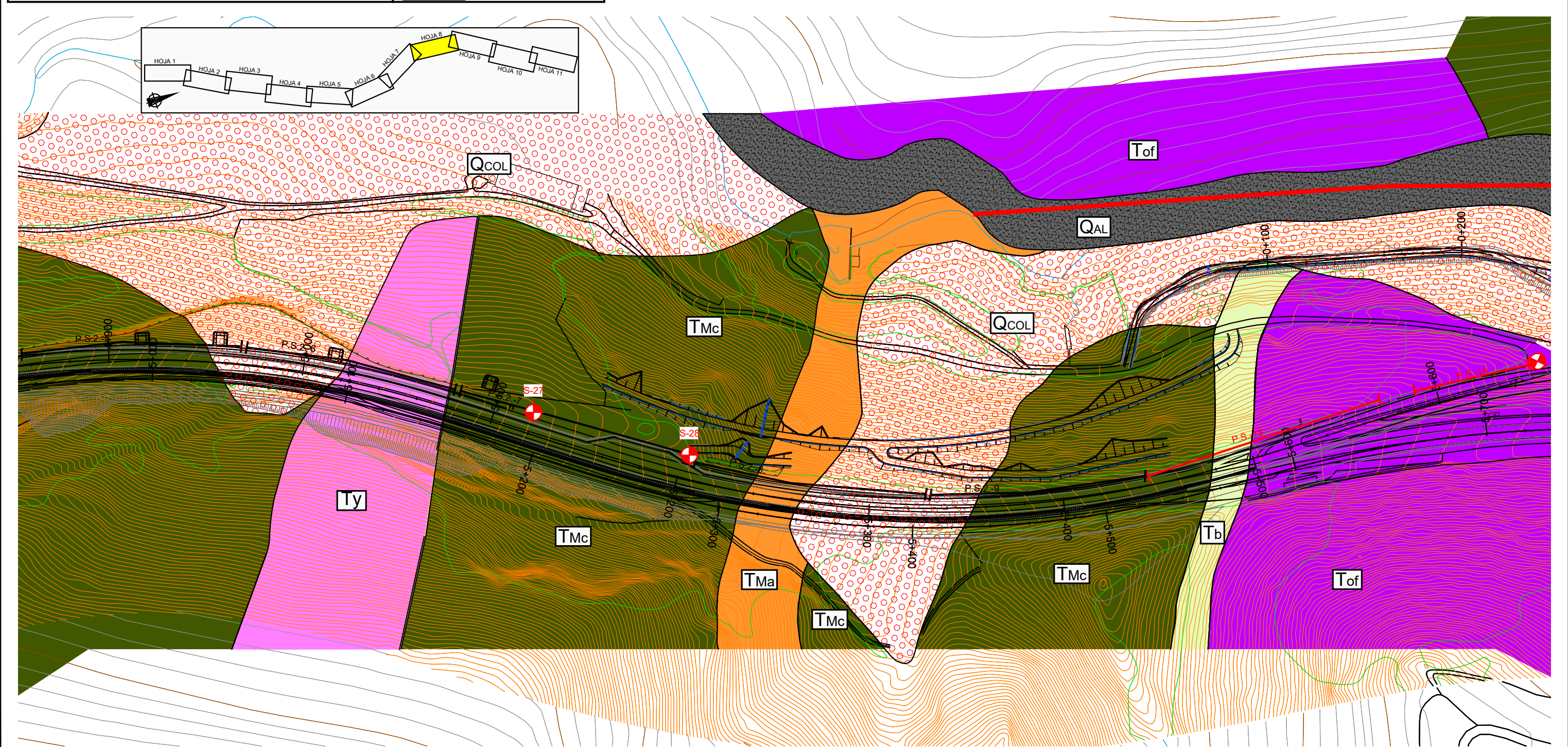
LITOLOGÍA		LEYENDA	
	RELLENOS COMPACTADOS		ESTACIONES GEOMECÁNICAS
CUATERNARIO			ENSAYOS DE PENETROS DINÁMICOS DPSH
	ALUVIALES		CALICATA
	COLUVIALES		SONDEOS SERINKO 2018
CRETÁCICO INFERIOR			SONDEOS EURO ESTUDIOS PARA EL "PROYECTO CONSTRUCTIVO DEL PUERTO DE BELATE TRAMO: VENTAS DE ARRAIZ-ZOZAIA". 1990.
	ARCILLAS, ARENISCAS Y PIZARRAS		CABALGAMIENTO
	MARGAS NEGRUZCAS CON INTERCALACIONES CALCÁREAS		FALLA SUPERPUESTA
JURÁSICO INTERMEDIO			FALLA CON INDICACIÓN DE BUZAMIENTO
	CALIZA		INDICACIÓN DE DIRECCIÓN Y BUZAMIENTO
TRIÁSICO KEUPER			PERFILES SÍSMICOS
	ARCILLAS YESIFERAS		
	OFITAS		
	BRECHAS POLIGÉNICAS		
TRIÁSICO MUSCHELKALK			
	ARCILLAS ABIGARRADAS		
	CALIZAS		
TRIÁSICO BUNTSANDSTEIN			
	ARGILITAS BRECHOIDES		
	LIMOLITAS		
	ARENISCAS Y LUTITAS ROJAS		
	CONGLOMERADOS		
PERMOTRIAS			
	PELITAS ROJAS		
PALEOZOICO			
	PIZARRAS		



