



*Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos,
Canales y Puertos.*
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



DISEÑO GEOTÉCNICO Y CONSTRUCTIVO DE UN TÚNEL FERROVIARIO

Trabajo realizado por:

MIKEL MARTÍNEZ ALASTUEY

Dirigido:

CÉSAR SAGASETA MILLÁN

ALMUDENA DA COSTA GARCÍA

Titulación:

**Máster Universitario en
Ingeniería de Caminos, Canales y
Puertos**

Santander, JUNIO de 2017

TRABAJO FINAL DE MASTER



RESUMEN

TÍTULO: DISEÑO GEOTÉCNICO Y CONSTRUCTIVO DE UN TÚNEL FERROVIARIO

AUTOR: MIKEL MARTÍNEZ ALASTUEY

DIRECTORES: CÉSAR SAGASETA MILLÁN Y ALMUDENA DA COSTA GARCÍA

CONVOCATORIA: JUNIO 2017

PALABRAS CLAVE: GEOTECNIA, TERRENO, TÚNEL, FERROVIARIO, DISEÑO, CAMPAÑA DE INVESTIGACIÓN, ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN, MODELOS CONSTITUTIVOS, ELEMENTOS FINITOS, EQUILIBRIO LÍMITE.

El presente trabajo recoge el diseño geotécnico y constructivo de un túnel ferroviario ubicado en el municipio almeriense de Sorbas, formando parte del tramo del corredor mediterráneo de alta velocidad que comunica Murcia con Almería. Consiste en un túnel en vía única de 7.216 metros de longitud, con sendos falsos túneles en los emboquilles norte y sur, de 53 y 45 metros respectivamente.

Los objetivos del trabajo han sido: la caracterización geológica del área de estudio, el diseño de la campaña de investigación geotécnica y la posterior caracterización geotécnica del terreno, la realización de un análisis tenso deformacional de diversas secciones del túnel, la realización de un análisis de equilibrio límite en los emboquilles y la definición del método de excavación.

Como datos de partida se dispuso de la ubicación de la traza del túnel tanto en planta como en perfil. Partiendo de estos datos y mediante el empleo de los mapas Magna 50 del Instituto Geológico y Minero de España la primera tarea consistió en identificar, con carácter general, la geología del área de estudio, formada por un primer tramo de materiales terciarios del Tortoniense (margas y conglomerados) y un segundo tramo de materiales del Paleozoico – Mesozoico (esquistos negros). Separando ambos tramos se encuentra un tramo de dolomías y yesos.

En base a los rasgos geológicos identificados en la fase anteriormente descrita se ha diseñado la campaña de investigación geotécnica integrada por distintos reconocimientos, incluyendo tanto ensayos in situ como ensayos de laboratorio. En total se propone la realización de 21 sondeos para el reconocimiento de la zona de los emboquilles y del propio



túnel. Dichos sondeos se emplean para la realización de los ensayos in situ, tales como ensayos presiométricos o de permeabilidad, así como para la obtención de muestras para los ensayos en laboratorio de caracterización de rocas y suelos.

Una vez diseñada la campaña geotécnica, se dispuso de datos existentes de sondeos ejecutados en la localización estudiada. Los sondeos fueron interpretados, resultando la existencia de materiales tipo areniscas, margas y conglomerados en la zona norte del túnel para posteriormente pasar a un tramo con predominancia de pizarras, yesos, dolomías y esquistos. Con todo ello, se ha realizado la tramificación geotécnica del trazado y la correspondiente caracterización de los materiales. Atendiendo a las características de las formaciones identificadas y de otros condicionantes, tales como la longitud del túnel y el rendimiento, se ha establecido el uso de tuneladora de doble escudo como procedimiento de excavación principal. Adicionalmente, los primeros 100 metros de túnel en cada uno de los extremos se excavarán mediante la técnica del Nuevo Método Austríaco.

El análisis tenso – deformacional del túnel se ha realizado en 3 secciones: la primera de ellas, ubicada en el PK 0+200, se corresponde con una sección en margas arenosas y conglomerados excavada mediante Nuevo Método Austríaco. La segunda de ellas, en el PK 1+600, se encuentra ubicada en una formación de conglomerados y se trata de la sección con mínima cobertera del túnel. La última de las secciones estudiadas, en el PK 6+687, se encuentra ubicada en una zona de yesos y/o anhidritas con expansividad potencial. El análisis de todas ellas se ha realizado empleando el software de elementos finitos Plaxis y tomando como modelo de comportamiento del terreno el modelo de Mohr-Coulomb.

Finalmente, se ha llevado a cabo el estudio de los emboquilles norte y sur del túnel. El primero de ellos se encuentra ejecutado en materiales de tipo suelo por lo que para su análisis se ha empleado el software SLOPE/W, basado en el método de equilibrio límite. Tras analizar los resultados se llega a la conclusión de que para una inclinación razonable del talud frontal (3H:2V) el talud resulta no ser estable. Se propone por tanto ejecutar una estructura de contención, cuyo dimensionamiento deberá ser objeto de un estudio separado. El emboquille sur, ejecutado en roca, es sometido, en primer lugar, a un análisis cinemático para la identificación de los posibles mecanismos de rotura. El resultado muestra que pueden producirse deslizamientos de cuñas en el talud frontal para ciertas familias de juntas. Una vez identificados los posibles mecanismos de fallo, se analizan mediante el software SWEDGE, determinando la necesidad de disponer un bulonado sistemático como garantía de estabilidad.



Como resultado del estudio realizado se concluye la factibilidad, desde el punto de vista geotécnico, de la ejecución del túnel propuesto. Del análisis de las secciones de cálculo se concluye que las deformaciones en el terreno circundante así como los asentos en superficie son aceptables. Los esfuerzos axiales y flectores a los que está sometido el sostenimiento son razonables. Deberá prestarse especial atención a la excavación en las zonas con presencia de anhidritas, adoptando todas las medidas necesarias para evitar su expansión, o en caso contrario, hacer un correcto diseño de los elementos estructurales. El emboquille norte requerirá la construcción de una estructura de contención tipo pantalla para garantizar la estabilidad de los taludes de desmonte. Por su parte, el emboquille sur requerirá una malla de bulones para evitar los deslizamientos de cuñas identificados, cuya definición se llevará a cabo en fase de construcción. Las conclusiones de este análisis geotécnico se emplearán como guía para el dimensionamiento estructural de las secciones resistentes y demás aspectos del túnel.



ABSTRACT

TITLE: GEOTECHNICAL AND CONSTRUCTIVE DESIGN OF A RAILWAY TUNNEL

AUTHOR: MIKEL MARTÍNEZ ALASTUEY

DIRECTED BY: CÉSAR SAGASETA MILLÁN & ALMUDENA DA COSTA GARCÍA

CALL: JUNE 2017

KEYWORDS: GEOTECHNICS, TERRAIN, RAILWAY, TUNNEL, DESIGN, TESTING, CONSTITUTIVE MODEL, FINITE ELEMENTS, LIMIT EQUILIBRIUM ANALYSIS

The present document reflects the geotechnical and constructive design of a railway tunnel located in Sorbas, Almería (Spain), which is part of the Mediterranean high speed railway line between Murcia and Almería. It consists on a single-track and 7.216 m long tunnel, which includes two 53 and 45 m long cut – and cover tunnels at the north and south ends respectively.

The objectives of the study are: geological characterization of the study area, the design of the site investigation campaign and subsequent geotechnical characterization of the ground, the development of a tense-deformational analysis of several tunnel sections, the development of a limit-equilibrium analysis of both outlets, and the definition of the constructive excavation methods.

Beginning from the provided data related with the location of the tunnel, and using the information provided by the Magna 50 series maps of the Geological and Mining Institute of Spain, the geology has been identified, in a general perspective. According to the extracted information, the northern side of the tunnel is characterized by the presence of Tortonian materials (loams and conglomerates) while the southern side is characterized by the presence of black schists from the Paleozoic and the Mesozoic. Between both of them, there are some areas with dolostones and gypsum.

Based on the identified geological features, site investigation campaign was designed, including several on site and laboratory testing. The campaign includes a total of 21 boreholes which are to be used for onsite testing (permeability and pressuremeter tests) and extraction of samples for rock and soil characterization tests.



From the results of the site investigation campaign, the presence of sandstone, loams and conglomerates at the northern side of the tunnel and slates, gypsum, dolostones and schists at the southern side of the tunnel, is confirmed. With all the information obtained, the geotechnical sectioning and characterization of the ground was performed. Based on those characteristics along with other factors such as the tunnel length or performance, the use of a double-shield tunnel boring machine is considered as the best option for the construction of the tunnel. However, the first 100 meters at both ends are to be excavated using the New Austrian Tunneling Method.

Three different cross sections were considered for numerical stress – strain analyses: the first one is located at the KP 0+200, with sandy loams and conglomerates, which is to be excavated using the New Austrian Tunneling Method. The second section, located at the KP 1+600, is the shallowest of the whole tunnel layout and the existing material consists on conglomerates. The last of the analyzed sections is located at the KP 6+687 and the presence of potentially expansive gypsum can be highlighted. The study of all three sections was performed using Plaxis software and considering the Mohr-Coulomb model for the soils.

Lastly, the study of both north and south outlets was performed. The northern one is located on soil type materials so the analysis was performed using the SLOPE/W software. The results show that the slope will not be stable unless a retaining structure is constructed. On the other side, the southern outlet is located in rock so the first step consists on performing a kinematic analysis in order to identify possible failure mechanisms. As a result of the kinematic analysis, two potentially slipping wedges were identified in the front slope. In order to obtain their safety factor, an analysis was performed by means of SWEDGE software, identifying the need of a bolt mesh for an appropriate safety factor against sliding.

With all the different analyses performed, the feasibility of the construction is proved from a geotechnical approach. From the stress - strain analysis of the different sections it can be seen that the values of the deformation around the excavation and ground settlements have reasonable values. The tensile and flexural stresses at the lining are, as well, acceptable. The excavation in areas with potentially expansible gypsum should be carefully undertaken. The northern outlet will require the construction of a retaining structure in order to guarantee the slope stability while southern outlet will require a bolt mesh, which will be defined during the construction stage. The conclusions of this geotechnical study should be considered for the structural design of the tunnel as well as for other design aspects.



ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1 - INTRODUCCIÓN

1.1	DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO REALIZADO	13
1.2	OBJETIVOS	13
1.3	METODOLOGÍA.....	14

CAPÍTULO 2 - GEOLOGÍA Y ASPECTOS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO

2.1	INTRODUCCIÓN	17
2.2	MARCO GEOLÓGICO GENERAL.....	17
2.3	RASGOS GEOLÓGICOS Y EVOLUCIÓN	18
2.4	CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO	20
2.4.1	FORMACIONES SUPERFICIALES Y SUSTRATO	21
2.4.2	CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS.....	22
2.4.3	CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS	25
2.4.4	CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS.....	26
2.5	HIDROLOGÍA.....	27
2.6	ACTIVIDAD SÍSMICA DE LA ZONA	29
2.7	RIESGOS GEOLÓGICOS IDENTIFICADOS	30
2.8	CORTE GEOLÓGICO	31

CAPÍTULO 3 - CAMPAÑA DE INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA

3.1	INTRODUCCIÓN	35
3.2	SONDEOS.....	35
3.3	TOMA DE MUESTRAS	38
3.4	ENSAYO DILATOMÉTRICO	38
3.5	PERMEABILIDAD: ENSAYO DE LUGEON.....	40
3.6	GEOFÍSICOS	42
3.6.1	DIAGRAFÍAS GEOFÍSICAS	42
3.6.2	TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA.....	42
3.6.3	TÉCNICAS SÍSMICAS DE REFRACCIÓN.....	43
3.7	OBSERVACIONES HIDROGEOLÓGICAS	44
3.8	ENSAYOS DE LABORATORIO.....	45
3.8.1	ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS	45
3.8.2	ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DE ROCAS.....	49
3.8.3	RELACIÓN DE ENSAYOS A REALIZAR.....	51

CAPÍTULO 4 - CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL TERRENO

4.1	INTRODUCCIÓN	54
4.2	TRAMIFICACIÓN GEOTÉCNICA DEL TRAZADO.....	54
4.3	MÉTODOS CONSTRUCTIVOS Y DE EXCAVACIÓN	66
4.3.1	TUNELADORA DE DOBLE ESCUDO.....	66
4.3.2	NUEVO MÉTODO AUSTRIACO DE EXCAVACIÓN DE TÚNELES.....	69
4.4	DEFINICIÓN DE LAS SECCIONES DE CÁLCULO	70
4.4.1	SECCIÓN DE CÁLCULO 1: PK 0+200	70



4.4.2	SECCIÓN DE CÁLCULO 2: PK 1+600	71
4.4.3	SECCIÓN DE CÁLCULO 3: PK 6+687	72

CAPÍTULO 5 - CÁLCULOS Y RESULTADOS

5.1	INTRODUCCIÓN	74
5.2	ANÁLISIS TENSO DEFORMACIONAL DEL TÚNEL	74
5.2.1	SOFTWARE PLAXIS	74
5.2.2	MODELOS CONSTITUTIVOS Y PARÁMETROS DEL TERRENO	75
5.2.3	CÁLCULOS	83
5.2.4	RESULTADOS	92
5.3	ANÁLISIS DE LOS EMBOQUILLES	100
5.3.1	EMBOQUILLE NORTE	100
5.3.2	EMBOQUILLE SUR	102

CAPÍTULO 6 – CONCLUSIONES.....110

BIBLIOGRAFÍA.....113

ANEJO I – SONDEOS

ANEJO II – ENSAYOS DILATOMÉTRICOS

ANEJO III – ENSAYOS DE PERMEABILIDAD

ANEJO IV – GRANULOMETRÍA Y LÍMITES DE ATTERBERG

ANEJO V – PETROLOGÍA Y MINERALOGÍA

ANEJO VI – ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE EN ROCAS

ANEJO VII – ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

ANEJO VIII – ÍNDICE DE DUREZA DE SCHIMAZECK

ANEJO IX – RELACIÓN ENTRE LOS MODELOS DE HOEK-BROWN Y MOHR-COULOMB

ANEJO X – RESULTADOS DEL ANÁLISIS TENSO-DEFORMACIONAL

ANEJO XI – EVALUACIÓN DE LA CONVERGENCIA SEGÚN PANET Y GUENOT (1982)

PLANOS



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.2.1 - Unidades geológicas.....	17
Figura 2.2.2 - Área de estudio	18
Figura 2.5.1 - Cuencas del río Aguas y río Carboneras.....	28
Figura 2.5.2 - Pozos de captación de aguas subterráneas	28
Figura 2.6.1 - Mapa de peligrosidad sísmica (aceleraciones).....	29
Figura 3.6.1 - Prospección en boquilla de túnel.....	43
Figura 4.3.1 - Esquema de una tuneladora de doble escudo.....	68
Figura 4.3.2 - Procedimiento de ejecución de la sección de avance.....	69
Figura 4.3.3 - Procedimiento de ejecución de la destroza	70
Figura 5.2.1 - Alivio en el frente, Kielbassa y Duddeck (1991)	85
Figura 5.2.2 - Geometría de la sección de cálculo 1.....	86
Figura 5.2.3 - Fases de cálculo de la sección de cálculo 1	86
Figura 5.2.4 - Geometría de la sección de cálculo 2.....	87
Figura 5.2.5 - Fases de cálculo de la sección de cálculo 2	88
Figura 5.2.6 - Geometría de la sección de cálculo 3.....	89
Figura 5.2.7 - Fases de cálculo de la sección de cálculo 3	89
Figura 5.2.8 - Diseños utilizados en roca expansiva (Kovari, 1988)	92
Figura 5.2.9 - Asientos en superficie de la sección de cálculo 1	93
Figura 5.2.10 - Convergencia de la sección de cálculo 1. Por fases (izda.) y completa (dcha.)...	93
Figura 5.2.11 - Esfuerzos axiales en la sección de cálculo 1. Por fases (izda.) y completa (dcha.)	94
Figura 5.2.12 - Momentos flectores en la sección de cálculo 1. Por fases (izda.) y completa (dcha.)	95
Figura 5.2.13 - Asientos en superficie de la sección de cálculo 2	96
Figura 5.2.14 - Convergencia de la sección de cálculo 2	96



Figura 5.2.15 - Esfuerzos axiales en la sección de cálculo 2.....	97
Figura 5.2.16 - Momentos flectores en la sección de cálculo 2	97
Figura 5.2.17 - Asientos en superficie de la sección de cálculo 3	98
Figura 5.2.18 - Convergencia de la sección de cálculo 3	98
Figura 5.2.19 - Esfuerzos axiales en la sección de cálculo 3.....	99
Figura 5.2.20 - Momentos flectores en la sección de cálculo 3	99
Figura 5.3.1 - Estabilidad del talud frontal del emboquille norte	101
Figura 5.3.2 - Proyección estereográfica Talud Frontal - J1/J2	107
Figura 5.3.3 - Cuña formada en el talud frontal por la intersección de J1 y J2	108
Figura 5.3.4 - Proyección estereográfico Talud Frontal - J1/J3	108
Figura 5.3.5 - Cuña formada en el talud frontal por la intersección de J1 y J3	109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.2.1 – Sondeos de la campaña de investigación geotécnica	37
Tabla 3.4.1 - Ensayos dilatométricos realizados	40
Tabla 3.5.1 - Estados del ensayo Lugeon	40
Tabla 3.5.2 - Relación de ensayos de permeabilidad realizados.....	41
Tabla 3.8.1 - Clasificación de suelos según su tamaño	45
Tabla 3.8.2 - Parámetros de caracterización de suelos.....	47
Tabla 3.8.3 - Consistencia de las arcillas (Terzaghi y Peck, 1955)	48
Tabla 3.8.4 - Clasificación de rocas según CAI.....	51
Tabla 3.8.5 - Relación de ensayos de caracterización de rocas	52
Tabla 3.8.6 - Relación de ensayos de caracterización de suelos.....	52
Tabla 4.2.1 - Tipos principales de comportamiento geotécnico	54
Tabla 4.2.2 - Características de la formación Q_{AB}	54
Tabla 4.2.3 - Características de la formación T_{SA}	55



Tabla 4.2.4 - Características de la formación T_{SB}	55
Tabla 4.2.5 - Características de la formación T_{IA2}	56
Tabla 4.2.6 - Características de las zonas de falla	56
Tabla 4.2.7 - Características de la formación T_{SCG}	58
Tabla 4.2.8 - Características de la formación T_{IC}	61
Tabla 4.2.9 - Características de la formación T_{IA1}	61
Tabla 4.2.10 - Características de la formación B_{MC}	62
Tabla 4.2.11 - Características de la formación B_C	62
Tabla 4.2.12 - Características de la formación D_M	62
Tabla 4.2.13 - Características de la formación Y_{DM}	63
Tabla 4.2.14 - Características de la formación P_M	63
Tabla 4.2.15 - Características de la formación F_A	64
Tabla 4.2.16 - Características de la formación D_A	64
Tabla 4.2.17 - Características de la formación YD_A	65
Tabla 4.2.18 - Características de la formación E_{NF}	65
Tabla 5.2.1 - Parámetros del modelo de Mohr-Coulomb	76
Tabla 5.2.2 - Parámetros del modelo de Hoek-Brown	77
Tabla 5.2.3 - Módulo de elasticidad de las unidades litológicas	78
Tabla 5.2.4 - Coeficiente de Poisson de las unidades litológicas	79
Tabla 5.2.5 - Cohesión y ángulo de rozamiento interno de las unidades litológicas	79
Tabla 5.2.6 - Resistencia a compresión simple de las unidades litológicas	80
Tabla 5.2.7 - Geological Strength Index	81
Tabla 5.2.8 - Valores de GSI para las formaciones presentes en las secciones de cálculo	81
Tabla 5.2.9 - Guía para la determinación del factor de alteración, D	82
Tabla 5.3.1- Parámetros resistentes de los materiales del emboquille norte	101
Tabla 5.3.2 Dominios estructurales	103



Tabla 5.3.3 - Familias de discontinuidades del dominio estructural 8.....	103
Tabla 5.3.4 - Características de las juntas del dominio 8	105
Tabla 5.3.5 - Características de los taludes del emboquille sur	106
Tabla 5.3.6 - Resultados análisis cinemático.....	106



CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN



1.1 DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO REALIZADO

El presente trabajo recoge el diseño geotécnico y constructivo de un túnel ferroviario ubicado en el municipio almeriense de Sorbas, integrado en el subtramo Sorbas – Barranco de Gafarillos del Corredor Mediterráneo de Alta Velocidad, Tramo: Murcia – Almería. Este tramo se incluye dentro de las actuaciones contempladas en el Programa de Alta Velocidad del Capítulo Ferroviario del Plan de Infraestructuras del Transporte (2002 – 2007), como prolongación del Corredor Mediterráneo entre Murcia y Almería, dentro del Corredor del Levante y Eje Mediterráneo.

Dicha infraestructura supone la construcción de una nueva plataforma en ancho internacional UIC, para tráfico mixto de viajeros y mercancías, con una velocidad máxima de circulación de 250 km/h y pendientes máximas de 12,5‰.

El estudio y diseño geotécnico del túnel de Sorbas se ha realizado en base al trazado propuesto en el Proyecto Constructivo del subtramo Sorbas – Barranco de Gafarillos de tal forma que se parte de la configuración adoptada en dicho documento, en la que se opta por la construcción de dos túneles gemelos en vía única. El presente documento se centra únicamente en el diseño de uno de ellos.

En la solución propuesta en este documento, se opta por un túnel con una longitud total de 7.216 metros, con sendos falsos túneles en los emboquilles norte y sur, de 53 y 45 metros respectivamente. El trazado propuesto del túnel, tanto en planta como en alzado, queda recogido en el *Plano 1.1 – Planta* y *Plano 1.2 – Perfil longitudinal*, respectivamente. El resto de detalles geométricos y constructivos del túnel se recogerán en posteriores capítulos del presente documento.

1.2 OBJETIVOS

Los objetivos buscados en el desarrollo del trabajo son los siguientes:

- **Caracterización geológica del área de estudio**, incluyendo una descripción del marco geológico general, los rasgos geológicos y su evolución, la geomorfología, hidrogeología y geotecnia de la zona así como la identificación de riesgos geológicos.



- **Diseño de la campaña de investigación geotécnica**, que incluya las técnicas in situ y los ensayos de laboratorio necesarios.
- **Caracterización geotécnica del terreno**, que incluya una clasificación de los macizos rocosos y los suelos atravesados por el túnel.
- **Análisis tenso deformacional y de equilibrio límite**, realizando un análisis de diversas secciones de cálculo.
- **Definición del método de excavación**, justificando su viabilidad y la razón por la que se adopta dicha solución.

1.3 METODOLOGÍA

La metodología a seguir se deriva del orden lógico de abordar un problema de ingeniería geotécnica y, en particular, el proceso de diseño de un túnel. Es de destacar que el presente trabajo está asociado a un proyecto real que fue proporcionado al autor de este trabajo, por lo que a continuación se describe la información del mismo.

En primer lugar, los directores del presente Trabajo Fin de Máster han proporcionado la información elemental del túnel: ubicación, diámetro y posición del eje. En base a dicha información previa se ha empleado la bibliografía disponible para extraer una primera concepción de las características del terreno en las que se ubicará el túnel. Para ello, se han empleado publicaciones de organismos públicos tales como el Instituto Geológico y Minero de España o el Instituto Geográfico Nacional, desarrollando de esta manera un corte geológico y diversos planos definitorios de las características del área de estudio.

A continuación y en base a las conclusiones que hayan podido ser extraídas del estudio anterior, junto con el uso de manuales especializados, se han determinado las diferentes técnicas de reconocimiento que formarán parte de la campaña de investigación geotécnica del terreno. Éstas incluirán diversos sondeos para la caracterización litológica, extracción de muestras y realización de ensayos in situ. Entre los ensayos de laboratorio existirán los correspondientes a la caracterización de suelos y los correspondientes a la caracterización de rocas, determinando distintos parámetros resistentes y descriptivos para cada terreno.



Una vez diseñada la campaña geotécnica y establecidos los distintos ensayos a realizar para la caracterización de los materiales, tanto de laboratorio como in situ, se ha tenido acceso a los sondeos y a los resultados, sin interpretar, de los ensayos realizados en el proyecto real. Utilizando únicamente los ensayos propuestos anteriormente y tomando los sondeos más próximos a los definidos como referencia, se ha procedido con el trabajo.

Tras la labor de interpretación de los ensayos proporcionados se han caracterizado los distintos macizos rocosos y suelos existentes, obteniendo de esta manera los datos necesarios para el análisis tenso-deformacional y de equilibrio límite. Igualmente, se han definido una serie de secciones que, atendiendo a sus características, se han considerado de interés para su estudio. Empleando software de elementos finitos se ha procedido a la verificación del sostenimiento del túnel en las distintas secciones, obteniendo además el estado tenso-deformacional en el terreno y el revestimiento así como los asentamientos en superficie. Adicionalmente, mediante análisis de equilibrio límite, se ha determinado la estabilidad de los taludes en la zona de los emboquilles, definiendo en función de los resultados obtenidos los medios de contención necesarios para garantizar un coeficiente de seguridad adecuado.

Paralelamente, en base a toda la información recopilada y una vez analizada la viabilidad de las soluciones propuestas, se ha definido el método o métodos constructivos a emplear, decidiendo entre una excavación con métodos convencionales y/o con máquinas tuneladoras.



CAPÍTULO 2

GEOLOGÍA Y ASPECTOS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO

2.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se estudian las características geológicas, geotécnicas, geomorfológicas e hidrogeológicas que presentan los terrenos que se verán afectados por el Proyecto de Construcción del Túnel de Sorbas, perteneciente al tramo Sorbas – Barranco de Gafarillos, de la línea de alta velocidad Murcia – Almería del corredor mediterráneo.

