

PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE RONDA ESTE. TRAMO PO-542 (PONTE BORA-O PINO).
PO-532 (PONTEVEDRA-PONTECALDELAS). ACCESO A MONTECELO Y COMPLEJO
PRÍNCIPE FELIPE

ANEJO Nº6: GEOTECNIA Y GEOTECNIA

	Pág.
1. ANTECEDENTES.....	3
2. TRABAJOS REALIZADOS	4
2.1 RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN PREVIA	4
2.2 CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA.....	4
2.3 CAMPAÑAS DE TRABAJOS DE CAMPO.....	4
2.4 ENSAYOS DE LABORATORIO	5
2.5 REGISTRO DE CALICATAS.....	5
3. GEOLOGÍA.....	6
2.1 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL	6
2.2 ESTRATIGRAFÍA.....	8
2.3 TECTÓNICA.....	9
4. HISTORIA GEOLÓGICA	10
5. EXPOSICIÓN AMBIENTAL	11
6. SISMICIDAD	12
7. GEOMORFOLOGÍA.....	13
8. HIDROGEOLOGÍA	14
9. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS MATERIALES.....	15
9.1. TIERRA VEGETAL (TV)	15
9.2. RELLENOS ANTRÓPICOS (RA).....	15
9.3. UNIDAD COLUVIO-ALUVIAL (CA).....	16
9.4 UNIDAD DE GNEIS GLANDULAR (GG).....	17
9.5 UNIDAD DE GRANITO ALCALINO (GR)	19
10. DEFINICIÓN DEL TIPO DE EXPLANADA	21
10.1 FONDO DE DESMONTE.....	21
10.2 CORONACIÓN DE RELLENOS.....	21
10.3 SOLUCIONES	21
11. COEFICIENTE DE PASO DE MATERIAL EXCAVADO/PUESTO EN OBRA.....	22

12. GEOTECNIA DEL TRAZADO	23
12.1. ESTUDIO DE DESMONTES.....	23
12.1.1. RECOMENDACIONES GENERALES	23
12.1.2. GEOMETRÍA DE LOS DESMONTES.....	23
12.2. INESTABILIDADES Y TRATAMIENTO.....	25
12.3. EXCAVABILIDAD Y UTILIZACIÓN DE MATERIALES	26
12.4. ESTUDIO PARTICULARIZADO DE DESMONTES	29
12.5. ESTUDIO DE TERRAPLENES	34
12.5.1. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD.....	34
12.5.2. TRATAMIENTO DEL CIMIENTO	34
12.5.3. CONSIDERACIONES GENERALES	35
12.5.4. METODOLOGÍA UTILIZADA PARA LA ESTIMACIÓN DE ASIENTOS	35
12.5.4.1. ASIENTOS SUFRIDOS POR EL CIMIENTO.....	35
12.5.4.2. ASIENTOS SUFRIDOS POR EL CUERPO DE TERRAPLÉN	35
12.5.5. ESTUDIO PARTICULARIZADO DE RELLENOS.....	35

APENDICES

APÉNDICE I: Cartografía geológico-geotécnica

APÉNDICE II: Registro de calicatas y reportaje fotográfico

APÉNDICE III: Registro de ensayos de penetración dinámica

APÉNDICE IV: Ensayos de laboratorio

APÉNDICE V: Recorrido de campo

APÉNDICE VI: Campaña de registro de calicatas 2016

1. ANTECEDENTES

En este documento se presenta una descripción del conjunto de trabajos realizados en gabinete, en campo y en laboratorio. En base a los resultados obtenidos se caracteriza desde el punto de vista geológico y geotécnico los materiales que constituyen el subsuelo, determinando su estabilidad frente a desmontes, excavabilidad y posible aprovechamiento como materiales de préstamo, así como su aptitud como apoyo de rellenos y estructuras.

El trazado estudiado discurre entre las dos carreteras mencionadas, siguiendo una orientación NNE. Atraviesa zonas de cultivos en un itinerario paralelo a la rúa Olivas, situándose próxima a las localidades de O Marco, Pedra do Lagarto, Albeiro, O Lugar y Montecelo.

En el presente anejo se describe el entorno geológico regional y los aspectos geológicos locales que afectan al área comprendida en el estudio. Igualmente se estudia la estratigrafía, la tectónica y la sismicidad de la zona haciendo una descripción geomorfológica del entorno más próximo y de los aspectos hidrogeológicos más relevantes.

2. TRABAJOS REALIZADOS

2.1 RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN PREVIA

La documentación consultada es la siguiente:

Instituto Geológico y Minero de España

Mapa Geológico general. Escala 1:200.000. Hoja nº 16-26 "Pontevedra-La Guardia". I.G.M.E (1971)

Mapa Geológico. Escala 1:50.000. Hoja nº185 "Pontevedra". I.G.M.E (1981)

Mapa Tectónico de la Península Ibérica y Baleares 1:100.000. I.G.M.E (1980)

Geología de España. Libro jubilar J.M. Ríos. Tomo I. I.G.M.E. (1983)

Instituto Geográfico Nacional

Norma de Construcción Sismorresistente (NCSR-02)

Mapa Topográfico Nacional. Escala 1:25.000

Otras informaciones

Fotografías aéreas

2.2 CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA-GEOTÉCNICA

Con la información de la fotografía aérea, el apoyo de la bibliografía consultada y las observaciones efectuadas en campo, se han realizado dos campañas geológico-geotécnicas.

2.3 CAMPAÑAS DE TRABAJOS DE CAMPO

Para realizar las caracterizaciones geológico-geotécnicas de los materiales de la traza se procedió a la realización de cartografías de campo y campañas de investigación.

1. En primer lugar se procedió al estudio de la traza mediante varias visitas a la zona, lo cual sirvió para conocer la problemática de la zona objeto de estudio. La accesibilidad a la zona está muy condicionada por la presencia de fincas particulares cerradas, sin que se disponga de permisos para poder acceder. De igual modo en las proximidades del final del trazado se encuentran zonas arboladas cuya presencia obstaculiza el acceso.

2. Seguidamente se continuó con la campaña de ensayos "in situ", que consistió en la realización de varias calicatas, con la finalidad de conocer los espesores y tipo de material en determinados puntos.

En aquellas catas que han presentado una profundidad suficiente y siempre que la litología encontrada se ha considerado representativa, se ha tomado una muestra para su análisis. A partir de los resultados de laboratorio se pretende obtener la caracterización geotécnica general de los materiales de recubrimiento en la zona de estudio. El siguiente cuadro muestra la localización y profundidad alcanzada en cada calicata:

3. De forma paralela, se realizaron dos (2) ensayos de penetración dinámica continua tipo BORROS.

Los ensayos de penetración dinámica tipo Borros se han realizado con un penetrómetro marca ROLATEC ML-60-A, cuyas características técnicas son las siguientes:

- Puntaza de sección cuadrada
- Área de la base 16 cm²
- Conicidad 90°
- Peso de la maza 63.5 Kg
- Altura de caída de la maza 50 cm.
- Diámetro del varillaje 3.2 cm.
- Longitud de la varilla 1 m
- Peso de la varilla 5.6 Kg

Este ensayo consiste en hacer penetrar en el terreno una puntaza mediante el golpeo de una maza de 63,5 Kg. de peso, que cae en caída libre desde una altura de 50 cm., con el objeto de medir el número de golpes que se requiere para conseguir una penetración en el terreno de 20 cm. El ensayo se ha finalizado cuando tras varias andanadas de 100 golpes no se consigue el intervalo de 20 cm. de penetración o bien la longitud alcanzada ha sido de 15 metros.

Los penetrómetros realizados, su situación y longitud se muestran en la siguiente tabla:

ENSAYO DE PENETRACIÓN	P.K.	Nº DE REGISTRO	LONGITUD (m)
PD-1	0+820	PVS-112456	0,60
PD-2	0+970	PVS-112457	0,75

4. Puntos de observación. A lo largo de la traza se realizó un recorrido de campo y búsqueda de afloramientos para describir en ellos los principales materiales que aparecen en la zona de actuación. Las localizaciones de las distintas observaciones de campo se han incluido en el apéndice VI.

2.4 ENSAYOS DE LABORATORIO

Las muestras tomadas en calicatas fueron trasladadas al laboratorio y registradas. En ellas se realizaron los correspondientes ensayos de identificación y caracterización para su empleo como materiales de relleno, así como para poder determinar las características geotécnicas medias de las distintas formaciones geológicas diferenciadas.

Los distintos ensayos realizados se describen a continuación:

- Granulometría por tamizado
- Límites de Atterberg
- Humedad natural
- Contenido en materia orgánica
- Contenido en sales solubles y yesos
- Índice de colapso
- Próctor modificado
- C.B.R
- Acidez y sulfatos
- Agresividad de las aguas según la EHE

Los boletines de los ensayos se recogen en el apéndice V.

2.5 REGISTRO DE CALICATAS

En agosto de 2006 se realizó una campaña de calicatas llevada a cabo por la empresa Galaicontrol en la que se detectó, un primer nivel de tierra vegetal de espesor variable sobre un suelo residual de granito grado III-IV y IV-V. En algún punto se detectó la presencia de un nivel aluvial intermedio.

En agosto de 2016 se realizó otra campaña de calicatas llevada a cabo por la empresa Galaicontrol en la que se realizaron más calicatas, todas ellas en la traza, para la obtención del mayor conocimiento posible de las características de los suelos.

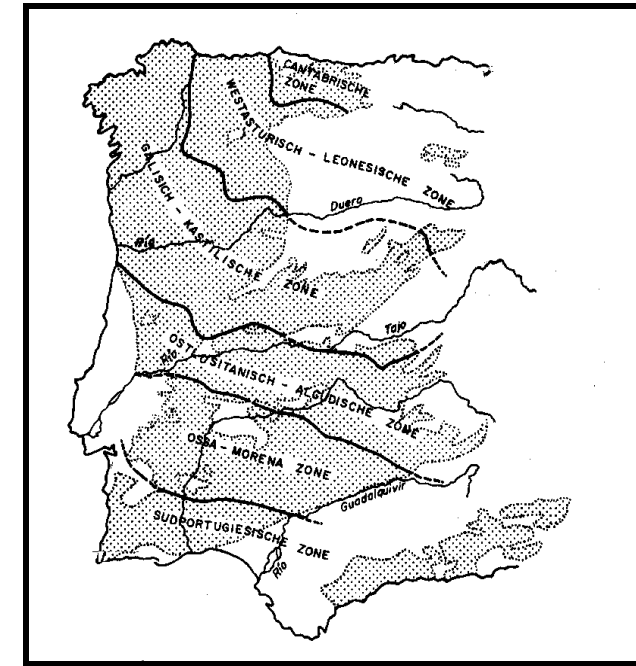
3. GEOLOGÍA

2.1 MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

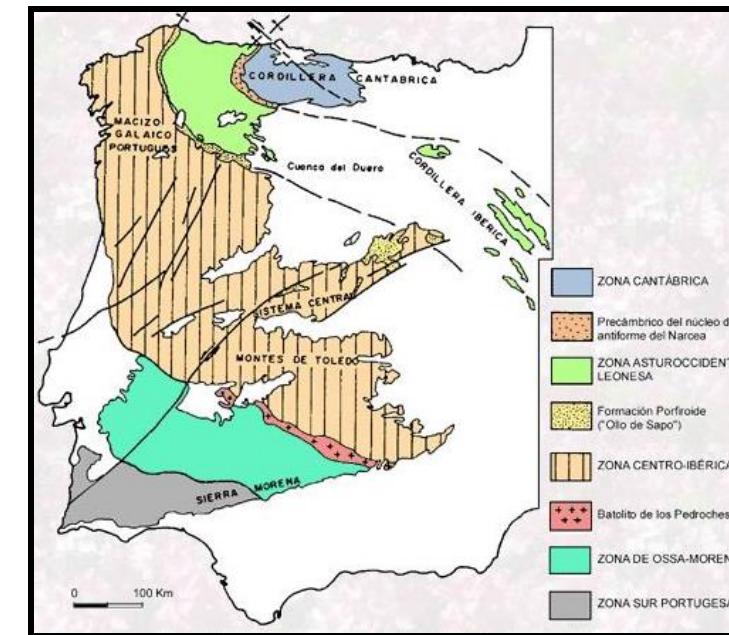
El trazado de la carretera que nos ocupa se localiza en las afueras de Pontevedra. Esta área se emplazada dentro de la hoja nº 185 – PONTEVEDRA del Mapa Geológico de España a escala 1:50.000 publicado por el IGME en 1981, la cual se encuentra geográficamente hablando al este de la ciudad de Pontevedra.

Desde el punto de vista geológico, Galicia se encuentra enclavada en el denominado Macizo Hespérico, fragmento de un gran orógeno que se extiende por el centro y sur de Europa, noroeste de África y costa Este de Estados Unidos, cuyo desarrollo tuvo lugar durante el Devónico Superior y parte del Carbonífero. En la península, el macizo se ha dividido en varias zonas y subzonas, que se corresponden con unidades paleogeográficas. En Galicia pueden distinguirse varias de ellas, en las que a su vez pueden diferenciarse diversas unidades litoestructurales.

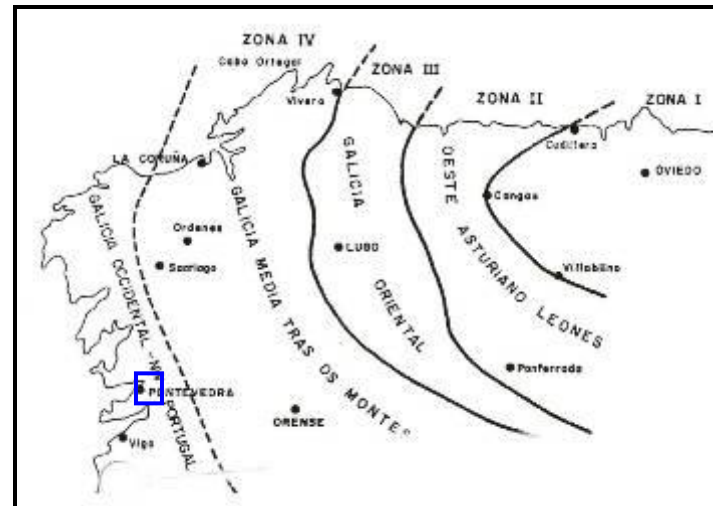
Los límites y nomenclatura de estas zonas y subzonas varían en función de los diferentes autores consultados. Así según la división original de LOTZE (1945) que se reproduce en la figura 1, el área de estudio se situaría en la zona Galaico-Castellana. De acuerdo con la propuesta de JULIVERT et al. (1972), señalada en la figura 2, se emplaza en la zona Centro-Ibérica. Por último, con arreglo a la división paleogeográfica del Noroeste de la Península Ibérica realizada por MATTE (1968) y reproducida en la figura 3, pertenece a la zona V o Galicia Occidental-NW de Portugal.



