

GRADO EN INGENIERIA Y TECNOLOGIA DE
MINAS

TRABAJO FIN DE GRADO

*TUNEL CARRETERO EN LA N-625.
(CORIGOS-ASTURIAS)*

ANEJO 1- GEOLOGIA Y GEOTECNIA

Alumno/Alumna: MILAGROS, LOPEZ, ENRIQUE

Director/Directora (1): GALLO, LAYA, JAVIER

Curso: 2017-2018

Fecha: 15-02-2018



Anejo Geología y geotecnia

Contenido

1	Objeto del presente anejo.....	6
2	Marco geológico de la zona de actuación	8
2.1	Síntesis geológico regional Asturiano.....	8
3	Perfil geológico del túnel	13
3.1	Estratigrafía	14
3.2	Karstificación	18
3.3	Zonas Tectónicas.....	19
3.4	Movimientos del terreno	22
3.5	Sismicidad	26
3.6	Conclusiones estudio geológico	27
4	Estudio Geotécnico	30
4.1	Objeto.....	30
4.2	Cartografía Geotécnica.....	30
4.3	Caracterización del Macizo rocoso	32
4.3.1	Trabajos de campo.....	32
4.3.2	Clasificaciones geomecánicas del macizo rocoso.....	35
4.3.2.1	R.Q.D.....	35
4.3.2.2	Clasificación geomecánica de Bieniawski o RMR	37
4.3.2.2.1	Correlaciones entre el RMR y otros parámetros	42
4.3.2.3	Clasificación de Barton et al. (1974)	43
4.3.2.4	Clasificación de Hoek. Geological Strength Index (GSI).....	51
4.4	Conclusiones del estudio geotécnico.....	54

Índice de Tablas:

TABLA 4-1 RELACIÓN ENTRE EL VALOR DEL RQD Y LA CALIDAD DE LA ROCA (EXCAVACIÓN, SOSTENIMIENTO Y TÉCNICAS DE CORRECCIÓN DE TÚNELES, OBRAS SUBTERRÁNEAS Y LABORES MINERAS. J. GALLO)	36
TABLA 4-2 ESTIMACIÓN DE LAS RESISTENCIAS MEDIAS DE CIERTAS ROCAS SEGÚN BIENIAWSKI. 1973. (MECÁNICA DE ROCAS. PEDRO RAMÍREZ OYANGUREN ET AL)	38
TABLA 4-3 CLASIFICACIÓN DE DEERE (1967) DEL ESPACIADO DE LAS JUNTAS. (MECÁNICA DE ROCAS. PEDRO RAMÍREZ OYANGUREN ET AL)	39
TABLA 4-4 CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR. (CORNEJO ÁLVAREZ Y SALVADOR, 1995)	40
TABLA 4-5 SIGNIFICADO DE LAS CLASES DE LOS MACIZOS ROCOSOS. (MECÁNICA DE ROCAS. PEDRO RAMÍREZ OYANGUREN ET AL) ...	40
TABLA 4-6 PARÁMETROS DE CLASIFICACIÓN Y SUS VALORES. MECÁNICA DE ROCAS (PEDRO RAMÍREZ OYANGUREN ET AL.)	41
TABLA 4-7 RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS PARA EL CÁLCULO DEL RMR (ELABORACIÓN PROPIA)	41
TABLA 4-8 NÚMERO DE FAMILIAS DE JUNTAS J _n . (MECÁNICA DE ROCAS. PEDRO RAMÍREZ OYANGUREN ET AL)	44
TABLA 4-9 RUGOSIDAD DE LAS JUNTAS J _r . (MECÁNICA DE ROCAS. PEDRO RAMÍREZ OYANGUREN ET AL).....	45
TABLA 4-10 AGUA EN LAS JUNTAS (MECÁNICA DE ROCAS. PEDRO RAMÍREZ OYANGUREN ET AL)	45
TABLA 4-11 METEORIZACIÓN DE LAS JUNTAS (MECÁNICA DE ROCAS. PEDRO RAMÍREZ OYANGUREN ET AL)	47
TABLA 4-12 TENSIONES EN LA EXCAVACIÓN SRF (MECÁNICA DE ROCAS. PEDRO RAMÍREZ OYANGUREN ET AL)	48
TABLA 4-13 CORRELACIONES ENTRE LOS VALORES DEL RMR Y Q. (INGEO TÚNELES. ENTORNO GRAFICO)	50
TABLA 4-14 RESUMEN VALORES DE LAS CLASIFICACIONES GEOMECÁNICAS. (ELABORACIÓN PROPIA)	54
TABLA 4-15 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS CUARCITAS ASTURIAS. (RECURSOS DEL SUBSUELO DE ASTURIAS, MANUEL GUTIÉRREZ CLAVEROL)	54

Índice de Ilustraciones:

ILUSTRACIÓN 1 RASA LITORAL ASTURIAS. CONCEJO DE VILLAVICIOSA. (GEOLAG.COM)	8
ILUSTRACIÓN 2 VISTA GENERAL DEL SINCLINAL DE LA BARCA (MAPA DE ROCAS Y MINERALES INDUSTRIALES DE ASTURIAS IGME).....	9
ILUSTRACIÓN 3 MAPA GEOLÓGICO DE LA ZONA CANTÁBRICA MOSTRANDO LAS PRINCIPALES UNIDADES DE ESTA. (BASTIDA, ,2004) .	10
ILUSTRACIÓN 4 ESQUEMA REGIONAL CON EL ÁREA DE ESTUDIO SEÑALIZADA. (IGME).....	13
ILUSTRACIÓN 5 MAPA GEOLÓGICO DE LA REGIÓN DEL PONGA (J.ALVAREZ-MARRON, N.HEREDIA Y A.PEREZ-ESTAUN.1987).....	14
ILUSTRACIÓN 6 DETALLE DE CORIGOS Y LA ZONA DONDE SE PROYECTARA EL TÚNEL (IGME)	15
ILUSTRACIÓN 7 DETALLE LEYENDA DEL MAPA MOSTRANDO FORMACIONES DEL CAMBRICO-ORDOVIRICO (IGME).....	15
ILUSTRACIÓN 8 COLUMNA ESTRATIGRÁFICA PRINCIPAL UNIDAD DEL MANTO DEL PONGA. (BELEÑO IGME).....	17
ILUSTRACIÓN 9 LEYENDA DE LA REGIÓN DEL MANTO DE PONGA. (IGME.HOJA 55 BELEÑO).....	18
ILUSTRACIÓN 10 DETALLE DE LA ZONA DEL PROYECTO. LAS ZONAS AZULADAS PRESENTAN KARSTIFICACIÓN. (MAPA DEL KARST ESPAÑA. IGME)	19
ILUSTRACIÓN 11 DETALLE MAPA TECTÓNICO. ESCALA 1:1.000.000 (IGME).....	20
ILUSTRACIÓN 12 CORTE GEOLÓGICO DE LA PARTE NORTE DEL MANTO DEL PONGA (LA VENTANA TECTÓNICA DEL RIO COLOR Y LA PROLONGACIÓN SEPTENTRIONAL DEL MANTO DEL PONGA. M.JULIVERT).....	21
ILUSTRACIÓN 13 DETALLE DEL CORTE GEOLÓGICO DONDE APARECE VIS (LA VENTANA TECTÓNICA DEL RIO COLOR Y LA PROLONGACIÓN SEPTENTRIONAL DEL MANTO DEL PONGA. M.JULIVERT)	21
ILUSTRACIÓN 14 COLUMNA ESTRATIGRÁFICA DEL CORTE ILUSTRACIÓN 10 (LA VENTANA TECTÓNICA DEL RIO COLOR Y LA PROLONGACIÓN SEPTENTRIONAL DEL MANTO DEL PONGA. M.JULIVERT)	22
ILUSTRACIÓN 15 MAPA DE ESPAÑA QUE MUESTRA LAS ZONAS MÁS VULNERABLES Y PROPENSAS A SUFRIR MOVIMIENTOS DE LADERA (IGME)	23
ILUSTRACIÓN 16 POSIBLES TRAYECTORIAS DE LOS DESPRENDIMIENTOS A, B Y C, Y DIFERENTES TIPOS DE ROTURAS POR DESPRENDIMIENTOS D, E Y F. (IGME 1987).....	24
ILUSTRACIÓN 17 ESQUEMA GEOMORFOLÓGICO Y MOVIMIENTOS QUE PUEDEN ASOCIARSE. (IGME 1987).....	24
ILUSTRACIÓN 18 CUADRO GENERAL DE MOVIMIENTOS DE LADERA. (IGME 1987).....	25
ILUSTRACIÓN 19 REGISTROS SÍSMICOS EN LA COMUNIDAD ASTURIANA 1999-2002. (PROYECTO GASPI)	26
ILUSTRACIÓN 20 MAPA SÍSMICO DE LA NORMA SISMORRESISTENTE NCSE-02. (MINISTERIO DE FOMENTO)	27
ILUSTRACIÓN 21 CUARCITA BLANCA MASIVA Y CUARCITA DE BARRIOS DEL MANTO DE PONGA. (IGME)	28
ILUSTRACIÓN 22 DETALLE DE LA ZONA DE ESTUDIO I ₁ . (MAPA GEOTÉCNICO ESCALA 1:200.000.IGME)	31
ILUSTRACIÓN 23 PROCEDIMIENTO PARA LA MEDICIÓN DEL RQD (DEERE, 1966).....	36
ILUSTRACIÓN 24 CLASIFICACIÓN DE BARTON ET AL. (1974) DE LOS MACIZOS ROCOSOS. (MECÁNICA DE ROCAS. PEDRO RAMÍREZ OYANGUREN ET AL).....	50
ILUSTRACIÓN 25 CALCULO DE GSI. (HOEK Y MARINOS, 2000)	52
ILUSTRACIÓN 26 ESTIMACIÓN DEL GSI PARA MACIZOS HETEROGÉNEOS COMO FLYSCH. (ADAPTADO DE HOEK 2006).....	53



1 Objeto del presente anejo.

El objetivo que se persigue con el presente anejo geológico y geotécnico es la caracterización geológica y geotécnica del área de influencia del proyecto para conocer tanto la factibilidad del proyecto así como también, siendo un punto de gran influencia en la proyección del túnel, determinar la forma más correcta de realización del túnel.

Tanto el estudio geológico como el geotécnico se centraran exclusivamente en las zonas influenciadas por el proyecto, concretamente en Corigos concejo de Amieva, y sus objetivos concretos serán:

1. Marco geológico de la zona de actuación.
2. Determinación del perfil geológico del túnel, con definición litológica y tectónica del terreno atravesado, en especial.
 - a. Fallas y contactos mecánicos.
 - b. Zonas tectónicas.
 - c. Zonas alteradas.
 - d. Corrimientos.
 - e. Zonas Karstificadas o milonitizadas.
3. Caracterización geotécnica cuantitativa de los terrenos, que servirá de base para la utilización de las clasificaciones geomecánicas adecuadas y posterior sectorización del túnel.
 - a. Resistencia y Deformabilidad.
 - b. Permeabilidad.
 - c. Alterabilidad.
 - d. Expansividad.
 - e. Erosionabilidad.
 - f. Comportamiento geológico

Una vez realizados los reconocimientos y estudios geológicos y geotécnicos adecuados para obtener un conocimiento exhaustivo del terreno que se verá afectado directa o indirectamente por la construcción y explotación de la obra subterránea y de sus zonas de acceso y emboquille este se completara mediante estaciones geomecánicas , que se extenderán a uno y otro lado de



la traza en planta del túnel , hasta una distancia tal que los datos obtenidos puedan servir , en su extrapolación hacia el interior del terreno , a un conocimiento del mismo a la cota por donde ira la traza del túnel.

4. Reconocimientos In situ mediante estaciones geomecánicas.

2 Marco geológico de la zona de actuación

2.1 Síntesis geológico regional Asturiano

En Asturias existen, a grandes rasgos, dos conjuntos de rocas claramente diferenciados, tanto por su edad como por su modo de afloramiento (Bastida y Aller, 1995). El grupo más antiguo lo constituyen rocas de edad precámbrica y, fundamentalmente, paleozoicas pre-pérmicas. Se caracterizan por aflorar de un modo alargado y sinuoso, normalmente afectadas por cabalgamientos y fallas. Estas rocas tienen continuidad en las comunidades limítrofes de Galicia y Castilla y León.

El grupo más moderno está formado por rocas pérmicas, mesozoicas y terciarias, que ocupan el sector septentrional de la zona central asturiana, aproximadamente desde Oviedo hasta Ribadesella. Estas rocas afloran en manchas irregulares y su deformación es claramente inferior que en el conjunto anterior, aunque sí están afectadas por importantes fracturas.

Además de los dos grupos citados, en Asturias existen abundantes sedimentos recientes de edad cuaternaria, algunos de los cuales adquieren cierta entidad en la franja costera occidental, ocupando áreas planas denominadas “rasas” y que son antiguas plataformas de abrasión marinas.



Ilustración 1 Rasa litoral Asturias. Concejo de Villaviciosa. (geolag.com)

Los dos grupos de rocas anteriormente mencionados pertenecen a contextos geológicos muy distintos; por un lado, las rocas precámbricas y paleozoicas pre-pérmicas forman parte del Macizo Ibérico, formado por rocas intensamente plegadas y fracturadas a lo largo de la Orogenia Varisca o Hercínica. Además, las rocas paleozoicas de los sectores central y oriental de Asturias son distintas a las del sector occidental; así, las dos primeras pertenecen a la Zona Cantábrica del Macizo Ibérico y las del sector occidental a la Zona Asturoccidental Leonesa del Macizo Ibérico.