De esta manera, se analizará el trazado propuesto en base a criterios geológico-geotécnicos, a fin de obtener datos y conclusiones que sirvan de base para la definición de otros aspectos del proyecto.

2.2 MARCO GEOLÓGICO GENERAL

A grandes rasgos, la zona de estudio presenta una estructura que es el resultado de una serie de cabalgamientos que han dado lugar a estructuras de tipo alpino. Desde el punto de vista geológico, la zona en estudio se encuentra en el contexto de las Zonas Internas de las Cordilleras Béticas, formando parte del segmento más occidental del orógeno alpino mediterráneo.

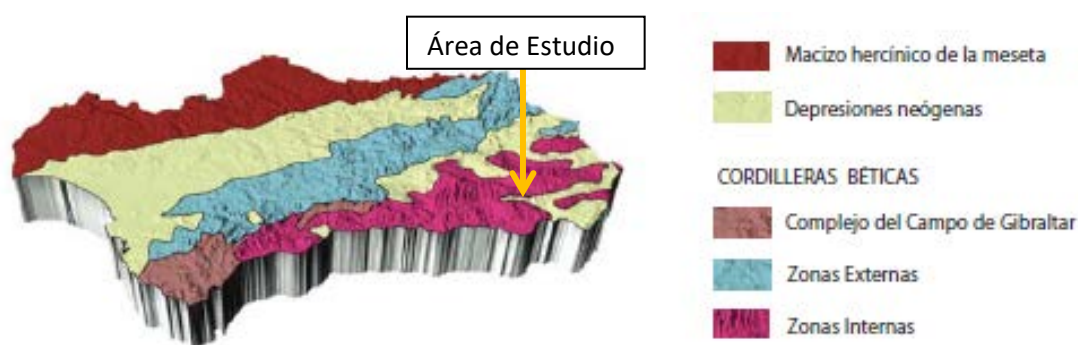


Figura 2.2.1 - Unidades geológicas

[Geología del entorno árido almeriense – Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía]

La Cordillera Bética inició su levantamiento durante el Mioceno inferior, hace aproximadamente 25 millones de años, proceso que hoy en día continúa. Interiormente presenta una estructura compleja resultado del apilamiento de las rocas constituyentes como consecuencia del empuje ejercido en la lenta colisión de la placa de Alborán sobre la placa Ibérica, y posterior levantamiento. Tal y como se ha comentado, la zona de estudio se encuentra en el contexto de las Zonas Internas de las Cordilleras Béticas, más antiguas y

deformadas que las zonas externas. A su vez, dentro de las zonas internas se reconocen diversas unidades tectónicas apiladas: Complejo Nevado Filábride, Complejo Alpujárride y el Complejo Maláguide.

El trazado del Túnel de Sorbas discurre por dos tramos claramente diferenciados: un primer tramo en materiales Terciarios del Tortonense (margas y conglomerados) y un tramo final en materiales del Paleozoico-Mesozoico (esquistos negros), separados por un tramo de dolomías y yesos.

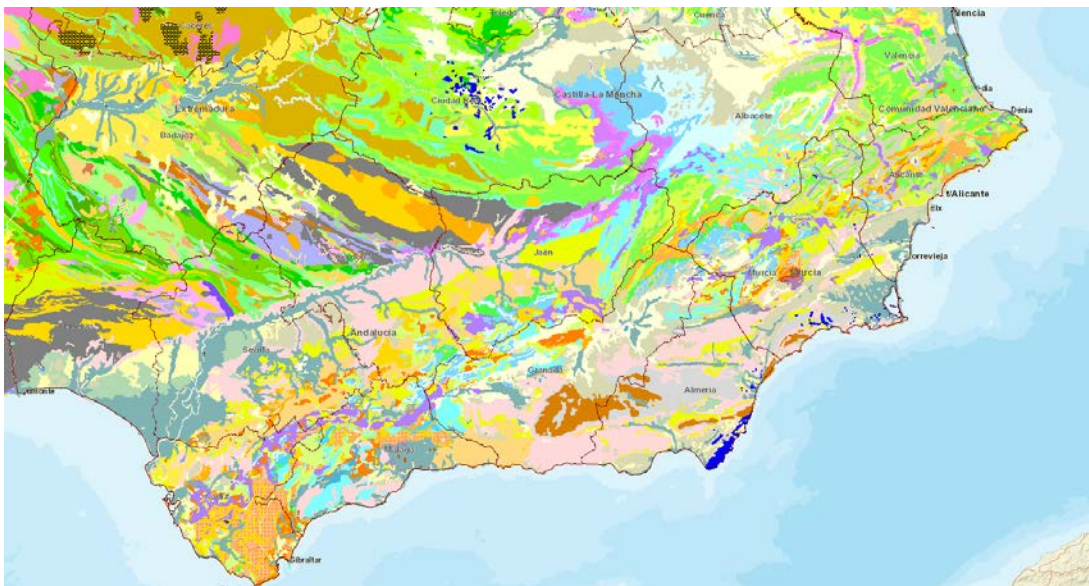


Figura 2.2.2 - Área de estudio

[MAGNA 50 – Instituto Geológico y Minero de España]

2.3 RASGOS GEOLÓGICOS Y EVOLUCIÓN

Durante el Mioceno Superior (hace aproximadamente 8 millones de años) la configuración de tierras emergidas y sumergidas bajo el mar mediterráneo en la zona de estudio era similar a la actual con pequeñas variaciones: el mar se extendía por todo el territorio correspondiente a la actual Depresión de Sorbas hasta la Sierra de los Filabres, siendo reflejo de ello las formaciones de arrecifes de coral fosilizados existentes.

El núcleo de la Sierra de los Filabres está constituido por rocas muy antiguas, de más, incluso, de 550 millones de años. Son, principalmente, micasquistos grafitosos: rocas de color negro, grisáceo o rojizo oscuro con aspecto pizarroso y un característico lajado. También son comunes las cuarcitas, que forman agrestes crestones y tajos, por su mayor resistencia la



erosión. Las cuarcitas tienen colores oscuros, amarillentos y anaranjados, y aspecto también lajado, aunque peor definido. Localmente, es posible encontrar también gneises. Todas ellas se han generado como consecuencia de las elevadas temperaturas y presiones a grandes profundidades en el interior de la tierra, en un proceso de metamorfismo.

La hoy conocida como Cuenca de Sorbas se forma como consecuencia de la emersión de Sierra Alhamilla y de Sierra Cabrera, al sur, que junto con la ya mencionada Sierra de los Filabres, al norte, configuraron una estrecha y alargada cuenca marina intramontañosa en la que predominaban los fenómenos erosivos y de depósito de sedimentos marinos.

En la composición de las sierras de Alhamilla y Cabrera también aparecen rocas muy antiguas aunque algo más jóvenes que las anteriores, recibiendo el nombre genérico de Complejo Alpujárride. Este complejo está mayoritariamente constituido por dos tipos de roca. En primer lugar tendremos las filitas, que son arcillas algo transformadas de colores muy vivos, azules, rojos, o grises brillantes. El otro caso lo constituyen las calizas y las dolomías, compuestas por carbonatos de calcio y magnesio, que producen los relieves escarpados, de colores blanquecinos, negruzcos o grisáceos. Todas estas calizas y dolomías se formaron hace más de 200 millones de años en el fondo de un mar de características tropicales. Posteriormente y al igual que ocurriría con los materiales de la Sierra de los Filabres, sufrirían un proceso de metamorfismo como consecuencia de haber quedado enterradas a gran profundidad en el interior de la tierra.

Durante el Messiniense, marcando el final del Mioceno (hace unos 5,5 millones de años), se produjo un proceso generalizado de desecación del mar Mediterráneo. En consecuencia la cuenca marina de Sorbas quedó aislada sin aporte de agua marina y sometida a un fuerte proceso evaporativo, fenómeno que causó la deposición de un paquete de yeso de casi 100 metros de espesor.

Posteriormente, el mar volvería a adoptar su nivel previo por lo que se restauró la acumulación de margas y sedimentos detríticos, que fueron depositándose sobre los yesos del Messiniense. Este proceso finalizaría en el Plioceno (hace 3,5 millones de años) como consecuencia del avance progresivo de la línea de costa hasta alcanzar la posición que presenta en la actualidad.



Como consecuencia del retroceso de las aguas mediterráneas los sedimentos marinos (margas y sedimentos detríticos) quedaron expuestos a la acción de los agentes erosivos. Así, una vez eliminada la capa de sedimentos marinos que protegía las acumulaciones yesíferas del Messiniense, la acción del agua comenzó a disolverlos progresivamente dando lugar al hoy conocido como Karst de Sorbas.

La secuencia evaporítica de Sorbas está constituida por bancos de yeso de hasta 20 metros de espesor, separados por tramos margoso-limosos y/o carbonatados. El espesor de los bancos de yeso disminuye hacia arriba al tiempo que aumenta el de los tramos no evaporíticos. La parte superior de estas formaciones tiene carácter marino ya que incorporan restos de esqueletos calcáreos de organismos marinos y representan una clara evidencia de los episodios de inundación de la cuenca.

En los bancos de yeso más altos de la secuencia, la estructura de crecimiento presenta un aspecto arborescente, conocida como superconos, resultado de la competencia entre el crecimiento del yeso y el depósito del sedimento limoso coetáneo.

2.4 CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

La zona objeto de estudio se encuentra integrada plenamente dentro del conjunto geológico de las Cordilleras Béticas. El dominio más antiguo se encuentra representado por la serie Nevado – Filábride, posible gran anticlinal de dirección aproximada Este – Oeste. Sobre este sustrato se han deslizado otras series, ocupando los terrenos intermedios una serie de elementos terciarios. Esta estructura da lugar a una división de los terrenos objeto de estudio, en dos regiones claramente diferenciadas.

La **Región I** está constituida por todos los materiales más antiguos, calificados estrictamente como “béticos”, incluidos los cuaternarios producidos como consecuencia de la alteración y la erosión.

La **Región II** está constituida fundamentalmente por los materiales más modernos que han rellenado los grandes sinclinales, dejados por las estructuras especificadas en la Región I.

Adicionalmente, el área de estudio se ha dividido a su vez en “Áreas” en base a la homogeneidad de los terrenos desde el punto de vista geomorfológico. Las áreas atravesadas



por el trazado propuesto para el túnel quedan recogidas en el Plano 2.1. Como puede apreciarse, el túnel atravesará las áreas I₁, II₁, II₂, II₄.

En los apartados sucesivos se describen, en base a distintos puntos de vista, las características de cada una de estas áreas.

2.4.1 FORMACIONES SUPERFICIALES Y SUSTRATO

A continuación se procede a la descripción de los principales afloramientos rocosos existentes, estableciendo una clara diferenciación entre las llamadas formaciones superficiales y el sustrato. En la primera quedan recogidos todos los materiales que desde un punto de vista geológico se catalogan dentro de la edad cuaternaria. En el segundo grupo quedarán agrupadas todas las formaciones más o menos rocosas que se han formado en el resto de la historia geológica.

La descripción de las distintas áreas atravesadas por el trazado propuesto para el túnel se agrupará mediante la división en regiones y áreas establecida. Así, como puede observarse en el Plano 2.2 de formaciones superficiales, las características de las áreas atravesadas por el trazado del túnel en cuanto a formaciones superficiales y sustrato serán:

ÁREA I1

Agrupar a todos los materiales de naturaleza fundamentalmente esquistosa, es decir: micasquistos, filitas y pizarras.

La boca sur del túnel estará ubicada en una zona con un sustrato a base de micasquistos en general, con intercalaciones de pizarras micáceas y calizas cristalinas intercaladas. Serán representativos de estas formaciones los colores grises oscuros con estructuras hojosas, tabulares, de color blanco-azulado. Entre los mismos pueden llegar a aflorar mármoles y serpentinas. Se caracterizan por una muy elevada alterabilidad.

ÁREA II₁

Constituida en su totalidad por materiales miocénicos, los cuales son muy heterogéneos en el conjunto de la formación, pero que se pueden dividir en dos grandes



grupos. Uno, de conglomerados, con matriz y episodios de arenas y limos. Otro, formado por materiales areniscosos y margas. Como puede observarse en el Plano 2.2, el trazado propuesto para el túnel atravesará una formación arenisco – margosa ($T_{105/6}$).

Dicha formación se compone fundamentalmente de margas, maciños, margas arenosas y calizas areniscosos, en alternancia de irregulares potencias. La resistencia mecánica de la formación alcanza valores medios. La alteración superficial es baja y presentan, según el material, distintas resistencias a la erosión. Morfológicamente constituyen laderas de fuerte inclinación.

ÁREA II₂

Constituida exclusivamente por terrenos yesíferos, que se presentan en forma masiva y muy cristalizados. Localmente pueden presentar recubrimientos débiles margosos, o alguna alteración del yeso.

ÁREA II₄

Formada por todos los terrenos cuaternarios eminentemente detríticos, caracterizados por una abundancia de finos y fracciones lajosas. Presentan colores grisáceos y potencias variables.

Como puede apreciarse en el Plano 2.2, el trazado del túnel atraviesa una zona de terrenos aluviales (Q_a).

2.4.2 CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS

El presente sub-apartado recoge la descripción de las principales estructuras morfológicas que afectan a la zona de estudio estableciendo los principales rasgos tectónicos que las afectan. En la zona de estudio es posible encontrar tres dominios estructurales fundamentales:

- **Zona bética:** constituida por una orogenia pre-hercínica que dio lugar a la formación de una cordillera, que en ciclos sucesivos fue más o menos erosionada, y sobre la cual se depositaron las actuales formaciones de la Unidad Nevado – Lubrín. Sobre este



sustrato se han ido deslizado, entre otras, las series triásicas (Alpujárrides), la *Mischungzone* y el manto de Málaga las cuales posteriormente habrán sido deformadas dando lugar a pliegues, fracturas de cizalla, plegamientos de fondo y fracturas de distensión. Todo esto ha dado lugar a la estructura geométrica actual, que consiste en un gran anticlinal orientado en dirección E-W y sobre el que periféricamente se dispone la serie triásica por medio de superficies de cabalgamiento. Por su parte, los materiales triásicos se disponen a su vez en forma de anticlinales de dirección E-W con fuertes pendientes en los flancos. Entre dichos anticlinales se produce el desarrollo de cubetas sinclinales que, debido a la serie de fallas marginales, actúan como fosas tectónicas. Estos han sido rellenados con los materiales terciarios y cuaternarios.

- **Depresiones terciarias:** a medida que se han ido depositando las distintas series existentes en la zona de estudio, las cuencas han estado sometidas a un hundimiento desigual, lo que ha provocado una disposición de los sedimentos en discordancia angular progresiva. Adicionalmente, los materiales han sufrido un suave plegamiento y una fracturación correspondiente a las últimas fases de las deformaciones antes descritas.
- **Zona volcánica:** ligada a las fracturas NE-SW y E-W que aparecen en la zona, constituyen un episodio tectónico fundamental a la hora de describir la actual configuración de la zona de estudio.

La descripción de las distintas áreas atravesadas por el trazado propuesto para el túnel se agrupará mediante la división en regiones y áreas establecida. Así, como puede observarse en el Plano 2.3 de características geomorfológicas, en la zona afectada por la construcción del túnel nos encontraremos con:

ÁREA I:

Zona de relieves acusados, en que las pendientes topográficas superan el 15% existiendo, además, una gran densidad de arroyos, torrentes encajados e interfluvios agudos. Se caracteriza además por la existencia de formas convexas con tendencia a redondeadas con escarpes en las zonas con presencia de intercalaciones cuarcíticas.



La zona presente una elevada fracturación y tectonización, con deslizamientos cuando la tectonización coincide con las pendientes topográficas. Existen además caídas de bloques en las cornisas de materiales cuarcíticos.

En lo que a la estabilidad respecta, el área posee un grado de estabilidad natural aceptable pero que puede pasar a inestable con relativa facilidad.

ÁREA II₁

Constituye un área muy variada desde el punto de vista morfológico, con pendientes que pueden variar del 5 al 15% en la que predominan las formas alomadas con frecuentes abarrancamientos. Los problemas vienen representados por la intensa acción erosiva existente en el área, produciéndose así fenómenos de erosión diferencial.

Por otra parte, su grado de estabilidad natural es aceptable pero el principal riesgo que presenta es que bajo la acción del hombre puede convertirse en desfavorable.

ÁREA II₂

Constituye un área plana en la que existen también relieves alomados con pendientes suaves que oscilan entre un 0 y un 7%. El principal problema con el que nos podemos encontrar en esta zona es la frecuente presencia de zonas carstificadas, a la que debe añadirse la agresividad natural de los yesos. Son estables de forma natural y bajo la acción del hombre, salvo las zonas más alteradas en las que la estabilidad resulta desfavorable.

ÁREA II₄

Constituye una zona de poca trascendencia desde el punto de vista geomorfológico. Se caracteriza por la predominancia de relieves suaves, que únicamente en los “pies de monte” pueden tener alguna magnitud (entre 0 y 7%). Su estabilidad natural podría definirse como discreta y puede experimentar alteraciones asociadas a la acción humana.



2.4.3 CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS

Los factores más relevantes desde el punto de vista hidrogeológico, analizados por regiones y áreas y recogidos en el Plano 2.4, que pueden condicionar cualquier tipo de construcción en los terrenos de la zona de estudio son los siguientes:

ÁREA I₁

Constituida fundamentalmente por materiales considerados como impermeables existen, sin embargo, zonas con permeabilidades secundarias. El drenaje superficial es adecuado por escorrentía por lo que la presencia de acuíferos en la zona es prácticamente nula. Por lo tanto, desde el punto de vista constructivo, se trata de un área bien drenada en superficie y con condiciones constructivas favorables.

ÁREA II₁

Constituida por materiales de naturaleza impermeable con presencia de materiales calizos permeables en determinadas zonas, pero de escasa entidad. Presenta en superficie un drenaje deficiente con escorrentía con posibilidad de que se produzcan encharcamientos. Por lo tanto, dada la impermeabilidad de las formaciones, la presencia de acuíferos es prácticamente nula y las condiciones constructivas serán favorables.

ÁREA II₂

El área en su conjunto es considerada como impermeable dadas las características de los materiales existentes en la zona por lo que únicamente existirá infiltración en aquellas zonas en las que existan formaciones cársticas. El drenaje superficial de la zona es aceptable produciéndose principalmente por escorrentía por lo que las condiciones constructivas en profundidad serán favorables.

ÁREA II₄

Representa un área formada por materiales permeables e impermeables, distribuidos de una manera irregular. Desde el punto de vista superficial, es un área bien drenada que en



zonas de valles estrechos con presencia de acuíferos saturados puede llegar a producir pequeñas lagunas temporales.

Pueden presentar acuíferos situados a escasa profundidad por lo que, al estar ubicada próxima al emboquille de los túneles aporta una condiciones hidrológicas deficientes desde el punto de vista constructivo.

2.4.4 CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS

Este último sub-apartado busca determinar el comportamiento de cada una de las unidades litológicas existentes en el área de estudio evaluando, entre otros aspectos, la capacidad de carga y los posibles asentamientos que pueden producirse en el terreno. Dicho análisis se realizará dividiendo el área de estudio en las regiones y áreas vistas hasta ahora:

ÁREA I₁

Es un área en la que predominan las formaciones rocosas sanas que presentarán una capacidad de carga elevada. Únicamente en las zonas en que las diversas alteraciones existentes son muy abundantes, con presencia de materiales pseudoarcillosos, la capacidad de carga tomará valores medios.

Dentro de este área, los materiales que ofrecen mayores dificultades son las filitas, que normalmente presentan capas alteradas, por lo que su capacidad de carga puede llegar a valores bajos existiendo la posibilidad de que se produzcan asentamientos. Además, es frecuente que las filitas presenten formaciones estratificadas que resultan muy agresivas para los materiales hormigonados.

En general, las condiciones constructivas en esta área son favorables y únicamente podrán verse localmente disminuidas por la topografía del terreno o por su probable microfisuración.

ÁREA II₁

Tal y como se ha establecido en el apartado 4.1, al tratarse de un área constituida fundamentalmente por materiales miocénicos, los problemas de índole geotécnica serán bastante frecuentes, estando éstos ligados a los niveles margosos existentes en la zona.



Por lo general, su capacidad de carga es reducida y existe la posibilidad de que se produzcan asentamientos diferenciales en aquellos terrenos con presencia de margas con una composición más arcillosa.

En definitiva, se trata de una zona cuyas condiciones constructivas no son del todo favorables.

ÁREA II₂

La presencia de formaciones yesíferas masivas con problemas de alteración, tanto superficiales como profundos, de tipo cárstico, hacen que las condiciones constructivas en la zona resulten muy desfavorables.

ÁREA II₄

Al tratarse de un área con predominancia de materiales cuaternarios, las condiciones geotécnicas de la misma serán función del espesor de los sedimentos que, con frecuencia, son muy heterogéneos. Es precisamente en la zona de Sorbas, donde se ubica el túnel, donde mayores espesores de sedimentos puede existir, con potencias de hasta 50 metros.

En general, las capacidades de carga oscilan entre muy bajas y medias, dependiendo del grado de cementación que presenten los sedimentos. Dadas las características resistentes de estos materiales, es posible la aparición de asentamientos de magnitud media.

2.5 HIDROLOGÍA

Tratando los aspectos relacionados con la hidrología, tal y como puede observarse en la figura 3, el trazado del túnel atravesará dos cuencas diferentes: la cuenca del río Aguas en su extremo norte y la cuenca del río Carboneras en su extremo sur. A pesar de ello, tanto por su proximidad como por su importancia únicamente se estudiará el río Aguas.

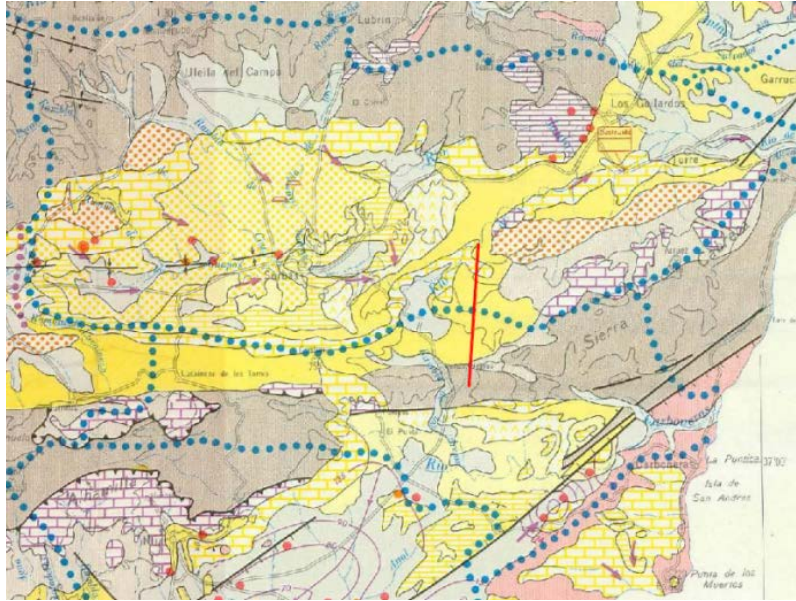


Figura 2.5.1 - Cuencas del río Aguas y río Carboneras

[Memoria geotécnica – Mapa geotécnico general IGME]

La cuenca del río Aguas tiene una extensión total de 547 km² siendo su cauce principal el río Aguas, con un recorrido total de 52 km. Tiene un caudal medio de 27 hm³ anuales. La zona del emboquille norte, en la población de La Herrería, es la más próxima al cauce del río, en la zona denominada como Alto Aguas. Toda ella forma parte de la zona sensible ESRI376.

El trazado propuesto para el túnel discurre prácticamente en su totalidad bajo acuíferos de baja intensidad destinados a la captación de agua para uso agrícola. Dada la reducida pluviometría de la zona su capacidad de recarga es muy limitada.

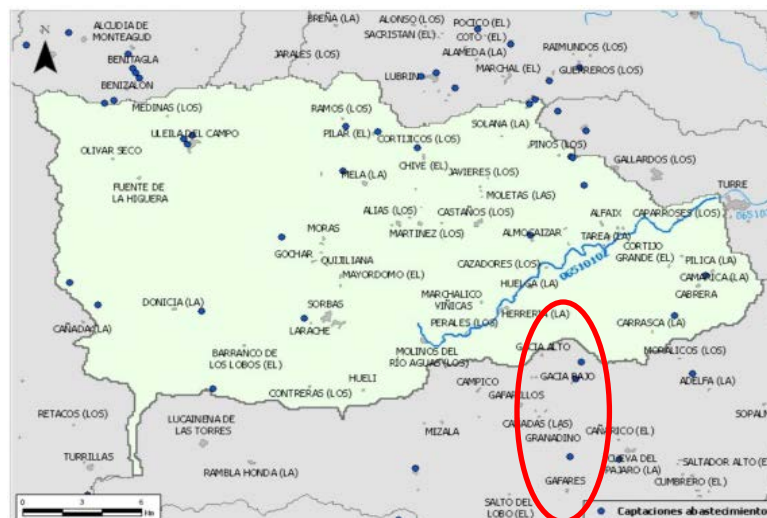


Figura 2.5.2 - Pozos de captación de aguas subterráneas

[Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas]

Como puede apreciarse en la imagen superior, existen 3 captaciones próximas a la zona de ubicación del túnel.

2.6 ACTIVIDAD SÍSMICA DE LA ZONA

Los criterios que han de seguirse dentro del territorio español para la consideración de la acción sísmica en la elaboración de proyectos se recogen en la Norma de Construcción Sismorresistente NCSE-02.