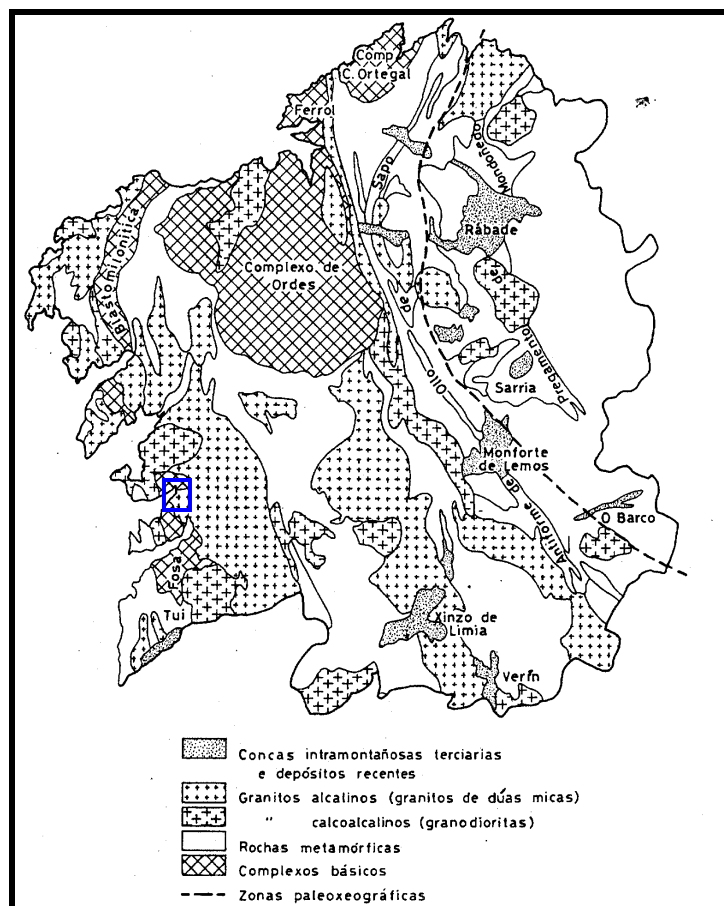
División original de LOTZE (1945)



Propuesta de JULIVERT et al. (1972)

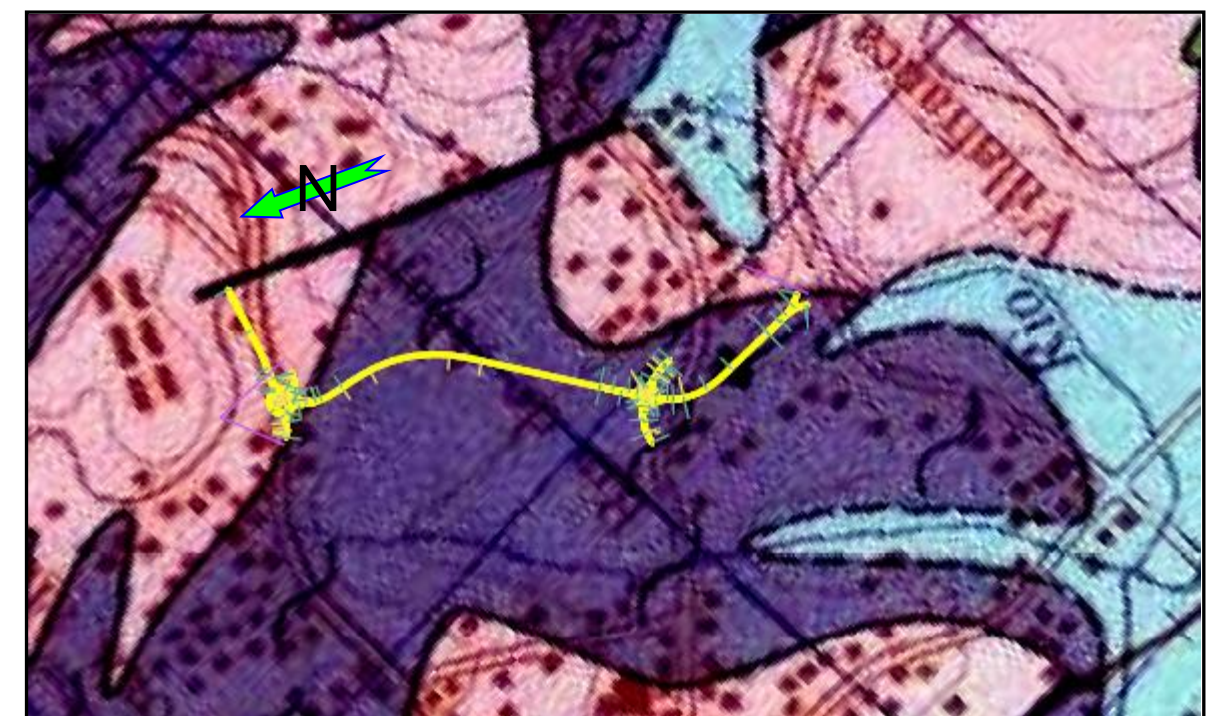
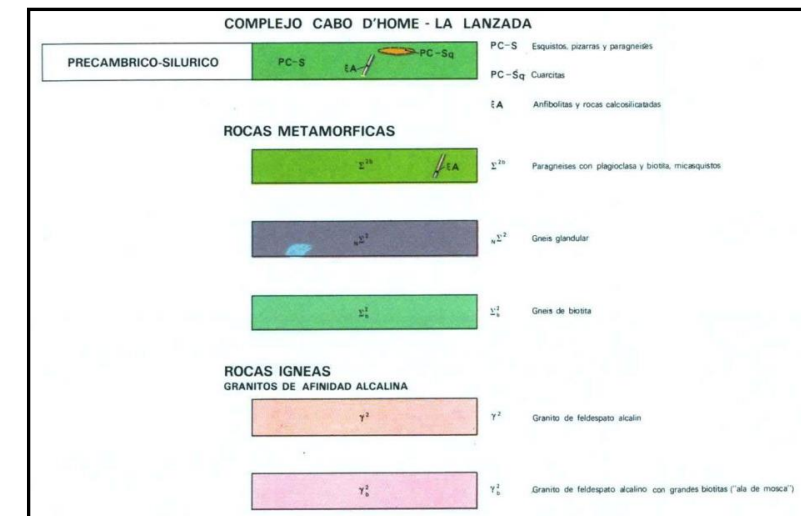


División paleogeográfica del Noroeste de la Península Ibérica realizada por MATTE (1968).



Grandes grupos litológicos que se encuentran en Galicia

Concretamente el área de estudio se encuentra encuadrada en el grupo de los granitos hercínicos y dentro de ellos en la serie de los granitos alcalinos, según puede observarse en la figura 4, donde se resumen los grandes grupos litológicos presentes en Galicia. De este modo se distinguen en la zona un grupo de batolitos graníticos de edad hercínica dentro de los cuales aparecen restos de una serie esquistosa que ha sufrido procesos de metamorfismo. Los procesos cuaternarios han actuado sobre estos materiales originando suelos de alteración y depósitos asociados a cursos de agua y fenómenos de ladera.



Extracto del Mapa Geológico nº 185.- Pontevedra, señalando los litotipos principales y la localización de la traza

2.2 ESTRATIGRAFÍA

Como ya se ha comentado anteriormente el ámbito de estudio se encuentra representado por rocas ígneas y en menor medida rocas metamórficas, constituidos por materiales graníticos y gneísicos originados durante la orogenia hercínica (de edad devónica a pérmica). Los materiales correspondientes al Mesozoico, Cenozoico (Terciario) no afloran en ninguna parte de esta zona. El Cuaternario presenta distintos grupos litológicos por cuanto intervienen distintos procesos genéticos que incluyen desde los procesos de meteorización hasta los fluviales mezclados con procesos de vertiente.

En la mayor parte de la zona existe un recubrimiento de suelo cuyo espesor se evalúa por término medio en 2-4 metros, los cuales impiden, a veces totalmente, el reconocimiento y análisis de los materiales subyacentes.

A continuación se pasa a describir las distintas formaciones aflorantes en el área. La situación cronoestratigráfica de las distintas unidades y su distribución espacial queda reflejada en la cartografía del apéndice I.

3.2.1. Paleozoico

Rocas ígneas: granito de feldespato alcalino

Las rocas ígneas que aparecen en la zona de estudio pertenecen al grupo de los granitos hercínicos y dentro de éstos se incluyen dentro de los granitos de feldespato alcalino (Capdevila, 1966).

Son las rocas más abundantes dentro de la hoja de Pontevedra y aparecen en la parte final de nuestra zona de estudio, siendo intrusivas en el resto de formaciones existentes, salvo en la granodiorita de Caldas de Reis que pertenece al último episodio granítico de la zona.

Se trata de leucogranodioritas, dentro de las cuales pueden existir distintas facies en función del tamaño de grano y de la intensidad de la deformación. Así se pueden identificar granitos equigranulares de grano medio a fino, de grano medio a grueso y granitos cataclásticos.

Por su emplazamiento y en relación con la orogenia hercínica, se puede considerar a estos granitos como pre o sinfase II, ya que es posible apreciar una cierta orientación de sus minerales planares, concordante con las direcciones de la deformación hercínica.

Rocas metamórficas: gneis glandular

Este nombre se refiere a las rocas con estructura gneísica que han sufrido procesos de migmatización, siendo frecuentes los afloramientos al Norte de Pontevedra y así como en forma de enclaves en el Sur y Este (este último sector coincidente con nuestra zona de estudio). De este modo ocupa una gran parte del trazado de la carretera.

Desde el punto de vista litológico se trata de un gneis que aparece afectado por las fases I y II de la orogenia Hercínica.

3.2.2. Cuaternario

Las litologías de los suelos de recubrimiento cuaternarios, son variadas dependiendo, por un lado de la roca madre de donde procede y por el otro del tipo de fenómeno erosivo y de transporte que los ha depositado, es decir la génesis de suelo. No obstante cabe destacar que los depósitos cuaternarios más destacables en el ámbito de la zona objeto de estudio son los derivados de procesos de "alteración in situ" y en menor medida los correspondientes a la actividad de los cursos de agua, ya sean éstos estacionales o correspondan a llanuras de inundación más desarrolladas.

Dentro de estos suelos se deben citar los niveles de alteración in situ de las unidades rocosas, es decir, los suelos eluviales (rocas con grados de meteorización VI-V-IV, según ISRM). Estos presentan una gran importancia en este entorno, puesto que la climatología de la zona favorece el desarrollo de los procesos de meteorización sobre los macizos rocosos. Se este modo se puede decir que a lo largo de toda la traza existe un nivel de alteración prácticamente continuo. Únicamente las zonas más compactas de los macizos graníticos o gneísicos se libran de este nivel superficial.

Dentro de los suelos de génesis fluvial aparecen los depósitos aluvio-coluviales ligados a los cursos de agua. En realidad se trata de zonas con un nivel de alteración importante que han tenido una movilización parcial de tipo fluvial. Están localizados en las inmediaciones del curso de agua que aparece al inicio de la traza, donde la topografía presenta una pendiente menor. Están constituidos por arenas limo arcillosas o bien limos areno arcillosos.

Por último, hay que citar los rellenos antrópicos que pueden encontrarse ligados a la construcción de carreteras y viales, especialmente en la PO-532 y 542.

2.3 TECTÓNICA

El área por la que discurre el vial de conexión de la ronda Este de Pontevedra se ha visto afectada por una tectónica de edad hercínica, con dos fases de deformación, si bien las únicas claramente visibles son las de la Fase II:

3.2.3. Primera fase

Aunque se supone que esta fase debió de estar muy desarrollada en la zona, en la actualidad casi no se reconocen estructuras ni mayores ni menores, correspondientes a este momento deformativo. Tan sólo pueden observarse a escala de afloramiento planos de esquistosidad S1 subverticales afectando a los granitos alcalinos e inclinados unos 40° en los gneises. A escala cartográfica, pero ya en zonas más alejadas, se pueden observar algunos pliegues de F1 muy inclinados o tumbados.

3.2.4. Segunda fase

Afectó a todos los materiales del área, excepto a los filones tardíos y, lógicamente, a los depósitos cuaternarios. Es la responsable del plegamiento de la esquistosidad principal (visible en los materiales metamórficos), así como de las fracturas de la zona.

En los granitos de dos micas se observan foliaciones producidas por la incidencia de esta fase de deformación, siendo más pronunciadas hacia el Norte y menos intensas hacia el Este. En los gneises glandulares se observan pliegues de F2 de plano axial subvertical, con las mismas características estructurales, sin que se hayan observado esquistosidades S2.

3.2.5. Fases tardías

En zonas cercanas al área de estudio, en los momentos finales de la orogenia hercínica, se forman pliegues de tipo kink-band y chevron, con dirección NNE-SSO. En la zona estudiada sin embargo, estas fases tardías de deformación no han tenido un efecto importante.

3.2.6. Deformación tardihercínica y posthercínica

Una vez finalizadas las fases hercínicas, se formaron fallas de desgarres subverticales con orientación N60 y N-S y una importante componente horizontal. En la zona estudiada no se han observado ligados a ellas pliegues de ejes verticales. Algunas de estas fracturas han actuado en

fases distensivas posteriores, siendo aprovechadas para el emplazamiento de diques de naturaleza ácida.

4. HISTORIA GEOLÓGICA

La historia geológica de las rocas de esta zona se inicia con la sedimentación en el Precámbrico de materiales arcillosos y arcósicos, que tras posteriores etapas metamórficas dan lugar a paragneises por un lado y a micaesquistos y pizarras por otro.

Durante el Ordovícico se produce el emplazamiento de granitoides de carácter calcoalcalino que se presentan actualmente como gneises glandulares.

El ciclo hercínico se manifiesta como una etapa orogénica polifásica que lleva asociada un aumento de la temperatura, con generación de procesos de metamorfismo a escala regional, así como procesos metamórficos locales producidos por la intrusión de granitos. En relación con este ciclo orogénico la granodiorita precoz intruye después de la primera etapa de deformación y antes de la segunda, mientras que los granitos de dos micas, que son lo que encontramos en la zona de estudio se emplazan antes o durante la fase II. Una vez finalizada la fase II intruyen los granitos de Caldas de Reis.

Después del ciclo hercínico se produce una compresión N-S que da lugar a la formación de fracturas con orientación N160E y N 60E.

Durante el Mesozoico, Terciario y Cuaternario el macizo hercínico sufre importantes procesos de erosión que propician la generación del relieve tal y como lo conocemos actualmente.

5. EXPOSICIÓN AMBIENTAL

De acuerdo con la EHE, antes de comenzar el proyecto, se deberá identificar el tipo de ambiente que defina la agresividad a la que va a estar sometido cada elemento estructural.

El tipo de ambiente al que está sometido un elemento estructural viene definido por el conjunto de condiciones físicas y químicas a las que está expuesto y que puede llegar a provocar su degradación.

El tipo de ambiente viene definido por la combinación de:

- una de las clases generales de exposición frente a la corrosión de las armaduras, de acuerdo con la tabla 8.2.2 de la EHE.
- las clases específicas de exposición relativas a los otros procesos de degradación que procedan para cada caso, de entre las definidas en 8.2.3 de la EHE.