La separación entre ambas zonas se sitúa en un cabalgamiento mayor que aflora en el interior del antiforame del Narcea, constituido por una franja de rocas precámbricas, donde afloran las rocas más antiguas de Asturias.



Ilustración 2 Vista general del sinclinal de la Barca (Mapa de rocas y minerales industriales de Asturias IGME)

La Zona Asturoccidental-Leonesa se encuentra dividida en dos grandes unidades:

- Dominio del Navia-Alto Sil, al este de Asturias.
- Dominio del Manto de Mondoñedo, en el extremo más occidental de Asturias.

La Zona Cantábrica se encuentra a su vez dividida en varias regiones:

- Región de Pliegues y Mantos.
- Cuenca Carbonífera Central (Mantos de Laviana y Suevo).
- Región del Manto del Ponga (Mantos de Rioseco, Ponga, Riosol y Sierra del Cuera).
- Región de Picos de Europa (incluida la Cuenca de Gamonedo-Cabrales-Panes).
- Región del Pisuerga-Carrión (prácticamente fuera del territorio asturiano).

Además, dentro de la Región de Pliegues y Mantos se pueden distinguir varias unidades geológicas separadas entre sí por importantes cabalgamientos:

- Unidad de Somiedo-Correcilla.
- Unidad de La Sobia-Bodón.
- Unidad del Aramo.
- Unidad del Esla-Valsurbio (fuera del territorio asturiano).

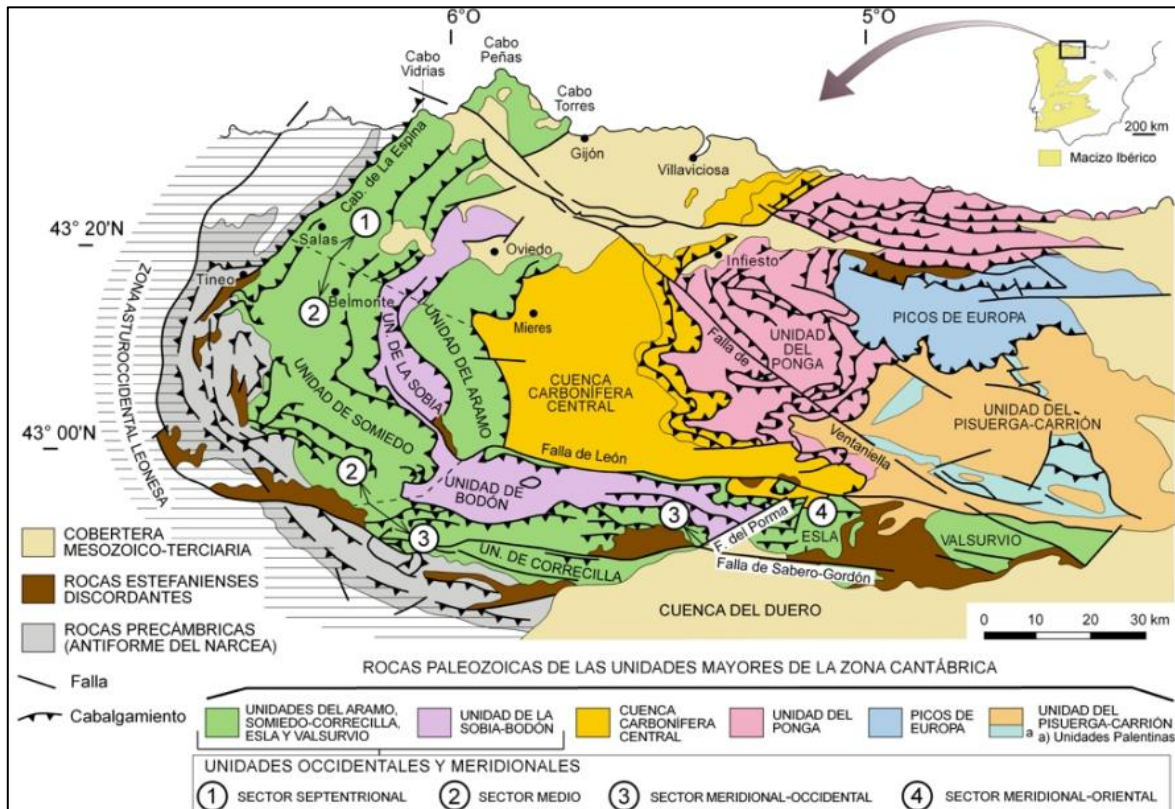


Ilustración 3 Mapa geológico de la Zona Cantábrica mostrando las principales unidades de esta. (Bastida, 2004)

La sucesión estratigráfica paleozoica en la Zona Cantábrica es relativamente completa, con una alternancia de materiales carbonatados y siliciclásticos, mientras que en la Zona Asturoccidental-Leonesa las rocas del Paleozoico Inferior son esencialmente siliciclásticas. Las diferencias entre la zona Cantábrica y la zona Asturoccidental-Leonesa han condicionado el desarrollo desigual de aspectos como la geomorfología o los recursos geológicos; así, el modelado kárstico ha dado lugar al paisaje predominante en muchos sectores de la zona Cantábrica, siendo prácticamente inexistente en la zona Asturoccidental-Leonesa, y algunos recursos, como las pizarras de techar, están circunscritas a la zona Asturoccidental-Leonesa, mientras que otros, como las calizas canterables presentan una mayor relevancia en la zona Cantábrica.

Dentro de la sucesión sedimentaria Varisca se puede separar una sucesión preorogénica de edad Proterozoico Superior-Devónico Superior y una sucesión sinorogénica de edad Devónico Superior-Carbonífero Superior.

La sucesión preorogénica está ligada a una etapa fundamentalmente distensiva que tuvo lugar sobre un margen pasivo del antiguo continente de Gondwana. Esta sucesión marina es fundamentalmente siliciclástica en el Paleozoico Inferior y carbonatada en el Superior, aumentando en espesor hacia la parte occidental de Asturias. La sucesión sinorogénica se produjo durante el levantamiento de la Cordillera Varisca que tuvo lugar por la colisión de Gondwana con otro de los grandes continentes de la época: Laurentia, lo que dio lugar al cierre del océano Rheico y a la formación del supercontinente de Pangea. La sucesión sinorogénica es también fundamentalmente marina y está formada por una alternancia de sedimentos siliciclásticos y carbonatados entre los que se intercalan capas de carbón. Los depósitos sinorogénicos se conservan sobre todo en la zona Cantábrica.

Finalmente, y de forma discordante sobre los materiales anteriormente descritos, se apoya un recubrimiento post-varisco que va desde el final del Paleozoico (Pérmico) hasta el Mesozoico y el Cenozoico y que afloran en el sector norte de la zona central asturiana, cuyos materiales pertenecen a la denominada Cobertera Meso-terciaria Asturiana, que constituyen la prolongación occidental de la Cuenca Vasco-Cantábrica. Estas rocas han sido deformadas en el Terciario durante la Orogenia Alpina, constituyendo geológicamente la Cordillera Cantábrica, que es, a su vez, la prolongación de los Pirineos.

La sedimentación permo-mesozoico-terciaria y su posterior deformación definen el Ciclo Alpino, donde se pueden distinguir también dos etapas:

- Etapla distensiva preorogénica, ligada a la separación de las placas Ibérica y Euroasiática de Pangea, lo que dio lugar a la apertura del Golfo de Vizcaya. Dicha etapa comenzó en el Pérmico y prosiguió durante el Mesozoico. La etapa distensiva comienza por un permotrías constituido por arcillas y evaporitas y continúa con un Jurásico Inferior carbonatado, un Jurásico Superior y Cretácico Inferior siliciclásticos y un Cretácico superior nuevamente carbonatado.

- Etapa compresiva sinorogénica, a lo largo del Terciario, que dio lugar a la formación de la Cordillera Cantábrica, fruto del acortamiento N-S que se originó durante la colisión y amalgamamiento de la Placa Ibérica a la Euroasiática. En esta etapa se desarrollaron nuevas fallas y se reactivaron algunas fracturas variscas. Ello causó la generación de importantes relieves al pie de los cuales se generaron cuencas continentales que se rellenaron de materiales fundamentalmente siliciclásticos, con algunas intercalaciones carbonatadas, pertenecientes a un sistema de abanicos aluviales semiáridos. En Asturias la más importante de estas cuencas es la Cuenca de Oviedo-Infiesto, y la más importante de este sector de la Cordillera Cantábrica es la Cuenca del Duero, situada en el borde sur y ya en tierras castellano-leonesas.

Las rocas más antiguas que afloran en territorio asturiano pertenecen al Precámbrico, que se encuentra separado de la sucesión paleozoica por una gran discordancia angular. Los materiales precámbricos son de naturaleza fundamentalmente siliciclástica, sobre todo pizarras y areniscas, y ocupan el núcleo del Antiforme del Narcea, límite entre la zona Asturoccidental-Leonesa y zona Cantábrica:

- Fm. Pizarras del Narcea: Consiste en una alternancia de 1.000 a 2.000 m de espesor de areniscas y pizarras, con predominio de estas últimas, débilmente metamórficas y de tonos verdosos. Presentan estructuras sedimentarias tales como granoselección normal, estructuras de deslizamiento, marcas de corriente, etc., así como secuencias de Bouma, lo que parece indicar un origen turbidítico de estas facies. En la parte baja se intercalan frecuentes lentejones de rocas volcánicas y volcanoclásticas metamorfizadas (porfiroides): riolitas hasta dacitas y andesita.

3 Perfil geológico del túnel

Para el estudio de la geología de la zona se han utilizado diferentes recursos.

- Mapa Geológico de España a escala 1:50.000 (2ª Serie). Hoja 55(15-5)-Beleño. IGME.

Desde el punto de vista geológico, la hoja queda dentro de la Zona Cantábrica, es decir, de la zona más externa de la rama norte del segmento Ibérico de la cordillera herciana.

La zona Cantábrica ha sido dividida en varias regiones, caracterizadas por un tipo propio de sucesión estratigráfica y un determinado tipo de estructura, estas regiones son de Este a Oeste:

- Región de Pliegues y Mantos.
- Cuenca Carbonífera Central.
- Región del Manto del Ponga.
- Picos de Europa.
- Región del Pisuerga-Carrión.

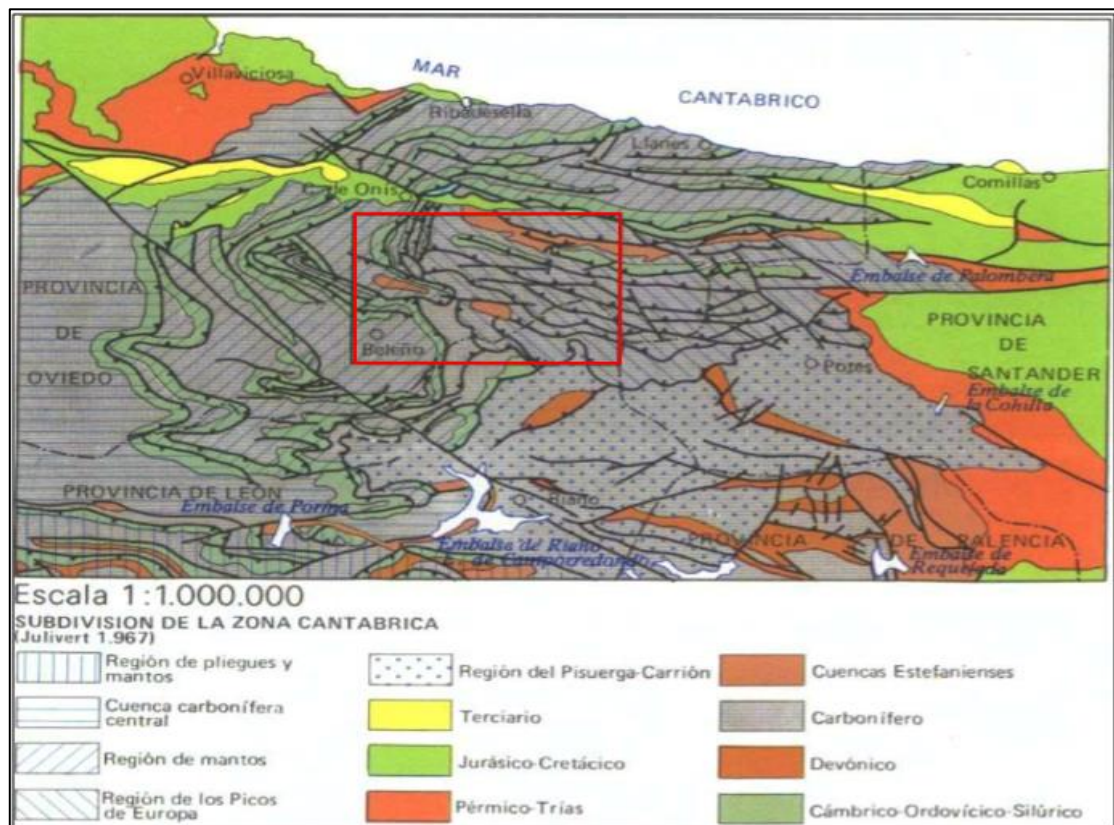


Ilustración 4 Esquema Regional con el área de estudio señalizada. (IGME)

Corigos se sitúa en la región de mantos más concretamente en la región del manto del Ponga.

Esta región está formada por materiales cámbricos y ordovícicos sobre los que reposa directamente la serie carbonífera consistente en una sucesión de pizarras, areniscas y calizas, con dos niveles muy importantes de calizas conocidos habitualmente con el nombre de Caliza de Montaña y Caliza de la Escalada. Presenta una estructura típica de mantos de despegue posteriormente plegados.