El mapa mostrado en la Figura 5 recoge la peligrosidad sísmica para el territorio español, aportando el valor tanto de la aceleración sísmica básica como el coeficiente de contribución K, que tiene en cuenta la influencia de los distintos tipos de terremotos esperados en la peligrosidad sísmica de cada punto.

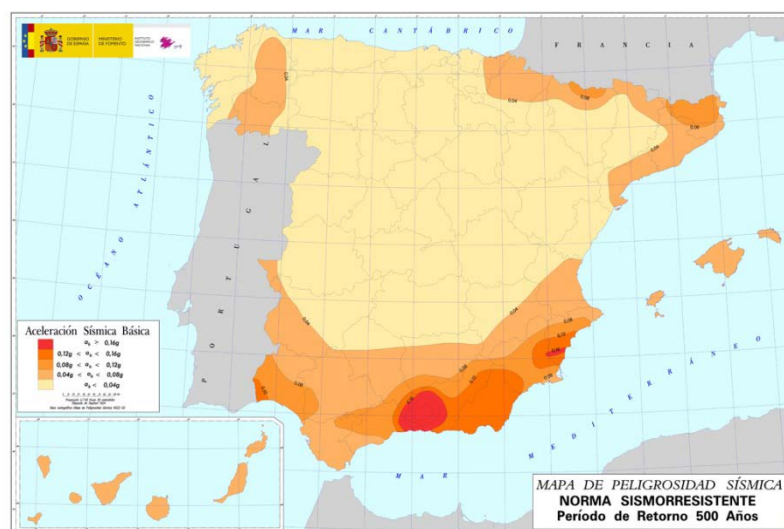


Figura 2.6.1 - Mapa de peligrosidad sísmica (aceleraciones)

[NCSE-02 – Ministerio de Fomento]

Analizando el historial sísmico de la zona, a partir de los datos de información sísmica proporcionados por el Instituto Geográfico Nacional se puede obtener que para la localización en estudio se ha llegado a registrar, en los últimos 100 años, un temblor de 5.2 grados en la escala de Richter. Además, como puede observarse en el mapa de la figura 5, el túnel en estudio estará ubicado en una zona cuya aceleración básica estará comprendida entre 0,12g y 0,16g.



Por lo tanto, en el diseño del túnel deberán considerarse todos estos aspectos teniendo en cuenta además que estará clasificada como una estructura de importancia especial dentro de la NCSE-02.

2.7 RIESGOS GEOLÓGICOS IDENTIFICADOS

Del análisis realizado de las características del área de estudio es posible identificar los siguientes riesgos tanto geológicos como geotécnicos:

- I. La presencia de materiales de naturaleza esquistosa en la zona sur del túnel, con su elevada fragmentación y alterabilidad, puede suponer un riesgo de inestabilidad tanto en superficie como en la zona de avance del túnel durante su construcción.
- II. La presencia de margas en el extremo norte del túnel con resistencias mecánicas medias junto con la expansividad asociada a las arcillas, pueden producir problemas de asentamientos de tipo diferencial. La expansividad de las arcillas está estrechamente relacionada con el grado de hidratación de las mismas de tal forma que, a menor contenido de agua, mayor expansividad potencial. Considerando que el clima de la zona de estudio es un clima árido con muy pocas precipitaciones, el riesgo de expansión de las arcillas ante un aporte de humedad es muy alto.
- III. Existencia de problemas de tipo geomorfológico asociados a la inestabilidad de las laderas que puede condicionar la construcción de los emboquilles y las zonas de bajo espesor de recubrimiento.
- IV. La existencia de acuíferos cercanos asociados a las permeabilidades de los materiales por fisuración así como a la permeabilidad natural de materiales como las calizas, condicionará el diseño del túnel en base a la afección deseada para los mismos.
- V. La existencia de filitas en la mitad sur del túnel condiciona la capacidad de carga del terreno y, por lo tanto, llevará asociada la probabilidad de que se produzcan asentamientos. No obstante, al no tratarse de una zona con edificaciones próximas, no supondrá un gran inconveniente.



- VI. Existencia de zonas cársticas en formaciones yesíferas. La existencia de zonas cársticas fundamentalmente llevará asociados los riesgos relacionados con la existencia de los materiales yesíferos. En estado natural, si se toma una sección del terreno podrá observarse como en la parte superior, hasta una determinada profundidad, existe una zona de yesos hidratados bajo la cual existirá una zona de yesos deshidratados o anhidritas. En caso de que el estado tensional del terreno no varíe, no existirá problema alguno. Sin embargo, la construcción del túnel llevará consigo la descompresión de la zona situada bajo la contrabóveda con el correspondiente riesgo potencial de expansividad de los yesos. Asociado a estas formaciones podrán presentarse también ataques por sulfatos a los hormigones del revestimiento, factor que deberá tenerse en cuenta en el diseño de los mismos.
- VII. Riesgos asociados a la actividad sísmica existente en la zona.

2.8 CORTE GEOLÓGICO

A continuación se analizan las principales características geológicas de la zona de construcción del túnel a partir del análisis del corte geológico realizado siguiendo el eje del mismo. Para ello, se ha empleado la hoja 1031 de la serie Magna del Instituto Geológico y Minero de España (IGME).

Como puede apreciarse, el comienzo del túnel desde su extremo norte se encuentra en una formación del mioceno superior caracterizada por la presencia de margas (T_{12}^{Bc}). Dichas formaciones presentará un ligero buzamiento con orientación norte, con un ángulo de buzamiento próximo a los 15° , extendiéndose hasta el PK 0+120. Esta formación podrá presentar hacia la base algunos niveles de areniscas. Su espesor total es de aproximadamente 60-80 metros.

Posteriormente y sin abandonar las formaciones del mioceno superior, a partir del PK 0+120, predominarán las calizas y las areniscas (T_{12}^{Bc}), presentando éstas igualmente un ligero buzamiento hacia el norte de aproximadamente 15° . Esta formación se extenderá hasta el PK 0+209.



Una vez atravesada la zona de areniscas y calizas, el trazado del túnel se adentrará, antes de abandonar las formaciones del mioceno superior, en una zona de margas y turbiditas (T_{11-12}^{Bc-Bc}) de gran extensión, que se extenderá hasta el PK 5+874. Esta formación alcanza una potencia de 700-800 metros repartida de la siguiente manera: la parte superior constituye un tramo fundamentalmente margoso (unos 200 metros) con intercalaciones de niveles de areniscas y conglomerados. En la parte inferior, predominan los depósitos clásticos gruesos y consistentes en areniscas y conglomerados. Igualmente, es de destacar la existencia de una posible falla en el PK 0+384.

Si se analiza la columna estratigráfica correspondiente a las formaciones del terciario, puede observarse como bajo estas formaciones del mioceno superior se ubicarán formaciones del mioceno inferior, con predominancia de areniscas, calizas y conglomerados pero sin que estas formaciones lleguen a aflorar en la zona de estudio. En una primera aproximación, sin contar con la información de los sondeos, no es posible determinar a qué profundidad se presentarán las formaciones del mioceno inferior.

Una vez abandonadas las formaciones del mioceno superior el trazado del túnel se adentra, a partir del PK 5+874, en una zona con una elevada complejidad desde el punto de vista geológico, correspondiente a las formaciones del denominado complejo Alpujárride.

Siendo así, en primer lugar el trazado del túnel se adentrará en una zona de rocas carbonatadas, filitas y yesos (T_A^a) con una fuerte inclinación en dirección norte con ángulos próximos a los 80° . Es de esperar que la formación presente una estratificación masiva, especialmente en el techo de la misma. La potencia máxima observada es de 150 metros.

El contacto entre las distintas formaciones del complejo Alpujárride es de tipo mecánico por lo que el cambio entre éstas vendrá caracterizado por la presencia de fallas. A continuación, a partir del PK 5+999, se presenta una zona de filitas, cuarcitas y rocas carbonatadas ($P - T_A^a$). La formación se compone fundamentalmente de filitas con intercalaciones de cuarcitas, estructurándose éstas en capas de hasta 3 metros de espesor. Es esperable que la cantidad de cuarcita se reduzca en las zonas inferiores de la formación. Al tiempo que se avanza en dirección de los PK crecientes comenzará la predominancia de las rocas carbonatadas, transición que vendrá anunciada por una rápida alternancia de capas carbonatadas con filitas azules, con posibilidad de que exista yeso entre los contactos.



El cambio de formación vendrá marcado por la existencia de una supuesta falla en el PK 6+043, pasando nuevamente a una zona de rocas carbonatadas, filitas y yesos. Es de esperar que el trazado del túnel atravesase un frente de cabalgamiento situado en el PK 6+060 así como una falla inversa en el PK 6+367. En todos los casos, la traza del túnel será perpendicular al eje de las formaciones.

Finalmente, la boca sur del túnel quedará ubicada en una zona de formaciones precámbricas compuestas principalmente por rocas esquistosas de composición cuarcítica y micácea, apareciendo todos los pasos intermedios entre cuarcitas y micaesquistos. Como puede observarse en el mapa geológico, estas formaciones metamórficas, de gran extensión, se extienden en una dirección este-oeste, lo cual es indicativo que estuvieron sometidas a acciones compresivas en sentido norte-sur. Esto tendrá como resultado un plegamiento de las capas, con constantes cambios de dirección, propio de formaciones de naturaleza esquistosa, a una escala que no puede apreciarse en el mapa de la serie Magna pero que deberá definirse en la campaña de toma de datos en campo.

En el apartado 4 *Tramificación geotécnica del trazado*, recogido en el Capítulo 2 del presente documento quedará descrito con un mayor detalle las formaciones atravesadas por el túnel, una vez se disponga de los resultados de la campaña de investigación geotécnica.



CAPÍTULO 3

CAMPAÑA DE INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA



3.1 INTRODUCCIÓN

Para la correcta definición de los diferentes aspectos relacionados con la construcción del túnel, es necesario desarrollar una campaña de investigación geotécnica con un alcance suficiente.

Para ello, se utilizarán diferentes técnicas *in situ* y ensayos de laboratorio que permitan la correcta caracterización del terreno en el que se desarrollará el proyecto. Debe considerarse que los trabajos de ingeniería de una obra subterránea requieren determinaciones razonables en la precisión de la medida de espesores de recubrimientos cuaternarios, posición del nivel freático, localización de fallas y/o contactos litológicos, etc.

Con todo ello, las diferentes técnicas de reconocimiento geotécnico del terreno a emplear incluyen:

- Sondeos
- Toma de muestras
- Ensayos dilatométricos
- Ensayos de permeabilidad – Lugeon
- Diagrfías geofísicas
- Tomografías eléctricas
- Técnicas sísmicas de refracción
- Observaciones hidrogeológicas
- Ensayos de laboratorio

3.2 SONDEOS

Para el reconocimiento geotécnico del suelo se empleará, en primer lugar, la ejecución de sondeos mecánicos a rotación con recuperación de testigo continuo. Dentro de las diferentes variantes existentes se empleará la técnica del tubo testigo doble giratorio de cara a evitar la alteración de la muestra. Adicionalmente, se emplearán tomamuestras de pared gruesa y coronas de perforación de Widia (W) o de Diamante (D) en función de la dureza de las formaciones a excavar.

El conocimiento geotécnico de los túneles, por su carácter de obra singular requiere la realización de una campaña de campo estructurada en fases sucesivas de intensidad creciente.



Tal y como se detallará en los próximos apartados, el diámetro del túnel será de 10 metros, sirviendo esta magnitud de referencia para la determinación del alcance de la campaña de sondeos a realizar en campo. En el reconocimiento, se distinguirá entre los sondeos necesarios para la caracterización de las boquillas así como los requeridos para la caracterización del propio túnel, quedando todos ellos recogidos en el *Plano 3.1 – Perfil geotécnico*.

En lo que respecta a los **emboquilles** del túnel, la investigación se realizará en cada una de las boquillas de entrada y salida del mismo. Los parámetros fundamentales para la definición de las distancias y las profundidades a las que debe realizarse el reconocimiento del terreno serán tanto el diámetro del túnel como la cota del eje del mismo, la cual queda recogida en el *Plano 1.2 – Perfil longitudinal*. Con objeto de caracterizar las superficies en que se ejecutarán los emboquilles del túnel se realizará un sondeo vertical, situado a una distancia de un diámetro (10 metros) hacia el interior del túnel, según su eje, a partir del punto en que la clave teórica del túnel corta el terreno natural. Dicho sondeo deberá alcanzar una profundidad, z_s^{BT} , de 10 metros por debajo de la subrasante del mismo. Es decir, teniendo en cuenta las características del terreno, el sondeo vertical tendrá una longitud mínima de 22 metros.

En lo que respecta al **túnel**, las prospecciones y los ensayos están destinados a caracterizar las unidades geológico-geotécnicas que conforman el mismo. Es por ello por lo que en zonas en las que existan formaciones geológicas no-horizontales, en las que los contactos tengan un buzamiento significativo o donde se detecten fallas, la separación entre las prospecciones se reducirá e incluso el estudio se reforzará incluyendo sondeos inclinados, si fuera necesario. Los sondeos y demás prospecciones geofísicas se realizarán siguiendo el eje del túnel.

En el caso de los sondeos, tratándose de un túnel en campo abierto, la profundidad mínima que deben alcanzar por debajo de la subrasante será de dos veces el diámetro, es decir, 20 metros por debajo de la misma. Con respecto a la separación entre sondeos, se establece que el valor máximo deberá ser, en principio, inferior a 250 metros, salvo en aquellas zonas en las que las características del terreno sean similares. Teniendo en cuenta los 7.422 metros de longitud total del túnel, serán necesarios, como mínimo, un total de 21 sondeos, quedando recogidos en el *Anejo I – Sondeos*.



Con todo ello, se obtiene un ratio de 1 sondeo aproximadamente cada 350 metros, con una profundidad media de 113,76 metros, una máxima de 279,00 metros y una mínima de 26,00 metros.

Los sondeos, una vez extraídos los testigos y tras haber realizado los ensayos in situ que procedan, se deberán rellenar previo al comienzo de la excavación del túnel mediante una lechada de cemento – bentonita de cara a evitar la incursión de agua y aire a través de ellos.

Los sondeos realizados como parte de la campaña de investigación geotécnica empleada para el diseño del mismo son los recogidos en la siguiente tabla:

Denominación	Longitud (m)	Objetivo
SM – 0+119	42,00	Caracterización Túnel Sorbas
SM – 0+129	36,00	Caracterización Emboquille Norte
SM – 0+277	84,00	Caracterización Túnel Sorbas
SM – 0+523	129,00	Caracterización Túnel Sorbas
SM – 0+770	154,00	Caracterización Túnel Sorbas
SM – 1+016	144,00	Caracterización Túnel Sorbas
SM – 1+509	92,00	Caracterización Túnel Sorbas
SM – 1+756	97,00	Caracterización Túnel Sorbas
SM – 3+235	279,00	Caracterización Túnel Sorbas
SM – 3+728	242,00	Caracterización Túnel Sorbas
SM – 4+961	117,00	Caracterización Túnel Sorbas
SM – 5+207	126,00	Caracterización Túnel Sorbas
SM – 5+454	94,00	Caracterización Túnel Sorbas
SM – 5+947	94,00	Caracterización Túnel Sorbas
SM – 6+070	123,00	Caracterización Túnel Sorbas
SM – 6+193	165,00	Caracterización Túnel Sorbas
SM – 6+331	135,00	Caracterización Túnel Sorbas
SM – 6+686	112,00	Caracterización Túnel Sorbas
SM – 6+933	66,00	Caracterización Túnel Sorbas
SM – 7+412	26,00	Caracterización Emboquille Sur
SM – 7+422	30,00	Caracterización Túnel Sorbas

Tabla 3.2.1 – Sondeos de la campaña de investigación geotécnica

3.3 TOMA DE MUESTRAS

Para la determinación de las propiedades del terreno en el que se desarrollará la construcción del túnel es fundamental llevar a cabo un proceso de toma de muestras. Las propiedades que pueden determinarse a partir de una muestra dependen del grado de alteración de la misma. Por ello, para la obtención de muestras inalteradas se emplearán baterías dobles, transportando posteriormente las mismas convenientemente selladas para evitar su alteración. Las muestras alteradas, por su parte, podrán transportarse en bolsas o sacos convenientemente etiquetadas.

Dado que el terreno atravesado por el túnel es fundamentalmente de carácter rocoso, será necesario determinar la resistencia a compresión simple de la roca sana, ensayando directamente los testigos. Para ello, se tomará, al menos, una muestra del terreno cada 10,00 metros de profundidad de la prospección, y siempre que cambie la naturaleza del terreno.

Así, se han obtenido un total de diez (10) muestras inalteradas y se han parafinado un total de quinientos sesenta y nueve (569) testigos.

3.4 ENSAYO DILATOMÉTRICO

El ensayo dilatómetro consiste en una membrana con forma cilíndrica que puede expandirse y presionar la pared de un sondeo. Dentro de las diferentes variantes existentes se empleará el ensayo de Ménard, empleándose una sonda presiométrica con tres células expandibles (superior, inferior y media) siendo las células superior e inferior utilizadas para evitar los efectos de borde en la intermedia, que es la que realiza las mediciones.

Para la realización del ensayo se emplearán los sondeos realizados previamente para la extracción de testigos. Las mediciones del ensayo dilatómetro se utilizarán para la determinación de la deformación y el módulo de elasticidad del terreno, necesarios para el dimensionamiento del túnel. Para ello, se empleará la siguiente relación:

$$G = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta r} \cdot \left(\frac{r_1 + r_2}{2} + r_0 \right)$$



donde:

$\Delta P \rightarrow$ Incremento de en el tramo de la rama elástica considerado

$\Delta r \rightarrow$ Incremento del radio de la camisa en el tramo de la rama elástica considerado

$r_1 \rightarrow$ Radio inicial neto del tramo de la rama elástica considerado

$r_2 \rightarrow$ Radio final neto del tramo de la rama elástica considerado

$r_0 \rightarrow$ Radio de la camisa

En la presente campaña de campo, en una primera fase, se prevé la realización de un total de 10 ensayos dilatométricos en los sondeos previamente ejecutados. La ubicación de los mismos queda detallada en el *Plano 3.1 – Perfil geotécnico*. Una vez interpretados los resultados, si fuera necesario, se procedería a la realización de ensayos adicionales en aquellas zonas que hubieran podido quedar sin caracterizar en primera instancia.

La siguiente tabla recoge un resumen de los distintos ensayos dilatométricos desarrollados en la campaña de investigación geotécnica:

Sondeo	Profundidad (m)	Litología
SM – 0+043	27,00	Margas arenosas
SM – 0+523	113,00	Conglomerado poligénico y polimíctico
SM – 0+770	69,00	Margas arenosas
	89,00	Conglomerado poligénico y polimíctico
	118,00	Conglomerado poligénico y polimíctico
SM – 1+509	23,00	Margas arenosas
	32,00	Margas arenosas
SM – 3+235	150,00	Margas sanas
	250,00	Margas sanas
	275,00	Margas arenosas – Areniscas margosas
SM – 3+728	165,00	Arenisca margosa
	174,00	Arenisca bien cementada
SM – 5+947	55,00	Calizas fisuradas
	75,00	Dolomías brechoides muy alteradas
SM – 6+193	30,00	Zona de falla
	60,00	Yesos y/o anhidritas
	94,00	Yesos y/o anhidritas
	113,00	Yesos y/o anhidritas
	127,00	Pizarras muy tectonizadas

SM – 6+331	60,00	Calizas dolomíticas brechoides
	80,00	Yesos y/o anhidritas
	108,00	Yesos y/o anhidritas
	119,00	Yesos y/o anhidritas
SM – 6+686	71,00	Yesos y/o anhidritas laminados
	99,00	Yesos y/o anhidritas masivos, brechoides

Tabla 3.4.1 - Ensayos dilatométricos realizados

Asimismo, la interpretación completa de algunos de dichos ensayos queda recogida en el *Anejo II – Ensayos Dilatométricos*.

3.5 PERMEABILIDAD: ENSAYO DE LUGEON

En vistas a la determinación de la permeabilidad de macizo rocoso se establece el empleo del ensayo Lugeon. El fundamento de dicho ensayo consiste en la medición del volumen (V) de agua que se inyecta durante un tiempo (t) en un tramo de sondeo de longitud L y a una presión (H_t). Para ello, el tramo a analizar quedará sellado en la parte superior mediante el empleo de un obturador que junto con un manómetro colocado en la boca del pozo, un contador de agua y una válvula de descarga permiten medir los caudales inyectados a una presión dada.

El ensayo deberá realizarse en 5 estados, en los cuales la presión con la que el agua es inyectada variará entre cada uno de ellos. La presión máxima que podrá utilizarse en el ensayo no deberá exceder la presión de confinamiento esperada a la profundidad de la perforación.

La definición de los 5 estados a utilizar es:

Estado 1	Estado 2	Estado 3	Estado 4	Estado 5	Estado 6	Estado 7
$0,25P_{max}$	$0,5P_{max}$	$0,75P_{max}$	P_{max}	$0,75P_{max}$	$0,5P_{max}$	$0,25P_{max}$

Tabla 3.5.1 - Estados del ensayo Lugeon

Posteriormente, la permeabilidad del macizo rocoso podrá obtenerse mediante la aplicación de la siguiente expresión:

$$k = \frac{Q}{2\pi LH_t} \log_e \left(\frac{L}{r} \right)$$

donde:

$k \rightarrow$ Permeabilidad

$Q \rightarrow$ Velocidad constante del flujo en la perforación

$L \rightarrow$ Longitud del tramo ensayado.

$H_t \rightarrow$ Presión de sobrecarga a la profundidad del ensayo/peso específico del agua.

$r \rightarrow$ Radio de la perforación de prueba.

En la presente campaña de campo, en una primera fase, se prevé la realización de un total de 42 ensayos de permeabilidad en los sondeos previamente ejecutados. La ubicación de los mismos queda detallada en el Plano 3.1 – *Perfil geotécnico*. Una vez interpretados los resultados, si fuera necesario, se procedería a la realización de ensayos adicionales en aquellas zonas cuyas características de permeabilidad no hubieran quedado caracterizadas en primera instancia.

Sondeo	Profundidad (m)		Sondeo	Profundidad (m)		Sondeo	Profundidad (m)
SM – 0+277	25,00 – 30,00		SM – 3+728	115,00 – 120,00		SM – 6+070	40,00 – 45,00
SM – 0+770	60,00 – 65,00		SM – 3+728	146,60 – 151,60		SM – 6+070	70,45 – 75,45
SM – 0+770	76,00 – 86,00		SM – 3+728	180,00 – 185,00		SM – 6+070	95,00 – 100,00
SM – 0+770	100,00-105,00		SM – 4+961	84,00 – 89,00		SM – 6+193	32,00 – 37,00
SM – 1+016	60,00 – 65,00		SM – 4+961	104,00 – 109,00		SM – 6+193	70,00 – 75,00
SM – 1+016	90,00 – 95,00		SM – 5+207	20,00 – 25,00		SM – 6+193	100,00 – 105,00
SM – 1+016	105,00 – 110,00		SM – 5+207	30,00 – 35,00		SM – 6+193	118,00 – 123,00
SM – 1+509	15,00 – 20,00		SM – 5+207	60,00 – 65,00		SM – 6+193	130,00 – 135,00
SM – 1+756	25,00 – 30,00		SM – 5+207	73,50 – 78,50		SM – 6+331	20,15 – 25,15
SM – 1+756	35,50 – 40,50		SM – 5+207	85,00 – 90,00		SM – 6+331	77,80 – 82,80
SM – 3+235	100,00 – 105,00		SM – 5+454	65,00 – 72,00		SM – 6+331	93,00 – 98,00
SM – 3+235	200,00 -205,00		SM – 5+947	45,00 – 50,00		SM – 6+331	125,00 – 130,00
SM – 3+728	50,45 – 55,45		SM – 5+947	78,00 – 83,00		SM – 6+686	80,00 – 85,00
SM – 3+728	80,70 – 85,70		SM – 6+070	20,25 – 25,25		SM – 6+933	50,00 – 55,00

Tabla 3.5.2 - Relación de ensayos de permeabilidad realizados

La interpretación de los ensayos de permeabilidad correspondientes a las secciones de cálculo estudiadas se pueden encontrar el en *Anejo III – Ensayos de Permeabilidad* del presente documento.



3.6 GEOFÍSICOS

3.6.1 DIAGRAFÍAS GEOFÍSICAS

Las diagráfías geofísicas permiten la obtención clara y precisa de la estructura geológica existente en el área de estudio y, en muchos casos, los parámetros geotécnicos del terreno también. Entre otras cosas, las diagráfías serán empleadas para la obtención del grado de alteración del macizo rocoso, presencia de fallas e información estructural del macizo rocoso en general.

Dentro de las diferentes variantes existentes en relación a la técnica de las diagráfías, se empleará el método sónico de onda completa ya que, además de poder realizar una interpretación cualitativa de las zonas de falla y/o fractura, nos permitirá estimar a través de las velocidades V_p y V_s , los módulos dinámicos de deformación del macizo rocoso.

Se realizarán un total de 21 reconocimientos mediante la técnica de diagráfías a lo largo del túnel. En concreto, éstas se realizarán en cada uno de los sondeos mecánicos recogidos en la presente campaña de investigación geotécnica.

3.6.2 TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA

Esta técnica basada en la medición de la variación de la resistividad del terreno será de aplicación en la caracterización de las zonas de ubicación de los emboquilles.

El procedimiento de análisis se basará en la introducción de una corriente continua de intensidad conocida y el posterior registro, mediante el empleo de unos electrodos impolarizables, de la diferencia de potencial que resulta al atravesar el terreno. Dado que la corriente eléctrica únicamente se transmitirá a través del agua intersticial existente, la resistividad medida en el terreno estará directamente relacionada con el grado de fracturación de la roca. Constituyen de esta manera un sistema muy adecuado también para la detección de fallas y discontinuidades en las proximidades de los emboquilles.

