

ANEJO Nº 7. ESTUDIO GEOTÉCNICO DEL CORREDOR

ÍNDICE

7. ANEJO Nº 7. ESTUDIO GEOTÉCNICO DEL CORREDOR	4
7.1. INTRODUCCIÓN	4
7.2. OBJETO	4
7.3. INFORMACIÓN UTILIZADA	4
7.3.1. INFORMACIÓN ESPECÍFICA	4
7.3.2. INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA	4
7.3.3. NORMATIVA DE OBLIGADO CUMPLIMIENTO	4
7.4. CAMPAÑA DE INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA	4
7.4.1. SONDEOS MECÁNICOS.....	4
7.4.1.1. Ensayos S.P.T.	5
7.4.1.2. Toma de muestras inalteradas	5
7.4.1.3. Toma de muestras alteradas y tramos plastificados	6
7.4.1.4. Toma de muestras de agua	6
7.4.2. CALICATAS MECÁNICAS	6
7.4.3. GEOFÍSICA	6
7.4.4. ESTACIONES GEOMECAÑICAS.....	6
7.4.5. ENSAYOS DE LABORATORIO.....	7
7.5. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA.....	7
7.5.1. METODOLOGÍA DE APLICACIÓN EN SUELOS	8
7.5.1.1. Ensayos de clasificación y estado	8
7.5.1.2. Ensayos químicos	8
7.5.1.3. Ensayos de hinchamiento y colapso.....	9
7.5.1.4. Ensayos mecánicos de resistencia y deformación en suelos.....	9
7.5.1.5. Correlaciones empíricas	9
7.5.2. METODOLOGÍA DE APLICACIÓN EN ROCAS	10
7.5.2.1. Caracterización geotécnica de rocas	10
7.5.3. UNIDADES GEOTECNICAS.....	16
7.5.3.1. Caracterización geotécnica de los suelos	16
7.5.3.1.1. Rellenos antrópicos de zona antropizada (R_1)	16
7.5.3.1.2. Rellenos autóctonos de bancales (R_2)	17
7.5.3.1.3. Depósitos cuaternarios aluviales (Q_{AL}) y de cono de deyección (Q_{CD}) Q_{AL-CD}	18
7.5.3.1.4. Granito alterado (VP_G).....	20
7.5.3.1.5. Tabla resumen parámetros geotécnicos de los suelos	23
7.5.3.2. Caracterización geomecánica del macizo rocoso atravesado	24
7.6. NIVEL FREÁTICO.....	26
7.7. AGRESIVIDAD	26
7.7.1. METODOLOGÍA	26
7.7.2. AGRESIVIDAD DEL SUELO.....	27
7.7.3. AGRESIVIDAD DEL AGUA	27
7.8. ESTUDIO DE RELLENOS	27
7.8.1. DISEÑO DE LOS RELLENOS	27
7.8.1.1. Tipología de relleno y materiales a emplear	27
7.8.1.2. Ejecución en obra.....	27
7.8.1.3. Calidad del Terreno de Apoyo.....	28
7.8.1.4. Asientos de rellenos.....	28
7.8.1.5. Cuadro resumen rellenos.....	28
7.9. ESTUDIO DE DESMONTES	29
7.9.1. METODOLOGÍA	29
7.9.1.1. Mecanismos de rotura global	29
7.9.1.2. Mecanismos de rotura estructural.....	31
7.9.1.3. Factores de seguridad	33
7.9.2. EXCAVABILIDAD	33
7.9.3. APROVECHAMIENTO DE LOS MATERIALES PROCEDENTES DE LAS EXCAVACIONES DE LA TRAZA	34
7.9.4. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD	34
7.9.4.1. Desmontes en suelo.....	35
7.9.4.1.1. Desmante eje 1 entre los PPKK 0+155 a 0+245.....	35
7.9.4.1.2. Desmante eje 1 entre los PPKK 0+245 a 0+290.....	36
7.9.4.1.3. Desmante eje 1 entre los PPKK 0+290 a 0+320.....	37
7.9.4.1.4. Desmante eje 2 entre los PPKK 0+028 a 0+0+060.....	39
7.9.4.2. Desmontes en roca	41
7.9.4.2.1. Desmontes en roca.....	41
7.9.5. CUADRO RESUMEN DE DESMONTES	43
7.10. EXPLANADA.....	45
7.10.1. DESMONTES O EXCAVACIONES	46
7.10.2. RELLENOS.....	46
7.10.3. FORMACIÓN EXPLANADA	47
APÉNDICES	48
APÉNDICE 1. MAPA GEOTÉCNICO (1:200.000).....	49
APÉNDICE 2. PLANTA GEOLÓGICA CON SITUACIÓN DE RECONOCIMIENTOS	50
APÉNDICE 3. PERFILES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS.....	51
APÉNDICE 4. ACTAS DE SONDEOS	52
APÉNDICE 5. ACTAS DE CALICATAS MECÁNICAS.....	53
APÉNDICE 6. INFORME DE GEOFÍSICA (PERFILES SÍSMICOS)	54
APÉNDICE 7. ACTAS DE ENSAYOS DE LABORATORIO	55

APÉNDICE 8. INFORME TÉCNICO SOBRE EL USO DE VOLADURAS PARA EL DESMONTE ASOCIADO A LA CARRETERA N-110 56

APÉNDICE 9. ESTACIONES GEOMECÁNICAS 57

7. ANEJO Nº 7. ESTUDIO GEOTÉCNICO DEL CORREDOR

7.1. INTRODUCCIÓN

El presente documento constituye el Anejo Nº7 de Geotecnia del corredor del Proyecto de Trazado “Nuevo puente de la carretera N-110 en Cabezuela del Valle (Cáceres)”. En él se exponen las características y recomendaciones geotécnicas de los diferentes elementos de geotecnia referentes al corredor contemplados en el Proyecto.

7.2. OBJETO

El objeto del presente Anejo será llevar a cabo una recopilación, revisión y análisis de los aspectos geotécnicos más significativos del área de estudio, con el objetivo de establecer un encuadre geotécnico que sirva de base al diseño de las obras contempladas en el presente Proyecto de Trazado.

El objeto, por tanto, de este documento es:

- Definir las unidades geotécnicas y litológicas existentes en la zona de actuación
- Determinar la deformabilidad y parámetros geotécnicos representativos de las unidades geotécnicas diferenciadas
- Estudiar de manera adecuada los procesos constructivos idóneos para la materialización de las obras de tierra

7.3. INFORMACIÓN UTILIZADA

Para la elaboración de este anejo, se han consultado los antecedentes bibliográficos existentes, así como información complementaria de utilidad en la zona de actuación.

7.3.1. INFORMACIÓN ESPECÍFICA

- Estudio Informativo Variante de Cabezuela del Valle
- Documento Ambiental Proyecto de Trazado y Construcción “Nuevo Puente de la carretera N-110 en Cabezuela del Valle”

7.3.2. INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

- Gonzalez de Vallejo, Luis I. y otros. (2002). Ingeniería Geológica. Ed. Pearson Educación. Madrid.
- Jiménez Salas, José A. y otros. (1981). Geotecnia y Cimientos II. Ed. Rueda. Madrid.

- Rodríguez Ortiz, José María (1982). Curso aplicado de cimentaciones.
- Ministerio de Fomento. (2003). Guía de cimentaciones en obras de carretera.
- Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente (1994). ROM 0.5-05. Recomendaciones geotécnicas para el proyecto de obras marítimas y portuarias.
- Ministerio de Vivienda (2006). Código Técnico de la Edificación.
- Guía para el proyecto y la ejecución de muros de escollera en obras de carretera, MFOM, año 2006.

7.3.3. NORMATIVA DE OBLIGADO CUMPLIMIENTO

- Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de carreteras y puentes (PG-3).
- Norma 6.1-IC. Secciones de firme.
- Norma de Construcción Sismorresistente NSCE. Parte general y de edificación.
- Instrucción de Hormigón Estructural (EHE)
- Normas UNE, ASTM para la realización de los trabajos de campo y ensayos de laboratorio.

7.4. CAMPAÑA DE INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA

La campaña geotécnica realizada ha consistido en la ejecución de sondeos mecánicos, calicatas mecánicas, perfiles sísmicos y realización de estaciones geomecánicas.

A continuación, se recogen las principales características de los trabajos realizados durante el desarrollo del presente Proyecto de Trazado.

7.4.1. Sondeos mecánicos

Los sondeos a rotación permiten el reconocimiento de los distintos niveles atravesados, dando una idea precisa de los materiales que componen el subsuelo en el punto investigado.

Los sondeos permiten caracterizar los materiales existentes en la zona de actuación, determinar la naturaleza y espesor de las unidades intersectadas, así como posibilitar la toma de muestras inalteradas/parafinadas y ejecutar ensayos in situ a las profundidades requeridas.

En total, se han realizado 4 sondeos mecánicos con una perforación total de 66,50 m.

Sondeo	Prof. (m)	Coordenadas UTM 30T		
		X	Y	Z
S-1	20,5	260.908,40	4.453.026,70	495
S-2	20	260.881,50	4.453.084,70	489

Sondeo	Prof. (m)	Coordenadas UTM 30T		
		X	Y	Z
S-3	9	260.929,20	4.453.145,30	490
S-4	17	260.984,70	4.453.272,50	519

Para la realización de los sondeos se ha empleado el siguiente equipo de perforación a rotación TECOINSA, modelo TP 50-D.

El proceso de perforación se basa en la penetración en el terreno, con una velocidad de rotación y presión de avance adecuadas, de un cilindro metálico hueco calibrado, denominado batería, en cuyo extremo inferior se aloja un dispositivo de retención en el que se enrosca una corona de corte. La batería recoge en su interior el material perforado, denominado testigo, a medida que va avanzando la corona.

El testigo se extrae de la batería una vez que se ha finalizado cada maniobra colocándose ordenadamente en las cajas portatestigo.

En estas cajas se indican las cotas de las maniobras y muestras tomadas durante la perforación respecto a la cota 0 m (cota de boca) de realización del sondeo. Con este proceso se consigue una columna litológica representativa del subsuelo en el punto investigado.

Durante la ejecución de los sondeos se ha tomado en su interior muestras inalteradas MI, se han realizado ensayos SPT, tomado testigos plastificados TP y muestras alteradas MA. A partir de estas muestras se han realizado los ensayos de laboratorio de los sondeos. En algunos de los sondeos se tomó muestra de agua para su análisis.

Para el seguimiento de los niveles piezométricos se ha usado tubo de PVC ranurado, sellado en cabeza con mortero y con tapa metálica protectora.

7.4.1.1. Ensayos S.P.T.

Los ensayos de penetración estándar (SPT) se han ejecutado siguiendo las especificaciones de la Norma UNE EN ISO 22476-3. Este ensayo permite obtener una muestra representativa del terreno para su identificación, aunque con su estructura alterada.

El ensayo (SPT) consiste en la toma de muestras del subsuelo, mediante la penetración por golpeo, de un tubo hueco estandarizado de 60 cm de longitud. Para la realización del ensayo se emplea un dispositivo hidráulico, automático, que permite la caída de una maza de 63.5 kg de peso, con una altura de caída de 75 cm y cadencia normalizada.

Esta hincada se realiza en tres tandas sucesivas de 15 cm cada una (el ensayo se ha realizado con cuatro tandas, donde la hincada lo ha permitido), anotándose el número de golpes preciso para lograr cada una de estas penetraciones parciales. Con la suma de los golpes realizados en la segunda y tercera tandas se obtiene un valor de resistencia a la penetración estándar (N30), indicativo de la capacidad portante del terreno en el que se realiza el ensayo.

El material recogido en el tubo se introduce en un recipiente hermético para que conserve sus propiedades de estado natural. En el presente estudio, se han analizado parte de las muestras obtenidas a partir de este ensayo.

Se considera que se ha obtenido rechazo (R) cuando se alcanza un golpeo superior a 50 en una tanda de 15 cm (N15>50), en este caso, se da por finalizado el ensayo.

A continuación, se recoge las principales características de los ensayos SPT realizados en los sondeos ejecutados:

Sondeo	Muestra	Prof. (m)	Prof. Media (m)	Nº GOLPES/15 cm			N ₃₀
				1	2	3	
S-01	SPT-01	3,00-3,45	3,30	1	3	3	6
	SPT-02	5,00-5,28	5,15	16	50		R
	SPT-03	8,00-8,05	8,03	50			R
	SPT-04	11,80-11,83	11,82	50			R
S-02	SPT-01	1,50-1,52	1,51	50			R
	SPT-02	3,20-3,24	3,22	50			R
	SPT-03	4,80-4,82	4,81	50			R
S-03	SPT-01	4,20-4,22	4,21	50			R
S-04	SPT-01	1,50-1,95	1,80	1	2	3	5
	SPT-02	3,00-3,45	3,30	6	9	19	28
	SPT-03	6,00-6,06	6,03	50			R
	SPT-04	9,00-9,02	9,01	50			R

7.4.1.2. Toma de muestras inalteradas

Para la toma de muestras inalteradas se utiliza un tomamuestras de pared partida de 60 cm de longitud, con camisa de PVC en su interior de un diámetro de 90 mm. El tomamuestras se hincada por percusión.

Este tipo de tomamuestras es de un diámetro considerablemente superior al del SPT, por lo que también lo es el testigo obtenido. De esta manera se consigue que el núcleo central del testigo, donde posteriormente se realizarán los ensayos de resistencia y deformabilidad, sea representativo del suelo en su estado natural inalterado.

A continuación, se recoge las principales características de las muestras inalteradas realizadas en los sondeos ejecutados:

Sondeo	Muestra	Prof. (m)	Prof. Media (m)	Nº GOLPES/15 cm			N _{MI}
				1	2	3	
S-04	MI-01	0,00-0,60	0,30	4	4	2	3
	MI-02	3,45-3,88	3,61	16	34	50	84

7.4.1.3. Toma de muestras alteradas y tramos plastificados

Se han tomado muestras alteradas de suelo donde se ha considerado necesario, en tramos en los que los ensayos S.P.T. y M.I. obtuvieron condición de rechazo sin obtención de muestra.

También se han tomado muestras alteradas de roca para la realización de ensayos de carga puntual, donde la fracturación del sustrato rocoso no ha permitido la obtención de tramos de longitud suficiente para la toma de tramos plastificados para realización de ensayos de laboratorio resistentes.

A continuación, se indican las muestras alteradas M.A. y tramos plastificados tomadas en los sondeos efectuados:

Sondeo	Muestra	Prof. (m)	Prof. Media (m)
S-01	MA	4,60-7,00	5,80
	MA	7,00-7,20	7,10
	TP-01	12,45-13,00	12,72
	TP-02	16,90-17,20	17,05
	TP-03	19,20-19,72	19,46
S-02	MA	3,80-4,10	3,95
	MA	3,60-5,70	4,65
	TP-01	9,50-9,80	9,65
	TP-02	14,64-15,00	14,81
	TP-03	18,30-18,60	18,45
S-03	MA	2,00-2,30	2,15
	MA	7,60-9,00	7,80
S-04	MA	0,60-1,50	1,05
	MA	4,00-4,50	4,25
	MA	7,00-7,60	7,30
	TP-01	11,35-11,80	11,57
	TP-02	14,40-15,00	14,70

7.4.1.4. Toma de muestras de agua

Se han tomado muestras de agua refrigerada en los sondeos S-01 y S-02 para posteriormente analizar la agresividad de esta agua frente al hormigón según la EHE.

Sondeo	Prof. (m) N.F.	Cota N.F. (m s.n.m.)	Muestra H2O
S-01	9,8	485,2	Si
S-02	2,1	486,9	Si
S-03	1,2	488,8	No
S-04	Seco	-	-

7.4.2. Calicatas mecánicas

En la zona de actuación se ha realizado un total de 3 calicatas mecánicas, a partir de las cuales se toman datos de la naturaleza del terreno, estratigrafía de este y otros datos de interés (estabilidad de paredes, nivel freático, etc.).

Del material extraído en la excavación, se han tomado muestras alteradas M.A. en saco para la caracterización, clasificación y valoración de la posible reutilización del material extraído en las excavaciones proyectadas.

En la siguiente tabla se muestran las características de las calicatas realizadas a lo largo del corredor.

Calicata	Prof. (m)	Coordenadas UTM 30T			Muestra	Prof. (m)
		X	Y	Z		
C-01	1	260.978,60	4.453.230,50	502	MA-01	0,90-1,00
C-02	0,4	260.990,10	4.453.240,80	499,5	MA-01	0,00-0,40
C-03	0,8	261.111,20	4.453.389,50	505	MA-01	0,30-0,80

7.4.3. Geofísica

Se han realizado un total de 3 perfiles de sísmica y 2 perfiles de sísmica pasiva y 1 perfil de sísmica de refracción para obtener perfiles longitudinales con la estratigrafía del terreno y poder valorar la excavabilidad de las obras de tierra proyectadas.

A continuación, se incluye una tabla con la localización y longitud efectuada en cada uno de ellos:

PS	Longitud (m)	Coordenadas UTM		Coordenadas UTM	
		Inicio		Final	
		X	Y	X	Y
PSP-01	60	260.956	4.453.180	260.916	4.453.132
PSP-02	60	260.902	4.453.113	260.869	4.453.063
PSR-03	60	261.003	4.453.297	260.961	4.453.253

7.4.4. Estaciones geomecánicas

Se han realizado un total de 5 estaciones geomecánicas entre los PPKK 0+080 y 0+240 para la caracterización del macizo rocoso. Se añaden fichas de éstas en el apéndice correspondiente. A

continuación, se incluye cuadro con la localización de estas, la cual se puede consultar igualmente en la planta de situación de reconocimientos.

Estación Geomecánica	Coordenadas UTM 30T	
	X	Y
EG-01	261.068	4.453.347
EG-02	261.061	4.453.325
EG-03	261.038	4.453.303
EG-04	261.023	4.453.285
EG-05	261.006	4.453.267

7.4.5. Ensayos de laboratorio

En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio realizados a partir de las muestras tomadas en los trabajos de campo efectuados.

ENSAYOS DE LABORATORIO	Medición
Apertura, descripción y preparación de muestra de suelo para cualquier tipo de ensayo	20
Determinación de la humedad mediante secado en estufa	8
Determinación de la densidad aparente o seca	8
Determinación de los límites Atterberg.	15
Determinación de granulometría por tamizado.	15
Ensayo de corte directo CU, consolidado y sin drenaje, sobre muestras inalteradas.	2
Ensayo de corte directo CD, consolidado y drenado, sobre muestra inalterada.	4
Ensayo triaxial CU, sobre muestra inalterada, con consolidación previa, rotura sin drenaje y medida de presiones intersticiales.	2
Ensayo de colapso.	2
Determinación de presión de hinchamiento.	2
Ensayo Proctor normal.	3
Ensayo Proctor modificado.	1
Determinación C.B.R. de laboratorio, sin incluir Proctor.	3
Determinación Slake Durability Index. Desmoronamiento de rocas blandas	2
Ensayo de compresión simple en roca, incluso tallado.	4
Ensayo de compresión simple en roca, instrumentado con bandas extensométricas, incluso tallado.	6
Ensayo de corte directo en tres discontinuidades en roca, incluso tallado.	2
Determinación cuantitativa de sulfatos solubles.	9
Determinación cuantitativa de materia orgánica por el método del permanganato potásico.	10
Acidez Baumman-Gully. EHE Anejo 5.	4
Contenido en yesos	2
Análisis químico completo de agua, para determinar su agresividad. (EHE)	4

7.5. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

En el presente Apartado, se caracterizan geotécnicamente los litotipos presentes en el trazado, partiendo de la campaña geotécnica anteriormente expuesta.

A efectos de caracterización geotécnica se diferencian un total de 6 grupos geotécnicos, 5 de ellos tipo suelo y uno tipo roca, los cuales se recogen a continuación.

Ud. Geotécnica	Litología
R ₁	Rellenos zona antropizada
R ₂	Relleno autóctono (bancales de labranza)
Q _{AL} y Q _{CD}	Aluvial (bolos, gravas y arenas)
	Cono de deyección (arenas y gravas)
VPG (GM VI)	Granito alterado a suelo con enclaves graníticos (GM VI; eluvial)
VP _G (GM IV-V)	Granito alterado (GM IV-V)
P _G	Granito (GM ≤III)

De acuerdo con la diferenciación geológica de los materiales reconocidos a lo largo del trazado y de sus características en cuanto compacidad, resistencia y alterabilidad, entre otras propiedades, se describen a continuación los distintos grupos geotécnicos diferenciados, agrupando aquellas unidades geológicas similares en cuanto a su comportamiento geomecánico.

Para poder caracterizar dicho comportamiento geomecánico, se han tenido en cuenta los resultados de los ensayos de laboratorio proporcionados por la campaña geotécnica del corredor. Los parámetros resistentes del terreno se han obtenido a partir de ensayos in situ de penetración estándar (SPT) en sondeos, ensayos de resistencia a compresión simple y ensayos de corte directo.

El grado de excavabilidad de los materiales se ha establecido en apartados anteriores en función de la litología y de los reconocimientos geotécnicos de campo y laboratorio disponibles (ensayos a compresión simple, estaciones geomecánicas y perfiles de sísmica de refracción) diferenciando entre material a excavar (con medios mecánicos convencionales o medios mecánicos potentes), reparar o volar.

A continuación, se hace una descripción de la metodología a emplear, para continuar con la caracterización geotécnica de cada una de las unidades definidas.

7.5.1. METODOLOGÍA DE APLICACIÓN EN SUELOS

7.5.1.1. Ensayos de clasificación y estado

Los ensayos de clasificación permiten enmarcar los suelos en grupos de características similares. Los más importantes son los siguientes:

- Granulometría por tamizado
- Límites de Atterberg: Límite líquido y Límite plástico

Para realizar estos ensayos no es necesario que las muestras sean inalteradas, puesto que deben desmenuzarse previamente, por tanto, pueden realizarse tanto sobre las muestras en saco tomadas de las calicatas como de las muestras inalteradas tomadas de los sondeos.

Los ensayos de estado permiten conocer las características de los suelos “in situ”. A este respecto, la determinación de la densidad y humedad son ensayos sencillos que proporcionan una información valiosa.

7.5.1.2. Ensayos químicos

Los ensayos químicos proporcionan una primera idea de la composición mineralógica de la unidad, su grado de cementación, estabilidad frente al agua y agresividad.

Adicionalmente, permite su clasificación respecto a su posible reutilización en rellenos. También se utiliza para definir el ambiente de los hormigones en contacto con el terreno según la norma EHE.

Los ensayos químicos realizados han sido:

- Ensayos de contenido de sulfatos solubles en un suelo
- Determinación de contenido de sales solubles de los suelos
- Determinación de Materia Orgánica
- Determinación de la Acidez de Baumann-Gully
- Determinación de contenido en yeso de los suelos

El ensayo de contenido de sulfatos solubles se realiza mediante el precipitado de esta sustancia con cloruro bórico. El ensayo está orientado a determinar pequeñas cantidades de sulfatos en suelos. Hay que tener en cuenta que según la EHE los suelos tienen una agresividad alta para porcentajes de sulfatos superiores a 1.2%. A la vez, el límite para la utilización de suelos con contenidos de sulfatos utilizando las prescripciones de ADIF es del 5%. Por este motivo, el procedimiento operativo seguido busca precisión de resultados para contenidos pequeños, sacrificando la precisión para contenidos altos.

La misma idea es válida para el ensayo de sales solubles. Este ensayo consiste en disolver una muestra de suelo en agua. Posteriormente evaporando el agua se determinan las sales solubles. Su objetivo es determinar cantidades de sales solubles del orden del 1%. Valores más elevados clasifican el material como no apto para rellenos. El ensayo se ve muy afectado además por la presencia de sulfatos ya que de acuerdo con el procedimiento operativo del ensayo porcentajes superiores al 2% de sulfatos saturan totalmente la disolución.

Así pues, los ensayos anteriores (sales y sulfatos solubles) tienen por objetivo clasificar el material respecto a su reutilización en rellenos y permiten definir el ambiente de los hormigones, dando además una valoración cuantitativa precisa para porcentajes pequeños de los mismos. Una vez determinada la presencia de porcentajes altos de estas sustancias, el ensayo sirve para definir los materiales como no aptos o como altamente agresivos, sin aportar un valor cuantitativo adicional.

Los ensayos de contenido de materia orgánica se realizan sobre muestras tomadas en las calicatas mecánicas, con el fin de verificar que el material analizado está exento de porcentajes apreciables de esta sustancia.

Se han realizado ensayos del contenido en yesos en suelos para valorar la reutilización de los mismos basándonos en el PG-3, requiriendo que el contenido sea <5% en suelos tolerables.

7.5.1.3. Ensayos de hinchamiento y colapso

Una vez determinada la presencia de materiales cohesivos (arcillas y limos) es preciso valorar su estabilidad volumétrica frente a los cambios de humedad. Los ensayos realizados son:

- Hinchamiento libre (UNE 103601)
- El Ensayo de colapso (NLT 254/99)

Estos ensayos son indicativos del comportamiento del terreno natural y los rellenos frente a la acción del agua.

El ensayo de hinchamiento libre se realiza mediante la aplicación de una presión sobre la probeta durante un tiempo de cinco minutos. Posteriormente se inunda la célula edométrica y se toman deformaciones hasta alcanzar la condición de equilibrio.

El ensayo de presión de hinchamiento se realiza también en edómetro. Consiste en determinar la presión que impide el hinchamiento de la pastilla ensayada una vez inundada.

El Ensayo de colapso permite determinar la magnitud del colapso unidimensional que se produce al inundar un suelo semisaturado. El ensayo se realiza sobre muestras remoldeadas utilizando la densidad máxima y humedad óptima del Próctor Modificado.

7.5.1.4. Ensayos mecánicos de resistencia y deformación en suelos

Ensayo de corte directo

Se trata de un ensayo de resistencia que consiste en reproducir las condiciones ideales de rotura por cortante en una superficie plana de suelo, con una tensión normal (vertical) conocida y una tensión horizontal de corte que se va incrementando hasta rotura, al aplicar una fuerza horizontal a la mitad superior del molde, mientras que la mitad inferior permanece fija.

El ensayo es aplicable tanto a suelos cohesivos como granulares, sin embargo, en el presente estudio este ensayo se ha reservado para las muestras de unidades predominantemente granulares, en la que los ensayos triaxiales no podían realizarse.

Los ensayos se han realizado sobre muestras inalteradas según el procedimiento CD: Se permite consolidar por drenaje la probeta antes de aplicar tensión horizontal. Posteriormente, al aplicar las tensiones de corte, se aplica tan lentamente que el exceso de presión intersticial que se produce es tan pequeño que puede despreciarse.

Los resultados del ensayo permiten conocer la cohesión efectiva, c , y el ángulo de rozamiento interno ϕ , del suelo.

Ensayo CBR

En obras de tierras es habitual el empleo del ensayo CBR (California Bearing Ratio), que permite determinar empíricamente de modo rápido la capacidad de soporte de los suelos para establecer su aptitud de utilización en rellenos y plataformas.

Es un ensayo de penetración o punzonamiento, midiéndose adicionalmente el eventual hinchamiento del suelo sumergido durante cuatro días en agua. Se basa en medir la fuerza necesaria para hacer penetrar un pistón cilíndrico en la muestra.

7.5.1.5. Correlaciones empíricas

Parámetros resistentes

El modelo de resistencia que se considera para los suelos es el clásico de Mohr-Coulomb, que queda definido por sólo dos parámetros, la cohesión (c) y la fricción (ϕ). Mediante estos dos parámetros se relaciona la resistencia al corte y la tensión normal mediante la siguiente expresión:

$$\tau = c + \tan \phi$$

Los valores de cohesión y rozamiento se han estimado mediante correlaciones con otros parámetros, según se tratara de suelos granulares o cohesivos.

- Suelos granulares:

Los datos del ensayo SPT permiten estimar el ángulo de rozamiento interno de los materiales granulares, bien indirectamente, a partir de la densidad relativa, o bien directamente a partir del golpeo NSPT.

Para determinar los parámetros resistentes se ha empleado la formulación propuesta por Muromachi (1974) para terrenos granulares, que asume que la cohesión es nula y mediante el valor característico de NSPT se obtiene el ángulo de rozamiento interno:

$$\phi = 20 + 3,5\sqrt{N_{SPT}}$$

- Suelos cohesivos:

La resistencia al corte sin drenaje se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$C_u = \frac{RCS}{2}$$

En el caso de no disponerse de ensayos de resistencia a compresión (RCS) simple se puede emplear la expresión de Terzaghi, que relaciona el golpeo SPT con la resistencia al corte sin drenaje (c_u) mediante la siguiente expresión:

$$C_u = \frac{N_{SPT}}{15} (kp/cm)^2$$

Hay que considerar que en los terrenos cohesivos las correlaciones basadas en los resultados del ensayo SPT sólo deben considerarse orientativas, ya que la dispersión de las correlaciones es mucho mayor que en los terrenos granulares. Las presiones intersticiales que se generan en el momento del golpeo y los rozamientos residuales afectan sustancialmente los resultados.

Finalmente se incluyen los siguientes cuadros extraídos de la publicación Recomendaciones Geotécnicas para Obras Marítimas y Portuarias (ROM) Publicada por el Ministerio de Fomento de España para adoptar los parámetros resistentes y contrastar los resultados obtenidos con las correlaciones empleadas.

Tabla 2.4.3. Algunas características elementales de los suelos que pueden utilizarse para estimaciones previas

	Tipo de suelos	Compacidad	Índice de poros (2)	Cohesión (kPa)	Ángulo de Rozamiento (φ°)	Módulo de deformación (5) drenado (MPa)	Coefficiente de permeabilidad (3) (cm/s)
Suelos granulares (1)	Gravas y arenas limpias (arenas > 10%)	Densa	0,25	0	45	100	10 ⁻²
		Media	0,35	0	40	50	
		Floja	0,45	0	35	20	
		Muy floja	0,60	0	30	10	
	Gravas y arenas con algo de limos y/o arcillas (5-10%) (4)	Densa	0,20	10	40	50	10 ⁻³
		Media	0,30	5	35	20	
		Floja	0,40	2	30	10	
		Muy floja	0,60	0	27	5	
	Gravas y arenas con gran contenido en suelos finos (5-10%) (4)	Densa	0,15	20	35	50	10 ⁻⁴
		Media	0,25	10	30	20	
		Floja	0,35	5	27	10	
		Muy floja	0,50	0	25	5	
Rellenos artificiales	Banquetas de todo-uno vertidas y escolleras de granulometría continua (sucias)	Floja	0,50	0	40	10	1
	Muy floja	0,70	0	35	5		

Figura: Parámetros resistentes característicos en suelos granulares

Tabla 2.4.3. Algunas características elementales de los suelos que pueden utilizarse para estimaciones previas (Continuación)

	Tipo de suelos	Consistencia	Índice de poros (2)	Resis. al corte sin drenaje (6) (kPa)	Resistencia con drenaje C(kPa) (φ°)	Módulo de deformación (5) drenado (MPa)	Coefficiente de permeabilidad (3) (cm/s)
Suelos cohesivos	Limos de granulometría uniforme con algo de arena y arcilla	Dura o firme	0,40	100	50	30	10 ⁻⁶
		Media	0,60	60	20	25	
		Blanda	0,80	20	10	20	
		Muy blanda	1	10	0	18	
	Arcilla y limos arcillosos. Pueden contener gravas y/o arenas en proporciones menores del 70%	Dura o firme	0,35	>100	50	28	10 ⁻⁸
		Media	0,50	80	20	23	
		Blanda	0,70	40	10	19	
		Muy blanda	1	20	0	15	

Los suelos con contenidos apreciables de materia orgánica tienen características mecánicas mucho más pobres que las indicadas en esta tabla.

(1) Los suelos calcáreos, particularmente los conchíferos o coralinos, pueden tener ángulos de rozamiento claramente más bajos, en particular para presiones altas (cargas de hundimiento por punta de pilotes).
 (2) Para calcular pesos específicos puede utilizarse un peso específico relativo de las partículas igual a 2,7.
 (3) Los coeficientes de permeabilidad indicados son únicamente un valor típico. Suelos que obedecen a una misma descripción preliminar pueden tener permeabilidades dos e incluso tres ordenes de magnitud diferentes a los indicados.
 (4) El contenido en finos se refiere al porcentaje que pasa por el tamiz 0,008 UNE.
 (5) El módulo de Poisson puede tomarse entre 0,30 para los suelos densos y 0,40 para los más flojos o blandos.
 (6) La resistencia al corte sin drenaje de suelos arcillosos normalmente consolidados depende de la presión vertical efectiva. Ver 2.2.8.3.

Figura. Parámetros resistentes característicos en suelos cohesivos

Parámetros deformacionales

– Suelos granulares:

Se han empleado las correlaciones establecidas por Beggemann, Schmertmann y Wrench & Nowatzki para terrenos granulares y cuyas gráficas se han representado en el siguiente gráfico:

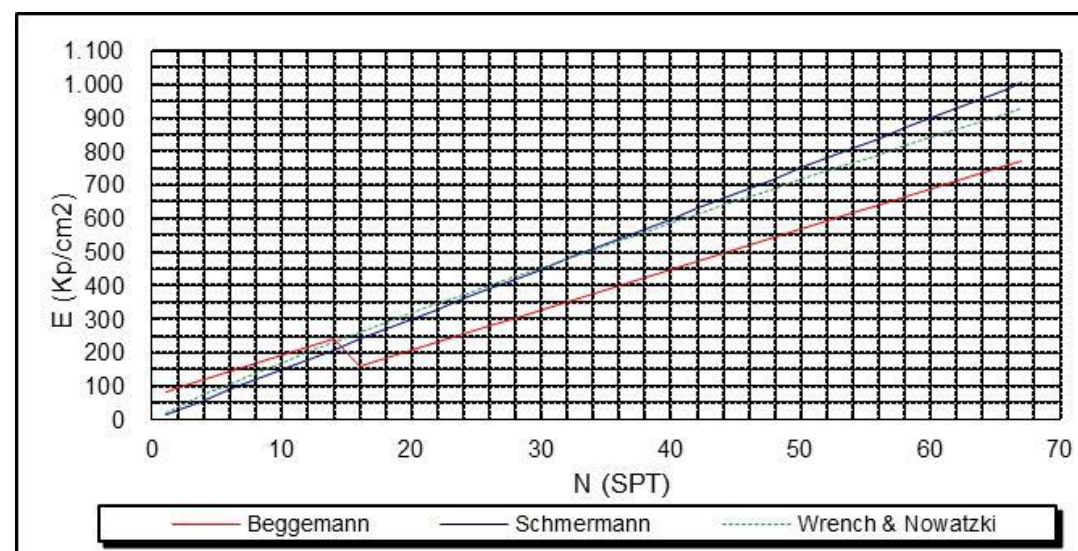


Figura: Correlaciones de Beggemann, Schmertmann y Wrench & Nowatzki para terrenos granulares

– Suelos cohesivos:

Se han empleado las siguientes correlaciones basadas en el valor de resistencia al corte sin drenaje (Cu):

- Para rellenos antrópicos: E=150 x Cu
- Para arcillas o limos normalmente consolidados (como las formaciones cuaternarias): E = 160 a 180 x Cu
- Para arcillas o limos de bajo grado de consolidación: E=250 x Cu
- Para arcillas o limos sobre-consolidados: E = 350 x Cu

7.5.2. METODOLOGÍA DE APLICACIÓN EN ROCAS

7.5.2.1. Caracterización geotécnica de rocas

Ley de comportamiento resistente

El modelo de resistencia que se considera para los macizos rocosos es el establecido por Hoek & Brown, sobre la base del índice RMR. Estas leyes son del tipo no lineal, y en su expresión, las tensiones son de

tipo normalizada respecto a la resistencia a compresión simple (RCS) de la roca matriz, por lo que este parámetro resulta determinante a la hora de especificar la demanda de sostenimientos.

Se considerará como “macizo rocoso” a efectos de modelo de comportamiento, aquellos que presenten un RMR superior a 30. De no ser así, se considerará como un suelo, y se utilizará un modelo de comportamiento tipo Mohr-Coulomb.

La evaluación de los parámetros que gobiernan el comportamiento geotécnico del macizo se plantea sobre la base de las leyes o modelos establecidos por Hoek y Brown (1980). En el 2002 se hizo una revisión de este criterio, resultando la siguiente expresión:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left[m_b \frac{\sigma'_3 + s}{\sigma_{ci}} \right]^a$$

Dónde:

σ'_1 : Tensión efectiva principal mayor

σ'_3 : Tensión efectiva principal menor

σ_{ci} : Resistencia a compresión simple de la roca intacta

a: Constante que para el caso de rocas de calidad normal, a buena, se puede adoptar un valor de $n = 0,5$.

m_b y s : Parámetros de resistencia intrínseca de Hoek & Brown

Dado $n = \frac{1}{2}$ y $s = 1$ (laboratorio), y con $a = 0,5$, se puede obtener el parámetro m_1 , para cada litotipo según las expresiones siguientes:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{m_1 \times \sigma_{ci} \times \sigma_3 + \sigma_{ci}^2}$$

Luego, el parámetro m_1 se puede ajustar según la expresión:

$$m_1 = \frac{1}{n} \sum \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)^2 - \sigma_{ci}^2}{\sigma_{ci} \times \sigma_3}$$

Dado que no se disponen de datos suficientes para realizar el cálculo del parámetro m_1 , se obtiene de bibliografía. Por ello, se considera más fiable el emplear los valores habituales propuestos por Hoek, como los recogidos en la siguiente tabla.

Tipo de roca y valor de la constante m_1				
Sedimentarias	Conglomerados	21 ± 3	Lutita masiva	4 ± 2
	Arenisca	17 ± 4	Lutita laminada	6 ± 2
	Limolita	7 ± 2	Grauvaca	18 ± 3
	Margas	7 ± 2	Creta	7 ± 2

Tipo de roca y valor de la constante m_1				
	Dolomías	9 ± 3	Caliza micrítica	8 ± 3
	Caliza cristalina	12 ± 3	Yeso	10 ± 2
	Brecha caliza	20 ± 2	Anhidrita	12 ± 2
	Caliza esparítica	10 ± 5		
Metamórficas	Mármol	9 ± 3	Gneis	28 ± 5
	Cuarcita	20 ± 3	Esquisto	10 ± 3
	Cuarcita blanda	19 ± 3	Filita	7 ± 3
	Migmatita	29 ± 3	Pizarra	7 ± 4
	Anfibolita	26 ± 6	Corneana	19 ± 4
Ígneas	Granito	32 ± 3	Diorita	25 ± 5
	Riolita	25 ± 5	Andesita	25 ± 5
	Granodiorita	29 ± 3	Gabro	27 ± 3
	Peridotitas	25 ± 5	Gabro norítico	20 ± 5
	Dacita	25 ± 3	Basalto	25 ± 5
	Pórfidos	20 ± 5	Obsidiana	19 ± 3
	Aglomerado	19 ± 3	Ofita alterada	16 ± 5
	Brecha	19 ± 5	Toba	13 ± 5

Una vez estimados los parámetros resistentes de la roca matriz, se pueden determinar los parámetros m_b , s y a del macizo rocoso a partir del índice de calidad GSI.

El índice GSI (Geological Strength Index) fue introducido por Hoek, Kaiser and Badwen en 1995, y puede calcularse a partir del índice RMR como:

1. $RMR_{76'}$, con el valor de agua 10 y sin corrección por orientación.
2. $GSI = RMR_{89'} - 5$, siendo $RMR_{89'}$ con el valor de agua 15 y sin corrección por orientación.

Las expresiones resultantes son:

$$m_b = m_1 \times e^{\left[\frac{GSI - 100}{28 - 14D} \right]}$$

$$s = e^{\left[\frac{GSI - 100}{9 - 3D} \right]}$$

Dónde D es un factor que depende del grado de alteración al que ha sido sometido el macizo rocoso por los efectos de las voladuras o por la relajación de tensiones. Varía desde 0 para macizos rocosos in situ inalterados hasta 1 para macizos rocosos muy alterados.

La resistencia a compresión simple se obtiene haciendo $\sigma'_3 = 0$, resultando:

$$\sigma_m = \sigma_{ci} \cdot s^a$$

Y siendo la resistencia a tracción (haciendo $\sigma'_1 = \sigma'_3 = \sigma'_t$):

$$\sigma_t = -\frac{s \cdot \sigma_{ci}}{m_b}$$

La resistencia a compresión simple del macizo rocoso σ_{cm} puede estimarse mediante la siguiente expresión propuesta por Hoek en la última revisión de su modelo de rotura (2002):

$$\sigma_{cm} = \sigma_{ci} \frac{(m_b + 4s - a(m_b - 8s))(m_b/4 + s)^{-1}}{2(1+a)(2+a)}$$

O bien a partir de la fórmula propuesta por Hoek & Marinos (2000):

$$\sigma_{cm} = (0,0034 m_b^{0,8}) \sigma_{ci} [1,029 + 0,025 e^{-0,1 m_b}]^{GSI}$$

Parámetros deformacionales

La caracterización del terreno desde el punto de vista de su deformabilidad es vital para cualquier estudio geológico – geotécnico. Puesto que los macizos rocosos son medios no homogéneos, sus módulos de deformación presentan grandes diferencias entre los valores obtenidos en laboratorio y los valores reales del terreno (Efecto Escala).

La deformabilidad de la roca matriz se estudia a partir de los ensayos de resistencia a compresión simple con bandas extensiométricas efectuados sobre testigos obtenidos de los sondeos.

En cuanto a los parámetros deformacionales del macizo pueden utilizarse los métodos empíricos o medidas obtenidas in situ.

- Métodos empíricos

Pueden utilizarse, con criterio conservador, los métodos empíricos establecidos por diversos autores para el caso de macizos rocosos, y que son:

- Bieniawski (1978), que determina E_m mediante una relación lineal función del índice RMR:

$$E_m (GPa) = 2 \cdot RMR - 100$$

Esta expresión es válida para $RMR > 50$.

- Barton (1983): deduce el valor del módulo del macizo a partir del índice de calidad Q, según la expresión:

$$E_m (GPa) = 25 \cdot LgQ$$

Esta expresión es válida para $Q > 1$.

- Serafim & Pereira (1983), que determina E_m mediante una relación exponencial función del índice RMR:

$$E_m (GPa) = 10^{\frac{RMR-10}{40}}$$

También establecen una correlación entre E_m y el módulo de deformación de la roca intacta (E_i):

$$E_m = E_i \left(\frac{RMR}{100} \right)^2$$

- Hoek (2002), que afecta a la ecuación de Serafim & Pereira de un coeficiente dependiente de la resistencia a compresión simple de la roca intacta σ_c , empleándose el índice GSI (Geological Strength Index) en lugar del RMR, y añadiendo el factor de alteración D:

$$E_m (GPa) = \left(1 - \frac{D}{2} \right) \sqrt{\frac{\sigma_c}{100}} \cdot 10^{\frac{GSI-10}{40}}$$

- Verman (1993), que relaciona el módulo de deformación del macizo con el RMR y el recubrimiento de roca sobre el eje del túnel (válido para $H > 50$ m):

$$E_m (GPa) = 0,3 \cdot H^\alpha \cdot 10^{(RMR-20)/38}$$

- Hoek & Diederichs (2005), que relaciona el módulo de deformación de la roca intacta con el módulo de deformación del macizo a través de la siguiente expresión:

$$E_m = E_i \left(0,02 + \frac{1-D/2}{1 + e^{((60+15D-GSI)/11)}} \right)$$

O a través del MR establecido por Deere, que correlaciona el valor de RCS con el módulo de deformación de la roca intacta a través de la siguiente expresión:

$$E_i = MR \cdot \sigma_{ci}$$

A continuación, se exponen valores comunmente adoptados de MR:

Table 8: Guidelines for the selection of modulus ratio (MR) values in Equation (26) based on Deere (1968) and Palmstrom and Singh (2001)

Class	Group	Texture				
		Coarse	Medium	Fine	Very fine	
SEDIMENTARY	Clastic	Conglomerates 300-400	Sandstones 200-350	Siltstones 350-400	Claystones 200-300	
		Breccias 230-350		Greywackes 350	Shales 150-250 * Muds 150-200	
	Non-Clastic	Carbonates	Crystalline Limestone 400-600	Sparitic Limestones 600-800	Micritic Limestones 800-1000	Dolomites 350-500
		Evaporites		Gypsum (350)**	Anhydrite (350)**	
	Organic				Chalk 1000+	
METAMORPHIC	Non Foliated	Marble 700-1000	Hornfels 400-700 Metasandstone 200-300	Quartzites 300-450		
	Slightly foliated	Migmatite 350-400	Amphibolites 400-500	Gneiss 300-750*		
	Foliated*		Schists 250-1100*	Phyllites /Mica Schist 300-800*	Slates 400-600*	
IGNEOUS	Plutonic	Light	Granite+ 300-550 Diorite+ 300-350 Granodiorite+ 400-450			
		Dark	Gabbro 400-500 Dolerite 300-400 Nonite 350-400			
	Hypabyssal	Porphyries (400)**		Diabase 300-350	Peridotite 250-300	
	Volcanic	Lava		Rhyolite 300-500 Andesite 300-500	Dacite 350-450 Basalt 250-450	
Pyroclastic		Agglomerate 400-600	Volcanic breccia (500)**	Tuff 200-400		

* Highly anisotropic rocks: the value of MR will be significantly different if normal strain and/or loading occurs parallel (high MR) or perpendicular (low MR) to a weakness plane. Uniaxial test loading direction should be equivalent to field application.
+ Felsic Granitoids: Coarse Grained or Altered (high MR), fined grained (low MR).
** No data available, estimated on the basis of geological logic.

Para aplicar estos criterios se empleará el valor del GSI (o en su caso RMR o Q) más pequeño del intervalo que define cada tipo, pues de ese modo se estará siempre del lado de la seguridad.

Respecto al módulo de Poisson del macizo rocoso, hoy en día se admite la hipótesis simplificadora de que es el mismo que el módulo determinado en las probetas de roca mediante el empleo de bandas extensométricas. Por otra parte, el coeficiente de Poisson, también puede estimarse en función de la calidad de la roca, oscilando entre $\nu = 0,20$ para roca de muy buena calidad hasta $\nu = 0,35$ para roca de mala calidad o material suelto. Se han propuesto algunas correlaciones que estiman el valor de este coeficiente en función del GSI:

$$\nu_m = 0,3248 - 0,0015 \cdot GSI$$

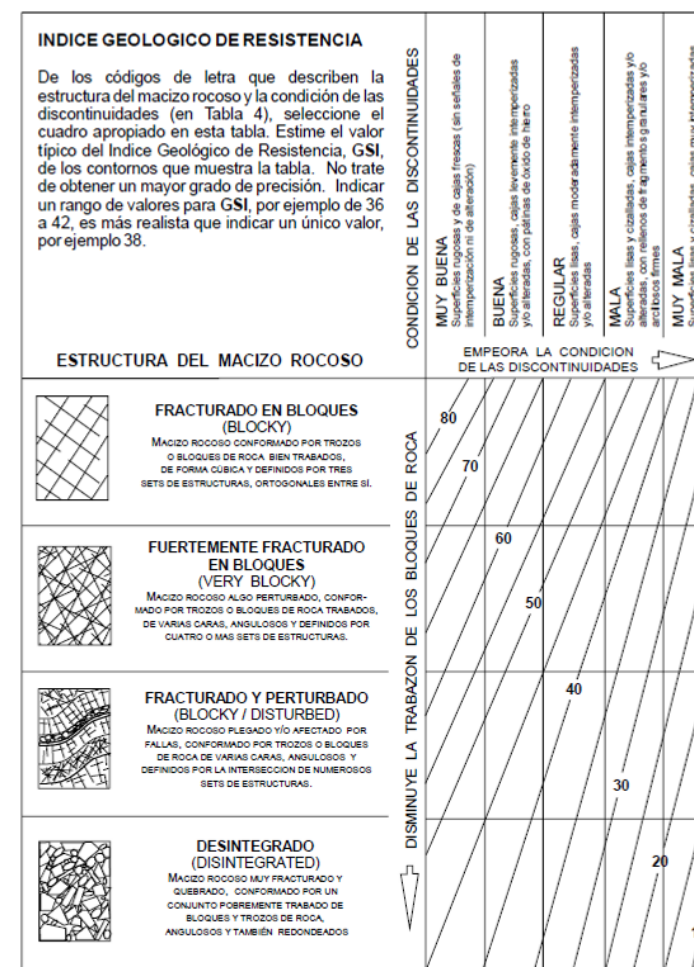
Parámetros resistentes

Para determinar el resto de los parámetros resistentes es posible hacer uso de diferentes programas de cálculo, los cuales atendiendo a un determinado criterio de rotura permite la definición de las características resistentes del material.

En concreto, en el desarrollo de este proyecto será de utilidad el programa de cálculo Roclab de la compañía Rocscience, el cual, permite la definición de los parámetros resistentes del material empleando el criterio de rotura generalizado de Hoek & Brown, a partir de los siguientes parámetros:

- σ_{RC} : Resistencia a compresión simple
- GSI: Geological Strength Index

En la siguiente figura se muestra el valor estimado del índice GSI adoptados en el programa Roclab.



- Factor de alteración D: Factor que tiene en cuenta en qué medida el macizo rocoso se ve afectado por la ejecución del desmonte o túnel. Este coeficiente permite tener en cuenta en qué medida se verán alterados los parámetros resistentes de la unidad en función del tipo de actuación que se vaya a realizar en la misma.
- Ei: Módulo de deformación

- MR: Define el ratio existente entre el módulo de deformación y la resistencia a compresión simple.

Parámetros resistentes en discontinuidades

El parámetro más importante para la estabilidad de bloques en roca es el ángulo de rozamiento de las juntas. La estimación de la resistencia al corte en las juntas y análisis de estabilidad de taludes en roca se ha basado en:

- Medidas de rugosidad de las juntas (Estaciones geomecánicas)
- Ensayos de corte en discontinuidad.
- Experiencias de ensayos en rocas de naturaleza similar.

Para la obtención de la resistencia al corte en la junta se parte de la expresión, propuesta por Barton y Choubey (1974).

$$\tau = \sigma_n \tan \left(\phi_r + JRC \cdot I_g \frac{JCS}{\sigma_n} \right)$$

Siendo:

τ : Resistencia al corte de la junta

ϕ_r : Ángulo de rozamiento residual. Para determinar su valor, supuesto conocido el ángulo básico de fricción (ϕ_b), se propone la relación:

$$\phi_r = (\phi_b - 20^\circ) + 20 \tau/R$$

Dónde:

r: Rebote del martillo de Schmidt en superficies secas sin meteorizar.

R: Rebote del martillo de Schmidt en la superficie húmeda meteorizada.

JRC: Coeficiente de rugosidad de la discontinuidad (Joint Roughness Coefficient) medido en afloramiento rocosos.

JCS: Resistencia en las paredes de la junta (Joint Wall Compression Strength). Según Barton (1973) la resistencia en la junta tiene un valor mínimo igual a la cuarta parte de la compresión simple en roca sana.

σ_n : Tensión efectiva media en el plano de discontinuidad.

Representando gráficamente la expresión anterior, se obtiene la resistencia al corte en función de la tensión normal y considerando un intervalo de tensiones, en el que la parábola se aproxima a una

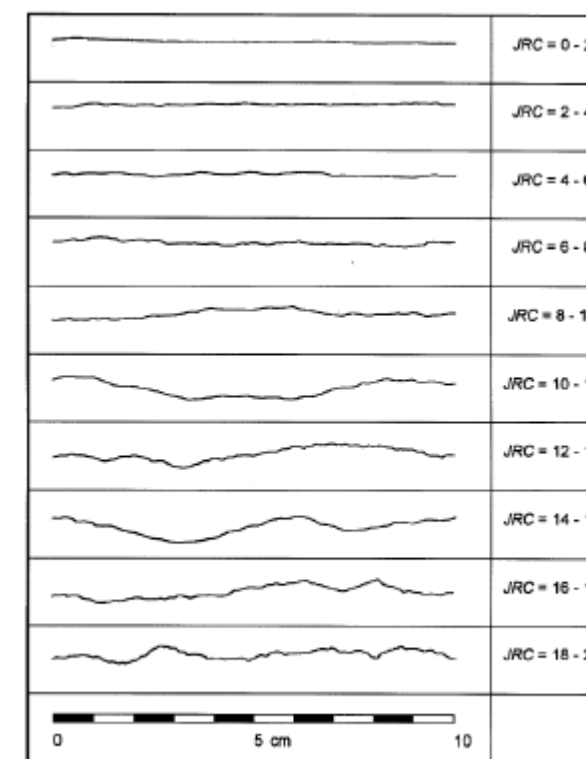
recta, se obtendría el ángulo de rozamiento medio de las discontinuidades, para cada una de las litologías.

A continuación, se describe la forma de obtener los distintos parámetros que intervienen en la ecuación de Barton y Choubey.

a) Coeficiente de rugosidad de la discontinuidad (JRC)

Este coeficiente se suele obtener mediante el ensayo de inclinación (Tilt Test) y su valor está comprendido entre 0 y 20. Valores usuales son de 5 para juntas lisas casi planas, y 15 juntas rugosas y onduladas.

Sin embargo, habitualmente se suele recurrir a la valoración realizada por Barton y Choubey en función de la rugosidad aparente, según el gráfico que se muestra a continuación:



Valores de JRC (Barton y Choubey 1977)

b) Resistencia en las paredes de la junta (JCS)

La medida de este parámetro es de gran importancia en la ingeniería de rocas. Naturalmente, esta importancia se acentúa cuando las paredes de la junta están meteorizadas. Tanto es así que el valor de JCS en este caso puede llegar a ser una pequeña fracción de la tensión de compresión (σ_{cm}) del macizo rocoso.

El grado de meteorización de las paredes de la junta depende del tipo de roca y en particular, de su permeabilidad.

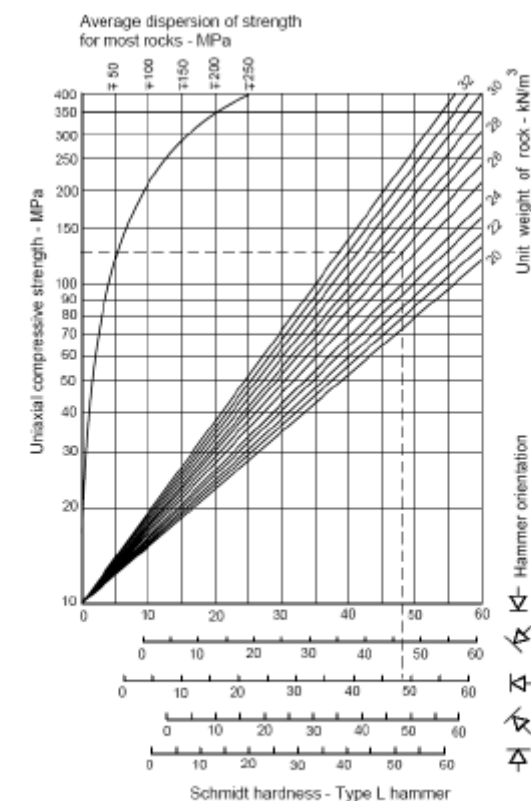
El proceso de deterioro de un macizo rocoso puede simplificarse en las siguientes etapas:

1. Formación de juntas en la roca intacta. El valor de JCS es igual a la tensión de compresión del macizo (σ_{cm}).
2. Reducción de la tensión de compresión en las paredes de litoclasea. El valor de JCS es inferior al de σ_{cm} .
3. Etapa intermedia: deterioro y/o agua en las juntas. El valor de JCS es una fracción de σ_{cm} .
4. Incremento de la meteorización de las juntas por efecto de los bloques de rocas. El valor de JCS se reduce lentamente.
5. Avanzado estado de meteorización de las juntas. El valor de σ_{cm} cae hasta el nivel de JCS. Macizo rocoso permeable.

La comparación entre la tensión de compresión en las paredes de la litoclasea (representada por JCS) y la tensión de compresión en el macizo rocoso (representada por σ_{cm}) puede dar una idea del grado de alteración de las litoclaseas.

Estudios de Barton (1973) sobre el tema, indican que esta medida de la alteración relativa (σ_{cm}/JCS) toma un valor máximo de 4. Investigaciones recientes (Richards, 1975) establecen que la alteración relativa (σ_{cm}/JCS) está comprendida entre los valores 1,8 y 3,8.

Otra forma de obtener la tensión de compresión en las paredes de las litoclaseas es mediante la utilización del martillo de Schmidt, y utilizando el gráfico de Deer y Miller que a continuación se incluye:



Estimación de JCS con martillo Schmidt (Deere y Miller 1966)

c) Ángulo de rozamiento básico y ángulo de rozamiento residual

El valor del ángulo de rozamiento residual Φ_T , suele ser menor que el ángulo de rozamiento básico Φ_b , que corresponde a la resistencia de las litoclaseas planas sin meteorizar. El valor del ángulo de rozamiento básico se obtiene mediante el ensayo de inclinación de testigos cilíndricos en laboratorio.

La disminución del valor de Φ_T , respecto a Φ_b es debido a la alteración producida en las litoclaseas por las atmósfera y el agua (meteorización).

A falta de ensayos específicos se toma de la bibliografía el valor del ángulo de fricción básico Φ_b . Valores usuales del ángulo de rozamiento básico (Φ_b) son de 25° a 37° para rocas sedimentarias, de 29° a 38° para rocas ígneas y de 21° a 30° para rocas metamórficas.

d) Corrección por efecto escala

Los parámetros JRC y JCS se obtienen en el levantamiento de las estaciones geomecánicas, y son determinaciones a escala decimétrica, por lo que es necesario corregirlos mediante la aplicación de un efecto de escala (Barton y Bandis, 1982), para que éstas observaciones de escala decimétrica puedan ser extrapoladas a las condiciones reales de las discontinuidades, de escala normalmente métrica o decamétrica.

Las correcciones propuestas para el efecto escala son las siguientes:

$$JRC_n = JRC_0 \left(\frac{L_n}{L_0} \right)^{-0.02 \cdot JRC_0}$$

$$JCS_n = JCS_0 \left(\frac{L_n}{L_0} \right)^{-0.05 \cdot JRC_0}$$

Dónde:

JRC₀, JCS₀: valor a escala de la observación

L₀: Longitud de la junta a la escala de la observación (10 o 20 cm)

JRC_n, JCS_n: Valor a escala del macizo rocoso

L_n: Longitud de junta a la del macizo rocoso (métricas a decamétricas)

Por lo tanto, la estimación de las propiedades resistentes de las juntas parte de los valores JRC₀ y JCS₀, determinados en campo y se minoran por el efecto escala.

e) Parámetros de cálculo

Esta relación entre τ y σ_n es una relación no lineal, por lo que para determinar la cohesión y el ángulo de rozamiento de cálculo de las discontinuidades es necesario linealizarla.

Para ello, se realiza una regresión lineal sobre dicha envolvente curva en un intervalo de presiones normales entre 0 y la presión litostática a la máxima profundidad de trabajo (h):

$$\sigma_n = \gamma \cdot h$$

Siendo,

σ_n: Tensión normal

γ: Peso específico

7.5.3. UNIDADES GEOTECNICAS

7.5.3.1. Caracterización geotécnica de los suelos

Se analizan los materiales afectados por el trazado, agrupados según sus características geotécnicas, indicándose su distribución a lo largo del mismo y especificando estas características deducidas de los reconocimientos de campo y los ensayos de laboratorio.

Se van a resumir (en caso de ser posible con la documentación disponible) para cada una de estas unidades sus características resistentes, deformacionales, de estado, etc., tratando de establecer unos

parámetros geotécnicos y de esta manera dar unas recomendaciones constructivas adecuadas a lo largo del trazado.

Se describen a continuación cada una de las litologías de suelo reconocidas a lo largo del trazado, indicándose las características geotécnicas y realizando una valoración de las propiedades de dichas formaciones de forma homogénea, independientemente de los cambios composicionales que presentan.

7.5.3.1.1. Rellenos antrópicos de zona antropizada (R₁)

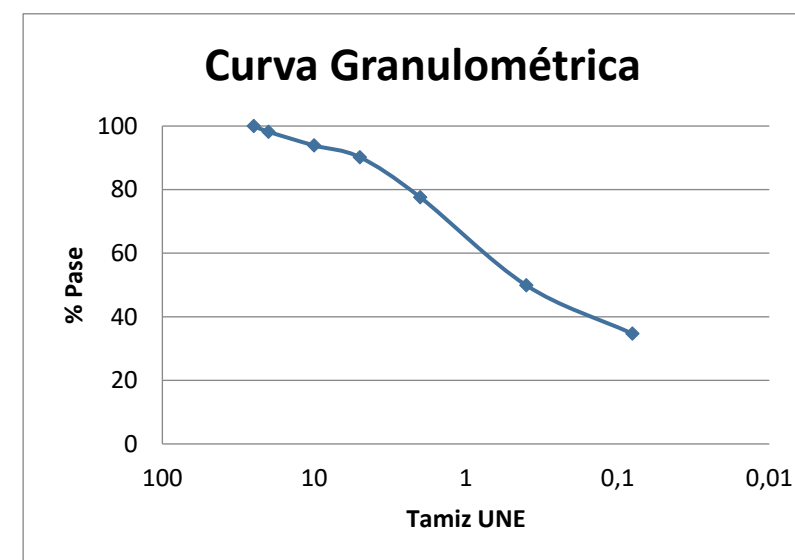
Unidad geotécnica compuesta de rellenos antrópicos cartografiados en la margen de la población de Cabezuela del Valle. Su naturaleza es heterogénea y han sido registrados en el sondeo S-01 efectuado hasta 4,10 m de profundidad, recubriendo a los depósitos cuaternarios aluviales.

Aunque esta unidad geotécnica se considera heterogénea, para establecer sus parámetros geotécnicos característicos se tendrán en cuenta los ensayos de laboratorio que se recogen en la siguiente tabla:

	MUESTRA	PROF (m)	PROF. MEDIA (m)	NSPT	N30	GRANULOMETRÍA							LÍMITES DE ATTERBERG			CLASIFICACIÓN			SULF.	ACIDEZ B-G
						25	20	10	5	2	0,4	0,08	LL	LP	IP	USCS	PG-3	REUTILIZACIÓN		
S-01	SPT-01	3,00-3,45	3,3	1/3/3	6	100	98	93,9	90,2	77,6	49,9	34,7	35,9	26,9	9	SM	Tolerable*	Vertedero	NC	NC

Características de identificación y estado

Se ha realizado un ensayo granulométrico por tamizado, el porcentaje de finos presentó un valor del 34,7% considerándolos de baja plasticidad con valor del límite líquido de 35,9 e índice de plasticidad de 9. Se clasifica como una arena limosa SM según el Sistema de Clasificación de Suelos Unificado U.S.C.S. Se caracterizará esta unidad considerándola de naturaleza **cohesiva** A continuación, se muestra la curva granulométrica obtenida a partir del ensayo granulométrico.



De los resultados granulométricos mostrados con anterioridad, se estima una permeabilidad con valor de $K=10^{-3}$ cm/s.

Dado que no se cuenta con ensayos de laboratorio para determinar la densidad seca y aparente de estos materiales, se ha recurrido a información bibliográfica para adoptar unos valores característicos. A continuación, se incluye la tabla D.26 del CTE-2006 del Ministerio de Fomento, consultada para asignar densidades a los suelos:

Tabla D.26. Valores orientativos de densidades de suelos

Tipo de suelo	γ_{sat} (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)
Grava	20 – 22	15 – 17
Arena	18 – 20	13 – 16
Limo	18 – 20	14 – 18
Arcilla	16 – 22	14 – 21

Tabla valores orientativos unidades

En base a esta tabla se han adoptado los siguientes valores de densidad, entre paréntesis se indica el valor estimado:

- Densidad seca: 14-18 kN/m³ (16 kN/m³)
- Densidad aparente: 18-20 kN/m³ (19 kN/m³)

Características resistentes y deformacionales

Para caracterizar la resistencia de esta unidad, se empleará el golpeo obtenido en el ensayo de penetración estándar SPT efectuado, adoptando un valor de $N_{30}=6$ y consistencia blanda.