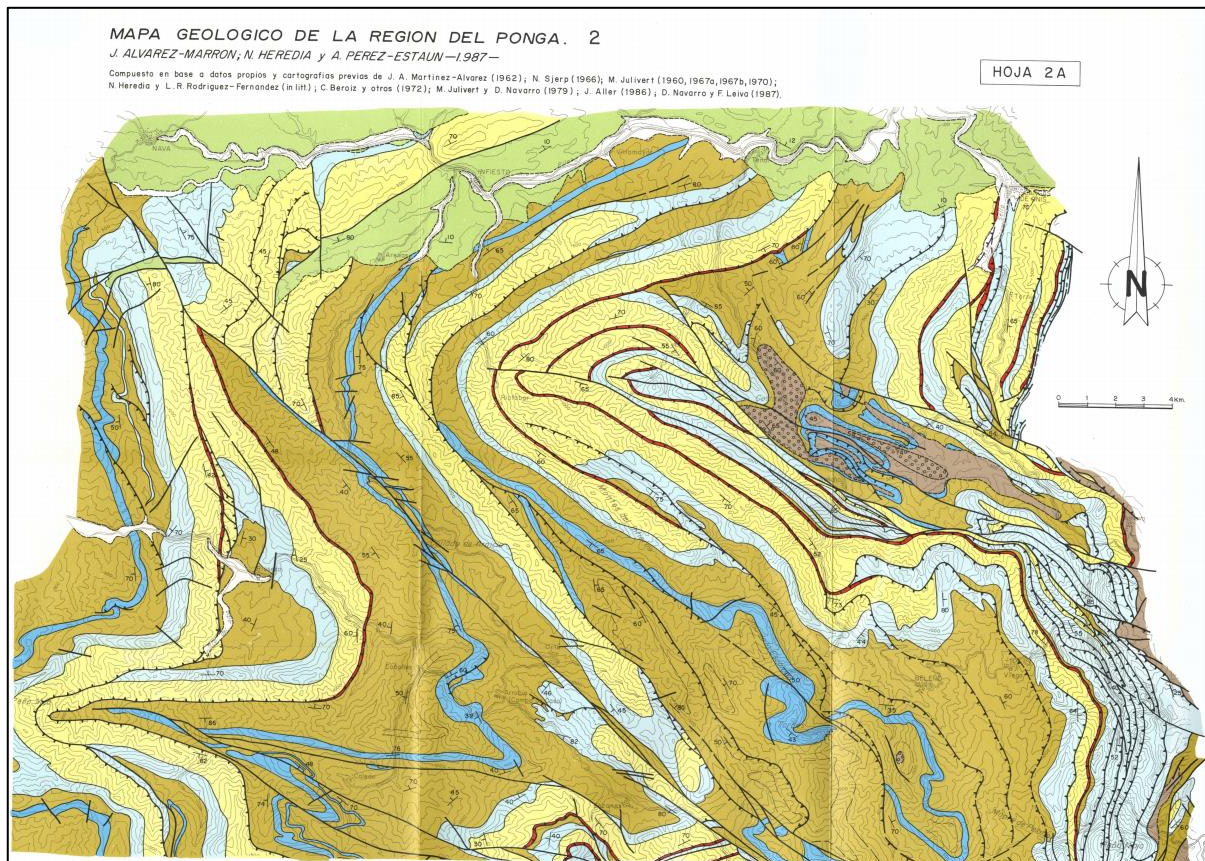


Ilustración 5 Mapa Geológico de la Región del Ponga (J.Alvarez-Marron, N.Heredia y A.Perez-Estaun.1987)

3.1 Estratigrafía

La hoja de Beleño está formada casi exclusivamente por materiales pertenecientes al Paleozoico en donde se distinguen dos conjuntos separados por una laguna estratigráfica el Cambro-Ordovícico , que aflora ampliamente en el Manto del Ponga y el Carbonífero.

Como se puede observar en las siguientes imágenes los materiales que atravesara el trazado del túnel corresponden con materiales del Ordovícico Areginiense concretamente con *cuarcitas blancas masivas* y *cuarcitas de barrios*.

En el conjunto Cámbrico-Ordovícico se han distinguido cuatro formaciones que de arriba abajo son:

- Formación Lancara (Cámbrico Inferior y Medio).
- Formación Oville (Cámbrico Medio, Cámbrico Superior y Tremadoc).
- Cuarcita de Barrios (Tremadoc-Arening).



Ilustración 6 Detalle de Corigos y la zona donde se proyectara el túnel (IGME)

CAMBR. ORDOVI.	INFERIOR	ARENIGIENSE	3	6 Microconglomerados y calizas
		TREMADOCIENSE	2	3 Cuarcitas blancas masivas. Cuarcita de Barrios
	MEDIO		1	2 Pizarras, cuarcitas y areniscas glauconíticas. F. Oville
		INFERIOR		1 Dolomías (Miembro inferior) y calizas glauconíticas (M. superior) F. Lancara

Ilustración 7 Detalle leyenda del mapa mostrando formaciones del Cámbrico-Ordovícico (IGME)

La formación Lancara (CA₁₋₂) se presenta constituida por dos miembros, un miembro inferior, de edad Cámbrico Inferior y uno superior de edad Cámbrico Medio.

El miembro inferior de la formación es esencialmente Dolomítico con un espesor visible que oscila alrededor de los 60 metros.

El miembro superior tiene un espesor que varía entre los 15 y 30 metros y está formado por calizas nodulosas, en general verdosas por la abundancia de glauconita.

La formación Oville (CA₂-O₁₁), definida por Comte en 1937, consiste en una sucesión alternante de pizarras y cuarcitas, estas últimas muy glauconíticas. En la parte más inferior de la formación existe un nivel de pizarras de unas pocas decenas de metros (20-40 metros).

Por encima del nivel de pizarras verdes se encuentra una sucesión de pizarras y areniscas o cuarcitas con un espesor de unos centenares de metros, entre 200 y 400 metros.

La Cuarcita de Barrios (O₁₁₋₁₂), Comte 1937-1959, comprende un potente conjunto de cuarcitas, cuyo espesor puede sobrepasar los 500 metros. En el Manto del Ponga esta formación aflora a lo largo de todas las escamas y del propio manto.

Litológicamente se trata de ortocuarcitas blancas, a veces rosadas, con algún nivel delgado de pizarras y de microconglomerados.

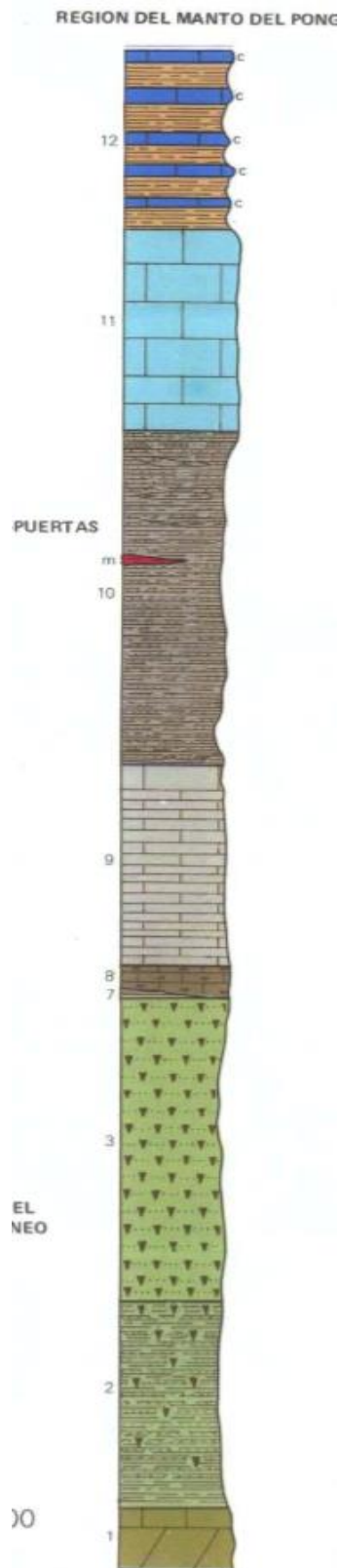


Ilustración 8 Columna Estratigráfica Principal unidad del Manto del Ponga. (Beleño IGME)

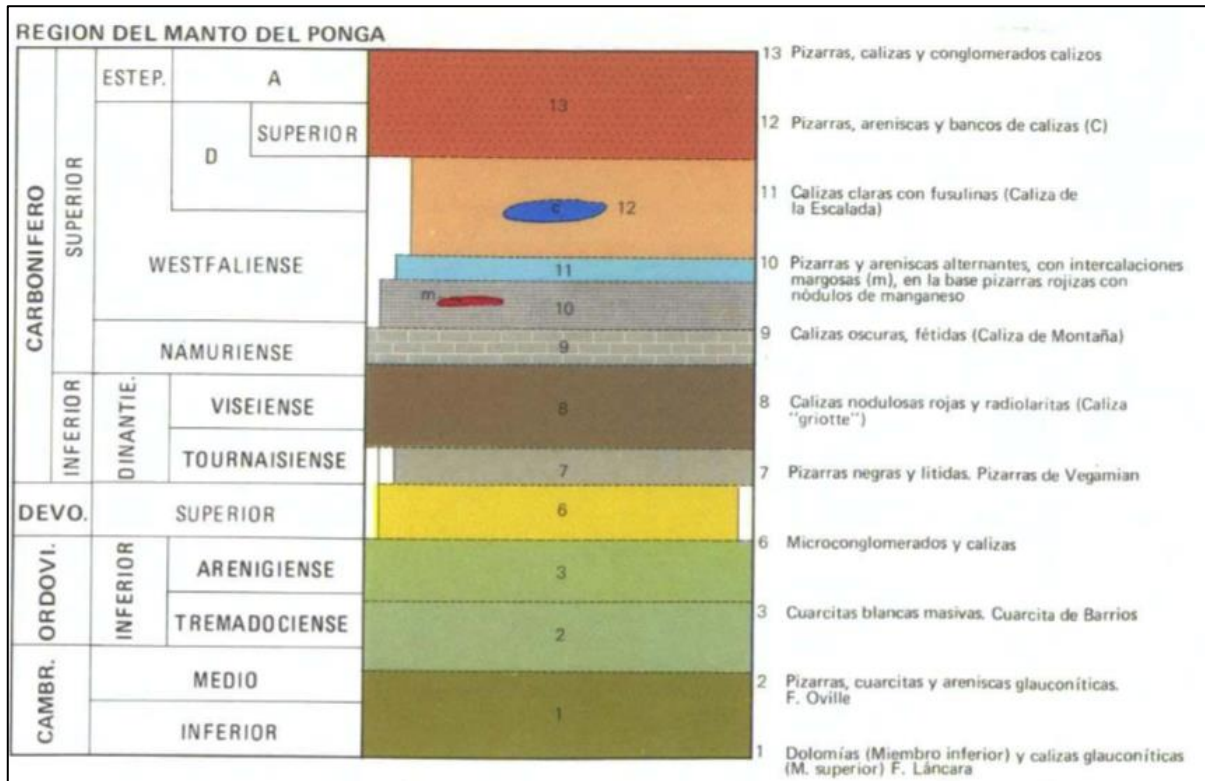


Ilustración 9 Leyenda de la Región del Manto de Ponga. (IGME.Hoja 55 Beleño)

3.2 Karstificación

Para determinar si existe Karstificación en la zona del proyecto se ha estudiado:

- Mapa del Karst de España. IGME.

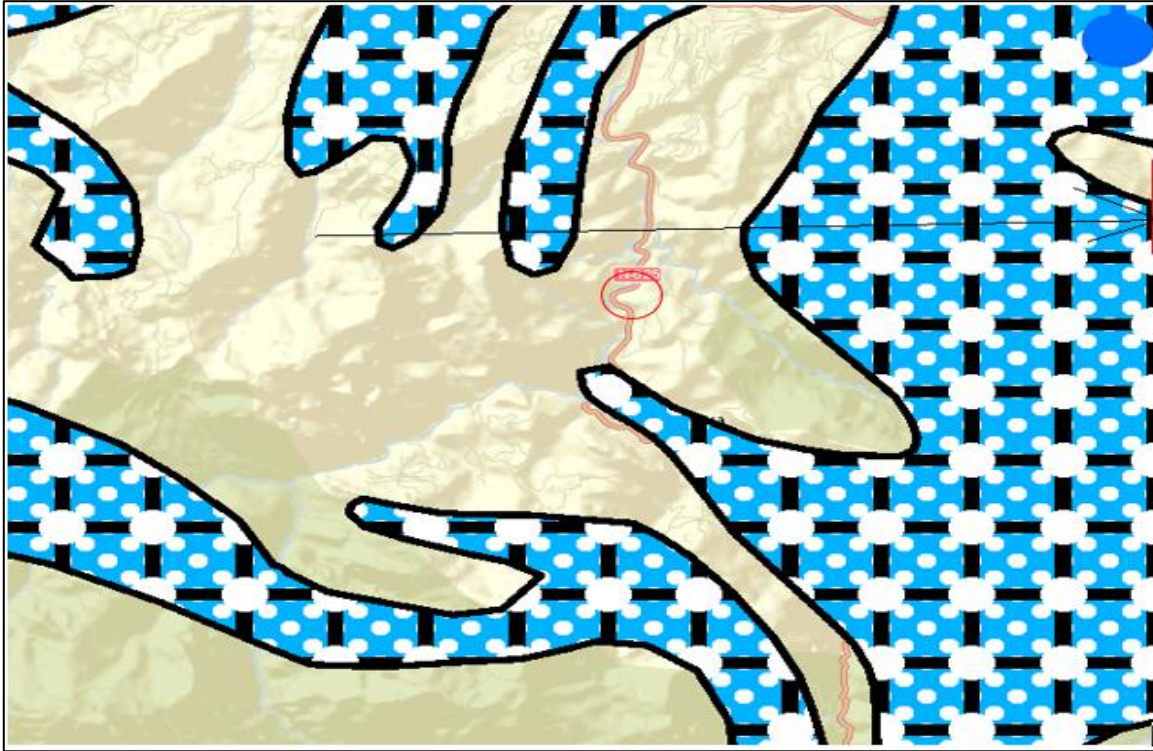


Ilustración 10 Detalle de la zona del proyecto. Las zonas azuladas presentan Karstificación. (Mapa del Karst España. IGME)

En la región donde se encuentra el túnel, Región de Mantos, no presenta, en principio ningún fenómeno kárstico.