La tomografía eléctrica se empleará para la definición de los perfiles geofísicos de los emboquilles de entrada y salida del túnel según la proyección del eje del mismo, en el terreno natural, en una longitud total mínima de 500 metros, repartida en forma de cruz, por una

parte, hacia el interior y exterior del túnel desde el punto en el que se ha practicado el sondeo vertical de reconocimiento del emboquille y, por otra, transversalmente y a ambos lados de dicho punto. El perfil geofísico se completará mediante la utilización de técnicas sísmicas de refracción.

Siempre que sea posible, se harán coincidir las verticales de los sondeos y las calicatas con las alineaciones de las prospecciones geofísicas. La siguiente imagen muestra un esquema de la ubicación de las prospecciones en las boquillas del túnel.

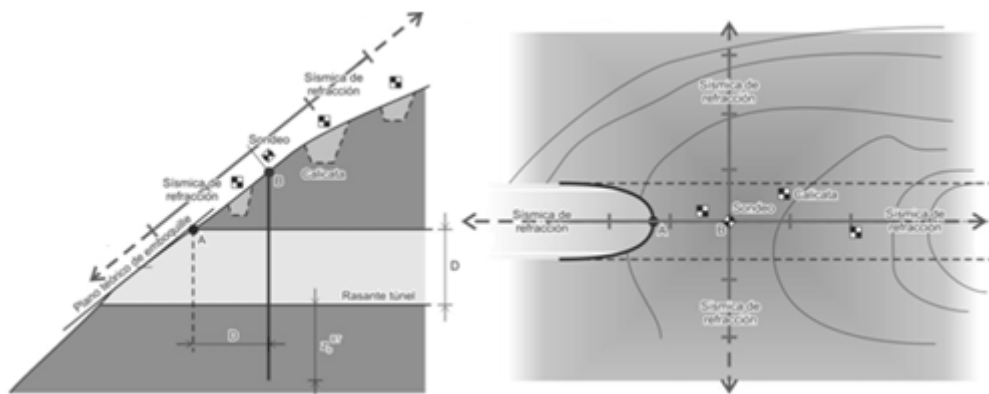


Figura 3.6.1 - Prospección en boquilla de túnel

[Nota de servicio 3/2012 – Recomendaciones sobre la campaña geotécnica en los proyectos de la dirección general de carreteras]

3.6.3 TÉCNICAS SÍSMICAS DE REFRACCIÓN

Las técnicas sísmicas de refracción son de aplicación en geotecnia para la detección de espesores de suelo y mantos de alteración.

El método consiste fundamentalmente en la emisión de una onda sonora compresional desde un punto fijo, denominado punto de tiro, y la recepción por parte de unos geófonos situados a distancias crecientes de dichas ondas. A partir de los tiempos de llegada de las ondas y de las distancias entre los elementos de medición se obtiene la denominada como “dromocrónica” que permite la interpretación del perfil existente.

Las técnicas sísmicas de refracción presentan dos limitaciones fundamentales. Por una parte, es necesario que exista un incremento en profundidad de la velocidad de transmisión del medio rocoso, y por otra parte la profundidad de prospección estará limitada a un máximo de 20 metros aproximadamente. Es por ello por lo que dichas técnicas únicamente serán



empleadas en las zonas de los emboquilles, que es precisamente donde existe una menor cobertura del terreno y donde más interesará conocer las características superficiales del mismo.

Al tratarse de una técnica complementaria a la tomografía eléctrica, el proceso de análisis en campo será similar al empleado con éstas. Así, se analizarán mediante técnicas sísmicas de refracción, por cada emboquille, un total de 1.000 metros repartidos en forma de cruz según el esquema recogido en la figura 6.

3.7 OBSERVACIONES HIDROGEOLÓGICAS

De cara a la completa determinación de las propiedades hidrogeológicas del terreno será necesaria la comprobación de los niveles piezométricos en cada uno de los sondeos realizados que, junto con los resultados obtenidos de los ensayos de permeabilidad, permitirán la caracterización hidrogeológica del terreno de estudio.

Para ello, una vez terminado cada sondeo se introducirá en éste un tubo perforado de PVC de diámetro igual o superior a 50 mm con objeto de determinar el nivel piezométrico medio. A partir de ese momento se realizarán:

- Una lectura tras su instalación.
- Una lectura semanal durante el primer mes, hasta que se verifique la estabilización del nivel de agua.
- Si después del primer se me siguen observando variaciones importantes del nivel del agua, se realizarán lecturas quincenales durante, al menos, dos meses.
- Una vez estabilizado el nivel de agua, se tomarán lecturas a más largo plazo y, como mínimo, las mediciones deberán tener carácter estacional. Es decir, deberán tomarse como mínimo 4 lecturas anuales, coincidiendo con el final de cada una de la estaciones del año.

Los resultados de las lecturas de los niveles piezométricos realizados en los sondeos quedan representados en las fichas de sondeos recogidas en el *Anejo I - Sondeos*.

3.8 ENSAYOS DE LABORATORIO

Las muestras obtenidas en los distintos reconocimientos realizados se prepararán y enviarán al laboratorio para la realización de ensayos de caracterización tanto de suelos como de rocas, según proceda.

3.8.1 ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS

Los ensayos a practicar para la caracterización geotécnica de los suelos pueden agruparse en dos grandes categorías: ensayos de identificación y ensayos de determinación de parámetros resistentes. La preparación de las muestras para cualquier ensayo con suelos se ajustará a la Norma UNE 103 100/95.

En primer lugar, dentro del conjunto de **ensayos de identificación**, se procederá a la realización de los siguientes:

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

El análisis granulométrico permite realizar una clasificación de los suelos en base al tamaño de las partículas que lo componen. Para ello, se empleará un análisis granulométrico por tamizado consistente en hacer pasar una mezcla de suelo, previamente pesada, por una serie de tamices con base de malla de alambre de acero con tamaños de apertura normalizados. Los tamices se colocarán en forma de columna, uno encima de otro, con aperturas decrecientes de arriba abajo. Toda esta columna será introducida en un sacudidor mecánico de tal forma que cuando finalice el proceso se pesarán las partículas recogidas en cada tamiz, dividiendo dicho peso por el peso total inicial de la muestra para obtener así el porcentaje de partículas retenido por cada tamiz.

Dimensión de la partícula elemental (mm)	Atterberg – (Sistema Internacional)
<0,001	Arcilla
<0,002	
0,005	Limo
0,01	
0,02	
0,05	Arena fina
0,1	
0,25	
0,2	
0,5	Arena gruesa
1,0	
2,0	
3,0	Grava fina
5,0	
10,0	Grava
20,0	Grava gruesa y piedras
>20,0	

Tabla 3.8.1 - Clasificación de suelos según su tamaño

Los porcentajes serán posteriormente graficados en un papel con escala horizontal logarítmica para obtener así la curva granulométrica. Una vez obtenida la curva, la clasificación de los suelos en base a la granulometría se realizará en base a lo recogido en la tabla 2. Si fuera



preciso continuar con el análisis se llevarían a cabo análisis de sedimentación para la clasificación de los tipos de limos y separar las arcillas.

El análisis granulométrico de una muestra se realizará cumpliendo con las especificaciones recogidas en la Norma UNE 103 101/95. El *Anejo IV – Granulometría y Límites de Atterberg* recoge un ejemplo de análisis granulométrico correspondiente a la formación Q_{AB} .

LÍMITES DE ATTERBERG

La determinación de los límites de Atterberg permite conocer el contenido de humedad que marca la transición entre los estados líquido, plástico, semisólido y sólido en suelos cohesivos. Los dos límites que se estudiarán son el límite líquido, W_L , que marca la transición del estado líquido al plástico, y el límite plástico, W_p , que marca la transición del estado plástico al semisólido.

Para la determinación del límite líquido se empleará la cuchara de Casagrande que es una cazoleta que por medio de una excéntrica se levanta y se deja caer de golpe sobre la base desde una altura de 1 cm. Para ello se tomará una muestra de suelo que amasada con agua destilada se colocará dentro de la cuchara. Se practica una acanaladura con una espátula normalizada y se comienza a golpear la cuchara contra la base a un ritmo de 2 golpes por segundo. El límite líquido se define como la humedad de la muestra cuando el número de golpes necesario para que se cierre la acanaladura en una longitud de 12 mm es de 25.

El límite plástico se determinará midiendo la humedad de una muestra de suelo mezclada con agua destilada, que pase por el tamiz 0,1 mm, con la que se va moldeando un cilindro de 3 mm de diámetro. El límite plástico vendrá marcado por el contenido en humedad que presente la muestra en el instante en el que, al intentar moldearlo, se quiebre.

De la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico se obtiene el índice de plasticidad, I_p , parámetro que junto con el límite plástico permitirá la definición del gráfico de plasticidad de Casagrande con el que obtener la clasificación del suelo en función del contenido en finos y la plasticidad.



Los ensayos para la determinación de los límites de Atterberg se realizarán conforme a las normas UNE 103 103/94103 y 103 104/93.

PESO ESPECÍFICO Y HUMEDAD

El peso específico (γ) se refiere al peso específico (peso por unidad de volumen) de la mezcla de las partículas sólidas del suelo y del agua y aire que contienen sus poros. Su determinación se realizará conforme a la norma UNE 103 302/94.

La Humedad (w) es el peso del agua contenida en el suelo dividida por el peso del suelo seco. Su determinación se realizará conforme a la norma UNE 103 300/93.

Determinados el peso específico y la humedad de los suelos es posible obtener otros parámetros como la porosidad, el índice de poros, etc. mediante las siguientes relaciones:

Parámetro	Formulación
<i>Peso específico de las partículas sólidas</i>	$\gamma_s = \frac{\gamma}{1 - w \left(\frac{\gamma}{\gamma_w} - 1 \right)}$
<i>Porosidad</i>	$n = \frac{\gamma}{1 + w}$
<i>Índice de poros</i>	$e = \frac{\gamma}{\gamma_w + \frac{\gamma_w}{w} - \gamma}$

Tabla 3.8.2 - Parámetros de caracterización de suelos

En segundo lugar, dentro del conjunto de **ensayos de determinación de parámetros resistentes**, se procederá a la realización de los siguientes:

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE

Se empleará en la determinación de la resistencia a compresión simple (q_u) de las muestras de suelos cohesivos. En el ensayo se medirán las deformaciones mediante un Transformador Diferencial de Variación Lineal (LVDT), que permitirá determinar el módulo de deformación sin drenaje (E_u) del suelo. En base al valor de la resistencia a compresión simple obtenido se procederá a la clasificación de las arcillas según su consistencia:



Consistencia	Resistencia a compresión simple (kPa)
Muy blanda	25
Blanda	25 - 50
Media	50 - 100
Firme	100 - 200
Muy firme	200 - 400
Dura	400

Tabla 3.8.3 - Consistencia de las arcillas (Terzaghi y Peck, 1955)

El ensayo de compresión simple se realizará conforme a la norma UNE 103 400/93.

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

El ensayo de corte directo en suelos se empleará para la determinación de la cohesión (c), el ángulo de rozamiento interno (Φ) y el ángulo de dilatación (ψ) de las muestras sometidas a esfuerzo cortante. Para la realización del ensayo se emplearán los quipos de corte directo. El ensayo deberá realizarse sobre tres probetas de una misma muestra, aplicando a cada una de ellas una presión normal distinta. El ensayo de corte directo se realiza en la modalidad de Consolidado – Drenado (CD).

ENSAYO TRIAXIAL

El ensayo triaxial se empleará de forma complementaria al ensayo de corte directo para la obtención de la cohesión y el ángulo de rozamiento, así como del ángulo de dilatación y el módulo de elasticidad del suelo.

El ensayo se realizará conforme a la norma UNE 103 400/93.

ENSAYO DE LAMBE

El ensayo de Lambe se llevará a cabo para la evaluación de la susceptibilidad de los suelos al hinchamiento y a la retracción. Constituye un ensayo de identificación que deberá realizarse con muestras alteradas de los suelos objeto de estudio, siguiendo las directrices establecidas en la norma UNE 103 403.



3.8.2 ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DE ROCAS

Los ensayos a practicar para la caracterización geotécnica de rocas pueden agruparse en tres grandes categorías: ensayos de identificación, ensayos mecánicos y otros ensayos.

En primer lugar, dentro del conjunto de **ensayos de identificación**, se procederá a la realización de los siguientes:

ANÁLISIS DE LA PETROLOGÍA Y MINERALOGÍA

Se procederá, en primera instancia, a la descripción de la textura y la composición mineralógica de la roca a través de un estudio físico. A continuación, se realizará un análisis microscópico sobre secciones de espesor mínimo obteniendo de esta manera la forma de los cristales constituyentes así como la relación entre los distintos minerales y su microestructura.

El análisis petrográfico mediante lámina delgada se realizará en base a lo establecido en la norma NVR-3-4-00. El *Anejo V – Petrología y mineralogía* recoge ejemplos correspondientes al proyecto real de lo que debería ser un análisis de este tipo.

A continuación, dentro del conjunto de **ensayos mecánicos**, se procederá a la realización de los siguientes:

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE

El ensayo de compresión simple permite determinar en laboratorio la resistencia uniaxial no confinada de la roca mediante la aplicación gradual de una fuerza axial a un cilindro de roca, hasta que se produce su rotura, obteniendo así la denominada resistencia a compresión simple de la roca.

Este parámetro de caracterización del macizo rocoso resultará fundamental en el dimensionamiento del túnel ya que, como se verá más adelante, constituye uno de los parámetros de entrada a emplear en el análisis numérico de las secciones de cálculo recogido en el Capítulo 4 del presente documento.



Los ensayos de carga puntual se realizarán con bandas extensométricas para la medida de la deformación experimentada por la probeta, pudiendo obtener de esta manera tanto del módulo de elasticidad como el coeficiente de Poisson del material analizado.

El desarrollo del ensayo de compresión simple quedará regulado por la norma ASTM D-3148. Los resultados de algunos de los materiales ensayados quedan recogidos en el *Anejo VI – Ensayo de compresión simple en rocas*.

ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA – ENSAYO BRASILEÑO

El ensayo brasileño se empleará en la determinación de la resistencia a tracción indirecta de los testigos cilíndricos extraídos de los sondeos. Para ello, se aplicará una fuerza de compresión en una banda estrecha en toda su longitud, resultando así en una fuerza de tracción ortogonal que produce la rotura del testigo.

El desarrollo del ensayo quedará regulado por la norma UNE 22950.2/90.

ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL

El ensayo de compresión triaxial se efectuará a fin de obtener la envolvente de resistencia del material rocoso a partir de la cual se deducirán sus parámetros resistentes: la cohesión (c) y ángulo de fricción (Φ) de la roca.

El ensayo se realizará conforme a la norma UNE 22950.4/92. Algunos resultados quedan recogidos en el *Anejo VII – Ensayo de compresión triaxial*.

ENSAYO DE CORTE SOBRE DISCONTINUIDADES

La resistencia al corte es un factor fundamental que se debe considerar en el estudio de las propiedades mecánicas de las discontinuidades presentes en el macizo rocoso. Para la realización de este ensayo se procederá a la obtención de las tensiones normales y tangenciales mediante un ensayo de corte directo.

El ensayo se realizará en base a los criterios establecidos por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM).

ÍNDICE DE DUREZA DE SCHIMAZEK

El índice de dureza Schimazek permitirá la estimación y valoración del desgaste de los cabezales de los equipos de perforación y excavación empleados. Su determinación se realizará a partir de la caracterización de la roca, mediante lámina delgada, obteniendo el porcentaje de cuarzo y otros minerales abrasivos junto con el tamaño de grano y su resistencia a la tracción, en base al análisis realizado sobre la muestra objeto de estudio.

El ensayo se realizará conforme a la norma IT 5450. Resultados en el *Anejo VIII – Índice de dureza de Schimazek*.

ENSAYO DE ABRASIVIDAD CERCHAR (CAI)

El objeto fundamental del ensayo CAI es la determinación de la abrasividad de las formaciones rocosas y su posterior clasificación, de forma consecuente. El ensayo se basa en el análisis de la hendidura troncocónica generada sobre la superficie de la muestra al aplicar, mediante un punzón, una presión sobre la misma. Sobre cada muestra y en la misma superficie se realizarán un total de 5 hendiduras, obteniéndose el valor del índice de abrasividad como el valor medio de cada una de las mediciones.

La clasificación de las rocas según su Índice de Abrasividad Cerchar es la siguiente:

Clasificación	CAI	Tipo de Roca
<i>Extremadamente abrasiva</i>	> 4,50	Gneiss, pegmatita, granito
<i>Muy abrasiva</i>	4,25 – 4,50	Anfibolita, granito
<i>Abrasiva</i>	4,00 – 4,25	Granito, gneiss, esquistos, piroxenita, arenisca
<i>Moderadamente abrasiva</i>	3,50 – 4,00	Arenisca
<i>Abrasividad media</i>	2,50 – 3,50	Gneiss, granito, dolerita
<i>Poco abrasiva</i>	1,20 – 2,50	Arenisca
<i>Muy poco abrasiva</i>	< 1,20	Caliza

Tabla 3.8.4 - Clasificación de rocas según CAI

El ensayo se realizará conforme a la norma NF P94-430-1:2000.

3.8.3 RELACIÓN DE ENSAYOS A REALIZAR

A continuación se recoge la relación y número de los ensayos previstos para la caracterización de las formaciones del túnel:



Ensayos de caracterización de rocas	
Análisis de petrología y mineralogía	15
Ensayo de carga puntual	45
Ensayo de compresión simple	54
Ensayo de tracción indirecta - Ensayo brasileño	27
Ensayo de compresión triaxial	30
Ensayo de corte sobre discontinuidades	60
Índice de dureza Schimazek	21
Ensayo de Abrasividad Cerchar	21

Tabla 3.8.5 - Relación de ensayos de caracterización de rocas

Ensayos de caracterización de suelos	
Análisis granulométricos	15
Límites de Atterberg	15
Peso específico y humedad	15
Ensayo de compresión simple	21
Ensayo de corte directo	30
Ensayo triaxial	30
Ensayo de lambe	15

Tabla 3.8.6 - Relación de ensayos de caracterización de suelos



CAPÍTULO 4

CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DEL TERRENO

4.1 INTRODUCCIÓN

Una vez desarrollada la campaña de campo y los correspondientes ensayos de caracterización llevados a cabo en el laboratorio, es posible realizar una descripción más detallada de las características geotécnicas del terreno en el que se ejecutará el túnel de Sorbas. Con todo ello, a continuación se ofrece una descripción más detallada de las características de los distintos materiales.

4.2 TRAMIFICACIÓN GEOTÉCNICA DEL TRAZADO

En base a la información obtenida a partir de la campaña de campo es posible realizar una tramificación geotécnica de los materiales que serán atravesados por el túnel durante su ejecución.

Los principales tipos de comportamiento geotécnico que pueden darse en los terrenos afectados por la excavación de túneles son los siguientes:

Tipo	Descripción
<i>Incompetente</i>	Macizo rocoso fracturado y/o plastificado, que requiere sostenimiento para garantizar su estabilidad.
<i>Desmoronamiento</i>	Desprendimiento de material granular o pequeñas lajas en zonas de fallas secas y cizalladas.
<i>Fluencia</i>	Gran deformación que ocurre alrededor de un túnel causada por tensiones que superan la resistencia a esfuerzo cortante.

Tabla 4.2.1 - Tipos principales de comportamiento geotécnico

SUBTRAMO 0+000 – 0+100

Este subtramo corresponde a la zona de desmonte situada antes de la boca norte del túnel.

El material a desmontar es Q_{ab} (abanico aluvial: bloques, gravas, arenas y limos) y T_{SA} (arenisca margosa y marga arcillosa). Las propiedades de los aluviales son:

Característica	Valor
<i>Densidad aparente</i>	16,80 kN/m ³
<i>Módulo de Deformación, E</i>	48,5 MPa
<i>Coefficiente de Poisson, ν</i>	0,30

Tabla 4.2.2 - Características de la formación Q_{AB}

SUBTRAMO 0+100 – 0+153

Este subtramo corresponde al falso túnel artificial de entrada en el Túnel de Sorbas.

El material atravesado en este subtramo es T_{SA} (arenisca margosa y marga arcillosa), cuyas propiedades son:

Característica	Valor
Densidad aparente	21,60 kN/m ³
Resistencia a compresión simple	9,58 MPa
Módulo de Deformación, E	1.729 MPa
Coefficiente de Poisson, ν	0,29
RQD	45%
RMR (máx – min- medio)	57 – 35 - 44
Fracturación (Dir. Buz/Buz)	S0 333°/14°; J1 175°/73° ; J2 341°/72° ; J3 204°/74° ; J4 91°/74°
Comportamiento geotécnico	Incompetente

Tabla 4.2.3 - Características de la formación T_{SA}

SUBTRAMO 0+153 – 0+189

Este subtramo corresponde al Túnel de Sorbas.

El material atravesado en este subtramo es T_{SA} (arenisca margosa y marga arcillosa), cuyas propiedades se han dado anteriormente.

SUBTRAMO 0+189 – 0+241

Este subtramo corresponde al Túnel de Sorbas.

El material atravesado en este subtramo es T_{SB} (conglomerado poligénico y polimíctico), cuyas propiedades son:

Característica	Valor
Resistencia a compresión simple	1,91 MPa
Módulo de Deformación, E	3.000 MPa
Coefficiente de Poisson, ν	0,30
RQD	75%
RMR (máx – min- medio)	55 – 41 - 48
Fracturación (Dir. Buz/Buz)	S0 333°/30°; J2 341°/50°
Comportamiento geotécnico	Incompetente

Tabla 4.2.4 - Características de la formación T_{SB}

SUBTRAMO 0+241 – 0+366

Este subtramo corresponde al Túnel de Sorbas.



El material atravesado en este subtramo es T_{IA2} (areniscas margosas y margas arenosas), cuyas propiedades son:

Característica	Valor
Resistencia a compresión simple	11,70 MPa
Módulo de Deformación, E	4.513 MPa
Coeficiente de Poisson, ν	0,24
RQD	75%
RMR (máx – min- medio)	48 – 37 - 43
Fracturación (Dir. Buz/Buz)	S0 333°/29°; J2 341°/77°
Comportamiento geotécnico	Incompetente

Tabla 4.2.5 - Características de la formación T_{IA2}

SUBTRAMO 0+366 – 0+500

Este subtramo corresponde al Túnel de Sorbas.

El material atravesado en este subtramo es T_{SA} (arenisca margosa y marga arcillosa), cuyas propiedades se han dado anteriormente.

SUBTRAMO 0+500 – 0+553

Este subtramo corresponde al Túnel de Sorbas.

El material atravesado en este subtramo es T_{SB} (conglomerado poligénico y polimíctico), cuyas propiedades se han dado anteriormente.

SUBTRAMO 0+553 – 0+614

Este subtramo corresponde al Túnel de Sorbas.

El material atravesado en este subtramo es T_{SA} (arenisca margosa y marga arcillosa), cuyas propiedades se han dado anteriormente.

Dentro de este subtramo se prevé la presencia de una zona de falla, en el entorno del PK 0+556, con una caja de falla estimada de 14 metros. Las características del material en estas zonas son:

Característica	Valor
RQD	< 25%
RMR (máx – min- medio)	< 25
Comportamiento geotécnico	Desmoronamiento

Tabla 4.2.6 - Características de las zonas de falla



SUBTRAMO 0+614 – 0+772

Este subtramo corresponde al Túnel de Sorbas.

El material atravesado en este subtramo es T_{SB} (conglomerado poligénico y polimíctico), cuyas propiedades se han dado anteriormente.

SUBTRAMO 0+772 – 0+845

Este subtramo corresponde al Túnel de Sorbas.

El material atravesado en este subtramo es T_{IA2} (areniscas margosas y margas arenosas), cuyas propiedades se han dado anteriormente.

SUBTRAMO 0+845 – 0+904

Este subtramo corresponde al Túnel de Sorbas.

El material atravesado en este subtramo es T_{SB} (conglomerado poligénico y polimíctico), cuyas propiedades se han dado anteriormente.

Dentro de este subtramo se prevé la presencia de una zona de falla, en el entorno del PK 0+850, con una caja de falla estimada de 10 metros. Las características del material en estas zonas son las detalladas con anterioridad.

SUBTRAMO 0+904 – 0+962

Este subtramo corresponde al Túnel de Sorbas.

El material atravesado en este subtramo es T_{IA2} (areniscas margosas y margas arenosas), cuyas propiedades se han dado anteriormente.

SUBTRAMO 0+962 – 1+028

Este subtramo corresponde al Túnel de Sorbas.

El material atravesado en este subtramo es T_{SB} (conglomerado poligénico y polimíctico), cuyas propiedades se han dado anteriormente.



SUBTRAMO 1+028 – 1+047

Este subtramo corresponde al Túnel de Sorbas.

El material atravesado en este subtramo es T_{IA2} (areniscas margosas y margas arenosas), cuyas propiedades se han dado anteriormente.

SUBTRAMO 1+047 – 1+065

Este subtramo corresponde al Túnel de Sorbas.

El material atravesado en este subtramo es T_{SA} (arenisca margosa y marga arcillosa), cuyas propiedades se han dado anteriormente.

SUBTRAMO 1+065 – 1+492

Este subtramo corresponde al Túnel de Sorbas.

El material atravesado en este subtramo es T_{SB} (conglomerado poligénico y polimíctico), cuyas propiedades se han dado anteriormente.

Dentro de este subtramo se prevé la presencia de una zona de falla, en el entorno del PK 1+476, con una caja de falla estimada de 5 metros. Las características del material en estas zonas son las detalladas con anterioridad.

SUBTRAMO 1+492 – 1+662

Este subtramo corresponde al Túnel de Sorbas.