NOTA:
LAS CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO SOLO SE
CONOCEN EN LOS PUNTOS ESTUDIADOS, EL
RESTO ES UNA INTERPRETACIÓN RAZONADA,
BASADA EN LOS DATOS DISPONIBLES

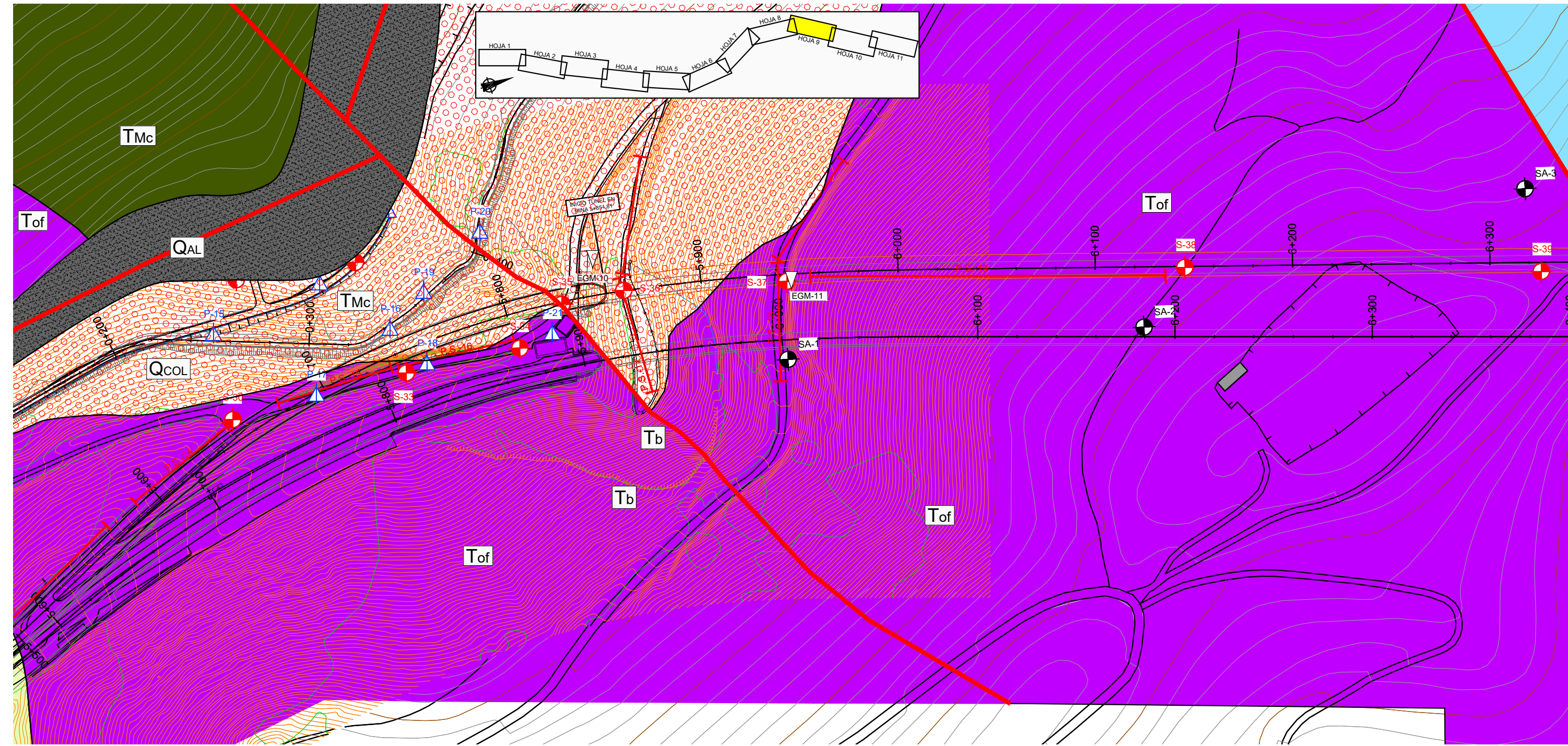
LITOLOGÍA		LEYENDA	
	RELLENOS COMPACTADOS		ESTACIONES GEOMECÁNICAS
CUATERNARIO			ENSAYOS DE PENETROS DINÁMICOS DPSH
	ALUVIALES		CALICATA
	COLUVIALES		SONDEOS SERINKO 2018
CRETÁCICO INFERIOR			SONDEOS EURO ESTUDIOS PARA EL "PROYECTO CONSTRUCTIVO DEL PUERTO DE BELATE TRAMO VENTAS DE ARRAIZ-ZOZAIA". 1990.
	ARCILLAS, ARENISCAS Y PIZARRAS		CABALGAMIENTO
	MARGAS NEGRUZCAS CON INTERCALACIONES CALCAREAS		FALLA SUPERPUERTA
JURÁSICO INTERMEDIO			FALLA CON INDICACIÓN DE BUZAMIENTO
	CALIZA		INDICACIÓN DE DIRECCIÓN Y BUZAMIENTO
TRIÁSICO KEUPER			PERFILES SÍSMICOS
	ARCILLAS YESIFERAS		
	OFITAS		
	BRECHAS POLIGÉNICAS		
TRIÁSICO MUSCHELKALK			
	ARCILLAS ABIGARRADAS		
	CALIZAS		
TRIÁSICO BUNTSANDSTEIN			
	ARGILITAS BRECHOIDES		
	LIMOLITAS		
	ARENISCAS Y LUTITAS ROJAS		
	CONGLOMERADOS		
PERMOTRIAS			
	PELITAS ROJAS		
PALEOZOICO			
	PIZARRAS		