3.3 Zonas Tectónicas

Por delante del frente del Manto del Ponga se encuentran una multitud de pequeñas escamas que se agrupan en dos áreas diferentes separadas por la terminación peri sinclinal del Manto de Sebarga estas son:

- Zona de los Beyos.
- Zona de Vis.



Ilustración 11 Detalle mapa tectónico. Escala 1:1.000.000 (IGME)

En la zona de Vis a menos de un kilómetro de Corigos existen dos escamas de cierta importancia, la de Vis en cuyo frente, junto al mismo pueblo de Vis, aparecen las Calizas del Cámbrico y otra situada inmediatamente al este, que se podría llamar de Seguncu.

Existen complicaciones de detalle importantes, aun así, la escama de Vis se puede relacionar con la Sierra de Faces con lo que el anticlinal que se encuentra cerca de la confluencia de los ríos Sella y Ponga afloraría en ventana.

Más al Este aparecen una serie de franjas de Caliza y Cuarzitas de dimensione muy pequeñas en ellas es interesante señalar la existencia de la caliza griotte viséense y la presencia de cuarcita comprendida entre estas griottes.

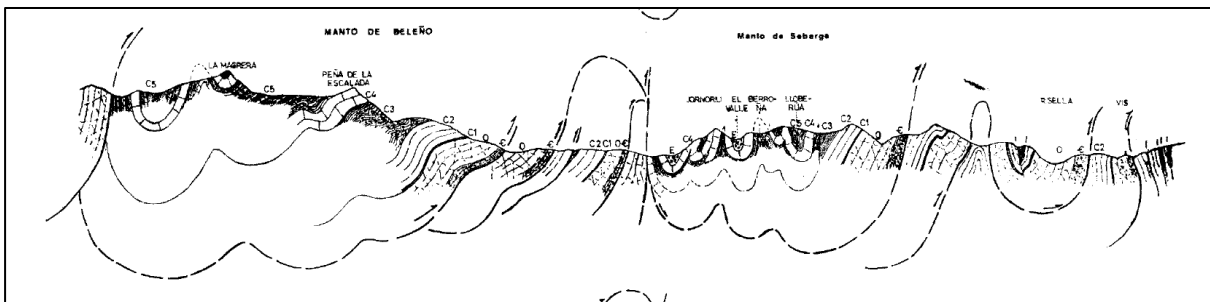
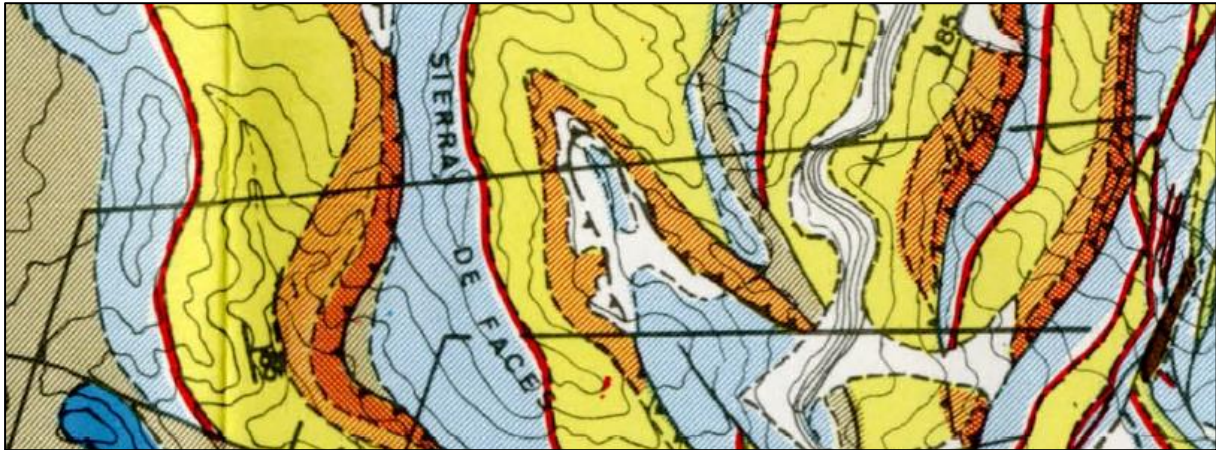


Ilustración 12 Corte Geológico de la parte Norte del Manto del Ponga (La ventana tectónica del rio color y la prolongación septentrional del manto del ponga. M.Julivert)

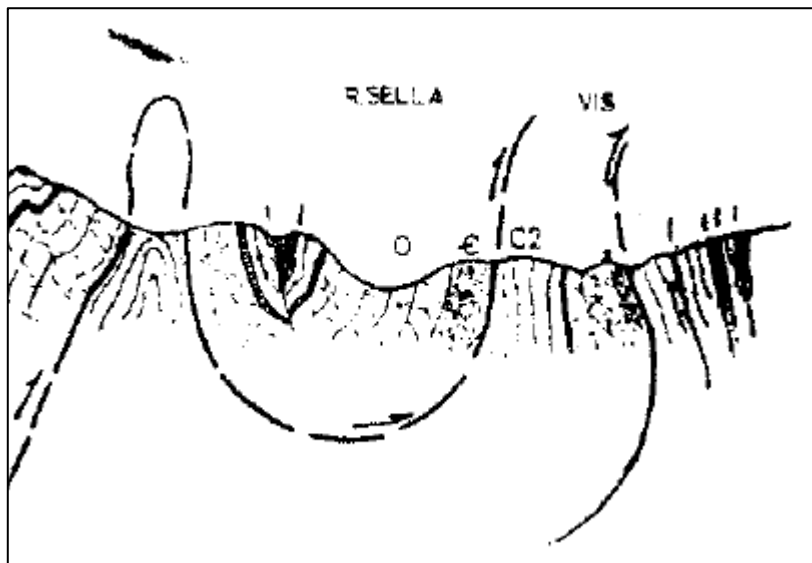


Ilustración 13 Detalle del corte geológico donde aparece Vis (La ventana tectónica del rio color y la prolongación septentrional del manto del ponga. M.Julivert)

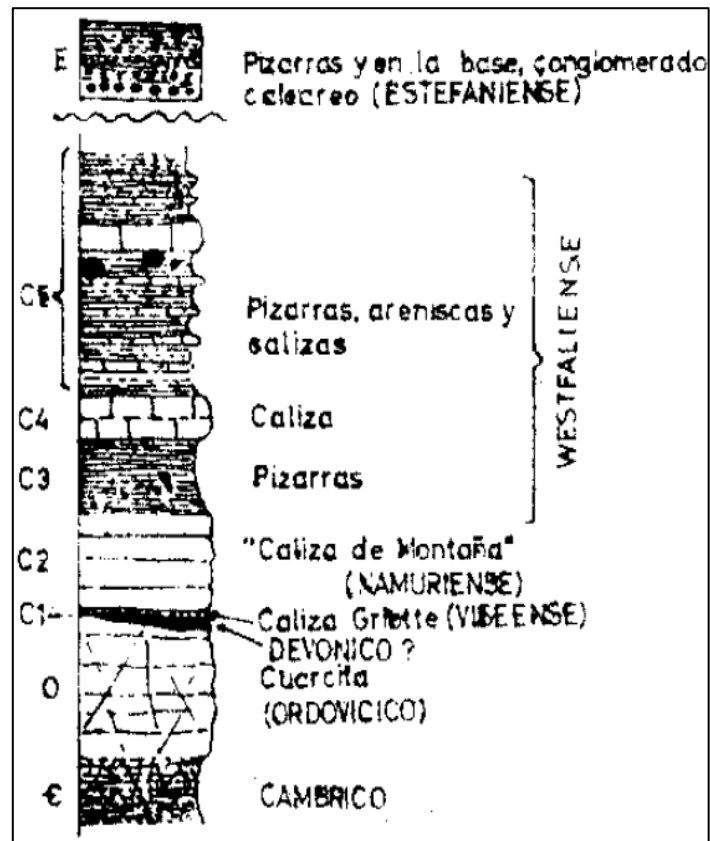


Ilustración 14 Columna estratigráfica del corte Ilustración 10 (La ventana tectónica del río color y la prolongación septentrional del manto del ponga. M.Julivert)

3.4 Movimientos del terreno

Se entiende en este punto por movimientos del terreno , aquellos movimientos en masa o de masa que pueden ser debidos tanto a procesos relacionados con la Geodinámica interna (Vulcanismo , Terremotos , Diapiros-Fenómenos Halocineticos) , como también aquellos relacionados con la Geodinámica Externa (Movimientos de Ladera , Procesos Erosivos , Hundimientos..Etc.).

Para el estudio de estos fenómenos se ha acudido a la información presentada por el instituto geológico y minero de España, con especial atención en el siguiente mapa:

- Movimientos del Terreno 1:1.000.000.IGME

En la ilustración que aparece a continuación se presenta esquemáticamente la distribución de los movimientos de laderas en España.

Se observa que en la zona donde se llevara a cabo el proyecto, se pueden presentar movimientos de componente horizontal en zonas continentales y que es un área con movimientos actuales o potenciales del tipo deslizamiento y desprendimiento.

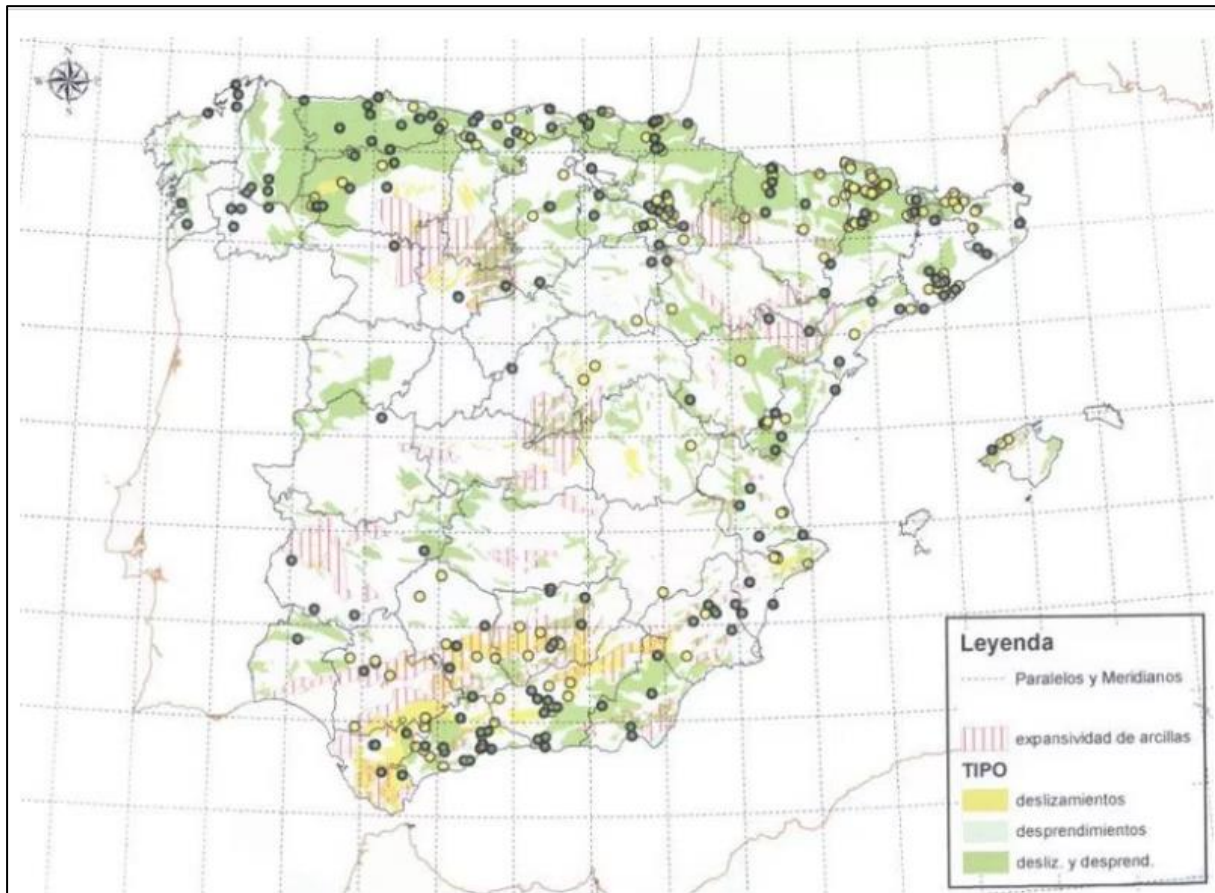


Ilustración 15 Mapa de España que muestra las zonas más vulnerables y propensas a sufrir movimientos de ladera (IGME)

Los movimientos del terreno de componente horizontal como los deslizamientos y desprendimientos son los tipos de movimientos más extendidos, frecuentemente en taludes de carretera, vías de ferrocarril y minería a cielo abierto.