El material atravesado en este subtramo es T_{SCG} (conglomerados y areniscas groseras), cuyas propiedades son:

Característica	Valor
Resistencia a compresión simple	5,39 MPa
Módulo de Deformación, E	3.148 MPa
Coefficiente de Poisson, ν	0,23
RQD	85%
RMR (máx – min- medio)	61-37-47
Fracturación (Dir. Buz/Buz)	S0 132°/28°; J1 130°/71° ; J2 234°/83° ; J3 204°/72° ; J4 267°/77°
Comportamiento geotécnico	Incompetente

Tabla 4.2.7 - Características de la formación T_{SCG}



Dentro de este subtramo se prevé la presencia de tres zonas de falla, en el entorno de los PK 1+543, 1+590 y 1+641, con una caja de falla estimada de 5 metros cada una. Las características del material en estas zonas son las detalladas con anterioridad.

SUBTRAMO 1+662 – 1+777

Este subtramo corresponde al Túnel de Sorbas.

El material atravesado en este subtramo es T_{IAZ} (areniscas margosas y margas arenosas), cuyas propiedades se han dado anteriormente.

SUBTRAMO 1+777 – 1+914

Este subtramo corresponde al Túnel de Sorbas.

El material atravesado en este subtramo es T_{SCG} (conglomerados y areniscas groseras), cuyas propiedades se han dado anteriormente.

SUBTRAMO 1+914 – 2+194

Este subtramo corresponde al Túnel de Sorbas.

El material atravesado en este subtramo es T_{SA} (arenisca margosa y marga arcillosa), cuyas propiedades se han dado anteriormente.

Dentro de este subtramo se prevé la presencia de una zona de falla, en el entorno del PK 2+046, con una caja de falla estimada de 14 metros. Las características del material en estas zonas son las detalladas con anterioridad.

SUBTRAMO 2+194 – 2+252

Este subtramo corresponde al Túnel de Sorbas.

El material atravesado en este subtramo es T_{SCG} (conglomerados y areniscas groseras), cuyas propiedades se han dado anteriormente.



SUBTRAMO 2+252 – 3+068

Este subtramo corresponde al Túnel de Sorbas.

El material atravesado en este subtramo es T_{SA} (arenisca margosa y marga arcillosa), cuyas propiedades se han dado anteriormente.

Dentro de este subtramo se prevé la presencia de tres zonas de falla, en el entorno de los PK 2+296, 2+509 y 3+033 con una caja de falla estimada de 20, 4 y 18 metros, respectivamente. Las características del material en estas zonas son las detalladas con anterioridad.

SUBTRAMO 3+068 – 3+215

Este subtramo corresponde al Túnel de Sorbas.

El material atravesado en este subtramo es T_{SCG} (conglomerados y areniscas groseras), cuyas propiedades se han dado anteriormente.

SUBTRAMO 3+215 – 3+266

Este subtramo corresponde al Túnel de Sorbas.

El material atravesado en este subtramo es T_{SA} (arenisca margosa y marga arcillosa), cuyas propiedades se han dado anteriormente.

SUBTRAMO 3+266 – 5+002

Este subtramo corresponde al Túnel de Sorbas.

El material atravesado en este subtramo es T_{SCG} (conglomerados y areniscas groseras), cuyas propiedades se han dado anteriormente.

Dentro de este subtramo se prevé la presencia de tres zonas de falla, en el entorno de los PK 3+600, 4+205 y 4+773 con una caja de falla estimada de 20, 12 y 12 metros, respectivamente. Las características del material en estas zonas son las detalladas con anterioridad.

SUBTRAMO 5+002 – 5+164

Este subtramo corresponde al Túnel de Sorbas.

El material atravesado en este subtramo es T_{IA2} (areniscas margosas y margas arenosas), cuyas propiedades se han dado anteriormente.

SUBTRAMO 5+164 – 5+528

Este subtramo corresponde al Túnel de Sorbas.

El material atravesado en este subtramo es T_{IC} (conglomerados y areniscas), cuyas propiedades son:

Característica	Valor
Resistencia a compresión simple	14,42 MPa
Módulo de Deformación, E	4.421 MPa
Coeficiente de Poisson, ν	0,27
RQD	85%
RMR (máx – min- medio)	49 – 44 - 48
Fracturación (Dir. Buz/Buz)	S0 6°/29°; J1 38°/79° ; J2 22°/77°
Comportamiento geotécnico	Incompetente

Tabla 4.2.8 - Características de la formación T_{IC}

SUBTRAMO 5+528 – 5+868

Este subtramo corresponde al Túnel de Sorbas.

El material atravesado en este subtramo es T_{IA1} (areniscas margosas y margas arenosas), cuyas propiedades son:

Característica	Valor
Resistencia a compresión simple	11,70 MPa
Módulo de Deformación, E	4.513 MPa
Coeficiente de Poisson, ν	0,24
RQD	75%
RMR (máx – min- medio)	48 – 37 - 43
Fracturación (Dir. Buz/Buz)	S0 6°/29°; J1 38°/79° ; J2 22°/77°
Comportamiento geotécnico	Incompetente

Tabla 4.2.9 - Características de la formación T_{IA1}

SUBTRAMO 5+868 – 5+921

Este subtramo corresponde al Túnel de Sorbas.

El material atravesado en este subtramo es B_{MC} (conglomerados con calcarenitas y dolomías), cuyas propiedades son:



Característica	Valor
Resistencia a compresión simple	12,32 MPa
Módulo de Deformación, E	4.928 MPa
Coeficiente de Poisson, ν	0,30
RQD	70%
RMR (máx – min- medio)	62 – 41 - 53
Fracturación (Dir. Buz/Buz)	S0 306°/47°; J1 122°/45° ; J2 70°/39°
Comportamiento geotécnico	Incompetente

Tabla 4.2.10 - Características de la formación B_{MC}

SUBTRAMO 5+921 – 5+947

Este subtramo corresponde al Túnel de Sorbas.

El material atravesado en este subtramo es B_C (calizas micríticas brechoides), cuyas propiedades son:

Característica	Valor
Resistencia a compresión simple	25,65 MPa
Módulo de Deformación, E	25.389 MPa
Coeficiente de Poisson, ν	0,22
RQD	75%
RMR (máx – min- medio)	58 – 45 - 53
Fracturación (Dir. Buz/Buz)	S0 306°/47°; J1 122°/45° ; J2 70°/39°
Comportamiento geotécnico	Incompetente

Tabla 4.2.11 - Características de la formación B_C

SUBTRAMO 5+947 – 5+993

Este subtramo corresponde al Túnel de Sorbas.

El material atravesado en este subtramo es D_M (dolomías), cuyas propiedades son:

Característica	Valor
Resistencia a compresión simple	48,31 MPa
Módulo de Deformación, E	68.612 MPa
Coeficiente de Poisson, ν	0,28
RQD	10%
RMR (máx – min- medio)	33 – 36 - 30
Fracturación (Dir. Buz/Buz)	S1 306°/47°; J1 122°/45° ; J2 70°/39°
Comportamiento geotécnico	Incompetente

Tabla 4.2.12 - Características de la formación D_M

SUBTRAMO 5+993 – 6+177

Este subtramo corresponde al Túnel de Sorbas.

El material atravesado en este subtramo es Y_{DM} (yesos con dolomías), cuyas propiedades son:

Característica	Valor
Resistencia a compresión simple	12,69 – 28,46 MPa
Módulo de Deformación, E	27.137 MPa
Coeficiente de Poisson, ν	0,31
RQD	85%
RMR (máx – min- medio)	57 – 43 - 50
Fracturación (Dir. Buz/Buz)	S1 306°/47°; J1 122°/45° ; J2 70°/39°
Comportamiento geotécnico	Incompetente - Hinchamiento

Tabla 4.2.13 - Características de la formación Y_{DM}

Dentro de este subtramo se prevé la presencia de una zona de falla, en el entorno del PK 6+053, con una caja de falla estimada de 8 metros. Las características del material en estas zonas son las detalladas con anterioridad.

SUBTRAMO 6+177 – 6+255

Este subtramo corresponde al Túnel de Sorbas.

El material atravesado en este subtramo es P_M (pizarras violáceas – cataclasitas), cuyas propiedades son:

Característica	Valor
Resistencia a compresión simple	1,95 MPa
Módulo de Deformación, E	487,5 MPa
Coeficiente de Poisson, ν	0,33
RQD	35%
RMR (máx – min- medio)	46 – 38 - 42
Fracturación (Dir. Buz/Buz)	S1 306°/47°; J1 122°/45° ; J2 70°/39°
Comportamiento geotécnico	Incompetente

Tabla 4.2.14 - Características de la formación P_M

SUBTRAMO 6+255 – 6+375

Este subtramo corresponde al Túnel de Sorbas.

El material atravesado en este subtramo es Y_{DM} (yesos con dolomías), cuyas propiedades se han dado anteriormente.

Dentro de este subtramo se prevé la presencia de dos zonas de falla, en el entorno de los PK 6+301 y 6+353, con una caja de falla estimada de 6 metros en ambos casos. Las características del material en estas zonas son las detalladas con anterioridad.

SUBTRAMO 6+375 – 6+414

Este subtramo corresponde al Túnel de Sorbas.

El material atravesado en este subtramo es P_M (pizarras violáceas – cataclasitas), cuyas propiedades se han dado anteriormente.

SUBTRAMO 6+414 – 6+513

Este subtramo corresponde al Túnel de Sorbas.

El material atravesado en este subtramo es F_A (filitas grises y violáceas – cataclasitas), cuyas propiedades son:

Característica	Valor
Resistencia a compresión simple	1,95 MPa
Módulo de Deformación, E	487,5 MPa
Coefficiente de Poisson, ν	0,33
RQD	35%
RMR (máx – min- medio)	42 – 32 – 37
Fracturación (Dir. Buz/Buz)	S1 10°/25°; J1 143°/45° ; J2 125°/65°
Comportamiento geotécnico	Incompetente - Fluencia

Tabla 4.2.15 - Características de la formación F_A

SUBTRAMO 6+513 – 6+543

Este subtramo corresponde al Túnel de Sorbas.

El material atravesado en este subtramo es D_A (dolomías brechoides), cuyas propiedades son:

Característica	Valor
Resistencia a compresión simple	48,31 MPa
Módulo de Deformación, E	68.612 MPa
Coefficiente de Poisson, ν	0,28
RQD	35%
RMR (máx – min- medio)	46 – 35 – 41
Fracturación (Dir. Buz/Buz)	S1 10°/25°; J1 143°/45° ; J2 125°/65°
Comportamiento geotécnico	Incompetente

Tabla 4.2.16 - Características de la formación D_A

SUBTRAMO 6+543 – 6+759

Este subtramo corresponde al Túnel de Sorbas.

El material atravesado en este subtramo es YD_A (yesos con dolomías), cuyas propiedades son:

Característica	Valor
Resistencia a compresión simple	12,69 – 28,46 MPa
Módulo de Deformación, E	27.137 MPa
Coefficiente de Poisson, ν	0,31
RQD	95%
RMR (máx – min- medio)	60 – 52 – 56
Fracturación (Dir. Buz/Buz)	S1 10°/25°; J1 143°/45° ; J2 125°/65°
Comportamiento geotécnico	Incompetente - Hinchamiento

Tabla 4.2.17 - Características de la formación YD_A

SUBTRAMO 6+759 – 6+802

Este subtramo corresponde al Túnel de Sorbas.

El material atravesado en este subtramo es D_A (dolomías brechoides), cuyas propiedades se han dado anteriormente.

SUBTRAMO 6+802 – 6+828

Este subtramo corresponde al Túnel de Sorbas.

El material atravesado en este subtramo es YD_A (yesos con dolomías), cuyas propiedades se han dado anteriormente.

SUBTRAMO 6+828 – 6+855

Este subtramo corresponde al Túnel de Sorbas.

El material atravesado en este subtramo es F_A (filitas grises y violáceas – cataclasitas), cuyas propiedades se han dado anteriormente.

SUBTRAMO 6+855 – 7+369

Este subtramo corresponde al Túnel de Sorbas.

El material atravesado en este subtramo es E_{NF} (esquistos negros con cuarcitas), cuyas propiedades son:

Característica	Valor
Resistencia a compresión simple	0,30 MPa
Módulo de Deformación, E	100 MPa
RQD	15-70%
RMR (máx – min- medio)	51-34-43
Fracturación (Dir. Buz/Buz)	S1 42°/47°; J1 115°/82° ; J2 209°/58° ; J3 217°/46°
Comportamiento geotécnico	Incompetente

Tabla 4.2.18 - Características de la formación E_{NF}



Dentro de este subtramo se prevé la presencia de tres zonas de falla, en el entorno de los PK 7+098, 7+235 y 7+351 con una caja de falla estimada de 5 metros en todos los casos. Las características del material en estas zonas son las detalladas con anterioridad.

SUBTRAMO 7+369 – 7+414

Este subtramo corresponde al falso túnel artificial de salida en el Túnel de Sorbas.

El material atravesado en este subtramo es E_{NF} (esquistos negros con cuarcitas), cuyas propiedades se han dado anteriormente.

SUBTRAMO 7+414 – 7+438

Este subtramo corresponde al desmonte de salida en el Túnel de Sorbas.

El material atravesado en este subtramo es E_{NF} (esquistos negros con cuarcitas), cuyas propiedades se han dado anteriormente.

SUBTRAMO 7+438 – 7+630

Este subtramo corresponde al relleno situado a la salida de la boca sur del Túnel de Sorbas.

El material sobre el que se apoya dicho desmonte es E_{NF} (esquistos negros con cuarcitas), cuyas propiedades se han dado anteriormente.

4.3 MÉTODOS CONSTRUCTIVOS Y DE EXCAVACIÓN

Tras analizar las características del terreno y una vez obtenida la caracterización geotécnica de los materiales atravesados por el túnel, es posible la determinación de los métodos constructivos y de excavación que se emplearán para la ejecución del mismo. A continuación se recoge una breve descripción y justificación de los métodos elegidos:

4.3.1 TUNELADORA DE DOBLE ESCUDO

JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

El principal factor por el cual se opta por la excavación del túnel mediante máquina tuneladora es la longitud del mismo, que con 7.216 metros, hace prácticamente imposible el



planteamiento de otro método constructivo, dado que el rendimiento en cualquier alternativa sería significativamente inferior.

Es, precisamente, el rendimiento necesario junto con las características de los materiales de la zona los que justifican la utilización de una tuneladora de doble escudo, garantizando de esta manera un avance más rápido incluso en aquellas zonas con materiales menos competentes. Los suelos, y también muchas rocas blandas suelen presentar problemas de inestabilidad general, que obligan a incorporar al diseño de la tuneladora un sistema integral de sostenimiento. A pesar de que el trazado discurre en su mayoría por formaciones de roca competente en las que no se esperan problemas de inestabilidad general, en las zonas más superficiales, donde la roca puede presentar un mayor grado de alteración, pero sobre todo en las formaciones de los complejos Alpujárride y Maláguide, donde la presencia de fallas es abundante, pueden aparecer situaciones que justifican la utilización de una tuneladora de doble escudo.

Por su parte, la excavación del túnel comenzará desde la boca norte del mismo dado que, además de ser el sentido de avance favorable en relación a la estratificación del terreno, existe una superficie lo suficientemente grande como para constituir el parque de prefabricado y acopio de dovelas.

ASPECTOS GENERALES

Las partes fundamentales de las tuneladoras de doble escudo son:

- **Cabeza de corte:** la cabeza o rueda de corte se encuentra situada en la parte delantera de la máquina y alberga las herramientas de corte. Presenta una ligera conicidad que favorece el proceso de corte, desde el centro hacia la periferia, y además facilita la conducción del escombros hacia los elementos de extracción. Los equipos de corte están constituidos por tallantes, picas y cortadores de disco de giro libre sobre su eje, con un borde cortante continuo. El accionamiento de la cabeza se realiza, por lo general, mediante motores hidráulicos.
- **Grippers:** situados en el escudo de cola, constituyen unas zapatas de anclaje accionadas mediante un sistema hidráulico que, presionando las paredes de la excavación, proporcionan a la máquina el soporte necesario para que los cilindros de empuje principales impulsen hacia delante el escudo de cabeza y la rueda de corte.

- **Erector de dovelas:** situado tras el escudo de cola, permite la colocación de las dovelas que forman el anillo de sostenimiento, permitiendo un avance seguro de la máquina. Adicionalmente, las dovelas se emplearán como elemento de apoyo de los cilindros auxiliares de empuje cuando las características del terreno no permitan la actuación de los grippers.

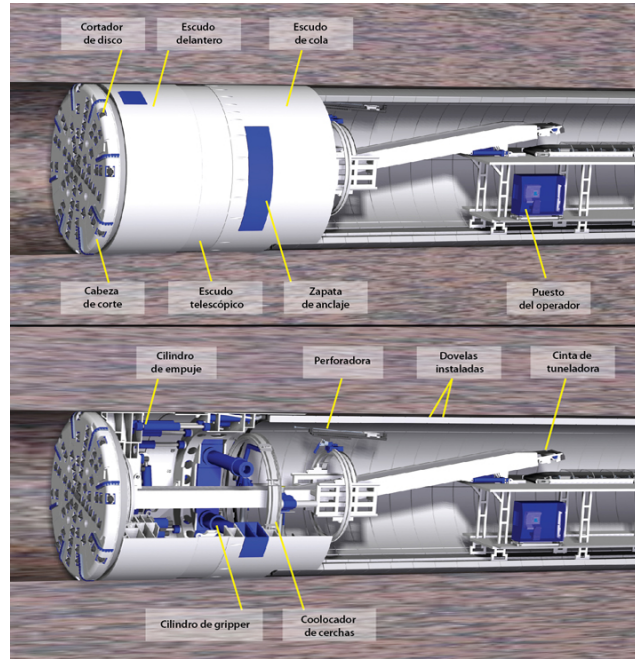


Figura 4.3.1 - Esquema de una tuneladora de doble escudo [The Robbins Company]

En cuanto al **rendimiento** esperable en la excavación, cabe destacar que éste se encuentra fuertemente condicionado por las características de la roca a excavar. Por lo general, el avance de las tuneladoras de doble escudo en terrenos blandos es inferior al avance que se obtiene en la excavación de rocas duras. Esto se debe a que, en terrenos blandos, entre un 35% y un 45% del tiempo del ciclo de avance ha de dedicarse a la colocación del anillo de sostenimiento. Como aproximación, el rendimiento óptimo de la excavación podrá estimarse en 18 metros diarios, lo que equivale a la colocación de 15 anillos de dovelas. Para garantizar el rendimiento óptimo será necesario que las cintas transportadoras utilizadas para la extracción de los escombros así como el suministro de dovelas funcionen correctamente.

Finalmente, en cuanto a las **limitaciones** que puede presentar el procedimiento de excavación mediante tuneladora de doble escudo cabe destacar el desgaste que experimentan los dispositivos de corte como consecuencia de la abrasividad de los materiales a excavar. Para realizar una estimación económica de dicho desgaste se han propuesto una serie de ensayos de laboratorio, tales como el índice de dureza Schimazek y el ensayo de abrasividad Cerchar. Por último destacar que la geometría del túnel no será un condicionante en este caso dadas las exigencias que presenta el trazado de alta velocidad.

4.3.2 NUEVO MÉTODO AUSTRÍACO DE EXCAVACIÓN DE TÚNELES

Al margen del método principal de excavación elegido, será necesario excavar una longitud de aproximadamente 100 metros en cada uno de los extremos del túnel mediante métodos convencionales para que la tuneladora de doble escudo pueda comenzar a operar. Para la ejecución de ambos tramos se opta por el uso de la técnica del Nuevo Método Austríaco de excavación de túneles.

El Nuevo Método Austríaco de excavación de túneles se basa en una técnica de excavación cuidadosa del terreno empleando medios convenientemente seleccionados en base a las características geomecánicas del terreno. De igual manera, se plantea un sistema de ejecución adaptado a las condiciones del terreno, dimensionando de forma consecuente el sostenimiento primario y secundario del túnel. Los tres tipos de sostenimiento primario más habitualmente empleados son los bulones, las cerchas metálicas y el hormigón proyectado o gunita. El sostenimiento secundario se compone de un anillo de hormigón in situ.

La excavación de la sección del túnel se realiza en dos fases principales: el avance, correspondiente a la parte superior de la sección, y la destroza, correspondiente a la parte inferior. A su vez y dependiendo de las características del terreno, tanto el avance como la destroza podrán dividirse en distintas subsecciones. La longitud del pase del avance oscilará entre 1 y 4 metros dependiendo de las características del terreno. Por lo general, las longitudes de los pases de la destroza serán mayores, de entre 8 y 12 metros.

A continuación se muestra un esquema del procedimiento de ejecución tanto de la sección de avance como de la destroza.

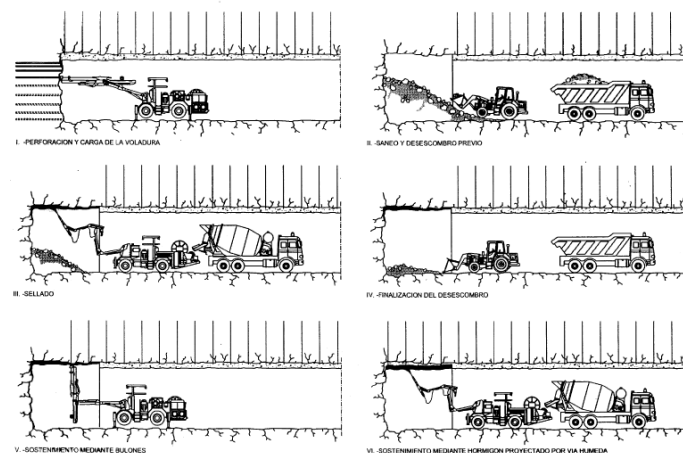


Figura 4.3.2 - Procedimiento de ejecución de la sección de avance

Apuntes de la asignatura G1147 Geotechnical Works

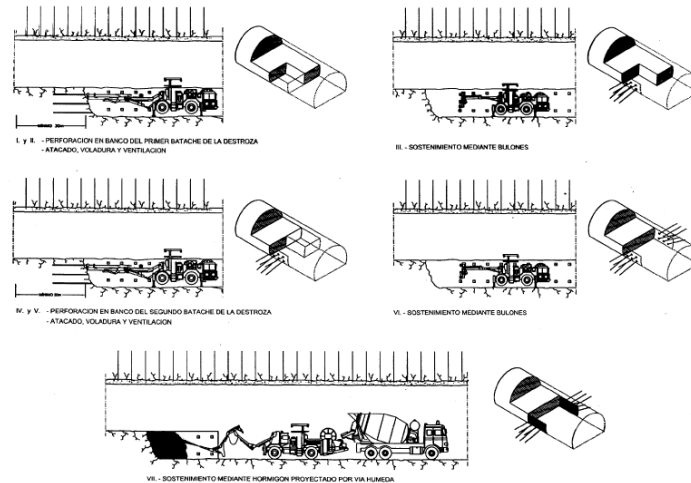


Figura 4.3.3 - Procedimiento de ejecución de la destroza

Apuntes de la asignatura G1147 Geotechnical Works

En el caso del túnel de Sorbas se propone una excavación mediante voladura, dado que no existe riesgo de afección a edificios próximos y debido al mayor rendimiento en la ejecución que ofrece.

4.4 DEFINICIÓN DE LAS SECCIONES DE CÁLCULO

A continuación se procede a la definición de las secciones de cálculo que se analizarán en el proceso de dimensionamiento del túnel. El objetivo es, por un lado, dimensionar el sostenimiento – revestimiento necesario y, por otro lado, obtener los estados tenso-deformacionales que se producirán en el terreno que rodea al túnel, como consecuencia de la construcción del mismo.

En total se analizarán tres secciones de túnel en zonas del terreno que, en función de la caracterización geotécnica realizada, pueden resultar conflictivas.

4.4.1 SECCIÓN DE CÁLCULO 1: PK 0+200

La primera de las secciones de cálculo se ubica en el PK 0+200, al comienzo del túnel desde su extremo norte. La razón por la que ha sido seleccionada esta sección reside en el método constructivo a emplear para la excavación, que se realizará en avance y destroza.



El eje del túnel en esta sección se ubica a la cota 197,00 con lo que la profundidad del mismo asciende a 29,84 metros. Así, la cobertera disponible sobre la clave se reduce a 25,34 metros.

La columna estratigráfica de la sección de cálculo se compone de:

- Una capa superficial de materiales aluviales (arcilla, arenas y grava con cantos redondeados) correspondiente a la formación Q_{AB} y con un espesor de 3,82 metros.
- A continuación, se encuentra una capa de marga arenosa con intercalaciones de arenisca correspondientes a la formación T_{SA} , con un espesor total de 28,71 metros, en la que se ubica la sección del túnel.
- Por debajo de ésta se encuentra una capa de conglomerado polimíctico y poligénico con cantos angulosos en matriz limoso-arenosa pertenecientes a la formación T_{SB} , con un espesor total de 13,72 metros.
- Finalmente, se encuentra una capa de arenisca de grano medio con niveles margosos correspondiente a la formación T_{IA2} , de potencia desconocida.

4.4.2 SECCIÓN DE CÁLCULO 2: PK 1+600

La segunda de las secciones de cálculo se ubica en el PK 1+600. La razón por la que ha sido seleccionada esta sección reside en la reducida cobertera disponible sobre la clave del túnel, siendo, de hecho, la de menor cobertera de todo el trazado. Por lo tanto, el estudio de esta sección resulta de gran interés en vistas a concretar la solución constructiva definitiva a adoptar para el túnel.

El eje del túnel en esta sección se ubica a la cota 204,00 con lo que la profundidad del mismo asciende a 32,40 metros. Considerando un diámetro de perforación de 10 metros, la cobertera disponible sobre la clave se reduce a 27,40 metros.