Si se caracteriza esta unidad como suelo cohesivo, el parámetro resistente característico será su resistencia al corte sin drenaje. A partir de ella, podrá estimarse el módulo de deformación.

Para determinar la resistencia al corte sin drenaje (c_u) puede emplearse la correlación propuesta por Terzaghi:

$$c_u = \frac{N}{15} \left(\frac{kg}{cm^2} \right)$$

Introduciendo en la correlación anterior el valor del golpeo medio obtenido, se tiene una resistencia al corte sin drenaje de 0,40 kg/cm² (40 KPa).

Para determinar el módulo de deformación se ha empleado la resistencia al corte sin drenaje y las correlaciones establecidas por Henkel (1871) y Butler (1974) para suelos cohesivos:

$$E(kg/cm^2) = 220 \cdot c_u$$

Obteniéndose un valor de módulo de deformación de $E = 8,8$ MPa. A efectos de cálculo se considera un valor de 8 MPa.

Características químicas

Se cuenta con un ensayo de laboratorio de determinación de acidez Baumann-Gully de contenido en ión sulfato, considerándose **ataque nulo** al hormigón según EHE-08.

Aprovechamiento y reutilización

En base a los datos obtenidos en los ensayos de laboratorio, según PG-3 se clasificarán como un suelo **tolerable**. No obstante, debido a la heterogeneidad de estos materiales se recomienda la retirada a **vertedero**.

A continuación, se incluye una tabla resumen con los **parámetros geotécnicos adoptados** para la unidad de rellenos antrópicos (R1):

UG	γ_d (kN/m ³)	γ_{ap} (kN/m ³)	N_{30}	# 0,08 (%)	Cu (KPa)	E' (MPa)	v	K (cm/s)
R ₁	16	19	6	34,7	40	8	0,3	10 ⁻⁴

7.5.3.1.2. **Rellenos autóctonos de bancales (R₂)**

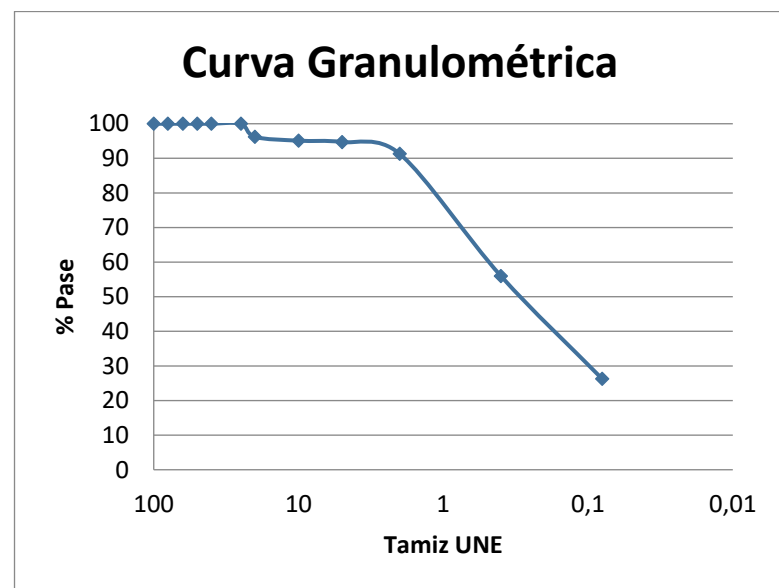
Unidad geotécnica compuesta por una capa superficial de material con propiedades aptas para el cultivo en bancales. En el sondeo S-04 efectuado, se registró una potencia aproximada de 2,00 m de estos materiales, recubriendo al sustrato rocoso alterado o a depósitos aluviales y de cono de deyección.

Para establecer sus parámetros geotécnicos característicos se tendrán en cuenta los ensayos de laboratorio que se recogen en la siguiente tabla:

	MUESTRA	PROF (m)	PROF. MEDIA (m)	UG	NSPT	N30	GRANULOMETRÍA													LÍMITES DE ATTERBERG			CLASIFICACIÓN			M.O. (%)	S.S. (%)	Yesos (%)
							100	80	63	50	40	25	20	10	5	2	0,4	0,08	LL	LP	IP	USCS	PG-3	REUTILIZACIÓN				
S-04	MI-01	0,00-0,60	0,3	R2	4/4/2/3	6	100	100	100	100	100	100	96	95,1	94,7	91,3	56	26,3	NP	NP	NP	SM	Tolerable	Reposición de bancales				
S-04	SPT-01	1,50-1,95	1,8	R2	1/2/3	5																						
S-04	MA	0,60-1,50	1,05	R2																					1,5	0,1	N.C.	

Características de identificación y estado

Se ha realizado un ensayo granulométrico por tamizado, el porcentaje de finos presentó un valor del 26,3% de plasticidad nula. Se clasifica como una arena limosa SM según el Sistema de Clasificación de Suelos Unificado U.S.C.S. Se caracterizará esta unidad considerándola de naturaleza mayoritaria **granular**. A continuación, se muestra la curva granulométrica obtenida a partir del ensayo granulométrico.



De los resultados granulométricos mostrados con anterioridad, se estima una permeabilidad con valores de $K=10^{-3}$ - 5×10^{-3} cm/s.

Dado que no se cuenta con ensayos de laboratorio para determinar la densidad seca y aparente de estos materiales, se ha recurrido a información bibliográfica para adoptar unos valores característicos. A continuación, se incluye la tabla D.26 del CTE-2006 del Ministerio de Fomento, consultada para asignar densidades a los suelos:

Tabla D.26. Valores orientativos de densidades de suelos

Tipo de suelo	γ_{sat} (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)
Grava	20 – 22	15 – 17
Arena	18 – 20	13 – 16
Limo	18 – 20	14 – 18
Arcilla	16 – 22	14 – 21

Tabla valores orientativos unidades

En base a esta tabla se han adoptado los siguientes valores de densidad, entre paréntesis se indica el valor estimado:

- Densidad seca: 13-18 kN/m³ (16 kN/m³)
- Densidad aparente: 18-20 kN/m³ (19 kN/m³)

Características resistentes y deformacionales

Para caracterizar la resistencia de esta unidad, se empleará el golpeo obtenido en el ensayo de penetración estándar SPT efectuado y los valores de granulometrías y límites de Atterberg. Se adopta un valor de N30 característico N30 = 5 para esta unidad de rellenos.

Para determinar los parámetros resistentes se ha empleado por un lado la formulación propuesta por Muromachi (1974) para terrenos granulares, que asume que la cohesión es nula y mediante el valor característico de NSPT se obtiene el ángulo de rozamiento interno:

$$\phi = 20 + 3,5\sqrt{N_{SPT}}$$

Esto se contrasta con valores característicos para suelo según la tabla de correlación de Grundbau-Taschenbuch (1980) a partir de granulometrías y límites de Atterberg, que le confiere a esta tipología de materiales valores de ángulo de rozamiento interno.

Se adoptarán los siguientes valores de cálculo del lado de la seguridad:

- $\phi=28^\circ$; $c=10$ kPa

Se ha empleado la correlación de Beguemann para el cálculo del módulo de deformación en suelos granulares a partir de los valores obtenidos de N₃₀, adoptando el siguiente valor:

- E=8 MPa

Características químicas

Se han realizado ensayos químicos para evaluar la reutilización de estos materiales. Se ha obtenido un contenido en materia orgánica del 1,50%, un 0,10% de sales solubles y no contiene yesos.

No se cuenta con ensayos químicos para evaluar la agresividad de esta unidad al hormigón.

Aprovechamiento y reutilización

En base a los datos obtenidos en los ensayos de laboratorio para esta unidad, según PG-3 se clasificará como un suelo **tolerable**. Se considerarán de manera conservadora no aptos para la formación de terraplenes, recomendando su reutilización para la **reposición de bancales**.

A continuación, se incluye una tabla resumen con los **parámetros geotécnicos adoptados** para la unidad:

UG	γ_d (kN/m ³)	γ_{ap} (kN/m ³)	N ₃₀	# 0,08 (%)	c' (kPa)	ϕ' (°)	E' (MPa)	v	K (cm/s)
R2	16	19	5	26.3	10	28	8	0,3	10^{-3} - 5×10^{-3}

7.5.3.1.3. Depósitos cuaternarios aluviales (Q_{AL}) y de cono de deyección (Q_{CD}) Q_{AL-CD}

Unidad geotécnica compuesta depósitos aluviales del río Jerte y de cono de deyección cartografiados en la ladera oeste del mismo. Debido a su composición (arenas, gravas y bolos con matriz fina), se han agrupado estas unidades geológicas.

Han sido registradas en los sondeos S-01, S-02 y S-03 efectuados, recubriendo al sustrato rocoso. La potencia de estos materiales oscila entre 3,80 m (S-03) y 7,70 m (S-01).

- Densidad aparente: 18-22 kN/m³ (20 kN/m³)

Características resistentes y deformacionales

Para caracterizar la resistencia de esta unidad, se empleará el golpeo obtenido en el ensayo de penetración estándar SPT efectuado, adoptando un valor de N₃₀>50 y compacidad muy densa.

Para determinar los parámetros resistentes se ha empleado por un lado la formulación propuesta por Muromachi (1974) para terrenos granulares, que asume que la cohesión es nula y mediante el valor característico de NSPT se obtiene el ángulo de rozamiento interno, obteniendo un valor φ=44°:

$$\phi = 20 + 3,5\sqrt{N_{SPT}}$$

Esto se contrasta con valores característicos para suelo según la tabla de correlación de Grundbau-Taschenbuch (1980) a partir de granulometrías y límites de Atterberg, que le confiere a esta tipología de materiales valores de ángulo de rozamiento interno φ=35°-45° y cohesión muy baja.

Se ha empleado la correlación de Beguemann para el cálculo del módulo de deformación en suelos granulares a partir de los valores obtenidos de N₃₀.

- Si N_{SPT}> 15: E (Kg/cm²) = 40 + [12 (N_{SPT}-6)]

Limitando el valor N_{SPT} a 50, obtenemos un valor de E=56,8 Mpa.

Según la ROM, para suelos granulares con elevado contenido en finos y compacidad media – densa, se tendrían los siguientes valores:

Tabla 2.4.3. Algunas características elementales de los suelos que pueden utilizarse para estimaciones previas

	Tipo de suelos	Compacidad	Índice de poros ⁽²⁾	Cohesión (kPa)	Ángulo de Rozamiento (φ°)	Módulo de deformación ⁽⁵⁾ drenado (MPa)	Coefficiente de permeabilidad ⁽³⁾ (cm/s)	
Suelos granulares ⁽¹⁾	Gravas y arenas limpias (arenas > 10%)	Densa	0,25	0	45	100	10 ⁻²	
		Media	0,35	0	40	50		
		Floja	0,45	0	35	20		
		Muy floja	0,60	0	30	10		
	Gravas y arenas con algo de limos y/o arcillas (5-10%) ⁽⁴⁾	Densa	0,20	10	10	40	50	10 ⁻³
		Media	0,30	5	5	35	20	
		Floja	0,40	2	2	30	10	
		Muy floja	0,60	0	0	27	5	
	Gravas y arenas con gran contenido en suelos finos (5-10%) ⁽⁴⁾	Densa	0,15	20	20	35	50	10 ⁻⁴
		Media	0,25	10	10	30	20	
		Floja	0,35	5	5	27	10	
		Muy floja	0,50	0	0	25	5	
Rellenos artificiales	Banquetas de todo-uno vertidas y escolleras de granulometría continua (sucias)	Floja	0,50	0	40	10	I	
		Muy floja	0,70	0	35	5		

Con todos estos datos y correlaciones empíricas, se puede tomar el siguiente rango de valores para los parámetros resistentes y de deformabilidad:

- Cohesión: 10 – 20 KPa.
- Ángulo rozamiento: 30-40 °
- Módulo de deformación: 20-50 KPa.

Estos valores se particularizarán para cada caso concreto, según los datos más cercanos que se tengan.

Características químicas

Se cuenta con varios ensayos de laboratorio de determinación de acidez Baumann-Gully de contenido en ión sulfato, considerándose **ataque nulo** al hormigón según EHE-08.

Según muestra alterada ensayada, presenta un contenido del 0,17% en materia orgánica, 0,11% en sales solubles y no contiene yesos.

Aprovechamiento y reutilización

En base a los datos obtenidos en los ensayos de laboratorio para esta unidad, se clasifican como **suelos seleccionados** según PG-3. Debido a que la muestra alterada tomada de los sondeos para la realización de ensayos de compactación fue insuficiente para la realización de ensayo C.B.R., para la actual fase de proyecto se considerarán estos materiales como aptos para **núcleo y cimiento** de terraplén, completando la caracterización en siguiente fase de proyecto.

A continuación, se incluye una tabla resumen con los **parámetros geotécnicos adoptados** para la unidad:

UG	γd (kN/m ³)	γap (kN/m ³)	N ₃₀	# 0,08 (%)	c' (kPa)	φ' (°)	E' (MPa)	v	K (cm/s)
Q _{AL} - Q _{CD}	15	20	50	13	10-20	30-40	20-50	0,2	10 ⁻²

7.5.3.1.4. Granito alterado (VP_G)

Esta unidad geotécnica está compuesta por el sustrato granítico, que a medida que aumenta la profundidad, va disminuyendo su grado de meteorización. En los primeros metros presenta un suelo residual del granito (eluvial) con grado V de meteorización. A medida que aumenta la profundidad, se detecta el granito con grado de meteorización IV, y finalmente, en los metros superiores al contacto con la roca sana, se han registrado con propiedades geotécnicas más favorables.

Esta unidad geotécnica ha sido registrada en el sondeo S-04, calicatas C-01, C-02 y C-03 y en el perfil sísmico PSP-03. En el caso del suelo eluvial (GM V), las potencias son escasas, normalmente inferiores a 1,00 m de espesor que recubre al sustrato rocoso con menor grado de meteorización. En el caso del

Se cuenta con un ensayo de laboratorio para determinar la densidad seca y aparente en la unidad de suelo eluvial en los que se obtuvieron los siguientes valores:

- Densidad seca VP_G con GM V: 17 kN/m³.
- Densidad aparente VP_G con GM V: 19 kN/m³.

Puesto que no se cuenta con valores de densidad para menor grado de meteorización, se a optado por adoptar un valor intermedio entre el suelo eluvial y la roca sana, con un valor de densidad aparente para la unidad VP_G con GM IV de 24 kN/m³.

Características resistentes y deformacionales

Para caracterizar la resistencia de esta unidad, se cuenta con un ensayo a de corte directo tipo CD realizado en los recubrimientos eluviales (GM V). Obteniendo un ángulo de rozamiento interno de 33° y 5 kPa de cohesión sobre muestra remoldeada. Debido a que se realizó el ensayo sobre muestra remoldeada con pérdida de cohesión respecto a la muestra en estado inalterado, se adoptarán los siguientes valores para los cálculos geotécnicos:

- G.M. V: $\phi'=33^\circ$; $c'=10$ kPa

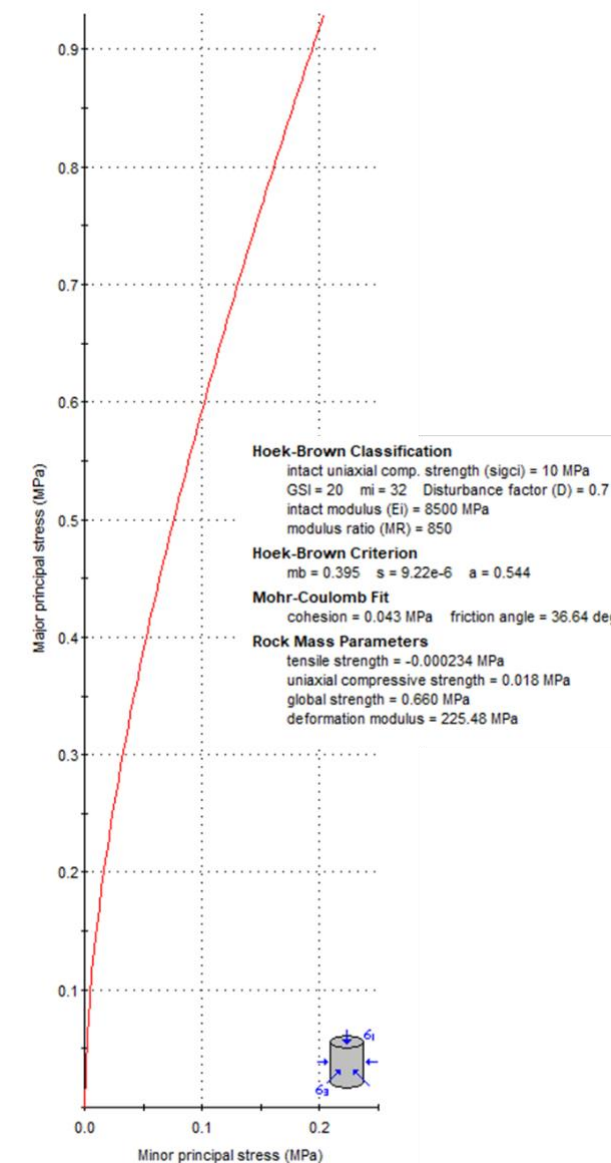
Esto se contrasta con valores característicos para suelo según la tabla de correlación de Grundbau-Taschenbuch (1980) a partir de granulometrías y límites de Atterberg.

Para menor grado de meteorización (GM IV), se emplearán los golpes obtenidos en los ensayos de penetración estándar SPT efectuados con condición de rechazo y el registro sísmico obtenido en el PS-03.

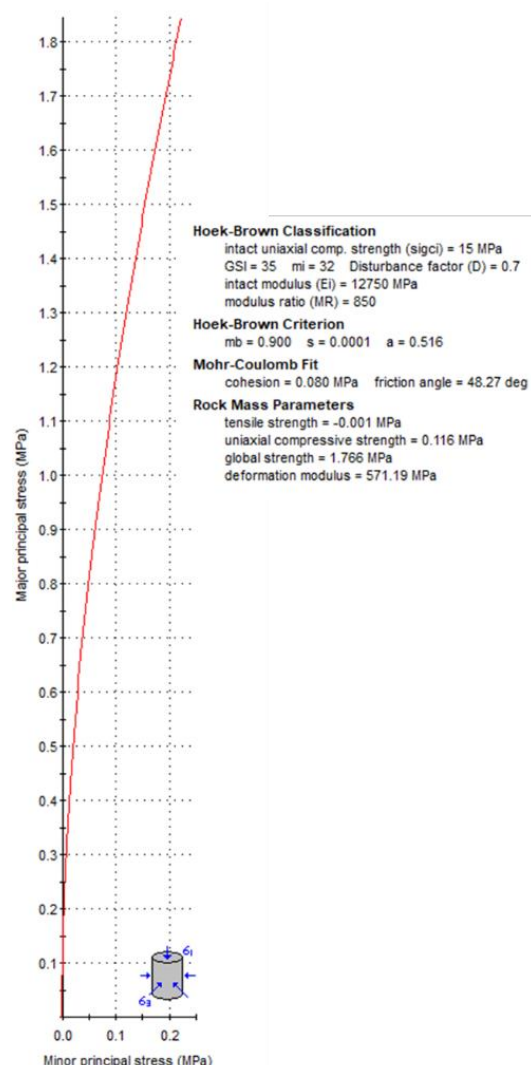
Para determinar los parámetros resistentes se ha empleado por un lado la formulación propuesta por Muromachi (1974) para terrenos granulares, que asume que la cohesión es nula y mediante el valor característico de NSPT se obtiene el ángulo de rozamiento interno:

$$\phi = 20 + 3,5\sqrt{N_{SPT}}$$

Por otro lado, con la información obtenida de los reconocimientos efectuados y el programa informático Roclab de Rocscience, se establecen las características resistentes y deformacionales para el sustrato rocoso con grado de meteorización IV.



Propiedades resistentes y deformacionales U.G. VPG GM IV superior



Propiedades resistentes y deformacionales U.G. VPG GM IV inferior

Se adoptarán los siguientes valores de cálculo:

- G.M. IV superior: $\phi=37^\circ$; $c=40$ kPa.
- G.M. IV inferior: $\phi=45^\circ$; $c=80$ kPa

Se ha empleado la correlación de Beguemann para el cálculo del módulo de deformación en suelos granulares a partir de los valores obtenidos de N_{30} , adoptando los siguientes valores:

- G.M. V: $E=30$ MPa
- G.M. IV superior: $E=80$ MPa
- G.M. IV inferior: $E=200$ MPa

Características químicas

Se cuenta con dos ensayos de laboratorio de determinación de acidez Baumann-Gully de contenido en ión sulfato, considerándose **ataque nulo** al hormigón según EHE-08.

Aprovechamiento y reutilización

En base a los datos obtenidos en los ensayos de laboratorio para esta unidad, según PG-3 el suelo eluvial se clasificará como un suelo **tolerable** puesto que el contenido en materia orgánica medio fue del 1,89%. Estos materiales eluviales superficiales, serán aptos para su uso como **núcleo y cimiento** de rellenos.

Para el caso de menor grado de meteorización, tras constatar el contenido en materia orgánica, se clasificarán como suelos **adecuados** aptos para su reutilización como **coronación** de rellenos y para **S-EST3** para explanaciones, ya que su contenido es inferior al 1%.

A continuación, se incluye una tabla resumen con los **parámetros geotécnicos adoptados** para la unidad:

UG	γ_d (kN/m ³)	γ_{ap} (kN/m ³)	N_{30}	# 0,08 (%)	c' (kPa)	ϕ' (°)	E' (MPa)	ν	K (cm/s)
VPG GMV	17	19	28	9	10	33	30	0,2	10^{-3}
VPG GMIV superior	20	24	R	9	40	37	80	0,2	10^{-4}
VPG GMIV inferior	20	24	R	9	80	45	200	0,2	10^{-5}

7.5.3.1.5. Tabla resumen parámetros geotécnicos de los suelos

En base al análisis realizado se incluye a continuación una tabla resumen con los parámetros geotécnicos adoptados para cada una de las unidades geotécnicas identificadas (suelos) en la zona de estudio:

UG	γ_d (kN/m ³)	γ_{ap} (kN/m ³)	N_{30}	# 0,08 (%)	c' (kPa)	ϕ' (°)	E' (MPa)	ν	K (cm/s)
R ₁	16	19	6	34,7	-	30	8	0,3	10^{-3}
R ₂	16	19	5	26,3	10	28	8	0,3	10^{-3}
Q _{AL} - Q _{CD}	15	20	R	13	10-20	30-40	20-50	0,2	10^{-2}
VPG GM _V	17	19	28	9	5	33	30	0,2	10^{-3}
VPG GM _{IV} superior	20	24	R	9	40	37	80	0,2	10^{-4}
VPG GMIV inferior	20	24	R	9	80	45	200	0,2	10^{-5}

7.5.3.2. Caracterización geomecánica del macizo rocoso atravesado

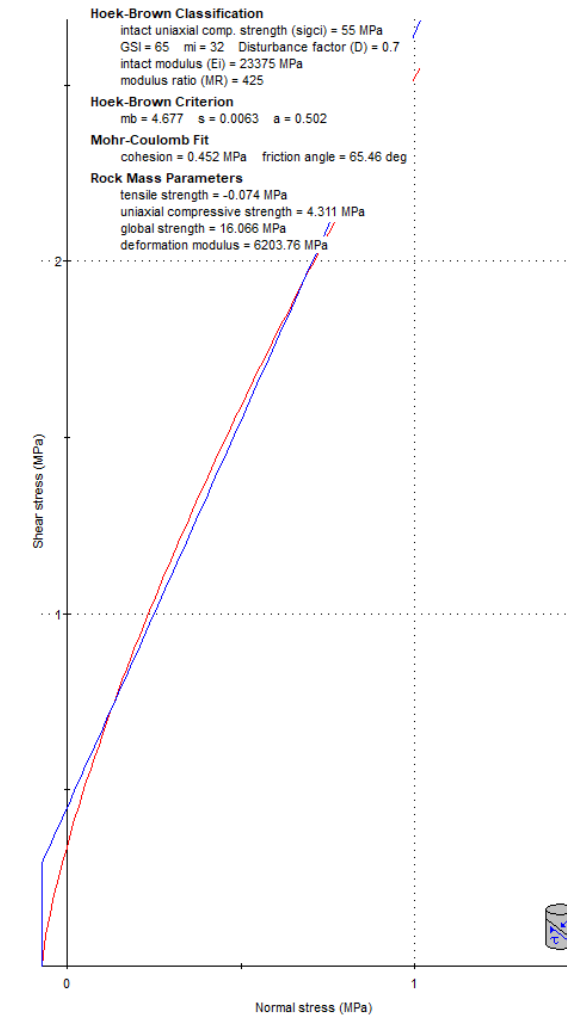
El sustrato rocoso presente en las excavaciones contempladas en el proyecto está constituido por rocas plutónicas graníticas porfídicas con fenocristales de feldespato potásico. Composicionalmente se corresponde con un monzogranito. Para la redacción del proyecto, se ha denominado a esta unidad geotécnica como P_G.

Afloran en la parte inicial del tronco, entre los PPKK 0+080 al 0+240 aproximadamente. Se cuenta con los siguientes reconocimientos geotécnicos:

SONDEO	MUESTRA	PROF. MUESTRA(m)	PROF. MEDIA (m)	UG	Y _d (kN/m ³)	Y _{sp} (kN/m ³)	C.S.		R. CARGA PUNTUAL Is50(MPa)	CLASF. PG-3	REUTILIZACIÓN
							qu, MPa	Módulo Young, GPa			
S-01	TP-01	12,45-13,00	12,7	P _G GM-II	26,8	26,8	53,1	18,1		Roca	Pedraplén
S-01	TP-02	16,90-17,20	17,05	P _G GM-I	27,1	27,1	77,9	42,5		Roca	Pedraplén
S-01	TP-03	19,20-19,72	19,46	P _G GM-I	26,9	26,9	35,8			Roca	Pedraplén
S-02	TP-01	9,50-9,80	9,65	P _G GM-I	26,4	26,4	69,1	33,5		Roca	Pedraplén
S-02	TP-02	14,64-15,00	14,82	P _G GM-I	26,7	26,7	70,3			Roca	Pedraplén
S-02	TP-03	18,30-18,60	18,45	P _G GM-I	27,0	27,0	56,1			Roca	Pedraplén
S-03	MA-02	7,60-9,00	7,8	P _G GM-I					6,08	Roca	Pedraplén
S-04	TP-01	11,35-11,80	11,55	P _G GM-II	26,9	27,1	69,4			Roca	Pedraplén
S-04	TP-02	14,40-15,00	14,7	P _G GM-I	27,3	27,3	44,3			Roca	Pedraplén
Nº ensayos					8	8	8	3			
Valor máximo					27,3	27,3	77,9	42,5			
Valor mínimo					26,4	26,4	35,8	18,1			
Promedio					26,9	26,9	59,5	31,4			
Media acotada 25%					26,9	26,9	60,4	31,4			

Se adopta un valor medio de RCS de 55 MPa. Los valores de RQD obtenidos en los sondeos efectuados, se encuentran en el rango variable, con tramos con valores inferiores al 40% y otros superiores al 80%, por lo que se tomará un RQD medio del 50%.

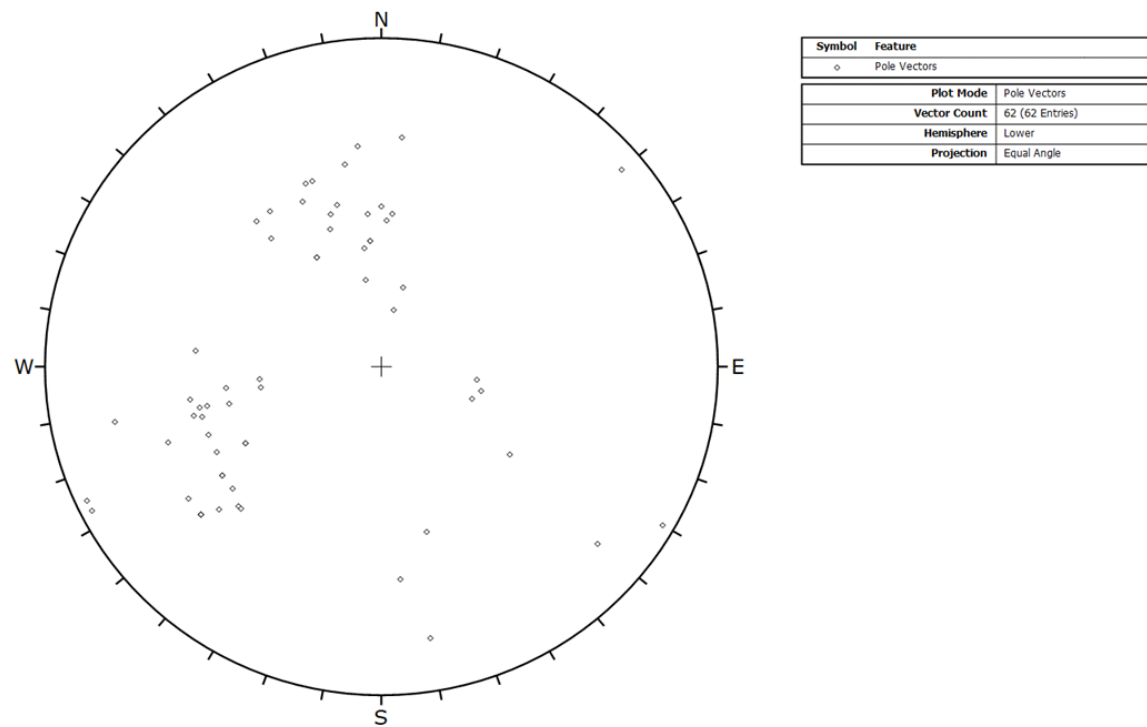
Con la información obtenida de los reconocimientos efectuados y el programa informático Roclab de Rocscience, se establecen las características geomecánicas más relevantes de la matriz rocosa.



CARACTERÍSTICAS GEOMECÁNICAS DE LA MATRIZ ROCOSA C ₁									
Tipo de roca	γ (kN/m ³)	Roca intacta			Hoek&Brown			Mohr-Coulomb	
		σ _i (MPa)	E _i (MPa)	m _i	m _b	s	a	c (kPa)	φ(°)
Granito P _G GM II	27	55	23.375	32	4,67	0,0063	0,502	450	65

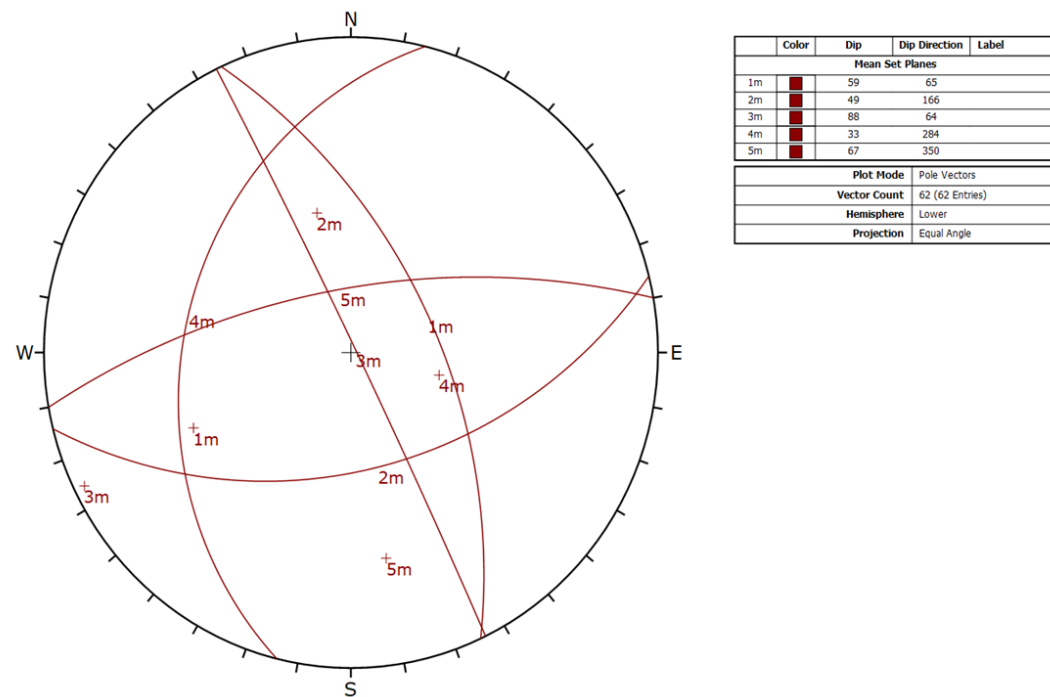
En las estaciones geomecánicas se recogen medidas de las principales características de las discontinuidades: orientación, continuidad, espaciado, abertura, presencia de rellenos, etc. En el apéndice correspondiente pueden verse los gráficos en los que se recoge la variación de la dirección o rumbo de estas de manera individualizada.

Para el presente estudio, se han empleado las medidas tomadas en el intervalo del desmonte proyectado del macizo rocoso. Se cuenta con un total de 62 tomas de datos estructurales:



Representación estereográfica de los polos de las medidas estructurales. Software Dips 7.0.

Se han identificado cinco (5) familias de fracturas que se pueden denominar sistemáticas, de modo que tenemos cuatro familias de discontinuidades. Las orientaciones de estas discontinuidades son las que se muestran a continuación:



Representación estereográfica de las familias de discontinuidades. Software Dips 7.0.

Discontinuidad	Buz (°)	Dir Buz
J1	59	65
J2	49	166
J3	33	284
J4	88	64
J5	67	350

Con las mediciones realizadas, se clasifican las discontinuidades en el macizo rocoso de la siguiente forma:

FAMILIA	CONTINUIDAD
J1	Baja - Media
J2	Baja - Media
J3	Baja - Media
J4	Baja
J5	Baja

Atendiendo al criterio de ISRM, 1981 que se recoge a continuación:

CONTINUIDAD	LONGITUD
Muy baja	< 1 m
Baja	1-3 m
Media	3-10 m
Alta	10-20 m
Muy alta	> 20 m

Con relación al espaciado modal de las discontinuidades, estas se pueden describir atendiendo al criterio de ISRM de la siguiente forma:

DESCRIPCIÓN	ESPACIADO
Extremadamente juntas	< 20 mm
Muy juntas	20-60 mm
Juntas	60-200 mm
Moderadamente juntas	200-600 mm
Separadas	600-2.000 mm
Muy separadas	2.000-6.000 mm
Extremadamente separadas	> 6.000 mm

En este caso las mediciones realizadas indican lo siguiente:

FAMILIA	ESPACIADO
J1	Moderadamente juntas
J2	Moderadamente juntas - Separadas
J3	Moderadamente juntas - Separadas
J4	Moderadamente juntas
J5	Moderadamente juntas

Con relación a la rugosidad de las distintas familias y siguiendo también el criterio de la ISRM (1981) las diaclasas se clasificarían en las siguientes clases (entre paréntesis se indica el valor medio):

FAMILIA	RUGOSIDAD (JRC)
J1	18 - 20
J2	18 - 20
J3	18 - 20
J4	18 - 20
J5	18 - 20

Predominando en general en los macizos la RUGOSA.

La apertura de las discontinuidades puede clasificarse atendiendo al siguiente criterio:

ABERTURA	DESCRIPCIÓN
0,1 mm	Muy cerrada
0,1-0,25 mm	Cerrada
0,25-0,5 mm	Parcialmente abierta
0,5-2,5 mm	Abierta
2,5-10 mm	Moderadamente ancha
> 10 mm	Ancha
1-10 cm	Muy ancha
10-100 cm	Extremadamente ancha
> 1 m	Cavernosa

Atendiendo a la tabla anterior, se clasifican las discontinuidades investigadas como sigue:

FAMILIA	ABERTURA
J1	Moderadamente abierta - Abierta
J2	Parcialmente abierta - Abierta
J3	Abierta – Moderadamente ancha
J4	Abierta
J5	Parcialmente abierta

Se ha empleado la clasificación del RMR de Bieniawski (1989) teniendo en cuenta las condiciones hidrogeológicas y la ausencia de relleno en juntas, obteniéndose un valor característico de **RMR** medio para esta litología de **68**, clasificándola como **Tipo II**, roca de **buena calidad**.

Se consideran ripables con medios mecánicos hasta grado de meteorización III, a partir de GM III o menor será necesario el uso de voladura. Se clasifican como roca, considerándose reutilizables como relleno tipo pedraplén.

7.6. NIVEL FREÁTICO

En los sondeos realizados, se ha detectado el nivel freático en tres de ellos. En la siguiente tabla se recogen las profundidades a las que apareció el nivel freático respecto a cota de boca de sondeo y en cotas absolutas:

Sondeo	Prof. (m) N.F.	Cota N.F. (m s.n.m.)	Muestra H2O
S-01	9,8	485,2	Si
S-02	2,1	486,9	Si
S-03	1,2	488,8	No
S-04	Seco	-	-

7.7. AGRESIVIDAD

7.7.1. METODOLOGÍA

Un aspecto a tener en cuenta es el estudio de la agresividad del suelo y del agua, todo ello con el objeto de adoptar las medidas necesarias en el caso de que se dé alguna de las dos circunstancias.

Para determinar la agresividad se ha seguido la Instrucción EHE del hormigón estructural vigente. En ella se prevén los siguientes tipos de exposición para suelo y agua:

Para el caso de suelo, atendiendo al contenido en mg de ion sulfato por kg de suelo seco y al grado de acidez Baumann-Gully:

ENSAYO (*) Estas condiciones no se dan en la práctica	TIPO DE EXPOSICIÓN		
	Qa	Qb	Qc
	Ataque débil	Ataque medio	Ataque fuerte
Grado Acidez Baumann-Gully (ml/kg) según UNE 83.962	> 200	(*)	(*)
ION SULFATO (mg SO ₄ ²⁻ /kg de suelo seco) según UNE 83.963	2.000-3.000 (0,2-0,3%)	3.000-12.000 (0,3-1,2%)	> 12.000 (> 1,2%)

Tabla Tipos de exposición según Instrucción EHE

Para el caso de las aguas, los distintos tipos de exposición, según la Instrucción EHE, en función de los parámetros analizados, son:

Tipos de exposición				
Ensayo	Ataque nulo	Ataque débil	Ataque medio	Ataque fuerte
pH	> 6,5	6,5-5,5	5,5-4,5	<4,5
Magnesio (Mg ²⁺) (mg/l)	< 300	300-1000	1000-3000	>3000
Sulfato (SO ₄ ²⁻) (mg/l)	< 200	200-600	600-3000	>3000
Amonio (NH ₄ ⁺) (mg/l)	<15	15-30	30-60	>60
CO ₂ (mg/l)	<15	15-40	40-100	>100
Residuo seco (mg/l)	> 150	75-150	50-75	<50

Tabla Tipos de exposición, para las aguas según Instrucción EHE

7.7.2. AGRESIVIDAD DEL SUELO

Para comprobar la agresividad del suelo en la zona de estudio se realizarán ensayos de contenido en sulfatos y de acidez Baumann-Gully, resultando en la totalidad de los ensayos efectuados, **agresividad nula**.

7.7.3. AGRESIVIDAD DEL AGUA

Se han analizado 2 muestras de agua, una extraída del sondeo S-01 y la otra del sondeo SR-02. Los resultados obtenidos son los siguientes:

Parámetro	S-01 (NF – 9,08 m)	S-02 (NF – 2,10 m)
PH	8,3	8,7
Magnesio (mg Mg ²⁺ /l)	7	4
Amonio (mg NH ₄ ⁺ /l)	0	0
Sulfato (mg SO ₄ ²⁻ /l)	28	31
CO ₂ (mg/l)	No contiene	No contiene

Parámetro	S-01 (NF – 9,08 m)	S-02 (NF – 2,10 m)
Residuo seco (mg/l)	101	162

Exposición de las muestras de agua analizada

Según estos resultados el agua presenta un **Ataque nulo**, por lo que es no será necesario el uso de cemento sulforresistente.

7.8. ESTUDIO DE RELLENOS

Los rellenos proyectados, a excepción de un relleno puntual de 2,00 m de altura en el eje 5, se corresponden con los empleados en muros. Los materiales con los que se construirán estos rellenos procederán de las excavaciones de los desmontes de la traza, material de graveras y de plantas de suministro próximas.

Se describirán las tipologías de materiales a emplear en la constitución de rellenos, saneos en caso de ser necesario y ejecución en obra.

7.8.1. Diseño de los rellenos

Se propone talud al 3H:2V el relleno de 2,00 m de altura proyectado en el eje 5. Debido a su escasa entidad, no se realizará cálculo de estabilidad global del mismo.

7.8.1.1. Tipología de relleno y materiales a emplear

Para establecer las características mínimas que deben cumplir los materiales a emplear en los rellenos a ejecutar, que serán de tipo terraplén, se han seguido las especificaciones del artículo 330 del “Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes (PG-3)”.

La coronación de rellenos de muros de escolleras y de hormigón, deberá realizarse con 1 m mínimo de material clasificado como adecuado con C.B.R. >5, exceptuando el tramo entre los PP.KK. 0+165-0+220 del eje-1 (M.I.) que se ejecuta un muro de hormigón in situ (muro tipo 2) con trasdosado de suelo cemento en toda su altura.

7.8.1.2. Ejecución en obra

Preparación de la superficie de apoyo de rellenos

Antes de proceder al extendido y compactación de los materiales se efectuará el desbroce del terreno y la excavación y almacenamiento de la tierra vegetal y traslado a vertedero del material inadecuado, si lo hubiera.

Una vez alcanzada la cota del terreno sobre la que finalmente se apoyará el relleno, se escarificará esa zona de apoyo y compactará con las condiciones exigidas para el cimientto del relleno, siempre que estas operaciones no empeoren la calidad del terreno de apoyo en su estado natural. En las zonas en las que el relleno deba construirse sobre un firme existente, se escarificará y compactará

éste según lo indicado en el artículo 303, “Escarificación y compactación del firme existente” del PG-3.

Cuando el relleno se asiente sobre un terreno en el que exista agua superficial, se conducirá el agua fuera del área donde vaya a construirse, antes de comenzar su ejecución, mediante obras que podrán tener el carácter de accesorias.

Las tongadas susceptibles de saturarse durante la vida del relleno se construirán con un material que tenga un comportamiento aceptable dicha acción (erosión, expansión y colapso, etc.).

Apoyo de rellenos sobre laderas

En el caso de que el relleno apoye sobre una ladera con pendiente superior al 20%, se escalonará la superficie de apoyo excavando banquetas o escalones, con el fin de evitar la formación de un posible plano de debilidad en la superficie de contacto con el terreno natural de la ladera. Las banquetas así originadas deberán quedar apoyadas en terreno suficientemente firme.

Se excavarán banquetas o escalones de anchura mínima sumando la longitud de relleno añadido en cada una sea de 5,0 m, con un talud de 60º de inclinación entre escalones, una altura máxima de 1,20 m y mínima de 0,30 m. El ancho mínimo de las banquetas será de 1,20 m, cumpliendo que al menos la longitud de terraplén añadido en ese caso sea al menos de 3,80 m, de forma que se cumpla que la suma de ambos sea superior al mínimo indicado de 5,0 m.

Con el fin de evitar la erosionabilidad del terreno por los agentes atmosféricos, el escalonado de las pendientes no deberá llevarse a cabo hasta el momento preciso y en las condiciones oportunas para reducir al mínimo el tiempo de exposición, salvo que se recurra a protecciones de dicha superficie.

Es conveniente que el escalonamiento de las laderas se realice con una pendiente del 2%, en el sentido que permita la evacuación del agua y evite posibles encharcamientos.

7.8.1.3. Calidad del Terreno de Apoyo

Los rellenos se apoyan mayoritariamente sobre los suelos cuaternarios de relleno de bancales (U.G. R2) que recubren a suelos aluviales y de cono de deyección. Por lo que se recomienda un saneo generalizado de la superficie de apoyo compuesta por rellenos que se estima tendrá una media de 1,00 m de espesor debido a la previsible heterogeneidad que presentan estos materiales y a propiedades geotécnicas desfavorables (compacidad floja o consistencia blanda). Otra opción que podrá tenerse en cuenta, será la compactación de los terrenos de apoyo sin realizar saneos o posteriormente a estos.

7.8.1.4. Asientos de rellenos

Los asientos esperados en los rellenos en estudio son debidos a la consolidación del propio relleno y especialmente a la consolidación del terreno de apoyo. Debido al saneo generalizado de 1,00 m propuesto y al carácter granular y compacidad del terreno de apoyo, no se consideran asientos debido a la consolidación del terreno de apoyo.

7.8.1.4.1.1. Asiento debido a la consolidación del cuerpo del terraplén

Los asientos que se producirá en el cuerpo de los rellenos dependerán básicamente de la altura de este, del tipo de material empleado y del grado de compactación que se alcance en obra. Su magnitud total es difícil de estimar y en la práctica, a efectos ingenieriles, únicamente tendrá significado la magnitud y el plazo en que se producirán los asientos residuales, después de terminada la ejecución de este.

Los asientos postconstructivos son difíciles de evaluar, sin embargo, a título orientativo se pueden evaluar de acuerdo con los siguientes datos, según se recomienda en la “Guía de Cimentaciones para obras de Carreteras” del Ministerio de Fomento.

Se recomienda utilizar los siguientes datos a título orientativo

$$S = \alpha \cdot H$$

Donde

H es la altura del relleno

α es un coeficiente de asiento, en el caso de rellenos tipo terraplén se ha adoptado un valor de 1,0% y en el caso de los rellenos tipo todo-uno 2,0%.

TIPO DE RELLENO ⁴	VALOR DE α (%)
Pedraplén	0,3
Terraplén	
Suelos seleccionados	0,5
Suelos adecuados	1,0
Todo-uno	0,5 a 2,0 (dependiendo de la naturaleza del material)

Conociendo que la altura máxima del relleno es de 6,00 m y al material que lo constituye, se espera un asiento máximo del 1%, siendo los asientos esperados de 6,00 cm. Dicho asiento se considera que se dará durante el proceso constructivo del relleno y no se tendrá en cuenta ningún asiento remanente al respecto.

7.8.1.5. Cuadro resumen rellenos

En la siguiente tabla resumen se incluyen los rellenos contemplados en los distintos ejes del trazado, según zonas de actuación, indicándose su PK inicial y final, longitud total, altura máxima, unidades geotécnicas donde apoyarán, tipología de contención, tipología de material constitutivo y una aproximación preliminar a la ejecución en obra:

Eje	Pki	Pkf	H máx. (m)	Longitud (m)	UG de apoyo	Desbroce y espesor de tierra vegetal a retirar (m)	Espesor de saneo	Talud / Medida de contención	Reconocimientos Geotécnicos	Tipo	Observaciones
1	0+148	0+165	3,85	16,5	P ₆	-	-	Muro ménsula tipo 1	EG-02; EG-03	Suelo cemento 0,60*H /	

Eje	Pki	Pkf	H máx. (m)	Longitud (m)	UG de apoyo	Desbroce y espesor de tierra vegetal a retirar (m)	Espesor de saneo	Talud / Medida de contención	Reconocimientos Geotécnicos	Tipo	Observaciones
										Adecuado C.B.R.>5	
1	0+165	0+220	5,75	95,2	P _G	-	-	Muro ménsula tipo 2	EG-04; EG-05; S-04; PSR-03	Suelo cemento	
1	0+220	0+315	6,35	55	P _G / VP _G	0,35	1	Muro ménsula tipo 1	EG-05; C-01; C-02	Suelo cemento 0,60*H / Adecuado C.B.R.>5	
1	0+315	0+363	5,75	48	Q _{AL-CD}	0,35	1	Muro ménsula tipo 3	PSP-01; S-03	Terraplén / Pedraplén	Requerirá abancalamiento de la superficie de apoyo. Coronación de relleno con suelo adecuado con C.B.R.>5.
1-6	0+363 (Eje 1)	0+016 (Eje 6)	5,25	56	Q _{AL-CD}	0,35	1	Muro ménsula tipo 4	PSP-01; PSP-02; S-02 ; S-03	Terraplén / Pedraplén	Requerirá abancalamiento de la superficie de apoyo. Coronación de relleno con suelo adecuado con C.B.R.>5.
5	0+000	0+025,5	2,20	25,5	Q _{AL-CD}	0,35	1	3H:2V	PSP-03; S-02	Terraplén / Pedraplén	Coronación de relleno suelo adecuado con C.B.R.>5

7.9. ESTUDIO DE DESMONTES

Para el estudio de desmontes previstos en el trazado se han tenido en cuenta los aspectos más significativos de los desmontes proyectados.

Para ello se han estudiado las características del terreno en que se excavarán, el aprovechamiento de los materiales producto de las excavaciones y se han realizado diferentes cálculos de estabilidad para los taludes definidos en el trazado.

7.9.1. METODOLOGÍA

El análisis de un desmonte depende de una serie de factores que condicionan el diseño y estabilidad de este. Entre los factores más importante, y que por tanto hay que definir con el mayor detalle posible, se encuentra la naturaleza de los materiales (suelo o roca), estado de estos (consistencia, compacidad, grado de alteración, etc.), estructura que presentan (masiva, estratificación, esquistosidad, etc.) y condiciones hidrogeológicas del desmonte.

Lógicamente, dichos parámetros se determinan con una campaña geotécnica adecuada y una cartografía geológica de detalle, todo ello acompañado con un completo y detallado inventario de taludes, tanto naturales como artificiales, excavados en obras existentes, permitiendo, de este modo, conocer el estado y comportamiento real de los taludes a largo plazo.

Una vez conocida la naturaleza y el estado de los materiales se identifica el comportamiento y el tipo de rotura e inestabilidad que pueden originar. Los materiales rocosos competentes dan lugar a caída de bloques y cuñas preferentemente, mientras que los suelos y rocas muy blandas y/o meteorizadas provocan una rotura global y generalizada, generalmente de magnitudes considerables.

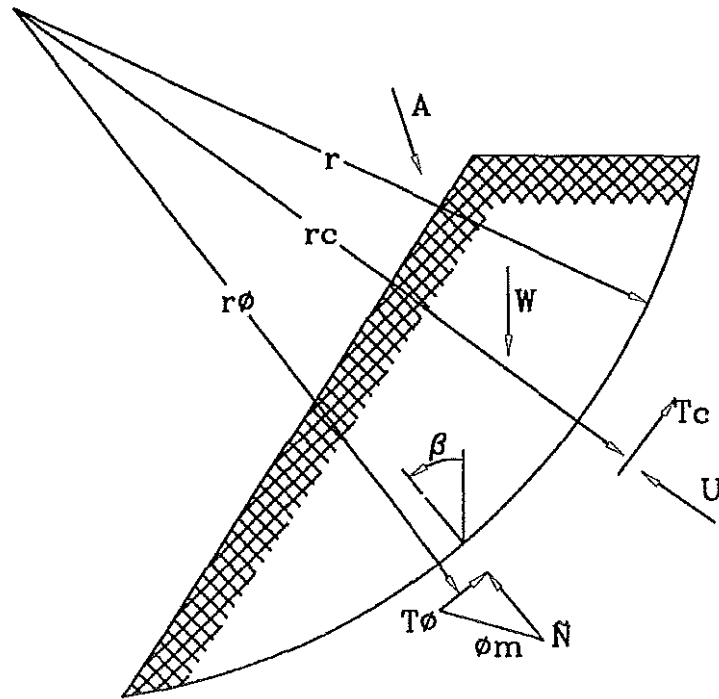
7.9.1.1. Mecanismos de rotura global

En desmontes excavados en suelos suele producirse una rotura global del talud en forma circular. Las condiciones en las que se da normalmente la rotura circular son aquellas en que el tamaño de las partículas del terreno, entendido este como un medio continuo, es muy pequeño en comparación con las dimensiones del talud.

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

Excepto en casos simples, en que el círculo crítico puede determinarse por métodos analíticos, en general su posición se obtiene mediante tanteos.

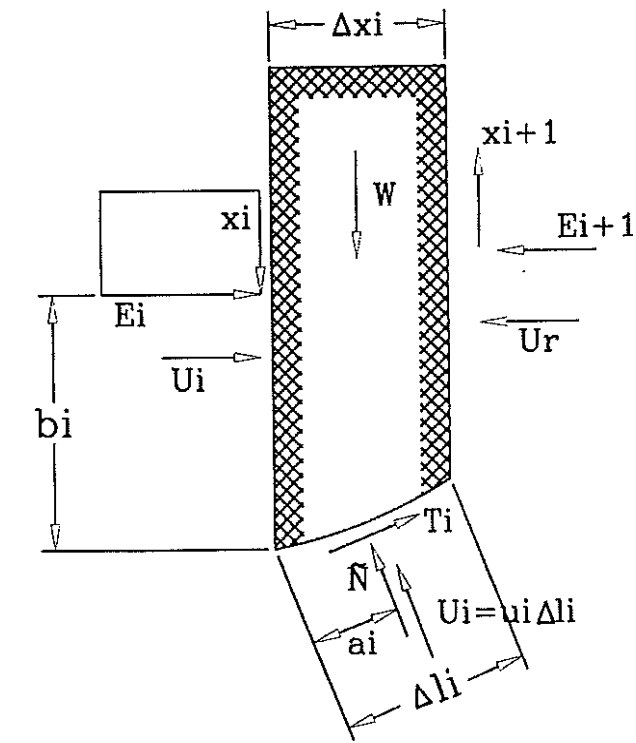
Como se observa en la figura adjunta, las fuerzas que actúan sobre una masa deslizante son: su peso, (W), la resultante de las fuerzas exteriores que gravitan sobre ella (A), la resultante de las tensiones tangenciales a lo largo de la línea de rotura, (T), y la resultante de las presiones intersticiales sobre dicha línea, (U).



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

En aquellos casos en que la superficie del talud es muy irregular o las superficies de rotura intersectan materiales con características geotécnicas diferentes, es necesario analizar la estabilidad del talud mediante otros métodos que se basan todos ellos en el denominado método de las fajas.

En el método de las fajas la masa deslizante se divide en un determinado número de rebanadas verticales y se considera el equilibrio de cada una de ellas. La Figura siguiente muestra una faja con el sistema de fuerzas actuantes.



Sistema de fuerzas actuantes en una rebanada

Para el estudio de los taludes se ha utilizado el Método de Bishop, en el cual no se descuida ninguna contribución de fuerzas operantes en los bloques. Fue el primero en describir los problemas relacionados con los métodos convencionales.

Las ecuaciones usadas para resolver el problema son:

$$\sum F_v = 0, \sum M_0 = 0, \text{ Criterio de rotura.}$$

$$F = \frac{\sum \{c_i \times b_i + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i\} \times \frac{\sec \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}}{\sum W_i \times \sin \alpha_i}$$

Los valores de (F) y de (DX) para cada elemento que satisfacen esta ecuación dan una solución rigurosa al problema. Como primera aproximación conviene escribir (DX= 0) e iterar para el cálculo del factor de seguridad, tal procedimiento es conocido como método de Bishop ordinario, los errores cometidos con respecto al método completo son de alrededor de un 1 %.

Los análisis de los desmontes contemplados en el presente Proyecto se han efectuado mediante la ayuda del programa informático SLIDE (versión 8) de la firma Rocscience.

Este programa calcula el equilibrio límite que se produce en un círculo de rotura predeterminado.

Los datos que requiere el programa son:

- Cohesión, ángulo de rozamiento interno y peso específico de los suelos.
- Geometría del talud. Es posible adaptar la geometría prácticamente sin limitaciones, así como considerar diferentes terrenos, cada uno de ellos con su geometría y características geotécnicas particulares.
- Es posible considerar un nivel freático de geometría lineal.
- El análisis se puede realizar tanto en condiciones estáticas como dinámicas.

7.9.1.2. Mecanismos de rotura estructural

Dado que los desmontes a excavar afectarán en algunos casos a materiales rocosos, se ha estudiado la posibilidad de que se produzcan roturas estructurales a favor de las discontinuidades existentes.

El análisis de rotura estructural de los taludes se refiere a la posibilidad de que la estructura de la fracturación independice volúmenes de roca inestables.

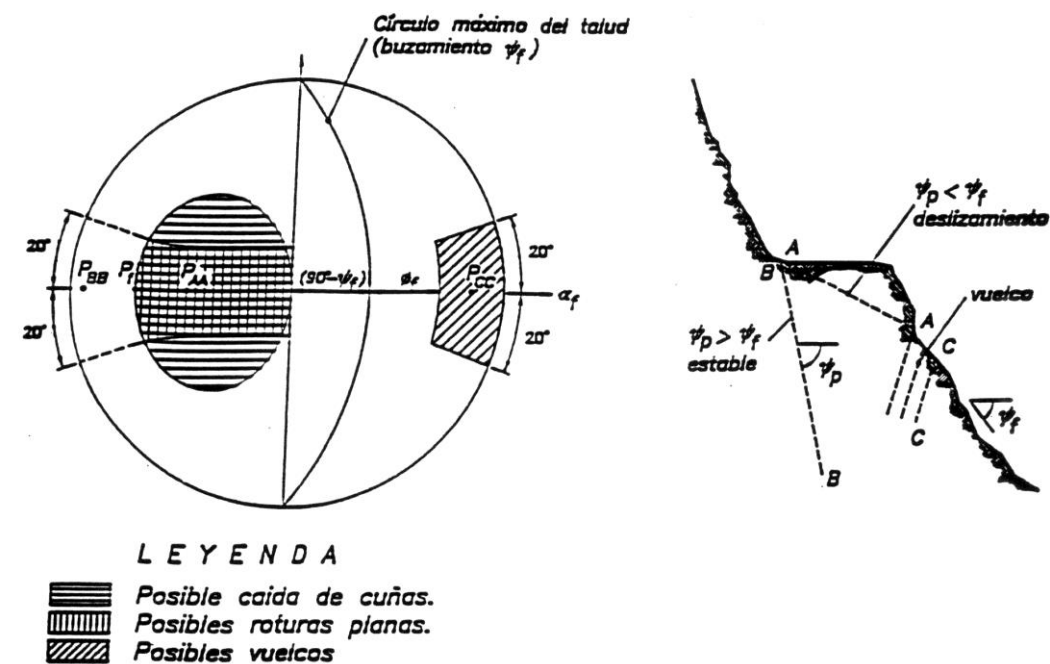
En los desmontes que se sitúan en roca, con distinto grado de alteración, cabe esperar que se produzcan roturas a favor de las juntas primitivas del macizo rocoso (mecanismos de rotura por vuelco o "toppling", deslizamiento plano y deslizamiento de cuñas).

El análisis cinemático, posibilidad de movimiento de las masas rocosas independizadas por las juntas se ha realizado utilizando la proyección estereográfica, con ayuda del programa DIPS.

La configuración de los principales tipos de bloques inestables en taludes ha sido definida por Hoek y Bray (1981) según se presenta en la siguiente figura. Los tipos más comunes de rotura son:

- Deslizamiento plano.
- Deslizamiento en cuña.
- Rotura por vuelco o "toppling".

El análisis del deslizamiento plano se ha hecho utilizando el equilibrio límite basado en la cohesión y el ángulo de fricción del plano de deslizamiento (Hoek y Bray, 1981). En caso de ser necesario refuerzo, normalmente mediante bulones pasivos, se dimensionaría a cortante.



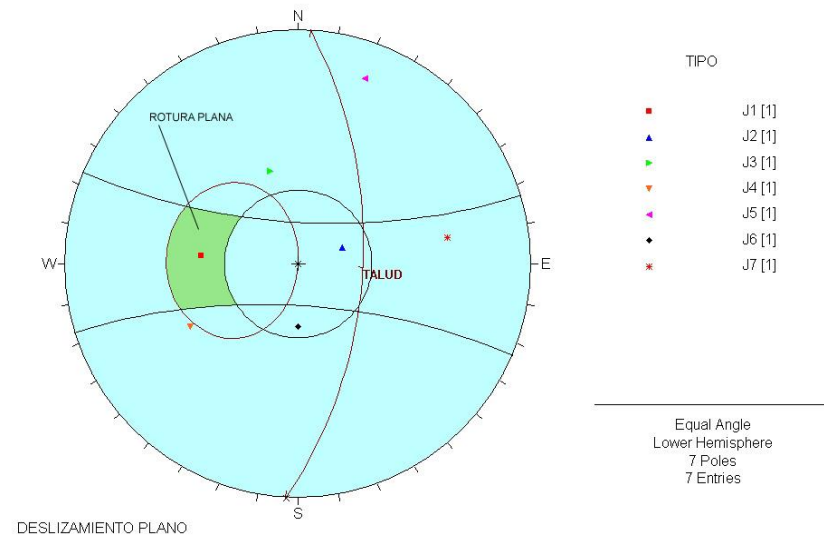
Principales mecanismos de rotura por fallo estructural.

Desde el punto de vista práctico, las condiciones que permiten evaluar el riesgo de fallo para cada tipo de rotura son los siguientes:

Deslizamiento plano

Para que se produzca este mecanismo de inestabilidad se requiere que el potencial plano de rotura buce en el mismo sentido que el talud, a la vez que la dirección de buzamiento de dicho plano ha de estar en un rango de $+ 20^\circ$ respecto a la del talud.

Para evaluar estas condiciones se emplea la representación estereográfica. La figura expuesta a continuación muestra un análisis de este tipo realizado mediante el programa DIPS. El área indicada encerrará a los polos de los planos a favor de los cuales se puede generar la inestabilidad.

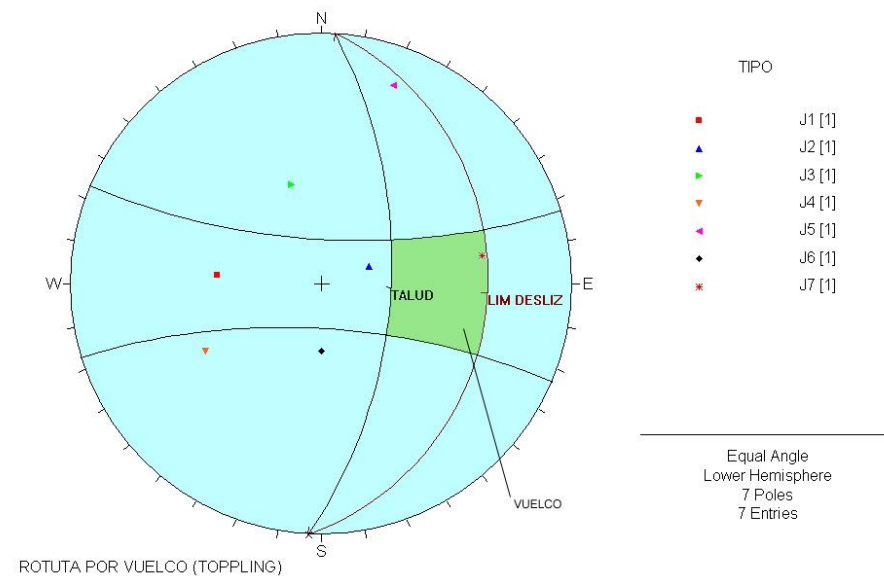


Ejemplo de análisis para rotura planar.

Rotura por vuelco o “toppling”

Para que se produzca este tipo de inestabilidad se requiere que el potencial plano de rotura tenga su buzamiento en sentido contrario al del talud. Asimismo, la desviación de dicho plano ha de estar en un rango de + 20° respecto a la del talud.

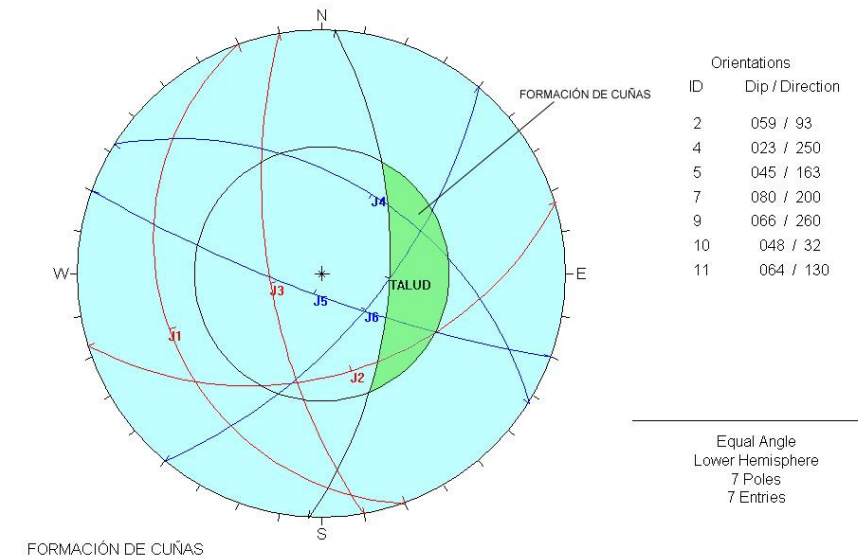
Para evaluar esta configuración con la ayuda de la representación estereográfica, el programa DIPS permite obtener análisis como el mostrado en la próxima figura, donde el área señalada indica la localización de los polos de aquellos planos a favor de los cuales se puede generar rotura por vuelco.