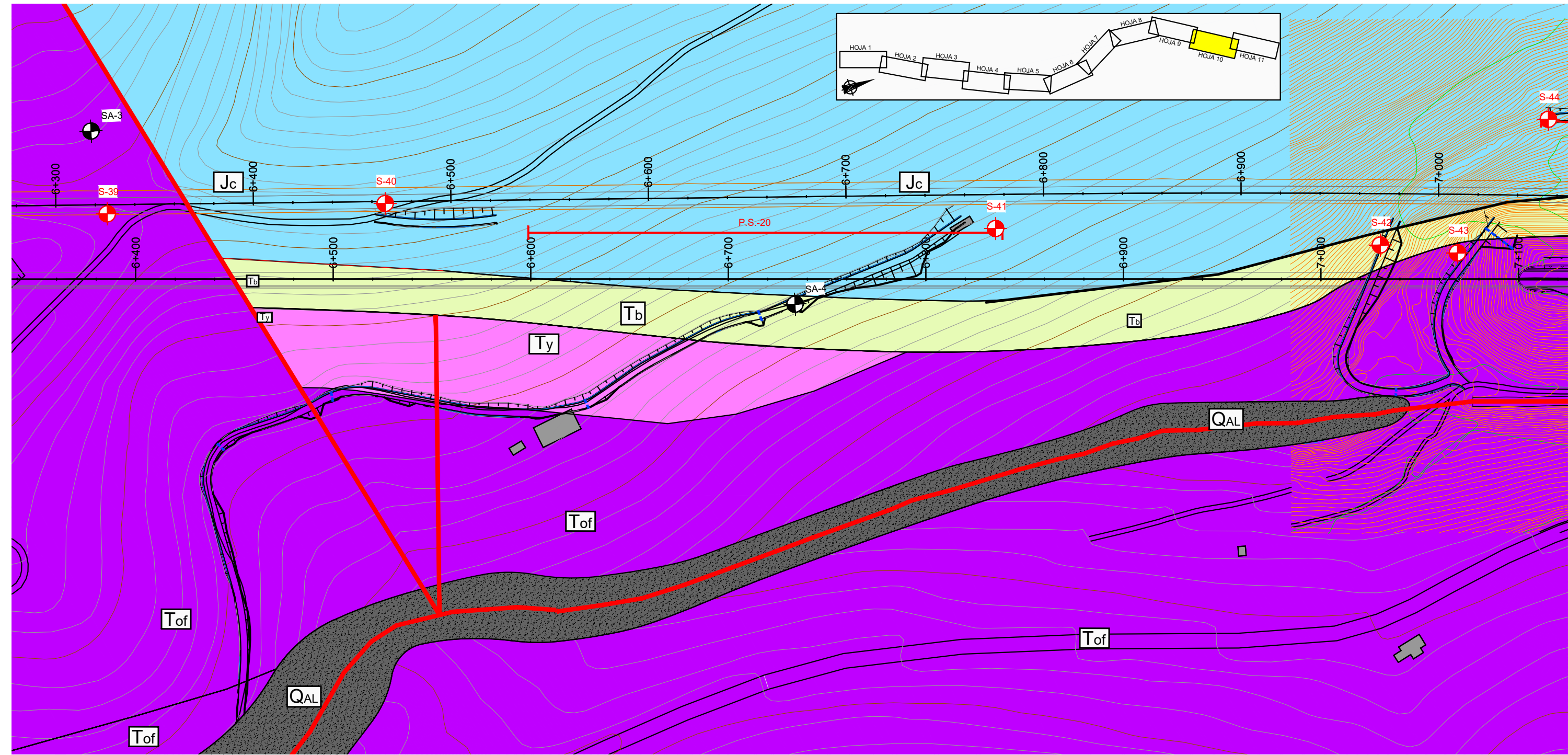
 Gobierno de Navarra Departamento de Cohesión territorial	DIRECCIÓN GENERAL DE OBRAS PÚBLICAS E INFRAESTRUCTURAS	 sertecna Proyectos, Estudios y Servicios Técnicos de Navarra, S.A.	EL AUTOR DEL PROYECTO:  Mario Fernández Pérez Ing. Caminos, CC. y PP.	 Ignacio Sainz de los Terreros Ing. Caminos, CC. y PP.	PROYECTO DE TRAZADO: DUPLICACIÓN DE LOS TÚNELES DE BELATE Y ALMANDOZ EN LA CARRETERA N-121-A	ESCALAS: DIN A1: 1:500 DIN A3: 1:1.000 Gráfica: 	DESIGNACIÓN DEL PLANO: GEOLOGÍA Y GEOTECNIA PLANTA GEOLÓGICA UBICACIÓN DE PROSPECCIONES	FECHA: ABRIL 2021	PLANO: A3-1
	Servicio de Estudios y Proyectos								HOJA 8 DE 11