La columna estratigráfica de la sección de cálculo se compone de:

- Una capa superficial de materiales aluviales (arcilla, arenas y grava con cantos redondeados) correspondientes a la formación Q_{AL} y con un espesor de 0,53 metros.
- A continuación, se encuentra una capa de marga arenosa con intercalaciones de arenisca correspondientes a la formación T_{SA} , con un espesor total de 16,18 metros (profundidad: 0,53 – 16,71).



- Seguidamente, existe una capa de conglomerados polimícticos y poligénicos con algunos niveles de areniscas y margosos, correspondiente a la formación T_{SCG} , con un espesor total de 48,20 metros (profundidad: 16,71 – 64,91). Es en esta formación donde se ubica la sección de cálculo.
- Por debajo de ésta, se ubica una capa de conglomerado polimíctico y poligénico con cantos angulosos en matriz limoso-arenosa pertenecientes a la formación T_{SB} , con una potencia de 36,78 metros (profundidad: 64,91 – 101,69).
- Finalmente, se presenta una capa de arenisca de grano medio con niveles margosos correspondiente a la formación T_{IA2} , de potencia desconocida.

4.4.3 SECCIÓN DE CÁLCULO 3: PK 6+687

La última de las secciones de cálculo se ubica en el PK 6+687. La razón por la que ha sido seleccionada esta sección reside en las características de la formación en la que se ubica, dado que se encuentra en una zona formada por anhidritas en las que resulta interesante, a la vez que fundamental, analizar las consecuencias de la expansividad de las mismas.

El eje del túnel en esta sección se ubica a la cota 264,70 con lo que la profundidad del mismo asciende a 87,02 metros. Considerando un diámetro de perforación de 10 metros, la cobertera disponible sobre la clave se reduce a 82,02 metros.

La columna estratigráfica de la sección de cálculo se compone exclusivamente de yesos y/o anhidritas de colores grisáceos y blanquecinos con distintas intercalaciones de lutitas negras, dolomías, etc., en función de la profundidad.



CAPÍTULO 5

CÁLCULOS Y RESULTADOS



5.1 INTRODUCCIÓN

Tras una detallada caracterización geotécnica del terreno y la correspondiente selección de las secciones del túnel a estudiar, se procede al análisis de las mismas. Para ello, se emplearán varios software en vistas a realizar un análisis tenso deformacional y de equilibrio límite que permitirá, entre otras cosas:

- Dimensionar el sostenimiento del túnel
- Obtener el estado tenso - deformacional del terreno
- Calcular los asentos en superficie
- Identificar riesgos de deslizamientos en los emboquilles
- Calcular coeficientes de seguridad

5.2 ANÁLISIS TENSO DEFORMACIONAL DEL TÚNEL

5.2.1 SOFTWARE PLAXIS

Plaxis es un software geotécnico basado en el método de elementos finitos. En concreto, se ha empleado la versión en dos dimensiones en la que es posible analizar problemas de deformación plana o con simetría axial. El programa utiliza una interfaz gráfica que permite a los usuarios generar rápidamente un modelo geométrico y una malla de elementos finitos basada en una sección transversal representativa del problema que se trate.

La programación de los modelos en el software Plaxis se realiza en base a las siguientes fases:

- **Caracterización del terreno:** en primer lugar se introduce tanto la columna estratigráfica como las características de los terrenos en el que se va a realizar el análisis mediante el empleo de la opción “*borehole*” o sondeo. Como modelo de comportamiento para los materiales tanto de tipo suelo como de tipo roca se empleará Mohr-Coulomb. No obstante, sería posible también el empleo del modelo de Hoek-Brown para los materiales tipo roca.
- **Definición de estructuras:** permite la definición de la geometría del túnel así como del sostenimiento a emplear. Para la definición de las secciones se utilizará la opción de túnel que presenta el programa, en la que permitirá tanto la creación de secciones circulares como de secciones libres así como la

disposición del revestimiento correspondiente. Para la modelización de elementos del sostenimiento tales como hormigón proyectado o dovelas se empleará el elemento “plate” mientras que para los bulones se empleará el elemento tipo “*embedded beam rows*”.

- **Definición de la malla de elementos finitos:** para la definición de la malla se optará por un nivel de detalle fino.
- **Condiciones hidrogeológicas:** dado que no se analizarán flujos e infiltraciones de agua a través de las formaciones, simplemente se establecerá el nivel freático a la profundidad correspondiente para tener en cuenta las presiones de agua en el cálculo.
- **Fases de cálculo:** finalmente se introducen las fases de cálculo, que serán distintas en función de la sección analizada y el método constructivo seleccionado, las cuales se detallarán en el apartado 2.3 – Cálculos.

5.2.2 MODELOS CONSTITUTIVOS Y PARÁMETROS DEL TERRENO

Para el análisis de las secciones de cálculo se emplearán los siguientes modelos de comportamiento del terreno:

MODELO DE MOHR-COULOMB

El modelo de Mohr – Coulomb es uno de los criterios de rotura más habitualmente empleados para suelos. Describe una relación lineal entre las tensiones efectivas principales máximas y mínimas en rotura.

Su formulación puede expresarse de las dos formas siguientes:

$$\frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2} = \cos \phi + \frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2} \sin \phi$$

$$\sigma'_1 = \frac{2c' \cdot \cos \phi'}{1 - \sin \phi'} + \frac{1 + \sin \phi'}{1 - \sin \phi'} \sigma'_3$$

donde c corresponde a la cohesión y ϕ es el ángulo de rozamiento interno.

Los parámetros a introducir en Plaxis para este modelo de comportamiento son los siguientes:

E	Módulo de deformación
ν	Coficiente de Poisson
ϕ	Ángulo de rozamiento interno
c	Cohesión
ψ	Ángulo de dilatación

Tabla 5.2.1 - Parámetros del modelo de Mohr-Coulomb

El modelo de Mohr – Coulomb se empleará en los materiales tipo **suelo** o en aquellos materiales rocosos alterados, como los que presentan las secciones de cálculo a analizar.

MODELO DE HOEK-BROWN

El modelo de Hoek – Brown es un modelo isotrópico, elástico perfecto empleado para macizos rocosos alterados y basado en el criterio de rotura de Hoek – Brown Ed. 2002. Este criterio no lineal y dependiente del estado tensional del macizo, describe la rotura en base a una función continua.

El criterio de Hoek – Brown generalizado responde a la siguiente expresión:

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

donde

σ'_1 y σ'_3 , son las tensiones principales efectivas mayor y menor en el momento de rotura.

σ_{ci} , es la resistencia a compresión uniaxial de la roca sana.

m_b , s y a , son las constantes del material.

Los valores de las constantes del material incluidas en la expresión anterior son:

$$m_b = m_i \cdot \exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D}\right)$$

$$s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D}\right)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left(e^{-GSI/15} - e^{-20/3} \right)$$

donde

m_i , es la constante del criterio de rotura de Hoek – Brown

Por lo tanto, para la calibración del modelo de Hoek - Brown son necesarios los siguientes parámetros del terreno:

E	Módulo de deformación
ν	Coefficiente de Poisson
σ_{ci}	Resistencia a compresión simple
GSI	Geological Strength Index
D	Factor de alteración

Tabla 5.2.2 - Parámetros del modelo de Hoek-Brown

El modelo de Hoek - Brown es habitual en el análisis de materiales tipo **roca**. Cabe la posibilidad, por tanto, de realizar el análisis de las formaciones presentes en las secciones de cálculo mediante el modelo de Hoek - Brown. Sin embargo, en el presente estudio se ha optado por el empleo del modelo de Mohr-Coulomb, a través de una estimación de parámetros equivalentes.

CONVERSIÓN DE HOEK - BROWN A MOHR-COULOMB

En primer lugar es necesario determinar el valor del ángulo de rozamiento interno y la cohesión para cada uno de los macizos rocosos analizados. Según *Hoek et al. (2002)* es necesario ajustar una relación lineal media a la curva generada a partir de la expresión del criterio generalizado de Hoek - Brown. El proceso de ajuste supone equilibrar las áreas por encima y por debajo de la curva de Mohr - Coulomb.

Como resultado de dicho ajuste se obtienen las siguientes expresiones para la estimación del ángulo de rozamiento interno y la cohesión equivalentes.

$$\phi' = \sin^{-1} \left[\frac{6am_b(s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}{2(1+a)(2+a) + 6am_b(s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}} \right]$$

$$c' = \frac{\sigma_{ci}[(1+2a)s + (1-a)m_b\sigma'_{3n}](s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a) \sqrt{1 + \frac{6am_b(s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a)}}}$$

Sustituyendo estos valores en las expresiones definidas en el apartado 2.2.1. se ajusta el modelo de Mohr - Coulomb para macizos rocosos.

PARÁMETROS DEL TERRENO

Como se ha visto, los modelos de Mohr – Coulomb y Hoek – Brown requieren una serie de parámetros del terreno para su calibración. A continuación se recoge el procedimiento de obtención así como el valor de dichos parámetros para cada una de las formaciones presentes en las columnas estratigráficas de las secciones de cálculo definidas en el apartado 3 del Capítulo 3.

Módulo de elasticidad, E

El valor del módulo de elasticidad de cada una de las unidades litológicas presentes en las secciones de cálculo se ha obtenido a partir de la interpretación de los ensayos de compresión simple con bandas extensométricas realizados, contrastando los resultados obtenidos con los módulos obtenidos in situ con los ensayos dilatométricos. Ambos ensayos quedan recogidos en los anejos VI y II, respectivamente.

La siguiente tabla recoge los valores de los módulos de elasticidad considerados para cada una de las litologías en el proceso de cálculo:

Formación	Módulo de deformación de la roca intacta, E (MPa)	Módulo de deformación del macizo rocoso, E (MPa)
T _{SA}	1.729	907
T _{SB}	3.000	635
T _{SCG}	3.148	1.411
T _{IA}	4.513	3.557
Y _{DA}	27.137	3.622
E _{NF}	2.333	610

Tabla 5.2.3 -Módulo de elasticidad de las unidades litológicas

Coeficiente de Poisson, ν

Al igual que el módulo de elasticidad, el valor del coeficiente de Poisson se ha obtenido como resultado de la interpretación de los ensayos de compresión simple con bandas extensométricas realizados.

La siguiente tabla recoge los valores de los coeficientes de Poisson considerados para cada una de las litologías en el proceso de cálculo:

Formación	Coefficiente de Poisson, ν
T _{SA}	0,29
T _{SB}	0,30
T _{SCG}	0,23
T _{IA}	0,24
Y _{DA}	0,31
E _{NF}	0,30

Tabla 5.2.4 - Coeficiente de Poisson de las unidades litológicas

Ángulo de rozamiento interno, ϕ , y Cohesión, c

Los valores del ángulo de rozamiento interno y de la cohesión de los **suelos** se obtendrán a partir de los ensayos de corte directo y ensayos triaxiales realizados sobre las muestras. En caso de no disponer información de los ensayos se recurrirá a la literatura para la estimación de dichos parámetros.

En el caso de los **materiales de tipo roca** se empleará la relación entre los modelos de Hoek-Brown y Mohr-Coulomb recogidos en el apartado 2.2.3. El *Anejo IX – Relación entre los modelos de Hoek – Brown y Mohr – Coulomb*, recoge el procedimiento de obtención de la resistencia cohesiva y el ángulo de fricción del macizo rocoso para las formaciones atravesadas por el túnel en las secciones de cálculo consideradas, es decir, las formaciones T_{SA}, T_{SCG} e Y_{DA}.

A modo de resumen, la siguiente tabla recoge el valor de la cohesión y el ángulo de rozamiento interno de los materiales considerados.

Formación	Cohesión, c (kPa)	Ángulo de rozamiento interno, ϕ (°)
T _{SA}	105	41,8
T _{SCG}	91	36,9
Y _{DA}	382	42,7
Q _{AB}	50	35

Tabla 5.2.5 - Cohesión y ángulo de rozamiento interno de las unidades litológicas

Ángulo de dilatación, ψ

Los valores del ángulo de dilatación a emplear en los materiales tipo suelo se obtendrán a partir de los ensayos de corte directo realizados. En caso de no disponer de mediciones del ángulo de dilatación, se podrá tomar como aproximación el siguiente valor:

$$\psi = \phi - 32^\circ$$



Resistencia a compresión simple de la roca sana, σ_{ci}

El valor de la resistencia a compresión simple de la roca sana se obtiene directamente de los resultados del ensayo de compresión simple con bandas extensométricas realizado con probetas cada una de las unidades litológicas analizadas.

La siguiente tabla recoge los valores de las resistencias consideradas para cada una de las litologías en el proceso de cálculo:

Formación	Resistencia a compresión simple, σ_{ci} (MPa)
T _{SA}	9,58
T _{SB}	1,91
T _{SCG}	5,39
T _{IA}	11,70
Y _{DA}	28,46
E _{NF}	9,33

Tabla 5.2.6 - Resistencia a compresión simple de las unidades litológicas

Geological Strength Index, GSI

El *Geological Strength Index* es un sistema de caracterización cualitativa de macizos rocosos desarrollado con el objetivo de acotar la incertidumbre existente en los parámetros de entrada de los modelos constitutivos con los que trabajan los programas geotécnicos como el Plaxis.

El índice en cuestión se construye a partir de una valoración visual del macizo, analizando la litología, estructura y las condiciones de los planos de discontinuidad que presente el mismo. Así, se consigue tener en consideración la influencia de la geología en las propiedades mecánicas del macizo.

La siguiente tabla recoge el valor del GSI en función de las características del macizo rocoso identificadas (Marinos et al. 2005).

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS (Hoek and Marinos, 2000)		SURFACE CONDITIONS				
From the lithology, structure and surface conditions of the discontinuities, estimate the average value of GSI. Do not try to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic than stating that GSI = 35. Note that the table does not apply to structurally controlled failures. Where weak planar structural planes are present in an unfavourable orientation with respect to the excavation face, these will dominate the rock mass behaviour. The shear strength of surfaces in rocks that are prone to deterioration as a result of changes in moisture content will be reduced if water is present. When working with rocks in the fair to very poor categories, a shift to the right may be made for wet conditions. Water pressure is dealt with by effective stress analysis.		DECREASING SURFACE QUALITY →				
STRUCTURE		VERY GOOD Very rough, fresh unweathered surfaces	GOOD Rough, slightly weathered, iron stained surfaces	FAIR Smooth, moderately weathered and altered surfaces	POOR Stickensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings or angular fragments	VERY POOR Stickensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings
 INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90				N/A	N/A
 BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	80					
 VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets	70					
 BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity	60					
 DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces	50					
 LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes	40					
	30					
	20					
	10					
	N/A	N/A				

Tabla 5.2.7 - Geological Strength Index

Por lo tanto, en base a la información disponible de los sondeos puede establecerse el valor del GSI para cada una de las formaciones presentes en las secciones de cálculo:

Formación	Geological Strength Index, GSI
T _{SA}	40
T _{SB}	40
T _{SCG}	40
T _{IA}	35
Y _{DA}	45
E _{NF}	30

Tabla 5.2.8 - Valores de GSI para las formaciones presentes en las secciones de cálculo

Factor de Alteración, D

El factor de alteración 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 muy alterados.

La estimación del factor de alteración no es una tarea sencilla debido al elevado número de factores que influyen en el grado de alteración del macizo rocoso circundante a una excavación. Sin embargo, a partir de diferentes experiencias y publicaciones ha sido posible el desarrollo de una guía mediante la cual es posible estimar el valor del factor de alteración D teniendo en cuenta, no obstante, que únicamente se trata de valores de referencia para proporcionar un punto de partida del diseño.

En la tabla que se muestra a continuación, extraída de la publicación *Hoek-Brown failure criterion – 2002 Edition*, pueden verse los valores a adoptar para el factor de alteración.

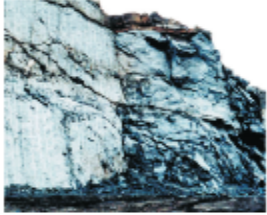
Apariencia del macizo rocoso	Descripción del macizo rocoso	Valor D sugerido
	Excelente calidad de voladura controlada o excavación con tuneladora, TBM, con resultados de alteración mínima del macizo rocoso confinado circundante al túnel	$D = 0$
	Excavación mecánica o manual en macizos rocosos de mala calidad (sin voladuras) con una alteración mínima en el macizo rocoso circundante. Cuando aparezcan problemas de deformación en el piso durante el avance, la alteración puede ser severa a menos que se coloque una contrabóveda temporal, tal como se muestra en la fotografía.	$D = 0$ $D = 0,5$ No invert
	Voladura de muy mala calidad en un túnel en roca competente con daños locales severos, extendiéndose 2 o 3 m en el macizo rocoso circundante.	$D = 0,8$
	Pequeñas voladuras en taludes de ingeniería civil dan lugar a pequeños daños al macizo rocoso, particularmente si se usan voladuras de contorno como se muestra en el lado izquierdo de la fotografía. Sin embargo la liberación de tensiones resulta en alguna alteración.	$D = 0,7$ Good blasting $D = 1,0$ Poor blasting
	Los taludes en las grandes minas a cielo abierto sufren alteraciones significativas debido a las grandes voladuras de producción y también debido a la relajación de tensiones al retirar el estéril de recubrimiento. En algunas rocas blandas la excavación puede llevarse a cabo mediante el ripado y empuje con tractores de orugas y el grado de afección a los taludes será menor.	$D = 1,0$ Production blasting $D = 0,7$ Mechanical excavation

Tabla 5.2.9 - Guía para la determinación del factor de alteración, D



Se considerará, por tanto, un valor del factor de alteración, $D = 0$ dado que en la práctica totalidad del túnel se plantea excavación mediante tuneladora de doble escudo. En las secciones de avance y destroza, en las que se empleará voladura, ésta será de suficiente calidad para garantizar que no se produce una afección significativa al macizo rocoso colindante.

5.2.3 CÁLCULOS

SECCIÓN DE CÁLCULO 1: PK 0+200

Tal y como ha quedado definida en el apartado 3.1 del Capítulo 4, la sección de cálculo 1 constituye una sección en avance y destroza excavada en las formaciones T_{SA} y T_{SB} , constituidas por margas arenosas y conglomerados respectivamente.

Diseño del sostenimiento

El revestimiento adoptado en la presente sección ha sido diseñado en base al valor del índice Q (Barton, 1993) de la formación excavada. Dada la complejidad de obtención de los parámetros empleados para la definición del índice Q , se opta por la utilización de la siguiente fórmula de correlación con el índice RMR de Bieniawski:

$$Q \approx 10^{\frac{(RMR-50)}{15}} \quad (Barton, 1995)$$

Atendiendo a los valores recogidos en las tablas 3.3 y 3.5 del *Capítulo 4 – Caracterización geotécnica del terreno*, los valores del índice RMR para las formaciones T_{SA} y T_{SB} serán 44 y 48, respectivamente. Dichos valores corresponden a los valores medios de la formación.

Aplicando la correlación propuesta por Barton (1995), se obtienen los siguientes valores del índice Q :

$$Q_{T_{SA}} \approx 10^{\frac{(44-50)}{15}} = 0,398$$

$$Q_{T_{SB}} \approx 10^{\frac{(48-50)}{15}} = 0,736$$

Como se ha destacado en el apartado 6 del *Capítulo 1 – Geología del área de estudio*, la actividad sísmica obliga a realizar un diseño sísmico del revestimiento, para lo cual Barton (1984) propone incrementar el valor del parámetro SRF en un 100%, o lo que es igual, reducir el valor del índice Q correspondiente a un diseño estático a la mitad. Siendo así, los valores empleados para el diseño del sostenimiento serán:

$$Q_{TSA} = 0,20 \quad Q_{TSB} = 0,36$$

Según lo recogido en la tabla de sostenimientos basadas en el índice Q desarrollada por Grimstad y Barton (1993), el sostenimiento necesario se compone de una capa de hormigón proyectado reforzado con fibras, de 12 – 15 cm de espesor, y bulones, formando una malla con una separación de 2 metros.

En definitiva, la solución adoptada se compone de una malla de bulones de 4 metros de longitud con una separación de 2 metros, junto con una capa de hormigón proyectado reforzado con fibras de 12 cm de espesor, la cual se colocará en dos fases: 1 primera capa de 5 cm seguida de una segunda capa de 7 cm, proyectada tras la introducción de los bulones.

Relajación del terreno

Entre la excavación del terreno y la colocación del sostenimiento transcurre un tiempo durante el cual el terreno se relaja parcialmente, por lo que el revestimiento únicamente absorberá parte de la presión ejercida por el mismo en la relajación. La obtención de la relajación del terreno es un aspecto muy importante dado que es la manera que tienen los programas de elementos finitos de tener en cuenta los efectos tridimensionales al hacer un cálculo en 2 dimensiones.

Para analizar este fenómeno se empleará la solución propuesta por Kielbassa y Duddeck (1991) y que se muestra en la siguiente figura:

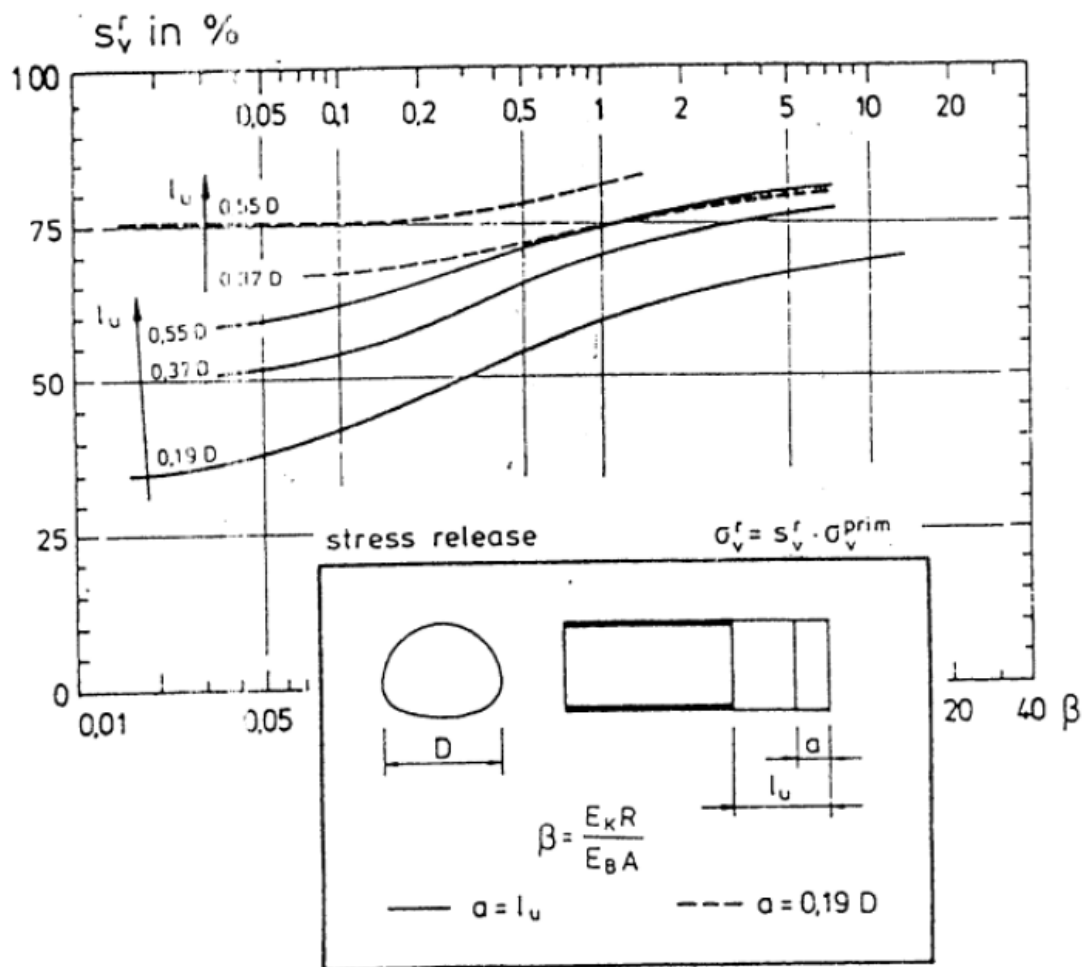


Figura 5.2.1 - Alivio en el frente, Kielbassa y Duddeck (1991)

El valor del coeficiente β será:

$$\beta = \frac{E_{\text{terreno}} \cdot R}{E_{\text{revestimiento}} \cdot A} = \frac{907 \cdot 5}{30891 \cdot 0,12} = 1,22$$

Considerando que la formación presenta un RMR medio de 44, atendiendo a las recomendaciones realizadas por Romana (2000), podemos asumir una longitud de pase de avance de 2 metros, la cual deberá únicamente ser considerada en el presente proyecto a título orientativo y que deberá ser verificada in situ por el geólogo y el facultativo de minas correspondiente.

Por lo tanto, tendremos que:

$$l_u = 2 \text{ metros} \rightarrow \text{Lo que equivale a } 0,20D$$

Entrando en la gráfica con los datos obtenidos anteriormente, se llega a una relajación del 60% desde que se excava hasta que se coloca el sostenimiento.