Ejemplo de análisis para rotura por vuelco o “toppling”.

Deslizamiento en cuña

Mediante el programa DIPS es posible analizar a través de la representación estereográfica la configuración geométrica de las discontinuidades y la disposición de las mismas respecto al talud. La siguiente figura muestra el estudio de la posible formación de cuñas; aquellos planos de discontinuidad susceptibles de generar cuñas deberán intersectar en el área señalada.



Ejemplo de análisis para deslizamiento en cuña.

Con objeto de evaluar el grado de inestabilidad de las cuñas descalzadas por las excavaciones, se ha calculado el coeficiente de seguridad frente al peso propio de la cuña. Esta metodología permite obtener el coeficiente de seguridad al deslizamiento a partir de la geometría de los planos que forman la cuña y el ángulo de fricción y la cohesión de las superficies que definen las juntas.

Como herramienta de cálculo se utiliza el programa SWEDGE (Versión 7, año 2019) de la Universidad de Toronto (Rock Engineering Group).

Este programa requiere para el cálculo:

- La geometría del talud, definida por su dirección de buzamiento, y buzamiento, la altura del banco, y en el que puede considerarse una inclinación del terreno natural y una dirección de buzamiento del mismo que puede ser distinta que la del talud.
- Las características de la posible grieta de tracción en coronación, si bien este dato es más útil para un análisis retrospectivo que para un diseño en base a la formación de la cuña máxima posible.
- La cohesión y el ángulo de fricción de cada plano de junta.

Como resultado, proporciona el coeficiente de seguridad frente al peso de la cuña. En el caso de que el coeficiente de seguridad no sea satisfactorio, es posible la colocación de bulones y el cálculo del nuevo factor de seguridad.

7.9.1.3. Factores de seguridad

Los factores de seguridad que se requieren en el proyecto, excepto en el caso que se diga lo contrario, son:

- Situación casi permanente: $F_s \geq 1,5$
- Situación característica (temporal): $F_s \geq 1,3$
- Situación accidental (con sismo): $F_s \geq 1,10$.

No es de aplicación la Norma Sismorresistente (NCSR-02) al no encontrarse la zona en estudio en un área con aceleración básica igual o superior a $0,04 \cdot g$, por lo que no se aplicarán las fuerzas de inercia sísmica para los análisis pseudo-estáticos.

7.9.2. EXCAVABILIDAD

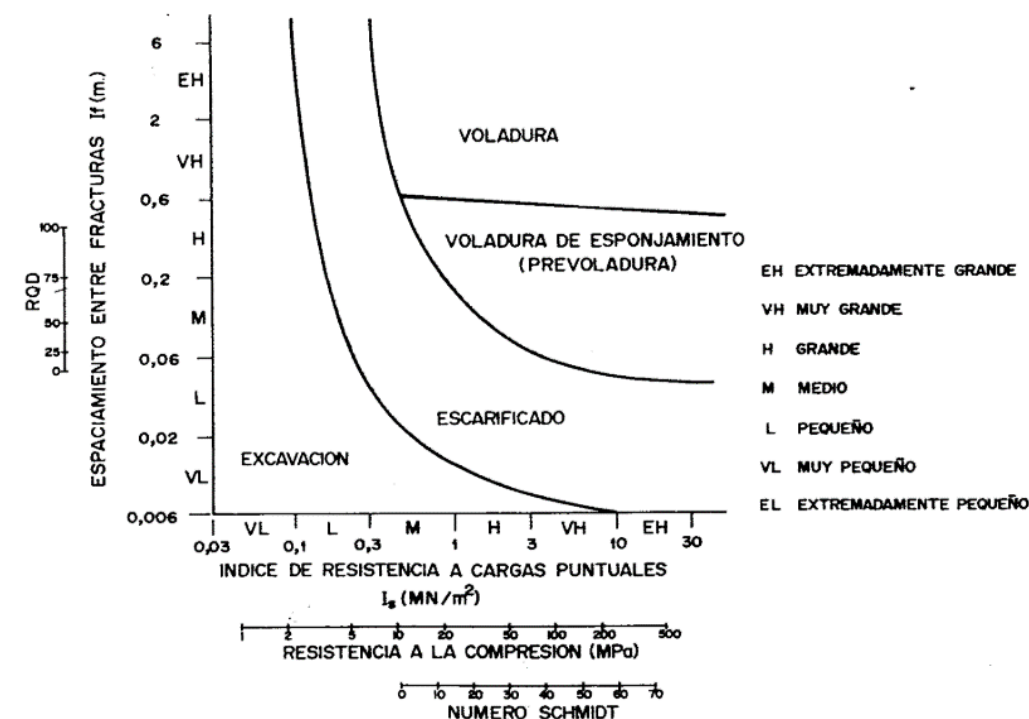
En este apartado se estudia la excavabilidad del material existente. La excavabilidad de los materiales depende de su resistencia, de la presencia de discontinuidades que permitan su arranque a través de determinadas familias y finalmente de la maquinaria utilizada. Bajo el término excavabilidad se engloban las siguientes posibilidades:

- Excavable o Ripable: Excavación mediante medios mecánicos
- Excavable con ayuda de voladura: Excavación mediante combinación de medios mecánicos y explosivos
- Voladura: Excavación mediante el empleo de explosivos

Los depósitos cuaternarios y las rocas con grado de meteorización IV o superior, son excavables o ripables mediante medios mecánicos.

Para determinar la excavabilidad de los materiales rocosos con GM III o inferior presentes a lo largo del trazado en estudio, se pueden emplear dos criterios:

- El Criterio de Excavabilidad de Franklin et al. (1971): en el que se plantea que la excavabilidad se basa en los valores del espaciamiento entre las grietas y en la resistencia a la compresión simple de las rocas (R_c). Es una clasificación muy conservadora ya que exige voladura para rocas masivas a partir de una resistencia a la compresión lineal muy baja. De cara a futuras fases de redacción, mediante la información geotécnica que se obtenga en la campaña geotécnica del corredor que se está desarrollando durante la redacción de este documento, se afinará y corroborará la excavabilidad propuesta para los materiales que serán excavados a lo largo del trazado.



Criterio de excavabilidad de Franklin

- En base a las velocidades sísmicas obtenidas en función de la pre-interpretación realizada por Teoría de Rayos y empleando el Manual para el control y diseño de voladuras en obras de carreteras, editado por el Ministerio de Fomento (Dirección General de Carreteras), en su Serie Normativas, Instrucciones de Construcción (año 1998), donde se hace la siguiente valoración entre la velocidad sísmica y las características de la excavación:
 - Velocidades < 1500 m/s: Rocas excavables con moto traíllas, excavadoras o tractores. No precisan voladuras.
 - Velocidades 1500-2000 m/s: Ripado fácil. Excavación de estratos sin volar, algo difícil para excavadoras o tractores con ripper.
 - Velocidades 2000-2500 m/s: Ripado algo costoso. Voladuras ligeras (p.e. grandes esquemas, grandes longitudes de retacado, bajos consumos específicos).
 - Velocidades 2500-3000 m/s: Se precisan voladuras ligeras. Prevoladuras.
 - Velocidades > 4500 m/s: Se precisan voladuras importantes (p.e. esquemas de perforación cerrados, pequeñas longitudes de retacado, altos consumos específicos).

Siguiendo dichos criterios, en base al espaciamiento entre juntas observado en las estaciones geomecánicas (entre 0,20 – 2,00 m), a los valores obtenidos en los ensayos de rotura a compresión simple en roca y a la velocidad de propagación de las ondas sísmica obtenidas en los perfiles de sísmica de refracción, se considera necesario el uso de voladuras para la excavación de la unidad

geotécnica compuesta por granito porfídico con grado de meteorización menor o igual a III (P_G con $GM \leq III$).

Superficialmente, debido a la alteración que presenta principalmente por el efecto de la vegetación y sus raíces en las juntas, se considera parcialmente excavable con medios mecánicos mediante martillo hidráulico.

A continuación, se incluye tabla indicando la excavabilidad de las diferentes unidades geotécnicas presentes en el área de estudio que son susceptibles de ser excavadas por las obras proyectadas:

Unidad Geotécnica	Descripción	Espaciado (m)	RCS (MPa)	Vp (m/s)	Excavabilidad
R1	Rellenos zona antropizada	-	-	< 1.500	Fácilmente excavable con medios mecánicos convencionales
R2	Relleno autóctono (bancales de labranza)	-	-	< 1.500	
Q _C	Coluvial (arenas y limos con cantos dispersos)	-	-	< 1.500	
Q _{AL}	Aluvial (bolos, gravas y arenas)	-	-	< 1.500	
Q _{CD}	Cono de deyección (arenas y gravas)	-	-	< 1.500	
VP _G	Granito alterado a suelo con enclaves graníticos ($GM > III$)	-	-	1.300 - 2.400	Excavable moderado a marginal con ayuda de martillo picador
P _G	Granito ($GM \leq III$)	0,20-2,00	55	> 2.400	Ripado costoso, prevoladura / voladura

Debido a las características del macizo rocoso, como se indica anteriormente, se considera necesario el uso de una voladura para arrancar la roca entre los PP.KK. 0+121 y 0+245. Debido a las características y perfil cambiantes en la zona, se han diseñado 3 voladuras tipo que se corresponden a tres tramos muy diferenciados:

Entre los PP.KK. 0+121 y 0+143 existe la suficiente plataforma de perforación para llevar a cabo el arranque de la roca mediante una voladura que se asemeja a una típica voladura en banco.

Entre los PP.KK. 0+143 a 0+155 debido al perfil del macizo, se realizará una combinación de perforaciones verticales y horizontales típicas de las voladuras a media ladera.

Entre los PP.KK. 0+155 a 0+245, debido a las características de la capa de roca, esta se volará mediante barrenos horizontales perforados desde la traza de la carretera proyectada.

En el "Apéndice 8. Informe técnico sobre el uso de voladuras para el desmonte asociado a la carretera N-110" se detallan las características de cada tipo de voladura y los condicionantes tenidos en cuenta durante el diseño.

7.9.3. APROVECHAMIENTO DE LOS MATERIALES PROCEDENTES DE LAS EXCAVACIONES DE LA TRAZA

Los materiales procedentes de las excavaciones a realizar a lo largo del trazado estudiado han sido caracterizados mediante el análisis en laboratorio de muestras obtenidas a lo largo de la campaña de investigación.

Se incluye a continuación la tabla resumen de reutilización de materiales, en la que se describen las unidades geológicas-geotécnicas existentes en el trazado, clasificándolos materiales según el PG-3 y por último indicando su reutilización:

Ud. Geotécnica	Litología	Clasificación PG-3	Reutilización	Observaciones
R2	Relleno autóctono (bancales de labranza)	Tolerable	Reposición	Debido a su heterogeneidad se consideran aptos para reposición de bancales.
QAL	Aluvial (bolos, gravas y arenas)	Seleccionado	Núcleo y cimiento	Se consideran aptos para núcleo y cimiento a confirmar en siguiente fase de proyecto tras realización de ensayo C.B.R.
QCD	Cono de deyección (arenas y gravas)			
VPG	Granito alterado a suelo con enclaves graníticos ($GM V$; eluvial)	Tolerable	Núcleo y cimiento	Materia Orgánica <2%.
VPG	Granito alterado ($GM IV$)	Adecuado	Coronación / S-EST3	Materia orgánica <1%
PG	Granito ($GM \leq III$)	Roca	60 % Pedraplén / 40% Escollera	

7.9.4. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

Para el estudio de estabilidad de los desmontes se han utilizado los parámetros de cálculo que se muestran en la siguiente tabla:

UG	γ_{ap} (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)
R2	19	10	28
Q _{AL} - Q _{CD}	20	10	38
VPG GM _{IV}	19	10	33
VPG GM _{IV} SUP	24	40	37
VPG GM _{IV} INF	24	80	45

CARACTERÍSTICAS GEOMECÁNICAS DE LA MATRIZ ROCOSA C ₁									
Tipo de roca	γ (kN/m ³)	Roca intacta			Hoek&Brown			Mohr-Coulomb	
		σ_i (MPa)	E_i (MPa)	m_i	mb	s	a	c (kPa)	ϕ (°)
Granito P _G GM II	27	55	23.375	32	4,67	0,0063	0,502	452	65

Como norma general, se han diseñado taludes de desmonte han sido 3H:2V para suelos cuaternarios de escasa altura, 1H:1V para suelos de alteración y 2H:3V para taludes ejecutados en roca. Puntualmente se ha definido un talud al 1H:3V en sustrato con diferente grado de alteración, debido a ocupación, incrementando la estabilidad de este mediante medidas de sostenimiento. En sucesivos apartados se analizarán las diferentes secciones.

En el presente apartado se analiza la estabilidad de los desmontes con las características más desfavorables, considerando la altura máxima. Se considera que, si los de mayor altura e inclinación son estables, los de menor altura también lo serán.

7.9.4.1. Desmontes en suelo

Los desmontes proyectados en suelos se corresponden a los proyectados en el sustrato granítico con grado de meteorización mayor a III y aquellos de menor entidad en suelos cuaternarios, para los que se proponen medidas de contención consistentes en muros de escollera.

A continuación, se realiza un análisis pormenorizado de las secciones de mayor entidad:

7.9.4.1.1. Desmonte eje 1 entre los PPKK 0+155 a 0+245

Descripción

Se analiza el tramo de desmonte proyectado en el eje 1. entre los PPKK 0+155 y 0+245 con una longitud de 90 m y una altura máxima en la margen derecha de 16,00 m, de los cuales, los cinco metros inferiores están compuestos por sustrato rocoso sano.

Investigaciones geotécnicas disponibles

Reconocimientos Geotécnicos
S-04; PS-03; EG-01; EG-02; EG-03; EG-04; EG-05

Estratigrafía

Se ha adoptado la siguiente estratigrafía representativa del desmonte en la zona de mayor altura de excavación en el PK 0+200:

- De 0,00 a 2,00 m Suelo eluvial de granito. VPG GM V.
- De 2,00 a 7,00 m Granito porfídico con grado de meteorización IV superior.

- De 7,00 a 11,00 m Granito porfídico con grado de meteorización IV inferior.
- 11,00 m en adelante Granito porfídico con grado de meteorización II.

No se detectó nivel freático en el sondeo S-04 efectuado.

Parámetros geotécnicos

A continuación, se incluye tabla resumen con los parámetros geotécnicos adoptados para las diferentes unidades presentes:

UG	γ_{ap} (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)
VPG GMV	19	10	33
VPG GM IV Superior	24	40	37
VPG GM IV Inferior	24	80	45
PG GM II	27	450	65

Excavabilidad y reutilización

La excavabilidad y reutilización de los diferentes materiales se recoge a modo de resumen en la siguiente tabla:

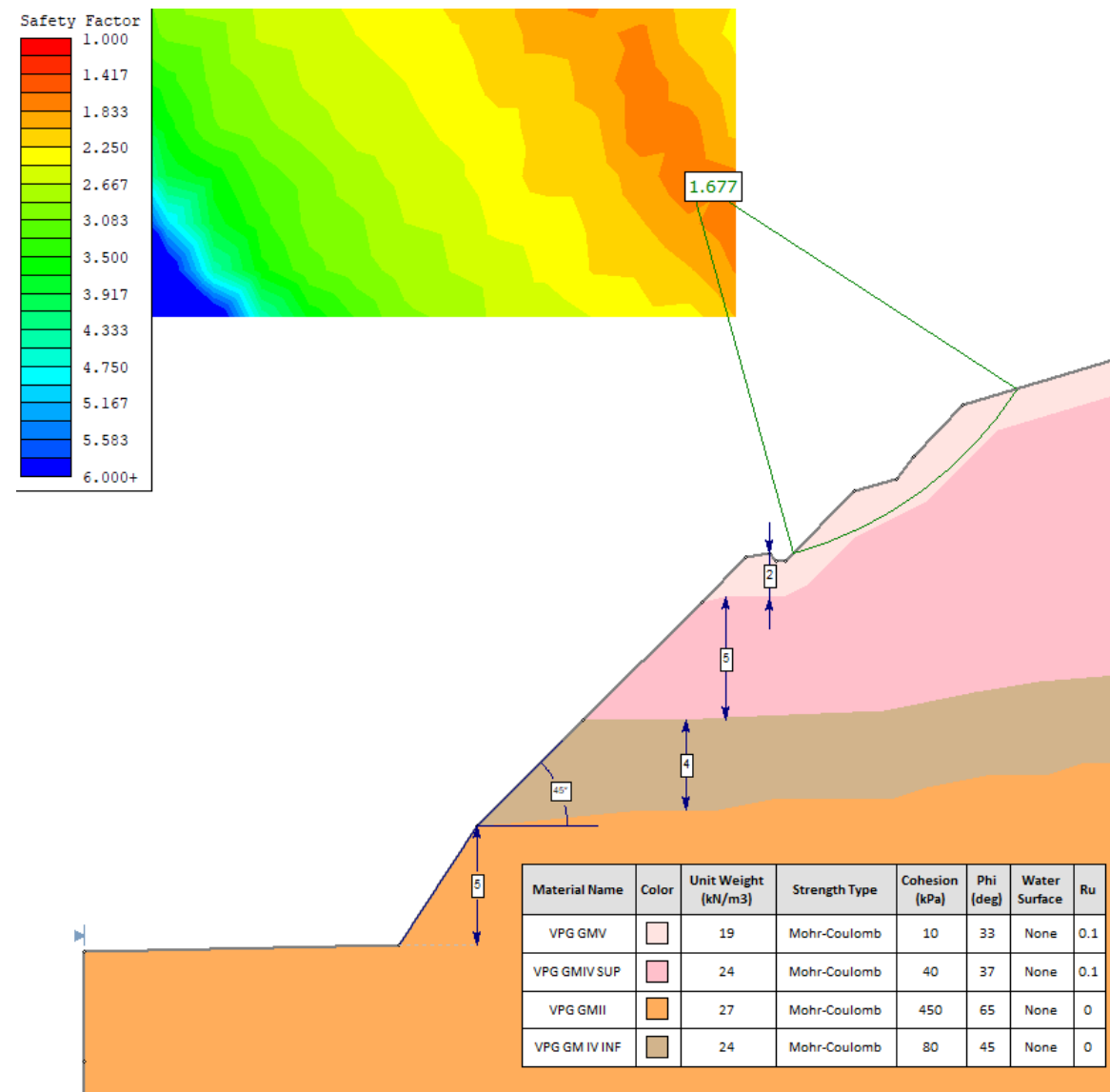
U.G.	Excavabilidad	Clasificación PG3	Reutilización
VPG GMV	Medios mecánicos	Tolerable	Núcleo y cimiento
VPG GM IV	Excavable moderado a marginal con ayuda de martillo picador	Adecuado	Coronación / S-EST3
PG	Ripado costoso, prevoladura / voladura	Roca	60 % Pedraplén / 40% Escollera

Diseño y cálculo de estabilidad

El talud propuesto es el 1H:1V para los 11 m superiores constituidos por sustrato alterado. En los cinco primeros metros constituidos por sustrato rocoso sano, se dispondrá un talud al 2H:3V. Se analizará por en el presente apartado, la estabilidad global del talud.

En la parte superior de la excavación, en los dos primeros metros, se excavarán suelos eluviales tipo jabre. Para evitar la erosión y degradación de estos suelos a largo plazo, se dispondrá además una protección de piel de escollera adosada al talud de 0,50 m de ancho.

Como se puede observar en la salida gráfica que se incluye a continuación, el factor de seguridad obtenido es superior a 1,5. Cumple con el factor de seguridad mínimo establecido para taludes permanentes.



Análisis estabilidad desmonte PK 0+200 eje 1, FS=1,67.

7.9.4.1.2. Desmonte eje 1 entre los PPKK 0+245 a 0+290

Descripción

Se analiza el tramo de desmonte proyectado en el eje 1. entre los PPKK 0+245 y 0+290 con una longitud de 45 m y una altura máxima en la margen derecha de 9,00 m.

Investigaciones geotécnicas disponibles

Reconocimientos Geotécnicos
PS-03; C-01; C-02; S-04

Estratigrafía

Se ha adoptado la siguiente estratigrafía representativa del desmonte en la zona de mayor altura de excavación en el PK 0+260.

- De 0,00 a 2,00 m Suelo eluvial de granito. VPG GM V.
- De 2,00 a 5,00 m Granito porfídico con grado de meteorización IV superior.
- De 5,00 a 7,00 m Granito con GM IV inferior.
- 7,00 m en adelante Granito porfídico con grado de meteorización II.

No se detectó nivel freático en el sondeo S-04 efectuado.

Parámetros geotécnicos

A continuación, se incluye tabla resumen con los parámetros geotécnicos adoptados para las diferentes unidades presentes:

UG	γap (kN/m ³)	c' (kPa)	φ' (º)
VPG GMV	19	10	33
VPG GM IV superior	24	40	37
VPG GM IV inferior	24	80	45
PG GM II	27	450	65
Piel de escollera	20	5	45

Excavabilidad y reutilización

La excavabilidad y reutilización de los diferentes materiales se recoge a modo de resumen en la siguiente tabla:

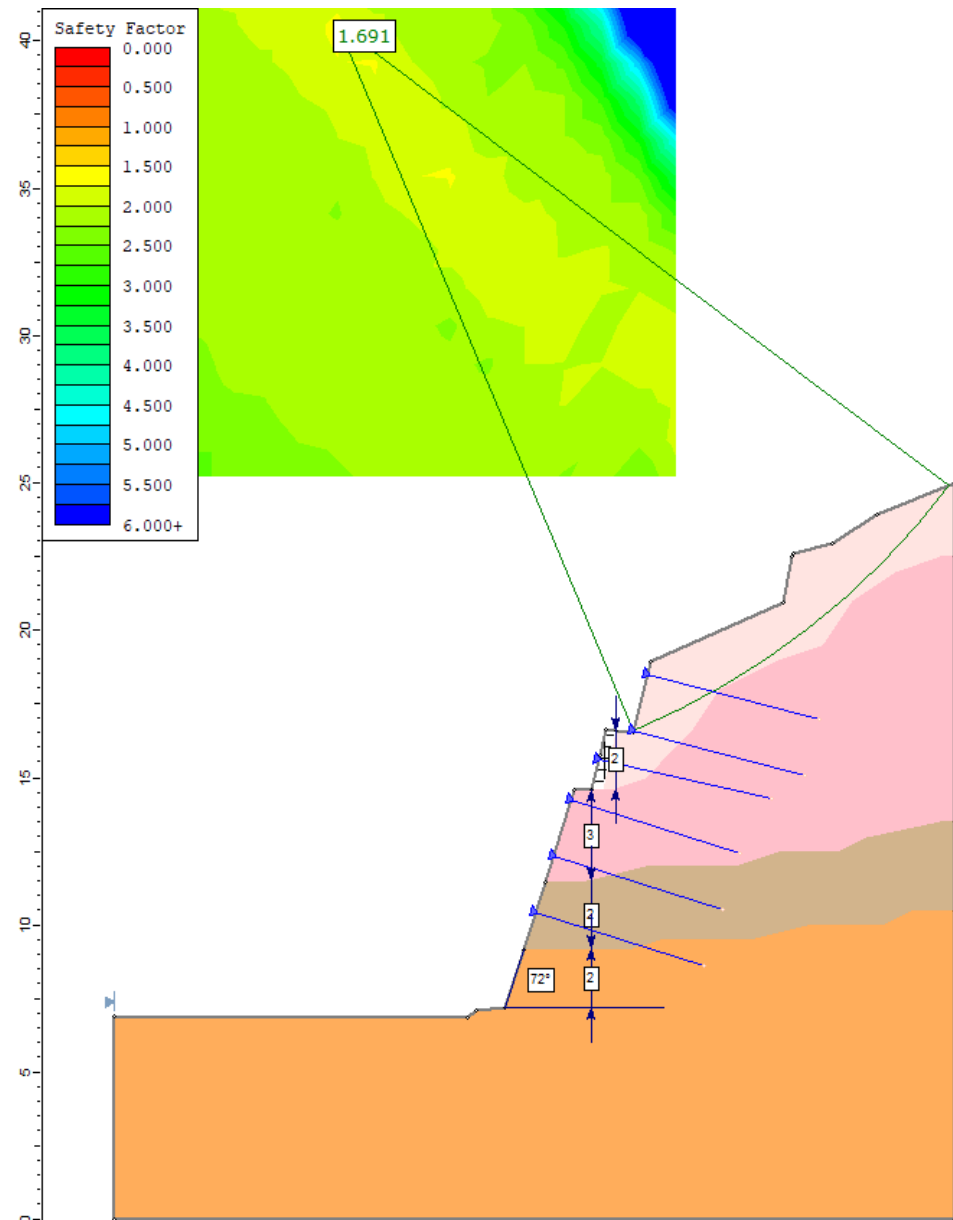
U.G.	Excavabilidad	Clasificación PG3	Reutilización
VPG GMV	Medios mecánicos	Tolerable	Núcleo y cimiento
VPG GM IV	Excavable moderado a marginal con ayuda de martillo picador	Adecuado	Coronación / S-EST3
PG	Ripado costoso, prevoladura / voladura	Roca	60 %Pedraplén / 40% Escollera

Diseño y cálculo de estabilidad

El talud propuesto es el 1H:3V debido a problemas de ocupación. Para garantizar la estabilidad del talud se requiere disponer un sostenimiento a base de bulones pasivos $\phi=32\text{mm}$ de $L=6\text{m}$ espaciados $2 \times 2\text{ m}$. Para la contención de cuñas entre bulones, se dispone además de una red de cables en cuadrícula de $2 \times 2\text{m}$ y de una malla de triple torsión colgada en coronación.

En la parte superior de la excavación, en los dos primeros metros, se excavarán suelos eluviales tipo jabre. Para evitar la erosión y degradación de estos suelos a largo plazo, se dispondrá además una protección de piel de escollera adosada al talud de $0,50\text{ m}$ de ancho.

Como se puede observar en la salida gráfica que se incluye a continuación, el factor de seguridad obtenido es superior a 1,5. Cumple con el factor de seguridad mínimo establecido para taludes permanentes.



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	Water Surface	Ru
VPG GMV		19	Mohr-Coulomb	10	33	None	0.1
VPG GM IV SUP		24	Mohr-Coulomb	40	37	None	0.1
PG GM II		27	Mohr-Coulomb	450	65	None	0
VGP GIV INF		24	Mohr-Coulomb	80	45	None	0
Pie de escollera		20	Mohr-Coulomb	5	45	None	0

Análisis estabilidad desmonte PK 0+260 eje 1, FS=1,69.

7.9.4.1.3. **Desmonte eje 1 entre los PPKK 0+290 a 0+320**

Descripción

Se analiza el tramo de desmonte proyectado en el eje 1 con escollera en todo su desarrollo entre los PPKK 0+290 y 0+320 con una longitud de 30 m y una altura máxima en la margen derecha de $6,00\text{ m}$ en el PK 0+290.

Investigaciones geotécnicas disponibles

Reconocimientos Geotécnicos
PSP-01; S-03

Estratigrafía

Se ha adoptado la siguiente estratigrafía representativa del desmonte en la zona de mayor altura de excavación en el PK 0+290:

- De $0,00$ a $1,50\text{ m}$ Relleno autóctono de bancal R2.
- De $1,50$ a $6,00\text{ m}$ Depósitos cuaternarios aluviales o de cono de deyección Q_{AL} o Q_{CD} .
- De $6,00$ en adelante Granito porfídico con grado de meteorización II.

Parámetros geotécnicos

A continuación, se incluye tabla resumen con los parámetros geotécnicos adoptados para las diferentes unidades presentes:

UG	γ_{ap} (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)
R2	19	10	28
$Q_{AL} - Q_{CD}$	20	10	38
P_G GMII inferior	27	450	65
Material granular	20	1	35
Escollera	20	0	45

En el programa de cálculo de estabilidad, la escollera se ha definido siguiendo las directrices expuestas en la Guía de Cimentaciones en Obras de Carretera (material anisótropo con cohesión nula para superficies de rotura a través de la contrainclinación ($18^\circ \pm 10^\circ$) de las hiladas de los bloques que la conforman).

Excavabilidad y reutilización

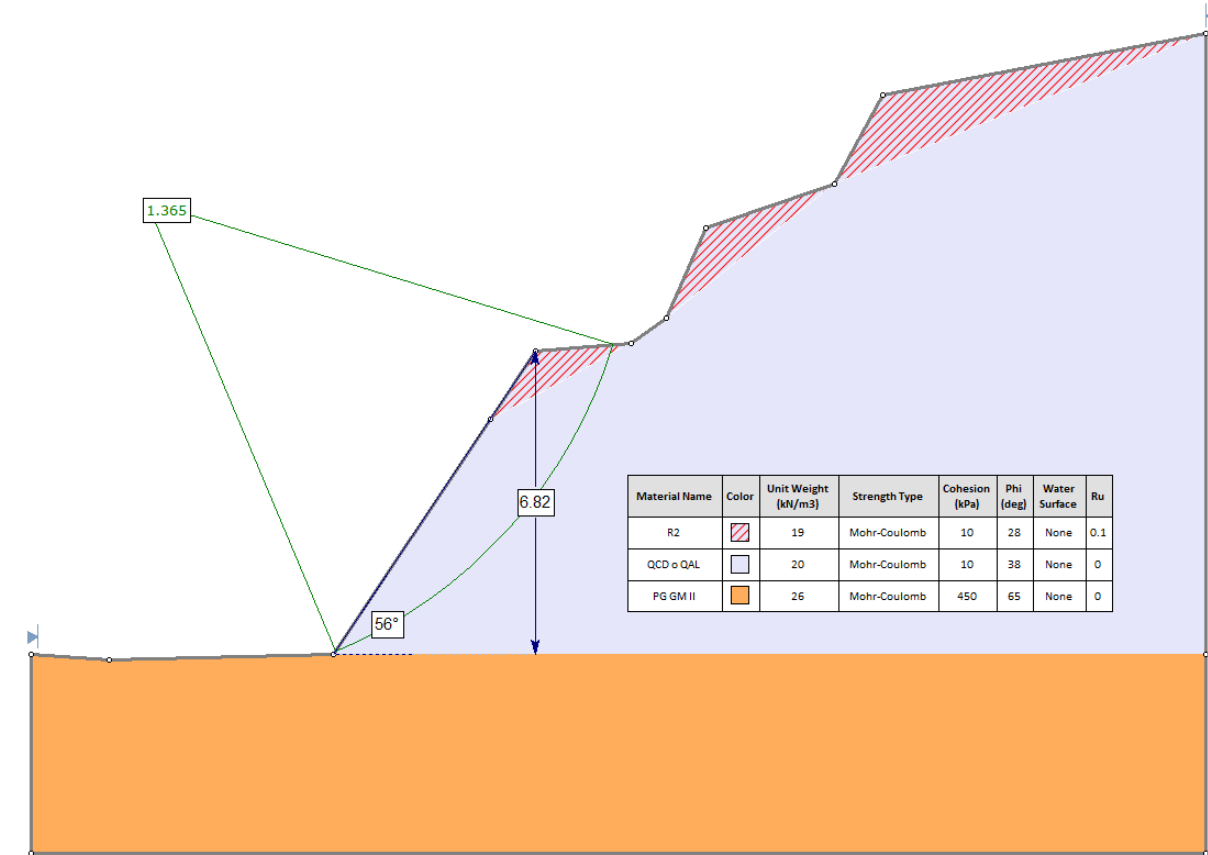
La excavabilidad y reutilización de los diferentes materiales se recoge a modo de resumen en la siguiente tabla:

U.G.	Excavabilidad	Clasificación PG3	Reutilización
R2	Medios mecánicos	Tolerable	Reposición de bancales
QAL o QCD	Medios mecánicos	Seleccionado	Núcleo y cimiento
PG con GM II	Ripado costoso, prevoladura / voladura	Roca	60 % Pedraplén / 40% Escollera

Diseño y cálculo de estabilidad

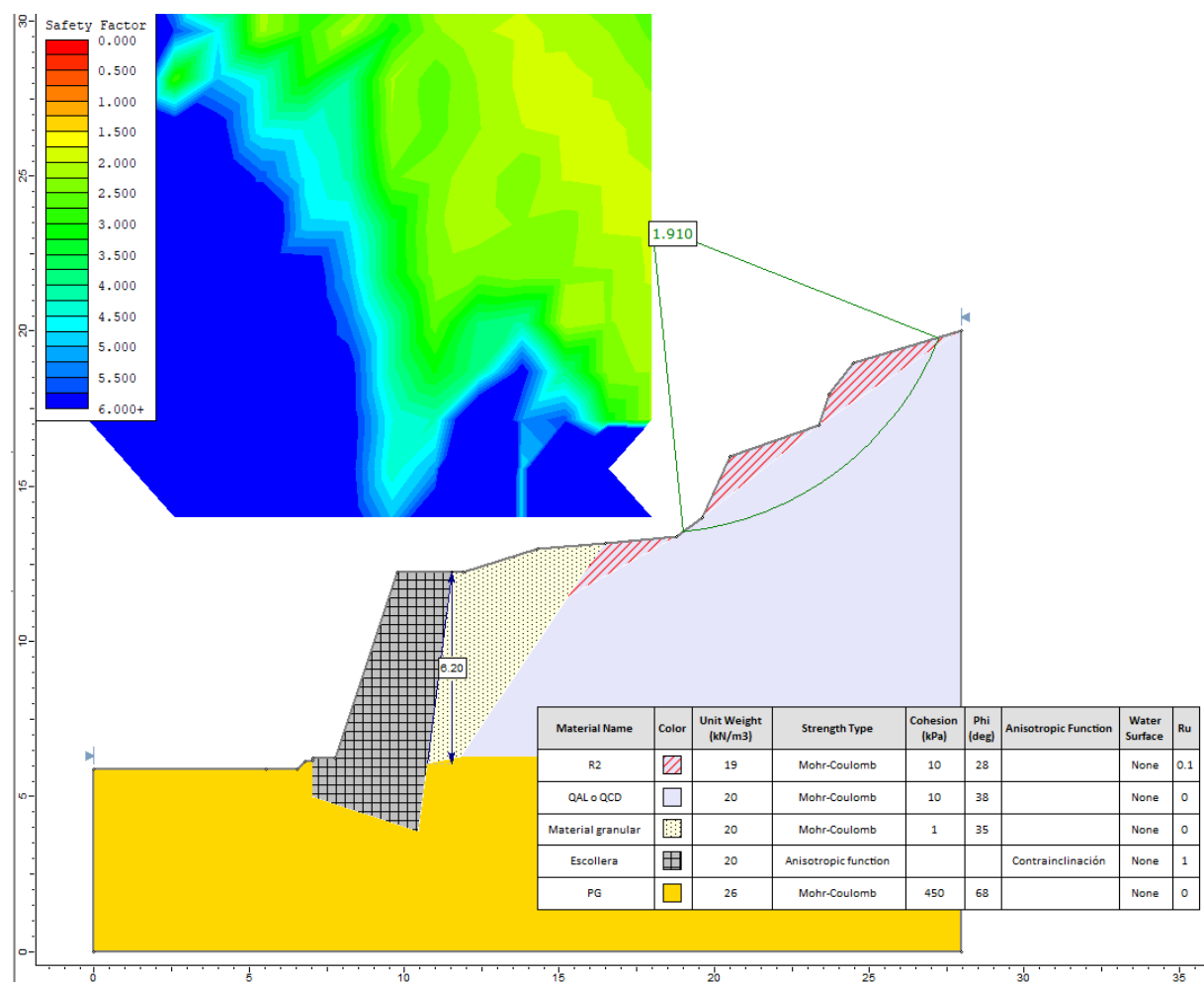
Se proyecta un muro de escollera al 1H:3V de hasta 6 m de altura al pie del talud. Se analizará la estabilidad global de la excavación provisional del talud con inclinación al 2H:3V y la estabilidad para situación permanente una vez construido el muro de escollera.

Como se puede observar en la salida gráfica que se incluye a continuación, el factor de seguridad obtenido es superior a 1,3. Cumple con el factor de seguridad mínimo establecido para taludes provisionales.



Análisis estabilidad talud provisional PK 0+290 eje 1, FS=1,36.

Como se puede observar en la salida gráfica que se incluye a continuación, el factor de seguridad obtenido es superior a 1,50. Cumple con el factor de seguridad mínimo establecido para taludes permanentes.



Análisis estabilidad desmonte PK 0+290 eje 1 con escollera H=6,00m. FS=1,91.

7.9.4.1.4. Desmonte eje 2 entre los PPKK 0+028 a 0+0+060

Descripción

Se analiza el tramo de desmonte proyectado en el eje 2 con escollera en todo su desarrollo. entre los PPKK 0+028 y 0+060 con una longitud de 22 m y una altura máxima en la margen derecha de 9,00 m en el PK 0+040.

Investigaciones geotécnicas disponibles

Reconocimientos Geotécnicos
PSP-02; S-02

Estratigrafía

Se ha adoptado la siguiente estratigrafía representativa del desmonte en la zona de mayor altura de excavación en el PK 0+040:

- De 0,00 a 1,50 m Relleno autóctono de bancal R2.
- De 1,50 en adelante Depósitos cuaternarios aluviales o de cono de deyección Q_{AL} o Q_{CD}.

Parámetros geotécnicos

A continuación, se incluye tabla resumen con los parámetros geotécnicos adoptados para las diferentes unidades presentes:

UG	γap (kN/m ³)	c' (kPa)	φ' (°)
R2	19	10	28
Q _{AL} - Q _{CD}	20	10	38
Material granular	20	1	35
Escollera	20	0	45

En el programa de cálculo de estabilidad, la escollera se ha definido siguiendo las directrices expuestas en la Guía de Cimentaciones en Obras de Carretera (material anisótropo con cohesión nula para superficies de rotura a través de la contrainclinación (18°±10°) de las hiladas de los bloques que la conforman).

Excavabilidad y reutilización

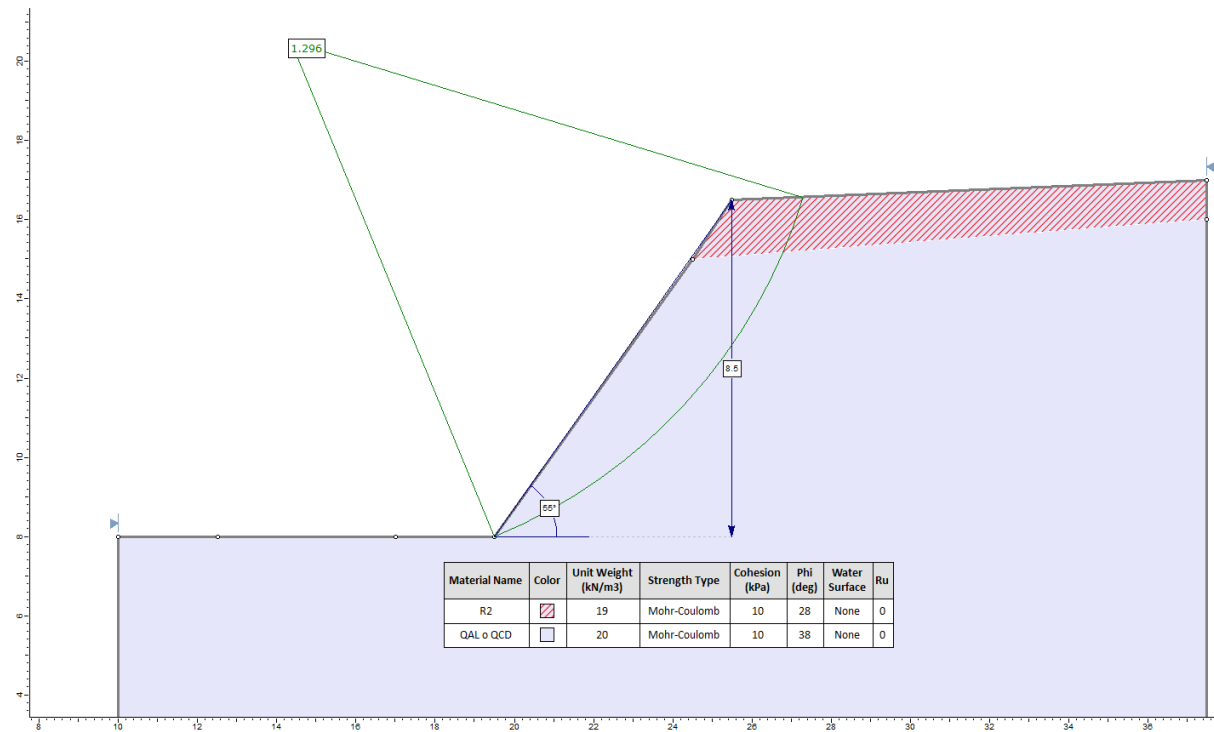
La excavabilidad y reutilización de los diferentes materiales se recoge a modo de resumen en la siguiente tabla:

U.G.	Excavabilidad	Clasificación PG3	Reutilización
R2	Medios mecánicos	Tolerable	Reposición de bancales
QAL o QCD	Medios mecánicos	Seleccionado	Núcleo y cimiento

Diseño y cálculo de estabilidad

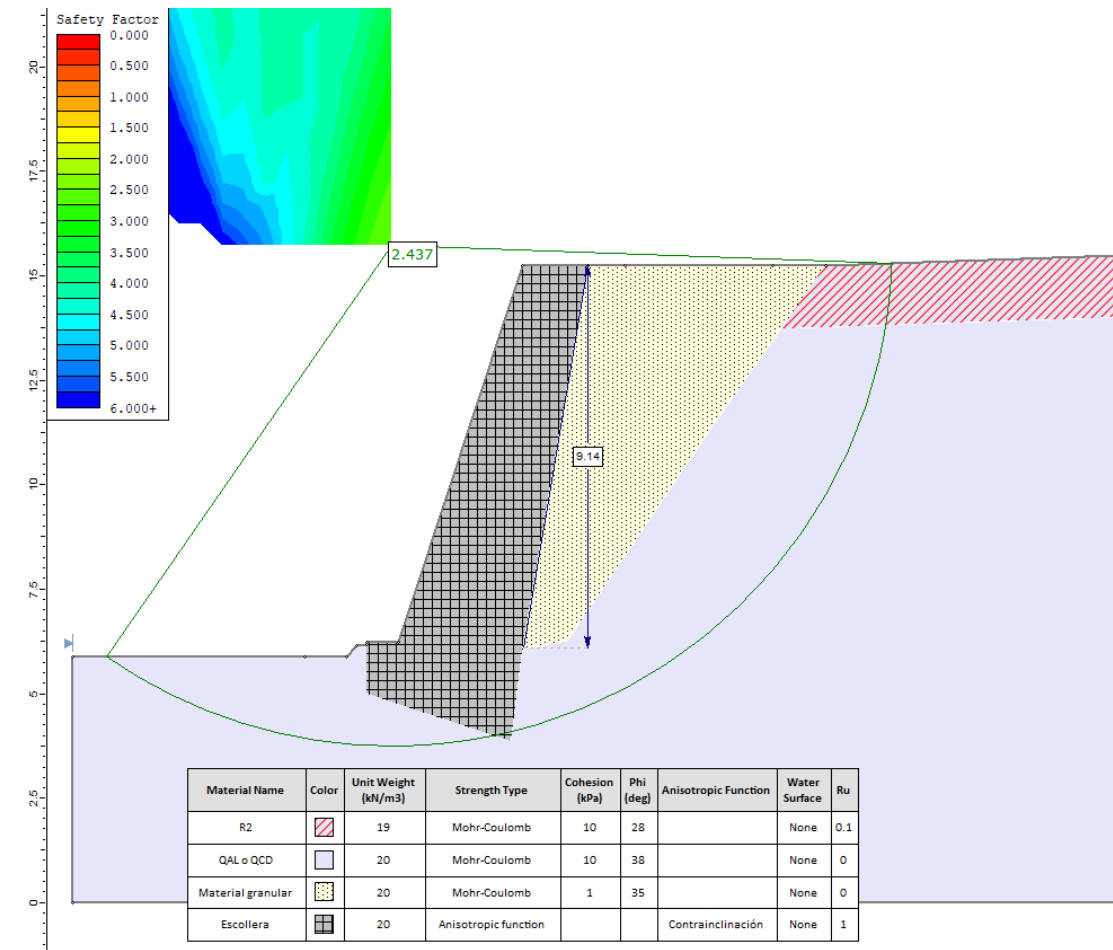
Se proyecta un muro de escollera al 1H:3V de hasta 9 m de altura al pie del talud. Se analizará la estabilidad global de la excavación provisional del talud con inclinación al 2H:3V y la estabilidad para situación permanente una vez construido el muro de escollera.

Como se puede observar en la salida gráfica que se incluye a continuación, el factor de seguridad obtenido es de 1,3. Cumple con el factor de seguridad mínimo establecido para taludes provisionales.



Análisis estabilidad talud provisional PK 0+040 eje 2, FS=1,296.

Como se puede observar en la salida gráfica que se incluye a continuación, el factor de seguridad obtenido es superior a 1,50. Cumple con el factor de seguridad mínimo establecido para taludes permanentes.



Análisis estabilidad desmonte PK 0+240 eje 2 con esollera H=9,00m. FS=2,44.

7.9.4.2. Desmontes en roca
7.9.4.2.1. Desmontes en roca
Descripción

Se analizan los tramos de desmonte en proyectados en roca en el eje 1. Estos se dividen en dos tramos, uno inicial comprendido entre los PPKK 0+115 y 0+155 longitud de 40 m y una altura máxima en la margen derecha de 12,00 m, y un tramo comprendido entre los PPKK 0+155 a 0+265 con 110 m de longitud y 5,00 m de altura máxima en sustrato rocoso sano (resto de desmonte al 1H:1V, analizado anteriormente). La unidad geológica presente es la denominada PG, compuesta por granitos porfídicos con GM II. Se estudiará el de mayor altura, correspondiente al tramo inicial.

Investigaciones geotécnicas disponibles

Reconocimientos Geotécnicos
S-04; PS-03; EG-01; EG-02; EG-03; EG-04; EG-05

Estratigrafía

Se ha adoptado la siguiente estratigrafía representativa del desmonte en la zona de mayor altura de excavación en roca en el PK 0+150.

- De 0,00 a 12,00 m Granito porfídico con grado de meteorización II.

No se contempla nivel freático en el macizo rocoso.

Parámetros geotécnicos

Para definir el comportamiento del macizo rocoso, se han empleado parámetros resistentes de Hoek&Brown extraídos de la caracterización geotécnica que se incluyen en la tabla inferior.

CARACTERÍSTICAS GEOMECÁNICAS DE LA MATRIZ ROCOSA C ₁									
Tipo de roca	γ (kN/m ³)	Roca intacta			Hoek&Brown			Mohr-Coulomb	
		σ _i (MPa)	E _i (MPa)	m _i	mb	s	a	c (kPa)	φ (°)
Granito P _G GM II	26,7	55	23.375	32	4,67	0,0063	0,502	450	65

Excavabilidad y reutilización

La excavabilidad y reutilización de este material se recoge a modo de resumen en la siguiente tabla:

U.G.	Excavabilidad	Clasificación PG3	Reutilización
P _G (GM II)	Voladura	Roca	Pedraplén y escolleras

Diseño y cálculo de estabilidad

- Mecanismos de rotura estructural:

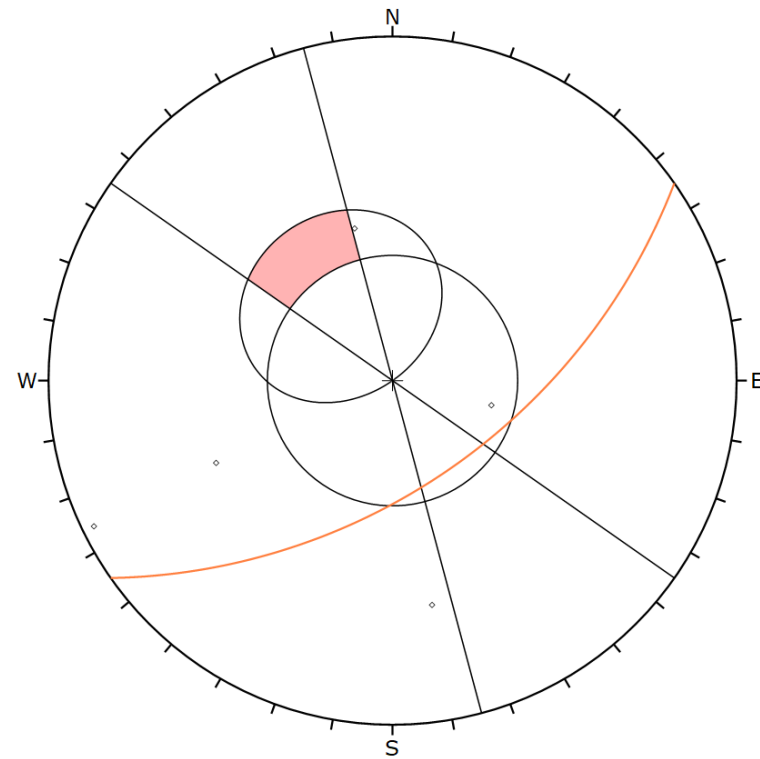
Se ha optado por usar los datos estructurales tomados en los taludes observados. A partir de éstos se ha obtenido la red de diaclasado que se presenta en el siguiente:

Discontinuidad	Buz (°)	Dir Buz
J1	59	65
J2	49	166
J3	33	284
J4	88	64
J5	67	350

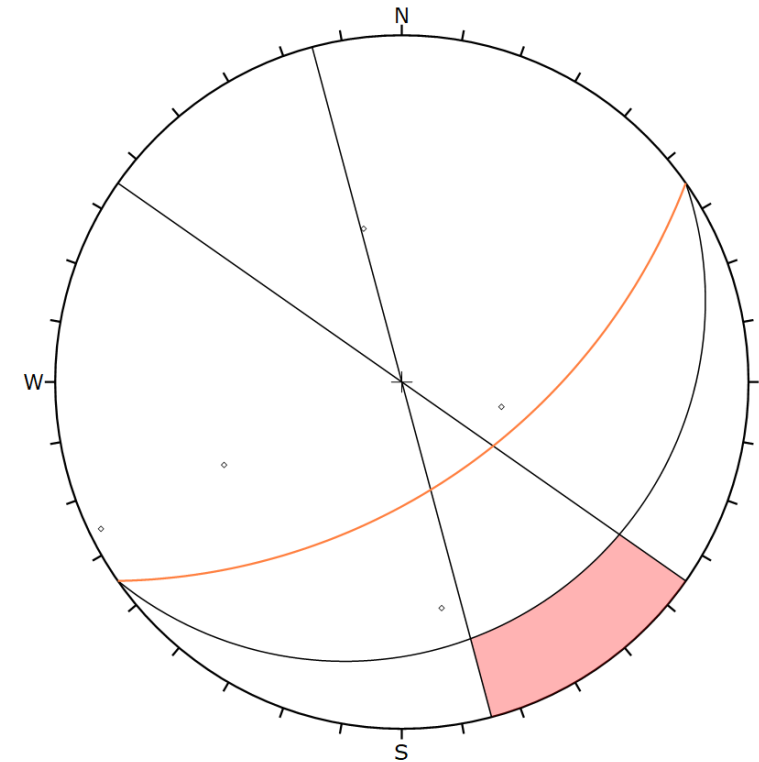
Partiendo de los resultados de las mediciones estructurales, se ha realizado un análisis mediante proyección estereográfica de estabilidad del talud rocoso con inclinaciones de 2H:3V. Para el análisis expuesto a continuación, al tratarse de juntas rugosas, se ha empleado un ángulo de rozamiento interno φ=40°.

El buzamiento y la dirección del buzamiento del talud serán 56,3°/145. Las imágenes y la tabla con los resultados del análisis se muestran a continuación.

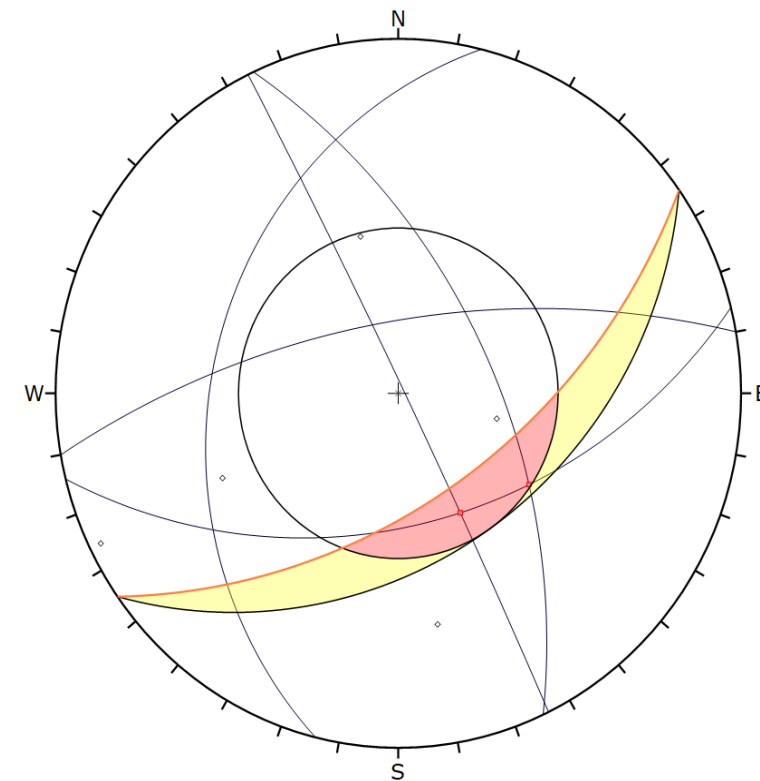
DIRECCIÓN DEL TALUD	BUZAMIENTO
N55E	56,3
BUZ / DIRECCIÓN BUZ	
MI	MD
-	56,3/145



Symbol	Feature		
○	Pole Vectors		
Kinematic Analysis Planar Sliding			
Slope Dip	56		
Slope Dip Direction	145		
Friction Angle	40°		
Lateral Limits	20°		
	Critical	Total	%
Planar Sliding (All)	0	5	0.00%
Plot Mode Pole Vectors			
Vector Count	5 (5 Entries)		
Hemisphere	Lower		
Projection	Equal Angle		



Symbol	Feature		
○	Pole Vectors		
Kinematic Analysis Flexural Toppling			
Slope Dip	56		
Slope Dip Direction	145		
Friction Angle	40°		
Lateral Limits	20°		
	Critical	Total	%
Flexural Toppling (All)	0	5	0.00%
Plot Mode Pole Vectors			
Vector Count	5 (5 Entries)		
Hemisphere	Lower		
Projection	Equal Angle		

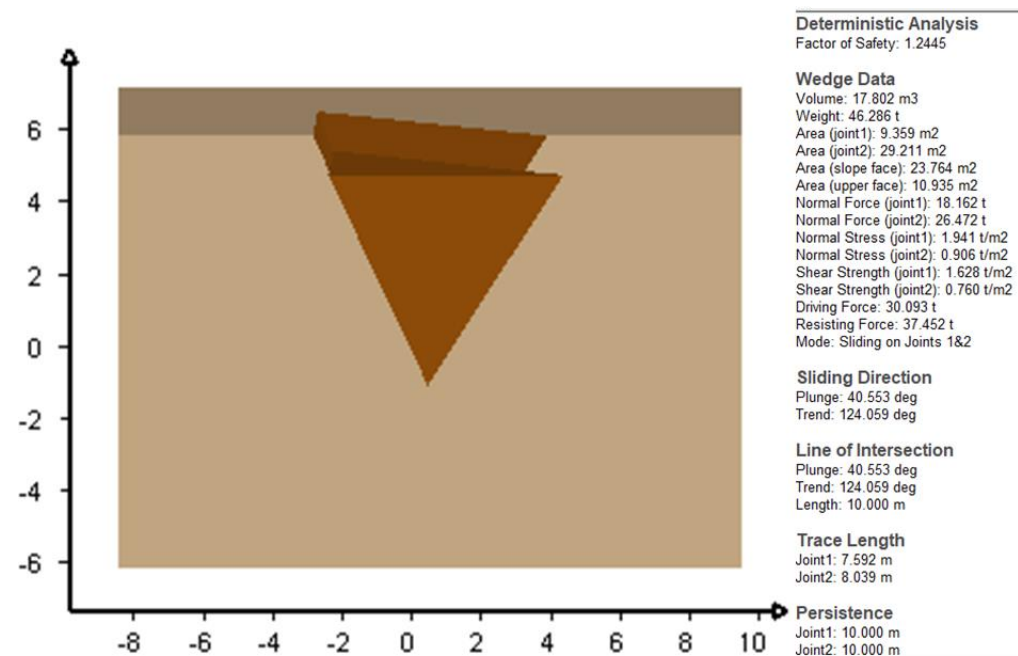


Symbol	Feature		
○	Pole Vectors		
■	Critical Intersection		
Kinematic Analysis Wedge Sliding			
Slope Dip	56		
Slope Dip Direction	145		
Friction Angle	40°		
	Critical	Total	%
Wedge Sliding	2	10	20.00%
Plot Mode Pole Vectors			
Vector Count	5 (5 Entries)		
Intersection Mode	Grid Data Planes		
Intersections Count	10		
Hemisphere	Lower		
Projection	Equal Angle		

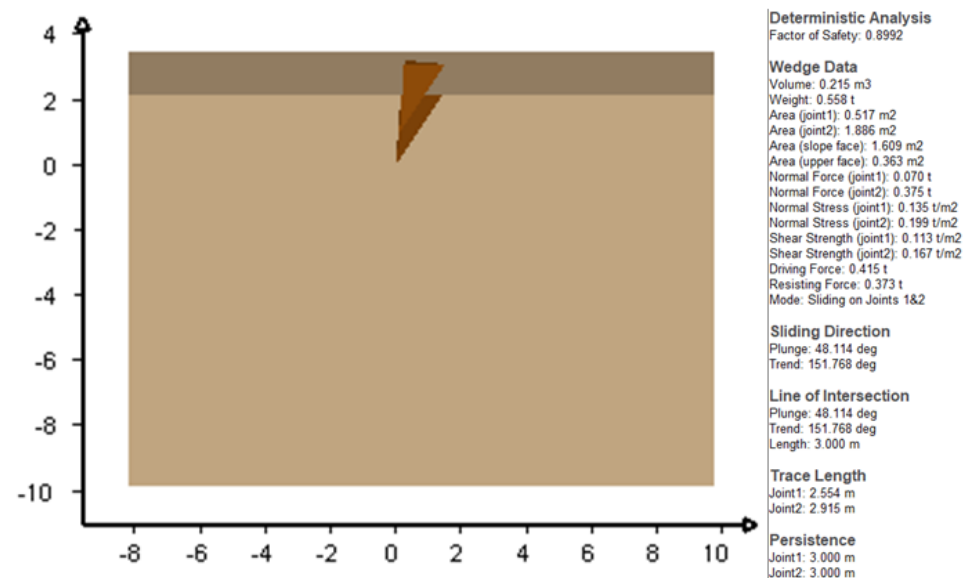
Análisis de estabilidad del desmonte MD en sustrato rocoso

TALUD	RP	RC	RV
MD 56,3°/145	NO	J1-J2 J2-J4	NO

- Deslizamiento plano: No se producirá.
- Rotura por cuñas: Se producirán entre J1-J2 (FS=1,24) y J2-J4 (FS=0,90).



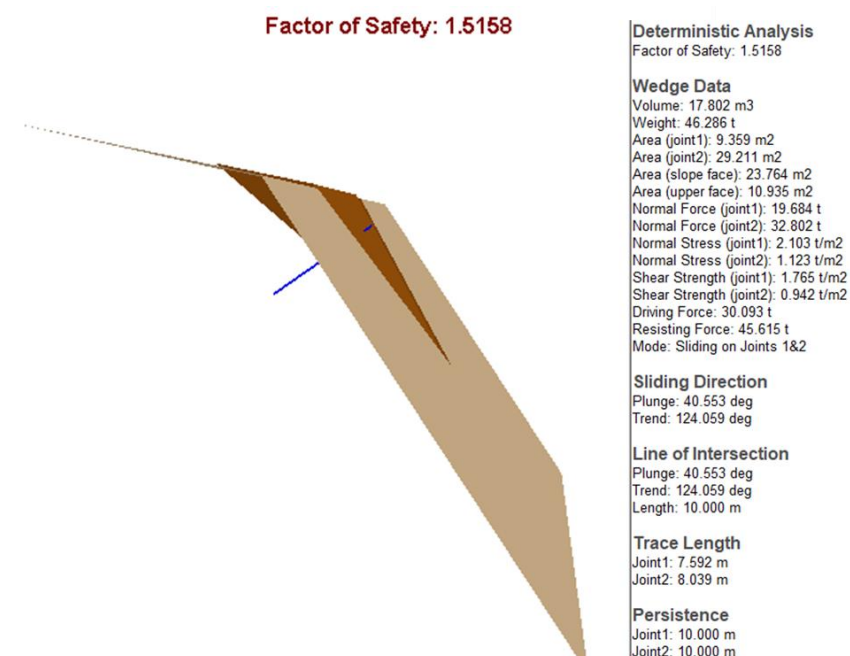
Análisis de cuñas entre J1 – J2 sin medidas de sostenimiento (FS=1,24)



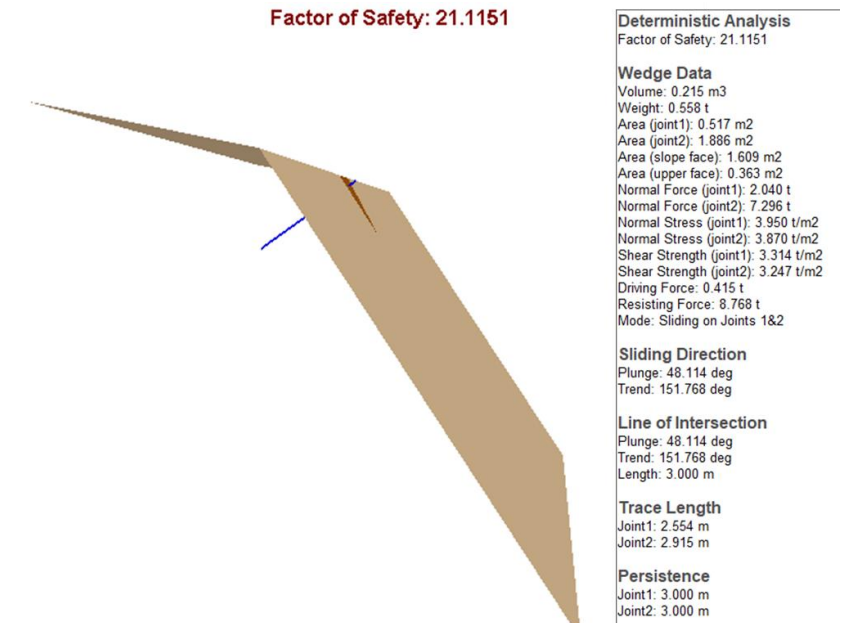
Análisis de cuñas entre J2 – J4 sin medidas de sostenimiento (FS=0,90)

- Rotura por vuelco: No se producirá.

Para elevar el factor de seguridad en las roturas por cuñas a 1,50, se precisa una fuerza de bulonado de 7 t/m. Para ello se precisarán bulones de diámetro 32 mm y longitud de 4 metros dispuestos en cuadrícula de 4x4. Dada la entidad del talud, se propone además la instalación de cableado de acero con cuadrícula 4x4 y malla de triple torsión para prevenir la invasión de la calzada por la posible caída de bloques.