LITOLOGÍA		LEYENDA	
 RELLENOS COMPACTADOS		 ESTACIONES GEOMECÁNICAS	
CUATERNARIO		 ENSAYOS DE PENETROS DINÁMICOS DPSH	
 ALUVIALES	TRIÁSICO MUSCHELKALK	 CALICATA	
 COLUVIALES	 ARCILLAS ABIGARRADAS	 SONDEOS SERINKO 2018	
CRETÁCICO INFERIOR	 CALIZAS	 SONDEOS EURO ESTUDIOS PARA EL "PROYECTO CONSTRUCTIVO DEL PUERTO DE BELATE TRAMO-VENTAS DE ARRAIZ-ZOZAIA". 1990.	
 ARCILLAS, ARENISCAS Y PIZARRAS	TRIÁSICO BUNTSANDSTEIN	 CABALGAMIENTO	
 MARGAS NEGRUZCAS CON INTERCALACIONES CALCÁREAS	 ARGILITAS BRECHOIDES	 FALLA SUPERPUESTA	
JURÁSICO INTERMEDIO	 LIMOLITAS	 FALLA CON INDICACIÓN DE BUZAMIENTO	
 CALIZA	 ARENISCAS Y LUTITAS ROJAS	 INDICACIÓN DE DIRECCIÓN Y BUZAMIENTO	
TRIÁSICO KEUPER	 CONGLOMERADOS	 PERFILES SÍSMICOS	
 ARCILLAS YESIFERAS	PERMOTRIAS		
 OFITAS	 PELITAS ROJAS		
 BRECHAS POLIGÉNICAS	PALEOZOICO		
	 PIZARRAS		