Los deslizamientos son movimientos gravitacionales de masas de roca o suelo que deslizan sobre una o varias superficies de rotura, más o menos netas, al superarse la resistencia al corte en estos planos. El material se mueve en conjunto, comportándose como una unidad en su recorrido. En general suelen ser procesos rápidos que pueden llegar a alcanzar grandes proporciones (millones de metros cúbicos).

Los *desprendimientos* se diferencian de los deslizamientos porque en estos una parte de la trayectoria del material es aérea. En estos los planos de rotura pueden ser discontinuidades estructurales o grietas de tracción, provocadas por el estado tensional al que se encuentra sometido el material o por acción del agua.

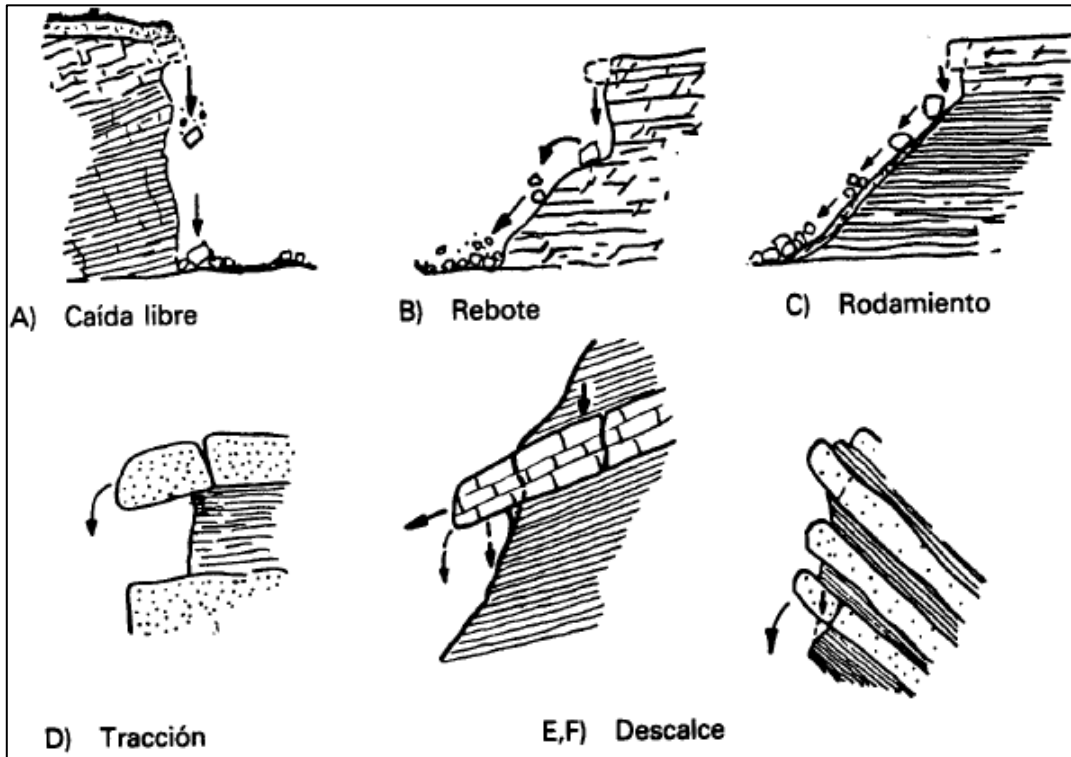


Ilustración 16 Posibles trayectorias de los desprendimientos A, B y C, y diferentes tipos de roturas por desprendimientos D, E y F. (IGME 1987)

En el siguiente cuadro se presenta una clasificación general de los movimientos de laderas, incluyendo los rangos generales de velocidad para cada uno de ellos.



Ilustración 17 Esquema Geomorfológico y movimientos que pueden asociarse. (IGME 1987)

TIPO DE MOVIMIENTO	CLASE DE MATERIAL		RANGO GENERAL DE VELOCIDAD EN LOS MOVIMIENTOS (cms/sg)										
	MEDIOS ROCOSOS		SUELOS		10 ⁰	10 ¹	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁷	10 ⁸
DESPRENDIMIENTOS					EXTR. RAPIDO	MUY RAPIDO	RAPIDO	MODE. RAPIDO	LENTO	MUY LENTO	EXTR. LENTO		
VUELCOS (toppling)													
DESLIZAMIENTOS ROTACIONALES													
DESLIZAMIENTOS TRASLACIONALES					1)								

	PANDEO (Buckling) 												
EXTENSIONES LATERALES													
COLADAS					2)						1)		
MOVIMIENTOS COMPLEJOS													

Ilustración 18 Cuadro general de movimientos de ladera. (IGME 1987)

Por lo tanto abra que tener en cuenta estos fenómenos a la hora de calcular posibles taludes o sostenimientos del terreno.

3.5 Sismicidad

La comunidad autónoma del Principado de Asturias presenta una actividad sísmica muy escasa siendo la tercera comunidad Española con menor proporción de registros, por detrás de Cantabria y Madrid.

La magnitud media de los registros sísmicos detectados se sitúa por debajo de los tres grados, es decir pueden llegar a ser perceptibles pero no provocan daños. Además la gran mayoría de ellos tienen lugar fuera de territorio continental tal y como se observa en la siguiente ilustración.

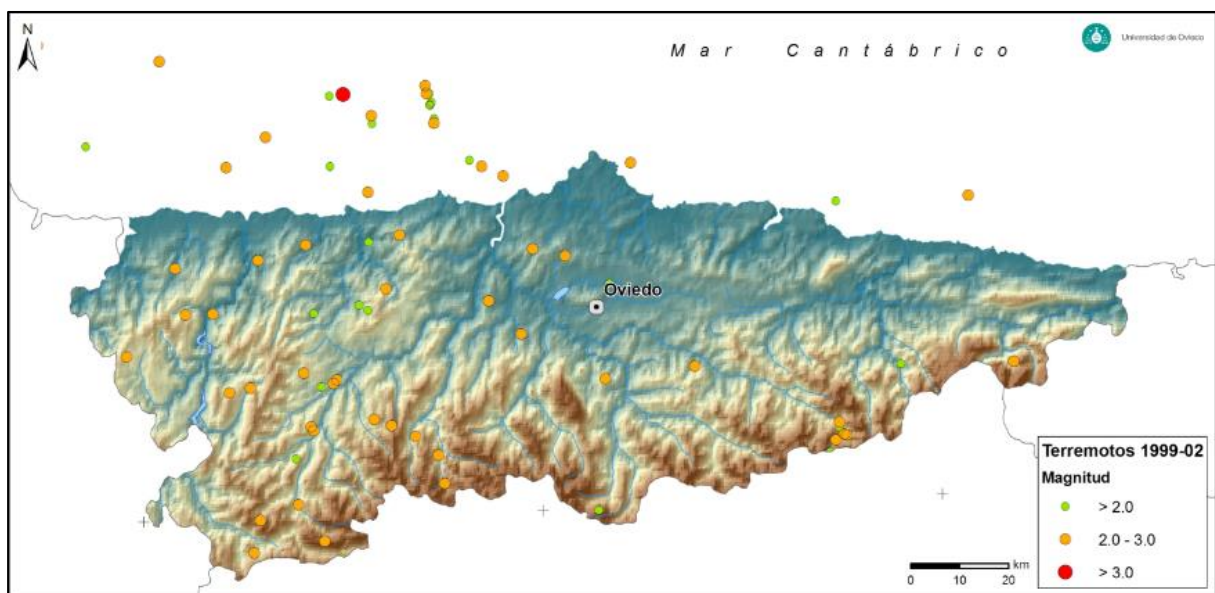


Ilustración 19 Registros sísmicos en la Comunidad Asturiana 1999-2002. (Proyecto Gaspi)

En la zona de estudio no existe ningún registro sísmico, ni en ella ni en sus proximidades.

Acudiendo a la norma de construcción sismorresistente NCSE-02 nuestra construcción entraría en la clasificación de “Importancia Normal”, esta clasificación dice que:

- Aquellas cuya destrucción por el terremoto pueda ocasionar víctimas , interrumpir un servicio para la colectividad o producir importantes pérdidas económicas sin que en ningún caso se trate de un servicio imprescindible ni pueda dar lugar a efectos catastróficos.

Dicho esto, la aplicación de la norma no será obligatoria en las edificaciones de importancia normal o especial cuando la aceleración sísmica básica a_b sea inferior a 0.04g (siendo g la aceleración de la gravedad).

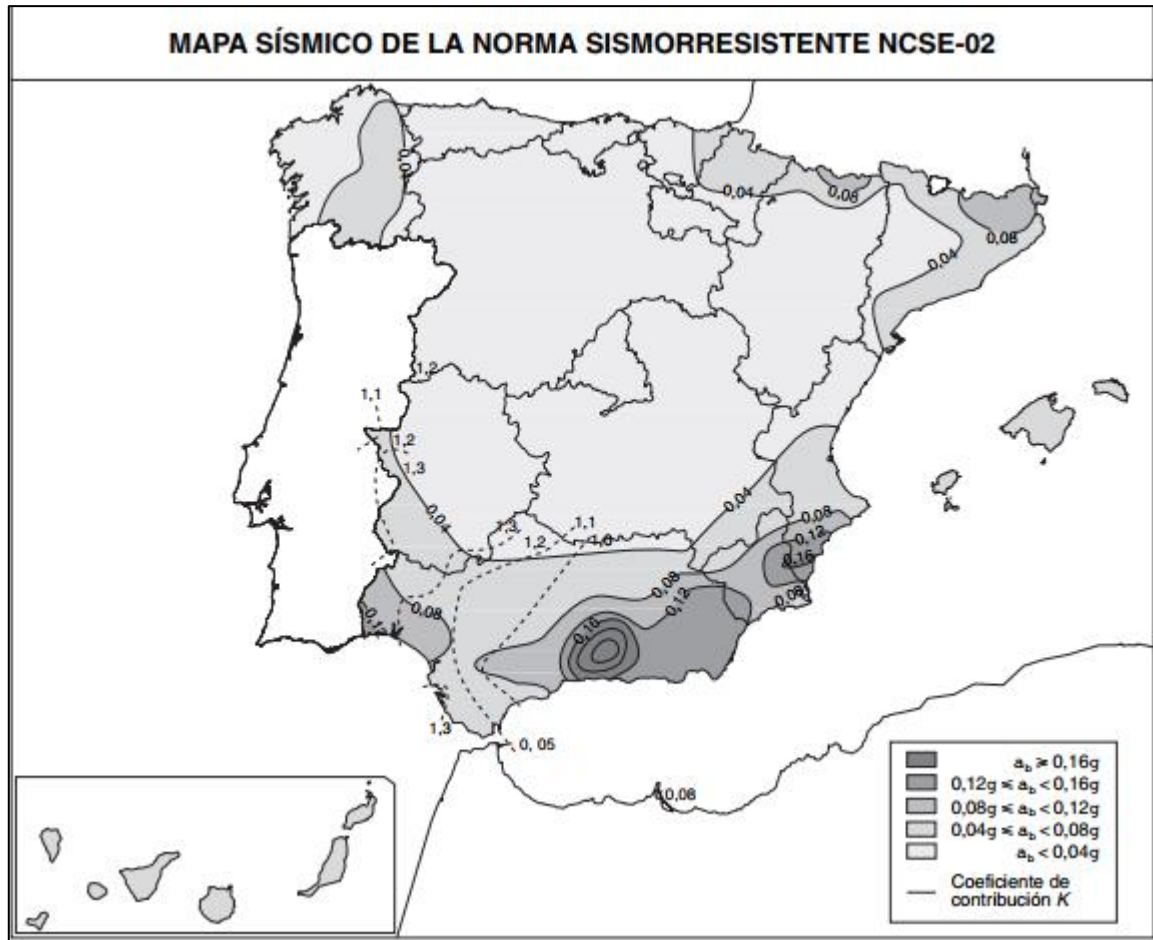


Ilustración 20 Mapa sísmico de la norma sismorresistente NCSE-02. (Ministerio de Fomento)

Por lo que en toda la comunidad autónoma de Asturias la aceleración sísmica no sobrepasa en ningún caso los 0.04 g, tal y como se puede observar en el mapa anterior.

Dicho todo esto, no será necesario la aplicación de la norma NCSE-02.

3.6 Conclusiones estudio geológico

Del estudio de la interpretación de los diferentes datos, de los que se ha tenido acceso, se puede determinar que el trazado del túnel discurrirá por materiales pertenecientes al Cambro-

Ordovícico, concretamente Cuarcitas de Barrios con espesores que pueden sobrepasar los 500 metros.

Con lo que a falta de la información que obtendremos con los estudios en campo podemos afirmar que el túnel solamente atravesara un tipo de material, Cuarcitas de Barrios.



15-05/AD-DN/402.- Cuarcita blanca masiva (O_{12}). Cuarcita de Barrios.

Ilustración 21 Cuarcita blanca masiva y cuarcita de Barrios del manto de Ponga. (IGME)

En lo referente a obras subterráneas.

Las cuarcitas son areniscas silíceas de grano fino con cemento silíceo que han sufrido un proceso de metamorfismo. Se diferencian de las restantes areniscas por su gran dureza, abrasividad y rigidez.

Si están sanas, se tratan de rocas compactas muy resistentes .En estas condiciones la excavación es estable y generalmente autoportante.