Análisis de cuñas entre J1 – J2 con medidas de sostenimiento (FS=1,52)



Análisis de cuñas entre J2 – J4 con medidas de sostenimiento (FS=21,12)

7.9.5. CUADRO RESUMEN DE DESMONTES

En la siguiente tabla resumen se incluyen los desmontes contemplados en los distintos ejes del trazado, según zonas de actuación, indicándose su PK inicial y final, longitud total, altura máxima según margen, unidades geotécnicas excavadas, talud recomendado, excavabilidad, reutilización, fondo de explanada y medidas de sostenimiento y/o drenaje:

Eje	Pki	Pkf	Longitud (m)	PK altura máxima	Altura máxima MI (m)	Altura máxima MD (m)	Desbroce y espesor de tierra vegetal a retirar (m)	Reconocimientos Geotécnicos	Unidad Geotécnica	Talud	Excavabilidad	Clasificación PG-3	Reutilización	Fondo de explanada	Medidas de sostenimiento y drenaje
1	0+105	0+155	50	0+140	-	12,00	-	S-04; PS-03; EG-01; EG-02; EG-03; EG-04; EG-05	PG GM II	2H:3V	Ripado costoso, prevoladura, voladura	Roca	60 %Pedraplén y 40% escollera	R	Bulonado 4x4: PHI=32; L=4m. Red de cableado 4x4 y MTT. Cuneta de guarda
1	0+155	0+245	90	0+200	-	16,00	0,5	S-04; PS-03; EG-01; EG-02; EG-03; EG-04; EG-05	PG GM V (2m)/PG GM IV (9m)	11 m 1H:1V	Excavable moderado a marginal con ayuda de martillo picador	Tolerable /Adecuado	10% Núcleo y cimientto/55% coronación/ 20% Pedraplén /15% escollera	R	Piel de escollera de 0,5 m en los 2 m superiores. Cuneta de guarda
									PG GM II (5m)	5m 2H:3V	Ripado costoso, prevoladura / voladura	Roca			Bulonado 4x4: PHI=32; L=4m. Red de cableado 4x4 y MTT
1	0+245	0+290	45	0+260	-	9,00	0,5	C-02; C-03	PG GM V (1m)/ PGP GMIV (6m) PG GM II (2m)	1H:3V	Excavable moderado a marginal con ayuda de martillo picador / Ripado costoso	Tolerable / Adecuado / Roca	10% Núcleo y cimientto / 60% coronación / 20% pedraplén/10% escollera	R	Piel de escollera 2 m superiores. Bulonado 2x2 m; PHI=32; L=6m; red de cableado 2x2m; MTT. Cuneta de guarda
1	0+290	0+320	30	0+290	-	6,00	0,5	PSP-02; S-03	R2 / Q _{AL-CD}	2H:3V en trasdós de escollera	Fácilmente excavable con medios mecánicos convencionales	Tolerable / seleccionado	20 %Reposición / 80% núcleo y cimientto	0	Muro de escollera H=6,00m al 1H:3V
1	0+320	0+340	20	0+320	-	3,00	0,5	PSP-02; S-03	R2 / Q _{AL-CD}	1H:2V en trasdós de escollera	Fácilmente excavable con medios mecánicos convencionales	Tolerable / seleccionado	30% Reposición / 70% núcleo y cimientto	0	Muro de escollera H=3,00m al 1H:3V
2	0+021	0+028	7	0+028	-	6,00	0,5	-	R2 / Q _{AL-CD}	2H:3V en trasdós de escollera	Fácilmente excavable con medios mecánicos convencionales	Tolerable / seleccionado	20 %Reposición / 80% núcleo y cimientto	0	Muro de escollera H=6,00m al 1H:3V
2	0+028	0+060	32	0+040	-	9,00	0,5	-	R2 / Q _{AL-CD}	2H:3V en trasdós de escollera	Fácilmente excavable con medios mecánicos convencionales	Tolerable / seleccionado	15 % Reposición / 85% núcleo y cimientto	0	Muro de escollera H=9,00m al 1H:3V
2	0+060	0+065	5	0+059	-	6,00	0,5	-	R2 / Q _{AL-CD}	2H:3V en trasdós de escollera	Fácilmente excavable con medios mecánicos convencionales	Tolerable / seleccionado	20 % Reposición / 80% núcleo y cimientto	0	Muro de escollera H=6,00m al 1H:3V
2	0+065	0+078	13	0+064	-	3,00	0,5	-	R2 / Q _{AL-CD}	3H:2V	Fácilmente excavable con medios mecánicos convencionales	Tolerable / seleccionado	30% Reposición / 70% núcleo y cimientto	0	

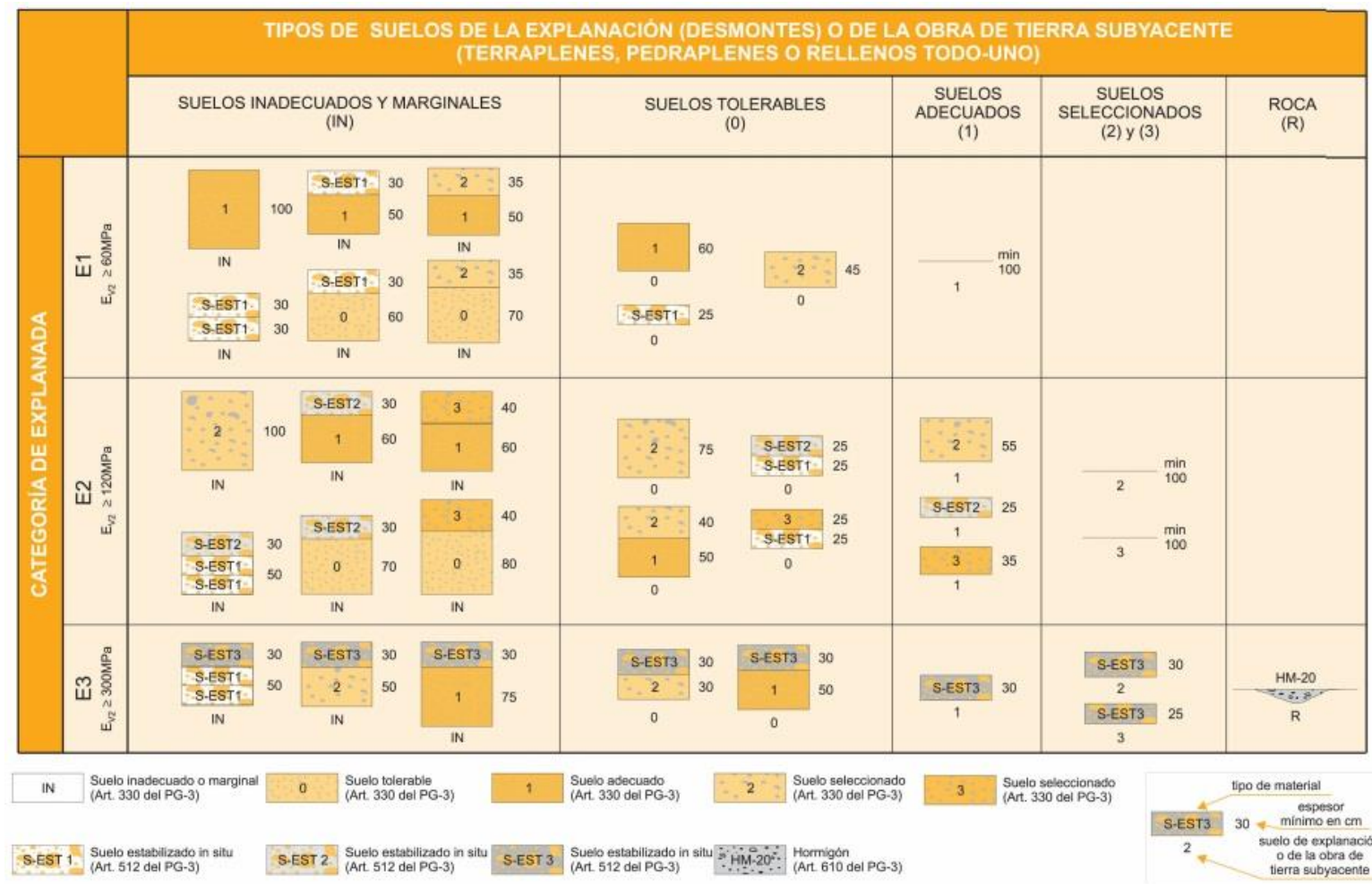
7.10. EXPLANADA

La Instrucción 6.1-IC “Secciones de Firme y capas estructurales de firme” establece tres categorías de explanada según el módulo de compresibilidad en el segundo ciclo de carga E_{v2} , obtenido de acuerdo con la NLT-357 "Ensayo de carga con placa", los valores son los siguientes:

CATEGORÍA DE EXPLANADA	E1	E2	E3
E_{v2} (MPa)	60	120	300

Categorías de explanada

Del mismo modo, establece los criterios de formación de explanada en función del tipo de suelo de la explanación (en el caso de los desmontes) o de la obra de tierra subyacente, de los espesores y de las características de los materiales disponibles, como se puede observar en la figura que se adjunta:



Tipos de suelo de explanación 6.1. IC

En la siguiente figura se relacionan los materiales utilizables en la formación de la explanada:

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 \geq 3 (*). - Contenido en materia orgánica < 1%. - Contenido en sulfatos solubles (SO ₃) < 1%. - Hinchamiento libre < 1%.
1	Suelo adecuado	330	- CBR \geq 5 (*)(**).
2	Suelo seleccionado	330	- CBR \geq 10 (*) (**).
3	Suelo seleccionado	330	- CBR \geq 20 (*)
S-EST1 S-EST2 S-EST3	Suelo estabilizado <i>in situ</i> 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 \geq 6 y el suelo seleccionado definido como tipo 2 un CBR \geq 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.

Materiales para la formación de explanadas

En el caso de los desmontes y/o excavaciones, la explanada natural corresponde a la definida por la calidad del material existente en el fondo de excavación, debiéndose valorar esta según los criterios expuestos en el artículo 330 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales de Obras de Carreteras y Puentes (PG-3).

Una vez establecido el tipo de suelo y la explanada de proyecto, pueden definirse las actuaciones necesarias para alcanzar la explanada deseada. En este caso, la explanada definida en proyecto es una explanada E3.

Para la definición de la explanada se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones:

- En terraplenes, pedraplenes y todo-uno, la categoría de explanada dependerá de los materiales utilizados en coronación.
- En desmontes y terraplenes de poca altura, la categoría de explanada será función de las características del terreno natural en una profundidad mínima de 1,00 m, desde la explanada, o de las características y espesor del material utilizado donde se proceda a sustituir o estabilizar "in situ" aquél.
- En secciones a media ladera se adoptará para el desmonte la misma solución que para el terraplén.
- La superficie de la explanada deberá de quedar al menos 60 cm por encima del nivel más alto previsible de la capa freática donde el suelo utilizado sea seleccionado, a 80 cm donde sea

adecuado y a 100 cm donde sea tolerable. A tal fin se adoptarán medidas tales como la elevación de la rasante de la explanada, la colocación de drenes subterráneos, la interposición de geotextiles o de una capa drenante, etc.

7.10.1. DESMONTES O EXCAVACIONES

Las zonas de desmonte proyectados en el eje 1 se realizan en la unidad geotécnica granítica P_G, estando el fondo de excavación constituido por roca, por lo que para una categoría de explanada tipo E3, sería necesario disponer una capa de hormigón HM-20 para regularización del fondo de excavación.

En aquellos tramos a media ladera, en los que se proyectan muros, sección del tipo de suelo de explanación vendrá definida en el siguiente apartado correspondiente a rellenos, ya que esta dependerá del tipo de material del relleno de coronación empleado.

El fondo de excavación en el desmonte proyectado en la glorieta estará formado por materiales de cono de deyección clasificándolos como suelos tolerables.

Eje	Pki	Pkf	Long. (m)	U. G.	Fondo de explanada
1	0+000	0+265	265	P _G	R
2	0+021	0+078	57	Q _{CD}	0

Clasificación Materiales fondo de desmonte

En base a los criterios fijados en la citada Instrucción de Firmes, resultarían en cada caso para la formación de las explanadas proyectadas las siguientes secciones:

Tipo de suelo de explanación*	Secciones propuestas para formación de explanada E3
R	
0	

7.10.2. RELLENOS

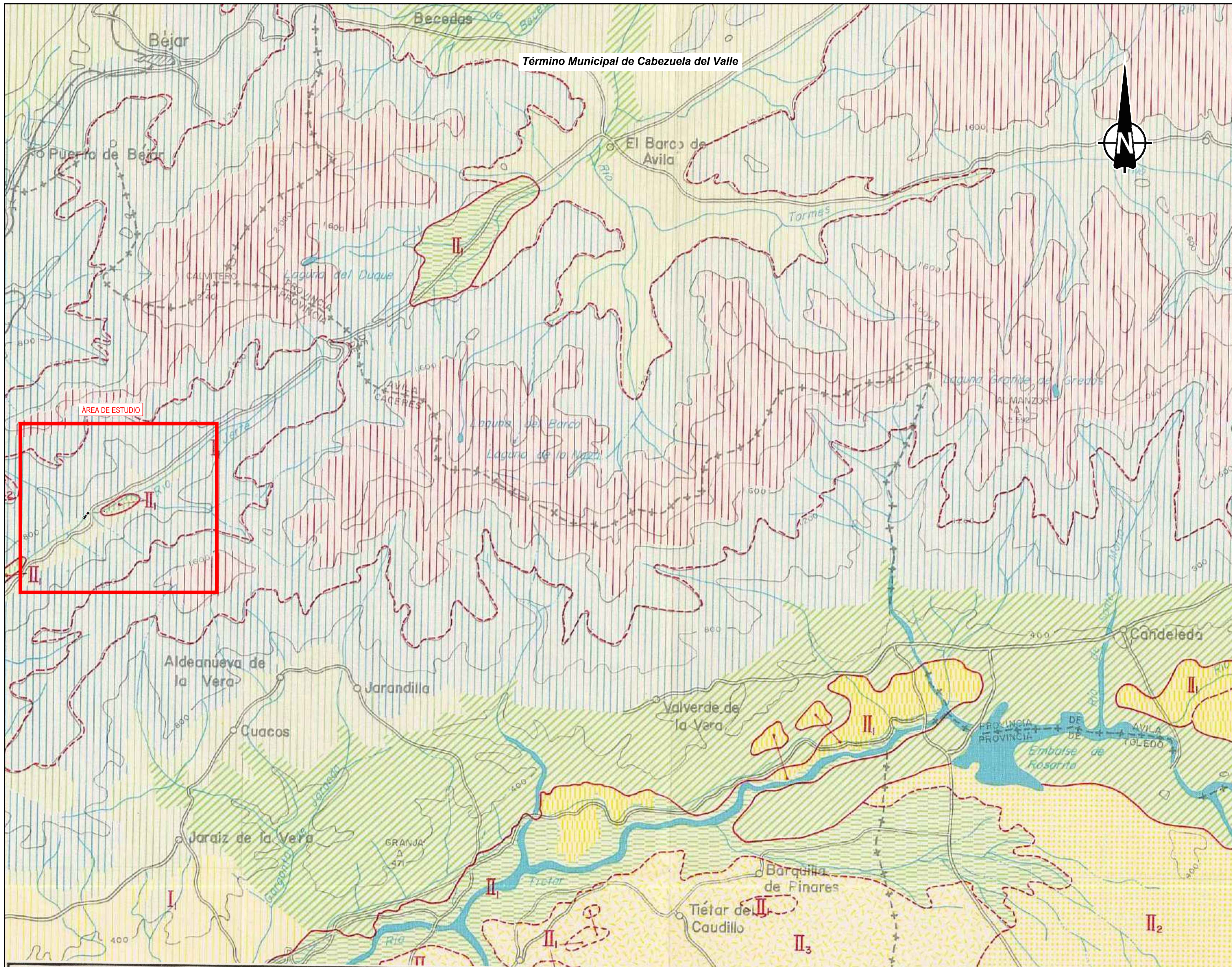
Debido a que los tramos en rellenos discurren entre muros con material de relleno de coronación con calidad de suelo adecuado con C.B.R.>5 o suelo cemento o en superficies de saneo de 1 m con sustitución por suelo adecuado con C.B.R. >5, se considerará la siguiente sección de explanada:

Clasificación del material (PG-3)	Tipo de suelo de explanación	Secciones propuestas para formación de explanada E3
Adecuado (C.B.R.>5)	1	

7.10.3. FORMACIÓN EXPLANADA

Aunque inicialmente el trazado del eje 1 discurre en roca, se ha homogeneizado la sección de explanada, considerando la solución propuesta para tramos de relleno de muro y de superficies de saneos con 1 m de coronación compuesto por suelo adecuado con C.B.R.>5. Por lo que se adopta la solución de explanada compuesta por 30 cm de S-EST3.

APÉNDICE 1. MAPA GEOTÉCNICO (1:200.000)

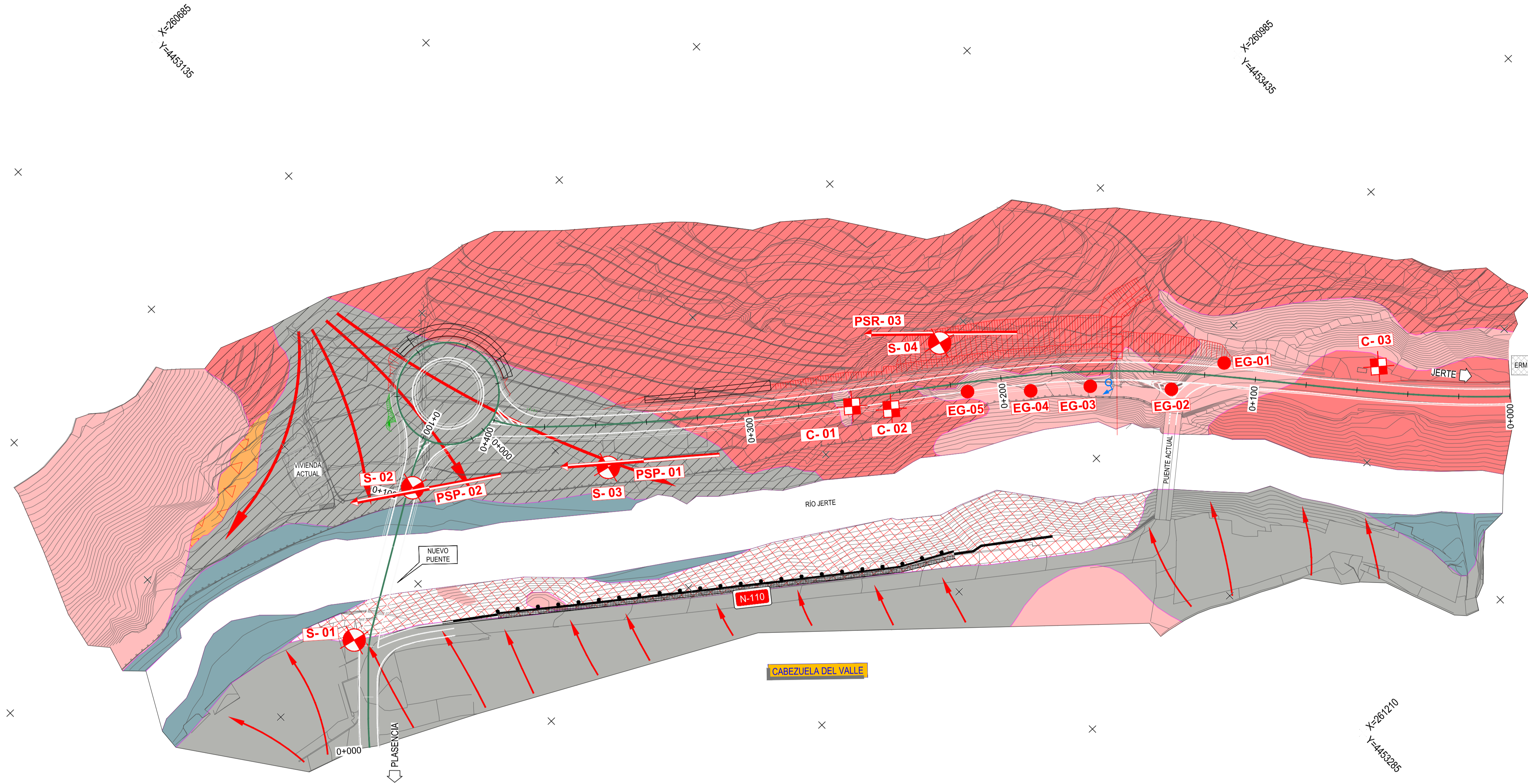
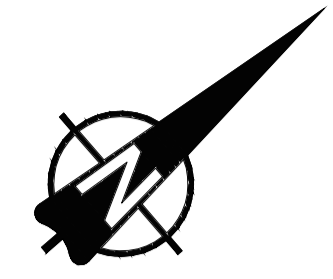


REGION	AREA	CRITERIOS DE DIVISION Y CARACTERISTICAS GENERALES
I	I1	Se incluyen en ella el conjunto de terrenos pertenecientes geológicamente al Complejo Cristalino. Litológicamente aparecen en ella una serie de rocas ácidas (granitos predominantemente), y otra de rocas metamórficas (gneises y micacitas), así como intercalaciones aisladas de rocas filonarias (epitas y cuarzos); también aparecen, bien individualizadas, bien en forma de alternancia: cuarcitas, grauwacas, filitas, calizas, conglomera-dos, etc., con recubrimientos arenosos de desigual potencia. Su morfología es muy abrupta, con pendientes superiores al 30 por ciento, si bien existen zonas dentro del Área con topografía más suave. Sus materiales se consideran, en pequeño, como impermeables, si bien, en grande, admiten una cierta permeabilidad, a causa de la laxidad, de la fracturación, o de los recubrimientos que parcialmente los tapizan. El drenaje, por escorrentía superficial es favorable. En general la aparición de agua será en forma de acuíferos aislados. Sus características mecánicas son muy favorables, pues admiten cualquier tipo de carga sin que se produzcan asentamientos.
	I2	Se considera como una continuación de la anterior, incluyendo los terrenos situados a una cota superior a 1.200 m. Sus características morfológicas son en todo semejantes a las del Área I1, si bien, a cotas altas aparecen formas de relieve entre suaves y alomadas, que no influyen en que el drenaje, por escorrentía superficial, siga siendo favorable. Las características mecánicas (capacidad de carga portante y magnitud de los posibles asentamientos) siguen siendo muy favorables, sin embargo sus condiciones climáticas son muy desfavorables.
II	II1	Se incluyen en ella todos aquellos depósitos, más o menos sueltos, conectados, bien en la actualidad, bien en tiempos geológicos anteriores, a los cauces de los ríos. Normalmente están formados por terrenos heterométricos, alternándose las fracciones arenosas y arcillosas con niveles de gravas, cantos graníticos y cuarcíticos en los situados en el NO. y las arcillas y limos en los del S. y SE. Su morfología es totalmente llana, considerándose en general como semipermeable, si bien en algunas zonas puede darse cierta permeabilidad. Estas características dificultan el drenaje, observándose una serie de zonas en las que su saneamiento es poco favorable. La posibilidad de aparición de niveles acuíferos a escasa profundidad es alta. Las características mecánicas son poco favorables, admitiendo capacidades de carga que oscilan de medias a bajas y existiendo la posibilidad de aparición de asentamientos de magnitud media.
	II2	Se incluyen en ella el conjunto de terrenos formados por una mezcla de materiales cohesivos (arcillas) y granulares (arenas y gravas), dispuestos horizontalmente, poco cementados en superficie y fácilmente erosionables. Muestra una morfología eminentemente llana con ligeras alomaciones y abundantes huellas de erosión lineal. La permeabilidad, aunque puede experimentar ligeras variaciones de unas zonas a otras, se ha considerado como semipermeable, pudiendo aparecer zonas con problemas de encharcamiento. La posibilidad de aparición de niveles acuíferos a profundidades variables es normal, pero casi siempre por debajo de los 15 m., salvo en zonas próximas a las redes naturales de drenaje. Su capacidad de carga es de tipo medio, pudiendo aparecer asentamientos de magnitud media.
	II3	Se incluyen en ella unos terrenos de litología eminentemente granular, que varían desde arenas arcósicas hasta arcillas arenosas, observándose inclusiones de gravas y conglomera-dos. Su morfología es prácticamente llana, con ligeras desniveles y huellas de erosión lineal poco acusadas. Sus materiales se consideran semipermeables, con un drenaje por percolación natural, deficiente, siendo normal la aparición en profundidad de niveles acuíferos definidos y continuos. La capacidad de carga portante puede oscilar de alta a media, produciendo siempre asentamientos de magnitud media.

CRITERIOS DE CLASIFICACION						
CONDICIONES CONSTRUCTIVAS	PROBLEMAS "TIPO" EXISTENTES	CONCURRENCIA DE 2 PROBLEMAS "TIPO"	CONCURRENCIA DE 3 PROBLEMAS "TIPO"	CONCURRENCIA DE 4 PROBLEMAS "TIPO"	PROBLEMAS GEOTECNICOS	NOTACION
Muy favorables	Litológicos	Litológicos y Geomorfológicos	Litológicos, Geomorfológicos e Hidrológicos	Litológicos, Geomorfológicos, Hidrológicos y Geotécnicos (p.d.)	De Capacidad de carga	Verdes Y
Favorables	Geomorfológicos	Litológicos e Hidrológicos	Litológicos, Geomorfológicos y Geotécnicos (p.d.)	Litológicos, Geomorfológicos, Hidrológicos y Geotécnicos (p.d.)	De Asientos	Verdes Y
Aceptables	Hidrológicos	Litológicos y Geomorfológicos	Litológicos, Hidrológicos y Geotécnicos (p.d.)	Litológicos, Hidrológicos y Geotécnicos (p.d.)	Geotécnicos Varios	Verdes Y
Desfavorables	Geotécnicos (p.d.)	Litológicos y Geotécnicos (p.d.)	Litológicos y Geotécnicos (p.d.)	Litológicos y Geotécnicos (p.d.)	Geotécnicos Varios	Verdes Y
Muy Desfavorables	Geotécnicos (p.d.)	Litológicos y Geotécnicos (p.d.)	Litológicos y Geotécnicos (p.d.)	Litológicos y Geotécnicos (p.d.)	Geotécnicos Varios	Verdes Y

LEYENDA			
CONDICIONES CONSTRUCTIVAS FAVORABLES	CONDICIONES CONSTRUCTIVAS ACEPTABLES	CONDICIONES CONSTRUCTIVAS DESFAVORABLES	CONDICIONES CONSTRUCTIVAS MUY DESFAVORABLES
Problemas de tipo Litológico, Hidrológico y Geotécnico (p.d.)	Problemas de tipo Litológico y Geotécnico (p.d.)	Problemas de tipo Geomorfológico e Hidrológico	Problemas de tipo Geomorfológico
Problemas de tipo Geomorfológico y Geotécnico (p.d.)	Problemas de tipo Geomorfológico, Hidrológico y Geotécnico (p.d.)	Problemas de tipo Litológico	Problemas de tipo Geomorfológico y Geotécnico (p.d.)
Problemas de tipo Litológico y Geotécnico (p.d.)	Problemas de tipo Geomorfológico y Geotécnico (p.d.)	Problemas de tipo Litológico	Problemas de tipo Geomorfológico y Geotécnico (p.d.)
Problemas de tipo Hidrológico y Geotécnico (p.d.)	Problemas de tipo Litológico y Geomorfológico	Problemas de tipo Geomorfológico	Problemas de tipo Geomorfológico
Problemas de tipo Geomorfológico e Hidrológico	Problemas de tipo Litológico y Geotécnico (p.d.)	Problemas de tipo Geomorfológico	Problemas de tipo Geomorfológico
Problemas de tipo Geomorfológico	Problemas de tipo Litológico y Geotécnico (p.d.)	Problemas de tipo Geomorfológico	Problemas de tipo Geomorfológico

APÉNDICE 2. PLANTA GEOLÓGICA CON SITUACIÓN DE RECONOCIMIENTOS



CAMPAÑA GEOTÉCNICA PROYECTO DE TRAZADO (MARZO 2020)

- SONDEO MECÁNICO: S -
- CALICATA MECÁNICA: C -
- ESTACIÓN GEOMECAÁNICA: EG -
- PERFIL SÍSMICO: PS -

LEYENDA DE UNIDADES GEOLÓGICO - GEOTÉCNICAS

R1	ZONA ANTROPORIZADA (MUROS, VERTIDOS, ETC)		CONTACTO LITOLÓGICO
R2	RELLENO AUTÓCTONO (BANCALES DE LABRANZA)		FUENTE O MANANTIAL

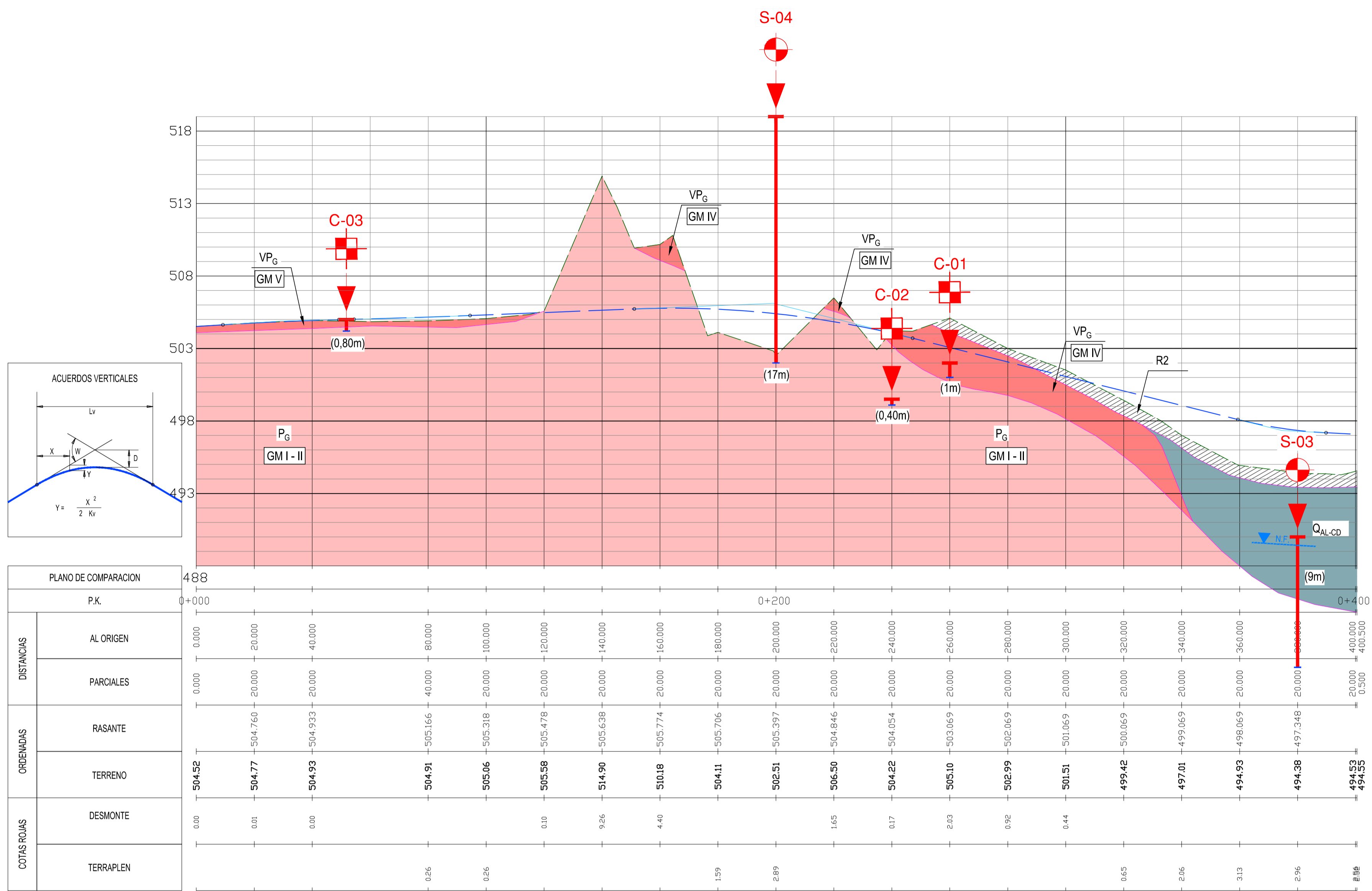
CUATERNARIO

- Q_{al} ALUVIAL (BOLOS, GRAVAS Y ARENAS)
- Q_c COLUVIAL (ANENAS Y LIMOS CON CANTOS DISPERSOS)
- Q_{cp} CONO DE DEYECCIÓN (GRAVAS Y ARENAS)

ROCAS PLUTONICAS

- P_g GRANITO SANDO
- VP_g GRANITO ALTERADO (SUELO) CON ENCLAVES DE GRANITO SANDO

APÉNDICE 3. PERFILES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS



TRAMIFICACION		MI	MD	RELLENO	RELLENO	RELLENO	RELLENO	RELLENO
GEOLOGIA		FORMACIONES SUPERFICIALES			DESMONTE			R2 / Q _{AL-CD}
ESPESOR DE TIERRA VEGETAL		PG GM II			PG GM V (2m) / PG GM IV (9m) / PG GM II (5m)			PG GM V / IV / II
CLASIFICACION PG-3		ROCA			TOLERABLE / ADECUADO / ROCA			MARGINAL / SELECCIONADO
MÉTODO DE EXCAVACION		R			R			EXCAVABLES
REUTILIZACION		RIPADO COSTOSO / PREVOLDADURA / VOLADURA			EXCAVABLE MODERADO A MARGINAL / RIPADO COSTOSO / PREVOLDADURA / VOLADURA			EXCAVABLES
INCLINACION TALUD		80% PEDRAPLEN 40% ESCOLLERA 2H: 3V			10% NUCLEO Y CIMENTO / 15% CORONACION / 20% PEDRAPLEN / 15% ESCOLLERA 1H: 3V			20% VERTEDERO / 80% NUCLEO Y CIMENTO 2H: 3V / 1H: 2V
MEDIDAS COMPLEMENTARIAS		BULONADO 4x4 / PHI=32 / L=4m / RED CABLEADO (4x4) / M.T.T. / CUNETA DE GUARDA			CUNETA DE GUARDA / PIEL DE ESCOLLERA 2m SUP. / BULONADO (4x4) / PHI=32 / L=4m / RED CABLEADO 4x4 / M.T.T.			ESCOLLERAS
OBSERVACIONES		MURO MENSULA TIPO 1			MURO MENSULA TIPO 2			MURO MENSULA TIPO 3
		MURO MENSULA TIPO 4			MURO MENSULA TIPO 1			MURO MENSULA TIPO 3

LEYENDA

RELLENO ANTRÓPICO

- R1 ZONA ANTRÓPICA (MUROS, VERTIDOS, ETC)
- R2 RELLENO AUTÓCTONO (BANCALES DE LABRANZA)

CUATERNARIO

- Q_{AL-CD} ALUVIAL Y CONO DE DEYECCION (BOLOS, GRAVAS Y ARENAS)

ROCAS PLUTONICAS

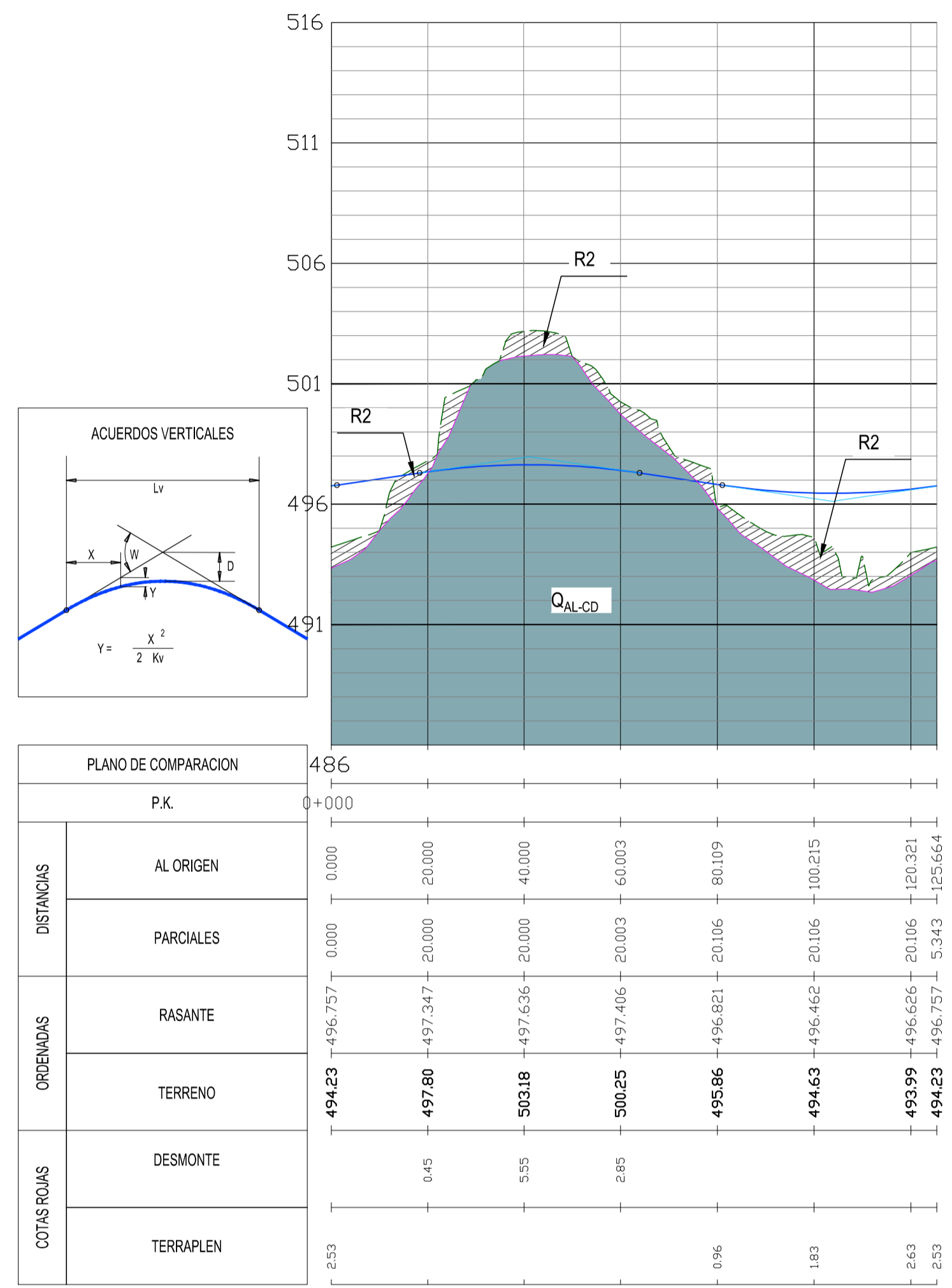
- P_G GRANITO SANO
- VP_G GRANITO ALTERADO (SUELO) CON ENCLAVES DE GRANITO SANO

SIMBOLOGIA

- N.F. CONTACTO LITOLÓGICO
- N.F. NIVEL FREÁTICO
- S-XX SONDEO MECÁNICO: S-
- C-XX CALICATA MECÁNICA: C-
- GM GRADO DE METEORIZACION

CAMPAÑA GEOTÉCNICA PROYECTO DE TRAZADO (MARZO 2020)

FIN DE SONDEO (XXm)



LEYENDA

RELLENO ANTRÓPICO

- R1 ZONA ANTRÓPICA (MUROS, VERTIDOS, ETC)
- R2 RELLENO AUTÓCTONO (BANCALES DE LABRANZA)

CUATERNARIO

- QAL-CD ALUVIAL Y CONO DE DEYECCIÓN (BOLOS, GRAVAS Y ARENAS)

ROCAS PLUTONICAS

- P_G GRANITO SANO
- VP_G GRANITO ALTERADO (SUELO) CON ENCLAVES DE GRANITO SANO

SIMBOLOGIA

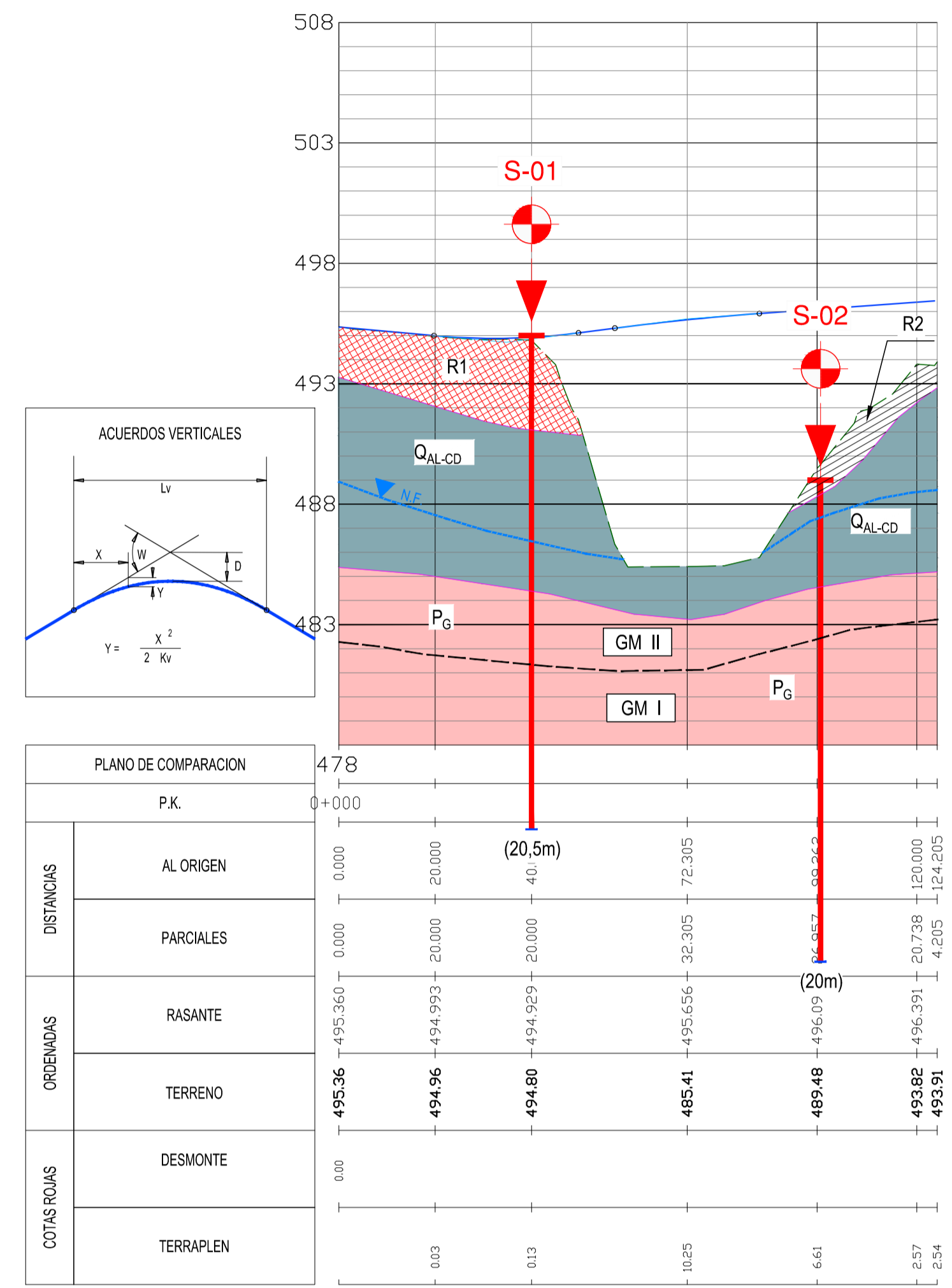
- CONTACTO LITOLÓGICO
- N.F. NIVEL FREÁTICO
- SONDEO MECÁNICO: S-
- CALICATA MECÁNICA: C-

CAMPAÑA GEOTÉCNICA PROYECTO DE TRAZADO (MARZO 2020)

S-XX (XXm)

C-XX (XXm)

FIN DE SONDEO



LEYENDA

RELLENO ANTRÓPICO

- R1 ZONA ANTRÓPICA (MUROS, VERTIDOS, ETC)
- R2 RELLENO AUTÓCTONO (BANCALES DE LABRANZA)

CUATERNARIO

- QAL-CD ALUVIAL Y CONO DE DEYECCIÓN (BOLOS, GRAVAS Y ARENAS)

ROCAS PLUTONICAS

- PG GRANITO SANO
- VPg GRANITO ALTERADO (SUELO) CON ENCLAVES DE GRANITO SANO

SIMBOLOGIA



- CONTACTO LITOLÓGICO
- N.F. NIVEL FREÁTICO
- SONDEO MECÁNICO: S-
- CALICATA MECÁNICA: C-

CAMPAÑA GEOTÉCNICA PROYECTO DE TRAZADO (MARZO 2020)

S-XX (XXm) C-XX (XXm)

FIN DE SONDEO (XXm) (XXm)

APÉNDICE 4. ACTAS DE SONDEOS

	Peticionario:	INECO	
	Trabajo	CAMPAÑA GEOTÉCNICA PARA EL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN "NUEVO PUEBLO DE LA CARRETERA N-110 EN CABEZUELA DEL VALLE (CÁCERES)	
	ANEJO	REPORTAJE FOTOGRÁFICO SONDEOS	
	LOCALIZACIÓN	SONDEO S-01	



Realización del sondeo S-01.



Foto de testigo del sondeo S-01. Caja 2.



Foto de testigo del sondeo S-01. Caja 4.



Foto de testigo del sondeo S-01. Caja 1.



Foto de testigo del sondeo S-01. Caja 3.



Foto de testigo del sondeo S-01. Caja 5.





	Peticionario:	INECO	
	Trabajo	CAMPAÑA GEOTÉCNICA PARA EL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN "NUEVO PUEBLO DE LA CARRETERA N-110 EN CABEZUELA DEL VALLE (CÁCERES)	
	ANEJO	REPORTAJE FOTOGRÁFICO SONDEOS	
	LOCALIZACIÓN	SONDEO S-01	



Foto de testigo del sondeo S-01. Caja 6.



Foto de testigo del sondeo S-01. Caja 7.

	Peticionario:	INECO	
	Trabajo	CAMPAÑA GEOTÉCNICA PARA EL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN "NUEVO PUEBLO DE LA CARRETERA N-110 EN CABEZUELA DEL VALLE (CÁCERES)	
	ANEJO	REPORTAJE FOTOGRÁFICO SONDEOS	
	LOCALIZACIÓN	SONDEO S-02	



Realización del sondeo S-02.



Foto de testigo del sondeo S-02. Caja 2.



Foto de testigo del sondeo S-02. Caja 4.



Foto de testigo del sondeo S-02. Caja 1.



Foto de testigo del sondeo S-02. Caja 3.



Foto de testigo del sondeo S-02. Caja 5.





	Peticionario:	INECO	
	Trabajo	CAMPAÑA GEOTÉCNICA PARA EL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN "NUEVO PUEBLO DE LA CARRETERA N-110 EN CABEZUELA DEL VALLE (CÁCERES)	
	ANEJO	REPORTAJE FOTOGRÁFICO SONDEOS	
	LOCALIZACIÓN	SONDEO S-02	



Foto de testigo del sondeo S-02. Caja 6.



Foto de testigo del sondeo S-02. Caja 7.

	Peticionario:	INECO	
	Trabajo	CAMPAÑA GEOTÉCNICA PARA EL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN "NUEVO PUEBLO DE LA CARRETERA N-110 EN CABEZUELA DEL VALLE (CÁCERES)	
	ANEJO	REPORTAJE FOTOGRÁFICO SONDEOS	
	LOCALIZACIÓN	SONDEO S-03	



Realización del sondeo S-03.





Foto de testigo del sondeo S-03. Caja 2.



Foto de testigo del sondeo S-03. Caja 1.



Foto de testigo del sondeo S-03. Caja 3.

	Peticionario:	INECO	
	Trabajo	CAMPAÑA GEOTÉCNICA PARA EL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN "NUEVO PUEBLO DE LA CARRETERA N-110 EN CABEZUELA DEL VALLE (CÁCERES)	
	ANEJO	REPORTAJE FOTOGRÁFICO SONDEOS	
	LOCALIZACIÓN	SONDEO S-04	



Realización del sondeo S-04.



Foto de testigo del sondeo S-04. Caja 2.



Foto de testigo del sondeo S-04. Caja 4.



Foto de testigo del sondeo S-04. Caja 1.



Foto de testigo del sondeo S-04. Caja 3.



Foto de testigo del sondeo S-04. Caja 5.



	Peticionario:	INECO	
	Trabajo	CAMPAÑA GEOTÉCNICA PARA EL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN "NUEVO PUNTE DE LA CARRETERA N-110 EN CABEZUELA DEL VALLE (CÁCERES)	
	ANEJO	REPORTAJE FOTOGRÁFICO SONDEOS	
	LOCALIZACIÓN	SONDEO S-04	



Foto de testigo del sondeo S-04. Caja 6.

APÉNDICE 5. ACTAS DE CALICATAS MECÁNICAS

APÉNDICE 6. INFORME DE GEOFÍSICA (PERFILES SÍSMICOS)

INDICE

1	ANTECEDENTES.....	3
2	FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA SÍSMICA DE REFRACCIÓN Y SISMICA PASIVA MASW.....	5
3	INSTRUMENTAL UTILIZADO EN LA SÍSMICA DE REFRACCIÓN Y LA SÍSMICA PASIVA ReMI, MASW.....	16
4	RESULTADOS SÍSMICA DE REFRACCIÓN Y SISMICA PASIVA, MASW.....	17

1 ANTECEDENTES

se ha realizado la realización de servicio consistente en un estudio geofísico mediante Sísmica de Refracción, Sísmica Pasiva MASW en Cabezuela del Valle, Cáceres. (ver plano de situación adjuntos).

Según la petición cursada, se han medido 3 Perfil de Tomografía Sísmica de Refracción, en los dos primeros perfiles también se ha medido MASW, con un dispositivo de 60 metros de longitud y registro de 12 geófonos espaciados entre sí 5 metros. (Ver plano de situación de las prospecciones realizadas).

En todos los perfiles sísmicos de refracción, la generación de señal se realizó con martillo de 4 kg, de peso y se utilizaron geófonos de 100 Hz de frecuencia, haciéndose los registros con un filtro de frecuencias “NOTCH 50” para amortiguar en lo posible el efecto del ruido ambiental. Se ha realizado la medida con 5 golpes internos de disparo distribuidos simétricamente.

En todos los perfiles de sísmica pasiva MASW, la generación de señal se realizó con martillo de 4 kg, de peso y se utilizaron geófonos de 4,5 Hz de frecuencia, haciéndose los registros sin filtro para captar las ondas superficiales y con 13 golpes internos de disparo distribuidos simétricamente entre los geófonos.

Las medidas de los ensayos se ajustaron a la posición suministrada por el peticionario, los perfiles se han situado de acuerdo con los planos adjuntos.

En los plano 1 de este informe se recogen la ubicación de la obra.

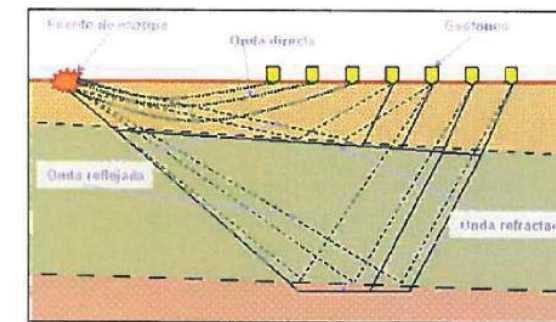
En el plano 2 se sitúan los perfiles realizados sobre la foto aérea, el mismo perfil es para la sísmica de refracción como para la sísmica pasiva MASW en los dos primeros perfiles, únicamente que se cambiaron los geófonos de 100 Hz de frecuencia a 4 Hz, en el perfil 3 solamente se ha realizado sísmica de refracción.

En el plano 3, 4 y 5 se realiza la interpretación de los perfiles de sísmica de refracción y sísmica pasiva MASW.

2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA SÍSMICA DE REFRACCIÓN Y SÍSMICA PASIVA MASW.

Los métodos sísmicos están basados en la distinta velocidad de propagación de las ondas sísmicas en el subsuelo, en función de las constantes elásticas de los materiales que atraviesan.

Estos métodos requieren la introducción en el terreno de una energía (producida generalmente mediante explosivos o golpeando en el terreno con un peso), generando así unas ondas sísmicas que pueden viajar por la superficie (ondas superficiales) o introducirse en el terreno (ondas internas).



Las ondas internas pueden ser de dos tipos:

- a) Ondas Longitudinales, también llamadas P, son las primera en llegar y corresponden a una vibración paralela a la dirección de propagación de la onda, por dilataciones y compresiones sucesivas.
- b) Ondas Transversales, u Ondas S o de Cizalla. Corresponden a una vibración perpendicular a la dirección de propagación.

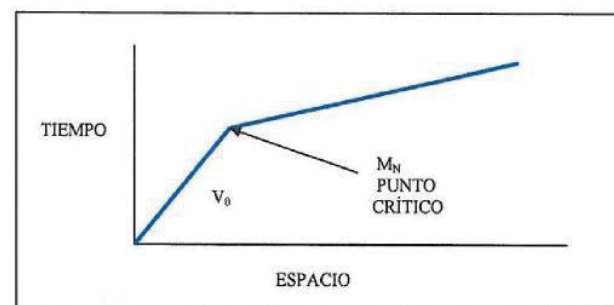


Las ondas generadas se propagan en todas direcciones y si encuentran al penetrar un medio de propagación distinto al anterior, una parte de la energía se refleja volviendo a la superficie y parte se refracta, siguiendo su viaje en profundidad.

Dentro de la energía refractada, una parte experimenta la refracción total viajando a lo largo del contacto entre los dos medios y volviendo así mismo a la superficie.

El método de Sísmica de Refracción consiste en medir, mediante unos receptores superficiales o geófonos, los tiempos de llegada de las ondas refractadas en los diversos contactos del terreno.

Los tiempos de llegada, o retardos, de las primeras llegadas se representan en una gráfica de tiempo-distancia o Dromocrona.



A partir de las gráficas de *Dromocronas* podemos calcular la velocidad de propagación de la onda sísmica en los distintos medios atravesados,

(siempre que la velocidad aumente del medio más superficial al inmediatamente inferior), así como la profundidad a que se sitúa el contacto entre los dos medios.

En una gráfica de Dromocronas, el punto donde la recta cambia de pendiente se llama Punto Crítico, el cual marca el paso de un medio de velocidad V_0 a otro de velocidad V_1 , siendo $V_0 < V_1$.

Con Sísmica de Refracción no son interpretables capas de poco espesor, ni secuencias alternantes.

Los cambios litológicos laterales se pueden apreciar sobre la gráfica de Dromocronas, pero no se pueden interpretar por los principios de la Refracción.

Los métodos sísmicos, calculan y estudian la distribución en el subsuelo de las velocidades de transmisión de ondas sísmicas, (generalmente V_p y V_s), que junto con la densidad (γ), son los parámetros que permiten calcular los módulos elásticos dinámicos.

PARÁMETROS:

PS - Perfil Sísmico 1D.

γ - Densidad estimada.

V_p - Velocidad de onda P (medida mediante perfil sísmico de refracción)

V_s - Velocidad de onda S (medida mediante perfil sísmico MASW)

u - Módulo de Poisson. $u = \frac{0,5(V_p/V_s)^2 - 1}{(V_p/V_s)^2 - 1}$

E - Módulo de Young. $E = 2(1+u)G$

G - Módulo de Rigidez. $G = \gamma V_s^2 / g$

Las ondas sísmicas internas (V_p y V_s) al propagarse en el subsuelo y encontrar superficies que separan materiales con distintas velocidades, se refractan, se reflejan o se difractan. En prospección aplicada a obra civil, se suelen utilizar de forma generalizada las ondas P refractadas, (sísmica de refracción) y solo en algunos casos, las ondas P reflejadas (sísmica de reflexión).

En sísmica de refracción se mide el tiempo transcurrido entre el disparo y la primera llegada de la perturbación a cada geófono, (bien la onda directa, o bien las ondas refractadas), y se trabaja normalmente con la velocidad de las ondas P (V_p).

Las superficies donde se produce la refracción, (refractores), vienen definidas por cambios de impedancia acústica y se produce una refracción total cuando el ángulo de incidencia alcanza un valor determinado según la Ley de Snell.

No obstante, la sísmica de refracción convencional tiene algunas limitaciones que, sobre todo en ambientes urbanos, dificultan su aplicación ya que se necesita un ambiente sin ruidos, cosa casi imposible en áreas urbanas, además se asume que existe un aumento de velocidad en profundidad, que aunque en general es un principio válido, no se detectan.

Por otro lado para determinar V_s será necesario realizar ensayos especiales (cross-hole, down-hole), que son complejos, caros y lentos.

Además de las ondas internas, las fuentes sísmicas pueden generar ondas superficiales, (Rayleigh y Love), que presentan un movimiento de vibración de las partículas similar al de las ondas S.

La principal característica de las Ondas S es que son dispersivas ya que son grupos de ondas en las que viajan diferentes fases, cada una con diferente velocidad de propagación (V_{fase}), longitud de onda y grado de penetración.

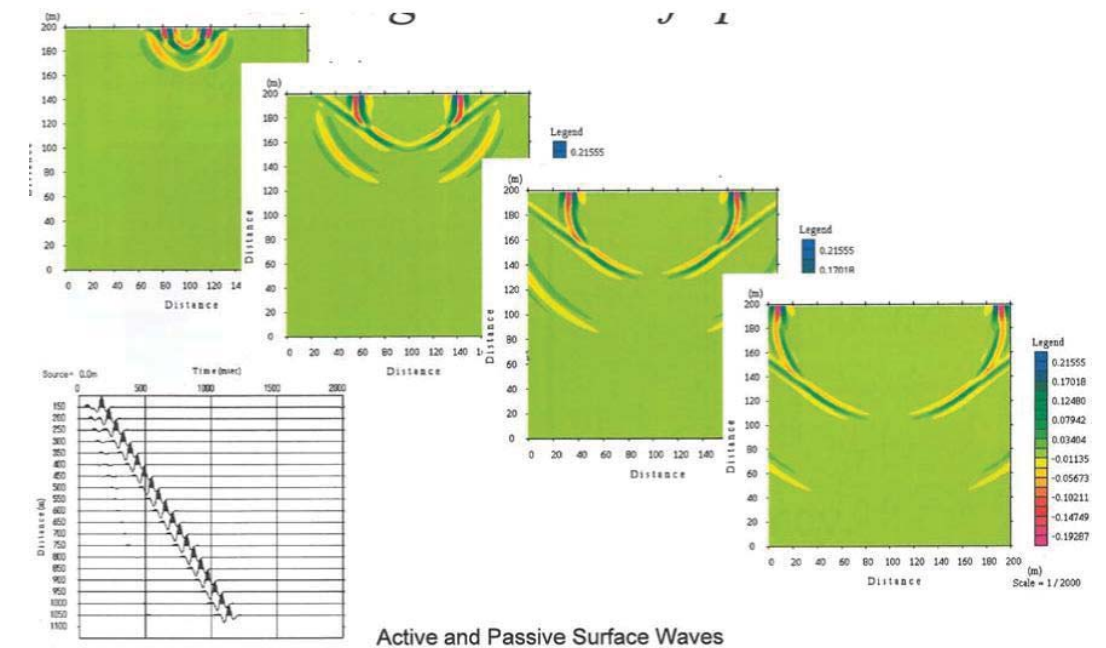


Figura 1.- Muestra la geometría de dispersión de las ondas superficiales.

En general estas ondas en superficie presentan una elevada frecuencia y el profundidad más baja, este fenómeno se traduce en la profundidad de penetración de la onda ya que a más altas frecuencias menos velocidad y menor penetración y en altas frecuencias mayor velocidad y penetración

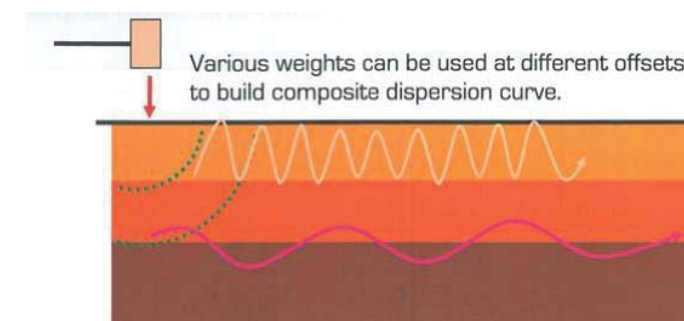


Figura 2.- Indica la variación de la frecuencia de las ondas superficiales.

Dentro de las ondas superficiales, las ondas Rayleigh son ondas sísmicas plano – polarizadas verticalmente con una vibración de partículas elíptica y retrógrada.

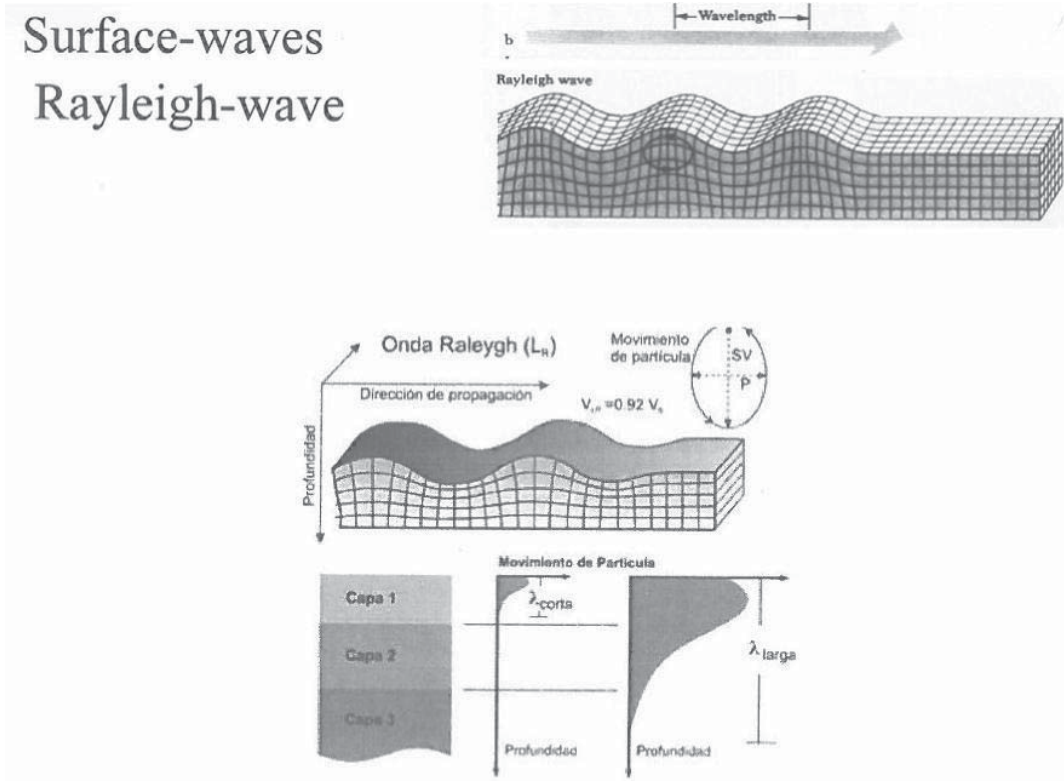


Figura 3.- Geometría de la distribución de la energía en los materiales a su paso por una onda Rayleigh.

Ante la necesidad de obtener de forma rápida, la distribución de la velocidad de ondas S, en zonas urbanas, se han desarrollado varios métodos basados en análisis de Ondas Superficiales: MASW, (Mulichanel analysis of Superficial Wace) y REMI, (Refraction Microtremor).