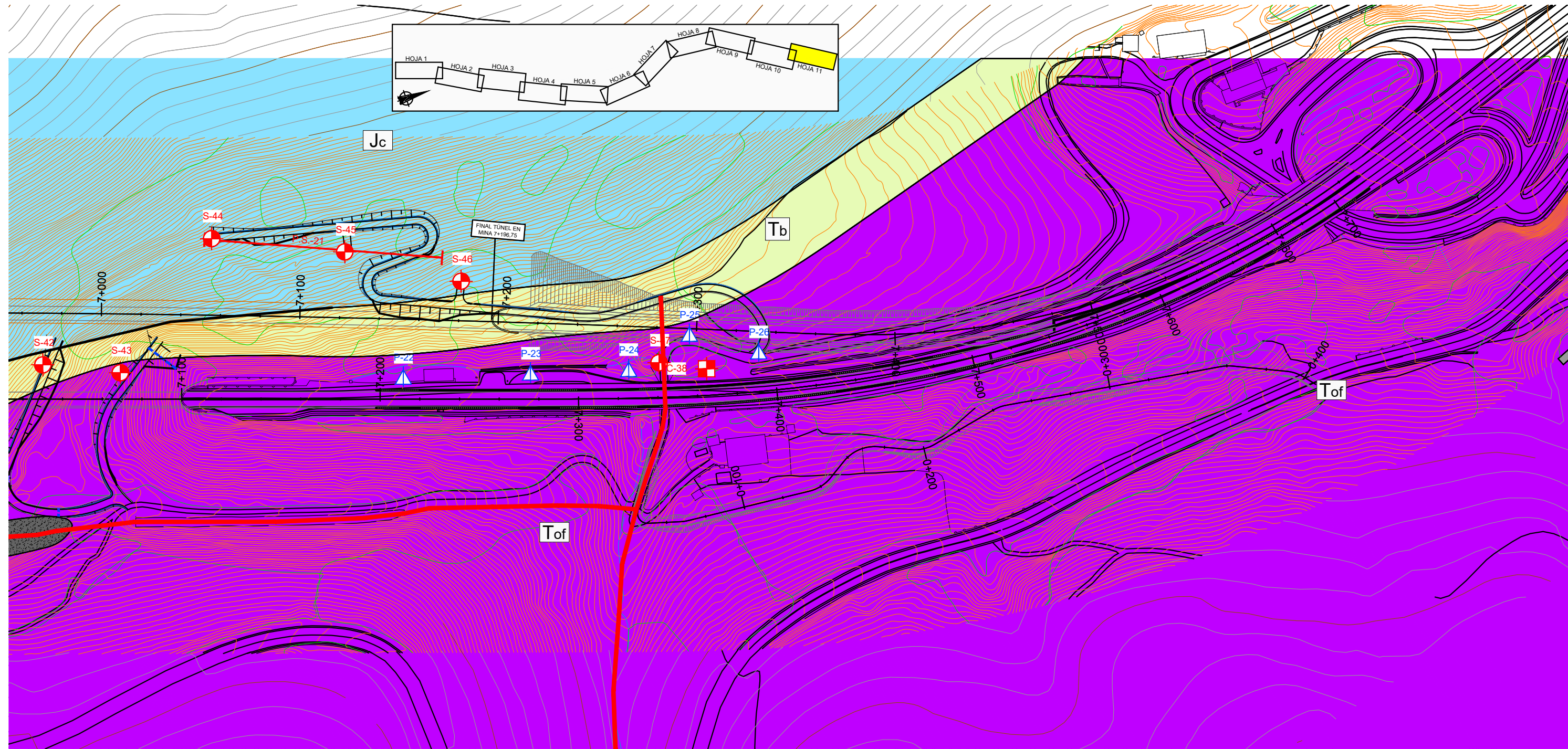
NOTA:
LAS CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO SOLO SE
CONOCEN EN LOS PUNTOS ESTUDIADOS, EL
RESTO ES UNA INTERPRETACIÓN RAZONADA,
BASADA EN LOS DATOS DISPONIBLES