El método usual de excavación es la voladura, ya que su abrasividad encarece la excavación mecánica. El recorte es difícil.

4 Estudio Geotécnico

4.1 Objeto

Con el presente estudio geotécnico se pretende definir las características geomecánicas del macizo rocoso y obtener así un modelo geomecánico que nos permita analizar las posibles inestabilidades que puedan surgir y justificar la estabilidad del túnel, a partir del conocimiento de la estructura y la litología del macizo rocoso.

La finalidad del estudio geotécnico es conocer y poder prever el comportamiento del macizo ante las actuaciones de perforación, y excavación que se van a producir.

Para ello se ha realizado un trabajo de campo que recoge las principales características que permiten deducir el modelo de estabilidad del macizo.

A través de esta clasificación se calcula un índice característico de la roca, con el cual podemos describir numéricamente la calidad de dicha roca.

Para clasificar el macizo rocoso partimos de información ya existente en el IGME y después hacemos una clasificación geomecánica del macizo usando las clasificaciones RMR de Bieniawski y Q de Burton.

Información utilizada:

- Cartografía Geotécnica
 - o Mapa Geotécnico General, escala 1:200.000.Hoja 10 (Mieres).
- Trabajos de reconocimiento en el terreno.

4.2 Cartografía Geotécnica

La cartografía geotécnica es la rama de la geotécnica que mediante estudios de investigación de la estructura tectónica de la corteza terrestre, composición de las rocas que forman la parte más superficial de la misma, análisis de los fenómenos geológicos actuales y con las experiencias habidas en otras zonas geológicas y geográficas similares, establece una distribución de las condiciones geotécnicas de la corteza terrestre.

Para esta cartografía geotécnica utilizaremos el mapa geotécnico a escala 1:200.000 hoja 10 (Mieres), proporcionada por el IGME.

Este mapa divide la región en ocho zonas, estando la zona del túnel en la región I₁.

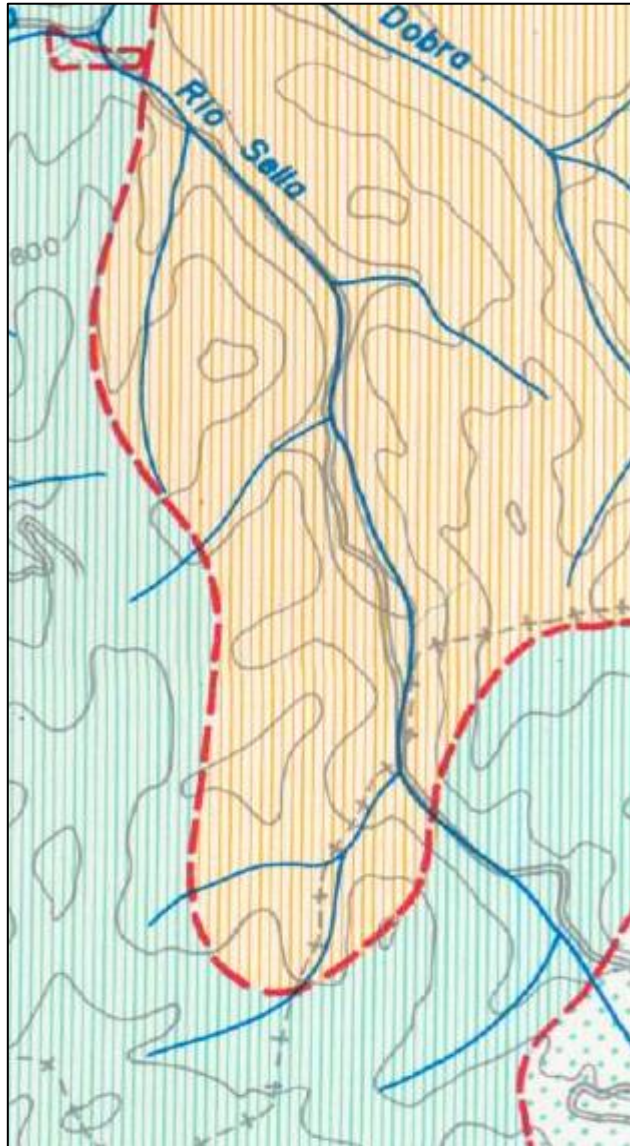


Ilustración 22 Detalle de la zona de estudio I₁. (Mapa geotécnico escala 1:200.000.IGME)

Las Características que se presentan en esta región son las que siguen:

- Características Litológicas.
 - Existen masas muy potentes de calizas, algunas cuarcitas e intercalaciones de pizarras y areniscas.
 - En superficie predominan los depósitos detríticos de caliza o cuarcita y alteraciones calcáreas limo-arcillosas.

- Características geomorfológicas
 - Zona de relieve muy acusado con muchas acumulaciones rocosas y Karstificación muy desarrollada.
 - Zona influenciada por la fracturación.
 - Zona estable en condiciones naturales y muy modificables por la acción del hombre.
- Características Hidrológicas
 - Zona semipermeable, en relación con las formas de absorción de origen kárstico y fracturas existentes.
 - Existencia de importantes circulaciones acuíferas profundas ligadas a fenómenos kársticos.
 - Bien drenado en superficie, con escorrentía superficial muy activa, propia de una zona montañosa y carente de vegetación.
 - Definible como zona de drenaje favorable, determinando unas condiciones constructivas favorables, salvo en puntos muy localizados.
- Características geotécnicas
 - Capacidad de carga alta, carencia, casi generalizada de asientos. Existen deslizamientos, desconchado térmico y cavidades subterráneas.
 - Condiciones de construcción favorables modificadas fundamentalmente por la morfología abrupta y kárstica.

4.3 Caracterización del Macizo rocoso

Se define como macizo rocoso “al conjunto del material rocoso, es decir, la sustancia rocosa misma y las discontinuidades geológicas que aíslan a los bloques o fragmentos de roca que lo conforman”.

4.3.1 Trabajos de campo

Como se ha determinado en el anterior estudio geológico la traza del túnel atravesara un macizo rocoso formado por Cuarcitas de Barrios.

Como complementación del citado estudio y para conseguir una mayor certeza , ya que el estudio geológico aunque preciso en su medida puede presentar variaciones en las

características geológicas de la roca en escalas no apreciables con las herramientas disponibles , se realizaron dos estaciones geomecánicas para la determinación de las características básicas del macizo rocoso.

Estas estaciones geomecánicas se han situado en:

Estación Geomecánica N°1					
Nombre del Proyecto	Túnel carretero N-625		Tipo de roca		
Lugar	Corigos		Cuarцитas		
Realizado por	E. Milagros				
Fecha	23/07/2017				
Resistencia de la matriz rocosa			Calidad del Testigo , RQD		
Designación	Resistencia a compresión simple (MPa)				
Muy Alta	>250	X	Excelente		
Alta	100-250		Buena	X	
Medio-Alta	50-100		Media		
Media	25-50		Mala		
Baja	5-25		Muy Mala		
Muy Baja	1-5				
Rumbo y buzamiento					
Familia	Rumbo		Buzamiento		
			Angulo	Dirección	
1	105°		45°	N	
2	250°		70°	N	
Espaciamiento entre discontinuidades					
		Familia 1	Familia 2	Familia 3	Familia 4
Muy Grande	>2 m				
Grande	0,6-2 m				
Medio	0,2-0,6 m				
Pequeño	0,06-0,2m	X			
Muy Pequeño	<0,06m				
Agua Subterránea					
Condiciones generales (completamente seco , ligeramente húmedo , húmedo , goteando o fluyendo)					
Completamente seco					

Estación Geomecánica N°2					
Nombre del Proyecto	Túnel carretero N-625		Tipo de roca		
Lugar	Corigos		Cuarцитas		
Realizado por	E. Milagros				
Fecha	23/07/2017				
Resistencia de la matriz rocosa				Calidad del Testigo , RQD	
Designación	Resistencia a compresión simple (MPa)				
Muy Alta	>250	X		Excelente	
Alta	100-250			Buena	X
Medio-Alta	50-100			Media	
Media	25-50			Mala	
Baja	5-25			Muy Mala	
Muy Baja	1-5				
Rumbo y buzamiento					
Familia	Rumbo	Buzamiento			
		Angulo	Dirección		
1	135° de N a E	70°	N		
2	260°	60°	N		
Espaciamiento entre discontinuidades					
		Familia 1	Familia 2	Familia 3	Familia 4
Muy Grande	>2 m				
Grande	0,6-2 m				
Medio	0,2-0,6 m				
Pequeño	0,06-0,2 m	X			
Muy Pequeño	<0,06 m				
Agua Subterránea					
Condiciones generales (completamente seco , ligeramente húmedo , húmedo , goteando o fluyendo)					
Completamente Seco					

Notas de la estaciones Geomecánicas:

- Se toma como resistencia a compresión simple 288.8 MPa.

4.3.2 Clasificaciones geomecánicas del macizo rocoso.

Las clasificaciones geomecánicas son un método de ingeniería geológica que permiten evaluar el comportamiento geomecánico de los macizos rocosos, y de aquí estimar los parámetros geotécnicos de diseño y el tipo de sostenimiento del túnel.

Este tipo de clasificaciones geomecánicas, son las más utilizadas hoy en día, sobre todo en los estudios geotécnicos de túneles, donde de los diez mil kilómetros de túneles y galerías que se excavan anualmente aproximadamente un 80% se excavan atendiendo únicamente a la clasificación geomecánica de los terrenos, pero es conveniente aplicarlas no perdiendo de vista los datos sobre los que estos se fundamentan.

4.3.2.1 R.Q.D

El RQD (Rock Quality Designation index) fue desarrollado por Deere et al. (1967), para estimar cuantitativamente la calidad del macizo rocoso basándose en la recuperación de un testigo. Depende indirectamente del número de fracturas y del grado de alteración del macizo rocoso.

Para la determinación del RQD, la sociedad Internacional de Mecánica de Rocas recomienda que los tamaños de los núcleos extraídos sean al menos de 57,4 mm y obtenidos con barril de doble tubo y broca de diamantes. Las fracturas artificiales (producidas por la barrenación) deben ser ignoradas.

El RQD es el porcentaje de fragmentos de longitud superior a 10 cm, sobre la longitud total del testigo.

Su expresión es la siguiente:

$$RQD = \frac{\sum(\text{Longitud de fragmentos} \geq 10\text{cm})}{\text{Longitud total perforada}} \times 100$$

Cuanto mayor sea el valor del RQD menor será la fracturación de este y mayor su resistencia.

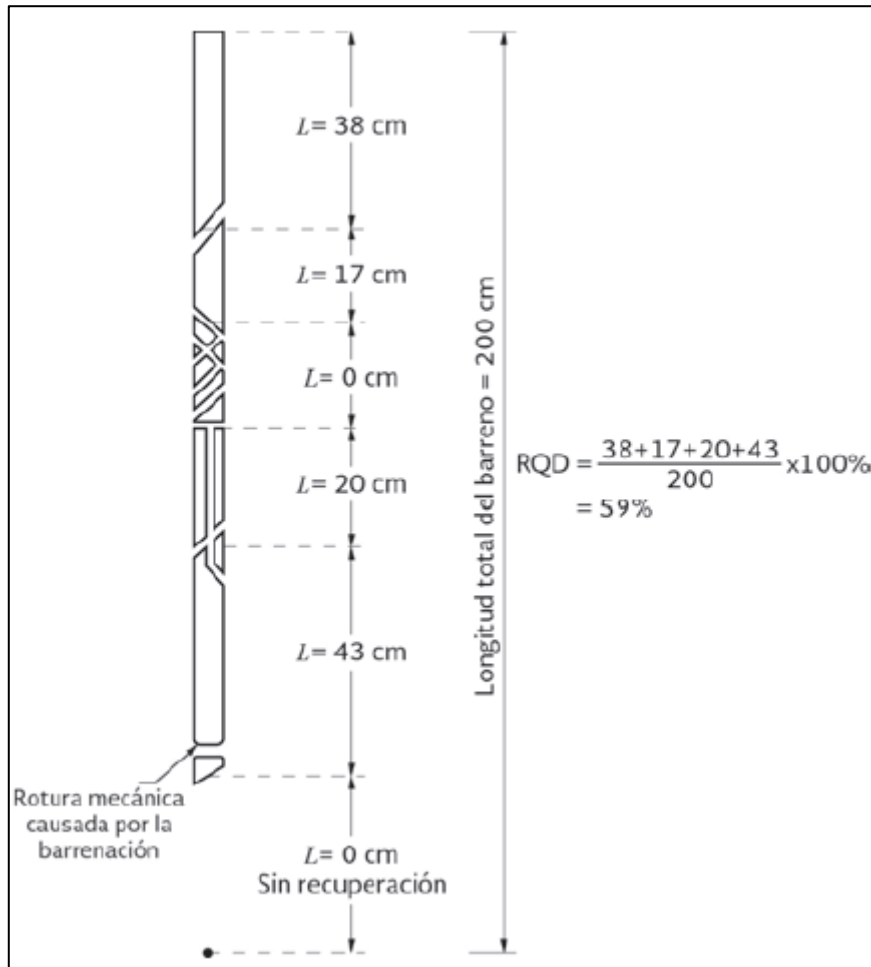


Ilustración 23 Procedimiento para la medición del RQD (Deere, 1966)

Relación entre la calidad de la roca y el RQD:

Calidad de la roca	RQD
Muy Mala	0-25
Mala	25-50
Regular	50-75
Buena	75-90
Excelente	90-100

Tabla 4-1 Relación entre el valor del RQD y la calidad de la roca (Excavación, sostenimiento y técnicas de corrección de túneles, obras subterráneas y labores mineras. J. Gallo)

Cuando no se dispone de núcleos de perforación, se podrá estimar el RQD por la cantidad de fisuras contenidas en la unidad de volumen, en la que la cantidad de juntas por metro cubico en cada sistema de juntas se suman.