Entre las dos técnicas existen diferencias:

- En el MASW a que golpear entre electrodos para enriquecer las señal en el REMI no.
- El método REMI alcanza mayor profundidad de investigación que el MASW.
- El método REMI da información puntual de la investigación al igual que un sondeo eléctrico vertical, a diferencia del MASW que podemos conocer en 2D perfil la distribución de Vs con cambios laterales de facies.
- El REMI requiere de gran espacio pues lo protocolos de medidas no son lineales sino en círculos, triángulos, en L, etc, por lo que no tiene el carácter lineal de un perfil y no siempre se podrá realizar.

SISMICA DE REFRACCIÓN.

El tratamiento de la información sísmica se ha realizado con el programa informático **Seismager de OYO Corporación**.

La interpretación se ha realizado mediante análisis tomográfico, delimitando mediante isólineas los intervalos de una misma velocidad sísmica.

En el Anejo adjuntamos, para cada Perfil Sísmico realizado, una hoja de resultados que consta de:

- Gráfica de Interpretación del Perfil Sísmico, según una sección del terreno a favor del mismo, representando:
 - La superficie topográfica.
 - Las distintas capas detectadas, con su velocidad sísmica, expresada en m/seg.

Los criterios de Ripabilidad se establecen para un escarificado con rendimiento óptimo, pudiendo ser posible el mismo con un tractor más pequeño a bajo rendimiento.

Estos criterios se han definido, básicamente, mediante las **Tablas de Rendimiento de Desgarradores Caterpillar** para distintos modelos de Bulldozer de un vástago o vástagos múltiples.

Los Criterios de Ripabilidad y Correlación del Grado de Alternación que se pueden asumir son:

- < 800 m/s: material Excavable. G.A.: VI. Completo.
- 800-1.200: material de Ripabilidad Fácil. G.A.: V. Muy Alto.
- 1.200-1.600: material de Ripabilidad Moderada. G.A.: IV. Alto.
- 1.600-2.000: material de Ripabilidad Difícil. G.A.: III. Moderado.
- 2.000-2.400: material de Ripabilidad Marginal. G.A.: II Ligero.
- > 2.400: Material No Ripable. GA.: I. Nulo.

La **Clasificación del Tractor recomendado** correspondería, según a la Potencia del mismo expresada en Kilovatios, y el Peso en Toneladas, a:

TRACTOR	CLASE	POTENCIA (KW)	PESO (t)
PEQUEÑO		< 100	<15
LIGERO	1	100-150	15-25
MEDIO	2	150-220	25-35
PESADO	3	220-350	35-55
MUY PESADO	4	>350	>55

La correlación entre Velocidad Sísmica y Tractor recomendado sería:

<u>Vp (m/s)</u>	<u>Clase Tractor</u>
< 800	Pequeño
800-1.200	1
1.200-1.600	2
1.600-2.000	3
2.000-2.400	4
> 2.400	Voladura

SÍSMICA PASIVA TIPO MASW.

Para el procesado del MASW, se han utilizado los software Surface Wave, Wave Eq, y Geoplot. Desde la adquisición de campo se filtran los datos hasta obtener la distribución unidimensional y bidimensional que se apartará a continuación.

Los valores de Vs como parámetro relacionado con la consistencia del terreno, cabe mencionar que el valor medio de los valores de Vs para los 30 metros más superficiales del terreno (Vs30) constituye un parámetro universalmente aceptado para la clasificación de suelos, según las normas IBC, (International Building Code), que se representan a continuación en la siguiente tabla.

CLASE	Propiedades medias en los 100 primeros pies		
	Vs (m/s)	SPT número	Resistencia a la cizalla Su (psf)
A	Vs > 1524	No aplicable	No aplicable
B	762 < Vs < 1524	No aplicable	No aplicable
C	365.7 < Vs < 762	N > 50	Su > 2000
D	182.9 < Vs < 365.7	15 < N < 50	1000 < Su < 2000
E	Vs < 182.9	N < 15	Su < 1000
F	Cualquier perfil de suelo con más de 10 pies con: índice de Plasticidad (IP) > 20 Su < 1000 Contenido en humedad (w) > 40 %		

Estas normas y recomendaciones se refieren a la respuesta del terreno frente a movimientos sísmicos y específicamente los efectos de ampliación de las ondas de cizalla en los niveles superficiales.

El método de sísmica de ondas superficiales permite determinar de forma rápida y fiable los valores (Vs30) para la caracterización del terreno en los emplazamientos de edificios de nueva construcción. Esta es una aplicación de uso sistemático en países como EE.UU y Japón.

3 INSTRUMENTAL UTILIZADO EN LA SÍSMICA DE REFRACCIÓN Y LA SÍSMICA PASIVA ReMI, MASW.

El Sismógrafo utilizado es de 24 canales simultáneos **GEODE-24**.

En todos los perfiles sísmicos, la generación de señal se realizó con martillo de 4 kg, de peso y se utilizaron geófonos de 100 Hz, (refracción), y 4 Hz, (MASW), de frecuencia, haciéndose los registros con filtro NOTH FREQUENCY 50 en refracción y sin filtro para captar las ondas superficiales, (MASW).

Las características principales de este sismógrafo son:

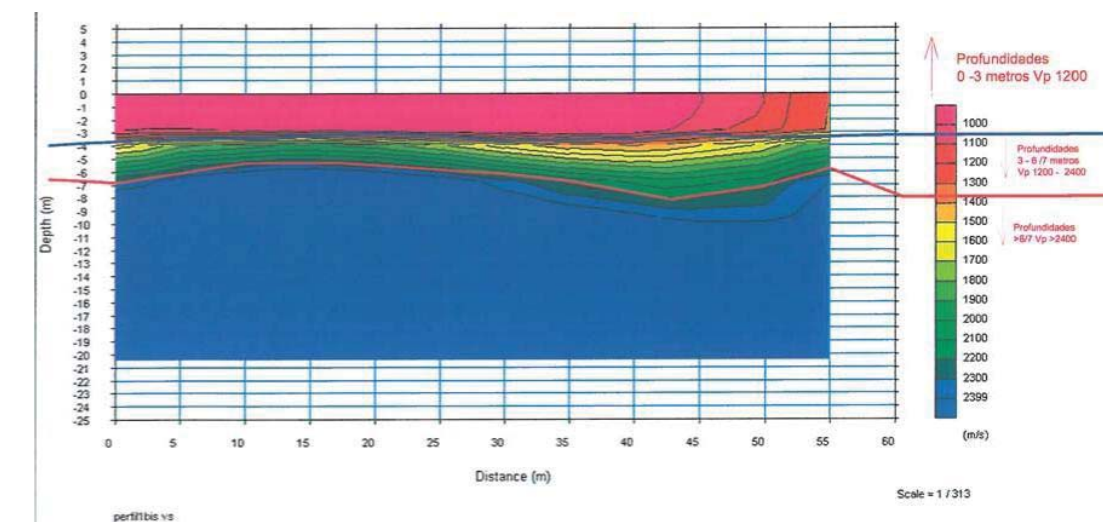
- 24 bits de resolución.
- Ancho de banda: 1.75 Hz a 20 kHz.
- Filtros: Notch Frecuencia 50 en refracción y sin filtros en MASW.
- Transmisión de datos por tarjeta PCMCIA a ordenador portátil.
- Programa SGOS para adquisición, vista en pantalla, impresión, filtrado y almacenamiento de datos.
- Ficheros en formato SEG-2.
- Tratamiento de la información mediante los programas SIPQC o SeisImager/2D de OYO Corporation. Sísmica de Refracción.
- Tratamiento de la información mediante los programas SEISIMAGER/SW 2D. Sísmica MASW.

Para el procesado del MASW, se han utilizado los software Surface Wave, Wave Eq, y Geoplot. Desde la adquisición de campo se filtran los datos hasta obtener la distribución unidimensional y bidimensional que se apartará a continuación.

4 RESULTADOS SÍSMICA DE REFRACCIÓN Y SÍSMICA PASIVA, MASW.

PERFIL 1 SÍSMICA DE REFRACCIÓN.

El perfil 1 de sísmica de refracción está ubicado en la posición que muestra el plano 2, posee 60 metros de longitud con espaciamiento de geófonos cada 5 metros y cinco puntos de disparo distribuidos simétricamente, con registro de 12 geófonos.

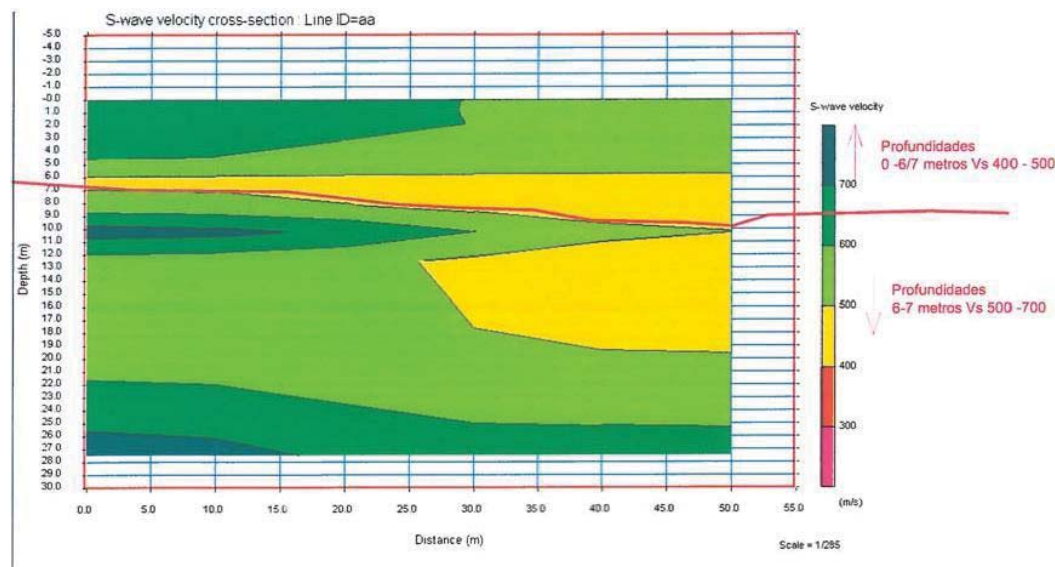


En este perfil se observan tres niveles de velocidad sísmica V_p claramente diferenciados, (Ver plano 3):

- De 0,00 – 3,00 metros: Niveles con velocidad de 1200 m/s, material fácilmente excavable.
- De 3,00 – 6,00/7,00 metros: Niveles con velocidad de 1200 - 2400 m/s, material excavable moderado a marginal, ayuda de martillo picador o explosivos puntualmente.
- >6,00/7,00 metros: Nivel de muro con velocidades de 2400 m/s material no excavable, martillo picador o explosivos.

PERFIL 1 SÍSMICA DE PASIVA TIPO MASW.

El perfil 1 de sísmica pasiva tipo MASW está ubicado en la posición que muestra el plano 2, posee 60 metros de longitud con espaciamento de geófonos cada 5 metros y trece puntos de disparo distribuidos simétricamente, con registro de 12 geófonos.



Ver plano 2.	Profundidad, (metros)	Vs(m/s)
MASW-1	0,00 – 6,00/7,00	400- 500
	>6,00/7,00	500- 700

RESUMEN DE VALORES OBTENIDOS Y CÁLCULO DE PARÁMETROS DEL TERRENO.

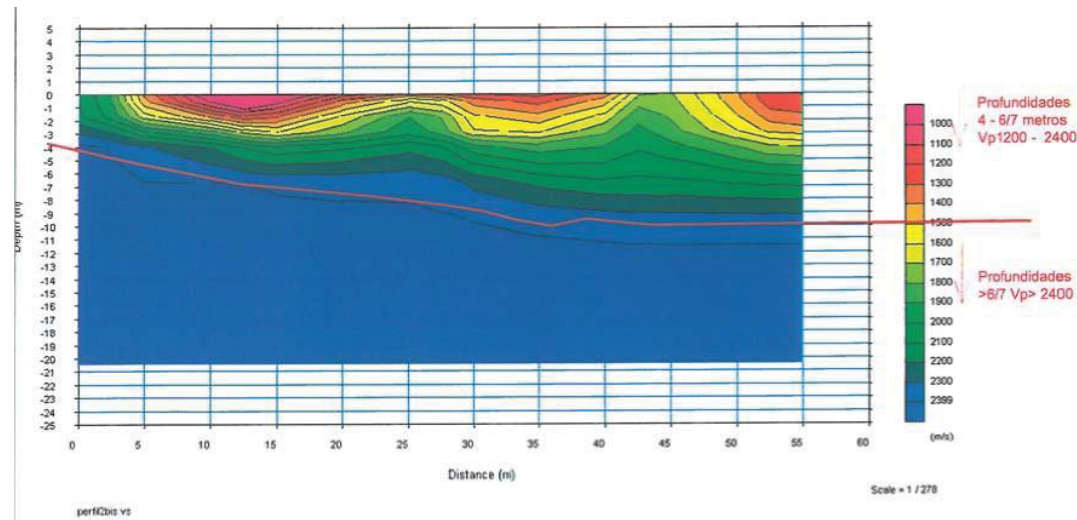
Módulo de Young Dinámico (Ed), expresado en Mpa (10^9 Newton/m²), donde $g=0,981$

Vp	Vs	Coe. Poisson	densidad en GN/m ³
1500	450	0,4505	0,000020
2400	600	0,4667	0,000020

Módulo Young Mpa	Módulo Young Kpa	ESPESOR
11,98	11.977,01	0,00-6,00/7,00
21,53	21.529,05	>6,00/7,00

PERFIL 2 SÍSMICA DE REFRACCIÓN.

El perfil 2 de sísmica de refracción está ubicado en la posición que muestra el plano 2, posee 60 metros de longitud con espaciamento de geófonos cada 5 metros y cinco puntos de disparo distribuidos simétricamente, con registro de 12 geófonos.

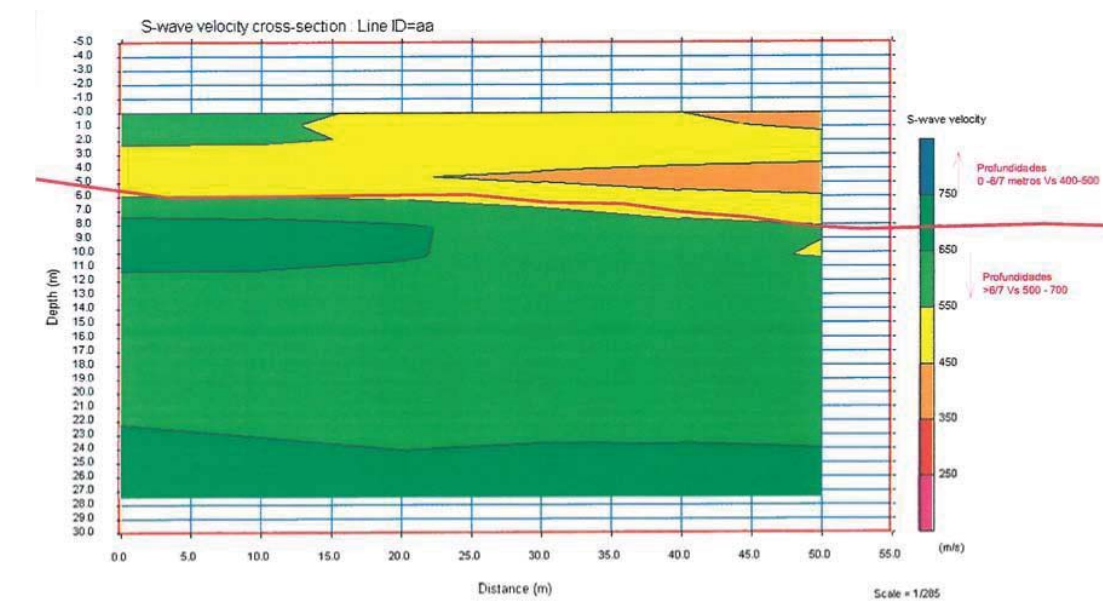


En este perfil se observan dos niveles de velocidad sísmica Vp claramente diferenciados, (Ver plano 3):

- De 0,00 – 4,00/7,00 metros: Niveles con velocidad de 1200 - 2400 m/s, material excavable moderado a marginal, ayuda de martillo picador o explosivos puntualmente.
- >4,00/7,00 metros: Nivel de muro con velocidades de 2400 m/s material no excavable, martillo picador o explosivos.

PERFIL 1 SÍSMICA DE PASIVA TIPO MASW.

El perfil 2 de sísmica pasiva tipo MASW está ubicado en la posición que muestra el plano 2, posee 60 metros de longitud con espaciamento de geófonos cada 5 metros y trece puntos de disparo distribuidos simétricamente, con registro de 12 geófonos.



Ver plano 2.	Profundidad, (metros)	Vs(m/s)
MASW-1	0,00 – 6,00/7,00	400- 500
	>6,00/7,00	500- 700

RESUMEN DE VALORES OBTENIDOS Y CÁLCULO DE PARÁMETROS

DEL TERRENO.

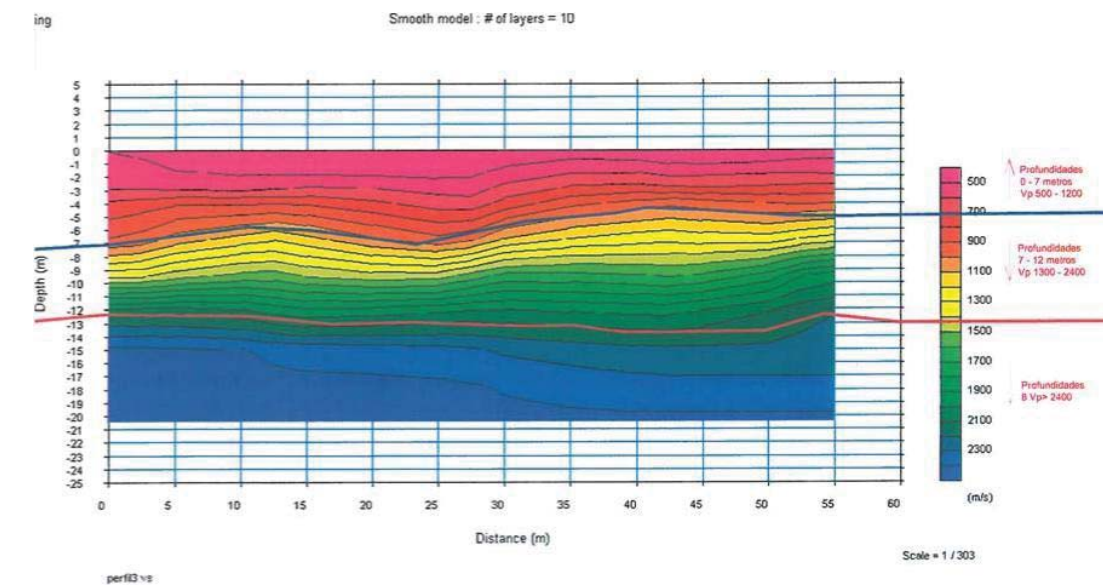
Módulo de Young Dinámico (Ed), expresado en Mpa (10^9 Newton/m²), donde $g=0,981$

Vp	Vs	Coe. Poisson	densidad en GN/m ³
1500	450	0,4505	0,000020
2400	600	0,4667	0,000020

Módulo Young Mpa	Módulo Young Kpa	ESPEJOR
11,98	11.977,01	0,00-6,00/7,00
21,53	21.529,05	>6,00/7,00

PERFIL 3 SÍSMICA DE REFRACCIÓN.

El perfil 3 de sísmica de refracción está ubicado en la posición que muestra el plano 2, posee 60 metros de longitud con espaciamiento de geófonos cada 5 metros y cinco puntos de disparo distribuidos simétricamente, con registro de 12 geófonos.

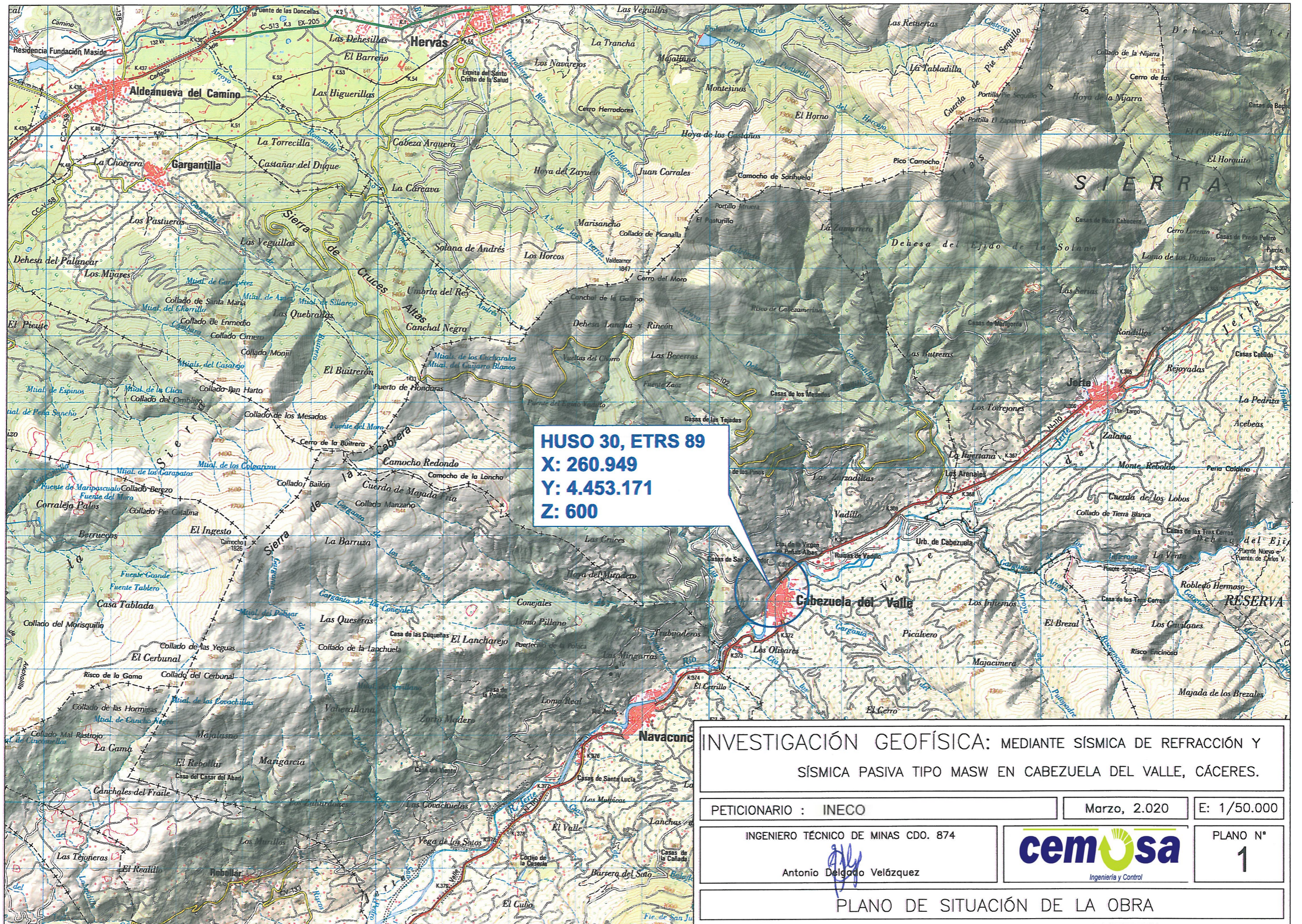


En este perfil se observan tres niveles de velocidad sísmica Vp claramente diferenciados, (Ver plano 3):

- De 0,00 – 5,00/7,00 metros: Niveles con velocidad de 1200 m/s, material fácilmente excavable.
- De 5,00/7,00 – 12,00 metros: Niveles con velocidad de 1200 - 2400 m/s, material excavable moderado a marginal, ayuda de martillo picador o explosivos puntualmente.
- >12,00 metros: Nivel de muro con velocidades de 2400 m/s material no excavable, martillo picador o explosivos.

Las mediciones realizadas sobre todo, los dos primeros perfiles de sísmica de refracción, no tienen un buen registro debido a la contaminación acústica que introduce el río adjunto a los perfiles.

Por último remarcar que la Sísmica de Refracción y la Sísmica Pasiva MASW, son métodos de investigación indirecta, por lo que los resultados obtenidos, son una interpretación razonable tras un amplio conocimiento de la técnica empleada.



HUSO 30, ETRS 89
X: 260.949
Y: 4.453.171
Z: 600

INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA: MEDIANTE SÍSMICA DE REFRACCIÓN Y SÍSMICA PASIVA TIPO MASW EN CABEZUELA DEL VALLE, CÁCERES.

PETICIONARIO : INECO

Marzo, 2.020

E: 1/50.000

INGENIERO TÉCNICO DE MINAS CDO. 874

Antonio Delgado Velázquez



PLANO N°
1

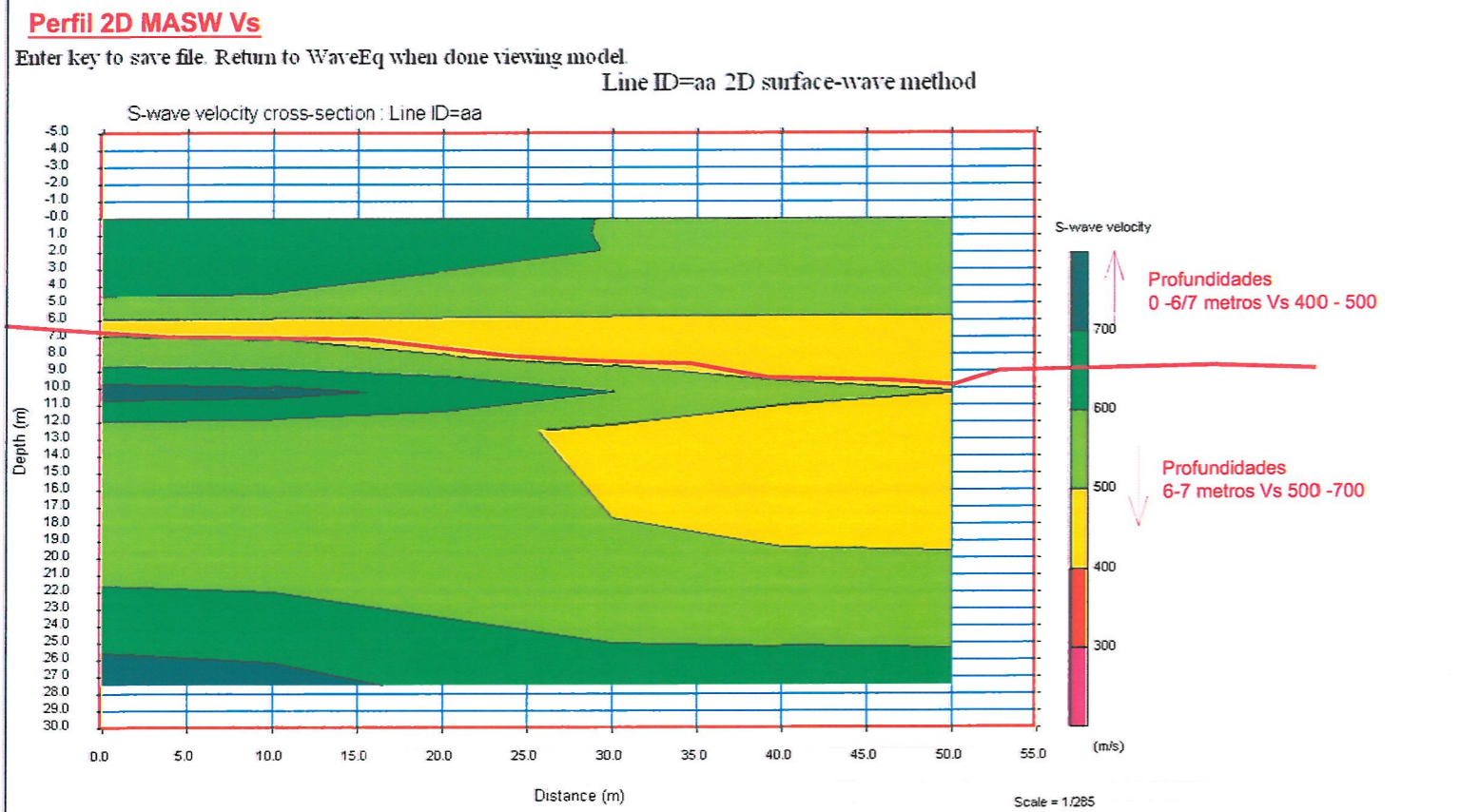
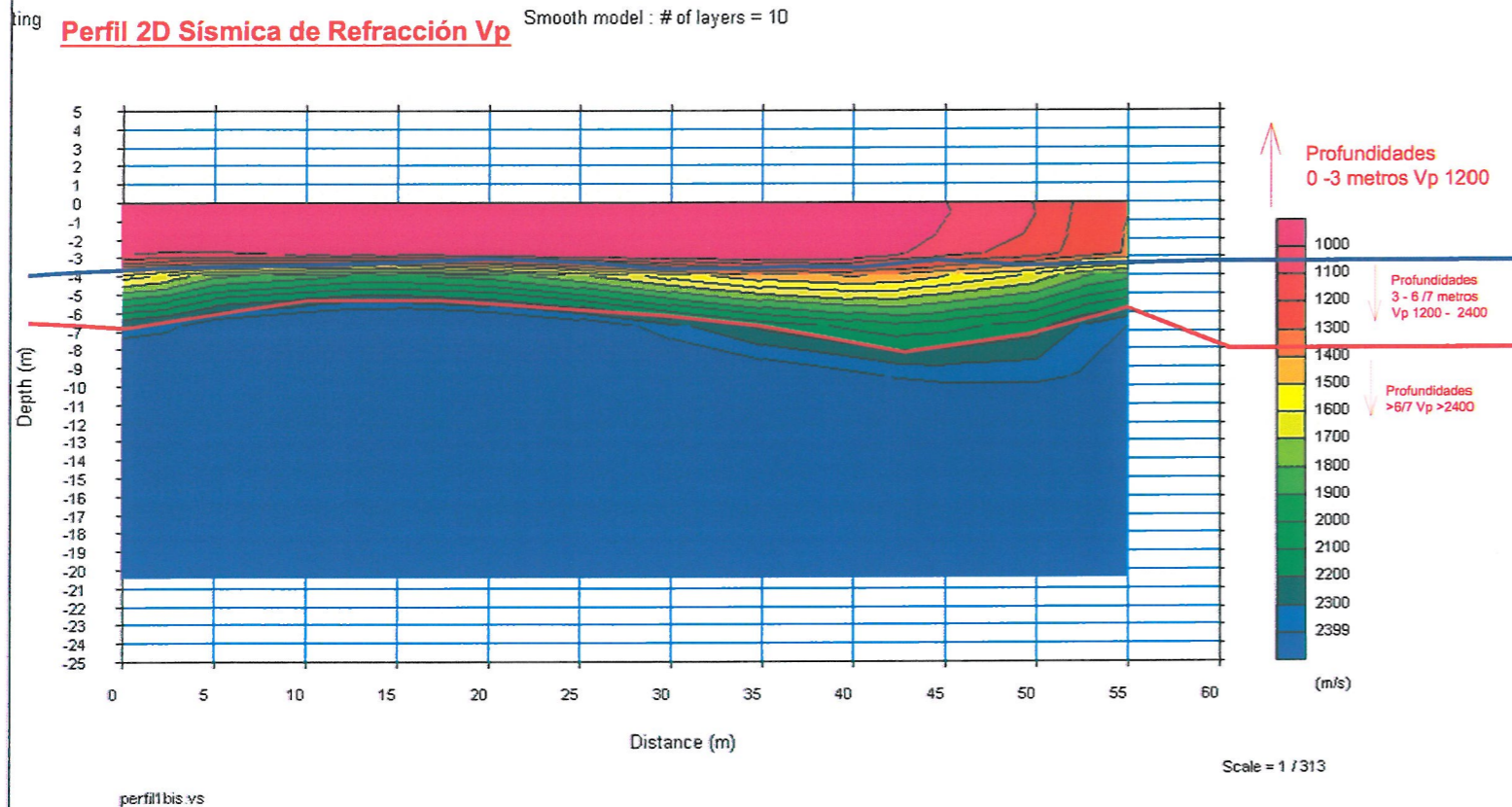
PLANO DE SITUACIÓN DE LA OBRA



INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA: MEDIANTE SÍSMICA DE REFRACCIÓN Y SÍSMICA PASIVA TIPO MASW EN CABEZUELA DEL VALLE, CÁCERES.

PETICIONARIO : INECO	MARZO, 2020	E: 1/1.000
INGENIERO TÉCNICO DE MINAS CDO. 874 Antonio Delgado Velázquez	cemosa Ingeniería y Control	PLANO N° 2

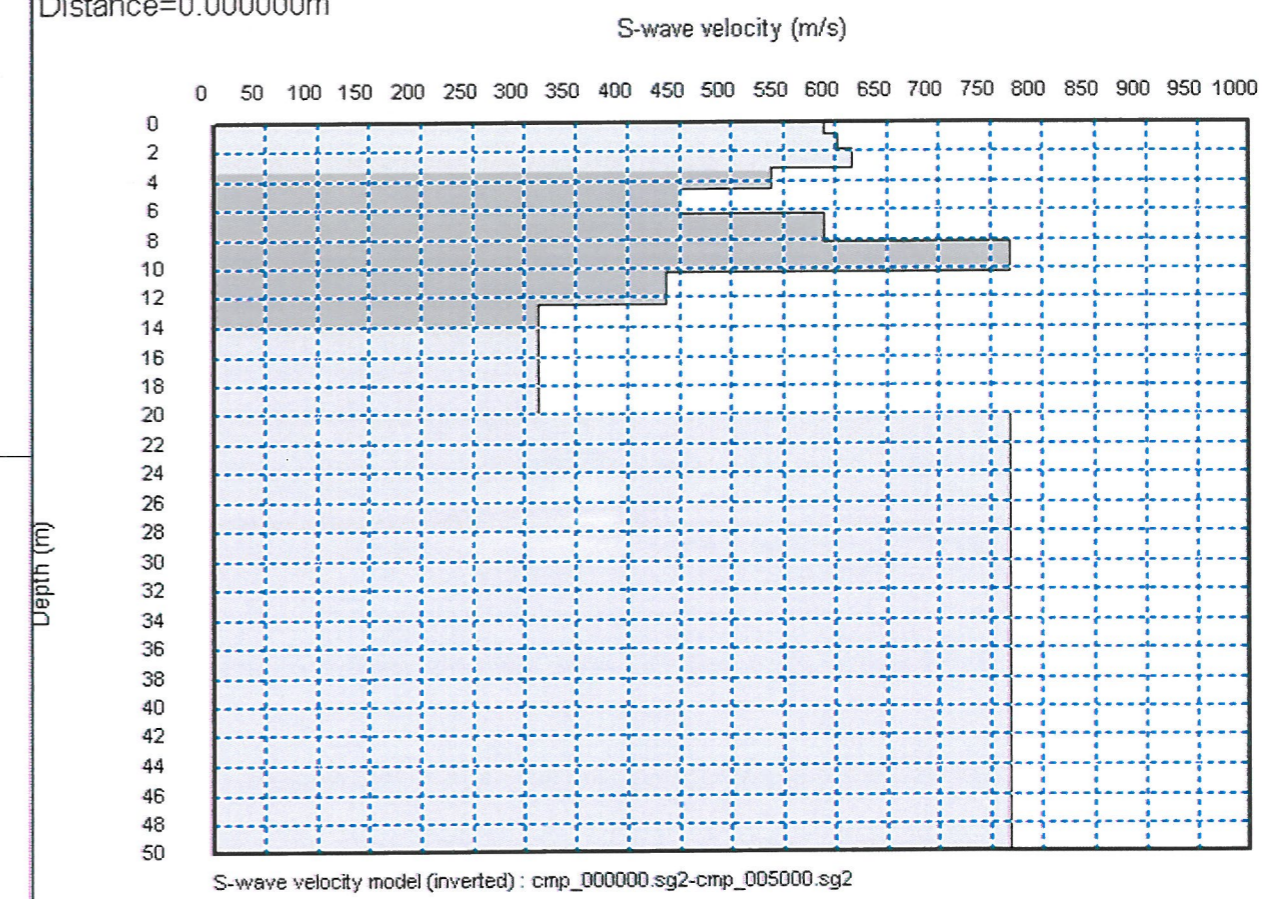
PLANO DE SITUACIÓN DE LOS PERFILES REALIZADOS



Perfil 1D ReMI

Enter key to continue Surface Wave Analysis Wizard.
Distance=0.000000m

2D MASW analysis



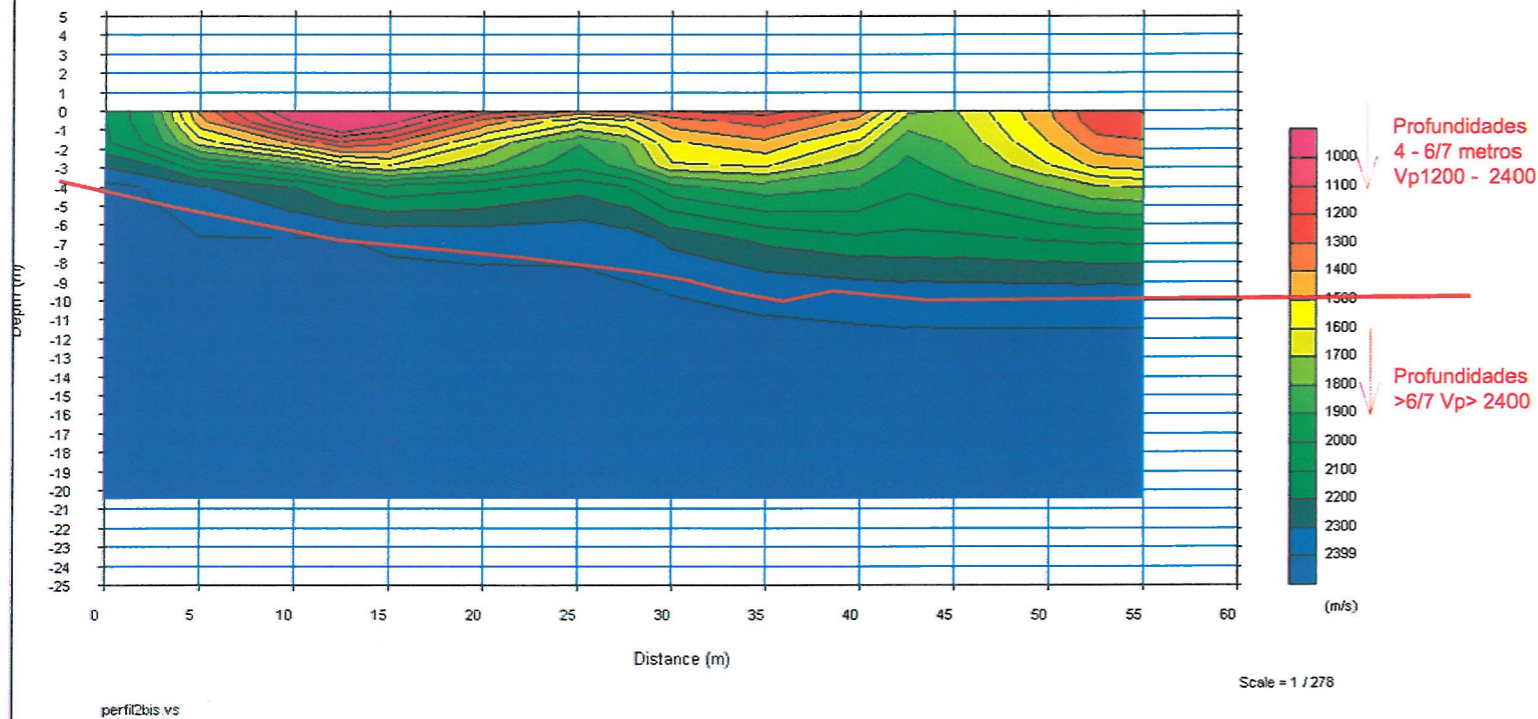
INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA: MEDIANTE SÍSMICA DE REFRACCIÓN Y SÍSMICA PASIVA TIPO MASW EN CABEZUELA DEL VALLE, CÁCERES.

PETICIONARIO : INECO	MARZO, 2.019	E: S/E
INGENIERO TÉCNICO DE MINAS CDO. 874 Antonio Delgado Velázquez		PLANO N° 3

PLANO DE INTERPRETACIÓN DEL PERFIL 1.-

Perfil 2D Sísmica de Refracción Vp

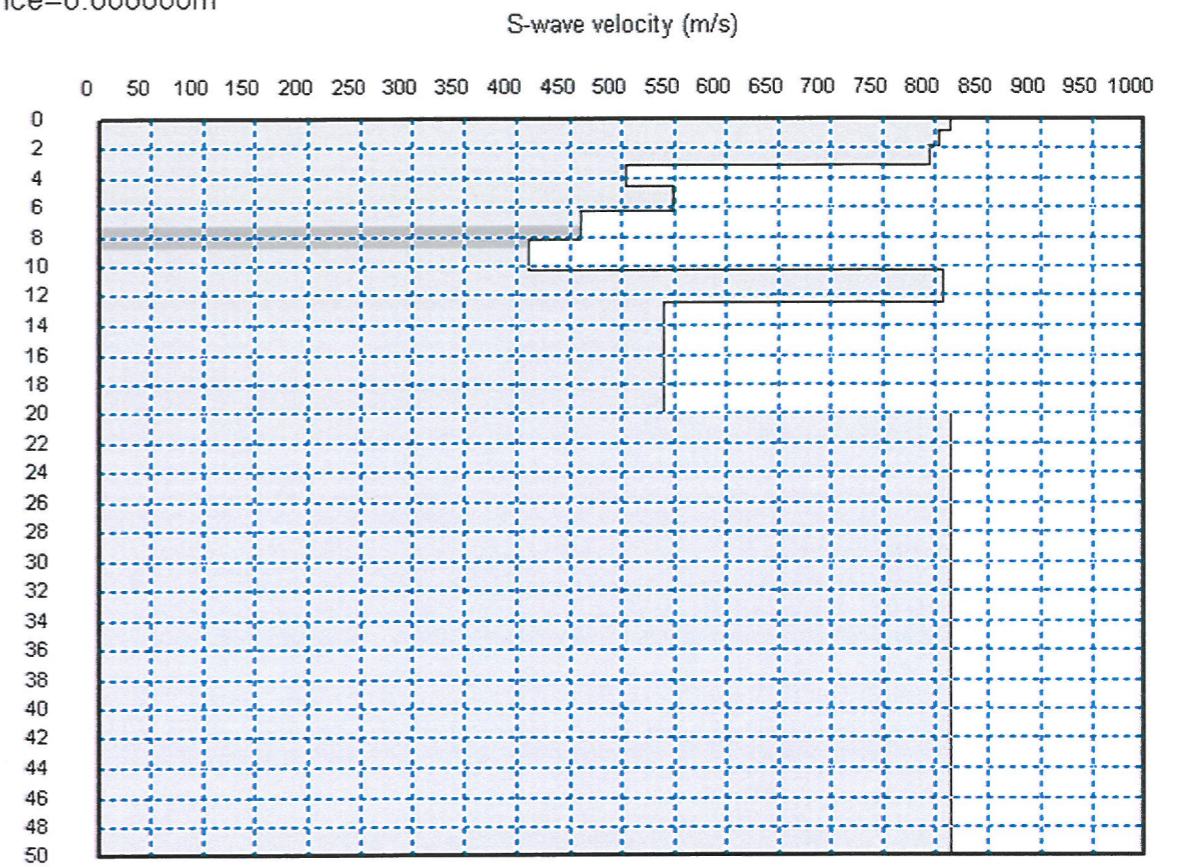
Smooth model : # of layers = 10



Perfil 1D ReMI

Enter key to continue Surface Wave Analysis Wizard.
Distance=0.000000m

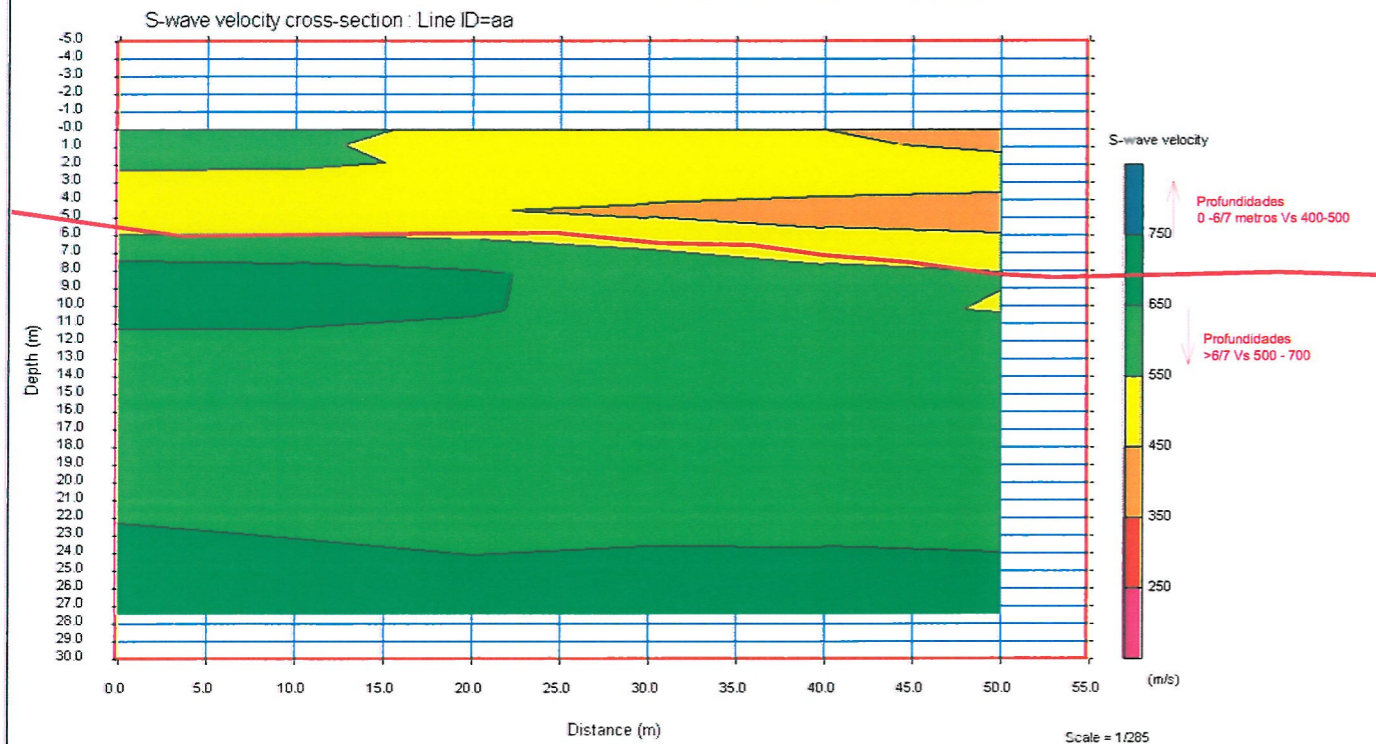
2D MASW analysis



Perfil 2D MASW Vs

Enter key to save file. Return to WaveEq when done viewing model.

Line ID=aa 2D surface-wave method



INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA: MEDIANTE SÍSMICA DE REFRACCIÓN Y SÍSMICA PASIVA TIPO MASW EN CABEZUELA DEL VALLE, CÁCERES.

PETICIONARIO : INECO

MARZO, 2.019

E: S/E

INGENIERO TÉCNICO DE MINAS CDO. 874

Antonio Delgado Velázquez

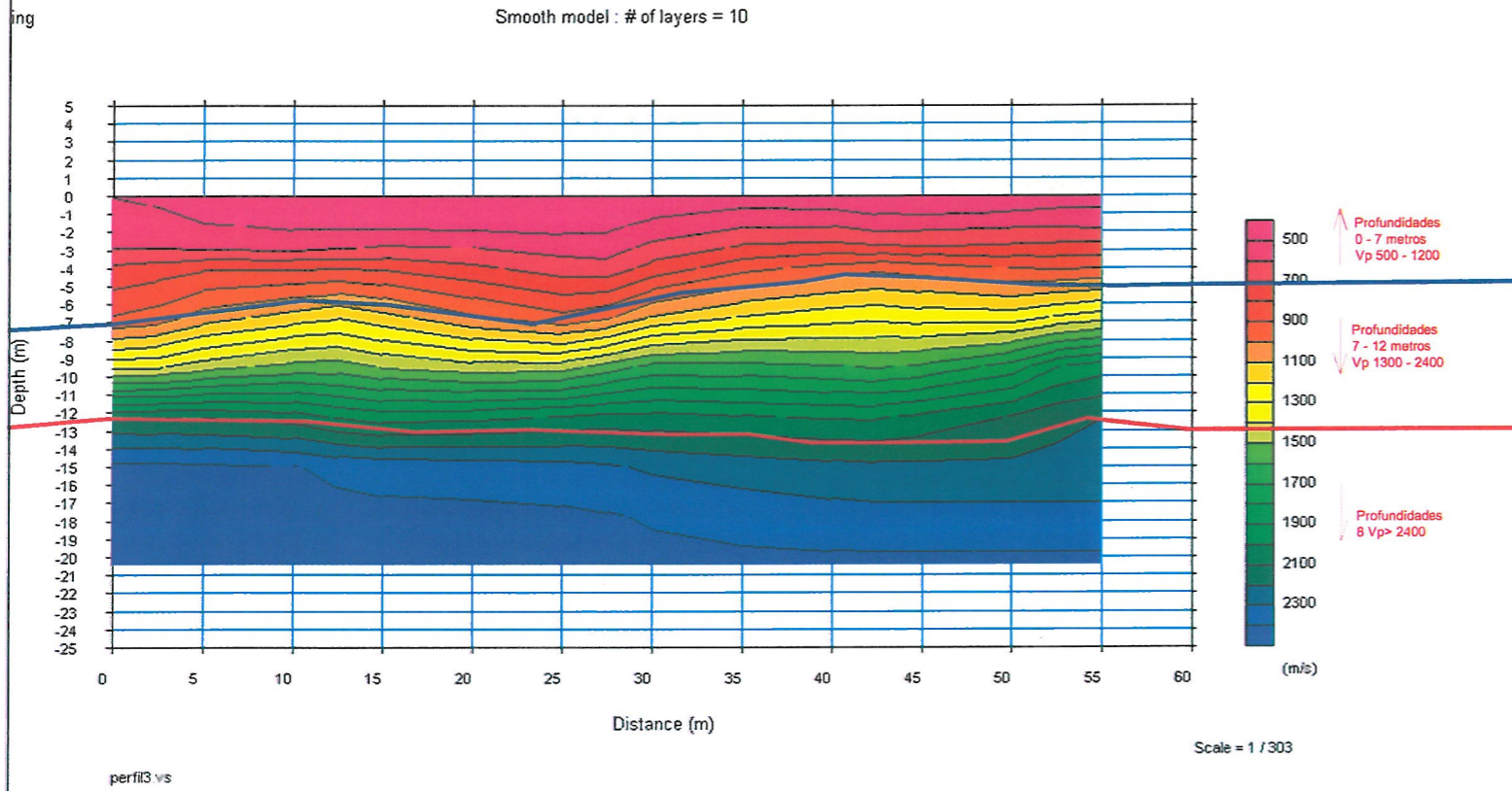


PLANO N°

4

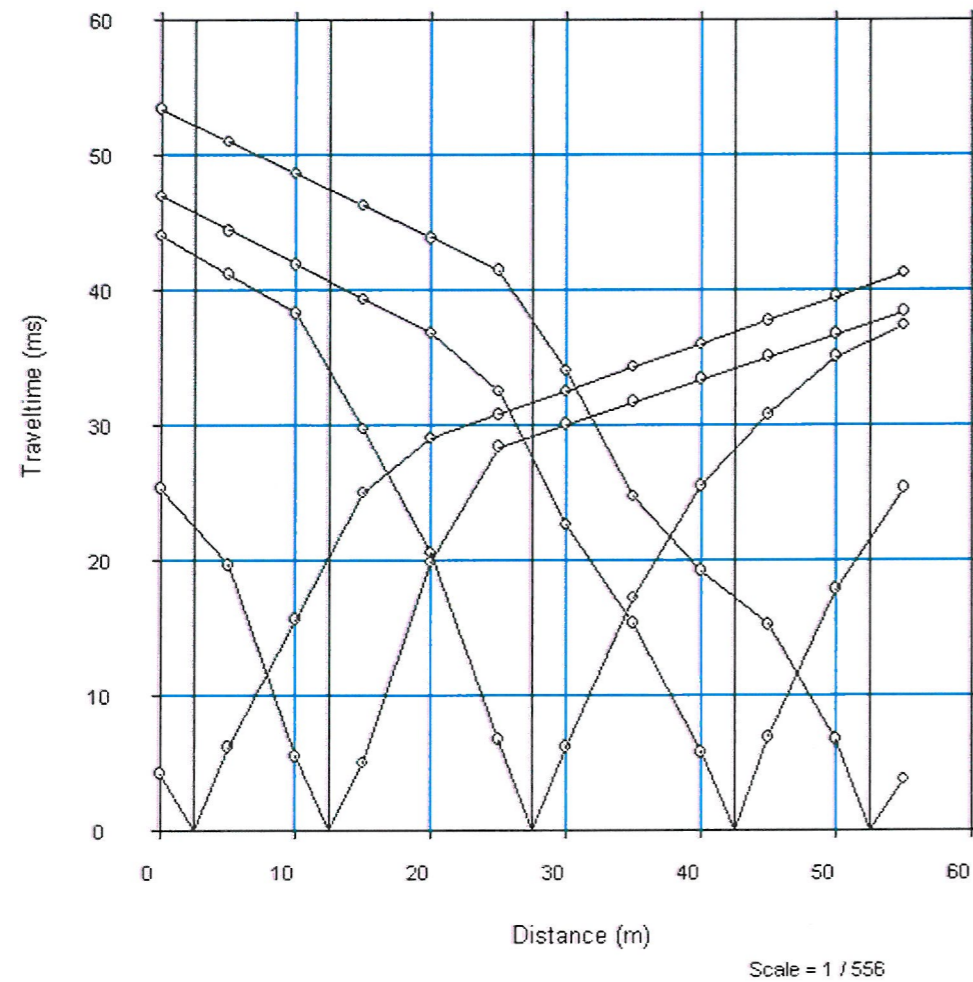
PLANO DE INTERPRETACIÓN DEL PERFIL 2.-

Perfil 2D Sísmica de Refracción Vp



Vp (m/s)	Excavabilidad	Técnica de Excavación	Grado Alter
<800	Excavable	Tract. Pequeño (<100 KW)	VI. Completo
1200	Ripable Facil	Tract. Ligero (<100-150 KW)	VI. Muy Alto
1600	Ripable Moderado	Tract. Medio (<150-220 KW)	VI. Alto
2000	Ripable Difícil	Tract. Pesado (<220-350 KW)	III. Moderado
2400	Ripable Marginal	Tract. Muy Pesado (<350 KW)	II. Ligero
>2400	No Ripable	Voladura	I. Nulo

DROMOCROMA



INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA: MEDIANTE SÍSMICA DE REFRACCIÓN Y SÍSMICA PASIVA TIPO MASW EN CABEZUELA DEL VALLE, CÁCERES.

PETICIONARIO : INECO

MARZO, 2.019

E: S/E

INGENIERO TÉCNICO DE MINAS CDO. 874

Antonio Delgado Velázquez



PLANO N°

5

PLANO DE INTERPRETACIÓN DEL PERFIL 3.-

LEYENDA

Holoceno	30	31
SUPERIOR	22	23
	20	21
	24	25
	26	27
MEDIO	17	
INFERIOR	17	
TERCIARIO	17	
CRÁTERICO SUPERIOR	15	16

**ROCAS ÍGNEAS HERCÍNICAS
GRANITOS ALÓCTONOS**

13	14
11	12
10	

**GRANITOS ANATÉCTICOS
AUTÓCTONOS O PARAUTÓCTONOS**

9
8
7
6
5
4

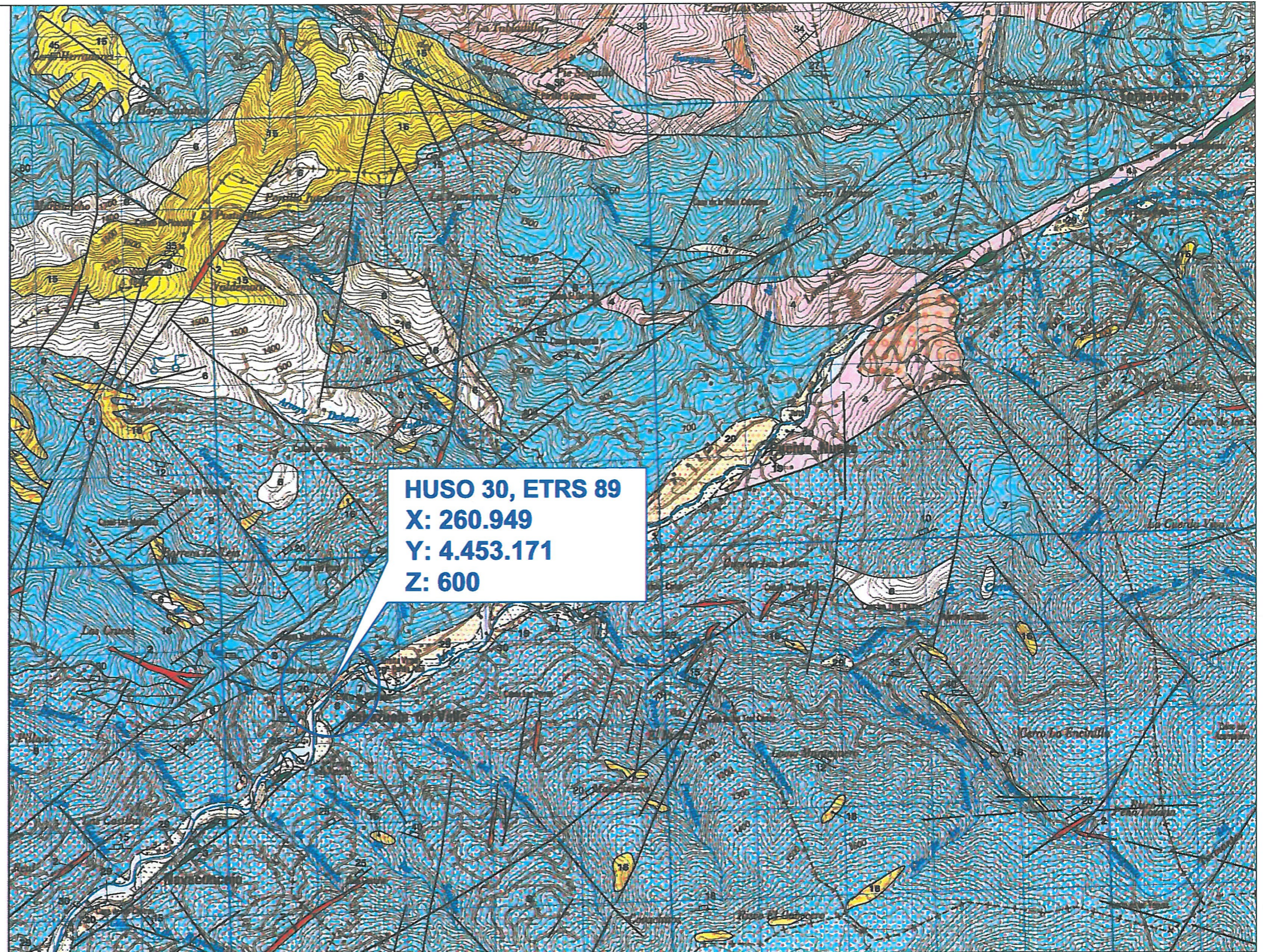
**ROCAS FILONIANAS
POST-HERCÍNICAS**

--

HERCÍNICAS

1

- 31 Conos de deyección
- 30 Depósitos fluvio-torrenciales de cauce actual
- 29 Terraza 3ª fluvio-torrencial
- 28 Depósitos lacustres de obstrucción glaciar
- 27 Depósitos glacio-lacustres
- 26 Llanura aluvial fluvio-glaciar
- 25 Morrena de ablación
- 24 Morrena de fondo
- 23 Morrena lateral de 2ª etapa
- 22 Morrena lateral de 1ª etapa
- 21 Abranicos y acerros torrenciales
- 20 Terraza 2ª fluvio-torrencial
- 19 Terraza 1ª fluvio-torrencial
- 18 Mantos de derrubios periglaciares
- 17 Depósitos solifúdeos del medio periglacial
- 16 Esqueletos y cuarzoesqueletos... migmatizado
- 15 Esqueletos y cuarzoesqueletos con niveles de cuarcitas micáceas y conglomerados
- 14 Leucogranito moscovítico de grano fino
- 13 Leucogranito moscovit. de grano medio-grueso
- 12 Granito biot.-mosc. de grano medio
- 11 Granito biot.-mosc. de grano grueso
- 10 Monzogranitos y/o granodioritas biotíticas porfíricas de grano medio-grueso
- 9 Monzogranito biot.-moscovita de grano medio
- 8 Monzogranito y granod. biot. porfíricos de grano med.-grueso con ± mosc. ± cord. y ± sillim.
- 7 Monzogranito y granodiorita heterogénea biot. de grano med. con abundante cord. y ± sillim.
- 6 Leucogranito biot.-mosc. de grano medio con ± cordierita y ± sillimanita
- 5 Leucogranito de grano fino-medio mosc. ± biot. con nódulos de cordierita y ± andaluzita
- 4 Complejo de granitos inhomogéneos y migmatitas con restos de metasedimentación
- 3 Dabasas piraxénico-antifólicas
- 2 Diques de cuarzo
- 1 Porfidos graníticos



HUSO 30, ETRS 89
X: 260.949
Y: 4.453.171
Z: 600

INVESTIGACIÓN GEOFÍSICA: MEDIANTE SÍSMICA DE REFRACCIÓN Y SÍSMICA PASIVA TIPO MASW EN CABEZUELA DEL VALLE, CÁCERES.

PETICIONARIO : INECO

Marzo, 2.020

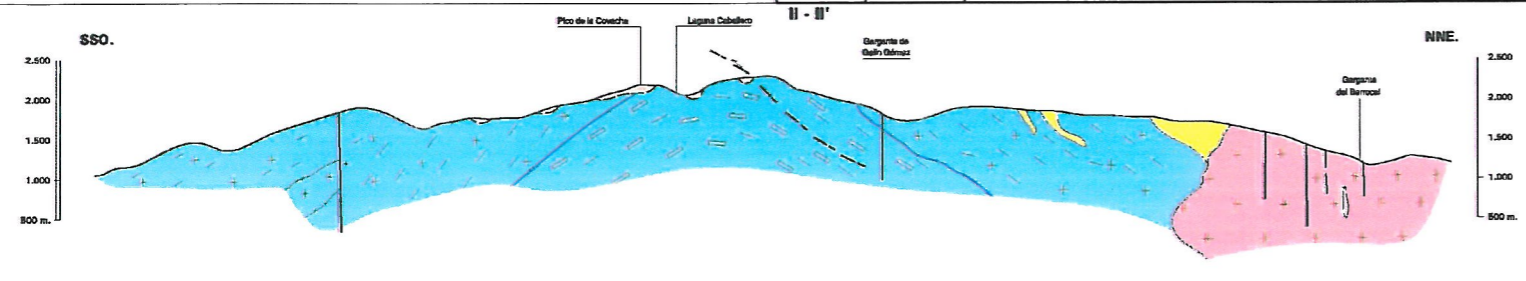
E: 1/50.000

INGENIERO TÉCNICO DE MINAS CDO. 874
 Antonio Delgado Velázquez



PLANO N°
6

PLANO DE GEOLOGÍA DE LA ZONA, HOJA MAGNA N° 576



APÉNDICE 7. ACTAS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Expediente: **O/1801076/1/19**
Nº acta: 01-20/010810/1
Obra: EXP. 20171018-00658 ACUR. MARCO SER. DE EST. GEOLOGÍA Y GEO. E HIDRO. ANDALUCÍA, EXTREMADURA Y MURCIA, INGENIERÍA Y ECONOMÍA TRANSPORTE
Peticionario: C/ PASEO DE LA HABANA, Nº 138 28036 MADRID
Dirección:
Contratista:
Dirección técnica:

ENSAYO DE IDONEIDAD DE SUELOS

ALBARÁN: **G-1801076.A** CÓDIGO DE MUESTRA: **0201/01/2020/005375(866143)** FECHA TOMA: **16/03/2020-11:00**

MATERIAL		
TIPO:	SUELO	MODALIDAD DE MUESTREO: ML - MUESTREO POR LABORATORIO
DESCRIPCIÓN:	S-01 SPT COTA 3.00-3.45	MUESTREO POR: JOSE ANT MONTAÑEZ TRIANO
PROCEDENCIA:	S-01 SPT COTA 3.00-3.45	LOTE LABORATORIO:
LUGAR DE TOMA:	S-01 SPT COTA 3.00-3.45	LOTE CLIENTE:
UBICACIÓN:	S-01 SPT COTA 3.00-3.45	

TRABAJOS REALIZADOS - De acuerdo con el programa establecido, se han realizado los siguientes ensayos.