LITOLOGÍA		LEYENDA	
	RELLENOS COMPACTADOS		ESTACIONES GEOMECÁNICAS
CUATERNARIO			ENSAYOS DE PENETROS DINÁMICOS DPSH
	ALUVIALES		CALICATA
	COLUVIALES		SONDEOS SERINKO 2018
CRETÁCICO INFERIOR			SONDEOS EURO ESTUDIOS PARA EL "PROYECTO CONSTRUCTIVO DEL PUERTO DE BELATE TRAMO VENTAS DE ARRAIZ-ZOZAIA". 1990.
	ARCILLAS, ARENISCAS Y PIZARRAS		CABALGAMIENTO
	MARGAS NEGRUZCAS CON INTERCALACIONES CALCÁREAS		FALLA SUPERPUESTA
JURÁSICO INTERMEDIO			FALLA CON INDICACIÓN DE BUZAMIENTO
	CALIZA		INDICACIÓN DE DIRECCIÓN Y BUZAMIENTO
TRIÁSICO KEUPER			PERFILES SÍSMICOS
	ARCILLAS YESÍFERAS		
	OFITAS		
	BRECHAS POLIGÉNICAS		
TRIÁSICO MUSCHELKALK			
	ARCILLAS ABIGARRADAS		
	CALIZAS		
TRIÁSICO BUNTSANDSTEIN			
	ARGELITAS BRECHOIDES		
	LIMOLITAS		
	ARENISCAS Y LUTITAS ROJAS		
	CONGLOMERADOS		
PERMOTRIAS			
	PELITAS ROJAS		
PALEOZOICO			
	PIZARRAS		



NOTA:
LAS CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO SOLO SE
CONOCEN EN LOS PUNTOS ESTUDIADOS, EL
RESTO ES UNA INTERPRETACIÓN RAZONADA,
BASADA EN LOS DATOS DISPONIBLES

LITOLOGÍA		LEYENDA	
	RELLENOS COMPACTADOS		ESTACIONES GEOMECÁNICAS
CUATERNARIO			ENSAYOS DE PENETROS DINÁMICOS DPSH
	ALUVIALES		CALICATA
	COLUVIALES		SONDEOS SERINKO 2018
CRETÁCICO INFERIOR			SONDEOS EURO ESTUDIOS PARA EL "PROYECTO CONSTRUCTIVO DEL PUERTO DE BELATE TRAMO: VENTAS DE ARRAIZ-ZOZAIA". 1990.
	ARCILLAS, ARENISCAS Y PIZARRAS		CABALGAMIENTO
	MARGAS NEGRIZCAS CON INTERCALACIONES CALCAREAS		FALLA SUPERPUESTA
JURÁSICO INTERMEDIO			FALLA CON INDICACIÓN DE BUZAMIENTO
	CALIZA		INDICACIÓN DE DIRECCIÓN Y BUZAMIENTO
TRIÁSICO KEUPER			PERFILES SISMICOS
	ARCILLAS YESIFERAS		
	OFITAS		
	BRECHAS POLIGÉNICAS		
TRIÁSICO MUSCHELKALK			
	ARCILLAS ABIGARRADAS		
	CALIZAS		
TRIÁSICO BUNTSANDSTEIN			
	ARGILITAS BRECHOIDES		
	LIMOLITAS		
	ARENISCAS Y LUTITAS ROJAS		
	CONGLOMERADOS		
PERMOTRIAS			
	PELITAS ROJAS		
PALEOZOICO			
	PIZARRAS		



NOTA:
LAS CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO SOLO SE
CONOCEN EN LOS PUNTOS ESTUDIADOS. EL
RESTO ES UNA INTERPRETACIÓN RAZONADA,
BASADA EN LOS DATOS DISPONIBLES

PLANO 2.- PERFIL LONGITUDINAL – TÚNEL DE BELATE II

CUATERNARIO

Coluviales

TRIASICO MUSCHELKALK

Arcillas abigarradas

Calizas grises de grano fino

TRIASICO BUNTSANDSTEIN

Argilitas brechoides

Limolitas

Areniscas y lutitas rojas

Conglomerados

PERMOTRIAS

Areniscas y Pelitas rojas

PALEOZOICO

Pizarras negras

S-1

Sondeos SERINKO 2018

S-1

Sondeos EURO ESTUDIOS para el "Proyecto constructivo del puerto de Belate. Tramo : Ventas de Arraiz - Zozaiia".1990.

PRESENCIA DE AGUA

Goteos

Goteos y chorros

VALORACIÓN DEL I. C. E.