A efectos de determinar la agresividad del terreno se han tomado muestras de los suelos para su posterior análisis en el laboratorio. De acuerdo con los resultados de dichos análisis a continuación se clasifica el terreno en función de su agresividad:

Nivel geotécnico	Ión sulfato SO ₄ ²⁻ (mg/Kg)	Acidez Baumann Gully (ml/Kg)	Tipo de exposición
Gneis grado V	1	48	<i>No agresivo</i>
Granito grado V	5	116	<i>No agresivo</i>

También se ha analizado una muestra de aguas recogida en la calicata C-1. Los resultados se resumen a continuación:

PARÁMETROS	Resultados
	PVQ-1677
Valor de pH	5,5
Contenido sulfatos(mg/l)	10
Amonio (mg/l)	3
Magnesio (mg/l)	1
Dióxido de carbono agresivo (mg/l)	40
Residuo seco (mg/l)	311

PARÁMETROS	Resultados
	PVQ-1677
Tipo de exposición	Agresividad Débil

Los resultados de las analíticas realizadas sobre las aguas indican que se trata de aguas con un contenido en CO₂ agresivo entre 15 y 40, por lo que se clasifican como un medio de agresividad débil.

Conclusiones:

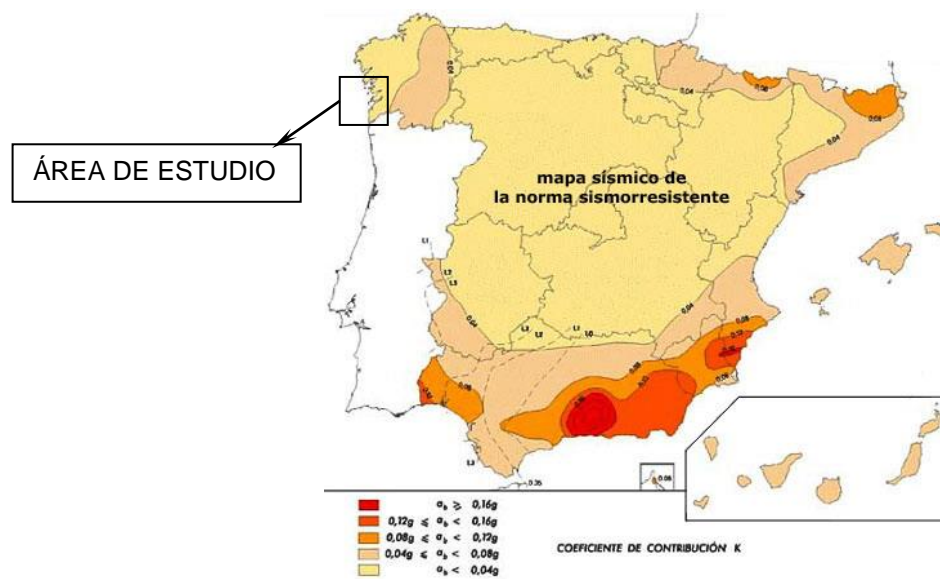
- Clase general de exposición: IIa (elementos enterrados).
- Clase específica de exposición: Qa (elementos en contacto con las aguas freáticas).

Ante los tipos de exposición definidos deberán tomarse las medidas que la actual normativa (E.H.E.) estipula al respecto.

6. SISMICIDAD

Según el Mapa de Peligrosidad Sísmica de la Norma de Construcción Sismorresistente NCSE-02 (Parte General y Edificación), el entorno de estudio se encuentra dentro de una zona con aceleración sísmica básica a_b inferior a $0,04g$, siendo g la aceleración de la gravedad.

Según el artículo 1.2.3 “Criterios de Aplicación de la Norma”, ésta no es de aplicación para el tipo de construcciones a realizar cuando la aceleración sísmica básica sea inferior a $0,04 g$, siendo g la aceleración de la gravedad.



Mapa de Peligrosidad Sísmica según NCSE-02

7. GEOMORFOLOGÍA

La morfología de la zona de estudio se caracteriza por mostrar un área montañosa, con afloramientos rocosos en la zona Norte que presentan una morfología accidentada con laderas más pendientes. Desde un punto de vista más amplio, el entorno de estudio forma parte de las estribaciones occidentales del Macizo de Galicia Oeste. La mayor altura en las inmediaciones se localiza en el pico de la Fracha con 546 m de altura, punto a partir del cual el relieve disminuye escalonadamente hasta el mar.

La parte final del trazado estudiado se encuentra ocupado por rocas graníticas, de edad hercínica con sobre las que quedan englobados restos de una serie esquistoso-areniscosa, parcialmente asimilada y metamorfizada, presente en la parte inicial y central con un mayor grado de alteración. El modelado de este macizo rocoso da lugar a relieves pronunciados, con gradientes de tipo medio-elevado, como los encontrados en la última parte del trazado de la vía. Los mantos de alteración desarrollados tanto sobre esta litología como sobre los materiales metamórficos, suelen conservar la morfología original, pero notablemente suavizada, desarrollando pendientes de entre el 7% y el 15%, tal y como puede observarse en la mayor parte del trazado analizado. De manera más residual los depósitos aluvio-coluviales ocupan ámbitos parcialmente llanos (gradientes de menos del 7%) e incluso deprimidos, según se observa en el inicio de la zona de estudio.

8. HIDROGEOLOGÍA

La red de drenaje en la zona de estudio se encuentra representada por el río Marco, que circula con dirección Oeste- Este, siendo afluente del río Tameza, que a su vez fluye de Norte a Sur. En la zona estudiada, el río Marco discurre por un área relativamente llana, que se localiza al inicio del trazado.

Desde un punto de vista más amplio la zona de estudio se encuadra en la cuenca del río Lárez, curso de agua que desemboca en la cabecera de la ría de Pontevedra. El río Tameza sería un afluente de segundo orden mientras que el río Marco lo sería de tercero.

El alto índice pluviométrico y la permeabilidad que presentan los materiales de alteración pueden considerar como los factores que condicionan la hidrogeología de la zona.

Partiendo de la cartografía geológica a escala 1:50.000 (MAGNA), se han definido dos unidades hidrogeológicas en función de la permeabilidad, siendo su denominación la siguiente:

- Unidades de permeabilidad media
- Unidades de permeabilidad baja a muy baja

Unidad hidrogeológica de permeabilidad media. En esta unidad se encontrarían englobadas aquellas formaciones detríticas pertenecientes al Cuaternario (depósitos aluvio-coluviales), compuestas por materiales detríticos de fondo de valle de los cursos principales, así como por los suelos procedentes de la completa meteorización del sustrato granítico o metamórfico. En estas últimas litologías puede desarrollarse una considerable porosidad y permeabilidad a favor de las fracturas y zonas descompuestas, ocasionando acuíferos locales de relativa importancia. Así, la alteración superficial y la degradación mecánica de las rocas pueden dar lugar a formaciones muy sueltas que alcanzan porosidades totales mayores al 35%, las cuales van disminuyendo con la profundidad, hasta alcanzar la roca inalterada. Esta unidad propicia la acumulación de agua, de forma que pueden aparecer zonas de encharcamiento.

Los materiales que pueden presentar valores de permeabilidad media se localizan en el inicio y zonas centrales de la traza.

Unidad de permeabilidad baja-muy baja. Constituida por materiales de origen granítico o metamórfico sano, que cuando no están alterados presentan una porosidad, en general, menor de 1%. Los escasos poros existentes son muy pequeños y generalmente sin conexión entre sí, en consecuencia, las permeabilidades son tan bajas que pueden ser consideradas como nulas desde el

punto de vista de vista práctico. Las condiciones de drenaje son aceptables, no siendo normal la aparición de zonas encharcadas.

Los materiales que se engloban dentro de esta unidad de permeabilidad baja a muy baja se encuentran en la parte final del trazado, próximo a la subida al hospital de Montecelo, así como en otras zonas puntuales próximas a la vía de comunicación. En esta zona el sustrato rocoso bien aflora o bien se encuentra a reducida profundidad.

9. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LOS MATERIALES

El examen geológico de superficie, apoyado por los reconocimientos y los ensayos de laboratorio realizados, permite diferenciar y agrupar, desde un punto de vista geotécnico global, tres grandes grupos de unidades litológicas diferentes.

Formaciones Cuaternarias

- **Tierra vegetal TV:** Recubrimiento orgánico.
- **Unidad RA:** Rellenos antrópicos.
- **Unidad CA:** Coluvio-Aluvial

Formaciones Paleozoicas – materiales metamórficos

- **Unidad GG:** Unidad de gneis glandular.

Formaciones Igneas

- **Unidad GR:** Unidad de granito alcalino.

Esta caracterización se refiere a la identificación de los materiales y a sus características mecánicas.

9.1. TIERRA VEGETAL (TV)

Detectada en la mayoría de las observaciones de campo y calicatas realizadas. Se trata de un suelo areno-limoso de color marrón oscuro o negro, con restos de raíces y presencia de algunas gravillas de cuarzo y feldespato.



En general presenta mayor espesor en las zonas de cultivo y menor en las zonas montañosas.

La tierra vegetal se considera un material inadecuado para su uso en rellenos tipo terraplén y se recomienda que sea retirada antes de acometer labores de relleno. Su excavación puede llevarse a cabo mediante excavadoras de baja potencia, teniendo en cuenta las dificultades propias de la extracción de tocones.

El suelo vegetal podría emplearse en el recubrimiento de los paramentos de los rellenos para facilitar la revegetación de los mismos.

A continuación se dan los parámetros geotécnicos estimativos para el presente nivel:

- Densidad aparente: 1,60 gr/cm³
- Cohesión= 0,00-0,05 Kp/cm²
- Angulo de rozamiento=25°-27°

Los parámetros geotécnicos propuestos para el presente nivel son meramente orientativos, estimados a partir de referencias bibliográficas y la propia experiencia que se tiene sobre ese tipo de terrenos.

9.2. RELLENOS ANTRÓPICOS (RA)

En general se trata de materiales dispuestos con grados variables de compactación y constituidos por materiales muy diversos. Su localización se encuentra ligada a la presencia de los viales existentes, tanto en carreteras principales (PO-542, PO-532), como en los viales de acceso a poblaciones y caminos parcelarios con el objetivo de rellenar vaguadas y de este modo ganar cota. Este nivel no se ha representado en la cartografía del apéndice I.

A priori se trata de rellenos controlados, que estarán constituidos por materiales de calidad tolerable a adecuada, con compacidad media, ya que han sido extendidos y compactados para la construcción de los viales. Las mayores potencias de este material de relleno se encontrarán al inicio del trazado, ya que la rotonda de la PO-542 se sitúa sobre un terreno coluvio-aluvial de pobres características geotécnicas, que ha debido ser rellenado para su preparación al tráfico.

Este nivel puede ser excavado mediante equipos convencionales.

De manera general para estos suelos se podrán considerar los siguientes parámetros geotécnicos tomados de referencias bibliográficas (NAVFAC) y de la experiencia adquirida en este tipo de materiales:

- Densidad aparente: 1,60 – 1,80 gr/cm³
- Cohesión: 0,00-0,10 Kp/cm²
- Angulo de rozamiento: 30°



9.3. UNIDAD COLUVIO-ALUVIAL (CA)

Esta unidad se encuentra al inicio de la traza, en las inmediaciones de la actual rotonda de la carretera PO-542 (PKs 0+000-0+040). Se trata de un nivel que está localizado en las proximidades del curso de agua que aparece al sur de dicha rotonda. Su origen está en la actividad del citado curso de agua, en una zona muy llana. A estos depósitos se unen los derivados de los procesos gravitaciones de la pequeña ladera que rodea dicha rotonda.

Esta unidad se dispone de manera discordante sobre los materiales infrayacentes.

Desde el punto de vista litológico está formado por una arena limosa de color marrón, con gravas de tamaño centimétrico a decimétrico, alternando tanto lateral como verticalmente, con niveles de limo arcilloso con abundante contenido en materia orgánica. La litología de los gruesos es fundamentalmente de granito y cuarzo.

Se ha tomado una muestra de esta litología, con el objetivo de llevar a cabo una identificación. Los resultados obtenidos se reflejan en la siguiente tabla:

Profundidad (m)	Humedad (%)	Granulometría			Plasticidad		
		D2	D0,4	D0,08	Límite líquido (%)	Límite plástico (%)	Índice Plasticidad
0,60	64,5	84,8	46,1	26,2	NO	NO	N.P.



Si bien no se han realizado la totalidad de ensayos para poder realizar la clasificación según el PG-3, la parte más arenosa del mismo presentaría características de suelo tolerable. La parte más arcillosa y con un elevado contenido en materia orgánica tendrá características marginales.

A continuación se dan los parámetros geotécnicos estimativos para el presente nivel:

- Densidad aparente: 1,60 – 1,70 gr/cm³
- Cohesión: 0,05 – 0,10 Kp/cm².
- Angulo de rozamiento: 28° - 30°.

Los parámetros geotécnicos propuestos para el presente nivel son meramente orientativos, estimados a partir de referencias bibliográficas y la propia experiencia que se tiene sobre ese tipo de terrenos.

Esta unidad puede clasificarse como excavable, dada su baja compacidad.

9.4 UNIDAD DE GNEIS GLANDULAR (GG)

Los materiales incluidos dentro de esta unidad pertenecen a las rocas formadas por el metamorfismo regional de presión intermedia que tuvo lugar durante la orogenia Hercínica. Se trata de rocas con estructura gneísica, que han sufrido procesos de migmatización.

Esta litología se observa bien en el talud existente en la actual rotonda de la PO-542, apareciendo en forma de gneis glandular, que muestra un contacto difuso con los granitos situados más al Este. Dicha circunstancia da lugar a intercalaciones y mezclas entre ambas litologías, que impiden la delimitación clara y precisa de cada término.

De acuerdo con la cartografía MAGNA consultada, esta unidad se extiende por la mayoría de la traza (PKs 0+040-0+700), si bien la ausencia de afloramientos, la falta de permisos para acceder a fincas privadas cerradas y por consiguiente la imposibilidad de hacer reconocimientos “in situ”, ha impedido su correcta definición. A pesar de ello en la cartografía del apéndice I se ha seguido los criterios de extensión lateral indicados en la hoja MAGNA.

A partir de los resultados de la campaña geotécnica, se han diferenciado las siguientes litofacies en función de su estado de alteración:

- Gneises con grado de meteorización V a IV. Se presentan como un suelo producido por la alteración “in situ” del sustrato rocoso infrayacente.
- Gneises con grado de meteorización III. Se engloban aquí el sustrato meteorizado, pero que conserva al menos un 50 % de roca poco alterada.

Cada una de las litofacies ha sido caracterizada a nivel geotécnico de forma diferenciada, atendiendo a su naturaleza que condicionará de forma decisiva su resistencia y su aprovechamiento.

Gneis glandular de grado V (GG V).

El sustrato gneísico se presenta en la mayoría de las ocasiones como una litofacies completamente alterada hasta su estado de suelo – grado V, donde se observa con claridad la textura y estructura de la roca original. Estos materiales pueden encontrarse bajo la tierra vegetal o bajo los materiales coluvio-aluviales, sin que se haya podido determinar su potencia en función de las observaciones realizadas.



Con el objetivo de identificar esta unidad desde un punto de vista geotécnico se ha realizado la calicata una calicata que ha permitido tomar una muestra para su posterior análisis en laboratorio, obteniéndose los siguientes resultados:

Profundidad (m)	Humedad (%)	Granulometría			Plasticidad		
		D2	D0,4	D0,08	Límite líquido (%)	Límite plástico (%)	Índice plasticidad
1,80	18,8	82,2	47,0	26,6	NO	NO	N.P.

Desde el punto de vista granulométrico se trata de una arena limosa, sin plasticidad, con algunas gravas. Su descripción sería un suelo fundamentalmente granular tipo SM (arenas limosas, mezclas de arenas y limos), o bien ML (limo de baja plasticidad), con presencia de gravas. Presenta coloración de ocre a beige con zonas blanquecinas que se corresponden con zonas de mayor contenido en feldespatos, presentes especialmente en los extremos más gneísicos.