Una simple relación podrá usarse para convertir esta cantidad en RQD para una roca sin arcilla, usando el siguiente parámetro:

$$RQD = 115 - 3.3 * Jv$$

Donde:

- Jv , es la cantidad total de juntas o fisuras por m^3 .

El valor obtenido del índice RQD es 86%.

4.3.2.2 Clasificación geomecánica de Bieniawski o RMR

El sistema de clasificación Rock Mass Rating o sistema RMR fue desarrollado por Z.T. Bieniawski durante los años 1972 – 1973, y ha sido modificado en 1976 y 1979, en base a más de 300 casos reales de túneles, cavernas, taludes y cimentaciones. Actualmente se usa la edición de 1989, que coincide sustancialmente con la de 1979.

Obtención del índice RMR.

Para determinar la calidad del macizo rocoso mediante esta clasificación, se divide este en dominios estructurales, es decir, en zonas delimitadas por discontinuidades geológicas, dentro de las cuales la estructura es prácticamente homogénea. La estructura del macizo rocoso comprende el conjunto de fallas, diaclasas, pliegues y demás características geológicas propias de una determinada región.

1. La resistencia a compresión simple el material rocoso.

Tipo de roca	Resistencia a compresión simple (MPa)		
	Mínima	Máxima	Media
Creta	1	2	1,5
Sal	15	29	22
Carbón	13	41	31
Limolita	25	38	32
Esquisto	31	70	43
Pizarra	33	150	70
Lutita	36	172	95
Arenisca	40	179	95
Marga	52	152	99
Mármol	60	140	112
Caliza	69	180	121
Dolomía	83	165	127
Andesita	127	138	128
Granito	153	233	188
Gneis	159	256	195
Basalto	168	359	252
Cuarcita	200	304	252
Dolerita	227	319	280
Gabro	290	326	298
Taconita	425	475	450
Sílice	587	683	635

Tabla 4-2 Estimación de las resistencias medias de ciertas rocas según Bieniawski.1973. (Mecánica de Rocas. Pedro Ramírez Oyanguren et al)

2. RQD (Rock Quality Designation). (Ver punto 4.3.1.2).
3. El espaciamiento entre las discontinuidades o juntas, este término se refiere a las discontinuidades estructurales (fallas, diaclasas, planos de estratificación...etc.), y su espaciado es la distancia media entre los planos de discontinuidad de cada familia, es decir, de cada conjunto con las mismas características geomecánicas.

La resistencia del macizo rocoso se va reduciendo al aumentar el número de juntas, o sea, cuando disminuyen los espaciados de cada familia.

La clasificación utilizada por Bieniawski para este término es la propuesta por Deere en 1967.

Descripción	Espaciado de las juntas	Tipo de macizo rocoso
Muy ancho	>3 m	Sólido
Ancho	1-3 m	Masivo
Moderadamente cerrado	0,3-1 m	En bloques
Cerrado	50-300 mm	Fracturado
Muy cerrado	<50 mm	Machacado

Tabla 4-3 Clasificación de Deere (1967) del espaciado de las juntas. (Mecánica de Rocas. Pedro Ramírez Oyanguren et al)

4. El estado de las discontinuidades. Para describir el estado de las juntas o discontinuidades se utilizan los siguientes parámetros:
 - Apertura entre los labios de la discontinuidad.
 - Continuidad (dimensiones) de la junta según rumbo y buzamiento.
 - Rugosidad de los labios.
 - Resistencia de la roca en los labios de la discontinuidad.
 - Relleno de la junta.
5. La presencia de agua. , debiendo estimarse el flujo de agua en litros/min cada 10 metros de túnel.
6. La orientación de las discontinuidades.

Una vez obtenidos los valores de los puntos anteriores el RMR se obtiene como la suma de las puntuaciones que corresponden a cada uno de los valores.

$$RMR = 1 + 2 + 3 + 4 + 5 - 6$$

Teniendo en cuenta que no aplicaremos la corrección que corresponde al número 6, ya que esta se aplica para el cálculo del sostenimiento, tenemos que:

$$RMR = 1 + 2 + 3 + 4 + 5$$

Valoración del parámetro RMR:

RMR	Descripción del macizo rocoso	Clase
81-100	Muy Bueno	I
61-80	Bueno	II
41-60	Medio	III
21-40	Malo	IV
0-20	Muy Malo	V

Tabla 4-4 Clasificación geomecánica RMR. (Cornejo Álvarez y Salvador, 1995)

Significado de las clases de los macizos rocoso:

- Tiempo de mantenimiento, tiempo durante el cual se mantienen estables las longitudes sin revestir indicadas.

Clase Numero	I	II	III	IV	V
Tiempo de mantenimiento	20 Años para luz de 15 m	1 año para luz de 10m	1 semana para 5 m	10 horas para 2,5 m	30 minutos para 1 m
Cohesión (KPa)	>400	300-400	200-300	100-200	<100
Angulo de fricción (Grados)	>45°	35°-45°	25°-35°	15°-25°	<15°

Tabla 4-5 Significado de las clases de los macizos rocosos. (Mecánica de Rocas. Pedro Ramírez Oyanguren et al)

Para la obtención de los valores anteriormente mencionados utilizaremos la siguiente tabla donde aparecen todos ellos agrupados.

Parámetro			Rango de valores						
1	Resistencia de la roca intacta	Ensayo carga puntual	> 10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa			
		Compresión simple	> 250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	< 1 MPa
	valor	15	12	7	4	2	1	0	
2	RQD		90-100%	75-90%	50-75%	25-50%	<25%		
	valor		20	17	13	8	3		
3	Espaciado de las discontinuidades		> 2 m	0,6-2 m	0,2-0,6 m	6-20 cm	< 6 cm		
	valor		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	1 – 3 m	3 – 10 m	10 – 20 m	> 20 m		
		Valor	6	4	2	1	0		
		Abertura	Nada	< 0.1 mm	0.1 – 1.0 mm	1 – 5 mm	> 5 mm		
		Valor	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave		
		Valor	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando > 5 mm		
		Valor	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
valor	6	5	3	1	0				
5	Flujo de agua en las juntas	Relación Pagua / Pprinc	0	0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	> 0,5		
		Condiciones Generales	Completamente secas	Ligeramente húmedas	Húmedas	Goteando	Agua fluyendo		
	valor	15	10	7	4	0			

Tabla 4-6 Parámetros de Clasificación y sus valores. Mecánica de Rocas (Pedro Ramírez Oyanguren et al.)

Resultado de las mediciones:

Propiedades		Intervalos	Valoración	
1	Resistencia a compresión simple	>250	15	
2	R.Q.D	75-90%	17	
3	Espaciado de las discontinuidades	0.6-2 m	15	
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	1-3 m	4
		Abertura	1-5 mm	1
		Rugosidad	Ondulada	1
		Relleno	Ninguno	6
	Alteración	Ligeramente Alterada	5	
5	Flujo de agua	Completamente secas	15	
RMR			79	

Tabla 4-7 Resultados de los parámetros para el cálculo del RMR (Elaboración propia)

El RMR está correlacionado empíricamente con el módulo de Young del macizo rocoso, no de la roca intacta, mediante las siguientes formulas:

$$E = 2 * RMR - 100 , para RMR > 50 , Bieniawski (1978)$$

$$E = 10^{(RMR-10)/40} , para RMR \leq 50 , Serafilm y Pereira (1983)$$

En el caso de la cuarcita el módulo de Young (E) se sitúa entre 24-44,8 (GPa).

Por lo que aplicando la primera de las fórmulas para un módulo de Young medio para las cuarcitas de 34.4 GPa obtenemos que:

$$34.4 = 2 * RMR - 100$$

$$RMR = 67.2$$

Por lo que podemos decir que el RMR medio de los dos cálculos es:

$$RMR = \frac{79 + 67.2}{2} = 73.1$$

Dicho valor representa un macizo rocoso de clase II de una buena calidad.

4.3.2.2.1 Correlaciones entre el RMR y otros parámetros

La obtención del RMR permite calcular la cohesión y el ángulo de fricción, parámetros resistentes del criterio de Mohr-Coulomb mediante las siguientes ecuaciones:

$$c = 5 * RMR (KPa)$$

$$\phi = 5 + \frac{RMR}{2} (deg)$$

Donde

- c, es la cohesión, medida de la cementación o adherencia entre las partículas de un suelo.
- ϕ , es el ángulo de fricción, es la representación matemática del coeficiente de rozamiento.

Con las formulas anteriores obtenemos una cohesión y ángulo de fricción de:

$$c = 5 * 73.1 = 365.5 Kpa$$

$$\phi = 5 + \frac{73.1}{2} = 41.55^\circ$$

Ambos resultados son lógicos al encontrarse entre los límites propuestos en la tabla 4-4, para una roca con número de clase II.

4.3.2.3 Clasificación de Barton et al. (1974)

Desarrollado en Escandinavia por Barton, Lien y Lunde en 1974, a partir de doscientos casos de excavaciones subterráneas, constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos que permite establecer sistemas de sostenimientos para túneles y cavernas.

La clasificación geomecánica de Barton asigna a cada terreno un valor numérico, tanto mayor cuanto mejor es la calidad geotécnica de la roca. Su variación no es lineal como la del RMR, sino que oscila entre 0.001 para terrenos muy malos y 1000 para terrenos muy buenos.

El valor de Q se obtiene de la siguiente expresión:

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

Donde:

- RQD, “Rock Quality Designation”. Calidad de la roca.
- J_n , “Joint set Number”. Número de familias de juntas del macizo rocoso.
- J_r , “Joint Roughness Number”. Rugosidad de las juntas.
- J_a , “Joint Alteration number”. Alteración de las paredes de las juntas.
- J_w , “Joint Water reduction factor”. Coeficiente reductor que tiene en cuenta la presencia de agua.
- SRF: “Stress Reduction Factor”, factor dependiente principalmente de las tensiones existentes en el macizo rocoso.

La asociación de los factores anteriores permite dar un sentido físico a cada uno de ellos donde:

- RQD/J_n , representa el tamaño del bloque medio.
- J_r/J_a , Reúne términos de rugosidad, fricción y relleno de las juntas y representa la resistencia al corte entre bloques.

- J_w/SRF , Combina condiciones de agua y tensión y, por tanto, puede representar una tensión activa o eficaz.

En las siguientes tablas se presentan los valores de todos los parámetros que se han descrito anteriormente:

Descripción	J_n
Roca Masiva	0,5-1
Una familia de diaclasas	2
Una familia y algunas juntas ocasionales	3
Dos familias	4
Dos familias y algunas juntas	6
Tres Familias	9
Tres familias y algunas juntas	12
Cuatro o más familias , roca muy fracturada , "terrones de azúcar"...etc.	15
Roca triturada terrosa	20
En boquillas , se utiliza 2 J_n y en intersecciones de túneles 3 J_n .	

Tabla 4-8 Número de familias de juntas J_n . (Mecánica de Rocas. Pedro Ramírez Oyanguren et al)

Descripción	J_r
Contacto entre las dos caras de la junta mediante un desplazamiento cortante de menos de 10 cm.	
Juntas discontinuas.	4
Junta rugosa o irregular ondulada.	3
Suave Ondulada.	2
Espejo de falla, ondulada.	1,5
Rugosa o irregular, plana.	1,5
Suave Plana.	1
Espejo de falla, plana.	0,5
No existe contacto entre las dos caras de la junta cuando ambas se desplazan lateralmente.	
Zona conteniendo minerales arcillosos, suficientemente gruesa para impedir el contacto entre las caras de la junta.	1
Arenas, gravas o zona fallada suficientemente gruesa para impedir el contacto entre las dos caras de la junta.	1

Tabla 4-9 Rugosidad de las juntas J_r . (Mecánica de Rocas. Pedro Ramírez Oyanguren et al)

- Nota:
- Si el espaciado de la familia de juntas es mayor de 3 m hay que aumentar el J_r en una unidad.
 - Para juntas planas con espejo de falla provisto de lineaciones, si estas están orientadas en la dirección de mínima resistencia, se puede usar $J_r=0.5$.

Descripción	J_w	Presión agua (kg/cm ²)
Excavaciones secas o de fluencia poco importante, p.ej. menos de 5 l/min localmente.	1	<1
Fluencia o presión media, ocasional lavado de los rellenos de las juntas.	0,66	1-2,5
Fluencia grande o presión alta; considerable lavado de los rellenos de las juntas.	0,33	2,5-10
Fluencia o presión del agua excepcionalmente altas al dar las pegas, decayendo con el tiempo.	0,1-0,2	>10
Fluencia o presión del agua excepcionalmente alta y continua, sin disminución.	0,05-0,1	>10

Tabla 4-10 Agua en las juntas (Mecánica de Rocas. Pedro Ramírez Oyanguren et al)

Notas:

- Los valores presentados con el signo * son solo valores estimativos. Si se instalan elementos de drenaje, hay que aumentar J_w .
- Los problemas causados por la formación de hielo no se consideran.