>130

Totalmente elástico

70 - 130

En el límite elasto-plástico

40 - 69

Plastificación moderada

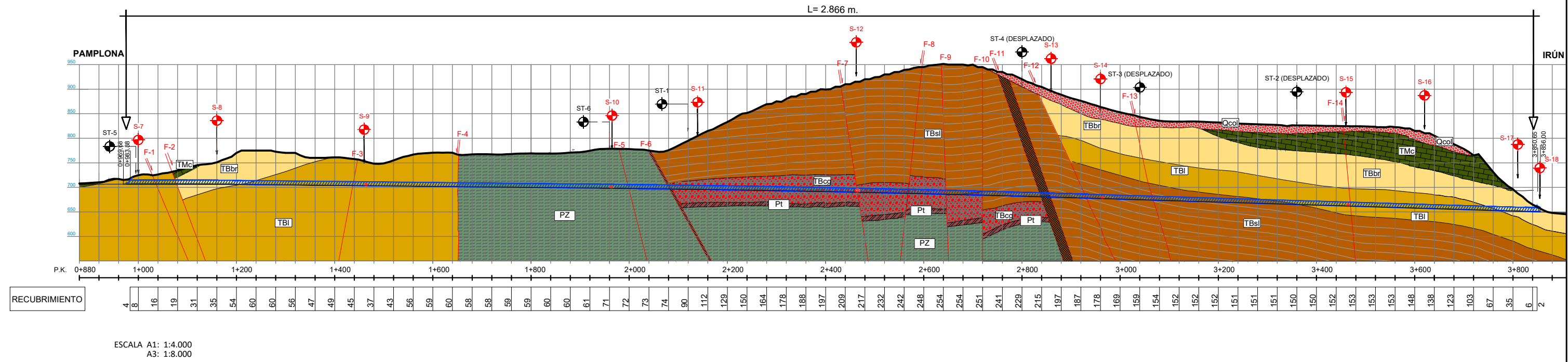
15 - 39

Plastificación intensa

<15

Plastificación muy intensa

I.- PERFIL LONGITUDINAL



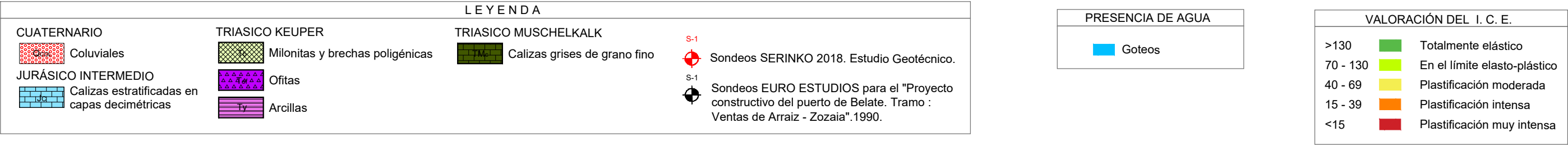
II.- ESTIMACIÓN DE LA DIFICULTAD CONSTRUCTIVA

TRAMO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
P.K. INICIO/P.K. FINAL	0+984 1+000	1+000 1+080	1+080 - 1+210	1+210 - 1+650	1+650 - 2+090	2+090 - 2+470	2+470 - 2+720	2+720 - 2+840	2+840 - 2+880	2+880 - 3+380	3+380 - 3+750	3+750 - 3+850
LONGITUD DE TRAMO (m)	16	80	130	440	440	380	250	120	40	500	370	100
LITOTIPO A COTA DE TÚNEL	LIMOLITAS	ARGILITAS	ARGILITAS	LIMOLITAS	PIZARRAS NEGRAS	CONGLOMERADO	CONGLOMERADO	ARENISCAS CONGLOMERADO	ARENISCAS	ARENISCAS	LIMOLITAS	ARGILITAS BRECHOIDES
RESISTENCIA A COMPRESIÓN (MPa)	27,0	32,5	2,1	32,5	7,0	45,3	45,3	90,0	105,8	105,8	32,5	6 - 9 (7)
PRESENCIA DE AGUA												
ESTIMACIÓN RMR	35 - 40 (38)	40 - 45 (43)	30 - 38 (34)	40 - 45 (43)	22 - 32 (27)	60 - 70 (65)	61 - 70 (65)	55 - 65 (60)	40 - 46 (43)	56 - 65 (60)	40 - 45 (43)	30 - 38 (34)
ICE	174 - 98 (111)	111 - 79 (94)	6 - 2 (4)	48 - 40 (46)	10 - 2 (6)	85 - 65 (70)	65 - 40 (51)	95 - 70 (85)	50 62 (56)	118 - 131 (124)	20 - 33 (25)	5 - 20 (10)
DIFICULTAD CONSTRUCTIVA	MUY BAJA	BAJA	MUY ALTA	MEDIA	MUY ALTA	BAJA	MEDIA	BAJA	MEDIA	BAJA	ALTA	MUY ALTA