Análisis granulométrico (suelos)	UNE 103101:1995
Límites de Atterberg (suelos)	UNE 103103:1994; UNE 103104:1993
Clasificación e índice de grupo (suelos)	ASTM 2487:2000
Determinación del contenido de sulfatos solubles (cuantitativo) (suelos)	UNE 103201:2019
Determinación de la acidez Bauman-Gully (suelos)	UNE 83962:2008

MOTIVO CAMBIO DE VERSIÓN DE ACTA: .

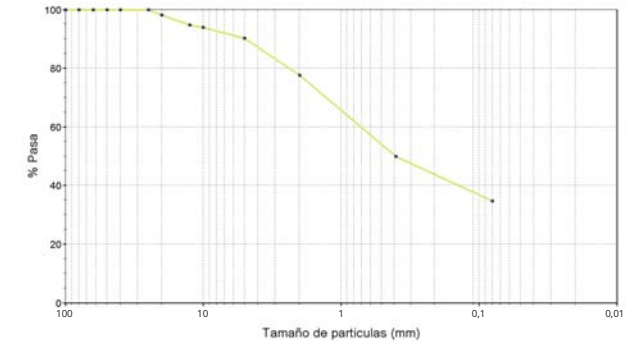
RESULTADOS

Los resultados de los ensayos se presentan en las siguientes páginas.

Expediente: **O/1801076/1/19**
Nº acta: 01-20/010810/1
Código de muestra: 0201/01/2020/005375(866143)
Procedencia: S-01 SPT COTA 3.00-3.45

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

TAMIZ (mm)	% PASA
100	100,0
80	100,0
63	100,0
50	100,0
40	100,0
25	100,0
20	98,2
12,5	94,7
10	93,9
5	90,2
2	77,6
0,4	49,9
0,080	34,7

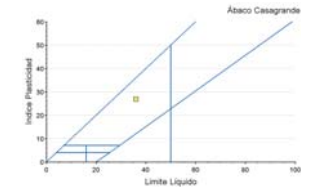


LÍMITES DE ATTERBERG

LÍMITE LÍQUIDO: **35,9** LÍMITE PLÁSTICO: **26,9** ÍNDICE DE PLASTICIDAD: **9,0**

CLASIFICACIÓN

Arena Limosa	
U.S.C.S:	SM
AASHTO:	A-2-4
ÍNDICE DE GRUPO:	0



ANÁLISIS QUÍMICO

SULFATO (% SO ₃):	NO CONTIENE	SALES SOLUBLES (g/100g suelo):	-
MATERIA ORGÁNICA (%):	-	YESOS (%):	-
CARBONATOS (% CaCO ₃):	-		

Expediente: **O/1801076/1/19**
Nº acta: 01-20/010810/1
Código de muestra: 0201/01/2020/005375(866143)
Procedencia: S-01 SPT COTA 3.00-3.45

AGRESIVIDAD QUÍMICA DEL SUELO FRENTE AL HORMIGÓN

PARÁMETROS	NORMA	RESULTADO	TIPO DE EXPOSICIÓN		
			Qa - ATAQUE DEBIL	Qb - ATAQUE MEDIO	Qc - ATAQUE FUERTE
ACIDEZ BAUMANN-GULLY (ml/kg):	UNE 83962	NO CONTIENE	> 200	NO APLICABLE	NO APLICABLE
IÓN SULFATO (mg SO ₄ -3kg suelo seco):	UNE 83963	NO CONTIENE	2000 -3000	3000 -12000	> 12000
EVALUACIÓN DE LA AGRESIVIDAD:		NO AGRESIVA			

Fdo. ELENA FRADE VIANO
Director Técnico de Laboratorio
Licenciado en Ciencias Químicas

Málaga a 01/04/2020

Fdo. YOLANDA GARRIDO CAMACHO
Responsable de Ensayos Físicos
Ldo. en Ciencias Ambientales

FRADE VIANO ELENA -
33399417J

Digitally signed by FRADE VIANO ELENA - 33399417J
DN: cn=FRADE VIANO ELENA - 33399417J, o=FRANCO VIANO,
ou=Ingeniería y Control, email=fra@cemosa.es, c=ES
Reason: I attest to the accuracy and integrity of this document
Date: 2020.04.01 17:13:11 +02'00'

GARRIDO CAMACHO YOLANDA
- 74861128S

Digitally signed by GARRIDO CAMACHO YOLANDA - 74861128S
DN: cn=GARRIDO CAMACHO YOLANDA - 74861128S, o=GARRIDO CAMACHO,
ou=Ingeniería y Control, email=garr@cemosa.es, c=ES
Reason: I attest to the accuracy and integrity of this document
Date: 2020.04.01 17:13:03 +02'00'

Expediente: **O/1801076/1/19**
Nº acta: 01-20/010811/1
Obra: EXP. 20171018-00658 ACUR. MARCO SER. DE EST. GEOLOGÍA Y GEO. E HIDRO. ANDALUCÍA, EXTREMADURA Y MURCIA.

Peticionario: INGENIERIA Y ECONOMIA TRANSPORTE
Dirección: C/ PASEO DE LA HABANA, Nº 138 28036 MADRID
Contratista:
Dirección técnica:

ENSAYO DE IDONEIDAD DE SUELOS

ALBARÁN: **G-1801076.A** CÓDIGO DE MUESTRA: **0201/01/2020/005376(866144)** FECHA TOMA: **16/03/2020-11:00**

MATERIAL		
TIPO:	SUELO	MODALIDAD DE MUESTREO: ML - MUESTREO POR LABORATORIO
DESCRIPCIÓN:	S-01 MA COTA 7.00-7.20	MUESTREADO POR: JOSE ANT MONTAÑEZ TRIANO
PROCEDENCIA:	S-01 MA COTA 7.00-7.20	LOTE LABORATORIO:
LUGAR DE TOMA:	S-01 MA COTA 7.00-7.20	LOTE CLIENTE:
UBICACIÓN:	S-01 MA COTA 7.00-7.20	
TRABAJOS REALIZADOS - De acuerdo con el programa establecido, se han realizado los siguientes ensayos.		
Análisis granulométrico (suelos)	UNE 103101:1995	
Límites de Atterberg (suelos)	UNE 103103:1994; UNE 103104:1993	
Clasificación e índice de grupo (suelos)	ASTM 2487:2000	
Determinación del contenido de sulfatos solubles (cuantitativo) (suelos)	UNE 103201:2019	
Determinación de la acidez Bauman-Gully (suelos)	UNE 83962:2008	

MOTIVO CAMBIO DE VERSIÓN DE ACTA: .

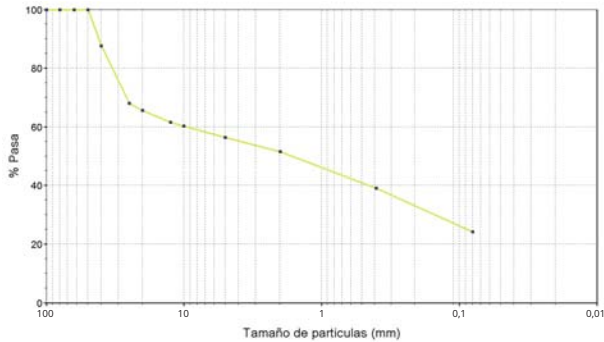
RESULTADOS

Los resultados de los ensayos se presentan en las siguientes páginas.

Expediente: **O/1801076/1/19**
Nº acta: 01-20/010811/1
Código de muestra: 0201/01/2020/005376(866144)
Procedencia: S-01 MA COTA 7.00-7.20

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

TAMIZ (mm)	% PASA
100	100,0
80	100,0
63	100,0
50	100,0
40	87,6
25	68,0
20	65,6
12,5	61,5
10	60,3
5	56,4
2	51,5
0,4	39,0
0,080	24,2

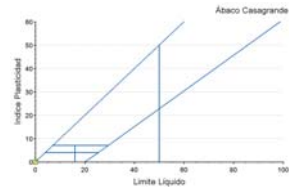


LÍMITES DE ATTERBERG

LÍMITE LÍQUIDO: - LÍMITE PLÁSTICO: - ÍNDICE DE PLASTICIDAD: - **NO PLÁSTICO**

CLASIFICACIÓN

Grava Limosa	
U.S.C.S:	GM
AASHTO:	A-1-B
ÍNDICE DE GRUPO:	0



ANÁLISIS QUÍMICO

SULFATO (% SO ₃):	NO CONTIENE	SALES SOLUBLES (g/100g suelo):	-
MATERIA ORGÁNICA (%):	-	YESOS (%):	-
CARBONATOS (% CaCO ₃):	-		

Expediente: **O/1801076/1/19**
Nº acta: 01-20/010811/1
Código de muestra: 0201/01/2020/005376(866144)
Procedencia: S-01 MA COTA 7.00-7.20

AGRESIVIDAD QUÍMICA DEL SUELO FRENTE AL HORMIGÓN

PARÁMETROS	NORMA	RESULTADO	TIPO DE EXPOSICIÓN		
			Qa - ATAQUE DÉBIL	Qb - ATAQUE MEDIO	Qc - ATAQUE FUERTE
ACIDEZ BAUMANN-GULLY (ml/kg):	UNE 83962	NO CONTIENE	> 200	NO APLICABLE	NO APLICABLE
IÓN SULFATO (mg SO ₄ -3kg suelo seco):	UNE 83963	NO CONTIENE	2000 - 3000	3000 - 12000	> 12000
EVALUACIÓN DE LA AGRESIVIDAD:		NO AGRESIVA			

Fdo. ELENA FRADE VIANO
Director Técnico de Laboratorio
Licenciado en Ciencias Químicas

Málaga a 01/04/2020

Fdo. YOLANDA GARRIDO CAMACHO
Responsable de Ensayos Físicos
Ldo. en Ciencias Ambientales

FRADE VIANO ELENA - 33399417)

Digitally signed by FRADE VIANO ELENA - 33399417
DN: cn=FRADE VIANO ELENA - 33399417, o=FRADE VIANO,
email=FRADE VIANO ELENA - 33399417
Reason: I attest to the accuracy and integrity of this document
Date: 2020.04.01 17:14:06 +02'00'

GARRIDO CAMACHO YOLANDA - 748611285

Digitally signed by GARRIDO CAMACHO YOLANDA - 748611285
DN: cn=GARRIDO CAMACHO YOLANDA - 748611285, o=GARRIDO CAMACHO,
email=GARRIDO CAMACHO YOLANDA - 748611285
Reason: I attest to the accuracy and integrity of this document
Date: 2020.04.01 17:13:58 +02'00'



COMPRESIÓN SIMPLE (Norma UNE-22.950-3)

Cliente: CEMOSA
Trabajo: NUEVO PUENTE CABEZUELA DEL VALLE.
Indicativo: 20107 **Laborante:** Ismael G. Cotta
Muestra: S-01 TP-1 12.45-13.00 **Fecha:** 20-4-2020 Hoja 1 de 1

CDIAM-EnsayCSR (20060101)

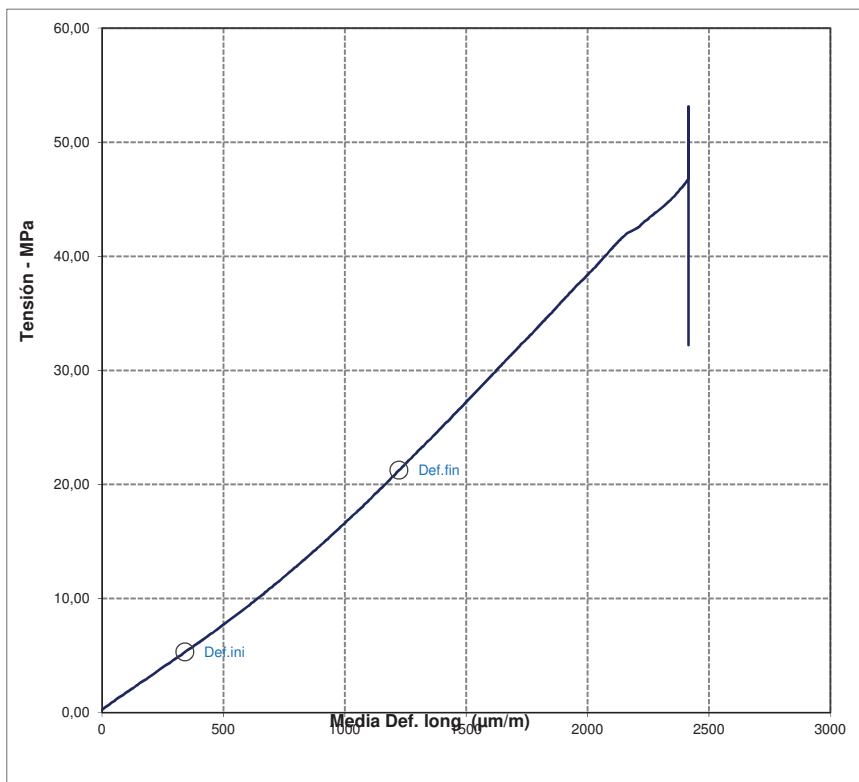
Datos del Ensayo

Humedad (%): 0,00
Densidad natural (g/cm³): 2,679
Densidad seca (g/cm³): 2,679
Diámetro (cm): 7,13
Altura probeta (cm): 14,94
Area (cm²): 39,592
Volumen (cm³): 596,51

Resultados

Resistencia máxima (MPa): 53,13
Deformación (µm/m): 2416
Modulo de Young (MPa): 18085

Curva Tensión- Deformación



Observaciones

Las bandas dejan de medir a los 48 Mpa aproximadamente



COMPRESIÓN SIMPLE (Norma UNE-22.950-3)

Cliente: CEMOSA
Trabajo: NUEVO PUENTE CABEZUELA DEL VALLE.
Indicativo: 20107 **Laborante:** Ismael G. Cotta
Muestra: S-01 TP-2 16.90-17.20 **Fecha:** 20-4-2020 Hoja 1 de 1

CDIAM-EnsayCSR (20060101)

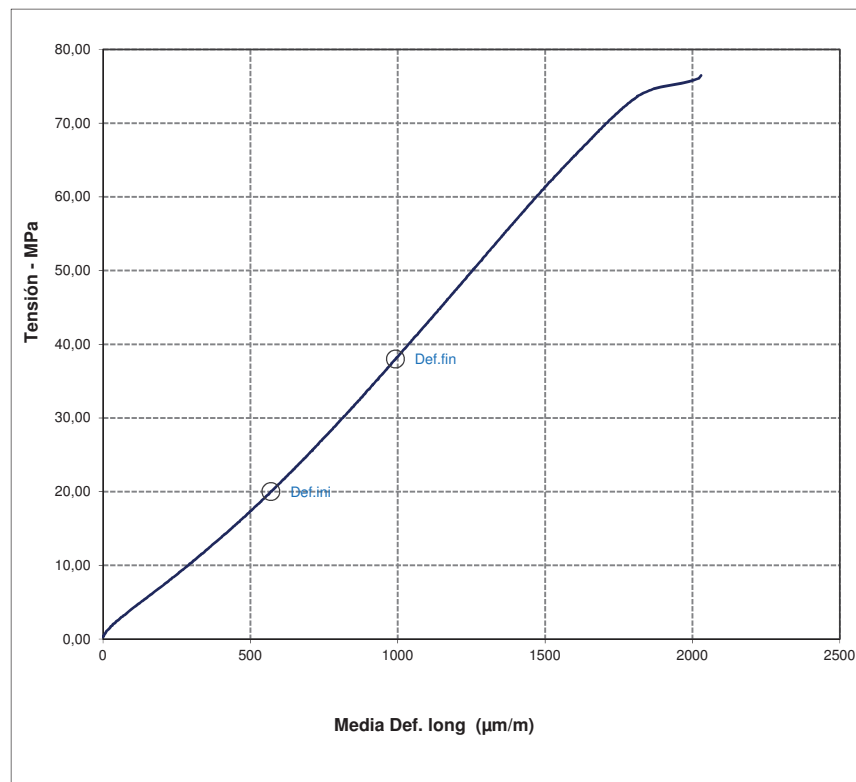
Datos del Ensayo

Humedad (%):
Densidad natural (g/cm³): 2,710
Densidad seca (g/cm³): 2,710
Diámetro (cm): 7,14
Altura probeta (cm): 14,91
Area (cm²): 40,039
Volumen (cm³): 596,99

Resultados

Resistencia máxima (MPa): 77,94
Deformación (µm/m): 2029
Modulo de Young (MPa): 42530

Curva Tensión- Deformación



Observaciones

Expediente: **O/1801076/1/19**
Nº acta: 01-20/010812/2 Anula a: 01-20/010812/1
Obra: EXP. 20171018-00658 ACUR. MARCO SER. DE EST. GEOLOGÍA Y GEO. E HIDRO. ANDALUCÍA, EXTREMADURA Y MURCIA, INGENIERÍA Y ECONOMÍA TRANSPORTE
Peticionario: C/ PASEO DE LA HABANA, Nº 138 28036 MADRID
Dirección:
Contratista:
Dirección técnica:

ENSAYO DE IDONEIDAD DE SUELOS

ALBARÁN: **G-1801076.A** CÓDIGO DE MUESTRA: **0201/01/2020/005379(866147)** FECHA TOMA: **16/03/2020-11:00**

MATERIAL		MODALIDAD DE MUESTREO: ML - MUESTREO POR LABORATORIO
TIPO:	ROCA	
DESCRIPCIÓN:	S-01 TP COTA 19.20-19.72	MUESTREO POR: JOSE ANT MONTAÑEZ TRIANO
PROCEDENCIA:	S-01 TP COTA 19.20-19.72	LOTE LABORATORIO:
LUGAR DE TOMA:	S-01 TP COTA 19.20-19.72	LOTE CLIENTE:
UBICACIÓN:	S-01 TP COTA 19.20-19.72	

TRABAJOS REALIZADOS - De acuerdo con el programa establecido, se han realizado los siguientes ensayos.

Ensayo de compresión simple (roca) **UNE 22950-1:1990**

MOTIVO CAMBIO DE VERSIÓN DE ACTA: Otros.

INCLUSION FIGURA

RESULTADOS

Los resultados de los ensayos se presentan en las siguientes páginas.

Expediente: **O/1801076/1/19**
Nº acta: 01-20/010812/2 Anula a: 01-20/010812/1
Código de muestra: 0201/01/2020/005379(866147)
Procedencia: S-01 TP COTA 19.20-19.72

ROTURA A COMPRESIÓN SIMPLE

ENSAYO CON MUESTRA	
DIÁMETRO (cm):	7,18
ALTURA (cm):	14,4
HUMEDAD (%):	0,1
CARGA DE ROTURA (Kp):	14,191
RESISTENCIA (Kp/cm²):	350,66
DENSIDAD HÚMEDA (g/cm³):	2,69
DENSIDAD SECA (g/cm³):	2,69

FORMA DE ROTURA



Fdo. ELENA FRADE VIANO
Director Técnico de Laboratorio
Licenciado en Ciencias Químicas

Málaga a 01/04/2020

Fdo. YOLANDA GARRIDO CAMACHO
Responsable de Ensayos Físicos
Ldo. en Ciencias Ambientales

FRADE VIANO ELENA -
33399417]

Digitally signed by FRADE VIANO ELENA - 33399417;
DN: cn=FRADE VIANO ELENA - 33399417, o=FRADE VIANO,
email=FRADE.VIANO@CEMOSA.COM, serialNumber=100053399417
Reason: I affirm the accuracy and integrity of this document
Date: 2020.04.01 17:31:37 +0200

GARRIDO CAMACHO YOLANDA
- 748611285

Digitally signed by GARRIDO CAMACHO YOLANDA - 748611285;
DN: cn=GARRIDO CAMACHO YOLANDA - 748611285, ou=GARRIDO CAMACHO,
email=GARRIDO.YOLANDA@CEMOSA.COM, serialNumber=100053399417
Reason: I affirm the accuracy and integrity of this document
Date: 2020.04.01 17:31:37 +0200

Expediente: **O/1801076/1/19**
Nº acta: 01-20/010814/1
Obra: EXP. 20171018-00658 ACUR. MARCO SER. DE EST. GEOLOGÍA Y GEO. E HIDRO. ANDALUCÍA, EXTREMADURA Y MURCIA, INGENIERÍA Y ECONOMÍA TRANSPORTE
Peticionario: C/ PASEO DE LA HABANA, Nº 138 28036 MADRID
Dirección:
Contratista:
Dirección técnica:

ENSAYO DE IDONEIDAD DE SUELOS

ALBARÁN: G-1801076.A	CÓDIGO DE MUESTRA: 0201/01/2020/005382(866150)	FECHA TOMA: 16/03/2020-11:00
MATERIAL		
TIPO: SUELO	MODALIDAD DE MUESTREO: ML - MUESTREO POR LABORATORIO	
DESCRIPCIÓN: S-02 MA COTA 3.80-4.10	MUESTREO POR: JOSE ANT MONTAÑEZ TRIANO	
PROCEDENCIA: S-02 MA COTA 3.80-4.10	LOTE LABORATORIO:	
LUGAR DE TOMA: S-02 MA COTA 3.80-4.10	LOTE CLIENTE:	
UBICACIÓN: S-02 MA COTA 3.80-4.10		
TRABAJOS REALIZADOS - De acuerdo con el programa establecido, se han realizado los siguientes ensayos.		
Análisis granulométrico (suelos)	UNE 103101:1995	
Límites de Atterberg (suelos)	UNE 103103:1994; UNE 103104:1993	
Clasificación e índice de grupo (suelos)	ASTM 2487:2000	
Determinación del contenido de sulfatos solubles (cuantitativo) (suelos)	UNE 103201:2019	
Determinación de la acidez Bauman-Gully (suelos)	UNE 83962:2008	

MOTIVO CAMBIO DE VERSIÓN DE ACTA: .

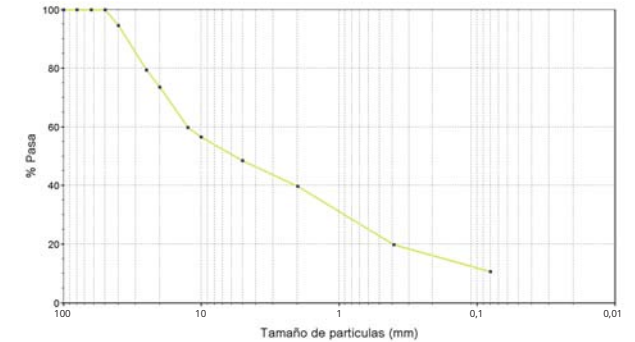
RESULTADOS

Los resultados de los ensayos se presentan en las siguientes páginas.

Expediente: **O/1801076/1/19**
Nº acta: 01-20/010814/1
Código de muestra: 0201/01/2020/005382(866150)
Procedencia: S-02 MA COTA 3.80-4.10

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

TAMIZ (mm)	% PASA
100	100,0
80	100,0
63	100,0
50	100,0
40	94,6
25	79,4
20	73,5
12,5	59,8
10	56,5
5	48,4
2	39,8
0,4	19,9
0,080	10,6

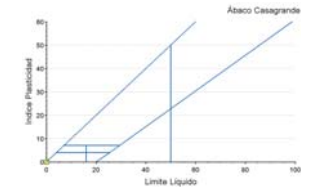


LÍMITES DE ATTERBERG

LÍMITE LÍQUIDO: - LÍMITE PLÁSTICO: - ÍNDICE DE PLASTICIDAD: - **NO PLÁSTICO**

CLASIFICACIÓN

Grava Limosa Mal Graduada	
U.S.C.S:	GP-GM
AASHTO:	A-1-A
ÍNDICE DE GRUPO:	0



ANÁLISIS QUÍMICO

SULFATO (% SO ₃):	NO CONTIENE	SALES SOLUBLES (g/100g suelo):	-
MATERIA ORGÁNICA (%):	-	YESOS (%):	-
CARBONATOS (% CaCO ₃):	-		

Expediente: **0/1801076/1/19**
Nº acta: 01-20/010814/1
Código de muestra: 0201/01/2020/005382(866150)
Procedencia: S-02 MA COTA 3.80-4.10

AGRESIVIDAD QUÍMICA DEL SUELO FRENTE AL HORMIGÓN

PARÁMETROS	NORMA	RESULTADO	TIPO DE EXPOSICIÓN		
			Qa - ATAQUE DEBIL	Qb - ATAQUE MEDIO	Qc - ATAQUE FUERTE
ACIDEZ BAUMANN-GULLY (ml/kg):	UNE 83962	NO CONTIENE	> 200	NO APLICABLE	NO APLICABLE
IÓN SULFATO (mg SO ₄ -3kg suelo seco):	UNE 83963	NO CONTIENE	2000 - 3000	3000 - 12000	> 12000
EVALUACIÓN DE LA AGRESIVIDAD:		NO AGRESIVA			

Fdo. ELENA FRADE VIANO
Director Técnico de Laboratorio
Licenciado en Ciencias Químicas

Málaga a 01/04/2020

Fdo. YOLANDA GARRIDO CAMACHO
Responsable de Ensayos Físicos
Ldo. en Ciencias Ambientales

FRADE VIANO ELENA -
33399417)

Digitally signed by FRADE VIANO ELENA - 33399417
DN: cn=FRADE VIANO ELENA - 33399417, o=CEMOSA, ou=LABORATORIO DE ENSAYOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE LA EDIFICACIÓN, email=fraDEVIANO@CEMOSA.es
Reason: I attest to the accuracy and integrity of this document
Date: 2020.04.01 17:16:28 +02'00'

GARRIDO CAMACHO YOLANDA
- 748611285

Digitally signed by GARRIDO CAMACHO YOLANDA - 748611285
DN: cn=GARRIDO CAMACHO YOLANDA - 748611285, ou=LABORATORIO DE ENSAYOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE LA EDIFICACIÓN, email=YOLANDA@CEMOSA.es
Reason: I attest to the accuracy and integrity of this document
Date: 2020.04.01 17:16:28 +02'00'

COMPRESIÓN SIMPLE
(Norma UNE-22.950-3)



Cliente:	CEMOSA		
Trabajo:	NUEVO PUENTE CABEZUELA DEL VALLE.		
Indicativo:	20107	Laborante:	Ismael G. Cotta
Muestra:	S-02 TP-1 9.50-9.80	Fecha:	20-4-2020

CDIAM-EnsyCSR (20060101)

Hoja 1 de 1

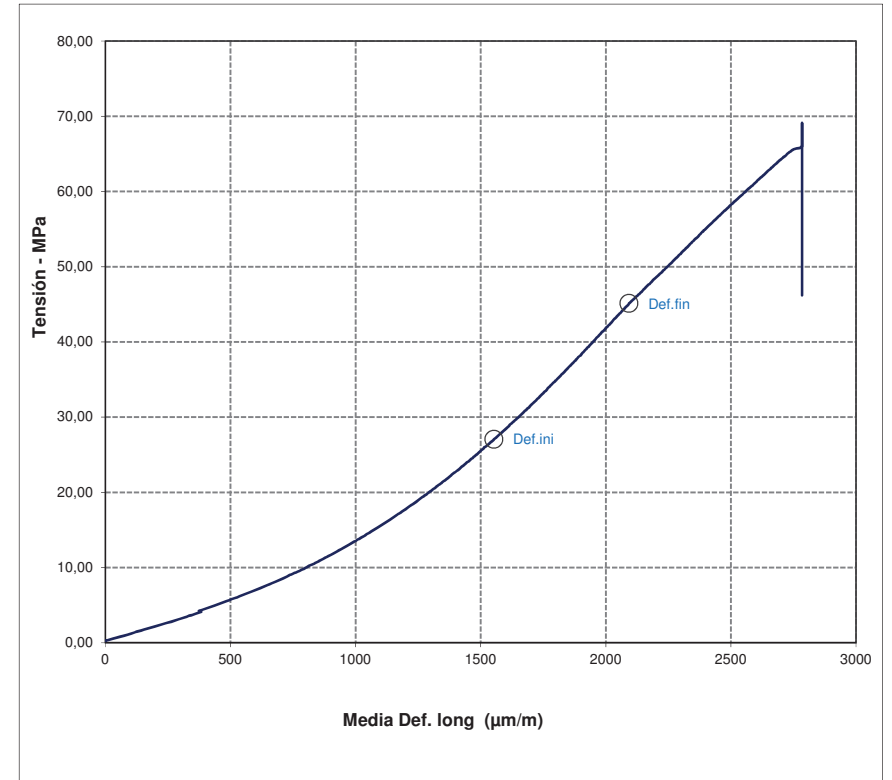
Datos del Ensayo

Humedad (%):
Densidad natural (g/cm³) : 2,639
Densidad seca (g/cm³) : 2,639
Diámetro (cm): 7,14
Altura probeta (cm): 15,16
Area (cm²) 40,039
Volumen (cm³) : 607,00

Resultados

Resistencia máxima (MPa): 69,11
Deformación (µm/m): 2784
Modulo de Young (MPa): 33475

Curva Tensión- Deformación



Observaciones

Expediente: **O/1801076/1/19**
Nº acta: 01-20/010815/1
Obra: EXP. 20171018-00658 ACUR. MARCO SER. DE EST. GEOLOGÍA Y GEO. E HIDRO. ANDALUCÍA, EXTREMADURA Y MURCIA, INGENIERÍA Y ECONOMÍA TRANSPORTE
Peticionario: C/ PASEO DE LA HABANA, Nº 138 28036 MADRID
Dirección:
Contratista:
Dirección técnica:

ENSAYO DE IDONEIDAD DE SUELOS

ALBARÁN: **G-1801076.A** CÓDIGO DE MUESTRA: **0201/01/2020/005384(866152)** FECHA TOMA: **16/03/2020-11:00**

MATERIAL		
TIPO:	ROCA	MODALIDAD DE MUESTREO: ML - MUESTREO POR LABORATORIO
DESCRIPCIÓN:	S-02 TP COTA 14.64-15.00	MUESTREO POR: JOSE ANT MONTAÑEZ TRIANO
PROCEDENCIA:	S-02 TP COTA 14.64-15.00	LOTE LABORATORIO:
LUGAR DE TOMA:	S-02 TP COTA 14.64-15.00	LOTE CLIENTE:
UBICACIÓN:	S-02 TP COTA 14.64-15.00	

TRABAJOS REALIZADOS - De acuerdo con el programa establecido, se han realizado los siguientes ensayos.
Ensayo de compresión simple (roca) **UNE 22950-1:1990**

MOTIVO CAMBIO DE VERSIÓN DE ACTA: .

RESULTADOS

Los resultados de los ensayos se presentan en las siguientes páginas.

Expediente: **O/1801076/1/19**
Nº acta: 01-20/010815/1
Código de muestra: 0201/01/2020/005384(866152)
Procedencia: S-02 TP COTA 14.64-15.00

ROTURA A COMPRESIÓN SIMPLE

ENSAYO CON MUESTRA	
DIÁMETRO (cm):	7,17
ALTURA (cm):	10,8
HUMEDAD (%):	0,16
CARGA DE ROTURA (Kp):	27.797
RESISTENCIA (Kp/cm²):	688,79
DENSIDAD HÚMEDA (g/cm³):	2,67
DENSIDAD SECA (g/cm³):	2,67

FORMA DE ROTURA



Fdo. ELENA FRADE VIANO
Director Técnico de Laboratorio
Licenciado en Ciencias Químicas

Málaga a 01/04/2020

Fdo. YOLANDA GARRIDO CAMACHO
Responsable de Ensayos Físicos
Ldo. en Ciencias Ambientales

FRADE VIANO ELENA -
33399417]

Digitally signed by FRADE VIANO ELENA - 33399417;
DN: cn=FRADE VIANO ELENA - 33399417, o=FRADE VIANO,
givenName=ELENA, c=ES, serialNumber=33399417
Reason: I affirm to the accuracy and integrity of this document
Date: 2020.04.01 11:17:02 +0200

GARRIDO CAMACHO YOLANDA -
748611285

Digitally signed by GARRIDO CAMACHO YOLANDA - 748611285;
DN: cn=GARRIDO CAMACHO YOLANDA - 748611285, o=GARRIDO CAMACHO,
givenName=YOLANDA, c=ES, serialNumber=748611285
Reason: I affirm to the accuracy and integrity of this document
Date: 2020.04.01 11:17:02 +0200

Expediente: **O/1801076/1/19**
Nº acta: 01-20/010816/1
Obra: EXP. 20171018-00658 ACUR. MARCO SER. DE EST. GEOLOGÍA Y GEO. E HIDRO. ANDALUCÍA, EXTREMADURA Y MURCIA, INGENIERÍA Y ECONOMÍA TRANSPORTE
Peticionario: C/ PASEO DE LA HABANA, Nº 138 28036 MADRID
Dirección:
Contratista:
Dirección técnica:

ENSAYO DE IDONEIDAD DE SUELOS

ALBARÁN: G-1801076.A	CÓDIGO DE MUESTRA: 0201/01/2020/005385(866153)	FECHA TOMA: 16/03/2020-11:00
MATERIAL		
TIPO: ROCA	MODALIDAD DE MUESTREO: ML - MUESTREO POR LABORATORIO	
DESCRIPCIÓN: S-02 TP COTA 18.30-18.60	MUESTREO POR: JOSE ANT MONTAÑEZ TRIANO	
PROCEDENCIA: S-02 TP COTA 18.30-18.60	LOTE LABORATORIO:	
LUGAR DE TOMA: S-02 TP COTA 18.30-18.60	LOTE CLIENTE:	
UBICACIÓN: S-02 TP COTA 18.30-18.60		
TRABAJOS REALIZADOS - De acuerdo con el programa establecido, se han realizado los siguientes ensayos.		
Ensayo de compresión simple (roca)	UNE 22950-1:1990	

MOTIVO CAMBIO DE VERSIÓN DE ACTA: .

RESULTADOS

Los resultados de los ensayos se presentan en las siguientes páginas.

Expediente: **O/1801076/1/19**
Nº acta: 01-20/010816/1
Código de muestra: 0201/01/2020/005385(866153)
Procedencia: S-02 TP COTA 18.30-18.60

ROTURA A COMPRESIÓN SIMPLE

ENSAYO CON MUESTRA	
DIÁMETRO (cm):	7,17
ALTURA (cm):	14,3
HUMEDAD (%):	0,14
CARGA DE ROTURA (Kp):	22.206
RESISTENCIA (Kp/cm²):	550,25
DENSIDAD HÚMEDA (g/cm³):	2,70
DENSIDAD SECA (g/cm³):	2,70

FORMA DE ROTURA



Fdo. **ELENA FRADE VIANO**
Director Técnico de Laboratorio
Licenciado en Ciencias Químicas

Málaga a 01/04/2020

Fdo. **YOLANDA GARRIDO CAMACHO**
Responsable de Ensayos Físicos
Ldo. en Ciencias Ambientales

FRADE VIANO ELENA -
33399417]

Digitally signed by FRADE VIANO ELENA - 33399417
DN: cn=FRADE VIANO ELENA - 33399417, ou=FRADE VIANO,
givenName=ELENA, c=ES, serialNumber=33399417
Reason: I affirm to the accuracy and integrity of this document
Date: 2020.04.01 11:17:44 +0200

GARRIDO CAMACHO YOLANDA -
748611285

Digitally signed by GARRIDO CAMACHO YOLANDA - 748611285
DN: cn=GARRIDO CAMACHO YOLANDA - 748611285, ou=GARRIDO CAMACHO,
givenName=YOLANDA, c=ES, serialNumber=748611285
Reason: I affirm to the accuracy and integrity of this document
Date: 2020.04.01 11:17:50 +0200

Expediente: **O/1801076/1/19**
Nº acta: 01-20/011679/1 Anula a:
Obra: EXP. 20171018-00658 ACUR. MARCO SER. DE EST. GEOLOGÍA Y GEO. E HIDRO. ANDALUCÍA, EXTREMADURA Y MURCIA.
Peticionario: INGENIERIA Y ECONOMIA TRANSPORTE
Dirección: C/ PASEO DE LA HABANA, Nº 138 28036 MADRID
Contratista:
Dirección técnica:
Modalidad de control:

AGRESIVIDAD QUÍMICA DEL AGUA FRENTE AL HORMIGÓN (EHE 2008)

ALBARÁN: G-1801076.C	CÓDIGO DE MUESTRA: 0201/01/2020/006041(871887)	FECHA TOMA: 16/03/2020-11:00
MATERIAL		
TIPO: AGUA	MODALIDAD DE MUESTREO: GEO - Muestreado por Geotecnia	
ORIGEN DE LA MUESTRA:	MUESTREADO POR: JOSE ANT MONTAÑEZ TRIANO	
PROCEDENCIA: S-01	NORMA DE MUESTREO: UNE 83951:2008	
LUGAR DE TOMA: S-01 AGUA	Tª AGUA EN LA TOMA (°C): 23	
UBICACIÓN: S-01	LOTE LABORATORIO:	
PROFUNDIDAD (m): -	LOTE CLIENTE:	
TRABAJOS REALIZADOS - De acuerdo con el programa establecido, se han realizado los siguientes ensayos. Determinación de la agresividad potencial frente a hormigones. Incluye los ensayos: determinación del pH, EHE 2008; UNE 83952:2008; UNE EN 13577:2008; UNE 83954:2008; UNE 83955:2008; UNE 83956:2008; UNE 83957:2008 ión magnesio, ión amonio, sulfatos, CO ₂ y residuo seco (agua-análisis de agresividad al hormigón)		

RESULTADOS

Los resultados de los ensayos se presentan en la siguiente tabla.

Temperatura del agua antes de los ensayos (°C): **23**

PARÁMETROS	NORMA	RESULTADO	TIPO DE EXPOSICIÓN		
			Qa - ATAQUE DEBIL	Qb - ATAQUE MEDIO	Qc - ATAQUE FUERTE
VALOR DEL pH	UNE 83952:2008	8,3	6,5 - 5,5	5,5 - 4,5	< 4,5
CO ₂ AGRESIVO (mg CO ₂ /l)	UNE EN 13577:2008	NO CONTIENE	15 - 40	40 - 100	> 100
IÓN AMONIO (mg NH ₄ ⁺ /l)	UNE 83954:2008	0	15 - 30	30 - 60	> 60
IÓN MAGNESIO (mg Mg ²⁺ /l)	UNE 83955:2008	7	300 - 1000	1000 - 3000	> 3000
IÓN SULFATO (mg SO ₄ ²⁻ /l)	UNE 83956:2008	28	200 - 600	600 - 3000	> 3000
RESIDUO SECO (mg/l)	UNE 83957:2008	101	75 - 150	50 - 75	< 50
EVALUACIÓN DE LA AGRESIVIDAD:		AGRESIVIDAD DÉBIL			

Fdo. **ELENA FRADE VIANO**
Director Técnico de Laboratorio
Licenciado en Ciencias Químicas

Málaga a 23/04/2020

Fdo. **ELENA FRADE VIANO**
Responsable de Ensayos Químicos
Licenciado en Ciencias Químicas

FRADE VIANO ELENA -
33399417]

Digitally signed by FRADE VIANO ELENA - 33399417
DN: cn=FRADE VIANO ELENA - 33399417, sn=FRADE VIANO,
givenName=ELENA, c=ES, serialNumber=DCES-33399417
Reason: I attest to the accuracy and integrity of this document
Date: 2020.04.23 17:38:15 +02'00'

FRADE VIANO ELENA -
33399417]

Digitally signed by FRADE VIANO ELENA - 33399417
DN: cn=FRADE VIANO ELENA - 33399417, sn=FRADE VIANO,
givenName=ELENA, c=ES, serialNumber=DCES-33399417
Reason: I attest to the accuracy and integrity of this document
Date: 2020.04.23 17:38:14 +02'00'

Expediente: **O/1801076/1/19**
Nº acta: 01-20/011680/1 Anula a:
Obra: EXP. 20171018-00658 ACUR. MARCO SER. DE EST. GEOLOGÍA Y GEO. E HIDRO. ANDALUCÍA, EXTREMADURA Y MURCIA.
Peticionario: INGENIERIA Y ECONOMIA TRANSPORTE
Dirección: C/ PASEO DE LA HABANA, Nº 138 28036 MADRID
Contratista:
Dirección técnica:
Modalidad de control:

AGRESIVIDAD QUÍMICA DEL AGUA FRENTE AL HORMIGÓN (EHE 2008)

ALBARÁN: G-1801076.C	CÓDIGO DE MUESTRA: 0201/01/2020/006042(871888)	FECHA TOMA: 16/03/2020-11:00
MATERIAL		
TIPO: AGUA	MODALIDAD DE MUESTREO: GEO - Muestreado por Geotecnia	
ORIGEN DE LA MUESTRA:	MUESTREADO POR: JOSE ANT MONTAÑEZ TRIANO	
PROCEDENCIA: S-02	NORMA DE MUESTREO: UNE 83951:2008	
LUGAR DE TOMA: S-02 AGUA	Tª AGUA EN LA TOMA (°C): 23	
UBICACIÓN: S-02	LOTE LABORATORIO:	
PROFUNDIDAD (m): -	LOTE CLIENTE:	
TRABAJOS REALIZADOS - De acuerdo con el programa establecido, se han realizado los siguientes ensayos. Determinación de la agresividad potencial frente a hormigones. Incluye los ensayos: determinación del pH, EHE 2008; UNE 83952:2008; UNE EN 13577:2008; UNE 83954:2008; UNE 83955:2008; UNE 83956:2008; UNE 83957:2008 ión magnesio, ión amonio, sulfatos, CO ₂ y residuo seco (agua-análisis de agresividad al hormigón)		

RESULTADOS

Los resultados de los ensayos se presentan en la siguiente tabla.

Temperatura del agua antes de los ensayos (°C): **23**

PARÁMETROS	NORMA	RESULTADO	TIPO DE EXPOSICIÓN		
			Qa - ATAQUE DEBIL	Qb - ATAQUE MEDIO	Qc - ATAQUE FUERTE
VALOR DEL pH	UNE 83952:2008	8,7	6,5 - 5,5	5,5 - 4,5	< 4,5
CO ₂ AGRESIVO (mg CO ₂ /l)	UNE EN 13577:2008	NO CONTIENE	15 - 40	40 - 100	> 100
IÓN AMONIO (mg NH ₄ ⁺ /l)	UNE 83954:2008	0	15 - 30	30 - 60	> 60
IÓN MAGNESIO (mg Mg ²⁺ /l)	UNE 83955:2008	4	300 - 1000	1000 - 3000	> 3000
IÓN SULFATO (mg SO ₄ ²⁻ /l)	UNE 83956:2008	31	200 - 600	600 - 3000	> 3000
RESIDUO SECO (mg/l)	UNE 83957:2008	162	75 - 150	50 - 75	< 50
EVALUACIÓN DE LA AGRESIVIDAD:		NO AGRESIVA			

Fdo. **ELENA FRADE VIANO**
Director Técnico de Laboratorio
Licenciado en Ciencias Químicas

Málaga a 23/04/2020

Fdo. **ELENA FRADE VIANO**
Responsable de Ensayos Químicos
Licenciado en Ciencias Químicas

FRADE VIANO ELENA -
33399417]

Digitally signed by FRADE VIANO ELENA - 33399417
DN: cn=FRADE VIANO ELENA - 33399417, sn=FRADE VIANO,
givenName=ELENA, c=ES, serialNumber=DCES-33399417
Reason: I attest to the accuracy and integrity of this document
Date: 2020.04.23 17:38:32 +02'00'

FRADE VIANO ELENA -
33399417]

Digitally signed by FRADE VIANO ELENA - 33399417
DN: cn=FRADE VIANO ELENA - 33399417, sn=FRADE VIANO,
givenName=ELENA, c=ES, serialNumber=DCES-33399417
Reason: I attest to the accuracy and integrity of this document
Date: 2020.04.23 17:38:31 +02'00'

Expediente: **O/1801076/1/19**
Nº acta: 01-20/010813/1
Obra: EXP. 20171018-00658 ACUR. MARCO SER. DE EST. GEOLOGÍA Y GEO. E HIDRO. ANDALUCÍA, EXTREMADURA Y MURCIA, INGENIERÍA Y ECONOMÍA TRANSPORTE
Peticionario: C/ PASEO DE LA HABANA, Nº 138 28036 MADRID
Dirección:
Contratista:
Dirección técnica:

ENSAYO DE IDONEIDAD DE SUELOS

ALBARÁN: **G-1801076.A** CÓDIGO DE MUESTRA: **0201/01/2020/005380(866148)** FECHA TOMA: **16/03/2020-11:00**

MATERIAL		
TIPO:	SUELO	MODALIDAD DE MUESTREO: ML - MUESTREO POR LABORATORIO
DESCRIPCIÓN:	S-03 MA COTA 2.00-2.30	MUESTREO POR: JOSE ANT MONTAÑEZ TRIANO
PROCEDENCIA:	S-03 MA COTA 2.00-2.30	LOTE LABORATORIO:
LUGAR DE TOMA:	S-03 MA COTA 2.00-2.30	LOTE CLIENTE:
UBICACIÓN:	S-03 MA COTA 2.00-2.30	

TRABAJOS REALIZADOS - De acuerdo con el programa establecido, se han realizado los siguientes ensayos.

Análisis granulométrico (suelos)	UNE 103101:1995
Límites de Atterberg (suelos)	UNE 103103:1994; UNE 103104:1993
Clasificación e índice de grupo (suelos)	ASTM 2487:2000
Determinación del contenido de sulfatos solubles (cuantitativo) (suelos)	UNE 103201:2019
Determinación de la acidez Bauman-Gully (suelos)	UNE 83962:2008

MOTIVO CAMBIO DE VERSIÓN DE ACTA: .

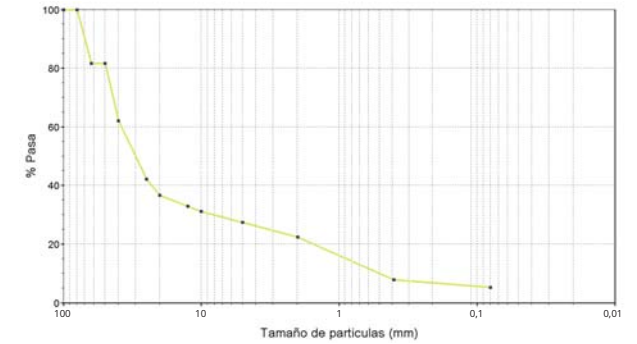
RESULTADOS

Los resultados de los ensayos se presentan en las siguientes páginas.

Expediente: **O/1801076/1/19**
Nº acta: 01-20/010813/1
Código de muestra: **0201/01/2020/005380(866148)**
Procedencia: **S-03 MA COTA 2.00-2.30**

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

TAMIZ (mm)	% PASA
100	100,0
80	100,0
63	81,7
50	81,7
40	62,1
25	42,2
20	36,6
12,5	32,9
10	31,2
5	27,5
2	22,4
0,4	7,8
0,080	5,2

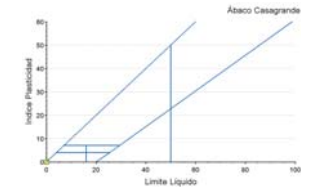


LÍMITES DE ATTERBERG

LÍMITE LÍQUIDO: - LÍMITE PLÁSTICO: - ÍNDICE DE PLASTICIDAD: - **NO PLÁSTICO**

CLASIFICACIÓN

Grava Limosa Mal Graduada	
U.S.C.S.:	GP-GM
AASHTO:	A-1-A
ÍNDICE DE GRUPO:	0



ANÁLISIS QUÍMICO

SULFATO (% SO ₃):	NO CONTIENE	SALES SOLUBLES (g/100g suelo):	-
MATERIA ORGÁNICA (%):	-	YESOS (%):	-
CARBONATOS (% CaCO ₃):	-		

Expediente: **O/1801076/1/19**
Nº acta: 01-20/010813/1
Código de muestra: 0201/01/2020/005380(866148)
Procedencia: S-03 MA COTA 2.00-2.30

AGRESIVIDAD QUÍMICA DEL SUELO FRENTE AL HORMIGÓN

PARÁMETROS	NORMA	RESULTADO	TIPO DE EXPOSICIÓN		
			Qa - ATAQUE DEBIL	Qb - ATAQUE MEDIO	Qc - ATAQUE FUERTE
ACIDEZ BAUMANN-GULLY (ml/kg):	UNE 83962	NO CONTIENE	> 200	NO APLICABLE	NO APLICABLE
IÓN SULFATO (mg SO ₄ -3kg suelo seco):	UNE 83963	NO CONTIENE	2000 - 3000	3000 - 12000	> 12000

EVALUACIÓN DE LA AGRESIVIDAD: **NO AGRESIVA**

Fdo. ELENA FRADE VIANO
Director Técnico de Laboratorio
Licenciado en Ciencias Químicas

Málaga a 01/04/2020

Fdo. YOLANDA GARRIDO CAMACHO
Responsable de Ensayos Físicos
Ldo. en Ciencias Ambientales


FRADE VIANO ELENA -
33399417]

Digitally signed by FRADE VIANO ELENA - 33399417
DN: cn=FRADE VIANO ELENA - 33399417, o=FRANCO VIANO,
email=fra.viano@cemosa.es, c=ES, serialNumber=DN:CE:33399417
Reason: I attest to the accuracy and integrity of this document
Date: 2020.04.01 17:15:39 +02'00'

GARRIDO CAMACHO YOLANDA
- 74861128S

Digitally signed by GARRIDO CAMACHO YOLANDA - 74861128S
DN: cn=GARRIDO CAMACHO YOLANDA - 74861128S, o=GARRIDO CAMACHO,
email=garrido.camacho@cemosa.es, c=ES, serialNumber=DN:CE:74861128S
Reason: I attest to the accuracy and integrity of this document
Date: 2020.04.01 17:15:31 +02'00'

RESISTENCIA A CARGA PUNTUAL
(UNE 22950-5)



CLIENTE: CEMOSA
TRABAJO: NUEVO PUENTE CABEZUELA DEL VALLE. CÁCERES
INDICATIVO: 20107
FECHA: 18/04/2020

Resultados de los ensayos

MUESTRA:			S-03 MA-2 7,60-9,00			TIPO:		FRAGMENTO O AXIAL	
Nº	TIPO	W (mm)	D (mm)	Is (N/mm²)	Is (kg) (N/mm²)	Is (kg) (N/mm²)	Is (kg) (N/mm²)	MEDIA	
1	A	71,51	31,21	5,68	5,85	6,08			
2	A	71,51	33,27	7,18	7,50				
3	A	71,51	33,51	7,43	7,77				
4	A	71,51	33,64	5,86	6,13				
5	A	71,51	34,81	6,39	6,74				
6	A	71,51	41,23	4,27	4,68				
7	A	71,51	36,30	3,68	3,92				
8	F	54,20	36,64	7,85	7,87				
9	F	62,13	32,81	5,79	5,84				
10	F	58,09	38,12	4,05	4,16				

Observaciones
F= Fragmento, A= Axial. EXPEDIENTE: O/1801076/1/16

Expediente: **O/1801076/1/19**
Nº acta: 01-20/011316/1
Obra: EXP. 20171018-00658 ACUR. MARCO SER. DE EST. GEOLOGÍA Y GEO. E HIDRO. ANDALUCÍA, EXTREMADURA Y MURCIA, INGENIERIA Y ECONOMIA TRANSPORTE
Peticionario: C/ PASEO DE LA HABANA, Nº 138 28036 MADRID
Dirección:
Contratista:
Dirección técnica:

ENSAYO DE IDONEIDAD DE SUELOS

ALBARÁN: G-1801076.B	CÓDIGO DE MUESTRA: 0201/01/2020/005554(868873)	FECHA TOMA: 13/04/2020-11:00
MATERIAL		
TIPO: SUELO	MODALIDAD DE MUESTREO: GEO - MUESTREO POR GEOTECNIA	
DESCRIPCIÓN: S-04 MI COTA 0.00-0.60	MUESTREO POR: JOSE ANT MONTAÑEZ TRIANO	
PROCEDENCIA: S-04 MI COTA 0.00-0.60	LOTE LABORATORIO:	
LUGAR DE TOMA: S-04 MI COTA 0.00-0.60	LOTE CLIENTE:	
UBICACIÓN: S-04 MI COTA 0.00-0.60		
TRABAJOS REALIZADOS - De acuerdo con el programa establecido, se han realizado los siguientes ensayos.		
Análisis granulométrico (suelos)	UNE 103101:1995	
Límites de Atterberg (suelos)	UNE 103103:1994; UNE 103104:1993	
Clasificación e índice de grupo (suelos)	ASTM 2487-2000	

MOTIVO CAMBIO DE VERSIÓN DE ACTA: .

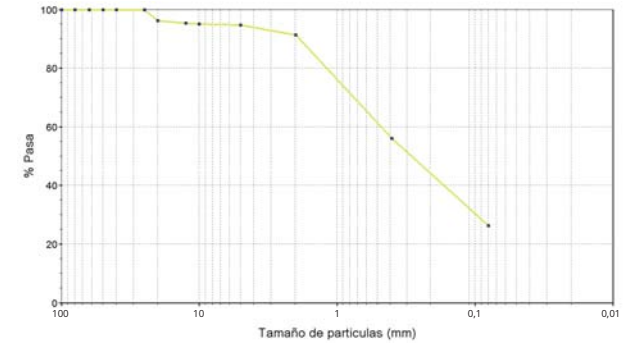
RESULTADOS

Los resultados de los ensayos se presentan en las siguientes páginas.

Expediente: **O/1801076/1/19**
Nº acta: 01-20/011316/1
Código de muestra: 0201/01/2020/005554(868873)
Procedencia: S-04 MI COTA 0.00-0.60

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

TAMIZ (mm)	% PASA
100	100,0
80	100,0
63	100,0
50	100,0
40	100,0
25	100,0
20	96,2
12,5	95,4
10	95,1
5	94,7
2	91,3
0,4	56,0
0,080	26,3

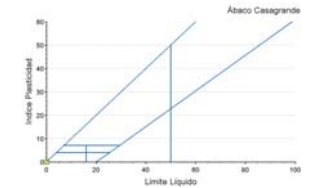


LÍMITES DE ATTERBERG

LÍMITE LÍQUIDO: - LÍMITE PLÁSTICO: - ÍNDICE DE PLASTICIDAD: - **NO PLÁSTICO**

CLASIFICACIÓN

Arena Limosa	
U.S.C.S:	SM
AASHTO:	A-2-4
ÍNDICE DE GRUPO:	0



Fdo. ELENA FRADE VIANO
Director Técnico de Laboratorio
Licenciado en Ciencias Químicas

Málaga a 17/04/2020

Fdo. YOLANDA GARRIDO CAMACHO
Responsable de Ensayos Físicos
Ldo. en Ciencias Ambientales

FRADE VIANO ELENA - 33399417J

Digitally signed by FRADE VIANO ELENA - 33399417J
DN: cn=FRADE VIANO ELENA - 33399417J, ou=FRADE VIANO,
email=FRADE VIANO ELENA - 33399417J@cemosa.es
Reason: I affirm the accuracy and integrity of this document
Date: 2020.04.17 12:25:19 +0200

GARRIDO CAMACHO YOLANDA - 748611285

Digitally signed by GARRIDO CAMACHO YOLANDA - 748611285
DN: cn=GARRIDO CAMACHO YOLANDA - 748611285, ou=GARRIDO CAMACHO,
email=GARRIDO CAMACHO YOLANDA - 748611285@cemosa.es
Reason: I affirm the accuracy and integrity of this document
Date: 2020.04.17 12:25:12 +0200

Expediente: **O/1801076/1/19**
Nº acta: 01-20/011319/1
Obra: EXP. 20171018-00658 ACUR. MARCO SER. DE EST. GEOLOGÍA Y GEO. E HIDRO. ANDALUCÍA, EXTREMADURA Y MURCIA, INGENIERÍA Y ECONOMÍA TRANSPORTE
Peticionario: C/ PASEO DE LA HABANA, Nº 138 28036 MADRID
Dirección:
Contratista:
Dirección técnica:

ENSAYO DE IDONEIDAD DE SUELOS

ALBARÁN: **G-1801076.B** CÓDIGO DE MUESTRA: **0201/01/2020/005555(868874)** FECHA TOMA: **13/04/2020-11:00**

MATERIAL		
TIPO:	SUELO	MODALIDAD DE MUESTREO: GEO - MUESTREO POR GEOTECNIA
DESCRIPCIÓN:	S-04 MI COTA 3.45-3.88	MUESTREO POR: JOSE ANT MONTAÑEZ TRIANO
PROCEDENCIA:	S-04 MI COTA 3.45-3.88	LOTE LABORATORIO:
LUGAR DE TOMA:	S-04 MI COTA 3.45-3.88	LOTE CLIENTE:
UBICACIÓN:	S-04 MI COTA 3.45-3.88	

TRABAJOS REALIZADOS - De acuerdo con el programa establecido, se han realizado los siguientes ensayos.

Análisis granulométrico (suelos)	UNE 103101:1995
Límites de Atterberg (suelos)	UNE 103103:1994; UNE 103104:1993
Clasificación e índice de grupo (suelos)	ASTM 2487:2000
Corte directo sobre muestra inalterada consolidado y drenado (suelos)	UNE 103401:1998
Determinación del contenido de sulfatos solubles (cuantitativo) (suelos)	UNE 103201:2019
Determinación de la acidez Bauman-Gully (suelos)	UNE 83962:2008

MOTIVO CAMBIO DE VERSIÓN DE ACTA: .

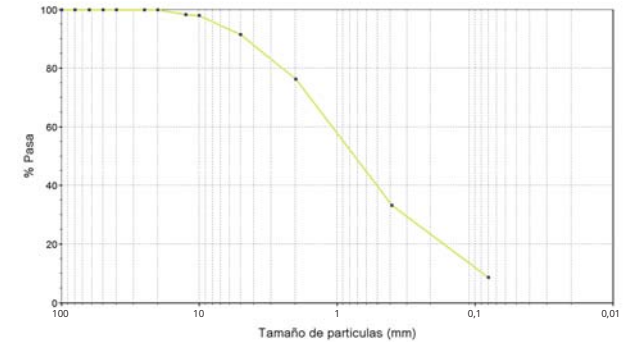
RESULTADOS

Los resultados de los ensayos se presentan en las siguientes páginas.

Expediente: **O/1801076/1/19**
Nº acta: 01-20/011319/1
Código de muestra: 0201/01/2020/005555(868874)
Procedencia: S-04 MI COTA 3.45-3.88

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

TAMIZ (mm)	% PASA
100	100,0
80	100,0
63	100,0
50	100,0
40	100,0
25	100,0
20	100,0
12,5	98,3
10	97,9
5	91,5
2	76,3
0,4	33,3
0,080	8,7

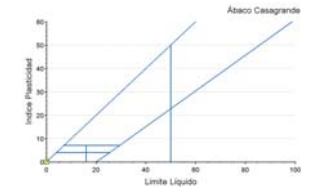


LÍMITES DE ATTERBERG

LÍMITE LÍQUIDO: - LÍMITE PLÁSTICO: - ÍNDICE DE PLASTICIDAD: - **NO PLÁSTICO**

CLASIFICACIÓN

Arena Limosa Mal Graduada	
U.S.C.S:	SP-SM
AASHTO:	A-1-B
ÍNDICE DE GRUPO:	0



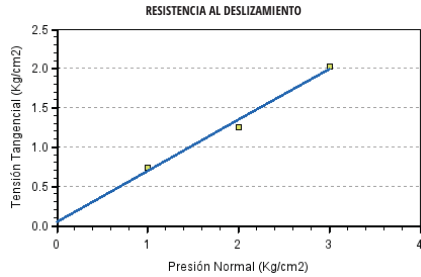
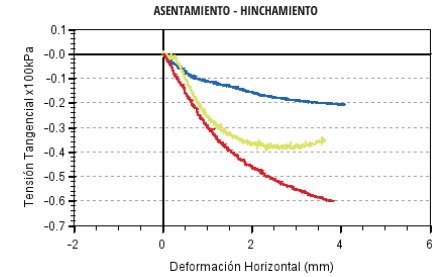
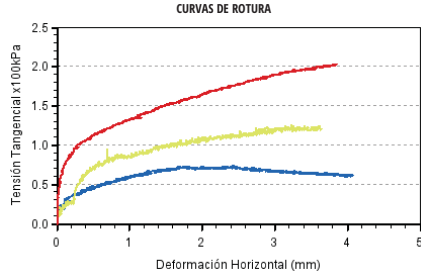
ANÁLISIS QUÍMICO

SULFATO (% SO ₃):	NO CONTIENE	SALES SOLUBLES (g/100g suelo):	-
MATERIA ORGÁNICA (%):	-	YESOS (%):	-
CARBONATOS (% CaCO ₃):	-		

Expediente: **O/1801076/1/19**
Nº acta: 01-20/011319/1
Código de muestra: 0201/01/2020/005555(868874)
Procedencia: S-04 MI COTA 3.45-3.88

CORTE DIRECTO

DATOS DE ENSAYO					
ESTADO MUESTRA:	REMOLDEADA				
CAJA:	CILINDRICA				
TIPO ENSAYO:	CD				
Nº PROBETA	TENSIÓN TANG. (kg/cm ²)	HUMEDAD INIC. (%)	HUMEDAD FINAL (%)	DENS. HÚMEDA (gr/cm ³)	DENS. SECA (gr/cm ³)
1	0,74	9,31	22,00	1,89	1,73
2	1,26	9,31	21,38	1,89	1,73
3	2,03	9,31	18,76	1,91	1,75
ÁNGULO DE ROZAMIENTO (°):		32,9			
COHESIÓN (kg/cm ²):		0,05			



AGRESIVIDAD QUÍMICA DEL SUELO FRENTE AL HORMIGÓN

PARÁMETROS	NORMA	RESULTADO	TIPO DE EXPOSICIÓN		
			Qa - ATAQUE DEBIL	Qb - ATAQUE MEDIO	Qc - ATAQUE FUERTE
ÁCIDEZ BAUMANN-GULLY (ml/kg):	UNE 83962	40	> 200	NO APLICABLE	NO APLICABLE
IÓN SULFATO (mg SO ₄ -2/kg suelo seco):	UNE 83963	NO CONTIENE	2000 - 3000	3000 - 12000	> 12000
EVALUACIÓN DE LA AGRESIVIDAD:		NO AGRESIVA			

Fdo. ELENA FRADE VIANO
Director Técnico de Laboratorio
Licenciado en Ciencias Químicas

Málaga a 17/04/2020

Fdo. YOLANDA GARRIDO CAMACHO
Responsable de Ensayos Físicos
Ldo. en Ciencias Ambientales

FRADE VIANO ELENA -
33399417)

Digitally signed by FRADE VIANO ELENA - 33399417
DN: cn=FRADE VIANO ELENA - 33399417, ou=FRADE VIANO,
givenName=ELENA, c=ES, serialNumber=33399417
Reason: I attest to the accuracy and integrity of this document
Date: 2020.04.17 12:25:01 +0200

GARRIDO CAMACHO YOLANDA
- 748611285

Digitally signed by GARRIDO CAMACHO YOLANDA - 748611285
DN: cn=GARRIDO CAMACHO YOLANDA - 748611285, ou=GARRIDO CAMACHO,
givenName=YOLANDA, c=ES, serialNumber=748611285
Reason: I attest to the accuracy and integrity of this document
Date: 2020.04.17 12:25:01 +0200

Expediente: **O/1801076/1/19**
Nº acta: 01-20/011317/2 Anula a: 01-20/011317/1
Obra: EXP. 20171018-00658 ACUR. MARCO SER. DE EST. GEOLOGÍA Y GEO. E HIDRO. ANDALUCÍA, EXTREMADURA Y MURCIA.