También se han realizado un conjunto de ensayos químicos y mecánicos para determinar la calidad de los materiales y poder realizar con posterioridad su clasificación siguiendo los criterios del PG-3. Los resultados obtenidos son los siguientes:

Profundidad (m)	Yeso (%)	Sales solubles (%)	Colapso (%)	Próctor Modificado		CBR (100%)
				Densidad max. (g/cm ³)	Humedad óptima (%)	
1,80	0,007	0,02	0,00	1,85	13,2	22

Según la clasificación del PG-3, este material presenta características de suelo tolerable. Para que fuera suelo adecuado el pase por el tamiz 2 UNE debería de ser inferior al 80%, siendo de 82% en la muestra analizada. Por este motivo esta litología podría llegar a ser adecuada.

A nivel de diseño se considera representativo adoptar los siguientes parámetros geotécnicos característicos:

- Densidad aparente: 1,80 – 2,00 gr/cm³
- Cohesión: 0,15 – 0,30 Kp/cm²
- Angulo de rozamiento: 28° - 30°

Basándonos en la naturaleza y dureza de los materiales puede decirse que estos gneises alterados son suelos excavables y de ripado fácil.

Gneis glandular de grado III (GG III).

A escala de afloramiento se trata de una roca gneílica de grano medio a grueso, con glándulas de feldespato de 6 cm. La matriz está constituida por plagioclasa, cuarzo, moscovita y biotita, tal y como puede observarse en la fotografía adjunta.

En el punto de observación situado en la rotonda de la actual carretera PO-542 el gneis se presenta de muy a moderadamente meteorizado (grado III-IV), constituyendo en su conjunto un macizo una calidad pobre (RQD 25-50%).



La matriz rocosa presenta una resistencia baja a tenor de los índices de campo obtenidos en el afloramiento, ya que la roca se puede marcar con el martillo de geólogo pero se corta difícilmente con la navaja. Por lo tanto se podría clasificar, como una roca R2 (según ISRM), con valores medios de resistencia a compresión de entre 51 y 255 Kp/cm².

Teniendo en cuenta el afloramiento observado se puede realizar la clasificación geomecánica del macizo de cara a la obtención del índice RMR (Rock Mass Rating). La valoración RMR que se obtendría sería de entre 40 y 21, es decir, macizos de Calidad Mala. En función de estos resultados, el macizo rocoso puede presentar los siguientes parámetros geotécnicos característicos:

- Densidad aparente: 2,10 – 2,30 gr/cm³.
- Cohesión: 1,0-2,0 Kg/cm².
- Angulo de rozamiento: 15°-35°.

Basándonos en la clasificación geomecánica de los macizos rocosos se estima que esta roca será de ripado fácil a medio. Su comportamiento rocoso hace que estos materiales resulten adecuados como zahorra artificial y capa drenante.

9.5 UNIDAD DE GRANITO ALCALINO (GR)

La litología que aparece al final del trazado de la carretera está constituida por granitos alcalinos en los que también se han diferenciado dos litofacias en función de su estado de alteración:

- Granitos con grado de meteorización V a IV. Se presentan con un jabre producido por la alteración in situ del sustrato infrayacente.
- Granitos con grado de meteorización III-II. Se presentan como afloramientos rocosos donde más de la mitad de la roca se encuentra poco alterada.

Al igual que en el caso anterior, cada grupo litológico ha sido analizado por separado:

Granito en grado V-IV. Jabre. (GR V)

Esta litofacies se localiza en la última parte de la traza, bajo el horizonte vegetal. La diferencia entre el grado V y el IV se encuentra en que en el primero toda la roca se ha transformado en suelo, manteniendo la estructura original, al grado meteórico IV, en el que existen fragmentos rocosos dispersos de diversos tamaños, es gradual. El grado V-IV es inexistente en zonas de afloramientos rocosos como los situados cerca de la subida a Montecelo.



Profundidad (m)	Humedad (%)	Granulometría			Plasticidad		
		D2	D0,4	D0,08	Límite líquido (%)	Límite plástico (%)	Índice plasticidad
1,00	16,1	93,8	42,1	16,3	NO	NO	N.P.

Se trata de un jabre compuesto por arena algo limosa, sin plasticidad, de color de ocre a beige. Dentro de esta matriz pueden encontrarse pequeñas gravas poliminerale (fragmentos de roca) ó monominerale (minerale dispersos). Se clasifica fundamentalmente como SM (arenas limosas, mezclas de arenas y limos), con matices de SP-SW (arenas mal a bien graduadas).

El resto de ensayos realizados de cara a facilitar su clasificación por el PG-3 son los siguientes:

Profundidad (m)	Yeso (%)	Sales solubles (%)	Materia orgánica (%)	Próctor Modificado		CBR (100%)
				Densidad max. (g/cm ³)	Humedad óptima (%)	
1,00	0,033	0,03	1,03	1,79	15,0	36

Según la clasificación del PG-3, este material presenta características de suelo tolerable. Para ser suelo adecuado, el pase por el tamiz 2 debería ser inferior al 80%, siendo el de la muestra ensayada de 93,8%. Por este motivo quizás alguna litología podría llegar a ser suelo adecuado.

A nivel de diseño se considera representativo adoptar los siguientes parámetros geotécnicos característicos:

- Densidad aparente: 1,80 – 2,00 gr/cm³
- Cohesión: 0,00 – 0,15 Kg/cm²
- Angulo de rozamiento: 30° - 35°

En función de las propiedades y características resistentes de estos materiales puede decirse que los granitos alterados son suelos excavables y de ripado fácil.

Granito en grado III (GR III)

Se trata de un nivel con un grado de alteración muy inferior al anterior, apareciendo por debajo del horizonte vegetal. Se ha encontrado en la rotonda final del trazado, así como en la subida a Montecelo.

El sustrato rocoso granítico se presenta en la mayoría de las ocasiones con una meteorización moderada (grado III). A escala de muestra de mano se trata de un granito gris, de dos micas, con tamaño de grano medio a fino. Los principales componentes son cuarzo, feldespatos, moscovita y bitotita, siendo la moscovita más grande y frecuente que la biotita.



En función de las observaciones realizadas en los afloramientos rocosos que aparecen al final del trazado, el sustrato rocoso no presenta una fracturación elevada, tal como se ha podido apreciar en los frentes visionados. De su observación se concluye que, teniendo en cuenta el índice de

fracturación RQD (Rock Quality Designation), el sustrato está constituido básicamente por rocas de calidad aceptable (RQD 50-75%). Puntualmente aparecen tramos de calidad pobre (RQD 25-50%), lo cual es totalmente lógico considerando los procesos tectónicos de carácter dúctil que ha sufrido el macizo a lo largo de su historia geológica, los cuales generan numerosas zonas de debilidad.

Las diaclasas son básicamente onduladas rugosas, con valores del coeficiente de rugosidad JRC de entre 8 y 12 principalmente (según ISRM). Estas diaclasas suelen presentarse rellenas de óxidos cuando la rugosidad es mayor, lo cual implica bordes más bien duros, características que nos hablan de zonas de menor alteración. También pueden presentarse rellenas de arenas (del propio jabre producto de la alteración del macizo). Las diaclasas rellenas de arenas y/o arcillas suelen presentar bordes más blandos que las rellenas de óxidos.

La matriz rocosa en los afloramientos observados presenta una resistencia a compresión simple media, a tenor de los índices de campo obtenidos en las estaciones de observación, ya que la roca puede fracturarse con un golpe fuerte de martillo.

Teniendo en cuenta los datos disponibles hasta el momento, se puede realizar la clasificación geomecánica de los macizos, para la obtención del índice RMR (Rock Mass Rating), obteniéndose una valoración RMR media de entre 41 y 60, es decir, macizos de Calidad Media. En conjunto, a las rocas presentes en el ámbito de estudio se les puede atribuir los siguientes parámetros geotécnicos característicos:

- Densidad aparente: 2,50 – 2,80 gr/cm³.
- Cohesión: 2,0-3,0 Kg/cm².
- Angulo de rozamiento: 25°-35°.

Basándonos en la clasificación geomecánica de los macizos rocosos se estima que esta roca será de ripado medio a difícil hasta profundidades próximas a los 4 m, y a partir de ahí su ripado será duro o incluso precisará de voladura. Su comportamiento rocoso hace que estos materiales resulten adecuados como escollera, zahorra artificial y capa drenante.

10. DEFINICIÓN DEL TIPO DE EXPLANADA

La explanada, como superficie de cimiento de apoyo de un firme, constituye su cimiento habitual. El comportamiento de los suelos existentes bajo esa superficie depende básicamente de las cargas procedentes del tráfico y de la rigidez de las capas de firme. La incidencia de la explanada sobre el comportamiento estructural de las secciones de firme es tanto mayor cuanto mayor sea la flexibilidad de esas secciones y sobre todo cuando la capacidad de soporte es relativamente reducida.

10.1 FONDO DE DESMONTE

Los materiales que constituirán el fondo de los desmontes estarán compuestos fundamentalmente por:

- Los gneises y granitos meteorizados en grado V son suelos clasificables como tolerables a adecuados.
- Los gneises y granitos meteorizados en grado III son fragmentos rocosos.
- La unidad coluvio-aluvial de carácter arenoso del inicio del trazado se podría clasificar como suelo tolerable.

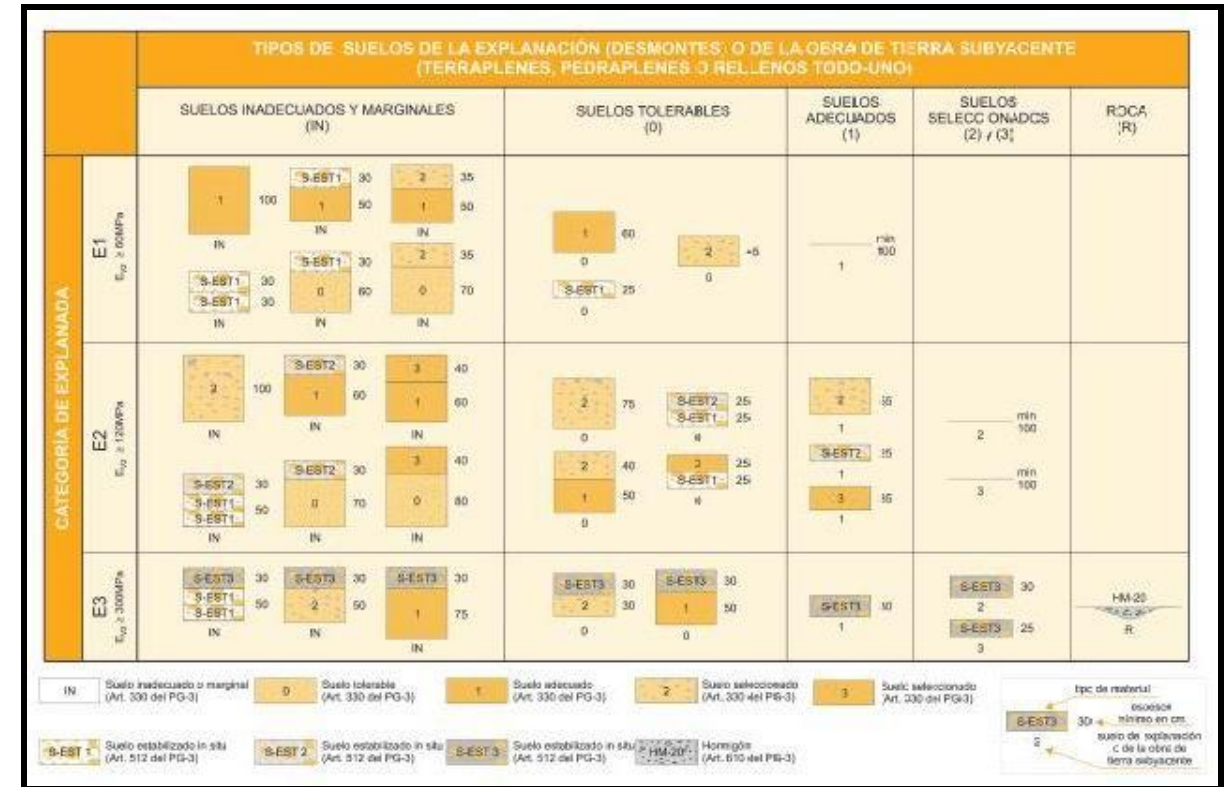
10.2 CORONACIÓN DE RELLENOS

Para el uso de los materiales extraídos de los desmontes a la hora de construir la explanada se deben tener en cuenta los siguientes datos:

- Los suelos superficiales constituidos por tierra vegetal deben considerarse como suelos inadecuados y podrán ser empleados como recubrimiento de los taludes en los terraplenes.
- Los suelos aluvio-coluviales de carácter arenoso, compuestos por arenas finas no plásticas con escaso porcentaje de limo-arcilla, pueden considerarse como suelos tolerables.
- Los granitos y gneises meteorizados en grado V a IV son suelos clasificables como tolerables a adecuados, datos deducidos a partir del análisis de muestras superficiales. Las características de los suelos mejorarán sustancialmente a partir de aproximadamente 4-5 m de profundidad al disminuir su meteorización química y su contenido en materia orgánica.
- Los granitos y gneises meteorizados en grado III son fragmentos rocosos cuyo empleo será principalmente como “todo uno grueso” y pedraplén.

10.3 SOLUCIONES

Dependiendo del tipo de explanada que se pretenda conseguir, se pueden adoptar las siguientes soluciones (6.1-IC “Secciones de Firme” – ver siguiente figura):



donde:

SÍMBOLO	DEFINICIÓN DEL MATERIAL	ARTÍCULO DEL PG-3	PRESCRIPCIONES COMPLEMENTARIAS
IN	Suelo inadecuado o Marginal	330	- Su empleo sólo será posible si se estabiliza con cal o con cemento para conseguir S-EST1 o S-EST2.
0	Suelo tolerable	330	- CBR ≥ 3 (*). - Contenido en materia orgánica < 1%. - Contenido en sulfatos solubles (SO ₃) < 1%. - Hinchamiento libre < 1%.
1	Suelo adecuado	330	- CBR ≥ 5 (*)(**).
2	Suelo seleccionado	330	- CBR ≥ 10 (*) (**).
3	Suelo seleccionado	330	- CBR ≥ 20 (*)
S-EST1 S-EST2 S-EST3	Suelo estabilizado in situ con cemento o con cal	512	- Espesor mínimo: 25 cm. - Espesor máximo: 30 cm.

(*) El CBR se determinará de acuerdo con las condiciones especificadas de puesta en obra, y su valor se empleará exclusivamente para la aceptación o rechazo de los materiales utilizables en las diferentes capas, de acuerdo con la figura 1.
 (***) En la capa superior de las empleadas para la formación de la explanada, el suelo adecuado definido como tipo 1 deberá tener, en las condiciones de puesta en obra, un CBR ≥ 6 y el suelo seleccionado definido como tipo 2 un CBR ≥ 12. Asimismo, se exigirán esos valores mínimos de CBR cuando, respectivamente, se forme una explanada de categoría E1 sobre suelos tipo 1, o una explanada de categoría E2 sobre suelos tipo 2.