Descripción	J_a	φ_r^o
Contacto entre las dos caras de la junta		
Junta sellada dura, sin reblandecimiento, impermeable (p.ej: cuarzo, paredes sanas).	0,75	25-30
Caras de la junta únicamente manchadas	1	25-30
Las caras de la junta están alteradas ligeramente y contienen minerales no reblandecibles , partículas de arena , roca desintegrada libre de arcilla ...etc.	2	25-30
Recubrimiento de limo o arena arcillosa, pequeña fracción arcillosa no reblandecible.	3	20-25
Recubrimiento de minerales arcillosos blandos o de baja fricción, p.ej .caolinita, mica, clorita, talco, yeso, grafito...etc., y pequeñas cantidades de arcillas expansivas. Los recubrimientos son discontinuos con espesores máximos de 1 o 2mm.	4	8-16
Contacto entre las dos caras de la junta con menos de 10 cm de desplazamiento		
Partículas de arena, roca desintegrada libre de arcilla.	4	25-30
Rellenos de minerales arcillosos no reblandecidos, fuertemente sobreconsolidados.Los recubrimientos son continuos de menos de 5 mm de espesor.	6	16-24
Sobreconsolidación media o baja, reblandecimiento; rellenos de minerales arcillosos. Los recubrimientos son continuos de menos de 5 mm de espesor.	8	12-16
Rellenos de arcillas expansivas, p.ej. montmorillonita, de espesor continuo de 5 mm. El valor J_a depende del porcentaje de partículas del tamaño de la arcilla expansiva.	8-12	6-12
No existe contacto entre las dos caras de la junta cuando esta ha sufrido un desplazamiento cortante		
Zonas o bandas de roca desintegrada o roca manchada y arcilla.	6-8 u 8-12	6-24
Zonas blandas de arcilla limosa o arenosa con pequeña fracción de arcilla, sin reblandecimiento.	5	6-24
Milonitos arcillosos gruesos	10-13 u 13-20	6-24

Tabla 4-11 Meteorización de las juntas (Mecánica de Rocas. Pedro Ramírez Oyanguren et al)

Descripción			
1.Zonas débiles que intersectan la excavación y pueden causar caídas de bloques , según avanza la misma			SRF
A. Varias zonas débiles conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente , roca muy suelta alrededor (cualquier profundidad)			10
B. Solo una zona débil conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación menos de 50m)			5
C. Solo una zona débil conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación mayor de 50m)			2,5
D. Varias zonas de fractura en roca competente (libre de arcilla) roca suelta alrededor (cualquier profundidad)			7,5
E. Solo una zona fracturada en roca competente (libre de arcilla)(profundidad de excavación menor de 50 m)			5
F. Solo una zona fracturada en roca competente (libre de arcilla)(profundidad mayor de 50 m)			2,5
G. Juntas abiertas sueltas , muy fracturadas etc. (cualquier profundidad)			5
2.Rocas competentes , problemas de tensiones en rocas		σ_c / σ_1	σ_t / σ_1 SRF
H. Tensiones pequeñas cerca de la superficie		>200	>13 2,5
J. Tensiones medias		200-10	13-0,66 1
K. Tensiones altas , estructura muy compacta (normalmente favorable para la estabilidad , puede ser desfavorable para la estabilidad de los hastiales)		10-5	0,66-0,33 0,5-2
L. Explosión de roca suave (roca másica)		5-2,5	0,33-0,16 43013
M. Explosión de roca fuerte (roca másica)		<2,5	<0,16 44105
σ_c y σ_t son las resistencias a compresión y tracción , respectivamente , de la roca ; σ_1 es la tensión principal máxima que actúa sobre la roca			
3.Roca fluyente , flujo plástico de roca incompetente bajo la influencia de altas presiones lito estáticas			SRF
N. Presión de flujo suave			5-10

O. Presión de flujo intensa	10-20
4. Rocas expansivas, actividad expansiva química dependiendo de la presencia de agua.	SRF
P. Presión de expansión suave	5-10
R. Presión de expansión intensa	10-20

Tabla 4-12 Tensiones en la excavación SRF (Mecánica de Rocas. Pedro Ramírez Oyanguren et al)

Observaciones al SRF:

- Reducir los valores del SRF en un 25-30% si las zonas de rotura solo influyen pero no intersectan a la excavación.
- En los casos en que la profundidad de la clave del túnel sea inferior a la anchura del mismo, se sugiere aumentar el SRF de 2.5 a 5 (ver punto H).
- Para campos de tensiones muy anisótropos (si se miden) cuando $5 \leq \sigma_1 / \sigma_3 \leq 10$, reducir σ_c y σ_t a $0.8 \sigma_c$ y $0.8 \sigma_t$; cuando $\sigma_1 / \sigma_3 > 10$, reducir σ_c y σ_t a $0.2 \sigma_c$ y $0.6 \sigma_t$, donde σ_3 es la tensión principal mínima que actúa sobre la roca.

Observaciones para las tablas anteriores:

- Cuando no se dispone de sondeos, el RQD se estima a partir de afloramientos, mediante el índice volumétrico de juntas J_v , tal y como se indicó en la clasificación de Deere.
- El parámetro J_n puede estar afectado por foliación, esquistosidad...etc., Solo si estas juntas paralelas están suficientemente desarrolladas se contabilizan como una familia; si no se contabilizan como juntas ocasionales.
- Se tomaran los valores de los parámetros J_r y J_a de la familia de juntas o discontinuidades rellenas de arcilla más débiles de la zona, pero hay que elegir en primer lugar las juntas de orientación desfavorable, aunque no den el valor mínimo del cociente J_r/J_a .
- En rocas muy anisótropas, la resistencia a compresión simple de la roca, σ_c , y a tracción σ_t , se evalúan en la dirección más desfavorable para la estabilidad de la estructura subterránea.

Correlaciones entre RMR y Q:

La relación entre los índices de calidad RMR y Q puede expresarse en forma general mediante la siguiente ecuación:

$$RMR = a * LnQ + b$$

Donde:

- a y b, son constantes que dependen del tipo de roca y de su fracturación. Káiser et al. (1986) señala el siguiente rango de valores para estos parámetros:
 - o a= 5 a 13.5.
 - o b = 26 a 62.

A continuación se presentan las correlaciones entre RMR y Q obtenidas por algunos investigadores:

$$RMR = 9 * LnQ + 44 , (Bieniawski, 1979, Suráfrica)$$

$$RMR = 5.9 * Ln Q + 43 , (Rutledge y Preston, 1980, Nueva Zelanda)$$

$$RMR = 5.4 * LnQ + 55.2 , (Moreno, E.1981.Asturias)$$

$$RMR = 10.5 * LnQ + 41.8 , (Abad, J. et al 1983, Asturias)$$

$$RMR = 5 * lnQ + 60.8 , (Cameron Clark y Budavari 1981, Suráfrica)$$

Si realizamos los cálculos pertinentes para cada una de las correlaciones obtenemos que:

- Bieniawski:

$$RMR = 44 + 9 lnQ$$

$$73.1 = 44 + 9lnQ$$

$$Q = 25.36$$

- Moreno:

$$73.1 = 5.4 * lnQ + 55.2$$

$$Q = 27.51$$

– Abad:

$$73.1 = 10.5 * \ln Q + 41.8$$

$$Q = 19.7$$

– Cameron Clark y Budavari:

$$73.1 = 5 * \ln Q + 60.8$$

$$Q = 11.70$$

Con lo que obtenemos un valor medio de Q:

$$Q = 21.06$$

Dicho valor se traduce en un macizo rocoso de buena calidad.

Tipo de Macizo	Valor de Q
Excepcionalmente malo	10^{-3} - 10^{-2}
Extremadamente malo	10^{-2} - 10^{-1}
Muy Malo	10^{-1} -1
Malo	1-4
Medio	4-10
Bueno	10-40
Muy Bueno	40-100
Extremadamente bueno	100-400
Excepcionalmente bueno	400-1000

Ilustración 24 Clasificación de Barton et al. (1974) de los macizos rocosos. (Mecánica de Rocas. Pedro Ramírez Oyanguren et al)

La descripción la correlación entre ambas clasificaciones tendría las equivalencias de la siguiente tabla:

Clases RMR	Valores RMR	Clases Q	Valores Q
I	90±10 Muy Buena	Extremadamente o excepcionalmente buena	>200
II	70±Buena	Buena a muy buena	20-200
III	50±Regular	Muy mala a buena	0,3-20
IV	30±Mala	Extremadamente mala	0,003-0,3
V	10±Muy Mala	Excepcionalmente mala	<0,003

Tabla 4-13 Correlaciones entre los valores del RMR y Q. (Ingeo Túneles. Entorno Grafico)

4.3.2.4 Clasificación de Hoek. Geological Strength Index (GSI)

El sistema GSI, Geological Strength Index, presentado por Hoek (1994) y Hoek et al. (1998), proporciona un sistema para la estimación de la reducción de la resistencia del macizo rocoso para diferentes condiciones geológicas como las identificadas por observaciones en el campo.

La caracterización del macizo rocoso es simple y está basada en la impresión visual de la estructura rocosa, en términos de bloques, y la condición de la superficie de las discontinuidades indicadas por la rugosidad y alteración de las juntas.

La combinación de estos dos parámetros proporciona una base práctica para describir un amplio rango de tipos de macizos rocosos.

El GSI es especialmente útil para los macizos rocosos más blandos con $RMR < 20$.









GSI PARA MACISOS HETEROGÉNEOS COMO FLYSCH (Marinos P. and Hoek, E, 2000)						
A partir de la litología, estructura y condiciones superficiales de las discontinuidades, se estima un valor promedio del GSI. No se debe tratar de ser muy preciso. Un rango de 33-37 es más realista que un GSI=35. Note que el criterio de Hoek - Brown no aplica a estructuras controladas por fallas, donde la orientación desfavorable de los planos de debilidad está presente pudiendo estos dominar el comportamiento del macizo rocoso. Algunos esfuerzos en el macizo son reducidos por la presencia de agua y esta puede conducir a un ligero desplazamiento y deteriorar la calidad. La presión de agua no hace cambios en el valor de GSI y este puede tratarse con esfuerzos efectivos.		CONDICIONES DE SUPERFICIE EN LAS DISCONTINUIDADES (Planos de foliación predominantes)				
COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA		MUY BUENAS	BUENAS	REGULAR	POBRE	MUY POBRE
		Superficies muy rugosas, superficies no meteorizadas, frescas	Superficies rugosas, ligeramente meteorizadas, manchadas con hierro	Superficies lisas, moderadamente meteorizadas y alteradas	Superficies con espejos de falla, con alto grado de meteorización con rellenos compactos o rellenos de fragmentos	Superficies con espejos de falla, con alto grado de meteorización con rellenos de arcilla suave.
	A. El espesor de la capa de arenisca. El efecto del recubrimiento pelítico sobre los planos de las capas es minimizado por el efecto de confinamiento del macizo rocoso	70	60	A		
	B. Arenisca con intercalaciones de limolita		50	B		
	C. Arenisca y limolita en iguales cantidades.			C		
	D. Limolita con estratos de arenisca con estratos de			D		
	E. limolita y arcillolita con estratos de arenisca			E		
E, D, E y G pueden ser más o menos foliadas como se ilustra, pero no cambian los esfuerzos. La deformación tectónica, fallas y pérdida de continuidad implica desplazarse a las categorías F y H.						
	F. Tectónicamente deformado, intensamente foliado/fallado, material arcilloso cizallado de limolita y arcillolita con fragmentos de areniscas deformadas formando				30	F
	G. Arcillolitas y limolitas inalteradas con o sin arenisca.					20
	H. Limolita o arcillolita tectónicamente deformada formando una estructura caótica con paquetes de arcilla. Delgados estratos de arenisca transformada en pequeñas					10

Ilustración 26 Estimación del GSI para macizos heterogéneos como flysch. (Adaptado de Hoek 2006)

Para macizos rocosos de mejor calidad ($GSI \geq 25$), el valor del índice GSI puede ser estimado directamente de la versión 1989 de la clasificación propuesta por Bieniawski para calificar geotécnicamente el macizo rocoso (índice RMR), asignando 15 puntos a la condición de aguas subterráneas (o sea suponiendo una condición seca) y asignando 0 puntos al ajuste por orientación de las discontinuidades (o sea suponiendo que la orientación es muy favorable) para el cálculo de RMR_{89} .

$$GSI = RMR_{89} - 5$$

El resultado estimado:

$$GSI = 79 - 5 = 73$$

- $RMR_{89} = 69$, resultante de asignar un valor de 15 puntos a la condición de aguas subterráneas.

4.4 Conclusiones del estudio geotécnico

Con el anterior estudio geotécnico hemos determinado que la calidad de la roca para cada una de las clasificaciones geomecánicas más utilizadas es:

Clasificación	Valor
RQD	86
RMR	73.1
Q	21.06
GSI	71

Tabla 4-14 Resumen valores de las clasificaciones geomecánicas. (Elaboración Propia)

- Cohesión, 365.5 KPa.
- Angulo de fricción, $\phi=41.55^\circ$.
- Resistencia a compresión simple, R.C.S=288.8 MPa.
- Módulo de Young, E=34.4 GPa.
- Densidad aparente, 2770 Kg/m³.

Otras características concretas de las cuarcitas Asturianas

Tipo de Ensayo	Cámbrico	Cámbrico-Ordovícico	Ordovícico
P. específico aparente (g/cm ³)	2,82	2,61-2,76	2,40-2,64
P. específico real(g/cm ³)	2,86	2,66-2,67	2,59-2,71
Absorción (%)	0,49	0,71-1,01	0,38-0,64
Estabilidad SO ₄ Mg	1,68	2,35-4,69	1,00-3,88
Desgaste Los Ángeles	20,4	27,7-33,6	20,4-41,0

Tabla 4-15 Características físicas cuarcitas Asturias. (Recursos del subsuelo de Asturias, Manuel Gutiérrez Claverol)