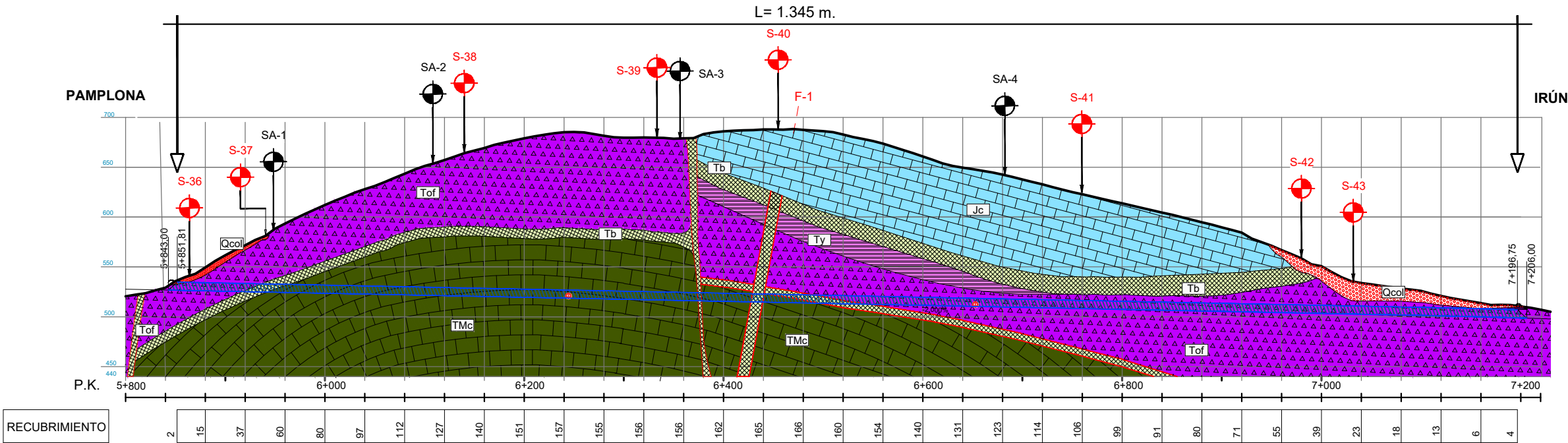
III.- ESTIMACIÓN DE LA SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA

CONTRABÓVEDA (SI/NO)	NO	NO	SI	SI	SI	NO	SI	NO	NO	NO	SI	SI
EXC. SEC. COMPLETA (SI/NO)	SI	SI	NO	NO	NO	SI	NO	SI	SI	SI	NO	NO
TIPO DE SOSTENIMIENTO	ST-I	ST-II	ST-V	ST-III	ST-V	ST-II	ST-III	ST-II	ST-III	ST-II	ST-IV	ST-V
REFUERZO	PARAGUAS MICROPILOTES	-	-	-	-	-	-	-	PARAGUAS MICROPILOTES	-	-	PARAGUAS MICROPILOTES

PLANO 3.- PERFIL LONGITUDINAL – TÚNEL DE ALMANDOZ II



I.- PERFIL LONGITUDINAL



II.- ESTIMACIÓN DE LA DIFICULTAD CONSTRUCTIVA

TRAMO	1	2	3	4	5
P.K. INICIO/P.K. FINAL	5+852 - 5+960	5+960 - 6+420	6+420 - 6+530	6+530 - 7+040	7+040 - 7+197
LONGITUD DE TRAMO (m)	108	460	110	510	157
LITOTIPO A COTA DE TÚNEL	OFITAS	CALIZAS	BRECHAS POLIGÉNICAS	OFITAS ALTERADAS	OFITAS FRACTURADAS ALTERADAS
RESISTENCIA A COMPRESIÓN (MPa)	50,0	47,7	9,0	105,0	65,0
PRESENCIA DE AGUA					
ESTIMACIÓN RMR	25 - 43 (34)	60 - 68 (64)	32	46 - 60 (51)	40 - 50 (45)
ICE	347 - 39 (58)	150 - 75 (85)	3 - 5 (3)	92 - 108 (99)	146 - 200 (178)
DIFICULTAD CONSTRUCTIVA	MEDIA	BAJA	MUY ALTA	BAJA	MUY BAJA

III.- ESTIMACIÓN DE LA SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA

CONTRABÓVEDA (SI/NO)	SI	NO	SI	NO	NO
EXC. SEC. COMPLETA (SI/NO)	NO	SI	NO	SI	SI
TIPO DE SOSTENIMIENTO	ST-III	ST-II	ST-V	ST-II	ST-I
REFUERZO	PARAGUAS MICROPILOTES	-	-	-	PARAGUAS MICROPILOTES