11. COEFICIENTE DE PASO DE MATERIAL EXCAVADO/PUESTO EN OBRA

Se trata de estimar los coeficientes o relaciones entre los volúmenes que ocupan los materiales "in situ" y puestos en obra (compactado).

Si V es el volumen de material "in situ", y V_c es el que ocupa formando parte de un relleno, el coeficiente de paso viene dado por la relación V_c/V .

Por otra parte, $V_c = P_s / \gamma_{d,c}$

$$V = P_s / \gamma_{d,i}$$

donde:

P_s = Peso de los sólidos
 $\gamma_{d,c}$ = Densidad del material compactado seca
 $\gamma_{d,i}$ = Densidad del material "in situ" seca

El coeficiente de paso puede expresarse entonces por:

$$\text{Coef. de paso} = \gamma_{d,i} / \gamma_{d,c}$$

Es decir, que el coeficiente de paso compactado "in situ" viene dado por la relación entre las densidades del material "in situ" y compactado respectivamente.

Durante la excavación del de los desmontes, se van a extraer suelos arenosos y "jabres", producto de la meteorización de los granitos y gneises, mientras que por otro lado se extraerá sustrato rocoso de la misma naturaleza (granitos-gneises). Lógicamente los coeficientes de paso de los materiales tipo suelo diferirán de los coeficientes de paso de los materiales rocosos, por lo que se estudia cada caso:

Materiales tipo suelo

Si bien no se han realizado sondeos y por consiguiente no se han extraído muestras inalteradas de las diferentes litologías, en función de la experiencia se estima una densidad in situ seca media de $1,75 \text{ t/m}^3$ para los granitos en grado V y de $1,83 \text{ t/m}^3$ para los gneises. En los ensayos de laboratorio se ha alcanzado una densidad máxima en el Proctor Modificado de $1,79 \text{ gr/cm}^3$ con una humedad óptima del 15,0 % en el caso de los granitos y de $1,85 \text{ gr/cm}^3$ con una humedad óptima del 13,2 % en el caso de los esquistos.

Por lo tanto, y diferenciando la zona de coronación del resto de zonas del relleno, obtenemos los siguientes coeficientes de paso:

ZONA DE CORONACIÓN: Según indica la Orden Ministerial FOM 1382/2002, la densidad después de la compactación será del 100 % de la obtenida en el ensayo Proctor referencia. Por lo que el coeficiente de paso será:

$$C_{paso} (\text{Coronación}) = \gamma_{d,i} / \gamma_{d,c} = 1,75 / 1,79 = 0,97 \text{ para los granitos}$$

$$C_{paso} (\text{Coronación}) = \gamma_{d,i} / \gamma_{d,c} = 1,83 / 1,85 = 0,98 \text{ para los gneises}$$

RESTO DE ZONAS: Según indica la Orden Ministerial FOM 1382/2002, la densidad después de la compactación será del 95 % de la obtenida en el ensayo Proctor referencia. Por lo que:

$$C_{paso} (\text{Coronación}) = \gamma_{d,i} / \gamma_{d,c} = 1,75 / 1,70 = 1,03 \text{ para los granitos}$$

$$C_{paso} (\text{Coronación}) = \gamma_{d,i} / \gamma_{d,c} = 1,83 / 1,75 = 1,04 \text{ para los esquistos}$$

Materiales rocosos (Grado III)

El coeficiente de paso de material en origen puesto en obra, sin tener en cuenta las pérdidas viene dado por la expresión:

$$C_{paso} (\text{Rocas}) = \frac{V_c}{V_i} = \frac{\gamma_i \cdot (1 - n_i)}{\gamma_c \cdot (1 - n_c)} = \frac{(1 - n_i)}{(1 - n_c)}$$

donde:

V_i, V_c = Volumen in situ y compactado

$\gamma_i = \gamma_c$ = Densidades de la roca matriz in situ y colocada, por tanto son iguales.

n_i, n_c = Porosidades in situ y compactado

De este modo para el cálculo del coeficiente de paso no es necesario conocer el valor de la densidad de la roca matriz.

Con carácter conservador y dado que las juntas en general se presentan cerradas en profundidad, se adopta un valor nulo para la porosidad in situ.

Con respecto a la porosidad de puesta en obra, ésta se encuentra comprendida entre el 15 y el 25 % para pedraplenes y en torno al 10-15 % en todo uno.

Adoptando una porosidad de puesta en obra del 20 % en pedraplenes y del 15 % para todo uno, los coeficientes de paso son de:

$$C=1,25 \text{ para pedraplenes}$$

$$C=1,17 \text{ para todo uno.}$$

12. GEOTECNIA DEL TRAZADO

12.1. ESTUDIO DE DESMONTES

En este apartado se estudia la estabilidad de los desmontes proyectados, su excavabilidad y el uso que se les puede dar a los materiales extraídos tras la excavación.

El análisis de estabilidad se ha realizado basándonos en la experiencia que se tiene sobre el comportamiento de taludes excavados en materiales similares, especialmente en otras vías de comunicación próximas.

Para la obtención de los parámetros resistentes de los materiales afectados por los desmontes se han realizado además observaciones en taludes situados en zonas del inicio y final de la traza en los que afloraban principalmente materiales rocosos. Las observaciones de excavaciones en material tipo suelo han sido más difíciles de realizar puesto que los taludes en suelos son escasos en el trazado.

12.1.1. RECOMENDACIONES GENERALES

A partir de las observaciones realizadas en campo y de los cálculos realizados en gabinete, se pueden aportar las siguientes recomendaciones generales, aplicables a todos los desmontes:

- Se recomienda, de forma general, realizar un descabezado del talud eliminado de su coronación los recubrimientos vegetales y suelos tipo aluvio-coluviales (materiales en estado suelto). Estos materiales pueden retranquearse con un ángulo de talud 1H:1V (45°), con el fin de evitar la caída de derrubios al pie del talud, que pudieran provocar daños en la vía o sus inmediaciones y debe ser realizada al principio de la excavación.
- Se deben eliminar de las cabeceras de los desmontes cualquier acopio de material que pudiera favorecer la acumulación de agua.
- Como medida correctora frente a las aguas meteóricas o de escorrentía, se recomienda la construcción de una cuneta de coronación revestida, encauzando esta agua hacia un punto de evacuación adecuado.
- La presencia de nivel freático en una excavación reduce drásticamente su factor de seguridad, por lo que se recomienda prever drenajes en desmontes donde se suponga la existencia de agua, con el fin de deprimir el nivel por debajo de la base de la excavación.

Este drenaje puede favorecerse mediante la colocación de drenes californianos que deben situarse en la parte baja y media del talud, con una disposición al tresbolillo. La longitud de estos drenes dependerá de la cota de aparición del nivel freático, pero, de modo orientativo, se puede estimar una longitud igual a la altura del talud. Los drenes deberán estar inclinados unos 10° respecto a la horizontal con el fin de permitir el drenaje del agua hacia la cara del talud, para evacuar el agua que pudiera afectar al paramento a medio y largo plazo.

Ha de tenerse en cuenta la doble función que cumplen estos dispositivos por un lado eliminado el agua del interior del talud y por tanto la presión hidrostática y por otro lado aliviando la presión de carga existente a la profundidad del dren favoreciéndose de ese modo la estabilidad del talud.

Los cálculos de estabilidad de taludes se ha realizando siguiendo la premisa de que, tras su excavación, el talud se hallará drenado, bien de forma natural o bien mediante la ejecución de drenes.

- En los desmontes en materiales tipo suelo se recomienda la realización de una hidrosiembra que favorezca el crecimiento de vegetación herbácea ó arbustiva (nunca arbórea), que ayude a paliar el efecto erosivo de los agentes meteóricos externos.
- En los desmontes rocosos en los que sea necesaria la excavación mediante voladura, es muy importante realizar un precorte o bien un recorte, que garantice la integridad del macizo y evite la potencial aparición de zonas de inestabilidad por apertura de discontinuidades o presencia de bloques en voladizo.
- Se recomienda la construcción de cunetas a pie de los taludes.
- En el desmonte de mayor altura que aparece al final de trazado, se propone colocar malla de guiado de piedras para evitar la llegada de fragmentos rocosos a la vía de comunicación.

12.1.2. GEOMETRÍA DE LOS DESMONTES

Los desmontes que se proyecta excavar afectarán a gneises completamente meteorizados (grado V) y granitos fundamentalmente de grado III (moderadamente meteorizados).

La obra proyectada tiene carácter persistente. Con el fin de garantizar la estabilidad de los taludes en suelo y de acuerdo con las recomendaciones realizadas por el Ministerio de Fomento en su "Guía de Cimentaciones en obras de Carretera" de 2.002, se exige un factor de seguridad $F \geq 1,5$.

Se debe tener en cuenta en cualquier caso, que el establecimiento de un modelo geotécnico del terreno parte de un análisis estadístico, realizado a partir de la observación de otros taludes existentes en el entorno. Los resultados presentados no son exactos ya que llevan limitaciones referentes principalmente a la utilización de parámetros resistentes aproximados.

Desmontes en suelo

Para el análisis de estabilidad en desmontes tipo suelo se ha utilizado el programa comercial SLIDE de la casa comercial ROCSCIENCE, que permite el estudio de problemas de estabilidad de taludes por equilibrio límite en 2 dimensiones, calculando el factor de estabilidad o coeficiente de seguridad por el método de las rebanadas.

Los métodos que recoge el programa son el método de Bishop simplificado, aplicable a superficies de rotura circulares; el método de Janbu simplificado, para superficies de rotura de forma general; el método de Spencer, aplicable para todo tipo de superficies y el método de Morgenstern-Price, que considera el equilibrio de fuerzas y momentos.

El programa genera superficies de deslizamiento aleatorias, a partir de las directrices dadas por el usuario. De este modo, evalúa numerosas superficies de rotura posibles presentando los coeficientes de seguridad de cada una de ellas.

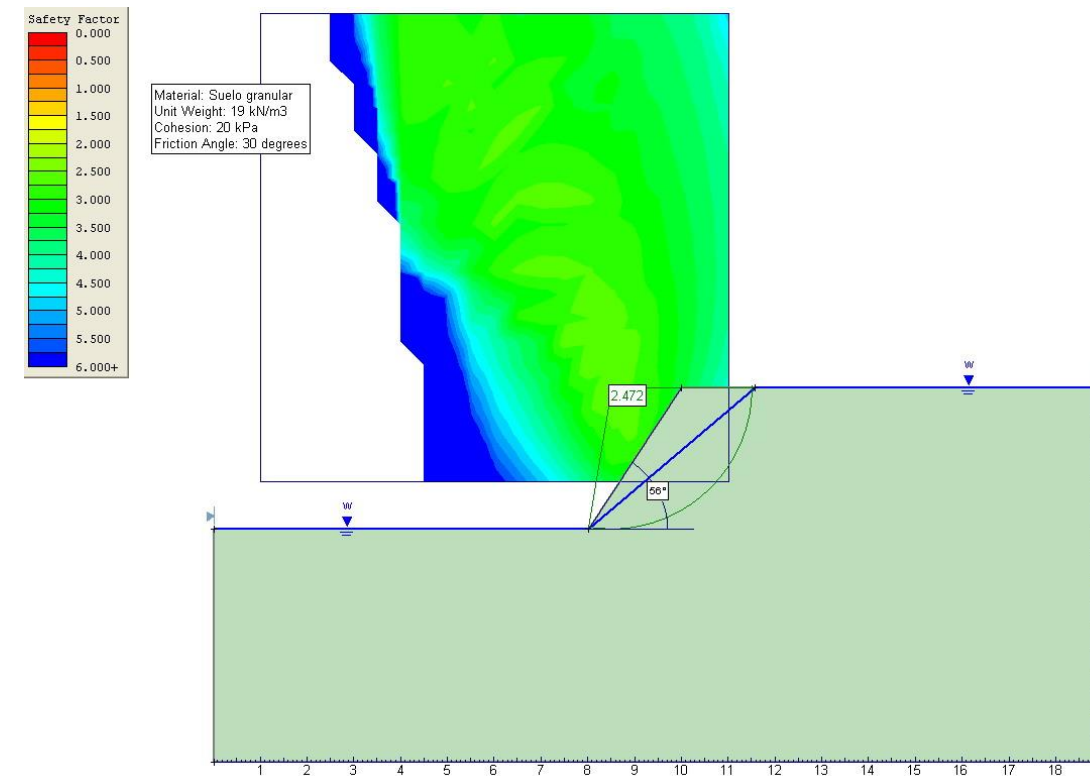
Los datos de partida para realizar los cálculos son:

Litología	Densidad aparente	Ángulo de rozamiento interno	Cohesión
Suelos coluvio-aluviales	1,65 g/cm ³	28°	0,05 Kp/cm ²
Gneis grado V	1,90 T/m ³	30°	0,20 Kp/cm ²

En las áreas afectadas por excavaciones de desmonte en suelo (hasta el PK 0+700) la litología dominante son los gneises completamente meteorizados (grado V), a los que se ha supuesto una potencia media de 4 m. A mayor profundidad se producirá el tránsito gradual hacia el sustrato rocoso. Las mayores excavaciones que se producirán en estas litologías son de 3 m.

Teniendo en cuenta la reducida altura de las excavaciones previstas y considerando los parámetros geotécnicos característicos para cada material, se obtienen factores de seguridad superiores a 2,00

para taludes de excavación de 2H:3V (56°) y que cuentan con presencia de agua en la base de la excavación.

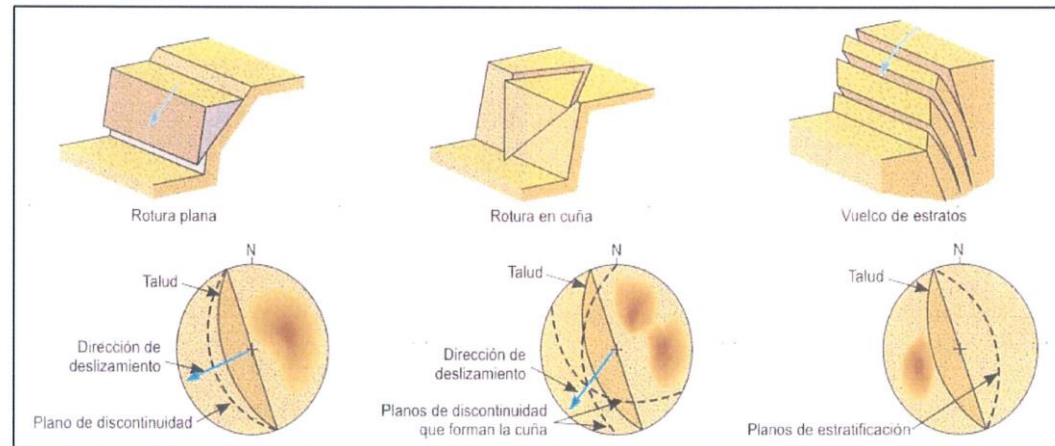


Desmontes en roca

La estabilidad de este tipo de taludes viene determinada por las características de las discontinuidades que presenten, por lo que se considera más adecuado realizar un estudio particularizado para analizar la estabilidad de cada excavación.

La caracterización de las discontinuidades se debe efectuar a partir de las observaciones de campo. De este modo se pueden obtener un conjunto de familias de discontinuidades a partir de las cuales se ha considerado la orientación de las excavaciones para comprobar la posible formación de roturas planares, cuñas o inestabilidades tipo vuelco.