Peticionario: INGENIERÍA Y ECONOMÍA TRANSPORTE
Dirección: C/ PASEO DE LA HABANA, Nº 138 28036 MADRID
Contratista:
Dirección técnica:

ENSAYO DE IDONEIDAD DE SUELOS

ALBARÁN: **G-1801076.B** CÓDIGO DE MUESTRA: **0201/01/2020/005556(868875)** FECHA TOMA: **13/04/2020-11:00**

MATERIAL		
TIPO:	ROCA	MODALIDAD DE MUESTREO: GEO - MUESTREO POR GEOTECNIA
DESCRIPCIÓN:	S-04 TP COTA 11.35-11.80	MUESTREO POR: JOSE ANTE MONTAÑEZ TRIANO
PROCEDENCIA:	S-04 TP COTA 11.35-11.80	LOTE LABORATORIO:
LUGAR DE TOMA:	S-04 TP COTA 11.35-11.80	LOTE CLIENTE:
UBICACIÓN:	S-04 TP COTA 11.35-11.80	
TRABAJOS REALIZADOS - De acuerdo con el programa establecido, se han realizado los siguientes ensayos.		
Ensayo de compresión simple (roca)		UNE 22950-1:1990

MOTIVO CAMBIO DE VERSIÓN DE ACTA: Otros.
INCLUSION FIGURA

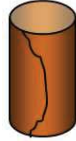
RESULTADOS
Los resultados de los ensayos se presentan en las siguientes páginas.

Expediente: **O/1801076/1/19**
Nº acta: 01-20/011317/2 Anula a: 01-20/011317/1
Código de muestra: 0201/01/2020/005556(868875)
Procedencia: S-04 TP COTA 11.35-11.80

ROTURA A COMPRESIÓN SIMPLE

ENSAYO CON MUESTRA	
DIÁMETRO (cm):	7,17
ALTURA (cm):	18,8
HUMEDAD (%):	0,56
CARGA DE ROTURA (Kp):	28.562
RESISTENCIA (Kp/cm²):	707,75
DENSIDAD HÚMEDA (g/cm³):	2,71
DENSIDAD SECA (g/cm³):	2,69

FORMA DE ROTURA



Fdo. **ELENA FRADE VIANO**
Director Técnico de Laboratorio
Licenciado en Ciencias Químicas

Málaga a 17/04/2020

Fdo. **YOLANDA GARRIDO CAMACHO**
Responsable de Ensayos Físicos
Ldo. en Ciencias Ambientales

FRADE VIANO ELENA -
33399417J

Digitally signed by FRADE VIANO ELENA - 33399417J
DN: cn=FRADE VIANO ELENA - 33399417J, o=FRADE VIANO,
email=FRADE VIANO ELENA - 33399417J@CEMOSA.es, c=ES, serialNumber=OCCO33399417J
Reason: I attest to the accuracy and integrity of this document
Date: 2020.04.17 12:39:01 +0200

GARRIDO CAMACHO YOLANDA
- 74861128S

Digitally signed by GARRIDO CAMACHO YOLANDA - 74861128S
DN: cn=GARRIDO CAMACHO YOLANDA - 74861128S, o=GARRIDO CAMACHO,
email=GARRIDO CAMACHO YOLANDA - 74861128S@CEMOSA.es, c=ES, serialNumber=OCCO74861128S
Reason: I attest to the accuracy and integrity of this document
Date: 2020.04.17 12:39:53 +0200

Expediente: **O/1801076/1/19**
Nº acta: 01-20/011318/2 Anula a: 01-20/011318/1
Obra: EXP. 20171018-00658 ACUR. MARCO SER. DE EST. GEOLOGÍA Y GEO. E HIDRO. ANDALUCÍA, EXTREMADURA Y MURCIA

Peticionario: INGENIERÍA Y ECONOMÍA TRANSPORTE
Dirección: C/ PASEO DE LA HABANA, Nº 138 28036 MADRID
Contratista:
Dirección técnica:

ENSAYO DE IDONEIDAD DE SUELOS

ALBARÁN: **G-1801076.B** CÓDIGO DE MUESTRA: **0201/01/2020/005557(868876)** FECHA TOMA: **13/04/2020-11:00**

MATERIAL		
TIPO:	ROCA	MODALIDAD DE MUESTREO: GEO - MUESTREO POR GEOTECNIA
DESCRIPCIÓN:	S-04 TP COTA 14.40-15.00	MUESTREO POR: JOSE ANT MONTAÑEZ TRIANO
PROCEDENCIA:	S-04 TP COTA 14.40-15.00	LOTE LABORATORIO:
LUGAR DE TOMA:	S-04 TP COTA 14.40-15.00	LOTE CLIENTE:
UBICACIÓN:	S-04 TP COTA 14.40-15.00	
TRABAJOS REALIZADOS - De acuerdo con el programa establecido, se han realizado los siguientes ensayos.		
Ensayo de compresión simple (roca)		UNE 22950-1:1990

MOTIVO CAMBIO DE VERSIÓN DE ACTA: Otros.

INCLUSION FIGURA

RESULTADOS

Los resultados de los ensayos se presentan en las siguientes páginas.

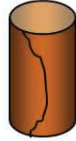
Expediente: **O/1801076/1/19**
Nº acta: 01-20/011318/2 Anula a: 01-20/011318/1
Código de muestra: 0201/01/2020/005557(8668876)
Procedencia: S-04 TP COTA 14.40-15.00

ROTURA A COMPRESIÓN SIMPLE

ENSAYO CON MUESTRA

DIÁMETRO (cm):	7,17
ALTURA (cm):	18,94
HUMEDAD (%):	0,14
CARGA DE ROTURA (Kp):	18.230
RESISTENCIA (Kp/cm²):	451,73
DENSIDAD HÚMEDA (g/cm³):	2,73
DENSIDAD SECA (g/cm³):	2,73

FORMA DE ROTURA



Fdo. **ELENA FRADE VIANO**
Director Técnico de Laboratorio
Licenciado en Ciencias Químicas

Málaga a 17/04/2020

Fdo. **YOLANDA GARRIDO CAMACHO**
Responsable de Ensayos Físicos
Ldo. en Ciencias Ambientales

FRADE VIANO ELENA -
33399417J

Digitally signed by FRADE VIANO ELENA - 33399417J
DN: cn=FRADE VIANO ELENA - 33399417J, o=FRADE VIANO,
email=fraide@cemosa.es, c=ES, serialNumber=OCCO33399417J
Reason: I attest to the accuracy and integrity of this document
Date: 2020.04.17 12:39:04 +0200

GARRIDO CAMACHO YOLANDA
- 74861128S

Digitally signed by GARRIDO CAMACHO YOLANDA - 74861128S
DN: cn=GARRIDO CAMACHO YOLANDA - 74861128S, o=GARRIDO CAMACHO,
email=garrido@cemosa.es, c=ES, serialNumber=OCCO74861128S
Reason: I attest to the accuracy and integrity of this document
Date: 2020.04.17 12:39:04 +0200

Expediente: **O/1801076/1/19**
Nº acta: 01-20/010818/1
Obra: EXP. 20171018-00658 ACUR. MARCO SER. DE EST. GEOLOGÍA Y GEO. E HIDRO. ANDALUCÍA, EXTREMADURA Y MURCIA.

Peticionario: INGENIERIA Y ECONOMIA TRANSPORTE
Dirección: C/ PASEO DE LA HABANA, Nº 138 28036 MADRID
Contratista:
Dirección técnica:

ENSAYO DE IDONEIDAD DE SUELOS

ALBARÁN: **C-1801076.0** CÓDIGO DE MUESTRA: **0201/01/2020/005369(866137)** FECHA TOMA: **16/03/2020-11:00**

MATERIAL

TIPO:	SUELO	MODALIDAD DE MUESTREO:	ML - MUESTREO POR LABORATORIO
DESCRIPCIÓN:	C-01 MA-01 COTA 0.90-1.00	MUESTREADO POR:	JOSE ANTE MONTAÑEZ TRIANO
PROCEDENCIA:	C-01 MA-01 COTA 0.90-1.00	LOTE LABORATORIO:	
LUGAR DE TOMA:	C-01 MA-01 COTA 0.90-1.00	LOTE CLIENTE:	
UBICACIÓN:	C-01 MA-01 COTA 0.90-1.00		

TRABAJOS REALIZADOS - De acuerdo con el programa establecido, se han realizado los siguientes ensayos.

Análisis granulométrico (suelos)	UNE 103101:1995
Límites de Atterberg (suelos)	UNE 103103:1994; UNE 103104:1993
Clasificación e índice de grupo (suelos)	ASTM 2487:2000
Hinchamiento libre en edómetro (suelos)	UNE 103601:1996
Determinación del contenido en sales solubles (suelos)	NLT 114:1999
Ensayo de colapso (suelos)	NLT 254:1999
Contenido materia orgánica (permanganato potásico) (suelos)	UNE 103204:2019
Contenido de yesos (suelos)	NLT 115:1999

MOTIVO CAMBIO DE VERSIÓN DE ACTA: .

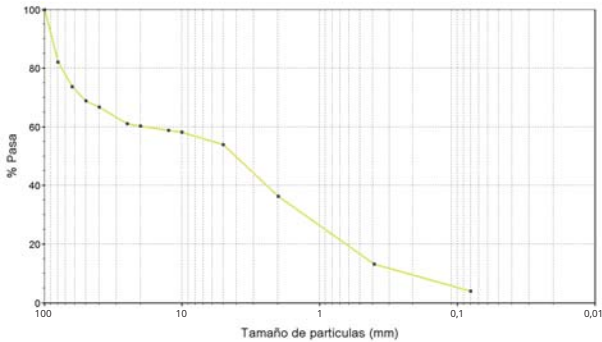
RESULTADOS

Los resultados de los ensayos se presentan en las siguientes páginas.

Expediente: **O/1801076/1/19**
Nº acta: 01-20/010818/1
Código de muestra: 0201/01/2020/005369(866137)
Procedencia: C-01 MA-01 COTA 0.90-1.00

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

TAMIZ (mm)	% PASA
100	100,0
80	82,1
63	73,7
50	68,8
40	66,8
25	61,1
20	60,2
12,5	58,8
10	58,1
5	53,9
2	36,3
0,4	13,2
0,080	3,9



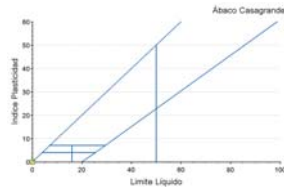
LÍMITES DE ATTERBERG

LÍMITE LÍQUIDO: - LÍMITE PLÁSTICO: - ÍNDICE DE PLASTICIDAD: - **NO PLÁSTICO**

CLASIFICACIÓN

Arena Mal Graduada

U.S.C.S.:	SP
AASHTO:	A-1-A
ÍNDICE DE GRUPO:	0



ANÁLISIS QUÍMICO

SULFATO (% SO ₃):	-	SALES SOLUBLES (g/100g suelo):	0,08
MATERIA ORGÁNICA (%):	1,56	YESOS (%):	0,000
CARBONATOS (% CaCO ₃):	-		

Expediente: **O/1801076/1/19**
Nº acta: 01-20/010818/1
Código de muestra: 0201/01/2020/005369(866137)
Procedencia: C-01 MA-01 COTA 0.90-1.00

HINCHAMIENTO LIBRE DE UN SUELO EN EDÓMETRO

DATOS DE LA CÉLULA

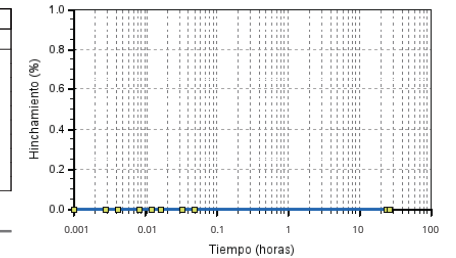
ALTURA (mm):	20,00
ÁREA (cm ²):	19,63
VOLUMEN (cm ³):	39,26

DATOS DE LA MUESTRA

DENSIDAD HÚMEDA (g/cm ³):	2,02
DENSIDAD SECA (g/cm ³):	1,72
HUMEDAD INICIAL (%):	17,51
HUMEDAD FINAL (%):	20,74

PRESIÓN VERTICAL: 10

TIEMPO	LECTURA (mm)	HINCHAMIENTO (%)
0 S	5.000	0,00
10 S	5.000	0,00
15 S	5.000	0,00
30 S	5.000	0,00
45 S	5.000	0,00
1 MI	5.000	0,00
2 MI	5.000	0,00
3 MI	5.000	0,00
24 HR	5.000	0,00
26 HR	5.000	0,00



HINCHAMIENTO LIBRE (%): **0,00**

COLAPSO EN SUELOS

DATOS DE LA CÉLULA

ALTURA (mm):	20,00
ÁREA (cm ²):	19,63
VOLUMEN (cm ³):	39,26

PRESIÓN VERTICAL:

PRESIÓN (kg/cm ²)	LECTURA (µm)	ASIENTO (mm)
PROCESO DE CARGA SIN INUNDAR		
0,05	5.000	0,00
0,10	4.995	0,02
0,20	4.995	0,02
0,50	4.990	0,04
1,00	4.980	0,08
2,00	4.980	0,08
CARGA INUNDADA EN EQUILIBRIO		
2,00	4.980	0,08

DATOS DE LA MUESTRA

TIPO DE PROBETA: **Remoldeada**

DENSIDAD HÚMEDA (g/cm ³):	2,00
DENSIDAD SECA (g/cm ³):	1,70
HUMEDAD INICIAL (%):	17,63
HUMEDAD FINAL (%):	20,84

ÍNDICE DE COLAPSO (I) (%): **0,00** POTENCIAL PORCENTUAL DE COLAPSO (IC) (%): **0,00**

Fdo. ELENA FRADE VIANO
Director Técnico de Laboratorio
Licenciado en Ciencias Químicas

Málaga a 01/04/2020

Fdo. YOLANDA GARRIDO CAMACHO
Responsable de Ensayos Físicos
Ldo. en Ciencias Ambientales

FRADE VIANO ELENA - 33399417J

Digitally signed by FRADE VIANO ELENA - 33399417J
DN: cn=FRADE VIANO ELENA - 33399417J, ou=FRADE VIANO,
givenName=ELENA, c=ES, serialNumber=DNCS-33399417J
Reason: I affirm the accuracy and integrity of this document
Date: 2023.04.01 17:42:42 +0200

GARRIDO CAMACHO YOLANDA - 74861128S

Digitally signed by GARRIDO CAMACHO YOLANDA - 74861128S
DN: cn=GARRIDO CAMACHO YOLANDA - 74861128S, ou=GARRIDO CAMACHO,
givenName=YOLANDA, c=ES, serialNumber=DNCS-74861128S
Reason: I affirm the accuracy and integrity of this document
Date: 2023.04.01 17:42:42 +0200

Expediente: **O/1801076/1/19**
Nº acta: 01-20/010819/1
Obra: EXP. 20171018-00658 ACUR. MARCO SER. DE EST. GEOLOGÍA Y GEO. E HIDRO. ANDALUCÍA, EXTREMADURA Y MURCIA, INGENIERIA Y ECONOMIA TRANSPORTE
Peticionario: C/ PASEO DE LA HABANA, Nº 138 28036 MADRID
Dirección:
Contratista:
Dirección técnica:

ENSAYO DE IDONEIDAD DE SUELOS

ALBARÁN: **C-1801076.0** CÓDIGO DE MUESTRA: **0201/01/2020/005370(866138)** FECHA TOMA: **16/03/2020-11:00**

MATERIAL		
TIPO:	SUELO	MODALIDAD DE MUESTREO: ML - MUESTREO POR LABORATORIO
DESCRIPCIÓN:	C-02 MA-01 COTA 0.00-0.40	MUESTREO POR: JOSE ANT MONTAÑEZ TRIANO
PROCEDENCIA:	C-02 MA-01 COTA 0.00-0.40	LOTE LABORATORIO:
LUGAR DE TOMA:	C-02 MA-01 COTA 0.00-0.40	LOTE CLIENTE:
UBICACIÓN:	C-02 MA-01 COTA 0.00-0.40	

TRABAJOS REALIZADOS - De acuerdo con el programa establecido, se han realizado los siguientes ensayos.

Análisis granulométrico (suelos)	UNE 103101:1995
Límites de Atterberg (suelos)	UNE 103103:1994; UNE 103104:1993
Clasificación e índice de grupo (suelos)	ASTM 2487:2000
Aplonado por método Próctor Normal (suelos)	UNE 103500:1994
Índice C.B.R. - con compactación Próctor Normal (sin incluirlo) (suelos)	UNE 103502:1995
Hinchamiento libre en edómetro (suelos)	UNE 103601:1996
Ensayo de colapso (suelos)	NLT 254:1999

MOTIVO CAMBIO DE VERSIÓN DE ACTA: .

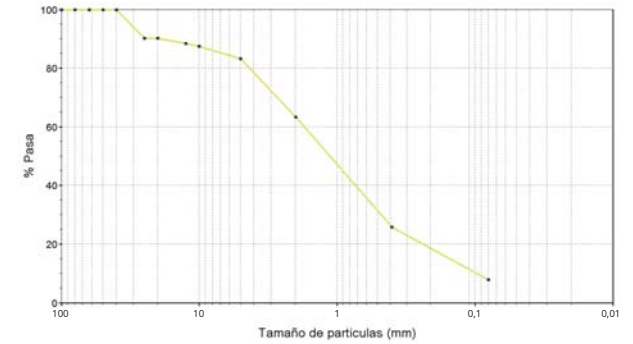
RESULTADOS

Los resultados de los ensayos se presentan en las siguientes páginas.

Expediente: **O/1801076/1/19**
Nº acta: 01-20/010819/1
Código de muestra: 0201/01/2020/005370(866138)
Procedencia: C-02 MA-01 COTA 0.00-0.40

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

TAMIZ (mm)	% PASA
100	100,0
80	100,0
63	100,0
50	100,0
40	100,0
25	90,2
20	90,2
12,5	88,4
10	87,4
5	83,3
2	63,3
0,4	25,8
0,080	7,8

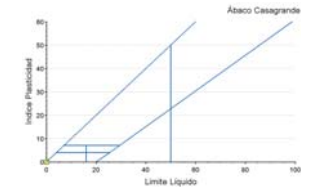


LÍMITES DE ATTERBERG

LÍMITE LÍQUIDO: - LÍMITE PLÁSTICO: - ÍNDICE DE PLASTICIDAD: - **NO PLÁSTICO**

CLASIFICACIÓN

Arena Limosa Mal Graduada	
U.S.C.S:	SP-SM
AASHTO:	A-1-B
ÍNDICE DE GRUPO:	0

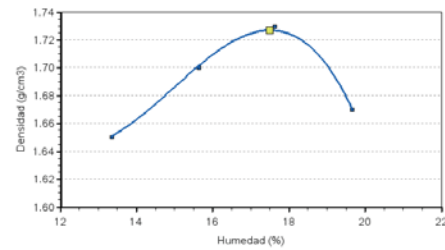


Expediente: **O/1801076/1/19**
Nº acta: 01-20/010819/1
Código de muestra: 0201/01/2020/005370(866138)
Procedencia: C-02 MA-01 COTA 0.00-0.40

COMPACTACIÓN (PROCTOR NORMAL)

DATOS DEL MOLDE

VOLUMEN DEL MOLDE (cm³):	1000
MAZA (kg):	2,5
ALTURA DE CAÍDA (mm):	305
Nº DE CAPAS:	3
Nº DE GOLPES POR CAPA:	26



MATERIAL GRUESO

CANTIDAD (%):	-
DENSIDAD (g/cm³):	-

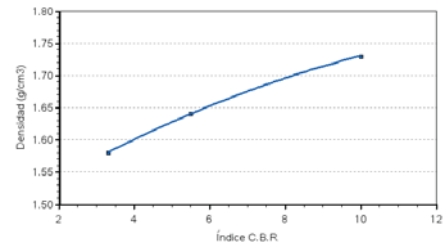
RESULTADOS			
PUNTO Nº	% AGUA AÑADIDA	DENSIDAD (g/cm³)	HUMEDAD (%)
1	4	1,65	13,3
2	6	1,70	15,6
3	8	1,73	17,6
4	10	1,67	19,7

DENSIDAD MÁXIMA (g/cm³):	1,73
HUMEDAD ÓPTIMA (%):	17,5
DENSIDAD CORREGIDA (g/cm³):	1,73
HUMEDAD CORREGIDA (%):	17,5

ÍNDICE C.B.R. (PROCTOR NORMAL)

DATOS DE LA MUESTRA

MATERIAL:	SUELO
TIPO DE MUESTRA:	
TIPO PROCTOR:	NORMAL
DENSIDAD MÁXIMA (g/cm³):	1,73
HUMEDAD ÓPTIMA (%):	17,5



DATOS DEL ENSAYO

SOBRECARGA UTILIZADA (kg):	13,6
SUSTITUCIÓN DE MATERIAL:	SÍ
MATERIAL RETENIDO TAMIZ 20 mm:	9,8
TIPO DE C.B.R.:	INMERSIÓN + PENETRACIÓN

DENSIDADES		C.B.R	
DENSIDAD MÁXIMA (g/cm³):	1,73		10,00
98% DENSIDAD MÁXIMA (g/cm³):	1,70		8,24
95% DENSIDAD MÁXIMA (g/cm³):	1,64		5,50

PUNTO Nº	HUMEDAD ANTES INMERSIÓN (%)	HUMEDAD DESPUÉS INMERSIÓN (%)	ENERGÍA COMPACTACIÓN (%)	HINCHAMIENTO (%)	DENSIDAD (g/cm³)	ÍNDICE C.B.R.
1	17,3	23,0	25	0,27	1,58	3,3
2	17,3	21,0	50	0,36	1,64	5,5
3	17,4	18,6	100	0,44	1,73	10,0

Expediente: **O/1801076/1/19**
Nº acta: 01-20/010819/1
Código de muestra: 0201/01/2020/005370(866138)
Procedencia: C-02 MA-01 COTA 0.00-0.40

HINCHAMIENTO LIBRE DE UN SUELO EN EDÓMETRO

DATOS DE LA CÉLULA

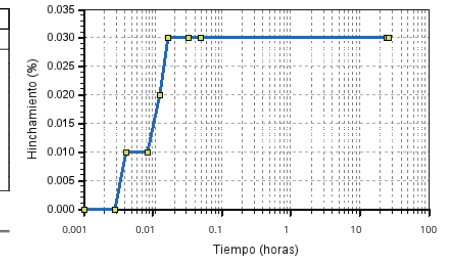
ALTURA (mm):	20,00
ÁREA (cm²):	19,63
VOLUMEN (cm³):	39,26

PRESIÓN VERTICAL: 10		
TIEMPO	LECTURA (mm)	HINCHAMIENTO (%)
0 S	4,989	0,00
10 S	4,989	0,00
15 S	4,990	0,01
30 S	4,991	0,01
45 S	4,992	0,02
1 MI	4,995	0,03
2 MI	4,995	0,03
3 MI	4,995	0,03
24 HR	4,995	0,03
26 HR	4,995	0,03

HINCHAMIENTO LIBRE (%): **0,03**

DATOS DE LA MUESTRA

DENSIDAD HÚMEDA (g/cm³):	2,08
DENSIDAD SECA (g/cm³):	1,89
HUMEDAD INICIAL (%):	10,04
HUMEDAD FINAL (%):	15,32



COLAPSO EN SUELOS

DATOS DE LA CÉLULA

ALTURA (mm):	20,00
ÁREA (cm²):	19,63
VOLUMEN (cm³):	39,26

DATOS DE LA MUESTRA

TIPO DE PROBETA:	Remoldeada
DENSIDAD HÚMEDA (g/cm³):	2,01
DENSIDAD SECA (g/cm³):	1,70
HUMEDAD INICIAL (%):	17,69
HUMEDAD FINAL (%):	22,26

ÍNDICE DE COLAPSO (I) (%): **0,00** POTENCIAL PORCENTUAL DE COLAPSO (IC) (%): **0,00**

PRESIÓN VERTICAL:		
PRESIÓN (kg/cm²)	LECTURA (µm)	ASIENTO (mm)
PROCESO DE CARGA SIN INUNDAR		
0,05	5,000	0,00
0,10	4,980	0,08
0,20	4,980	0,08
0,50	4,980	0,08
1,00	4,980	0,08
2,00	4,980	0,08
CARGA INUNDADA EN EQUILIBRIO		
2,00	4,980	0,08

Fdo. ELENA FRADE VIANO
Director Técnico de Laboratorio
Licenciado en Ciencias Químicas

Málaga a 01/04/2020

Fdo. YOLANDA GARRIDO CAMACHO
Responsable de Ensayos Físicos
Ldo. en Ciencias Ambientales

FRADE VIANO ELENA -
33399417]

Digitally signed by FRADE VIANO ELENA - 33399417
DN: cn=FRADE VIANO ELENA - 33399417, ou=FRADE VIANO,
givenName=ELENA, c=ES, serialNumber=DNCS-33399417
Reason: I affirm to the accuracy and integrity of this document
Date: 2020.04.01 11:48:20 +0200

GARRIDO CAMACHO YOLANDA
- 748611285

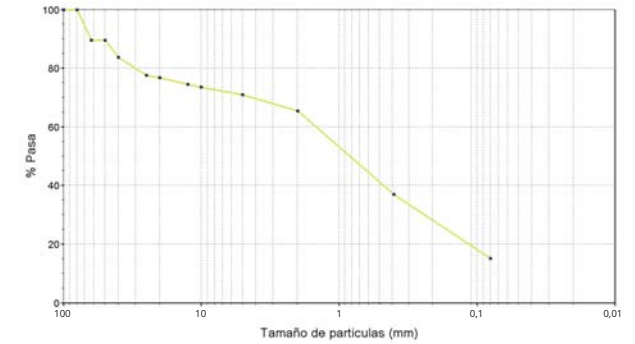
Digitally signed by GARRIDO CAMACHO YOLANDA - 748611285
DN: cn=GARRIDO CAMACHO YOLANDA - 748611285, ou=GARRIDO CAMACHO,
givenName=YOLANDA, c=ES, serialNumber=DNCS-748611285
Reason: I affirm to the accuracy and integrity of this document
Date: 2020.04.01 11:48:20 +0200

Expediente: **O/1801076/1/19**
Nº acta: 01-20/010817/1
Obra: EXP. 20171018-00658 ACUR. MARCO SER. DE EST. GEOLOGÍA Y GEO. E HIDRO. ANDALUCÍA, EXTREMADURA Y MURCIA, INGENIERÍA Y ECONOMÍA TRANSPORTE
Peticionario: C/ PASEO DE LA HABANA, Nº 138 28036 MADRID
Dirección:
Contratista:
Dirección técnica:

Expediente: **O/1801076/1/19**
Nº acta: 01-20/010817/1
Código de muestra: 0201/01/2020/005371(866139)
Procedencia: C-03 MA-01 COTA 0.30-0.80

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

TAMIZ (mm)	% PASA
100	100,0
80	100,0
63	89,6
50	89,6
40	83,8
25	77,6
20	76,7
12,5	74,5
10	73,5
5	70,9
2	65,5
0,4	37,0
0,080	15,2

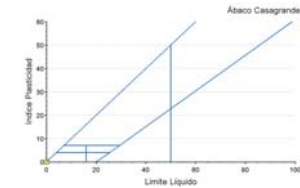


LÍMITES DE ATTERBERG

LÍMITE LÍQUIDO: - LÍMITE PLÁSTICO: - ÍNDICE DE PLASTICIDAD: - **NO PLÁSTICO**

CLASIFICACIÓN

Arena Limosa	
U.S.C.S:	SM
AASHTO:	A-1-B
ÍNDICE DE GRUPO:	0



ANÁLISIS QUÍMICO

SULFATO (% SO ₃):	-	SALES SOLUBLES (g/100g suelo):	0,15
MATERIA ORGÁNICA (%):	2,61	YESOS (%):	0,000
CARBONATOS (% CaCO ₃):	-		

ENSAYO DE IDONEIDAD DE SUELOS

ALBARÁN: **C-1801076.0** CÓDIGO DE MUESTRA: **0201/01/2020/005371(866139)** FECHA TOMA: **16/03/2020-11:00**

MATERIAL		
TIPO:	SUELO	MODALIDAD DE MUESTREO: ML - MUESTREO POR LABORATORIO
DESCRIPCIÓN:	C-03 MA-01 COTA 0.30-0.80	MUESTREO POR: JOSE ANT MONTAÑEZ TRIANO
PROCEDENCIA:	C-03 MA-01 COTA 0.30-0.80	LOTE LABORATORIO:
LUGAR DE TOMA:	C-03 MA-01 COTA 0.30-0.80	LOTE CLIENTE:
UBICACIÓN:	C-03 MA-01 COTA 0.30-0.80	

TRABAJOS REALIZADOS - De acuerdo con el programa establecido, se han realizado los siguientes ensayos.

Análisis granulométrico (suelos)	UNE 103101:1995
Límites de Atterberg (suelos)	UNE 103103:1994; UNE 103104:1993
Clasificación e índice de grupo (suelos)	ASTM 2487:2000
Aplonado por método Próctor Normal (suelos)	UNE 103500:1994
Índice C.B.R. - con compactación Próctor Normal (sin incluirlo) (suelos)	UNE 103502:1995
Hinchamiento libre en edómetro (suelos)	UNE 103601:1996
Determinación del contenido en sales solubles (suelos)	NLT 114:1999
Ensayo de colapso (suelos)	NLT 254:1999
Contenido materia orgánica (permanganato potásico) (suelos)	UNE 103204:2019
Contenido de yesos (suelos)	NLT 115:1999

MOTIVO CAMBIO DE VERSIÓN DE ACTA: .

RESULTADOS

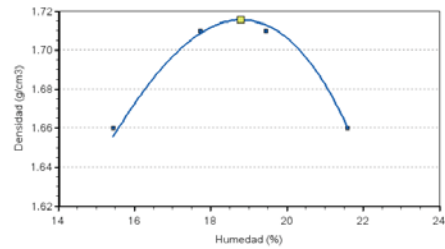
Los resultados de los ensayos se presentan en las siguientes páginas.

Expediente: **O/1801076/1/19**
Nº acta: 01-20/010817/1
Código de muestra: 0201/01/2020/005371(866139)
Procedencia: C-03 MA-01 COTA 0.30-0.80

COMPACTACIÓN (PROCTOR NORMAL)

DATOS DEL MOLDE

VOLUMEN DEL MOLDE (cm³):	1000
MAZA (kg):	2,5
ALTURA DE CAÍDA (mm):	305
Nº DE CAPAS:	3
Nº DE GOLPES POR CAPA:	26



MATERIAL GRUESO

CANTIDAD (%):	-
DENSIDAD (g/cm³):	-

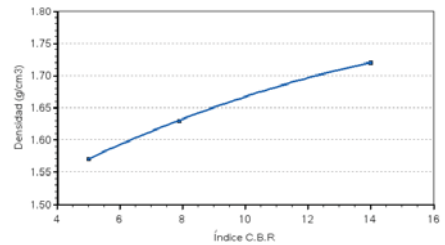
RESULTADOS			
PUNTO Nº	% AGUA AÑADIDA	DENSIDAD (g/cm³)	HUMEDAD (%)
1	4	1,66	15,4
2	6	1,71	17,7
3	8	1,71	19,4
4	10	1,66	21,6

DENSIDAD MÁXIMA (g/cm³):	1,72
HUMEDAD ÓPTIMA (%):	18,8
DENSIDAD CORREGIDA (g/cm³):	1,72
HUMEDAD CORREGIDA (%):	18,8

ÍNDICE C.B.R. (PROCTOR NORMAL)

DATOS DE LA MUESTRA

MATERIAL:	SUELO
TIPO DE MUESTRA:	
TIPO PROCTOR:	NORMAL
DENSIDAD MÁXIMA (g/cm³):	1,72
HUMEDAD ÓPTIMA (%):	18,8



DATOS DEL ENSAYO

SOBRECARGA UTILIZADA (kg):	13,6
SUSTITUCIÓN DE MATERIAL:	SÍ
MATERIAL RETENIDO TAMIZ 20 mm:	23,3
TIPO DE C.B.R.:	INMERSIÓN + PENETRACIÓN
DENSIDADES C.B.R.	
DENSIDAD MÁXIMA (g/cm³):	1,72
98% DENSIDAD MÁXIMA (g/cm³):	1,69
95% DENSIDAD MÁXIMA (g/cm³):	1,63

PUNTO Nº	HUMEDAD ANTES INMERSIÓN (%)	HUMEDAD DESPUÉS INMERSIÓN (%)	ENERGÍA COMPACTACIÓN (%)	HINCHAMIENTO (%)	DENSIDAD (g/cm³)	ÍNDICE C.B.R.
1	18,6	25,5	25	-0,10	1,57	5,0
2	18,6	23,1	50	-0,02	1,63	7,9
3	18,7	20,8	100	0,08	1,72	14,0

Expediente: **O/1801076/1/19**
Nº acta: 01-20/010817/1
Código de muestra: 0201/01/2020/005371(866139)
Procedencia: C-03 MA-01 COTA 0.30-0.80

HINCHAMIENTO LIBRE DE UN SUELO EN EDÓMETRO

DATOS DE LA CÉLULA

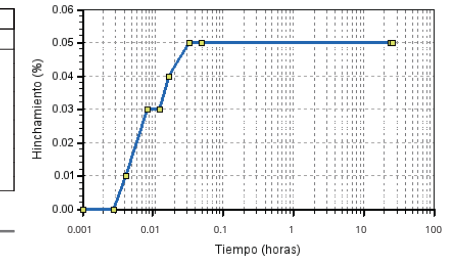
ALTURA (mm):	20,00
ÁREA (cm²):	19,63
VOLUMEN (cm³):	39,26

PRESIÓN VERTICAL: 10		
TIEMPO	LECTURA (mm)	HINCHAMIENTO (%)
0 S	4.980	0,00
10 S	4.980	0,00
15 S	4.982	0,01
30 S	4.985	0,03
45 S	4.985	0,03
1 MI	4.988	0,04
2 MI	4.990	0,05
3 MI	4.990	0,05
24 HR	4.990	0,05
26 HR	4.990	0,05

HINCHAMIENTO LIBRE (%):	0,05
-------------------------	-------------

DATOS DE LA MUESTRA

DENSIDAD HÚMEDA (g/cm³):	2,03
DENSIDAD SECA (g/cm³):	1,71
HUMEDAD INICIAL (%):	18,84
HUMEDAD FINAL (%):	21,47



COLAPSO EN SUELOS

DATOS DE LA CÉLULA

ALTURA (mm):	20,00
ÁREA (cm²):	19,63
VOLUMEN (cm³):	39,26

DATOS DE LA MUESTRA

TIPO DE PROBETA:	Remoldeada
DENSIDAD HÚMEDA (g/cm³):	2,02
DENSIDAD SECA (g/cm³):	1,70
HUMEDAD INICIAL (%):	18,45
HUMEDAD FINAL (%):	20,67

ÍNDICE DE COLAPSO (I) (%):	0,03
POTENCIAL PORCENTUAL DE COLAPSO (IC) (%):	0,03

PRESIÓN VERTICAL:		
PRESIÓN (kg/cm²)	LECTURA (µm)	ASIENTO (mm)
PROCESO DE CARGA SIN INUNDAR		
0,05	5.000	0,00
0,10	4.990	0,04
0,20	4.990	0,04
0,50	4.990	0,04
1,00	4.985	0,06
2,00	4.985	0,06
CARGA INUNDADA EN EQUILIBRIO		
2,00	4.980	0,08

Fdo. ELENA FRADE VIANO
Director Técnico de Laboratorio
Licenciado en Ciencias Químicas

Málaga a 01/04/2020

Fdo. YOLANDA GARRIDO CAMACHO
Responsable de Ensayos Físicos
Ldo. en Ciencias Ambientales

FRADE VIANO ELENA -
33399417]

Digitally signed by FRADE VIANO ELENA - 33399417
DN: cn=FRADE VIANO ELENA - 33399417, ou=FRADE VIANO,
givenName=ELENA, c=ES, serialNumber=0000-33399417
Reason: I affirm the accuracy and integrity of this document
Date: 2020.04.01 11:46:16 -0200

GARRIDO CAMACHO YOLANDA
- 748611285

Digitally signed by GARRIDO CAMACHO YOLANDA - 748611285
DN: cn=GARRIDO CAMACHO YOLANDA - 748611285, ou=GARRIDO CAMACHO,
givenName=YOLANDA, c=ES, serialNumber=0000-748611285
Reason: I affirm the accuracy and integrity of this document
Date: 2020.04.01 11:46:07 -0200

Expediente: **O/1801076/1/19**
Nº acta: 01-20/023453/1
Código de muestra: 0201/01/2020/012868(911643)
Procedencia: MEZCLA S-01 COTA 4.60-7.30 Y S-02 COTA 3.60-5.70

ACTA

C/ Benaque 29004 MALAGA
TEL. 952230842
FAX. 952231214
URL: www.cemosa.es
E-MAIL: malaga@cemosa.es
LABORATORIO DE ENSAYOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE LA EDIFICACIÓN SEGÚN RD 410/2010

ANÁLISIS QUÍMICO

SULFATO (% SO ₃):	NO CONTIENE	SALES SOLUBLES (g/100g suelo):	0,11
MATERIA ORGÁNICA (%):	0,17	YESOS (%):	0,000
CARBONATOS (% CaCO ₃):	-		

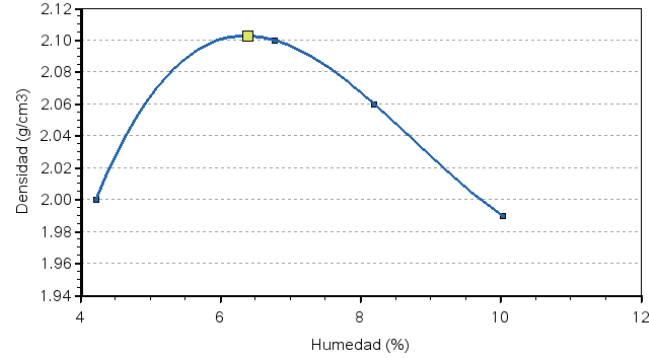
COMPACTACIÓN (PROCTOR MODIFICADO)

DATOS DEL MOLDE

VOLUMEN DEL MOLDE (cm ³):	2320
MAZA (kg):	4,535
ALTURA DE CAÍDA (mm):	457
Nº DE CAPAS:	5
Nº DE GOLPES POR CAPA:	60

MATERIAL GRUESO

CANTIDAD (%):	-
DENSIDAD (g/cm ³):	-



RESULTADOS

PUNTO Nº	% AGUA AÑADIDA	DENSIDAD (g/cm ³)	HUMEDAD (%)
1	0	2,00	4,2
2	2	2,10	6,8
3	4	2,06	8,2
4	6	1,99	10,0

DENSIDAD MÁXIMA (g/cm ³):	2,10
HUMEDAD ÓPTIMA (%):	6,4
DENSIDAD CORREGIDA (g/cm ³):	2,10
HUMEDAD CORREGIDA (%):	6,4

Fdo. ELENA FRADE VIANO
Director Técnico de Laboratorio
Licenciado en Ciencias Químicas

Málaga a 30/07/2020

Fdo. YOLANDA GARRIDO CAMACHO
Responsable de Ensayos Físicos
Ldo. en Ciencias Ambientales

FRADE VIANO ELENA -
33399417]

Digitally signed by FRADE VIANO ELENA - 33399417]
DN: cn=FRADE VIANO ELENA - 33399417], sn=FRADE VIANO,
givenName=ELENA, c=ES, serialNumber=DCE5-33399417]
Reason: I attest to the accuracy and integrity of this document
Date: 2020.07.30 11:43:47 +02'00'

GARRIDO CAMACHO YOLANDA
- 74861128S

Digitally signed by GARRIDO CAMACHO YOLANDA - 74861128S
DN: cn=GARRIDO CAMACHO YOLANDA - 74861128S, sn=GARRIDO CAMACHO,
givenName=YOLANDA, c=ES, serialNumber=DCE5-74861128S
Reason: I attest to the accuracy and integrity of this document
Date: 2020.07.30 11:43:40 +02'00'

Expediente: **O/1801076/1/19**
Nº acta: 01-20/023450/1
Obra: EXP. 20171018-00658 ACUR. MARCO SER. DE EST. GEOLOGÍA Y GEO. E HIDRO. ANDALUCÍA, EXTREMADURA Y MURCIA.
Peticionario: INGENIERIA Y ECONOMIA TRANSPORTE
Dirección: C/ PASEO DE LA HABANA, Nº 138 28036 MADRID
Contratista:
Dirección técnica:

ACTA

C/ Benaque 29004 MALAGA
TEL. 952230842
FAX. 952231214
URL: www.cemosa.es
E-MAIL: malaga@cemosa.es
LABORATORIO DE ENSAYOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE LA EDIFICACIÓN SEGÚN RD 410/2010

ENSAYO DE IDONEIDAD DE SUELOS

ALBARÁN: **G-1801076.V** CÓDIGO DE MUESTRA: **0201/01/2020/012865(911640)** FECHA TOMA: **14/07/2020-11:00**

MATERIAL

TIPO:	SUELO	MODALIDAD DE MUESTREO:	GEO - MUESTREO POR GEOTECNIA
DESCRIPCIÓN:	S-04 COTA 0.60-1.50	MUESTREO POR:	JOSE ANT MONTAÑEZ TRIANO
PROCEDENCIA:	S-04 COTA 0.60-1.50	LOTE LABORATORIO:	
LUGAR DE TOMA:	S-04 COTA 0.60-1.50	LOTE CLIENTE:	
UBICACIÓN:	S-04 COTA 0.60-1.50		

TRABAJOS REALIZADOS - De acuerdo con el programa establecido, se han realizado los siguientes ensayos.

Determinación del contenido en sales solubles (suelos)	NLT 114:1999
Contenido materia orgánica (permanganato potásico) (suelos)	UNE 103204:2019
Contenido de yesos (suelos)	NLT 115:1999

MOTIVO CAMBIO DE VERSIÓN DE ACTA: .

RESULTADOS

Los resultados de los ensayos se presentan en las siguientes páginas.

Expediente: **O/1801076/1/19**
Nº acta: 01-20/023450/1
Código de muestra: 0201/01/2020/012865(911640)
Procedencia: S-04 COTA 0.60-1.50

ANÁLISIS QUÍMICO

SULFATO (% SO ₃):	-	SALES SOLUBLES (g/100g suelo):	0,10
MATERIA ORGÁNICA (%):	1,50	YESOS (%):	0,000
CARBONATOS (% CaCO ₃):	-		

Fdo. ELENA FRADE VIANO
Director Técnico de Laboratorio
Licenciado en Ciencias Químicas

Málaga a 30/07/2020

Fdo. YOLANDA GARRIDO CAMACHO
Responsable de Ensayos Físicos
Ldo. en Ciencias Ambientales

FRADE VIANO ELENA -
33399417J

Digitally signed by FRADE VIANO ELENA - 33399417J
DN: cn=FRADE VIANO ELENA - 33399417J, o=FRADE VIANO,
givenName=ELENA, c=ES, serialNumber=DCES-33399417J
Reason: I attest to the accuracy and integrity of this document
Date: 2020.07.30 11:37:09 +02'00'

GARRIDO CAMACHO YOLANDA
- 74861128S

Digitally signed by GARRIDO CAMACHO YOLANDA - 74861128S
DN: cn=GARRIDO CAMACHO YOLANDA - 74861128S, o=GARRIDO CAMACHO,
givenName=YOLANDA, c=ES, serialNumber=DCES-74861128S
Reason: I attest to the accuracy and integrity of this document
Date: 2020.07.30 11:37:02 +02'00'

Expediente: **O/1801076/1/19**
Nº acta: 01-20/023453/1
Obra: EXP. 20171018-00658 ACUR. MARCO SER. DE EST. GEOLOGÍA Y GEO. E HIDRO. ANDALUCÍA, EXTREMADURA Y MURCIA.
Peticionario: INGENIERIA Y ECONOMIA TRANSPORTE
Dirección: C/ PASEO DE LA HABANA, Nº 138 28036 MADRID
Contratista:
Dirección técnica:

ENSAYO DE IDONEIDAD DE SUELOS

ALBARÁN: **G-1801076.V** CÓDIGO DE MUESTRA: **0201/01/2020/012868(911643)** FECHA TOMA: **14/07/2020-11:00**

MATERIAL		MODALIDAD DE MUESTREO: GEO - MUESTREO POR GEOTECNIA
TIPO:	SUELO	MUESTREO POR: JOSE ANT MONTAÑEZ TRIANO
DESCRIPCIÓN:	MEZCLA S-01 COTA 4.60-7.30 Y S-02 COTA 3.60-5.70	LOTE LABORATORIO:
PROCEDENCIA:	MEZCLA S-01 COTA 4.60-7.30 Y S-02 COTA 3.60-5.70	LOTE CLIENTE:
LUGAR DE TOMA:	MEZCLA S-01 COTA 4.60-7.30 Y S-02 COTA 3.60-5.70	
UBICACIÓN:	MEZCLA S-01 COTA 4.60-7.30 Y S-02 COTA 3.60-5.70	

TRABAJOS REALIZADOS - De acuerdo con el programa establecido, se han realizado los siguientes ensayos.

Apisonado por método Próctor Modificado (suelos)	UNE 103501:1994
Determinación del contenido de sulfatos solubles (cuantitativo) (suelos)	UNE 103201:2019
Determinación del contenido en sales solubles (suelos)	NLT 114:1999
Contenido materia orgánica (permanganato potásico) (suelos)	UNE 103204:2019
Contenido de yesos (suelos)	NLT 115:1999

MOTIVO CAMBIO DE VERSIÓN DE ACTA: .

RESULTADOS

Los resultados de los ensayos se presentan en las siguientes páginas.

Expediente: **O/1801076/1/19**
 Nº acta: 01-20/023452/1
 Código de muestra: 0201/01/2020/012867(911642)
 Procedencia: S-04 COTA 7.00-7.60

ACTA

C/ Benaque 29004 MALAGA
 TEL. 952230842
 FAX. 952231214
 URL: www.cemosa.es
 E-MAIL: malaga@cemosa.es

LABORATORIO DE ENSAYOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE LA EDIFICACIÓN SEGÚN RD 410/2010

ANÁLISIS QUÍMICO

SULFATO (% SO ₃):	-	SALES SOLUBLES (g/100g suelo):	-
MATERIA ORGÁNICA (%):	0,25	YESOS (%):	-
CARBONATOS (% CaCO ₃):	-		

Fdo. ELENA FRADE VIANO
 Director Técnico de Laboratorio
 Licenciado en Ciencias Químicas

Málaga a 30/07/2020

Fdo. YOLANDA GARRIDO CAMACHO
 Responsable de Ensayos Físicos
 Ldo. en Ciencias Ambientales

FRADE VIANO ELENA -
 33399417J

Digitally signed by FRADE VIANO ELENA - 33399417J
 DN: cn=FRADE VIANO ELENA - 33399417J, o=FRADE VIANO,
 givenName=ELENA, c=ES, serialNumber=DCES-33399417J
 Reason: I attest to the accuracy and integrity of this document
 Date: 2020.07.30 11:39:53 +02'00'

GARRIDO CAMACHO YOLANDA
 - 74861128S

Digitally signed by GARRIDO CAMACHO YOLANDA - 74861128S
 DN: cn=GARRIDO CAMACHO YOLANDA - 74861128S, o=GARRIDO CAMACHO,
 givenName=YOLANDA, c=ES, serialNumber=DCES-74861128S
 Reason: I attest to the accuracy and integrity of this document
 Date: 2020.07.30 11:38:55 +02'00'

Expediente: **O/1801076/1/19**
 Nº acta: 01-20/023451/1
 Obra: EXP. 20171018-00658 ACUR. MARCO SER. DE EST. GEOLOGÍA Y GEO. E HIDRO. ANDALUCÍA, EXTREMADURA Y MURCIA.
 Peticionario: INGENIERIA Y ECONOMIA TRANSPORTE
 Dirección: C/ PASEO DE LA HABANA, Nº 138 28036 MADRID
 Contratista:
 Dirección técnica:

ACTA

C/ Benaque 29004 MALAGA
 TEL. 952230842
 FAX. 952231214
 URL: www.cemosa.es
 E-MAIL: malaga@cemosa.es

LABORATORIO DE ENSAYOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE LA EDIFICACIÓN SEGÚN RD 410/2010

ENSAYO DE IDONEIDAD DE SUELOS

ALBARÁN: **G-1801076.V** CÓDIGO DE MUESTRA: **0201/01/2020/012866(911641)** FECHA TOMA: **14/07/2020-11:00**

MATERIAL		MODALIDAD DE MUESTREO: GEO - MUESTREO POR GEOTECNIA
TIPO:	SUELO	MUESTREO POR: JOSE ANT MONTAÑEZ TRIANO
DESCRIPCIÓN:	S-04 COTA 4.00-4.50	LOTE LABORATORIO:
PROCEDENCIA:	S-04 COTA 4.00-4.50	LOTE CLIENTE:
LUGAR DE TOMA:	S-04 COTA 4.00-4.50	
UBICACIÓN:	S-04 COTA 4.00-4.50	

TRABAJOS REALIZADOS - De acuerdo con el programa establecido, se han realizado los siguientes ensayos.
 Contenido materia orgánica (permanganato potásico) (suelos) **UNE 103204:2019**

MOTIVO CAMBIO DE VERSIÓN DE ACTA: .

RESULTADOS

Los resultados de los ensayos se presentan en las siguientes páginas.

Expediente: **O/1801076/1/19**
Nº acta: 01-20/023451/1
Código de muestra: 0201/01/2020/012866(911641)
Procedencia: S-04 COTA 4.00-4.50

ACTA

C/ Benaque 29004 MALAGA
TEL. 952230842
FAX. 952231214
URL: www.cemosa.es
E-MAIL: malaga@cemosa.es
LABORATORIO DE ENSAYOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE LA EDIFICACIÓN SEGÚN RD 410/2010

ANÁLISIS QUÍMICO

SULFATO (% SO ₃):	-	SALES SOLUBLES (g/100g suelo):	-
MATERIA ORGÁNICA (%):	0,53	YESOS (%):	-
CARBONATOS (% CaCO ₃):	-		

Fdo. ELENA FRADE VIANO
Director Técnico de Laboratorio
Licenciado en Ciencias Químicas

Málaga a 30/07/2020

Fdo. YOLANDA GARRIDO CAMACHO
Responsable de Ensayos Físicos
Ldo. en Ciencias Ambientales

FRADE VIANO ELENA -
33399417J

Digitally signed by FRADE VIANO ELENA - 33399417J
DN: cn=FRADE VIANO ELENA - 33399417J, o=FRADE VIANO,
givenName=ELENA, c=ES, serialNumber=DCE5-33399417J
Reason: I attest to the accuracy and integrity of this document
Date: 2020.07.30 11:37:46 +02'00'

GARRIDO CAMACHO YOLANDA
- 74861128S

Digitally signed by GARRIDO CAMACHO YOLANDA - 74861128S
DN: cn=GARRIDO CAMACHO YOLANDA - 74861128S, o=GARRIDO CAMACHO,
givenName=YOLANDA, c=ES, serialNumber=DCE5-74861128S
Reason: I attest to the accuracy and integrity of this document
Date: 2020.07.30 11:37:38 +02'00'

Expediente: **O/1801076/1/19**
Nº acta: 01-20/023452/1
Obra: EXP. 20171018-00658 ACUR. MARCO SER. DE EST. GEOLOGÍA Y GEO. E HIDRO. ANDALUCÍA, EXTREMADURA Y MURCIA.
Peticionario: INGENIERIA Y ECONOMIA TRANSPORTE
Dirección: C/ PASEO DE LA HABANA, Nº 138 28036 MADRID
Contratista:
Dirección técnica:

ACTA

C/ Benaque 29004 MALAGA
TEL. 952230842
FAX. 952231214
URL: www.cemosa.es
E-MAIL: malaga@cemosa.es
LABORATORIO DE ENSAYOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD DE LA EDIFICACIÓN SEGÚN RD 410/2010

ENSAYO DE IDONEIDAD DE SUELOS

ALBARÁN: **G-1801076.V** CÓDIGO DE MUESTRA: **0201/01/2020/012867(911642)** FECHA TOMA: **14/07/2020-11:00**

MATERIAL		MODALIDAD DE MUESTREO: GEO - MUESTREO POR GEOTECNIA
TIPO:	SUELO	MUESTREO POR: JOSE ANT MONTAÑEZ TRIANO
DESCRIPCIÓN:	S-04 COTA 7.00-7.60	LOTE LABORATORIO:
PROCEDENCIA:	S-04 COTA 7.00-7.60	LOTE CLIENTE:
LUGAR DE TOMA:	S-04 COTA 7.00-7.60	
UBICACIÓN:	S-04 COTA 7.00-7.60	

TRABAJOS REALIZADOS - De acuerdo con el programa establecido, se han realizado los siguientes ensayos.

Contenido materia orgánica (permanganato potásico) (suelos)	UNE 103204:2019
---	------------------------

MOTIVO CAMBIO DE VERSIÓN DE ACTA: .

RESULTADOS

Los resultados de los ensayos se presentan en las siguientes páginas.

APÉNDICE 8. INFORME TÉCNICO SOBRE EL USO DE VOLADURAS PARA EL DESMONTE ASOCIADO A LA CARRETERA N-110

ÍNDICE

APÉNDICE 8. INFORME TÉCNICO SOBRE EL USO DE VOLADURAS PARA EL DESMONTE ASOCIADO A LA CARRETERA N-110	1
1.1. INTRODUCCIÓN Y ALCANCE	1
1.2. NORMAS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.....	1
1.3. SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y DESCRIPCIÓN DE LAS ZONAS A VOLAR	1
1.4. PROPIEDADES FÍSICAS DE LA ROCA Y EL MACIZO ROCOSO.....	1
1.5. VOLUMEN DE ROCA A VOLAR.....	2
1.6. ESTRUCTURAS AFECTADAS	2
1.7. VIBRACIONES	2
1.8. ONDA AÉREA.....	4
1.9. PROYECCIONES.....	5
1.10. CARACTERÍSTICAS DE LAS VOLADURAS DE CONTORNO.....	6
1.11. CARACTERÍSTICAS DE LA VOLADURA DEL MACIZO ROCOSO.....	7
1.12. CARACTERÍSTICAS DE LA VOLADURA Y ESQUEMA DE CARGA.....	9
1.13. COMPROBACIÓN DE LOS POSIBLES EFECTOS ADVERSOS PRODUCIDOS POR LA VOLADURA Y MEDIDAS A ADOPTAR.....	12
1.14. MEDIDAS DE SEGURIDAD EN LA FASE DE CARGA Y DISPARO DE VOLADURA	14
1.15. CONCLUSIONES.....	14

APÉNDICE 8. INFORME TÉCNICO SOBRE EL USO DE VOLADURAS PARA EL DESMONTE ASOCIADO A LA CARRETERA N-110

1.1. INTRODUCCIÓN Y ALCANCE

Se elabora el presente documento con el fin de diseñar una voladura para el desmonte del talud asociado al proyecto de trazado del Nuevo Puesto de la carretera N-110 en Cabezuela del Valle, y analizar su viabilidad tanto desde el punto de vista técnico como desde el punto de vista de la seguridad.

Para ello, se tuvo en cuenta la Norma UNE 22-381-93 referente a la normativa de seguridad a seguir en el uso de explosivos y el diseño se hizo en consonancia con la Guía de buenas prácticas en el diseño y ejecución de voladuras en banco publicada por el Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital.

Por tanto, en el presente documento se describirán todas las características clave que se deben tener en cuenta en el diseño de una voladura y, además, se valorarán las implicaciones sobre la seguridad de las personas y las estructuras situadas en su entorno. Esta valoración desde el punto de vista de la seguridad está enfocada desde tres vertientes diferentes: las vibraciones producidas, la onda aérea generada y las posibles proyecciones de roca derivadas de la detonación. Asegurar la integridad de las personas y edificios será el factor limitante más importante a la hora de determinar el esquema de carga y disparo de la voladura.

1.2. NORMAS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Con el objeto de lograr el diseño de la voladura, se dará cumplimiento a los requisitos, especificaciones y criterios contenidos en las siguientes normas y recomendaciones:

- Norma UNE 22-381-93. Control de vibraciones producidas por voladuras. AENOR, 1993.
- Guía de buenas prácticas en el diseño y ejecución de voladuras en banco. Laboratorio Oficial Madariaga; Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital, 2017.
- Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera e Instrucciones Técnicas Complementarias.
- Report of Investigations 8485. Structure Response and Damage Produced by Airblast From Surface Mining. United States Bureau of Mines (USBM), 1974.
- Structures to resist the effects of accidental explosions. UFC 3-340-02. Department of Defense USA, 2006.

1.3. SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y DESCRIPCIÓN DE LAS ZONAS A VOLAR

La voladura objeto del presente documento se ubica al noroeste de Cabezuela del Valle (Cáceres), y está separada de dicha población por el río Jerte.



Ilustración 1 - Vista general de la zona objeto de estudio (Fuente: Google Earth)

Dicha voladura desmontará el macizo rocoso existente entre los PP.KK. 0+119 y 0+245 de la ampliación de la carretera N-110 para permitir su paso hasta el nuevo puente proyectado.

Como se observa en la imagen anterior, a lo largo de la ribera este del río Jerte existe una densa concentración de viviendas en todo el ámbito del proyecto; además encontramos el puente actual de la carretera N-110 en las proximidades de la zona rocosa a volar.

En la ladera este, en la que se realizará la voladura, solo se aprecian algunas estructuras dispersas, que se encuentran alejadas de la voladura, y una casa situada en la zona a volar y que será demolida para la retirada del macizo rocoso.

1.4. PROPIEDADES FÍSICAS DE LA ROCA Y EL MACIZO ROCOSO

En base a la campaña geotécnica desarrollada se observó que había zonas del macizo rocoso que solo podrían ser excavadas mediante el uso de voladuras. Estas zonas se situaban entre los PP.KK. 0+105 y 0+155, en las que el macizo rocoso estaba formado por 12 m de granitos con un grado de meteorización II y, a partir del PK 0+155 hasta el PK 0+245, los granitos de grado de meteorización II formaban una capa subhorizontal de 5 metros de potencia por encima de la cota a la que discurre el trazado proyectado.

1.5. VOLUMEN DE ROCA A VOLAR

En base a la campaña geotécnica realizada se estimó que se emplearán técnicas de recorte o precorte en una superficie de 1.675,75 m² y se excavarán mediante trabajos típicos de voladura 5.402,10 m³.

1.6. ESTRUCTURAS AFECTADAS

Para el diseño de la voladura, y de acuerdo con la normativa de seguridad a cumplir, se tuvo en cuenta la presencia de diferentes estructuras en el entorno de la zona a volar. En este sentido, es necesario tener en cuenta cómo afectará la voladura a las estructuras existentes desde tres vertientes diferentes. Estas son: las vibraciones transmitidas a través del terreno, la afección de la onda aérea generada y las posibles proyecciones de roca que se pueden producir.

Al noroeste de la voladura no existe ninguna estructura crítica que influya en el diseño de la voladura. Sin embargo, al sureste de la voladura se encuentra el actual puente de conexión de la prolongación de la N-110 con Cabezuela de Valle y los edificios de viviendas de Cabezuela de Valle que se sitúan en la ribera del río que Jerte. Basándonos en la normativa a cumplir podemos diferenciar entre:

- Estructuras del grupo I: Puente existente.
- Estructuras del grupo II: Edificios de viviendas.

El puente de conexión existente se sitúa a 15 metros del barreno más cercano y debemos tener en cuenta su presencia a la hora de calcular las posibles vibraciones y proyecciones generadas. Se considera que la onda aérea generada no tendrá una intensidad suficiente como para provocar daños estructurales en él.

Los edificios de viviendas más cercanos a la voladura situados en la orilla oeste del río Jerte se encuentran a una distancia mínima de 55 metros. En estos casos debemos tener en cuenta las proyecciones y las vibraciones generadas, y en este caso también debemos considerar los posibles daños no estructurales generados en dichas viviendas derivados de la onda aérea producida tras la detonación. Las viviendas situadas en la misma ladera en la que se desarrollará la voladura se sitúan a más de 100 metros de la detonación más cercana.

Se puede asegurar que la carga operante por barreno será bastante reducida, ya que, como se ha descrito anteriormente, en la ribera situada frente a la voladura hay varias estructuras a proteger que se encuentran a una distancia muy reducida del frente de detonación.

1.7. VIBRACIONES

El súbito aumento de presión en el barreno induce tensiones dinámicas en la roca circundante, creando una onda de tensión que se propaga concéntricamente con el barreno. Esta onda provoca un movimiento vibratorio que puede causar daños a las estructuras próximas a la detonación.

Las vibraciones generadas dependen de la geometría de la voladura, el acoplamiento entre el explosivo y la roca, los tiempos de retardo entre barrenos y la cantidad de explosivo que detona al mismo tiempo.

Los parámetros característicos de la vibración son el valor pico de la velocidad de vibración en su mayor componente y la frecuencia principal de vibración. Dicho valor pico de la velocidad de vibración se corresponde con la desviación máxima del registro sobre el origen, teniendo en cuenta tanto valores positivos como negativos. Al ser la vibración un movimiento espacial, se han de registrar mediciones en tres direcciones perpendiculares entre sí y, analizando los tres registros, se seleccionará aquella componente con mayor pico.

Al ser este tipo de vibraciones no periódicas, de entre todas las diferentes frecuencias que participan en ella, hay que seleccionar la frecuencia principal característica. Para ello será necesario determinar esta frecuencia mediante el espectro de respuesta de la señal, el análisis de Fourier de la señal o el método del semiperiodo.

Estos parámetros característicos de la vibración deberán cumplir el criterio de prevención de daños de la norma UNE 22-381-93.

Esta normativa clasifica las estructuras en tres grupos:

- Estructuras pertenecientes al grupo I: Edificios y naves industriales ligeras con estructuras de hormigón armado o metálicas.
- Estructuras pertenecientes al grupo II: Edificios de viviendas, oficinas, centros comerciales y de recreo, cumpliendo la normativa legal española vigente. Edificios y estructuras de valor arqueológico, arquitectónico o histórico que por su fortaleza no presenten especial sensibilidad a las vibraciones.
- Estructuras pertenecientes al grupo III: Estructuras de valor arqueológico, arquitectónico o histórico que presenten una especial sensibilidad a las vibraciones por ellas mismas o por elementos que pudieran contener.

En la siguiente figura se puede observar el criterio de prevención de daños según la normativa UNE. Tal y como se puede observar, el criterio de daño se basa en la frecuencia principal de la señal y la velocidad de partícula o su desplazamiento en función del rango del espectro de frecuencias en el que se encuentre su frecuencia principal.