Geometría de la sección

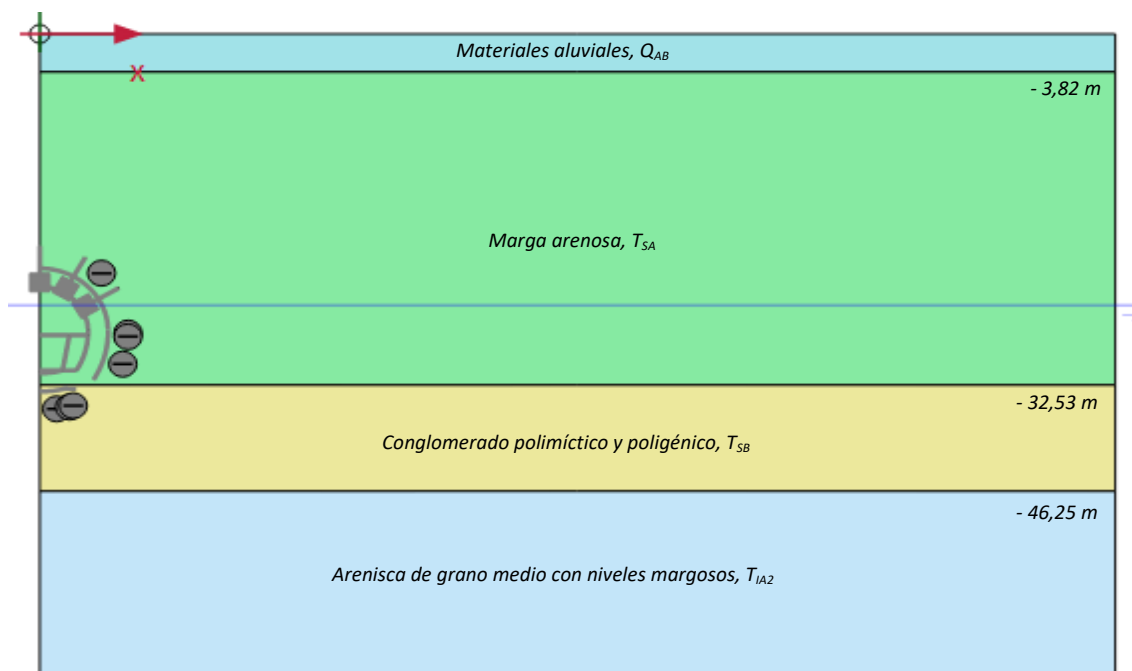


Figura 5.2.2 - Geometría de la sección de cálculo 1

La geometría de la sección de cálculo introducida en el software Plaxis se muestra en la imagen superior. La descripción de la misma coincide con la proporcionada en el apartado 4.4.1 del capítulo 4 del presente documento. Se hace uso de la simetría a fin de optimizar los cálculos desde el punto de vista computacional.

Simulación del proceso constructivo

La simulación del proceso constructivo se realiza teniendo en cuenta el procedimiento de excavación por fases que implica el Nuevo Método Austríaco. Las fases del cálculo son las siguientes:

Fase inicial	Cálculo de las tensiones debidas al peso propio.
Fase 1	Excavación del avance.
Fase 2	Activación del revestimiento de hormigón proyectado correspondiente a la sección de avance.
Fase 3	Instalación de la malla de bulones en la bóveda.
Fase 4	Excavación de la zona central de la destroza.
Fase 5	Excavación del hastial derecho.
Fase 6	Activación del revestimiento de hormigón proyectado del hastial derecho.
Fase 7	Excavación de la contrabóveda.
Fase 8	Activación del revestimiento de hormigón proyectado de la contrabóveda.

Figura 5.2.3 - Fases de cálculo de la sección de cálculo 1

SECCIÓN DE CÁLCULO 2: PK 1+600

La sección de cálculo 2 constituye una sección excavada mediante máquina tuneladora, atravesando una formación de conglomerados polimícticos y poligénicos pertenecientes a la litología T_{SCG} .

Diseño del sostenimiento

El sostenimiento empleado en esta sección está constituido por un anillo de 6 dovelas de 30 cm de espesor y 1,20 metros de anchura. Las dovelas estarán fabricadas en hormigón HA-50 por lo que sus características serán:

$$EA = 9,871 \cdot 10^6 \text{ kN/m}$$

$$EI = 7,403 \cdot 10^4 \frac{\text{kN} \cdot \text{m}^2}{\text{m}}$$

Relajación del terreno

Atendiendo al procedimiento de excavación empleado, la relajación que experimentará el terreno desde que es excavado hasta que el erector de dovelas dispone el sostenimiento definitivo se simulará mediante una contracción lineal cuyo valor es de 0,056% en radio. La justificación queda recogida en el *Anejo XI – Evaluación de la convergencia según Panet y Guenot (1982)*.

Geometría de la sección

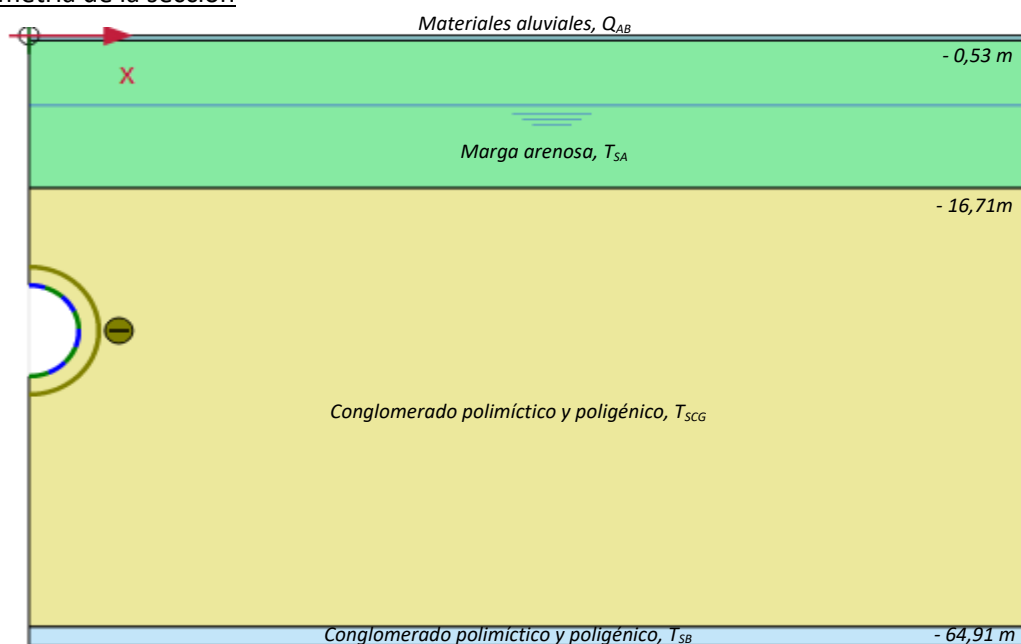


Figura 5.2.4 - Geometría de la sección de cálculo 2

La geometría de la sección de cálculo introducida en el software Plaxis se muestra en la imagen superior. La descripción de la misma coincide con la proporcionada en el apartado 4.4.2 del capítulo 4 del presente documento. Se hace uso de la simetría a fin de optimizar los cálculos desde el punto de vista computacional.

Simulación del proceso constructivo

Las fases de cálculo correspondientes a la sección de cálculo 2 son las siguientes:

Fase Inicial	Cálculo de las tensiones debidas al peso propio.
Fase 1	Excavación de la sección completa del túnel y activación del sostenimiento (anillo de dovelas).
Fase 2	Aplicación de la contracción lineal.

Figura 5.2.5 - Fases de cálculo de la sección de cálculo 2

SECCIÓN DE CÁLCULO 3: PK 6+687

La sección de cálculo 3 constituye una sección excavada mediante máquina tuneladora, atravesando una formación de yesos y anhidritas pertenecientes a la litología Y_{DA}.

Diseño del sostenimiento

El sostenimiento empleado en esta sección está constituido por un anillo de 6 dovelas de 30 cm de espesor y 1,20 metros de anchura. Las dovelas estarán fabricadas en hormigón HA-50 por lo que sus características serán:

$$EA = 9,871 \cdot 10^6 \text{ kN/m}$$

$$EI = 7,403 \cdot 10^4 \frac{\text{kN} \cdot \text{m}^2}{\text{m}}$$

Relajación del terreno

Atendiendo al procedimiento de excavación empleado, la relajación que experimentará el terreno desde que es excavado hasta que el erector de dovelas dispone el sostenimiento definitivo se simulará mediante una contracción lineal cuyo valor es de 0,074% en radio. La justificación queda recogida en el *Anejo XI – Evaluación de la convergencia según Panet y Guenot (1982)*.

Geometría de la sección

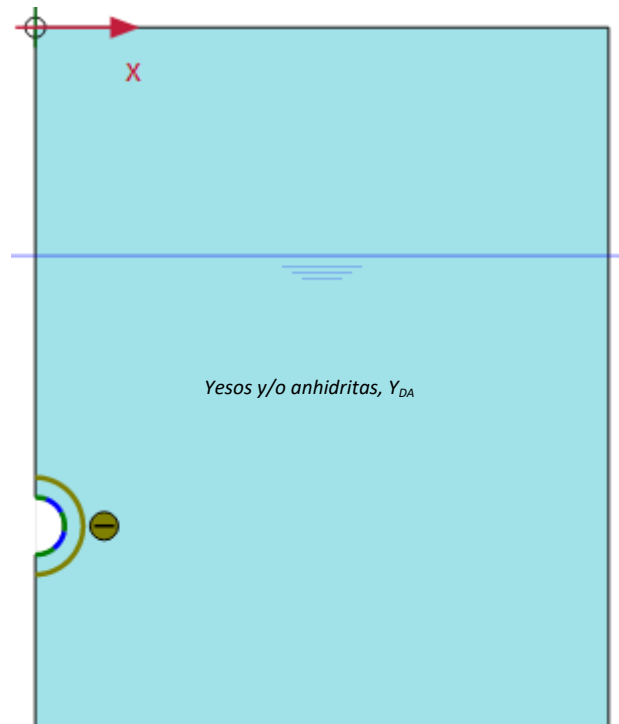


Figura 5.2.6 - Geometría de la sección de cálculo 3

La geometría de la sección de cálculo introducida en el software Plaxis se muestra en la imagen superior. La descripción de la misma coincide con la proporcionada en el apartado 4.4.3 del capítulo 4 del presente documento. Se hace uso de la simetría a fin de optimizar los cálculos desde el punto de vista computacional.

Simulación del proceso constructivo

Las fases de cálculo correspondientes a la sección de cálculo 3 son las siguientes:

Fase Inicial	Cálculo de las tensiones debidas al peso propio.
Fase 1	Excavación de la sección completa del túnel y activación del sostenimiento (anillo de dovelas).
Fase 2	Aplicación de la contracción lineal.

Figura 5.2.7 - Fases de cálculo de la sección de cálculo 3

Expansividad de las anhidritas

La sección de cálculo estudiada atraviesa una zona de anhidritas, por lo que deberán tomarse las precauciones necesarias para evitar los fenómenos de expansividad de las mismas.



A la hora de evaluar la expansividad potencial de la formación, se tendrán en cuenta los distintos factores que pueden producir la transformación de la anhidrita en yeso:

- **La disposición de la anhidrita en la roca:** las formas diseminadas y densas (vetas, pequeños nódulos) son más peligrosas que las formas masivas. Las dimensiones pequeñas presentan una mayor superficie específica por lo que favorecen el acceso del agua.
- **La tensión de confinamiento:** la tensión de confinamiento necesaria para impedir la expansión de la anhidrita en un sistema abierto es muy grande por lo que, de producirse la hidratación, se producirán deformaciones muy significativas.
- **El contenido en sales del agua:** la concentración de cloruro sódico en el agua modifica sensiblemente la transición anhidrita – yeso. De acuerdo con los datos recogidos en Zanbak y Arthur (1993), los incrementos de concentración en cloruro sódico reducen tanto la presión como la temperatura de equilibrio del cambio de fase anhidrita – yeso.
- **Permeabilidad de la roca:** constituye un factor externo pero condiciona el hecho de que el sistema sea “abierto”.
- **La succión del agua:** por lo general, cuanto más alto sea la succión más difícil será que progrese la reacción de hidratación.

Cabe destacar que el estudio de expansividad de las anhidritas es una labor de elevada complejidad que excede el alcance del presente trabajo. No obstante y como datos significativos, se citan algunas de las conclusiones obtenidas a partir de la experiencia existente en excavación de túneles en terrenos expansivos y recogidas por C. Sagaseta y E. Alonso en el *Informe previo sobre los problemas derivados de la expansividad del terreno en los Túneles de Lilla, Camp Magré y Puig Cabrer*, 2003:

- Las deformaciones se tienden a concentrar en la solera de los túneles. Se observan pocos movimientos del resto del perímetro de la excavación.



- A partir de mediciones realizadas con extensómetros instalados en soleras se ha podido observar que las deformaciones pueden llegar a afectar a espesores de roca equivalentes a un diámetro del túnel. La deformación es máxima en las proximidades de la solera y se anula en profundidad.
- El desarrollo de las deformaciones se asocia a la presencia de agua. Los movimientos o incrementos de presión se extienden a lo largo de los años.
- Los levantamientos de solera pueden ser muy notables, como el dado en el túnel de Belchen en Suiza, donde se midieron levantamientos de solera de hasta 90 cm.
- La tensión vertical geostática a nivel del túnel no es una referencia para estimar el valor probable de la máxima presión de hinchamiento. Se han medido presiones de hinchamiento que duplican o triplican la sobrecarga natural de tierras.
- El control del acceso del agua presenta una gran dificultad. Los volúmenes de agua necesarios para provocar el hinchamiento pueden ser muy pequeños.
- Las formas circulares tienden a resistir mejor los fenómenos de hinchamiento. Con independencia de la reacción ofrecida por el revestimiento, el hinchamiento en la periferia de un túnel circular tiende a generar fenómenos arco y a incrementar la tensión de confinamiento lo que, a su vez, reduce el hinchamiento.

Las distintas soluciones que pueden adoptarse para hacer frente a fenómenos de hinchamiento en la solera fueron descritos por Kovari (1988) e incluyen la utilización de contrabóvedas, anclajes, la disposición de espacios abiertos bajo solera que permitan la libre expansión o el uso de apoyos deformables. En cualquier caso, la solución a adoptar debe ser segura y fiable a largo plazo, con un mínimo mantenimiento.

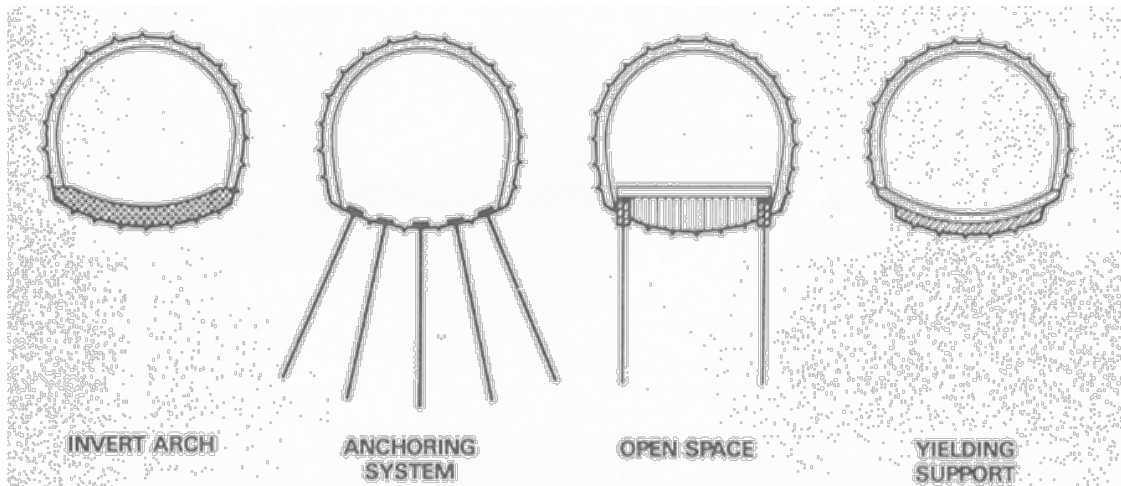


Figura 5.2.8 - Diseños utilizados en roca expansiva (Kovari, 1988)

Por lo tanto y pese a no haber profundizado en el estudio de la expansividad de las anhidritas, la mejor opción pasa por tomar todas las precauciones que sean necesarias para evitar que se produzca la expansión de las mismas dado que, una vez iniciado el proceso, es muy complicado de detener.

5.2.4 RESULTADOS

Realizados los cálculos, se procede en este apartado a la presentación de los resultados obtenidos para cada una de las secciones analizadas, valorando tanto los estados tensionales como las deformaciones obtenidas en el túnel así como en el terreno circundante. El *Anejo X – Resultados* recoge las salidas generadas por el software Plaxis.

SECCIÓN DE CÁLCULO 1: PK 0+200

En el estudio de la sección de cálculo 1 se han analizado dos posibles alternativas desde el punto de vista constructivo. En la primera de ellas, se ha procedido a la excavación de la destroza en dos fases: primeramente la bancada central y, posteriormente, ambos hastiales. En la segunda de ellas, la sección destroza se excava completamente en una sola fase. Se analizan así las consecuencias que tiene sobre los estados tenso deformacionales el empleo de un método u otro.

Deformaciones

En primer lugar, se procede a la interpretación de los resultados obtenidos en lo referente a las deformaciones. Como puede observarse en la siguiente imagen, los **asientos en superficie** que se producen son coherentes con las condiciones existentes.

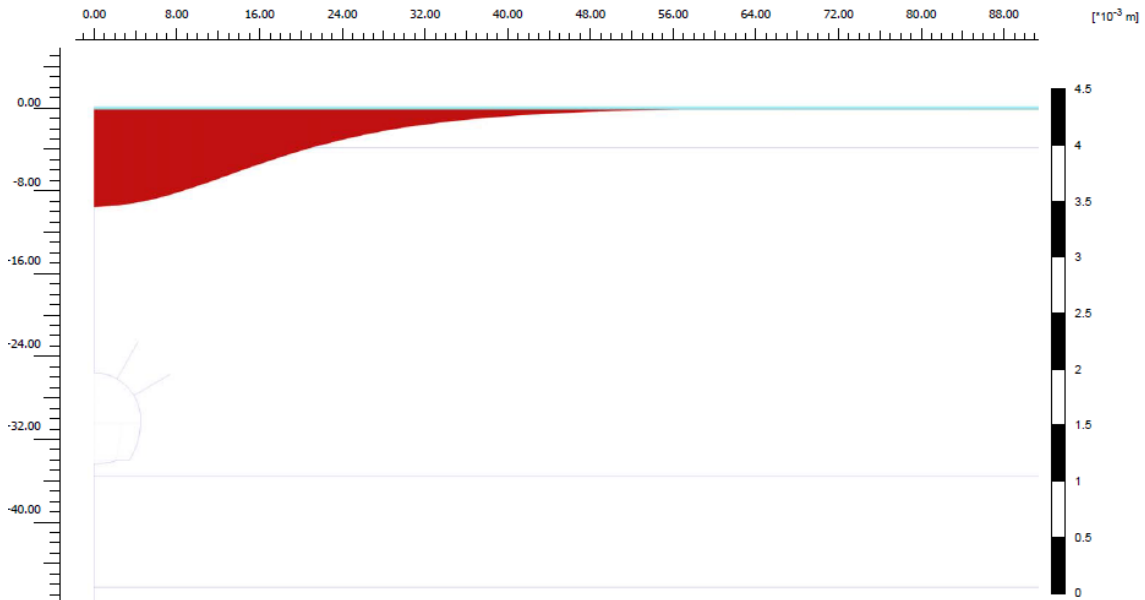


Figura 5.2.9 - Asientos en superficie de la sección de cálculo 1

El asiento máximo se produce sobre la clave del túnel y asciende a 0,96 mm. La magnitud del asiento es razonable teniendo en cuenta que la sección excavada se encuentra en una formación rocosa. Por otra parte puede verse como la curva de asientos se encuentra muy concentrada en la zona próxima al túnel, disipándose por completo a unos 56 metros de distancia con respecto al eje. La curva de asientos es similar en ambas alternativas constructivas.

Analizando ahora la **convergencia** de la sección del túnel, se observan diferencias mínimas entre las alternativas.

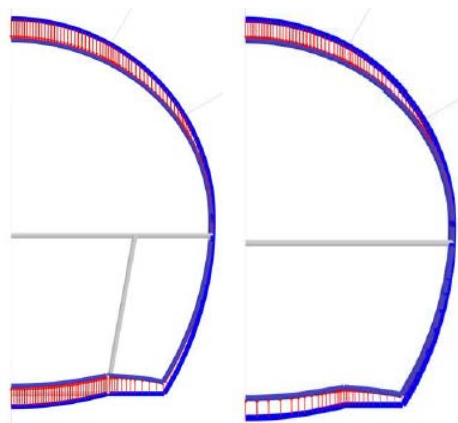


Figura 5.2.10 - Convergencia de la sección de cálculo 1. Por fases (izda.) y completa (dcha.)

En la excavación por fases de la destroza el máximo desplazamiento del sostenimiento se produce en la clave y asciende a 2,42 mm. En la excavación completa de la destroza el máximo desplazamiento del sostenimiento se produce en la clave y asciende a 2,25 mm, ligeramente inferior a la alternativa por fases.

Tensiones

Primeramente, se presentan los resultados correspondientes a los **esfuerzos axiales** existentes en el sostenimiento para cada una de las alternativas.

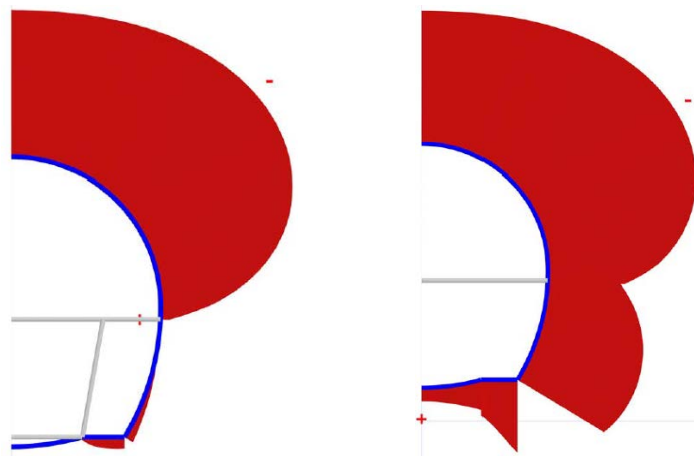


Figura 5.2.11 - Esfuerzos axiales en la sección de cálculo 1. Por fases (izda.) y completa (dcha.)

Las diferencias en los esfuerzos axiales actuantes en cada caso son notables. Como puede verse en la imagen superior, los esfuerzos axiales existentes en los hastiales en una excavación de la destroza por fases son muy reducidos en comparación con la excavación de la destroza completa. Esto se debe a la relajación del terreno en el primero de los casos es prácticamente total cuando se coloca el sostenimiento. No obstante, el axil máximo es del mismo orden de magnitud en ambos casos, siendo de 527 kN/m (compresión) en el primero de los casos y de 621 kN/m (compresión) en el segundo.

A continuación, se evalúan los **momentos flectores** que afectan al sostenimiento en cada una de las alternativas analizadas:

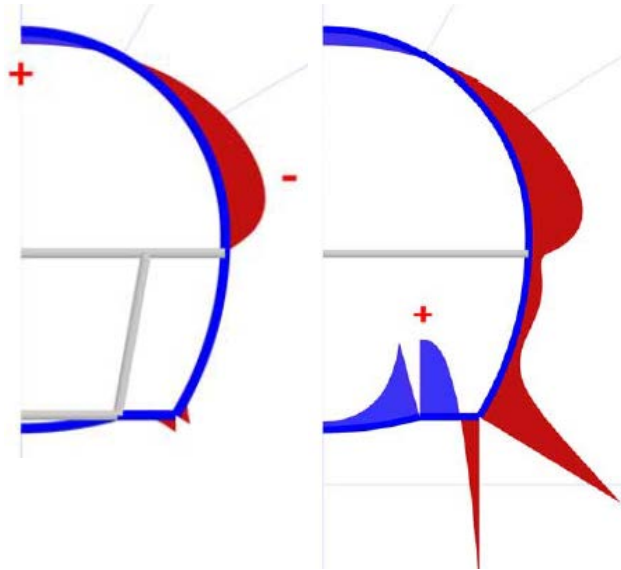


Figura 5.2.12 - Momentos flectores en la sección de cálculo 1. Por fases (izda.) y completa (dcha.)

Como puede apreciarse en la imagen anterior, la diferencia en la distribución de momentos flectores también es significativa en cada una de las alternativas. Mientras que la excavación de la destroza por fases produce un momento máximo negativo de 19,27 kN·m/m en la zona inferior de la bóveda, la excavación completa de la destroza origina un momento máximo negativo de 72,77 kN·m/m en la unión entre la solera y el hastial. Por su parte, en el primero de los casos se produce un momento máximo positivo de 5,6 kN·m/m en la clave mientras que en el segundo de los casos se produce uno de valor 33,9 kN·m/m en la solera. Cabe destacar que los puntos de cambio brusco de geometría son zonas de concentración de tensiones y que, por lo tanto, deberán dimensionarse adecuadamente.

SECCIÓN DE CÁLCULO 2: PK 1+600

Deformaciones

Los resultados obtenidos en relación a los **asientos en superficie** resultan coherentes con las condiciones existentes.



Figura 5.2.13 - Asientos en superficie de la sección de cálculo 2

El asiento máximo se produce sobre la clave del túnel y asciende a 0,52 mm. La magnitud del asiento es razonable teniendo en cuenta que la sección excavada se encuentra en una formación rocosa. Al tratarse de una sección excavada a una profundidad relativamente pequeña, la curva de asientos se encuentra muy concentrada en la zona próxima al túnel, disipándose por completo a unos 40 metros de distancia con respecto al eje.

Analizando ahora la **convergencia** de la sección del túnel, puede observarse como tanto la solera como la clave experimentarán un cierto desplazamiento hacia el interior, de unos 3,4 mm, mientras que los hastiales experimentarán un movimiento mínimo. Esto se debe a las características del material en el que se encuentra construido el túnel, que considerando la contracción lineal aplicada estamos ante una situación prácticamente



Figura 5.2.14 - Convergencia de la sección de cálculo 2

elástica por lo que la excavación estaría próxima a sostenerse por sí misma, sin necesidad de revestimiento.