A continuación se reproduce la figura de Hoek y Bray (1981) donde se indica la configuración de los principales tipos de bloques inestables en taludes rocosos.



- La condición básica para que se produzcan roturas planares es la presencia de discontinuidades buzando a favor del talud y que cumplen las condiciones de que la discontinuidad esté descalzada por el talud ($\alpha > \beta$) y que penetre en el talud individualizando un bloque, la dirección del plano ha de ser paralela al talud ($\pm 20^\circ$) y el buzamiento de la discontinuidad ha de ser mayor que su ángulo de rozamiento interno ($\alpha > \phi$). En resumen, se ha de cumplir: $\alpha > \beta > \phi$ siendo α el ángulo del talud, β el ángulo de la discontinuidad y ϕ el ángulo de rozamiento interno del material.
- Para que se produzcan roturas por pandeo se requiere planos de discontinuidades paralelos al talud ($\alpha = \beta$), con buzamiento mayor que el ángulo de rozamiento interno ($\alpha > \phi$), también ha de cumplir la condición de que las placas sean lo suficientemente esbeltas en relación con la altura del talud, para poder pandear.
- Para que se produzcan roturas de bloques tipo cuña formado por dos planos de discontinuidad a favor de su línea de intersección, los dos planos han de aflorar en la superficie del talud, a favor de su línea de intersección. Para que se produzca este tipo de rotura, se debe cumplir las condiciones $\alpha > \beta > \phi$ siendo α el ángulo de la línea de intersección de los dos planos.

Para el cálculo de la estabilidad por formación de roturas planares se dispone del programa ROCPLANE y para el análisis de la rotura por formación de cuñas del programa SWEDGE, ambos de la casa comercial Rocscience.

12.2. INESTABILIDADES Y TRATAMIENTO

A partir de las investigaciones realizadas se ha visto que la excavación va a afectar a materiales rocosos con variable grado de meteorización.

A continuación se describen de manera general las inestabilidades que son previsibles que aparezcan y su posible tratamiento.

En las excavaciones desarrolladas en materiales con un comportamiento tipo suelo, se pueden producir roturas circulares en zonas arenosas que se volverán inestables ante la pérdida de confinamiento originada por una excavación con un ángulo excesivo. Esta situación se puede ver agravada por la presencia de agua.

En el sustrato de grado IV y zonas de transición hacia el sustrato rocoso pueden aparecer inestabilidades superficiales dadas las características de meteorización de este nivel (más de la mitad de la roca transformada a la condición de suelo). De este modo se originarán roturas que pueden alcanzar la cabeza del talud y dejarán aflorando superficies rocosas irregulares. En estas circunstancias las roturas suponen el desplome de las zonas arenosas mientras que las más limosas, con una mayor cohesión, pueden quedar en voladizo sobre las zonas caídas, originando una situación de equilibrio inestable que debe sanearse.

En las zonas excavadas en roca de grado III se pueden producir roturas concretas debidas a la formación de cuñas o deslizamientos planares a favor de las discontinuidades que buzando hacia la superficie libre de la excavación. De acuerdo con las observaciones realizadas y en base a los ángulos de taludes propuestos, no se esperan grandes volúmenes implicados en estas inestabilidades. Sin embargo, debido a la variabilidad de dirección y buzamiento que pueden presentar las familias de fracturas pueden aparecer cuñas.

Asociadas a las labores de excavación desarrolladas en el sustrato rocoso pueden encontrarse también:

- zonas con sobreexcavación, que dejen áreas en voladizo.
- tramos con el pie de talud muy fracturado que pueden evolucionar hacia zonas en voladizo o derivar en inestabilidades por pérdida de apoyo.

- sectores con presencia generalizada de bloques de pequeñas dimensiones, cuyo saneo puede ser inviable.

Ante estas circunstancias se proponen diversos tipos de actuación, cuya zona de aplicación deberá determinarse según vayan avanzando las excavaciones:

- Medidas puntuales:
 - Bulonado de zonas concretas, debidas a la formación de cuñas, roturas planares y/o existencia de sectores muy fracturados.
 - Saneo/taqueo de bloques rocosos potencialmente inestables que aparezcan dentro de niveles más alterados.
- Medidas generales:
 - Retaluzado de sectores que se muestren inestables, si bien se ha realizado un estudio de estabilidad para cada desmonte con el fin de que la estabilidad general de las excavaciones se encuentre garantizada.
 - Malla de triple torsión en taludes con presencia generalizada de bloques de pequeño tamaño.

12.3. EXCAVABILIDAD Y UTILIZACIÓN DE MATERIALES

Existen numerosos métodos para estimar la excavabilidad y ripabilidad de suelos y rocas, por lo que a continuación presentaremos una valoración de los mismos, según el tipo de material al que afecte:

EXCAVABILIDAD EN MATERIALES TIPO SUELO

Los materiales tipo suelo pueden ser excavados mediante medios mecánicos convencionales, como retroexcavadoras. Los materiales tipo suelo engloban a los materiales de recubrimiento (tierra vegetal y depósitos coluvio-aluviales, rellenos), a los residuales y tránsito blando entresuelo y roca. Para conocer la excavabilidad de los materiales tipo suelo se puede estimar el índice de excavabilidad de Hadjigeorgiou y Scoble (1990).

Según dichos autores, el cual el índice de excavabilidad es $IE = (Is + Bs) W \times Js$

Donde: IE: Índice de excavabilidad Is: índice de resist. bajo carga puntual

Bs: índice de tamaño de bloque W: alteración

Js: índice de disposición estructural relativa

Clase	1	2	3	4	5
Resistencia bajo carga puntual $I_{(50)}$ Valoración (I_s)	0,5 0	0,5-1,5 10	1,5-2,0 15	2,0-3,5 20	>3,5 25
Tamaño de bloque J_v (Juntas/m ³) Valoración (B_s)	Muy pequeño 30 5	Pequeño 10-30 15	Medio 3-10 30	Grande 1-3 45	Muy Grande 1 50
Alteración Valoración (W)	Completa 0,6	Alta 0,7	Moderada 0,8	Ligera 0,9	Nula 1,0
Disposición estructural relativa Valoración (J_s)	Muy favorable 0,5	Favorable 0,7	Ligeramente favorable 0,8	Desfavorable 1,3	Muy desfavorable 1,0
Índice de excavabilidad (IE)	<20	20-30	30-45	45-55	>55
Facilidad de excavación	Muy fácil	Fácil	Difícil	Muy Difícil	Voladura

Índice de excavabilidad según Hadjigeorgiou y Scoble (1990).

De acuerdo con esta clasificación los materiales tipo suelo son de excavación fácil a muy fácil. En ellos los procesos de excavación dejan al material del talud prácticamente inalterado, por lo que no se espera que este tipo de excavación provoque inestabilidades.

ARRANQUE MECÁNICO: RIPADO

El ripado se emplea con materiales tipo tránsito (material muy meteorizado grado IV). La clasificación que propone Singh y Denby (1989) se basa en el índice de ripabilidad, el cual se obtiene de la suma de cuatro parámetros:

- Espaciamiento de las discontinuidades
- Resistencia a la tracción
- Grado de meteorización
- Grado de abrasividad, estimado con el índice Cerchar

El escarificado se realiza clavando un diente o ripper en el terreno unido a un tractor con suficiente potencia como para realizar el arranque de la roca durante su traslación.

En el proceso de ripado entran en juego parámetros derivados del tipo de roca, como puede ser su resistencia a la compresión simple, resistencia a la tracción, estructura (juntas, discontinuidades, espaciamientos, etc) y parámetros derivados de la propia maquinaria, como la potencia aplicada al diente, el peso de material movilizado, la forma del diente, el ángulo de ataque, profundidad de penetración del diente, etc. También influye la geometría de la excavación, ya que el escarificado es mucho más rentable en pequeñas alturas de desmonte (hasta 5 m) y con anchuras de excavación superiores a 15 m.

Parámetros	Clases de macizos rocosos				
	1	2	3	4	5
Resistencia a la tracción (MPa) <i>Valoración</i>	< 2 0-4	2-6 4-8	6-10 8-12	10-15 12-16	>15 16-20
Grado de alteración <i>Valoración</i>	Muy alto 0-4	Alto 4-8	Moderado 8-12	Ligero 12-16	Nulo 16-20
Grado de abrasividad <i>Valoración</i>	Muy bajo 0-4	Bajo 4-8	Moderado 8-12	Alto 12-16	Extremo 16-20
Espaciado de las discontinuidades (m) <i>Valoración</i>	< 0,06 0-10	0,06-0,3 10-20	0,3-1 20-30	1-2 30-40	> 2 40-50
Índice de ripabilidad <i>Valoración total</i>	< 22	22-44	44-66	66-88	> 88
Ripabilidad	Fácil	Moderada	Difícil	Marginal	Voladura
Tipo de retroexcavadora recomendada	Ligera	Media	Pesada	Muy Pesada	Ninguna
Potencia (kw)	< 150	150-250	250-350	> 350	-
Peso (t)	< 25	25-35	35-55	> 55	-

Fig.8: Índice de ripabilidad según Singh y Denby (1989)

De acuerdo con esta clasificación, si en la base de los desmontes que se localizan en el tronco del trazado (hasta el Pk 0+700) apareciera el sustrato rocoso, éste podrá ser ripado. Esta afirmación no es de aplicación al talud de la rotonda final (subida a Montecelo, donde las propiedades del sustrato rocoso implican la necesidad de recurrir a la voladura).

En la excavación mediante escarificado pueden producirse ciertos “defectos” de excavación, tales como la presencia en la cara del talud de bloques rocosos movidos, no arrancados por el tractor y que deben ser saneados con posterioridad. Pueden quedar pequeños fragmentos rocosos englobados en material suelto, que con el tiempo, pueden desprenderse del talud, por lo que suele ser recomendable la colocación de sistemas que eviten la caída de piedras

En los taludes rocosos en que puedan aparecer deslizamientos planares, pueden llegar a aparecer descalces de las juntas producidas por un ripado excesivo.

RIPABILIDAD DE MATERIALES ROCOSOS

Las rocas que van a verse afectadas por los mayores desmontes (localizados en la subida a Montecelo) son de tipo granítico. Su ripabilidad depende de la presencia de planos de debilidad o familias de discontinuidades.

Para evaluar la ripabilidad de materiales rocosos se puede emplear el índice de ripabilidad de Singh y Denby (1989), tal y como se ha mencionado en el apartado anterior, donde se indica además el tipo de tractor recomendado para cada caso.

Otra clasificación para estimar la ripabilidad de la roca es la de Weaver, la cual tiene en cuenta la velocidad de las ondas sísmicas, la dureza, el grado de alteración, el espaciado, continuidad y relleno de las juntas y su orientación y buzamiento. A continuación se presenta el cuadro de valoración para esta clasificación:

CLASIFICACIÓN DE RIPABILIDAD SEGÚN WEAVER

CLASE DE ROCA	I	II	III	IV	V
DESCRIPCIÓN	Roca muy buena	Roca buena	Roca media	Roca mala	Roca muy mala
VELOCIDAD SÍSMICA (m/s)	>2150	2150 – 1850	1850 – 1500	1500 – 1200	1200 - 450
Valoración	26	24	20	12	5
DUREZA	Roca extr. dura	Roca muy dura	Roca dura	Roca blanda	Roca muy blanda
Valoración	10	5	2	1	0
ALTERACIÓN	Sana	Ligeramente sana	Alibrada	Muy alterada	Completamente alterada
Valoración	9	7	5	3	1
ESPACIADO DE JUNTAS (mm)	> 3000	3000 – 1000	1000 – 300	300 – 50	< 50
Valoración	30	25	20	10	5
CONTINUIDAD DE JUNTAS	Discontinuas	Poco continuas	Continuas sin relleno	Continua con algún relleno	Continua con relleno
Valoración	5	5	3	0	0
RELLENO DE LAS JUNTAS	Cerradas	Algo separadas	Separación <1mm	Relleno <5mm	Relleno >5mm
Valoración	5	5	4	3	1
ORIENTACIÓN DE DIRECCIÓN Y BUZAMIENTO	Muy desfavorable	Desfavorable	Poco favorable	Favorable	Muy favorable
Valoración	15	13	10	5	3
VALORACIÓN TOTAL	100 – 90	90 – 70*	70 – 50	50 – 25	<25
VALORACIÓN DE LA RIPABILIDAD	Voladura	Ext. difícil de repar. Voladura	Muy difícil de repar	Difícil de repar	Fácilmente ripable
SELECCIÓN DE MAQUINARIA	–	DD9G/D9G	D9/D8	D8/D7	D7
POTENCIA (CV)	–	770/385	385/270	270/180	180
KW	–	575/290	290/200	200/135	135

* La puntuación por encima de 75 se considera como no ripable sin prevoladura

El desmonte que se encuentra en la parte final de la traza, afectará al sustrato rocoso granítico principalmente de grado III (moderadamente meteorizado). Se trata de una roca de calidad media a buena, por lo que será de muy a extremadamente posible difícil de repar, siendo necesario recurrir al empleo de voladura.

EXCAVACIÓN CON EXPLOSIVOS

En las voladuras se recomienda la utilización de precorte o recorte en función de la tipología del desmonte. En ambos casos se recomienda la utilización de barrenos guía.

El **precorte** es recomendable en tramos a desmontar que se encuentren en trinchera y en aquellos otros en media ladera en que por distintos condicionantes (riesgos de proyecciones, excesivo confinamiento, dificultad en las maniobras de carga y transporte,...) no se pueda o sea inadecuada la técnica de recorte con la dirección de salida de la voladura en disposición normal a la traza.

La longitud de los barrenos se recomienda sea menor de siete metros a fin de asegurar el paralelismo de la perforación, evitándose así los efectos nocivos de las desviaciones.

El **recorte** difiere del precorte en que en este caso la barrera de barrenos de recorte es la última en dispararse. Está especialmente indicado para desmontes a media ladera cuya voladura haya sido planificada con salida normal o perpendicular a la traza.

Teniendo en cuenta que en las proximidades del final de la traza existen edificios próximos, se propone que la excavación se lleve a cabo mediante precorte.

Para obtener una buena fragmentación de la roca en voladuras y el material sea idóneo para su empleo en pedraplenes, se recomiendan cuadrículas en que el espaciado entre barrenos sea el doble que la distancia al frente. Una vez ejecutada la voladura, y retirados los materiales desprendidos, se sanearán desde abajo con una retroexcavadora las zonas sueltas que hayan podido quedar y si fuese necesario algún retoque, el mismo se realizaría con martillo rompedor.

Los productos de la excavación pueden servir de áridos de machaqueo para la capa de rodadura, sin embargo deberá comprobarse en obra sus características geotécnicas para tal fin mediante los correspondientes ensayos de resistencia, abrasividad, adhesividad y desgaste, entre otros.

En el caso de la excavación con explosivos, un exceso de potencia de explosivo puede dar lugar a la fracturación del macizo, favoreciendo los problemas de estabilidad posteriores.

CONCLUSIONES

De toda la investigación realizada en el entorno de estudio se extraen las siguientes conclusiones:

- Se estima que los primeros 4 m de desmonte estarán formados por materiales excavables o de ripado fácil y se podrán extraer por medios mecánicos (retroexcavadoras de potencia media).
- En el caso de que en los desmontes previstos hasta el PK 0+700 aparezca el sustrato rocoso éste presentará previsiblemente características de ripado medio a duro.
- Finalmente en el desmonte de mayor envergadura que aparece en la subida a Montecelo se prevé que aparezcan materiales susceptibles de necesitar de voladura para su excavación.