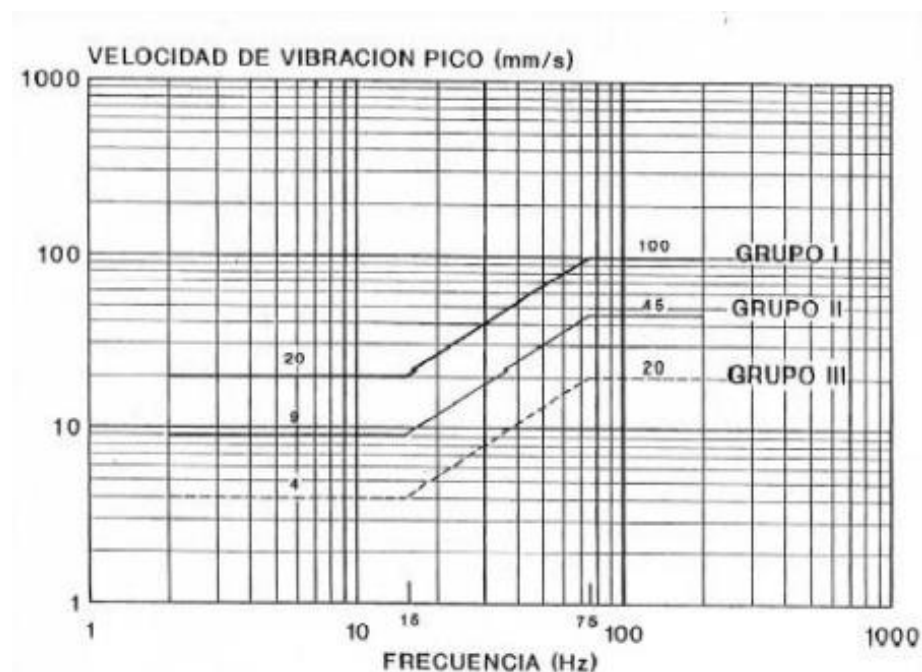


Ilustración 2 - Criterio de vibraciones permitidas en función del tipo de estructura (Fuente: Curso de Tecnología de Explosivos, J.A. Sanchidrián, E. Muñiz)

A su vez, la norma española establece la necesidad de realizar estudios de vibraciones con diferentes grados de detalle en función del tipo de terreno, la carga máxima a detonar simultáneamente, el tipo de estructura a preservar y la distancia entre la voladura y la estructura.

El tipo de estudio requerido por normativa se puede determinar mediante la siguiente figura, que relaciona la carga detonada corregida con la distancia entre estructura y voladura.

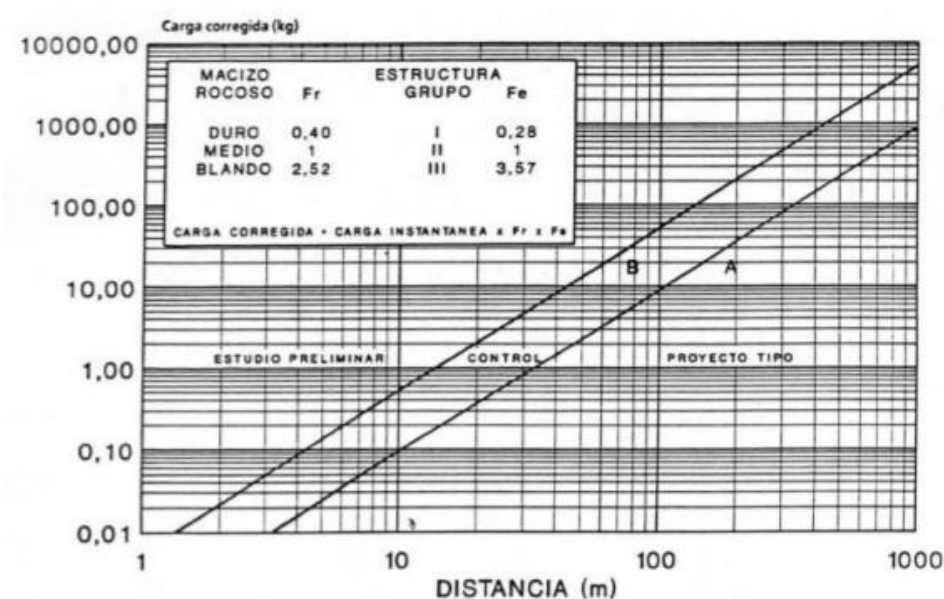


Ilustración 3 – Estudio requerido en función de la carga corregida y la distancia (Fuente: Curso de Tecnología de Explosivos, J.A. Sanchidrián, E. Muñiz)

Para determinar la carga corregida se utilizará la siguiente fórmula de cálculo:

$$W_C = W \cdot F_r \cdot F_e$$

Siendo W la carga máxima que se detona instantáneamente (suma de todas las cargas detonadas en un intervalo ≤ 8 ms), F_r un factor de roca y F_e un factor de estructura.

El factor de roca dependerá de la velocidad sísmica de la roca, que servirá para diferenciar entre dura, media o blanda. El valor de F_r se observa en la siguiente tabla:

Tipo de roca	Velocidad sísmica c_p (m/s)	Factor de roca F_r
Dura	$c_p > 4.000$	0,40
Media	$4.000 > c_p > 2.000$	1,00
Blanda	$2.000 > c_p$	2,52

El factor de estructura depende exclusivamente del grupo al que pertenece la estructura afectada de entre los descritos previamente. El valor de F_e se observa en la siguiente tabla:

Tipos de estructura	Factor de estructura F_e
Grupo I	0,28
Grupo II	1,00
Grupo III	3,57

En caso de que la voladura se sitúe por debajo de la línea A, no será necesario realizar ningún estudio en particular de vibraciones. Esto se debe a que se considera que existe una distancia lo suficientemente grande como para que la carga de explosivo instantánea a detonar no provoque efectos nocivos por vibraciones.

Si la voladura se sitúa entre las líneas A y B, será necesario medir los niveles de vibración debido a una detonación en el punto considerado. Si los niveles obtenidos cumplen el criterio de prevención de daños, se podrá aumentar la carga instantánea en detonaciones posteriores, siempre y cuando se compruebe mediante la medida de los niveles de vibración que se sigue cumpliendo el criterio de prevención de daños.

En caso de que la voladura se sitúe por encima de la línea B, será necesario realizar un estudio preliminar de vibraciones con el que se podrá diseñar de forma precisa una voladura que cumpla los criterios de prevención de daños. En caso de que dicha voladura no cumpla las necesidades exigidas

por el proyecto, será necesario desestimar el uso de explosivos y plantear un método de excavación alternativo.

Este estudio preliminar de vibraciones deberá indicar:

- Las vibraciones medidas en toda la zona de estudio durante todas las voladuras ensayadas.
- La velocidad de vibración máxima permitida según el criterio de prevención de daños de acuerdo con la norma UNE 22-381-93.
- La carga instantánea máxima a detonar en función de las estructuras más cercanas.
- La ley de amortiguación general de la zona. Se incluirá una tabla carga/distancia con la que definir la carga máxima a detonar en función de la distancia y el tipo de estructura.
- Bajo estos criterios se definirán las características de la voladura del proyecto.

1.8. ONDA AÉREA

La onda aérea es generada por la onda de compresión generada en el aire como resultado de una detonación y puede causar diferentes efectos como son:

- La vibración sísmica del terreno. El pulso inducido por esta causa es el primero en ser registrado y suele ser de muy pequeña amplitud.
- El desplazamiento de la roca en el frente y en la zona superior del banco. Cuanto más profundas y, por tanto, más confinadas están las cargas, menor es la presión inducida.
- La expulsión de gases de detonación a través de las fisuras de la roca. El pulso provocado por los gases llega después del provocado por el desplazamiento de la roca, y es uno de los principales causantes del ruido.
- La expulsión de gases a través del retacado crea un pulso de alta frecuencia que se superpone a la onda del desplazamiento de la roca.

El efecto de la onda aérea sobre edificios y demás estructuras depende principalmente de la presión dinámica máxima, la cual depende de la presión de la onda incidente. Aunque dicha onda rara vez causa daños estructurales, conviene ser tenida en cuenta debido a los posibles pequeños daños no estructurales que puede provocar en las viviendas próximas a la detonación y a las posibles molestias que puede provocar en los vecinos. Para determinar los posibles daños en los vecinos debemos tener en cuenta la onda reflejada, ya que esta es la que tiene mayor influencia en los posibles daños personales.

El nivel de daños, tanto en personas como en estructuras, en función de la presión máxima de la onda se indica en la siguiente tabla.

Daños a estructuras		
Elemento	Daño	Sobrepresión incidente (bar)
Ventanas y objetos en estantes	Vibraciones	2×10^{-5}
Cristales en ventanas	Daños aislados poco frecuentes	4×10^{-4}
	Roturas ocasionales en grandes ventanales	$1,4 \times 10^{-3}$
	Rotura del 5% de los cristales	0,007 – 0.01
	Rotura del 50 % de los cristales	0,015 – 0,025
	Rotura del 90% de los cristales con daños ocasionales en marcos	0,035-0,07
Tejados	Desplazamiento de tejas	0,027-0,044
Paneles de madera/acero/asbesto	Rotura	0,07-0,15
Edificios	Daños menores estructurales	0,035-0,062
	Daños estructurales importantes (Grietas exteriores, paneles arrancados de los anclajes, alta probabilidad de ruina sin posibilidad de reparación)	0,1

Daños a personas	
Tipo de daño	Presión máxima efectiva (bar)
Ruido doloroso	2×10^{-4}
Rotura de tímpano (Umbral)	0,35
Ruptura de tímpano (50%)	1,05

Daños a personas	
Tipo de daño	Presión máxima efectiva (bar)
Daño pulmonar (Umbral)	2,10-2,80
Daño pulmonar (50%)	5,60
Muerte (Umbral)	7,00-8,40
Muerte (50%)	9,10-12,60
Muerte (100%)	14,00-17,50

El USBM recomienda que las ondas aéreas generadas por detonaciones no sobrepasen los 136 db, lo cual equivale a 0,0126 bar. Respetando este nivel de presión recomendado, se asegura que los daños a personas no pasarán de un ruido doloroso y, en lo que se refiere al daño en estructuras, solo se podría provocar algún daño aislado en ventanas, pero esto sería totalmente infrecuente, por lo que no es algo a tener en cuenta.

En la práctica, el diseño de la voladura y su ejecución debe minimizar la onda aérea generada. Esta depende en gran medida de la magnitud de la carga y su grado de confinamiento. Las buenas prácticas a este respecto van encaminadas a asegurar la detonación confinada de todas las cargas:

- Garantizar una piedra adecuada delante de los barrenos. El sistema de perfilometría en 3D es fundamental en este aspecto y se vigilará la precisión de la perforación para evitar que se produzcan piedras pequeñas debido a desviaciones durante la perforación.
- Mantener una carga operante reducida. Es una buena práctica que los barrenos detonen todos de manera individual, sin solaparse en periodos de 8 ms o menos.
- Limitar el retardo entre barrenos para que este no sea excesivo; de esta forma se evitan descabezamientos, que provocarían detonaciones al aire.
- Utilizar un retardo entre filas mayor que entre barrenos de una misma fila, para favorecer el movimiento hacia delante en lugar de hacia arriba.
- Evitar la iniciación en superficie de barrenos.
- Retacar los barrenos con una longitud suficiente de material adecuado. En caso de que exista fisuración en el frente, sería conveniente incrementar su longitud.
- Evitar la detonación al aire de cordones detonantes u otras cargas.

- Tratar de detonar las voladuras preferiblemente en condiciones atmosféricas favorables, ya que el efecto puede ser potenciado por condiciones atmosféricas perniciosas como la dirección del viento desfavorable, niebla y nubes bajas.
- Avisar al vecindario del momento en el que se producirá el disparo, fomentando así que la población esté preparada para mitigar posibles efectos adversos.

1.9. PROYECCIONES

Se entiende por proyecciones todo aquel material (fundamentalmente fragmentos de roca) que es lanzado de forma incontrolada en la voladura. Aunque es posible calcular a priori la carga necesaria y su distribución para arrancar la roca, siempre es necesario un cierto exceso en la carga por barreno de cara a conseguir una buena fragmentación, compensar desviaciones en la perforación, características no previstas en la roca, etc. Debido a esto, es esperable que, en ciertas ocasiones, algunos fragmentos sean lanzados a una distancia mayor de la prevista. Este caso es una de las principales causas de accidentes en voladuras que implican daños personales y materiales.

Algunas de las causas más comunes de proyecciones son:

- Un consumo específico excesivo.
- Una piedra inadecuada.
- Un retacado inadecuado.
- Una mala secuenciación de la voladura.

El consumo específico es uno de los factores más importantes en la distancia de expulsión de fragmentos, siendo esta relación directamente proporcional. Se considera que para consumos específicos inferiores a 0,2 kg/m³ no se producen proyecciones; sin embargo, con consumos específicos de esta magnitud existe riesgo de que no se produzca la rotura de roca.

En las siguientes figuras se puede observar el alcance máximo estimado de los fragmentos en función del tamaño del diámetro del barreno y el consumo específico.

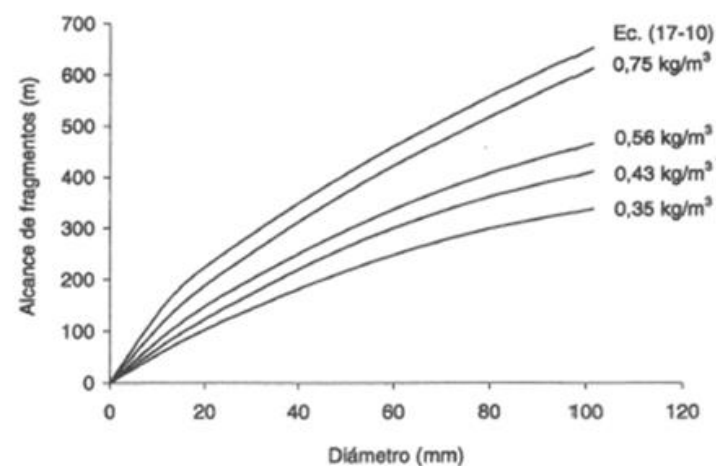


Ilustración 4 – Alcance fragmentos en función del diámetro de perforación y el consumo específico (Fuente: Curso de Tecnología de Explosivos, J.A. Sanchidrián, E. Muñiz)

Es posible calcular el alcance máximo de los fragmentos y el diámetro equivalente del fragmento de mayor alcance mediante las ecuaciones de Lundborg:

$$X_{max} = 3000 d^{2/3}$$

$$L = 1.16d^{2/3}$$

Siendo:

- X_{max} : el alcance máximo de fragmentos (m),
- d : el diámetro del barreno (m),
- L : el diámetro equivalente del fragmento con mayor alcance.

Es necesario una buena caracterización del macizo rocoso mediante perfilado en 3D del talud de cara a detectar las posibles formaciones inconsistentes o irregularidades del frente que impliquen una piedra real menor de la proyectada, lo cual está asociado a un aumento de las proyecciones al estar sobrecargado el barreno en algunas zonas de la columna de carga.

A la hora de diseñar el retacado este debe ser suficiente para confinar los gases de la detonación y evitar el efecto cráter en la superficie. Para ello, se recomienda que la longitud del retacado sea al menos igual a la longitud de la piedra, nunca siendo menor de 0,7 veces la piedra.

Además, debe tenerse en cuenta a la hora de diseñar la voladura que la altura del banco no debería ser inferior a la piedra, ya que la línea de mínima resistencia sería hacia la superficie superior del banco, lo que implicaría la formación de un cráter y una gran cantidad de proyecciones.

Durante el diseño de la secuenciación de la voladura debe tenerse en cuenta que no es recomendable tiempos de secuenciación superiores a 100 ms entre barrenos adyacentes, ya que la roca arrancada por el barreno anterior se habrá movido demasiado para actuar como cortina que detenga los fragmentos provocados por la siguiente detonación. A su vez, habrá que tener en cuenta que el retardo debe ser el suficiente como para permitir que la roca se mueva y no impida el movimiento de los siguientes barrenos, ya que, si esto sucediera, el movimiento de la roca sería progresivamente más vertical. Para ello, se dará un retardo entre filas progresivamente mayor cuanto más atrás esté la fila en el conjunto de la voladura.

Además de las recomendaciones previas, debido a la cercanía de las estructuras al frente de la voladura, se proponen diferentes actuaciones que limiten las proyecciones como son:

- La acumulación frente al banco de una pila de escombros con una altura aproximadamente igual a la carga de fondo, de cara a que actúe como recubrimiento y limite la salida de fragmentos en la zona con mayor poder rompedor del barreno.
- Recubrir con mantos de protección tanto la parte superior como el frente del banco. Estos mantos pueden ser de malla metálica, redes de nylon o caucho de neumáticos entramados. Los materiales más pesados consiguen que no se produzca prácticamente ninguna proyección y será necesario una pala o retroexcavadora para su colocación y retirada.

1.10. CARACTERÍSTICAS DE LAS VOLADURAS DE CONTORNO

Las voladuras de contorno son aquellas que se realizan para perfilar los contornos de la excavación, de forma que resulten superficies sanas, estables y regulares. Para ello se perforarán barrenos de diámetros inferiores a 100 mm, muy próximos entre sí, poco cargados y que se detonarán simultáneamente sin alcanzar la carga instantánea máxima permitida. Con esto se consigue que aparezcan esfuerzos de compresión bajos que produzcan el mínimo agrietamiento posible en el macizo rocoso circundante y la generación de esfuerzos de tracción perpendiculares a la superficie de contorno para producir una fractura lo más limpia posible. Para favorecer estos efectos se intercalarán barrenos vacíos entre los barrenos cargados para crear una línea de menor resistencia.

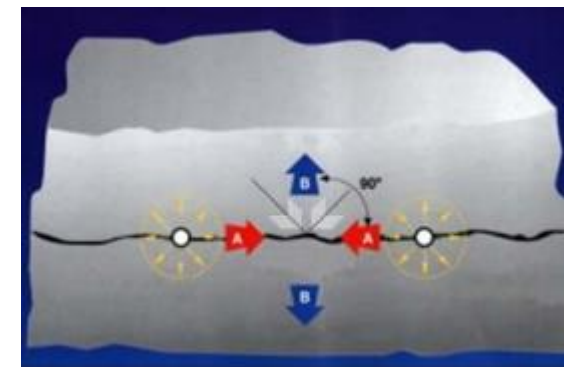


Ilustración 5 – Tensiones generadas al detonar barrenos adyacentes a la vez (Fuente: Perforación y voladura de rocas en minería, J. Bernola, J. Castilla, J. Herrera; 2013)

Existen dos variantes de la misma técnica: se dice que esta voladura es de recorte cuando esta se produce tras el arranque del macizo a excavar, teniendo por tanto dicha voladura una cara libre; con ella se retira la roca remanente y se forma el talud final. Si la voladura de contorno se dispara con anterioridad al arranque del macizo rocoso, se dice que esta voladura es de precorte y su finalidad es la creación de una grieta que aisle la roca a excavar del resto del macizo y dejar perfilado con anterioridad el talud final.

La separación entre los barrenos de la voladura de contorno es de entre 16 y 18 veces su diámetro en el caso de las voladuras de recorte y de entre 10 y 12 veces su diámetro en las voladuras de precorte, debido a la necesidad de un esfuerzo adicional al no contar con una cara libre. En el caso de que fuese necesario secuenciar la detonación de los barrenos de contorno, se ha de reducir la separación entre barrenos antes mencionada en un 40-50%.

La carga por metro lineal de barreno puede calcularse en función del diámetro del barreno mediante la siguiente expresión:

$$q = k \cdot D^2 \cdot 10^{-5}$$

donde "q" está expresada en kg/m y "D" en mm. La constante "k" puede variar entre 8 y 10, según el tipo de roca y la separación entre barrenos.

Como estos barrenos se perforan sin apenas sobreperforación, conviene también añadir una carga equivalente a "q", pero concentrada en el fondo, que evite la formación de repiés.

La "piedra" en el caso de las voladuras de recorte, suele ser un 25% superior a la separación lateral entre barrenos. En los precortes, la distancia entre los barrenos de precorte y la hilera más próxima de la destroza suele ser un 50% del espaciamiento entre barrenos.

1.11. CARACTERÍSTICAS DE LA VOLADURA DEL MACIZO ROCOSO

A la hora de diseñar una voladura se deben tener en cuenta las características de la zona a volar y el uso final que tendrá la zona en la que se realizarán los trabajos. En base a esto se aplicarán diferentes técnicas de voladura en el macizo en función de su forma y características. Dichas técnicas se describen a continuación:

- Voladura en banco. Este tipo de voladuras se diseñan cuando el perfil de la zona a volar permite la perforación, desde una superficie superior, de un esquema de barrenos que permita volar el macizo sin que esto implique unas piedras, inclinaciones o caras excesivas. Por lo general el esquema de perforación constará de una sucesión de filas de barrenos a tresbolillo perforadas paralelamente entre ellas con la inclinación del talud resultante que se busca.

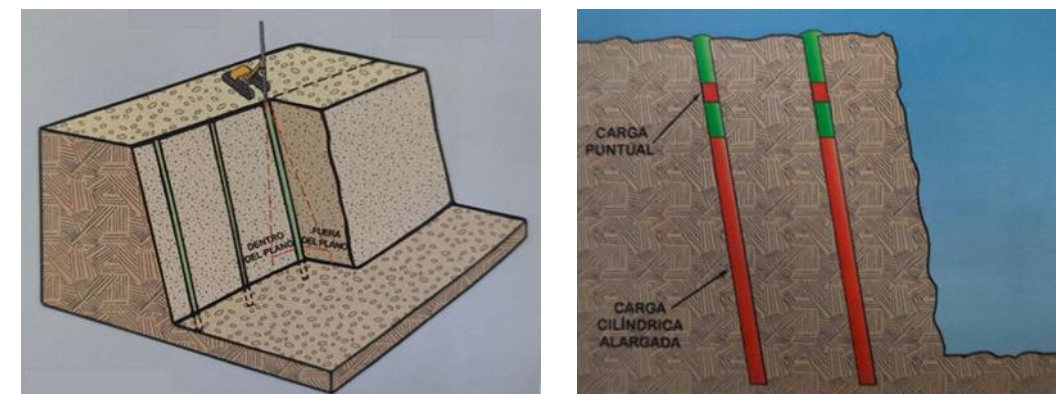


Ilustración 6 – Voladura en banco (Fuente: Manual de Perforación, Explosivos y Voladuras, C. López, E. López, P. García)

Por lo general, la inclinación de perforación será coincidente con la pendiente del talud final, excepto en las zonas en las que en la parte inferior del macizo rocoso la piedra es mucho mayor que en su parte superior; en estas zonas, los barrenos se perforarán con inclinaciones más tendidas y se aumentará la carga de fondo de cara a subsanar los posibles problemas derivados de esta irregularidad.

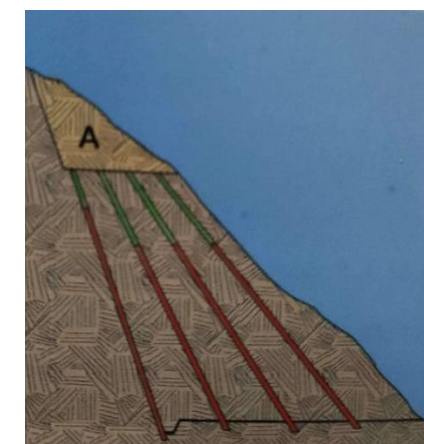


Ilustración 7 - Barrenos con inclinación variable en voladura en banco (Fuente: Manual de Perforación, Explosivos y Voladuras, C. López, E. López, P. García)

Cuando el perfil del talud existente dista mucho del que se busca como talud resultante, la voladura en banco se diseña con las filas de barrenos más cercanas al talud resultante con su misma inclinación, mientras que los barrenos del resto de filas se van verticalizando y ajustando su longitud a medida que se acercan al talud actual.

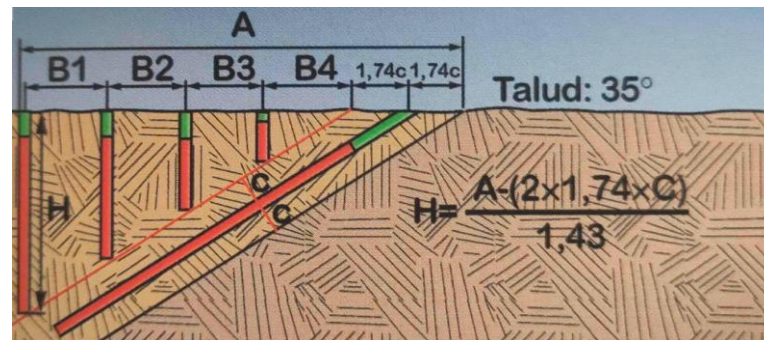


Ilustración 8 – Esquema de la combinación de barrenos verticales e inclinados (Fuente: Manual de Perforación, Explosivos y Voladuras, C. López, E. López, P. García)

A la hora de definir la cantidad de carga explosiva necesaria en la voladura, se debe tener en cuenta que la carga debe liberar energía suficiente para crear nuevas superficies en la roca, mover la roca volada y vencer la fuerza de gravedad que afecta al macizo rocoso. La capacidad de rotura de una carga alargada es menor que una de igual masa concentrada en el fondo del barreno; debido a esto, la piedra (distancia del barreno a cara libre o línea de menor resistencia) debe ser menor cuanto mayor es la longitud de carga.

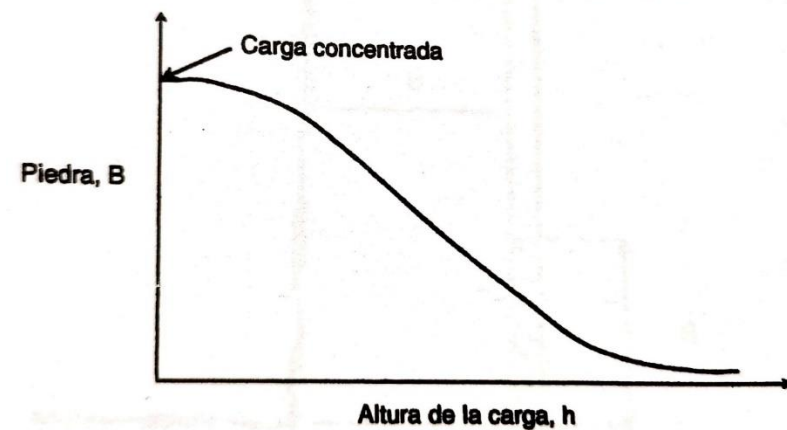


Ilustración 9 – Variación de la capacidad de rotura de una carga en función de su longitud (Fuente: Curso de Tecnología de Explosivos, J.A. Sanchidrián, E. Muñiz)

Por tanto, para aumentar la capacidad de la carga para romper eficazmente el pie de banco, es necesaria una sobreperforación por debajo del suelo del banco que sea equivalente a 0,3 veces la piedra.

Se determinó experimentalmente que el valor de la piedra máxima expresada en metros debe ser aproximadamente igual al diámetro del barreno expresado en pulgadas.

Mediante las voladuras experimentales de Langefors y Kihlstrom se determinó que la carga de fondo (W_o) necesaria para cizallar el pie de banco y una columna de roca con una altura de hasta dos veces la piedra, puede obtenerse mediante la siguiente expresión:

$$W_o = 1.44 \cdot (0.07 \cdot B^2 + c \cdot B^3 + 0.004 \cdot B^4)$$

Siendo,

- B, la piedra (m).
- C, constante o factor de roca, cuyo valor varía entre 0,2 y 0,6. Se utilizará C=0,4 al ser el valor típico utilizado.

Esta carga de fondo estará distribuida en una longitud de 1,3 veces la piedra.

Cuando la altura de banco es mayor que dos veces la piedra, es necesario una carga extra situada por encima de la carga de fondo, denominada carga de columna (W_c), que debe ser un 40% de la carga de fondo.

A la hora de calcular más fehacientemente la cantidad de explosivo necesaria para arrancar el macizo rocoso se deben incluir en las ecuaciones anteriores factores para tener en cuenta el ángulo de inclinación de los barrenos, la potencia del explosivo y la cooperación entre barrenos.

El ángulo de inclinación de los barrenos se tiene en cuenta mediante el llamado factor de fijación f , el cual se calcula a partir del ángulo del barreno con la vertical α mediante la expresión:

$$f = \frac{3}{3 + \text{tg } \alpha}$$

Los factores utilizados en las ecuaciones previas fueron calculados para voladuras con dinamita LFB sueca; por ello, al usar otros explosivos se debe introducir un factor de corrección s derivado de la potencia relativa del explosivo utilizado respecto de la dinamita sueca.

	Densidad	Q _v (kJ/kg)	V _{cn} (l/kg)	Pot. pénd. (%)	Potencia sueca	Pot. sueca rel. anfo
Gelatinas						
Goma 1 E D	1,45	5042	848	90	1,01	1,20
Goma 2 E C	1,40	4661	871	85	0,95	1,13
Dinamita LFB	1,45	5000	850	90	1,00	1,19
Goma pura	1,50	6540	712	100	1,23	1,46
Pulverulentos						
Amonita 2-1	1,00	3356	909	70	0,74	0,88
Ligamita 1	1,10	4176	894	77	0,87	1,04
Anfos						
Nagolita	0,80	3870	971	70	0,84	1,00
Alnafo (7% Al)	0,80	4916	864	80	0,99	1,18
Alumex (10% Al)	0,82			80		
Naurita	0,80	1108		70		
Hidrogeles						
Riogel 2	1,15	3180	937	72	0,71	0,85
Riogur R/F	1,10	3598	928	72	0,78	0,94
Emulsiones						
Riomex E20/E24	1,15	2893/3611	908/853	65/70	0,68/0,74	0,81/0,92
Riomex V	1,25	2824	1002	65	0,67	0,80
Anfos densos						
Emumex 3000	1,10	3485	988	75	0,77	0,93
Emumex 6000/8000	1,20/1,15	3326/3113	990/996	70-65	0,75/0,71	0,90/0,85
Explosivos de seguridad						
Explosivo 9	1,60	3209	530	45	0,64	0,76
Explosivo 20 SR	1,15	2247	578	37	0,49	0,58
Explosivo 30 SR	1,10	1498	578	35	0,36	0,43
Permigel	1,10	2950	810	54	0,65	0,78
Altos explosivos						
Trilita	1,65	4396	730	68	0,87	1,03
Nitroglicerina	1,60	6310	782	96	1,20	1,42
Pentrita	1,77	6120	780	97	1,17	1,39
Hexógeno	1,80	5460	908	102	1,09	1,30

Ilustración 10 – Potencia relativa de los diferentes explosivos del mercado (Fuente: Curso de Tecnología de Explosivos, J.A. Sanchidrián, E. Muñiz)

Al disparar barrenos alineados se produce un efecto de cooperación entre los barrenos adyacentes; por ello, cuando el espaciamiento E es igual a la piedra, se puede reducir la carga en un 80%. Puesto que cada barreno arrancará un volumen de roca proporcional a la relación entre piedra y espaciamiento (en caso de que estos sean diferentes), la carga se debe multiplicar adicionalmente por la relación E/B .

De esta manera las fórmulas para el cálculo de la carga de fondo y de columna quedan de la siguiente manera:

$$W_o = 1.44 \cdot \frac{f}{s} \cdot 0.8 \cdot \frac{E}{B} (0.07 \cdot B^2 + c \cdot B^3 + 0.004 \cdot B^4)$$

$$W_c = 0.4 \cdot 1.44 \cdot \frac{f}{s} \cdot 0.8 \cdot \frac{E}{B} (0.07 \cdot B^2 + c \cdot B^3 + 0.004 \cdot B^4)$$

- Voladura horizontal. Para las voladuras horizontales se utilizará como criterio principal la realización del esquema de barrenos en base a la siguiente expresión:

$$E = 3 \cdot \sqrt{D \cdot L}$$

Siendo:

E = espaciamiento (m).

D = diámetro de barreno (m).

L = longitud de barreno (m).

Si la altura de banco es inferior a 5 m solo se utilizará una fila de barrenos, entre 5 y 8 m dos filas y por encima de 8 m tres o más filas.

El resto de características para el diseño de la voladura sigue los mismos criterios empleados en el diseño de voladuras en banco.

- Voladura a media ladera: Este tipo de voladuras combinan la perforación vertical y horizontal de barrenos para conseguir un esquema de disparo adecuado; suelen ser necesarios cuando se busca realizar una plataforma en una ladera en la que no se tiene una plataforma lo suficientemente extensa para realizar toda la voladura mediante barrenos perforados verticalmente. Para el diseño de este tipo de voladuras se utilizarán los criterios típicos de diseño de las voladuras en banco para los barrenos perforados verticalmente y, para los barrenos perforados horizontalmente, se aplicarán los criterios de diseño típicos de las voladuras horizontales.

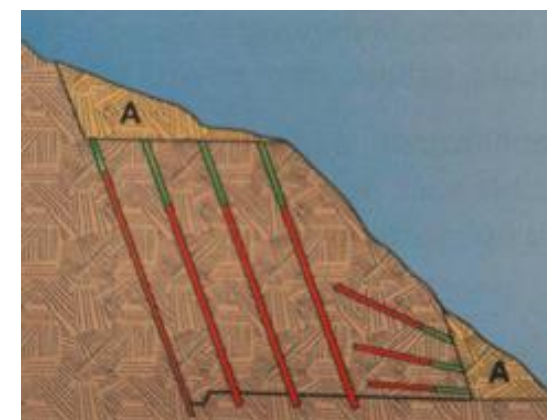


Ilustración 11 - Voladura a media ladera (Fuente: Manual de Perforación, Explosivos y Voladuras, C. López, E. López, P. García)

1.12. CARACTERÍSTICAS DE LA VOLADURA Y ESQUEMA DE CARGA

A la hora de definir las características de la voladura debemos tener en cuenta cuál es su objetivo final. En base a esto se diseñará una voladura que se asemeje más a una microvoladura típica o a una voladura de producción.

La diferencia principal entre una voladura de producción y una microvoladura es que esta última tiene como fin retirar la roca limitando las posibles vibraciones, y para ello la carga en cada uno de los barrenos es muy baja, pero esto implica la necesidad de reducir mucho el espaciamiento entre

barrenos y la distancia con la cara libre, dando lugar a un esquema de perforación con muchos barrenos por unidad de superficie. Sin embargo, una voladura de producción busca una malla de barrenos y unas cargas con las que conseguir una mayor eficiencia en el arranque de la roca y conseguir unos tamaños de fragmentación que permita reducir coste en los procesos posteriores.

El planteamiento de diseño utilizado para este proyecto busca aunar las características más interesantes de cada una de las configuraciones. Se diseñó un espaciamiento entre barrenos y con la cara libre a medio camino entre ambas configuraciones, pero más similares a las típicas de las voladuras de producción de cara a reducir la cantidad de perforaciones necesarias. Sin embargo, se limitó la carga a la mínima necesaria para arrancar la roca, es decir imitando a una microvoladura o una voladura de precorte. La combinación de ambas da como resultado una voladura que tiene una malla de perforación con una cantidad de barrenos por unidad de superficie bastante ajustada y con más carga por barreno que la que una microvoladura típica, aunque lejos de la carga usada en una voladura de producción. Cabe destacar que su consumo específico (kilos de explosivo por m³ de roca volada) si se corresponde al habitual en una microvoladura.

Como se observa más adelante en este apéndice, en caso de que la carga por barreno superase la máxima admitida a detonar simultáneamente debido a la proximidad de las estructuras existentes, se incluirían retacados intermedios en el barreno para secuenciar su detonación y reducir así la carga detonada simultáneamente hasta estar dentro del umbral permitido.

De esta manera, aunque nuestra voladura no sea una microvoladura típica, sí que cuenta con un consumo específico como el que buscaríamos con ella, y además contamos con la ventaja de reducir la malla de perforación sin que esto nos suponga un problema en la carga detonada simultáneamente, al poder segmentar la detonación dentro de un mismo barreno. Por ello, la configuración que se desarrolla a continuación, es la más interesante considerando el tipo de macizo rocoso existente sin dejar de prestar atención a las estructuras tan próximas que existen en las inmediaciones.

En base a lo expresado anteriormente, a la maquinaria disponible y al ancho de las zonas de voladura se consideró conveniente que los barrenos tuviesen un diámetro d de 50,8 mm, equivalente a 2 pulgadas. Como se ha indicado anteriormente, se considera recomendable que la piedra B en metros debe ser equivalente al diámetro de perforación en pulgadas; es decir, se establecerán piedras de 2 metros siempre que sea posible. En caso de que no sea posible debido a la geometría del macizo, se reajustarán las cargas en caso de ser necesario. Además, en todas las perforaciones se realizará una sobreperforación de 0,3 veces la piedra, de cara a facilitar la rotura de la roca situada en el pie de banco. También se considera el uso de un retacado de 0,7 veces la piedra en todos los barrenos, para evitar una disipación no deseada de la energía.

A partir de los datos disponibles del macizo rocoso y del talud final buscado tras la detonación se han diseñado tres voladuras diferentes que se adecuan a las características y perfil cambiantes en la zona. Cada una de ellas se encuentra entre los PP.KK. siguientes:

- PP.KK. 0+121 a 0+143: Esta zona a volar cuenta con la suficiente plataforma de perforación para llevar a cabo el arranque de la roca mediante una voladura que se asemeja a una típica voladura en banco. Dicha voladura contará con unos barrenos de 50,8 mm de diámetro, una

piedra de 2 m y un espaciamiento entre barrenos de 2,4 m. Debido a esto, en la zona más ancha de la plataforma habrá hasta 4 filas de barrenos.

Al buscar un talud final con un perfil con una inclinación de 2H:3V, los barrenos tendrán una inclinación de 33,7°. En las proximidades del PK 0+140, la última fila de barrenos llegará a tener una inclinación de 37° para adecuarse al perfil existente.

Al usarse ANFO como explosivo de referencia, la carga por barreno necesaria para excavar el macizo rocoso es:

$$W_o = 1.44 \cdot \frac{f}{s} \cdot 0.8 \cdot \frac{E}{B} (0.07 \cdot B^2 + c \cdot B^3 + 0.004 \cdot B^4) = 4.77 \text{ kg}$$

$$W_c = 0.4 \cdot 1.44 \cdot \frac{f}{s} \cdot 0.8 \cdot \frac{E}{B} (0.07 \cdot B^2 + c \cdot B^3 + 0.004 \cdot B^4) = 1.91 \text{ kg}$$

Dando como resultado un consumo específico q generalizado de:

$$q = \frac{W_o + W_c}{E \cdot B \cdot L} = 0.14 \text{ kg/m}^3$$

La voladura de precorte utilizada mantendrá el diámetro de 50,8 mm; por tanto, la separación entre los barrenos de dicha voladura será de entre 0,51 m y 0,61 m. Su carga por metro lineal deberá ser de al menos:

$$q = k \cdot D^2 \cdot 10^{-5} = 0.26 \text{ kg/m}$$

La siguiente figura muestra un esquema tipo de la voladura en este tramo, en ella se puede observar los barrenos de precorte (morado), el nivel de excavación buscado (caqui) y las tres

partes de los barrenos verticales, el retacado (amarillo), la carga de columna (verde) y la carga de fondo (rojo).

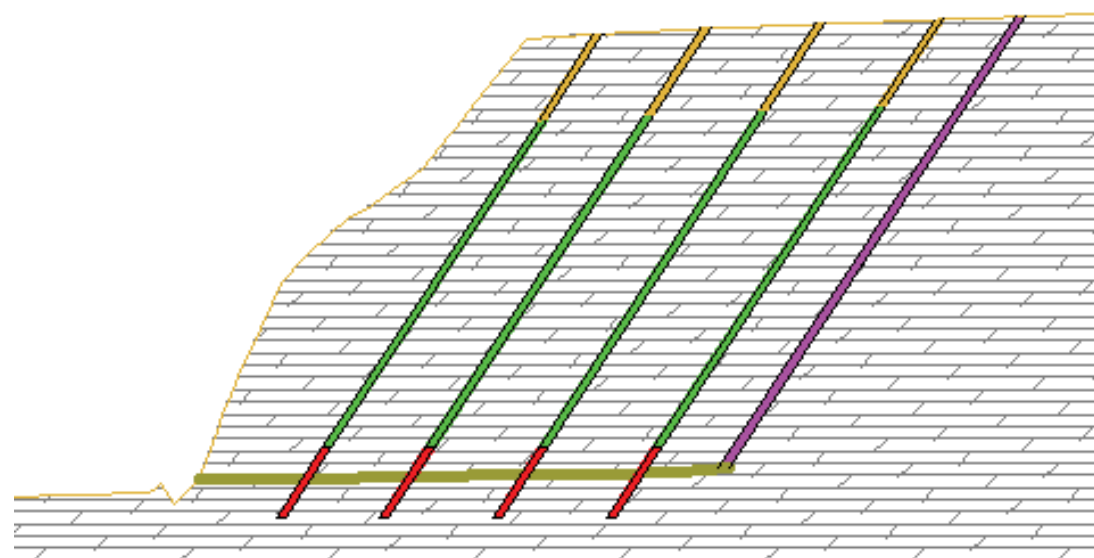


Ilustración 12 – Voladura tipo en el tramo situado entre los PP.KK. 0+121 y 0+143

- PP.KK. 0+143 a 0+155: En este tramo, debido al perfil del macizo, se realizará una combinación de perforaciones verticales y horizontales típicas de las voladuras a media ladera. A su vez se realizará una voladura de recorte asociada a la voladura horizontal y una voladura de precorte ligada a la voladura en banco. En este tramo primero se detonarán los barrenos horizontales, y tras haber sido arrancada esta roca, inmediatamente después se detonarán los barrenos verticales.

Desde la plataforma superior se realizarán una serie de barrenos de 50,8 mm de diámetro y una piedra y espaciado entre barrenos de 2,4 metros. Debido a las características de dicha plataforma y la voladura horizontal asociada, se han trazado 4 filas paralelas de barrenos con una inclinación de 33,7° y una última fila vertical con una longitud de barreno de 3 metros sin carga de fondo.

Al usarse ANFO como explosivo de referencia la carga por barreno necesaria para excavar el macizo rocoso es:

$$W_o = 1.44 \cdot \frac{f}{s} \cdot 0.8 \cdot \frac{E}{B} (0.07 \cdot B^2 + c \cdot B^3 + 0.004 \cdot B^4) = 4.77 \text{ kg}$$

$$W_c = 0.4 \cdot 1.44 \cdot \frac{f}{s} \cdot 0.8 \cdot \frac{E}{B} (0.07 \cdot B^2 + c \cdot B^3 + 0.004 \cdot B^4) = 1.91 \text{ kg}$$

Dando como resultado un consumo específico de:

$$q = \frac{W_o + W_c}{E \cdot B \cdot L} = 0.14 \text{ kg/m}^3$$

En la fila de barrenos verticales de 3 metros, la carga de columna necesaria y su consumo específico serán de:

$$W_c = 0.4 \cdot 1.44 \cdot \frac{1}{s} \cdot 0.8 \cdot \frac{E}{B} (0.07 \cdot B^2 + c \cdot B^3 + 0.004 \cdot B^4) = 2.33 \text{ kg}$$

$$q = \frac{W_c}{E \cdot B \cdot L} = 0.20 \text{ kg/m}^3$$

La voladura de precorte utilizada mantendrá el diámetro de 50,8 mm; por tanto, la separación entre los barrenos de dicha voladura será de entre 0,51 m y 0,61 m. Su carga por metro lineal deberá ser de al menos:

$$q = k \cdot D^2 \cdot 10^{-5} = 0.26 \text{ kg/m}$$

Los barrenos horizontales se perforarán en dos filas, al haber 7 metros de altura de banco en la zona en la que se llevarán a cabo. Esta voladura se realizará en una sola fase; por tanto, la longitud de dichos barrenos será de 12 m. De esta manera el espaciado entre barrenos será de:

$$E = 3 \cdot \sqrt{D \cdot L} = 2.34 \text{ m}$$

Al usarse ANFO como explosivo de referencia, y despreciando el factor de la inclinación del barreno, la carga por barreno necesaria para arrancar la roca es de:

$$W_o = 1.44 \cdot \frac{1}{s} \cdot 0.8 \cdot \frac{E}{B} (0.07 \cdot B^2 + c \cdot B^3 + 0.004 \cdot B^4) = 5.69 \text{ kg}$$

$$W_c = 0.4 \cdot 1.44 \cdot \frac{1}{s} \cdot 0.8 \cdot \frac{E}{B} (0.07 \cdot B^2 + c \cdot B^3 + 0.004 \cdot B^4) = 2.27 \text{ kg}$$

Dando como resultado un consumo específico q de:

$$q = \frac{W_o + W_c}{E \cdot B \cdot L} = 0.14 \text{ kg/m}^3$$

Además, se realizará una voladura de recorte para perfilar la superficie bajo los barrenos horizontales. En esta voladura de recorte se mantendrá el diámetro de 50,8 mm; por tanto, la separación entre los barrenos de dicha voladura será de entre 0,81 m y 0,91 m. Su carga por metro lineal deberá ser de al menos:

$$q = k \cdot D^2 \cdot 10^{-5} = 0.26 \text{ kg/m}$$

La siguiente figura muestra un esquema tipo de la voladura en este tramo, en ella se puede observar los barrenos de precorte (morado), los barrenos horizontales (marrón), el nivel de excavación buscado (caqui) y las tres partes de los barrenos verticales, el retacado (amarillo), la carga de columna (verde) y la carga de fondo (rojo).

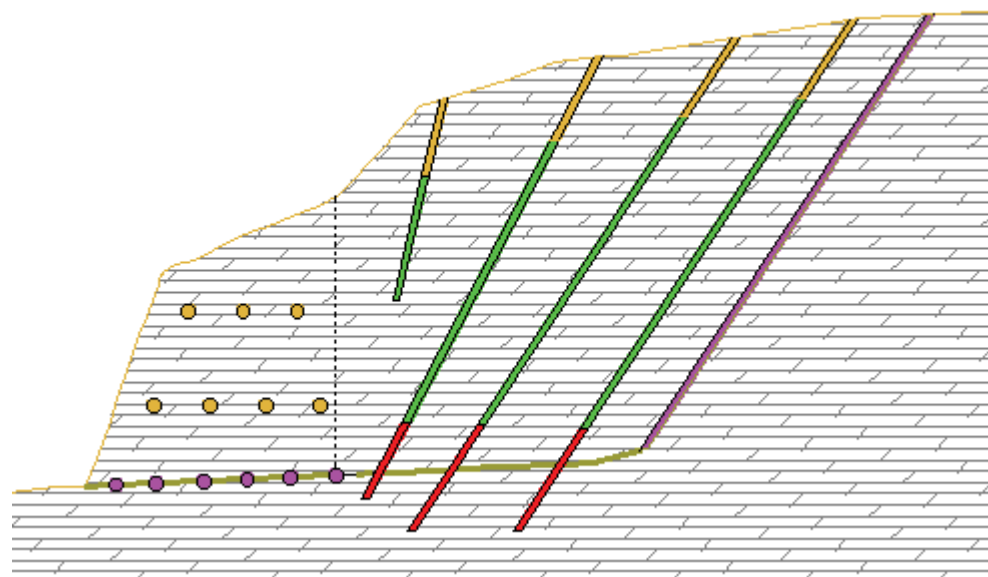


Ilustración 13 - Voladura tipo en el tramo situado entre los PP.KK. 0+143 y 0+155

- PP.KK. 0+155 a 0+245: En esta zona aparece una capa subhorizontal de granitos con grado de meteorización II con una potencia de 5 metros que se volara mediante barrenos horizontales perforados desde la traza de la carretera proyectada. Para volar esta masa de roca se realizará una voladura de recorte en todo el perfil final buscado, tanto en el talud como en el piso, que dé como resultado una fractura limpia que facilite las labores de saneo y limpieza y que no provoque daños graves en la roca remanente. Además, al ser una voladura horizontal con una potencia de tan solo 5 m, solo se diseñará una fila de barrenos.

Para evitar posibles problemas derivados de cambios en el perfil de la capa y facilitar la precisión en la perforación, se limitará la longitud de los barrenos a 10 m. Además, el diámetro de perforación será de 50,8 mm y la piedra que se buscará será de 2 m. Por tanto, el espaciamiento entre barrenos será de:

$$E = 3 \cdot \sqrt{D \cdot L} = 3 \cdot \sqrt{0.0508 \cdot 10} = 2.14 \text{ m}$$

Al usarse ANFO como explosivo de referencia, y despreciando el factor de la inclinación del barreno, la carga por barreno necesaria para arrancar la roca es de:

$$W_o = 1.44 \cdot \frac{1}{s} \cdot 0.8 \cdot \frac{E}{B} (0.07 \cdot B^2 + c \cdot B^3 + 0.004 \cdot B^4) = 5.20 \text{ kg}$$

$$W_c = 0.4 \cdot 1.44 \cdot \frac{1}{s} \cdot 0.8 \cdot \frac{E}{B} (0.07 \cdot B^2 + c \cdot B^3 + 0.004 \cdot B^4) = 2.08 \text{ kg}$$

Dando como resultado un consumo específico q generalizado de:

$$q = \frac{W_o + W_c}{E \cdot B \cdot L} = 0.17 \text{ kg/m}^3$$

La voladura de recorte mantendrá el diámetro de 50,8 mm; por tanto, la separación entre los barrenos de dicha voladura será de entre 0,81 m y 0,91 m. Su carga por metro lineal deberá ser de al menos:

$$q = k \cdot D^2 \cdot 10^{-5} = 0.26 \text{ kg/m}$$

La siguiente figura muestra un esquema tipo de la voladura en este tramo, en ella se puede observar los barrenos de precorte (morado), los barrenos horizontales (marrón) y el nivel de excavación buscado (caqui).

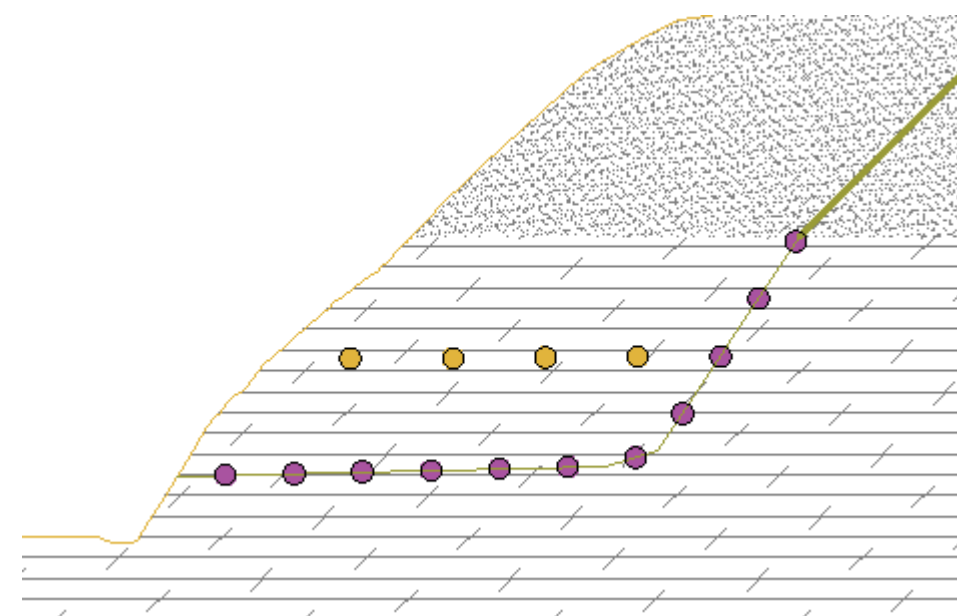


Ilustración 14 -- Voladura tipo en el tramo situado entre los PP.KK. 0+155 y 0+245

1.13. COMPROBACIÓN DE LOS POSIBLES EFECTOS ADVERSOS PRODUCIDOS POR LA VOLADURA Y MEDIDAS A ADOPTAR

A partir de las cantidades de explosivo requeridas en cada una de las diferentes voladuras proyectadas se ha comprobado su viabilidad desde el punto de vista de la seguridad. Para ello se han comprobado las posibles vibraciones, ondas aéreas y proyecciones generadas.

Tal y como se ha indicado en puntos anteriores, es posible calcular el alcance máximo de los fragmentos y el diámetro equivalente del fragmento de mayor alcance mediante las ecuaciones de Lundborg:

$$X_{max} = 3000 d^{2/3}$$

$$L = 1.16d^{2/3}$$

Siendo:

- X_{max} : el alcance máximo de fragmentos (m),
- D: el diámetro del barreno (m),
- L: el diámetro equivalente del fragmento con mayor alcance.

Teniendo en cuenta que el diámetro de perforación utilizado es de 50,8 mm y utilizando dicha fórmula, se observa que el alcance máximo de los fragmentos es de 419,75 m y su diámetro máximo equivalente de 16,23 cm. Esto es inadmisibles debido a la situación de las viviendas de Cabezuela del Valle, las cuales se encuentran muy próximas a la detonación. Para evitar esta posible problemática se acumulará frente al banco una pila de escombros con una altura aproximadamente igual a la carga de fondo (2,6 m) de cara a que actúe como recubrimiento y limite la salida de fragmentos en la zona con mayor poder rompedor del barreno y se recubrirá con mantos de protección tanto la parte superior como el frente del banco. Este manto será una malla metálica de triple torsión con un paso de malla de hasta 50 mm y un diámetro de 1,5 mm que se anclará con barras de acero y se sujetará con piquetas.

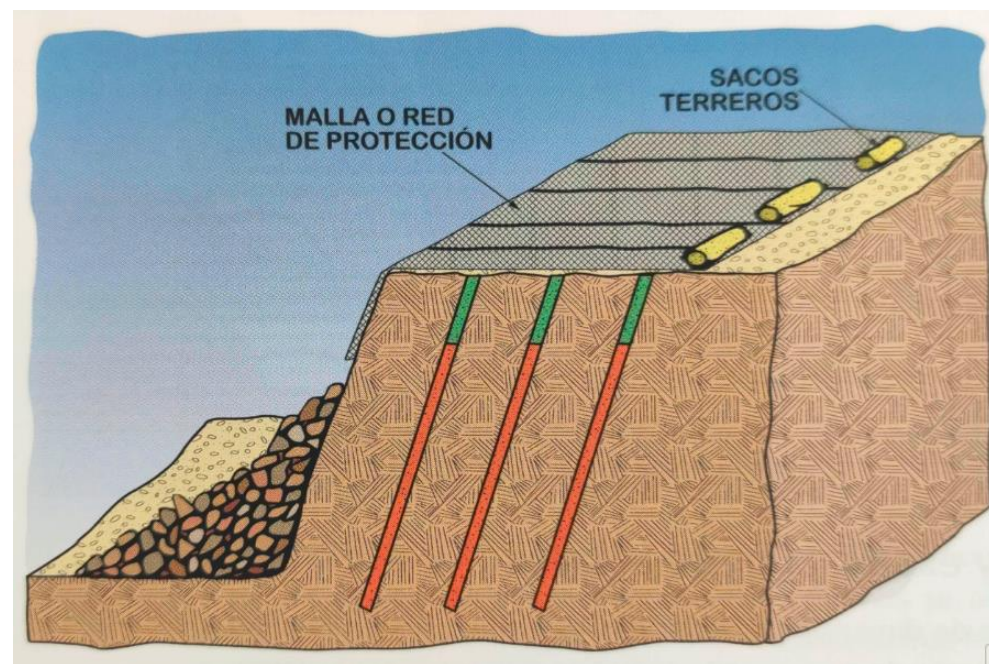


Ilustración 15 - Medidas de protección frente a proyecciones (Fuente: Manual de Perforación, Explosivos y Voladuras, C. López, E. López, P. García)

A la hora de considerar los posibles daños provocados por la onda aérea, hay que tener en cuenta que el USBM recomienda que las ondas aéreas generadas por detonaciones no sobrepasen los 136 db, lo cual equivale a 0,0126 bar.

Existen dos fórmulas que nos permiten relacionar la presión generada en función de la distancia escalada; estas son:

$$P_+ = \frac{0.7}{R/W^{1/3}}$$

$$P_+ = \frac{1.89}{(R/W^{1/3})^{1.2}}$$

Siendo,

R, la distancia entre la estructura a proteger y la voladura (m).

W, la masa de explosivo detonada simultáneamente (m).

P_+ , la sobrepresión máxima generada.

En nuestro caso, la masa máxima de explosivo a detonar es de 7,96 kg, y las viviendas a proteger están situadas al menos a 55 metros. Con estos datos se obtienen unas sobrepresiones máximas de 0,025 bares, que está por encima de los 0,0126 bares recomendados. Si se generase dicha sobrepresión, implicaría la rotura de algunos de los ventanales de las viviendas cercanas, debido a ello es recomendable el uso de algunas de las estrategias mencionadas en el apartado que hace referencia a la onda aérea de cara a limitar este efecto lo máximo posible.

En lo que se refiere a las posibles vibraciones generadas hay que tener en cuenta la existencia de estructuras tipo I y II; en base a esto, debemos evitar vibraciones con una velocidad pico superiores a 20 y 9 mm/s respectivamente.

Mediante el uso de una de las fórmulas de transmisión de vibraciones por voladuras, se determinará la cantidad de explosivo máxima que se puede detonar simultáneamente sin llegar a provocar vibraciones perjudiciales para las estructuras estudiadas.

La fórmula de cálculo empleada es:

$$V = 182 \cdot (D/W^{1/2})^{-1.82}$$

Siendo,

V, la velocidad máxima de partícula (in/s).

D, la distancia al punto objetivo (ft).

W, carga máxima a detonar simultáneamente (lb).

La voladura diseñada detona un máximo de 7,96 kg de forma simultánea. La estructura de tipo I se encuentra a una distancia de 15 m y las estructuras de tipo II se encuentran a 55 metros.

Con estos datos se obtiene que sobre las viviendas actuará una vibración máxima de 4,9 mm/s; sin embargo, sobre el puente se producirían vibraciones ligeramente más altas que las permitidas, y por ello sería necesario una reducción de la cantidad de carga detonada simultáneamente. Dividiendo el

barreno en 3 sería posible conseguir unos niveles de vibración aceptables. Estos resultados deben ser mejorados en base a una ley de transmisión de vibraciones más ajustada a la realidad del macizo rocoso.

Además, según la norma UNE 22-381-93 y en base a la cantidad de explosivo a detonar y la cercanía de las estructuras, se requiere un estudio preliminar de vibraciones con el que se podrá diseñar de forma precisa una voladura que cumpla los criterios de prevención de daños. En caso de que dicha voladura no cumpla las necesidades exigidas por el proyecto, será necesario desestimar el uso de explosivos y plantear un método de excavación alternativo.

Este estudio preliminar de vibraciones deberá indicar:

- Las vibraciones medidas en toda la zona de estudio durante todas las voladuras ensayadas.
- La velocidad de vibración máxima permitida según el criterio de prevención de daños de acuerdo con la norma UNE 22-381-93.
- La carga instantánea máxima a detonar en función de las estructuras más cercanas.
- La ley de amortiguación general de la zona. Se incluirá una tabla carga/distancia con la que definir la carga máxima a detonar en función de la distancia y del tipo de estructura.

1.14. MEDIDAS DE SEGURIDAD EN LA FASE DE CARGA Y DISPARO DE VOLADURA

A la hora de ejecutar trabajos que impliquen el uso de explosivos, es necesario aplicar medidas de protección adicionales a las empleadas habitualmente de cara a asegurar la seguridad de las personas.

Teniendo en cuenta la cercanía de estructuras sensibles a la detonación, se considera recomendable la realización de informes técnicos previos al comienzo de los trabajos para evaluar, registrar y monitorizar el estado de todas las estructuras cercanas, con el objetivo de poder evitar reclamaciones en base a la aparición de grietas, fisuras, roturas o desprendimientos.

Sin duda, son necesarias medidas de seguridad ciudadana, para asegurar que no se producirán daños personales. En este sentido se deberá contemplar un radio de 200 metros desde la voladura, en el que se asegure la evacuación de toda persona ajena a los trabajos que se desarrollen, relacionados con la fase de preparación y disparo de la voladura.

Adicionalmente, durante la fase de preparación y disparo de la voladura quedará prohibida la circulación y se cortarán todos los accesos rodados que existan en un radio de 200 metros desde la voladura, sin poder hacer excepciones independientemente del tipo de vía y su densidad de circulación.

Antes del disparo de la voladura, será necesario avisar del inminente disparo mediante tres señales acústicas con una duración aproximada de 10 segundos. Tras el fin de la voladura será necesario comunicarlo mediante una nueva señal acústica.

1.15. CONCLUSIONES

A la vista de los resultados aportados se concluye que es posible llevar a cabo una voladura que sea capaz de volar el macizo rocoso objetivo y cumpla todos los requisitos necesarios para no provocar daños personales ni materiales en las proximidades debido a vibraciones u ondas aéreas. Sin embargo, será necesaria la realización de un estudio preliminar de vibraciones de cara a comprobar exhaustivamente que las voladuras proyectadas no implicarán daños en las estructuras adyacentes.

APÉNDICE 9. ESTACIONES GEOMECÁNICAS

PARÁMETROS Y RANGO DE VALORES PARA LA CALIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR89

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

ÍNDICE RMR_b= 73

PARÁMETROS Y RANGO DE VALORES PARA LA CALIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR89

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

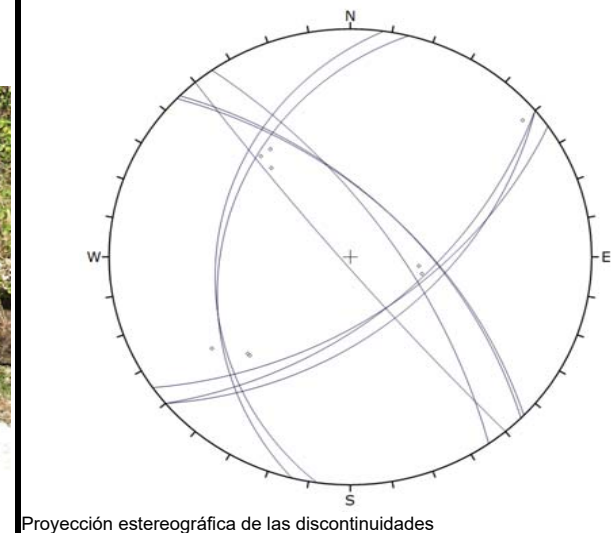
ÍNDICE RMR_b= 70

PARÁMETROS Y RANGO DE VALORES PARA LA CALIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR89

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

ÍNDICE RMR_b= 67

DATOS GENERALES
PROYECTO: PC Nuevo Puente en Carretera N-110 en Cabezuela del Valle (Cáceres)
CLAVE:
LOCALIZACIÓN DE LA EST GEOM: PK 1+190
COORDENADAS (x,y,z): 30T X=261.023; Y=4.453.285
FECHA: 09/03/2020
REALIZADO POR: Rafael Blanco
ORIENTACIÓN DE LA LADER N55E
LITOLOGÍA DEL MACIZO Granito porfídico con fenocritales de feldespatos potásico
CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS LOCALES Y REGIONALES
Escorrentía superficial con surgencias aisladas asociadas a cuñero fisural
ÍNDICE RQD (Deere 1967): 50-75%
ÍNDICE RMR (Bieniawski, 1989): 59
CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR (Bieniawski, 1989): III Roca regular



LEYENDA
Tipo de plano (1): E Estratificación, S Esquistosidad, J Juntas, F Fallas, B Bandedado
Rellenos (2): C Arcillas y limos, S Arenas, G Gravas, B Brechas, M Milonitas, Ox Óxidos, Q Cuarzo, Cc Carbonatos, F Feldespatos, Ma Miner. Arcilla
Litología (3): Pz Pizarras, Gw Grauwacas, Ar Areniscas, Cz Calizas, Ma Mármoles, Mg Margas, Mp Metapelitas, Es Esquistos, Bc Biocalcarentitas, Gr Rocas graníticas, V Rocas básicas
Resistencia a partir de índices de campo (ISRM, 1981) (4): R0 Se puede marcar con la uña... R6 Al golpear con el martillo sólo saltan esquirolas.

Croquis de la zona, corte geológico, observaciones...etc.

Table with columns: CARACTERIZACIÓN DE LA ROCA MATRIZ, CARACTERIZACIÓN DE LAS JUNTAS Y DISCONTINUIDADES DEL MACIZO ROCOSO, CARACTERIZACIÓN DEL RELLENO. Includes sub-headers for Meteorización, Resistencia, Espaciado, Continuidad, Apertura, Rugosidad, and Humedad.

PARÁMETROS Y RANGO DE VALORES PARA LA CALIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR89

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

ÍNDICE RMR_b= 59

PARÁMETROS Y RANGO DE VALORES PARA LA CALIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR89

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

ÍNDICE RMR_b= 71