Los materiales producto de la excavación, se han clasificado de la siguiente manera:

- como suelos inadecuados se encuentra la tierra vegetal si bien puede ser reutilizada para su vertido en el paramento de los rellenos, para ayudar a su revegetación. Los rellenos antrópicos de los viales existentes se supone que estarán constituidos por materiales de calidad tolerable a adecuada, con compacidad media, ya que han sido extendidos y compactados para la construcción de los viales.

- como suelos marginales, debido a su elevado contenido en materia orgánica, se encuentran los suelos coluvio- aluviales del inicio del trazado. Los suelos marginales se recomienda que sean retirados y llevados a vertedero, aunque, según el artículo 330.4.4 podrán ser utilizados en algunas zonas de la obra siempre que su uso se justifique mediante un estudio especial, aprobado por el Director de Obras.

- como suelos tolerables se encuentran los suelos coluvio-aluviales más arenosos, así como los suelos procedentes de la completa meteorización del sustrato gneísico y granítico. Estos materiales son validos para la construcción del cimientto y núcleo de los terraplenes y con una compactación adecuada que alcance el 95% de la densidad máxima del ensayo Proctor Modificado, y con el contenido de la humedad óptima obtenida en dicho ensayo.

- como suelos adecuados podrían encontrarse los procedentes de la meteorización in situ de los granitos y gneises. La condición de suelos adecuados la da su granulometría, de tal forma que las muestras analizadas se encuentran próximas a cumplir las condiciones especificadas. Por lo que respecta al contenido en materia orgánica, disminuirá a medida que se profundice la excavación. Estos suelos son especialmente válidos para la coronación de los terraplenes, siempre y cuando se alcance una densidad de compactación igual al 100% del Proctor de referencia.

- como todo-uno ó pedraplén los derivados de la excavación del sustrato rocoso granítico grado III.

12.4. ESTUDIO PARTICULARIZADO DE DESMONTES

A continuación se realiza un estudio pormenorizado para cada uno de los desmontes afectados por el trazado, indicando su geometría, inclinación, litología afectada, condiciones hidrogeológicas, medidas a adoptar en cada uno para garantizar su estabilidad, tipo de explanada natural e investigación efectuada para su caracterización.

La siguiente tabla muestra los principales desmontes existentes a lo largo de la traza, con su ubicación, longitud, unidades geotécnicas afectadas y altura máxima de los mismos:

TERRAPLÉN	UBICACIÓN		LONGITUD (m)	UNIDADES GEOTÉCNICAS	NIVEL FREÁTICO	ALTURA MÁXIMA (m)
	PK inicio	PK final				
D-1	0+000	0+450	450	Depósitos coluvio-aluviales y gneis	1,60 al inicio	3,00
D-2	0+520	0+710	190	Granito	---	2,00
D-3	Rotonda de acceso a Montecelo		335 (considerando rotonda y ramal 2)	Granito	---	15

Como medida preventiva, frente a la acción meteórica de las aguas, se recomienda la instalación en todos los desmontes, de una cuneta de coronación revestida a todo lo largo de la longitud del desmonte, de modo que las aguas de escorrentía sean recogidas en esta cuneta y canalizadas hacia un punto bajo de desagüe hacia la obra de drenaje correspondiente. Se destaca la importancia de que la cuneta esté revestida, ya que evitará la percolación del agua a través del suelo.

Otra medida preventiva a aplicar en el caso de que aparezca agua en el talud de mayor altura existente al final del trazado es la colocación de drenes californianos. Estos se colocarán preferentemente en la parte baja y media del talud, buscando deprimir el nivel freático, en caso de que exista y no se haya deprimido de forma natural. La presencia de agua en los desmontes reduce considerablemente la estabilidad de los mismos, además, los drenes contribuyen a la reducción de la presión litostática existente a la profundidad del dren.

Se recomienda, en todos los taludes desarrollados en suelo, prever la realización de una revegetación de los taludes que permitan limitar la acción de los agentes meteóricos externos y contribuir así a la estabilidad de los mismos.

En los desmontes desarrollados en roca se deberá considerar la colocación de una malla de triple torsión con el fin de evitar la llegada de bloques rocosos a la calzada.

DESMONTE 1

El desmonte proyectado presenta una altura máxima de 3 m y se extiende entre los PKs 0+000-0+450.

Litología e Hidrología: En el desmante de la rotonda de la PO-542 existente aflora el gneis glandular, con un grado de meteorización III-IV. Se trata de un gneis bastante migmatizado de tamaño de grano medio con orientación planar. Este material puede clasificarse como una roca blanda. A pocos metros de este afloramiento, dentro del mismo desmante, se encuentra el gneis completamente alterado a suelo (gneis grado V), pudiéndose apreciar un sustrato areno-limoso, de tamaño de grano medio.

Se ha observado la presencia de un depósito cuaternario ligado a la actividad del curso de agua que circula por las proximidades, así como a los derivados de los productos gravitaciones de la pequeña ladera que rodea dicha rotonda. Desde el punto de vista litológico está formado por una arena limosa de color marrón, con gravas de tamaño centimétrico a decimétrico, alternando tanto lateral como verticalmente, con niveles de limo arcilloso con abundante contenido en materia orgánica. Esta unidad se dispone de manera discordante sobre los gneises y se extiende entre los PKs 0+000 y 0+040.

Teniendo en cuenta que la máxima altura prevista para este desmante es de 3,00 m, la excavación hasta el PK 0+040, afectará a los depósitos cuaternarios. A partir de este PK la litología implicada será los gneises glandulares, que se presentarán completamente meteorizados (grado V). No se descarta que puntualmente puedan aparecer afloramientos más sanos (grado III).

No se han apreciado rezumes o vías de agua en la cara del actual desmante. Por el contrario, en la calicata, se ha encontrado el nivel freático a 1,60 m con una importante afluencia de agua.

Geometría del Desmante: Se plantea excavar el desmante con una geometría 2H:3V (56°).

Explanada Natural: El material del fondo de la excavación estará compuesto, en su mayor parte, por un gneis completamente meteorizado. La explanada resultante es un fondo de excavación en suelo, de calidad tolerable pudiendo alcanzar la categoría de adecuada si se cumplen las condiciones granulométricas especificadas para esta categoría. Si puntualmente aparecieran materiales más sanos (grado III), la explanada resultante sería roca.

Entre los PKs 0+000-0+040 el fondo de excavación quedará emplazado en la unidad coluvio-aluvial cuaternario. La explanada resultante será un fondo de excavación en suelo, de calidad tolerable en su parte más arenosa o bien marginal en los tramos más arcillosos y con mayor contenido en materia orgánica. En este sector donde existe una importante presencia de agua y donde los depósitos cuaternarios presentan pobres características geotécnicas, se considera conveniente el hincado de

fragmentos rocosos en el terreno que funcionen de trabazón del mismo y la colocación de una lámina de geotextil. De este modo se podrán mejorar las características de la explanada.

Excavabilidad y Utilización de materiales: Al tratarse de materiales tipo suelo (depósitos cuaternarios y gneis de grado V), se ha estimado que los materiales serán fácilmente excavables. Si puntualmente aparecen niveles más sanos será necesario el empleo de maquinaria de mayor potencia.

Como ya se ha indicado los materiales producto de la excavación, se han clasificado, como tolerables pudiendo alcanzar la categoría de adecuada si se cumplen las condiciones granulométricas especificadas para esta clase. Los depósitos cuaternarios serán tolerables en los niveles más arenosos mientras que los más arcillosos y con materia orgánica serán marginales.

Drenaje: Según se ha especificado en las condiciones generales, se recomienda la construcción de cuneta de guarda hormigonada en la cabecera del desmante que evite la infiltración del agua hacia su interior. En la parte inicial del desmante (hasta el PK 0+040) donde la afluencia de agua freática es importante, se deberá contar con medidas de drenaje para evitar que la explanada se sature de agua.

Medidas de Sostenimiento: No se prevén medidas sistemáticas de sostenimiento en el desmante. Se recuerda la conveniencia de la hidrosiembra.

DESMONTE 2

El desmante proyectado presenta una altura máxima de 2 m y se extiende entre los PKs 0+520-0+710.

Litología e Hidrología: En función de las observaciones de campo realizadas se prevé que la litología dominante sean los gneises completamente meteorizados (grado V). Esta litología presenta características de un suelo granular arenoso o bien limoso con algo de plasticidad. No se descarta que puntualmente puedan aparecer niveles más sanos (grado III).

No se han apreciado cursos de agua superficiales o bien zonas encharcadas. Sin embargo es posible que en momentos de importantes precipitaciones puedan existir acumulaciones superficiales de agua.

Geometría del Desmante: Se plantea excavar el desmante con una geometría 2H:3V (56°).

Explanada Natural: El material del fondo de la excavación estará compuesto por un gneis completamente meteorizado. La explanada resultante será un suelo tolerable pudiendo alcanzar la categoría de adecuada si se cumplen las condiciones granulométricas especificadas para esta categoría. En el caso hipotético de que se encontraran niveles más sanos, la explanada sería roca.

Excavabilidad y Utilización de materiales: Los materiales tipo suelo se excavarán fácilmente. Como ya se ha indicado el producto de la excavación será un material tolerable, pudiendo ser adecuado si se cumplieran los requerimientos granulométricos especificados para esta categoría.

Drenaje: Se recomienda la construcción de cuneta de guarda hormigonada en la cabecera del desmonte que evite la infiltración del agua hacia su interior.

Medidas de Sostenimiento: No se prevén medidas sistemáticas de sostenimiento en el desmonte. Se recuerda la conveniencia de la hidrosiembra.

DESMONTE GLORIETA PO-532

En la glorieta de la PO-532 el eje de trazado discurre por una zona de desmonte de 138 m de longitud. El eje 2 que sitúa paralelo a la actual carretera de subida a Montecelo presenta una longitud de 197

En la rotonda y puesto que la topografía es muy abrupta, se observa una zona inicial con un desmonte máximo de 6 m, un sector central de 40 m de longitud en el que el movimiento de tierras es prácticamente nulo y otra zona final con un desmonte de 11 m. Por lo que respecta al eje 2 la mayor parte del mismo no va a suponer un movimiento de tierras importante; únicamente se realizarán excavaciones de hasta 6 m de altura en el enlace con la rotonda.

Litología e Hidrología: La glorieta se desarrolla por una zona donde aflora el sustrato rocoso granítico, tal y como puede observarse en las fichas de los puntos de observación.

El sustrato rocoso (grado III) observado en los afloramientos rocosos de la zona se presenta moderadamente fracturado, con valores de RQD comprendidos entre 50 y 75%. Puntualmente aparecen tramos de calidad pobre (RQD 25-50%), situación lógica considerando los procesos tectónicos de carácter dúctil que ha sufrido el macizo. Los planos de discontinuidad existentes son en general ondulados rugosos y pueden presentar rellenos de arenas limosas, e incluso óxidos. En función de estos datos se puede clasificar este sustrato rocoso como de calidad media (según ISRM).

En las observaciones realizadas no se ha detectado la presencia de nivel freático.

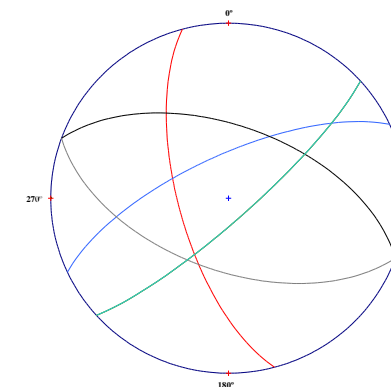
Geometría del Desmonte: Con el fin de definir la geometría del desmonte que presente un factor de seguridad adecuado, se ha realizado un estudio de las principales familias de discontinuidades.

En función de las observaciones de campo, se han determinado las siguientes familias:

- Familia 1: presenta una orientación 335°/70° (expresada en dirección de buzamiento/buzamiento), presentándose también la familia conjugada 138/80°. Esta familia muestra una orientación oblicua a la carretera de subida a Montecelo.
- Familia 2: muestra una orientación 260° y un buzamiento variable entre 67° y 80°. Los planos de esta familia se disponen de manera perpendicular a la actual carretera de subida a Montecelo.
- Como dirección de excavación se ha considerado N110, que es la orientación que sigue la actual carretera. También se ha analizado la dirección perpendicular (N30) por el hecho de tener en cuenta la estabilidad de excavaciones con esta orientación, puesto que se trata de una rotonda.

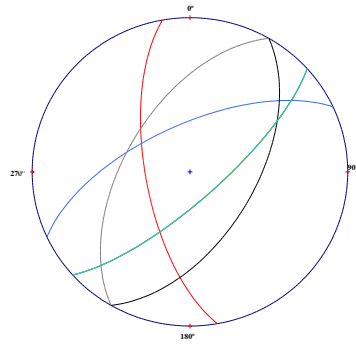
La proyección estereográfica de estos planos frente a los taludes previstos es la siguiente:

Excavación N 110



TIPO DE JUNTA	FAMILIA	ORIENTACION	
		AZIMUT	BUZ
J	1a	335	70
J	1b	138	80
J	2	255	67
T		20	56
T		200	56

Excavación N 30

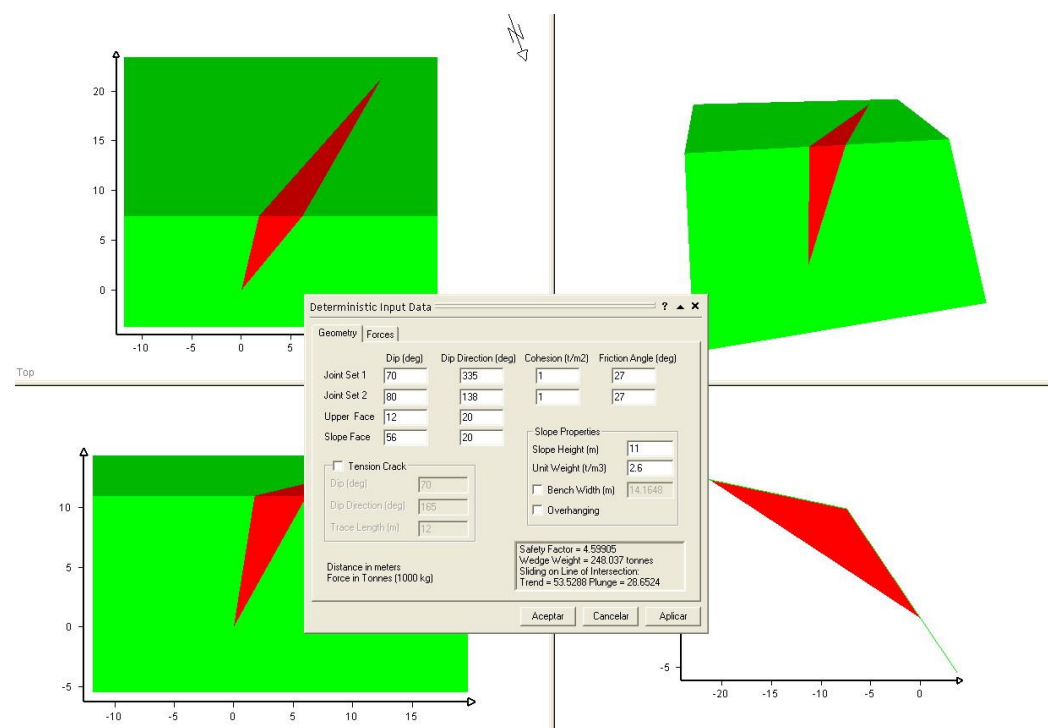


TIPO DE JUNTA	FAMILIA	ORIENTACION	
		AZIMUT	BUZ
J	1	335	65
J	2	138	75
J	3	260	67
T		120	56
T		300	56

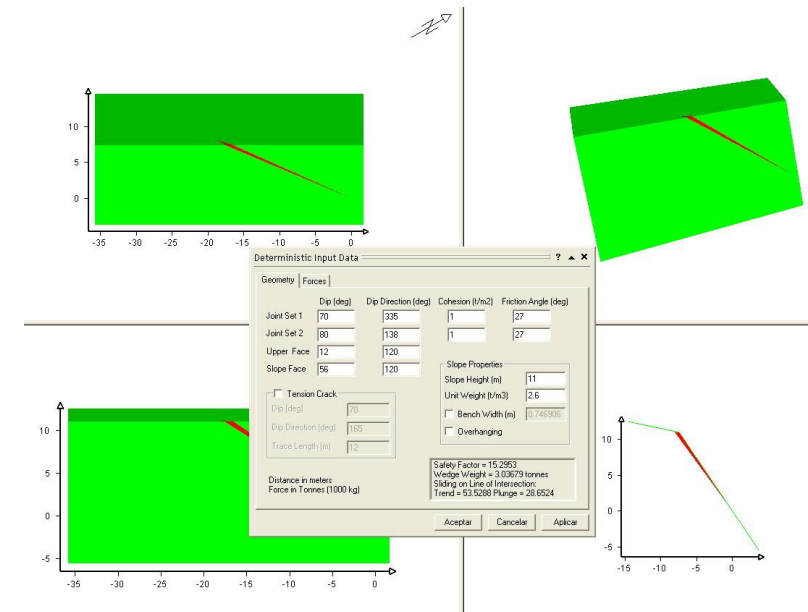
En la excavación con orientación N110, la geometría proyectada 2H:3V (56°) impide la formación de la mayor parte de las cuñas. Tan sólo podría formarse una por intersección de las familias J1 a y J1b, circunstancia bastante difícil ya que se trata de la misma familia pero con planos conjugados. El análisis de estabilidad de esta posible cuña, realizada con el programa SWEDGE da como resultado factores de seguridad superiores a 4. Los parámetros resistentes que se han considerado para las juntas han sido:

$$c = 0,1 \text{ Kp/cm}^2$$

$$\phi = 27^\circ$$



Por lo que respecta a la excavación con orientación N 30, el talud con pendiente 56° impide la formación de cuñas. Únicamente podría aparecer una cuña por intersección de las familias J1a y J1b. El factor de seguridad que se alcanza para esta discontinuidad sería superior a 15:



Excavabilidad y Utilización de materiales: Basándonos en las observaciones realizadas, se puede considerar que los primeros 2 m de excavación se realizarán en rocas con mayor grado de fracturación con características de ripado medio a duro. A mayor profundidad los materiales existentes precisarán de voladura para su excavación. Los materiales producto de la excavación se han clasificado como todo-uno o pedraplén ya que se trata de rocas procedentes de voladura.

Explanada Natural: El material del fondo de la excavación estará compuesto por granitos moderadamente meteorizados (grado III), de modo que la explanada resultante puede considerarse como un fondo de excavación en roca.

Drenaje: Se recomienda la construcción de cuneta de guarda hormigonada en la cabecera del desmonte que evite la infiltración del agua hacia su interior.

Medidas de Sostenimiento: En principio no se prevén medidas sistemáticas de sostenimiento en el desmonte, aunque sí podría ser recomendable la colocación de malla de triple torsión o incluso bulonado puntual si la aparición de familias de discontinuidades diferentes de las aquí señaladas conduce a la formación de cuñas.

TABLA RESUMEN DE DESMONTES

DESMONTE	ALTURA MÁXIMA (m)	MATERIALES	UTILIZACIÓN	TALUD	EXCAVABILIDAD	FONDO DE EXCAVACIÓN	OBSERVACIONES
		LITOLOGÍA					
D1 0+000-0+450	3m	Hasta PK 0+040: depósitos cuaternarios coluvio-aluviales (0,80 m)	Tolerable/marginal	2H:3V (56°)	Excavable	Suelo	Hincar piedras para mejorar calidad de la explanada
		Resto del desmonte: Tierra vegetal (0,40 m) Gneis alterado, grado V (suelo). No se descarta la presencia de gneis grado III	Tolerable /posible seleccionado	2H:3V (56°)	Excavable	Suelo	---
D2 0+520 – 0+710	2 m	Tierra vegetal (0,40 m) Gneis alterado, grado V (suelo). No se descarta la presencia de gneis grado III	Tolerable/ posible adecuado	2H:3V (56°)	Excavable	Suelo	---
D3 Glorieta PO-532	11 m	Tierra vegetal (0,20 m) Granito grado III (roca).	Todo uno-pedraplén	2H:3V (56°)	Voladura. Ripado tan sólo en los 2 m iniciales	Roca	Malla de triple torsión en zonas fracturadas.

12.5. ESTUDIO DE TERRAPLENES

El objetivo de este apartado es examinar los aspectos geológicos, geotécnicos y constructivos de los terraplenes presentes en obra. Se analizará la estabilidad del cuerpo y el tratamiento del cimiento, así como los asentamientos producidos por los mismos.

12.5.1. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

La siguiente tabla muestra los principales terraplenes existentes a lo largo de la traza, con su ubicación, longitud y altura máxima:

TERRAPLÉN	UBICACIÓN		LONGITUD (m)	UNIDADES GEOTÉCNICAS	NIVEL FREÁTICO	ALTURA MÁXIMA (m)
	PK inicio	PK final				
T-1	0+710	0+800	90	Gneis	---	1,70
T-2	0+820	0+970	150	Granito	---	6,00

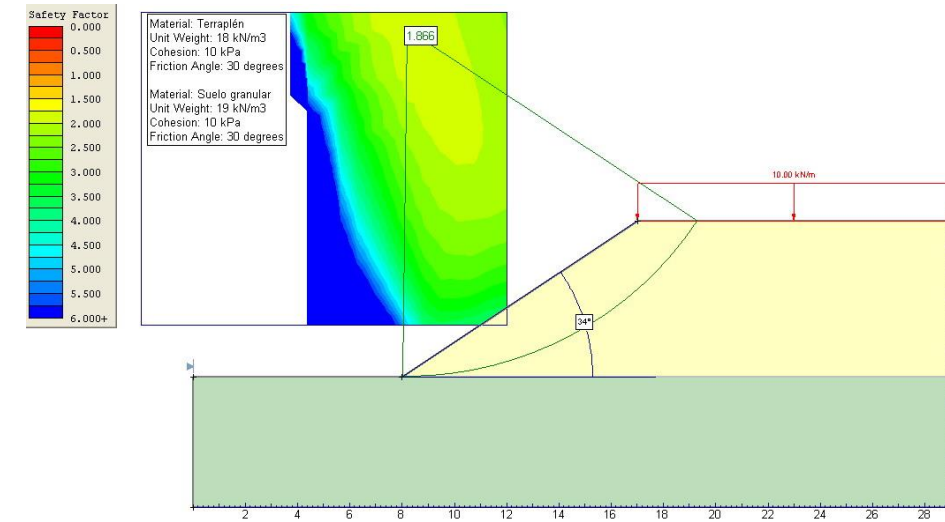
Para el análisis de estabilidad en terraplenes se ha utilizado el programa comercial SLIDE de la casa comercial ROCSCIENCE, que permite el estudio de problemas de estabilidad de terraplenes por equilibrio límite en 2 dimensiones, calculando el factor de estabilidad o coeficiente de seguridad por el método de las rebanadas.

Los materiales a utilizar en la construcción de los rellenos, provendrán de los niveles granulares, procedentes de la excavación de los desmontes. Se trata de materiales aprovechables, bien sea gneises o granitos, (GG grado V ó GR grado V), de calidad tolerable y posiblemente adecuada.

A partir de los resultados obtenidos en laboratorio se deducen las siguientes características de puesta en obra:

- Densidad: 1,80 t/m³.
- Parámetros de resistencia al corte: $c= 0,1 \text{ Kp/m}^2 \quad \phi=30^\circ$.

Los terraplenes se han diseñado con el talud 3H/2V. Con esta geometría el relleno de mayor altura (6 m) presenta un factor de seguridad de 1,8 para una rotura desarrollada a través de su cuerpo, tal y como se recoge en la imagen adjunta:



Talud 3H:2V para terraplén de 6,00 metros de espesor máximo.

12.5.2. TRATAMIENTO DEL CIMIENTO

De manera general se establecen las siguientes indicaciones para el tratamiento del cimiento:

- Una vez retirada la tierra vegetal y previamente antes de comenzar el relleno, siempre que sea posible, se deberá compactar el terreno natural con cuatro a seis pasadas de rodillo vibratorio antes de comenzar a extender las sucesivas tongadas de material.
- El suelo vegetal se recomienda reservarlo para revegetaciones de los paramentos del relleno.
- En caso de que en la zona de relleno aflore agua, deberá recogerse y canalizarse hacia zonas alejadas del cimiento evitando su acumulación en la base del mismo de forma que ésta no afecte a superficie de contacto "terreno natural-terraplén".
- No se consideran aptos como elementos de cimiento los posibles rellenos antrópicos no controlados así como todo material que de manera general presente una compacidad suelta a muy suelta.

12.5.3. CONSIDERACIONES GENERALES

La investigación realizada corresponde a medidas puntuales por lo que su valor se ciñe a la zona investigada. Sin embargo pueden existir variaciones en cuanto a la profundidad de la alteración de los materiales, espesor del suelo vegetal o presencia local del nivel freático.

12.5.4. METODOLOGÍA UTILIZADA PARA LA ESTIMACIÓN DE ASIENTOS

12.5.4.1. Asientos sufridos por el cimiento

Una vez realizadas las labores de saneo y retirada de la tierra vegetal, los rellenos se apoyarán fundamentalmente sobre los niveles de granitos y esquistos meteorizados.

Para la estimación de los asientos se ha empleado la expresión propuesta por Webb. Según ella el asiento (s) equivale a:

$$s = \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{zi}}{E} \Delta h_i$$

siendo: σ_{zi} = la tensión vertical producida en el centro de la capa i por la presión aplicada en superficie.

h_i = espesor de la capa i.

E = módulo de deformabilidad del terreno.

En el terreno naturaleza granular no son previsibles asientos postconstructivos importantes y por tanto no se ha considerado la necesidad de realizar las correspondientes simulaciones de consolidación.

12.5.4.2. Asientos sufridos por el cuerpo de terraplén

Una forma usual de estimar los asientos diferidos del cuerpo del terraplén es considerar que su valor es un porcentaje de la altura, usualmente el 0,1-0,4 %.

12.5.5. ESTUDIO PARTICULARIZADO DE RELLENOS

TERRAPLÉN 1

Características

Se trata de un terraplén que alcanzará una altura máxima de 1,70 metros y una longitud de 90 metros (entre los PKs 0+710 a 0+800).

Caracterización geológica

De acuerdo con los reconocimientos realizados, este terraplén afectará fundamentalmente a la unidad geotécnica "granito completamente meteorizado (GR V)". En el reconocimiento de campo realizado no se ha detectado la presencia de agua freática ni de zonas potencialmente inundables.

Tratamientos del cimiento

Una vez retirado el suelo vegetal, del orden de 0,30 de potencia media, se deberá compactar el terreno natural con cuatro a seis pasadas de rodillo vibratorio antes de comenzar a extender las sucesivas tongadas de material.

Asiento del cimiento

Siguiendo la formulación indicada en apartados anteriores y considerando una potencia de suelo de alteración de 1,40 m, se estima un asiento máximo del cimiento del orden de 0,15 cm. Si la potencia del jabre se incrementara por ejemplo hasta los 3 m los asientos serían de 0,25 cm.

El asiento diferido del cuerpo del terraplén estará comprendido entre 0,20 y 0,70 cm.

TERRAPLÉN 2

Características

Este terraplén que se extiende entre los PKs 0+820-0+970 (150 m), presentará una altura máxima de 6 metros.

Caracterización geológica

En función de los trabajos de campo realizados se establece que la base del terraplén estará constituida por un suelo procedente de la completa alteración del sustrato granítico, de reducida espesor. Por debajo se encuentra el granito moderadamente meteorizado (grado III). Este sustrato rocoso se encuentra muy próximo a la superficie en el entorno del PK 0+850, así como al final de la traza, cerca de la rotonda de subida a Montecelo.

En el reconocimiento de campo realizado en época estival no se ha detectado la presencia de agua freática ni de zonas potencialmente inundables. En el caso de aparecer agua en el terreno, se localizará fundamentalmente en las inmediaciones del PK 0+920.

Tratamientos del cimientto

En este sector el horizonte vegetal tiene una potencia comprendida entre 0,20-0,30 m. Como tratamientos del cimientto tan sólo se recomienda retirar el nivel edáfico y compactar el terreno natural con cuatro a seis pasadas de rodillo vibratorio antes de comenzar a extender las sucesivas tongadas de material.

En la zona de enlace con la actual carretera PO-532 se deberá prestar especial atención al relleno estructural relacionado con esta vía. En función de sus características granulométricas y de puesta en obra, se podrá considerar como base de apoyo adecuada o en caso contrario proceder a su saneo.

Asiento del cimientto


Suponiendo en el caso más desfavorable una potencia máxima de 3 m de suelo granítico de alteración y de acuerdo con la formulación especificada en apartados anteriores, se estima un asiento máximo del cimientto del orden de 1,00 cm.

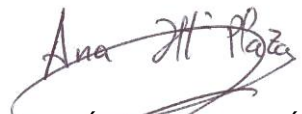
El asiento diferido del cuerpo del terraplén estará comprendido entre 0,60 y 2,40 cm.

TABLA RESUMEN DE TERRAPLENES

TERRAPLÉN Nº	DE P.K.	A P.K.	ESPEJOR MÁXIMO (m)	TALUD RECOMENDADO	ESPEJOR TV (m)	OBSERVACIONES*
TERRAPLÉN 1	0+710	0+800	1,70	3H:2V	0,30	No se prevén condiciones desfavorables
TERRAPLÉN 2	102+120	102+260	9,00	3H/2V	0,50	No se prevén condiciones desfavorables

A Coruña, Julio de 2014

VºBº. 
 SOFÍA SECO PARDO
 DIRECTORA DE LABORATORIO
 ICCyP, col. Nº 22.644

Fdo.: 
 ANA MARÍA PLAZA GARCÍA
 ÁREA DE GEOTECNIA
 Geóloga, col. Nº 2363

APÉNDICE I: Cartografía geológico-geotécnica

APÉNDICE II: Registro de calicatas y reportaje fotográfico

APÉNDICE III: Registro de ensayos de penetración dinámica

APÉNDICE IV: Ensayos de laboratorio

APÉNDICE V: Recorrido de campo

APÉNDICE VI: Campaña de registro de calicatas 2016