Tensiones

Los resultados obtenidos en relación a los **esfuerzos axiales** actuantes sobre el sostenimiento son los mostrados en la imagen. Dichos esfuerzos son coherentes con el planteamiento estructural de la sección, en la que todo el sostenimiento se encuentra trabajando a compresión, siendo máximo el axil en el hastial y de valor 1.897 kN/m.

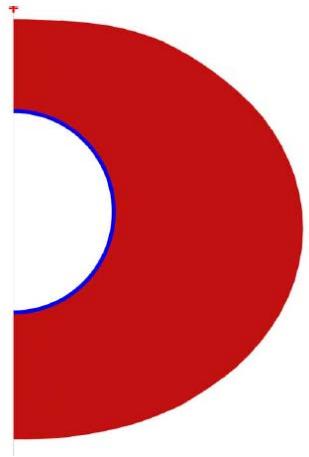


Figura 5.2.15 - Esfuerzos axiales en la sección de cálculo 2

Analizando ahora los **momentos flectores** que se producen en el sostenimiento puede observarse como el valor del momento máximo positivo asciende a 158,8 kN·m/m y corresponde con la clave del túnel mientras que el valor del momento máximo negativo será de 113,2 kN·m/m y se producirá en el hastial.

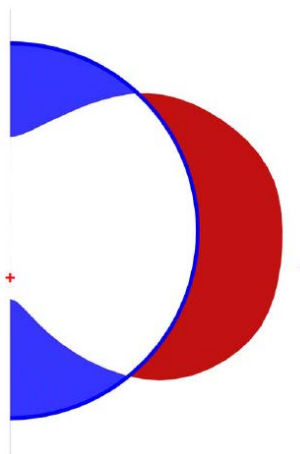


Figura 5.2.16 - Momentos flectores en la sección de cálculo 2

SECCIÓN DE CÁLCULO 3: PK 6+687

Deformaciones

Los resultados obtenidos en relación a los **asientos en superficie** resultan coherentes con las condiciones existentes.

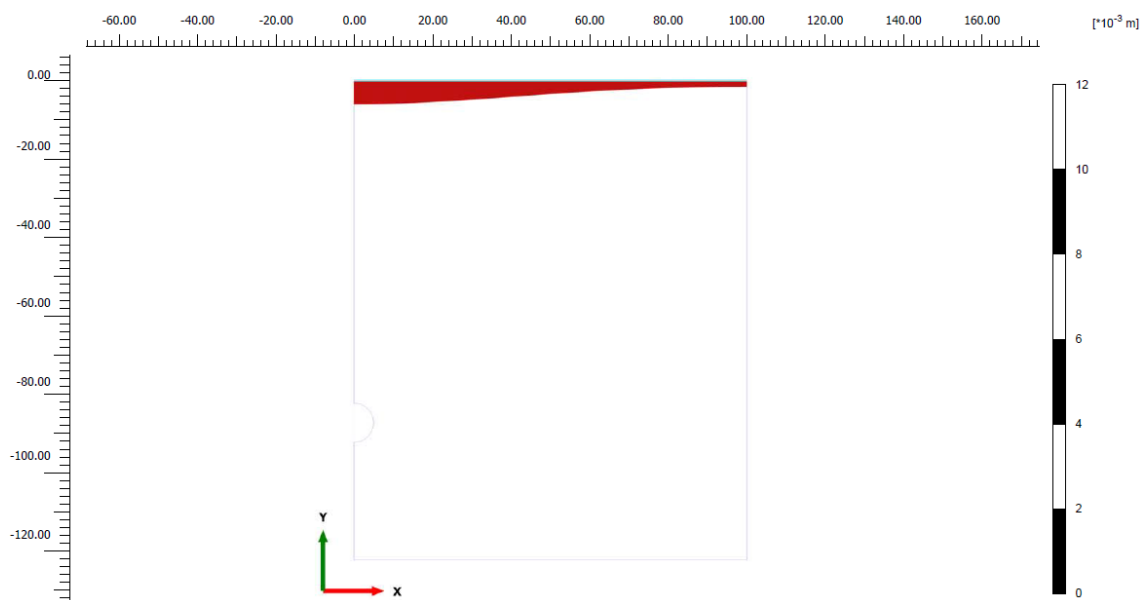


Figura 5.2.17 - Asientos en superficie de la sección de cálculo 3

Puede verse como la elevada profundidad a la que se encuentra el túnel tiene una influencia significativa en la curva de asientos en superficie de tal manera que, a diferencia de las dos secciones anteriores, la curva de asientos se encuentra más repartida en la distancia, extendiéndose más allá de los 100 metros desde el eje del mismo. El máximo asiento se produce sobre la clave y asciende a 0,62 mm.

Analizando ahora la **convergencia** de la sección del túnel, puede observarse como tanto la solera como la clave experimentarán un cierto desplazamiento hacia el interior, de unos 7,0 mm, mientras que los hastiales experimentarán un movimiento mínimo. Esto se debe a razones análogas a las descritas en la sección de cálculo 2.

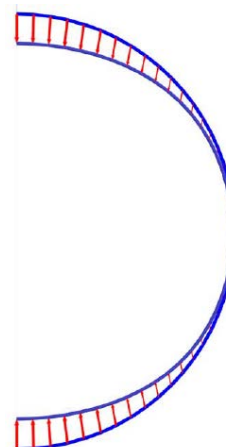


Figura 5.2.18 - Convergencia de la sección de cálculo 3

Tensiones

Los resultados obtenidos en relación a los **esfuerzos axiales** actuantes sobre el sostenimiento son los mostrados en la imagen. Dichos esfuerzos son coherentes con el planteamiento estructural de la sección, en la que todo el sostenimiento se encuentra trabajando a compresión, siendo máximo el axil en el hastial y de valor 3.178 kN/m. El valor es significativamente superior al obtenido en la sección 2 dado que el túnel se encuentra a una profundidad tres veces mayor.

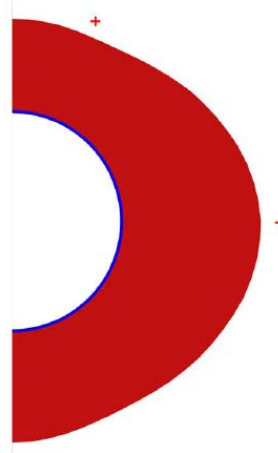


Figura 5.2.19 - Esfuerzos axiales en la sección de cálculo 3

Analizando ahora los **momentos flectores** que se producen en el sostenimiento puede observarse como el valor del momento máximo positivo asciende a 40,9 kN·m/m y corresponde con la clave del túnel mientras que el valor del momento máximo negativo será de 44,7 kN·m/m y se producirá en el hastial. Es de destacar la singularidad que presenta la distribución de momentos en el hastial, singularidad achacable a las características deformacionales del terreno.

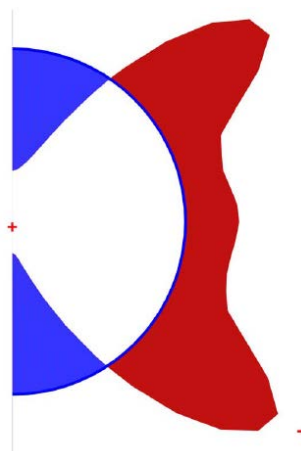


Figura 5.2.20 - Momentos flectores en la sección de cálculo 3



5.3 ANÁLISIS DE LOS EMBOQUILLES

El análisis de cada uno de los emboquilles se realizará por separado y empleando metodologías diferenciadas dado que el emboquille norte se encuentra en materiales de tipo suelo mientras que el emboquille sur se encuentra en materiales de tipo roca.

5.3.1 EMBOQUILLE NORTE

Los desmontes correspondientes a los taludes frontal, derecho e izquierdo del emboquille norte del túnel de Sorbas se ejecutarán sobre materiales tipo suelo. En los taludes ejecutados en los terrenos de tipo suelo las roturas se producen a través de su masa, siendo habitual que la superficie de deslizamiento sea de tipo cóncava.

Para el análisis se ha empleado el software **SLOPE/W** basado en el método de equilibrio límite, el cual está específicamente diseñado para el cálculo de estabilidad de taludes en suelo. Mediante la introducción de diferentes datos relativos a la geometría y estratigrafía, las superficies de deslizamiento así como las propiedades de los suelos, es posible determinar el coeficiente de seguridad al deslizamiento existente para distintas configuraciones de talud. La programación conlleva las siguientes fases:

- **Introducción de la geometría del problema.** Para ello se empleará la opción de “*boceto de polilínea*” que permitirá la definición de la superficie del terreno y de las superficies de contacto entre materiales.
- **Definición de los materiales.** Al tratarse de materiales tipo suelo, su comportamiento se describirá mediante el modelo de Mohr-Coulomb por lo que será necesario proporcionar el valor del peso específico, ángulo de rozamiento interno y cohesión.
- **Creación de regiones y asignación de materiales:** en base a la geometría trazada, se definirán las distintas regiones y se les asignará el material correspondiente.
- **Introducción del nivel freático:** se introducirá la posición del nivel freático definiendo puntos del mismo.
- **Definición de la superficie de deslizamiento:** para analizar las diferentes superficies de deslizamiento posibles se empleará una definición basada en la

opción de radio y malla de centros. De esta manera se generarán una serie de posibles centros y radios de la superficie de deslizamiento, obteniéndose para cada una de ellas el correspondiente coeficiente de seguridad.

Los materiales presentes en la zona de ejecución de los taludes del emboquille norte son los pertenecientes a las litologías Q_{AB} (bloques, gravas, arenas y limos) y T_{SA} (margas arenosas con intercalaciones de areniscas). Para la correcta definición del comportamiento esperable en los mismos ante la construcción de los taludes es necesario definir una serie de parámetros resistentes adicionales, los cuales pueden ser obtenidos de los ensayos de laboratorio pertinentes.

Formación	Peso específico (kN/m^3)	Cohesión, c (kPa)	Ángulo de fricción, ϕ (°)
Q_{AB}	16,7	50 MPa	35,0
T_{SA}	21,58	69 MPa	31,6
T_{SA} alterado	18,44	52 MPa	26,7

Tabla 5.3.1- Parámetros resistentes de los materiales del emboquille norte

RESULTADOS

A continuación se presentan y evalúan los resultados obtenidos del análisis del talud frontal del emboquille norte del túnel de Sorbas. El talud adoptado para el desmante ha sido de 3H:2V, con una altura total de 28 metros.

Del cálculo se obtiene que el valor del coeficiente de seguridad es de 0,291, siendo la superficie de deslizamiento crítica la representada en la figura.

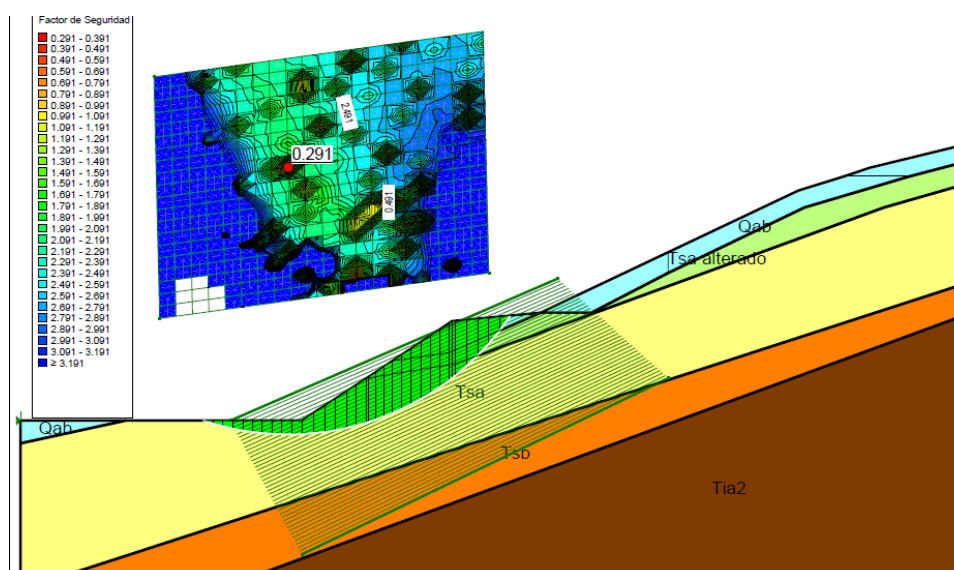


Figura 5.3.1 - Estabilidad del talud frontal del emboquille norte



Además de la superficie crítica obtenida, existen una serie de superficies cuyo coeficiente de seguridad se encuentra por debajo de 1, por lo que el talud será inestable. El talud 3:2 adoptado para el desmonte frontal del emboquille se considera razonable al tratarse de un valor de acuerdo entre la estabilidad y el volumen de material a desmontar. Es necesario tener en cuenta que, en esta situación, la utilización de un talud más tendido no resultaría económico tanto por la cantidad de material a desmontar como por la superficie de terreno que sería necesario expropiar para su ejecución.

En vista de los resultados obtenidos se concluye que la opción de un talud sin ningún tipo de sostenimiento adicional no sería ni estable, ni viable, en esta situación. Por lo tanto, será necesario abordar el diseño de los elementos de contención necesarios para garantizar la estabilidad de los taludes del emboquille. Entre las distintas soluciones posibles puede resultar adecuado el empleo de una pantalla de hormigón armado para la contención de la excavación. No obstante, el dimensionamiento completo y estudio de dicha estructura de contención requiere de un trabajo minucioso que excede el alcance del presente estudio.

Finalmente, es necesario destacar que atendiendo a la homogeneidad en las características de los materiales en la zona, es esperable que los taludes izquierdo y derecho del emboquille tampoco sean estables sin el empleo de elementos de sostenimiento. Así, deberá proponerse una solución de conjunto que garantice la estabilidad de los taludes frontal, derecho e izquierdo del emboquille.

5.3.2 EMBOQUILLE SUR

Por su parte, los taludes frontal, derecho e izquierdo del emboquille sur del túnel de Sorbas se ejecutarán sobre materiales tipo roca. Las potenciales inestabilidades que pueden aparecer en un talud en roca están condicionadas por la propia resistencia del macizo rocoso así como por la resistencia al corte que presentan los distintos planos de discontinuidad.

Para la realización de los cálculos en el emboquille sur se ha empleado el software **SWEDGE** de *Rocscience* basado en el método de equilibrio límite. Como datos de entrada se introducen todos los parámetros necesarios para la caracterización tanto de los taludes a estudiar como las familias de discontinuidades existentes. De esta manera es posible obtener el coeficiente de seguridad frente a los distintos mecanismos de rotura al mismo tiempo que

permite una evaluación de la efectividad de las distintas medidas que pueden adoptarse para mejorar la estabilidad del mismo.

CARACTERÍSTICAS DEL MACIZO ROCOSO

Los datos del macizo rocoso necesarios para la realización del análisis se obtienen a partir de las estaciones geomecánicas del proyecto. Así, ha sido posible la identificación de un total de 8 dominios estructurales, agrupados en base a las similares características del macizo.

A nivel de la cota del túnel, los 8 dominios estructurales que afectan al mismo son los recogidos en la siguiente tabla:

Dominio estructural	P.K. inicial	P.K. final	Litotipo
1	0+087	1+325	T_{SA} y T_{SB}
2	1+325	1+542	T_{SA} , T_{SB} y T_{SCG}
3	1+542	1+840	T_{SA} y T_{SCG}
4	1+840	5+009	T_{SA} y T_{SCG}
5	5+009	5+859	T_{IC} , T_{IA1} y T_{IA2}
6	5+859	6+417	B_{MC} , B_C , D_M , YD_M y P_M
7	6+417	6+854	F_A , D_A e YD_A
8	6+854	7+630	E_{NF}

Tabla 5.3.2 Dominios estructurales

Los desmontes correspondientes a la boca sur quedarán ubicados en el dominio estructural 8, por lo que será necesario profundizar en la caracterización de los mismos de cara a la evaluación de la estabilidad.

El dominio estructural 8 se extiende desde el PK 6+854 hasta el PK 7+630, afectando únicamente a la formación E_{NF} . El presente dominio se compone de las siguientes familias de discontinuidades:

Dominio estructural	Familia	Dirección de buzamiento	Buzamiento
8	Estratificación, S_1	042°	47°
8	Diaclasa, J_1	115°	82°
8	Diaclasa, J_2	209°	58°
8	Diaclasa, J_3	217°	46°

Tabla 5.3.3 - Familias de discontinuidades del dominio estructural 8

Las discontinuidades presentan un **espaciado** bastante regular, presentando todas las familias valores inferiores a 60 mm.



La **persistencia**, definida como el cociente entre el área soldada y el área total de una discontinuidad, juega un papel fundamental en la determinación de los parámetros resistentes del macizo rocoso. La familia S_1 presenta valores comprendidos entre 1 y 3 metros. En las familias J_1 , J_2 y J_3 la persistencia presenta valores inferiores a 1 metro.

Otro parámetro fundamental en el análisis de las discontinuidades es la **apertura**, presentando la familia S_1 valores inferiores a 0,1 mm, mientras que las familias J_1 , J_2 y J_3 presentan valores comprendidos entre 0,1 y 1 mm.

Finalmente y dada su influencia en la resistencia al corte es necesario comentar los aspectos relacionados con la **rugosidad** de las juntas. La familia S_1 presenta una rugosidad de tipo ondulada-escalonada, con un JRC entre 6,1 y 12,1, siendo el valor más frecuente de 8,5. La familia J_1 presenta una rugosidad de tipo ondulada, con un JRC entre 0,0 y 4,3, siendo el valor más frecuente de 2,0. La familia J_2 presenta una rugosidad de tipo ondulada-escalonada, con un JRC entre 6,1 y 10,0, siendo el valor más frecuente de 8,1. La familia J_3 presenta una rugosidad de tipo ondulada-escalonada, con un JRC entre 3,9 y 10, siendo el valor más frecuente de 8,0.

ANÁLISIS DE EQUILIBRIO LÍMITE

El análisis se ha planteado en dos fases. La primera de ellas permitió identificar los posibles mecanismos de rotura que se pueden producir en el macizo rocoso a partir de las proyecciones estereográficas de los planos de discontinuidad. En este análisis es posible identificar tres posibles mecanismos de rotura:

- **Rotura plana:** la rotura plana se produce cuando la orientación de las discontinuidades predominantes favorece el deslizamiento de los estratos a través de una superficie plana hacia el talud ejecutado.
- **Rotura por cuñas:** la rotura por cuña se produce como consecuencia de la intersección entre dos planos de discontinuidad oblicuos al talud, de tal forma que la línea de intersección de ambos aflora en la superficie y con buzamiento que favorezca el deslizamiento.

- **Rotura por vuelco:** la rotura por vuelco va asociada a la presencia de un sistema de bloques originado como consecuencia de la intersección entre dos familias de discontinuidades ortogonales entre sí. La rotura se produce como consecuencia de la rotación o vuelco de dichos bloques, cuando se dan las condiciones favorables para ello.

Como resultado del análisis cinemático se identificarán los posibles mecanismos de rotura que puedan existir en el macizo rocoso. A partir de este punto se procede a la realización de un análisis más detallado, cuyo objetivo será determinar la estabilidad de las cuñas y para lo que se empleará el programa SWEDGE.

Los materiales presentes en la zona de ejecución de los taludes del emboquille sur son los pertenecientes a la litología E_{NF} (esquistos negros con cuarcita). Para la correcta definición del comportamiento esperable en el macizo ante la construcción de los taludes es necesario definir una serie de parámetros resistentes adicionales, considerando que la inestabilidad estará asociada las características que presenten los planos de discontinuidad de las distintas familias recogidas en el la Tabla 5.15.

Junta	Cohesión, c (kPa)	Ángulo de rozamiento interno, ϕ (°)
S1	0	30
J1	0	21
J2	0	21
J3	10	20

Tabla 5.3.4 - Características de las juntas del dominio 8

Análisis Cinemático previo

Previamente al empleo del programa SWEDGE, se han identificado los posibles mecanismos de rotura que se pueden presentar a la hora de ejecutar los taludes del emboquille sur. Es importante tener en cuenta que el valor de los taludes adoptados debe ser razonable, de cara a evitar excesivos desmontes y el coste asociado a ellos.

Dado que se trata de un macizo rocoso, se espera que las características del mismo sean adecuadas para la ejecución de taludes pronunciados. Con ello, se proponen los siguientes valores:

Talud	Dirección de buzamiento (°)	Buzamiento (°)
Frontal (vertical)	180°	63,0°
Derecho (1:1)	90°	45,0°
Derecho (3:2)	90°	56,3°
Izquierdo (1:1)	270°	45,0°
Izquierdo (3:2)	270°	56,3°

Tabla 5.3.5 - Características de los taludes del emboquille sur

Para la realización del análisis cinemático e identificación de los posibles mecanismos de rotura se emplea la hoja de cálculo desarrollada por el Grupo de Geotecnia de la Universidad de Cantabria. Para el cálculo se asumirán las siguientes hipótesis:

- No se considera cohesión ni presiones de agua en los planos, por lo que el coeficiente de seguridad al deslizamiento en cuñas es independiente de su tamaño.
- Para las cuñas, el deslizamiento es cinemáticamente posible si la arista aflora al talud.
- Para los planos, el deslizamiento es cinemáticamente posible si la diferencia entre las direcciones del talud y el plano es menor o igual a 20°.

Los resultados obtenidos del análisis de los mecanismos de rotura se recogen en la siguiente tabla:

Planos	Arista		Coef. seg. F	Descalzada por talud:				
	Dirección	Buzamiento		T _{frontal}	T _{derecho 1:1}	T _{derecho 3:2}	T _{izquierdo 1:1}	T _{izquierdo 3:2}
S1 - S1	42	47	0,05					
S1 - J1	34	47	0,09					
S1 - J2	124	8	2,29	SI	SI	SI		
S1 - J3	130	3	6,61	SI	SI	SI		
J1 - J1	115	82	0,05					
J1 - J2	193	57	0,30	SI				
J1 - J3	197	44	0,46	SI				
J2 - J2	209	58	0,24					
J2 - J3	285	21	6,10				SI	SI
J3 - J3	217	46	0,35					

Tabla 5.3.6 - Resultados análisis cinemático

En la tabla anterior quedan reflejados los distintos mecanismos de rotura posibles para cada uno de los taludes. Como puede observarse no existe riesgo de rotura plana, cumpliéndose únicamente y en determinados taludes, las condiciones cinemáticas para la

rotura por cuña. La intersección de las familias S1-J2 y S1-J3 cumple las condiciones cinemáticas para que se produzca la rotura por cuña en el talud frontal y en el talud derecho. Sin embargo, los coeficientes de seguridad son lo suficientemente elevados como para asegurar que no existirá rotura. Una situación similar se produce en la intersección de las familias J2-J3 con el talud izquierdo.

Por lo tanto, derivado de este análisis cinemático previo, únicamente será necesario realizar un análisis dinámico ante el riesgo de que se produzcan roturas en cuña en la intersección entre las familias J1-J2 y J1-J3 con el talud frontal.

Análisis de estabilidad

En base a las conclusiones del análisis cinemático previo, se procede al estudio de los posibles deslizamientos de cuñas identificados en el talud frontal, que tiene una altura de 36,60 metros. Para ello se empleará el software Swedge descrito anteriormente junto con la información relativa a las discontinuidades recogida en las tablas 5.3.3 y 5.3.4.

En primer lugar se procede al estudio de las cuñas formadas por las juntas J1 y J2 con el talud frontal. Como puede observarse en la proyección estereográfica adjunta, la recta de intersección de las discontinuidades aflora al talud por lo que se verifica el cumplimiento de la condición cinemática para el deslizamiento de la cuña. Dado que la recta de intersección de ambas juntas forma un ángulo de 57° con la horizontal, se producirá el

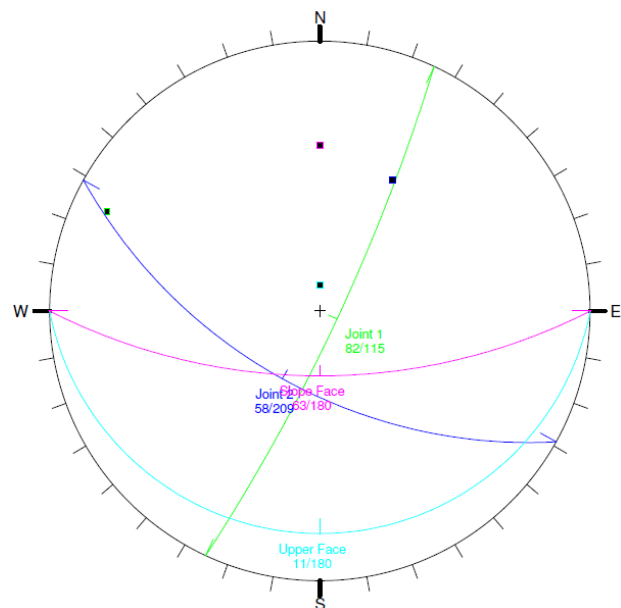


Figura 5.3.2 - Proyección estereográfica Talud Frontal - J1/J2

deslizamiento de la cuña, favorecido por una nula cohesión y baja fricción que presentan las discontinuidades. Estos hechos justifican que el valor del coeficiente de seguridad sea inferior a 1 ($F=0,30$).

Dada la inestabilidad de las cuñas identificadas, es necesario proponer medidas correctoras para conseguir un valor del coeficiente de seguridad adecuado, superior a 1,50. Es

por ello por lo que se plantea la utilización de un bulonado sistemático de las zonas con presencia de inestabilidades. La siguiente figura muestra un ejemplo de ello:

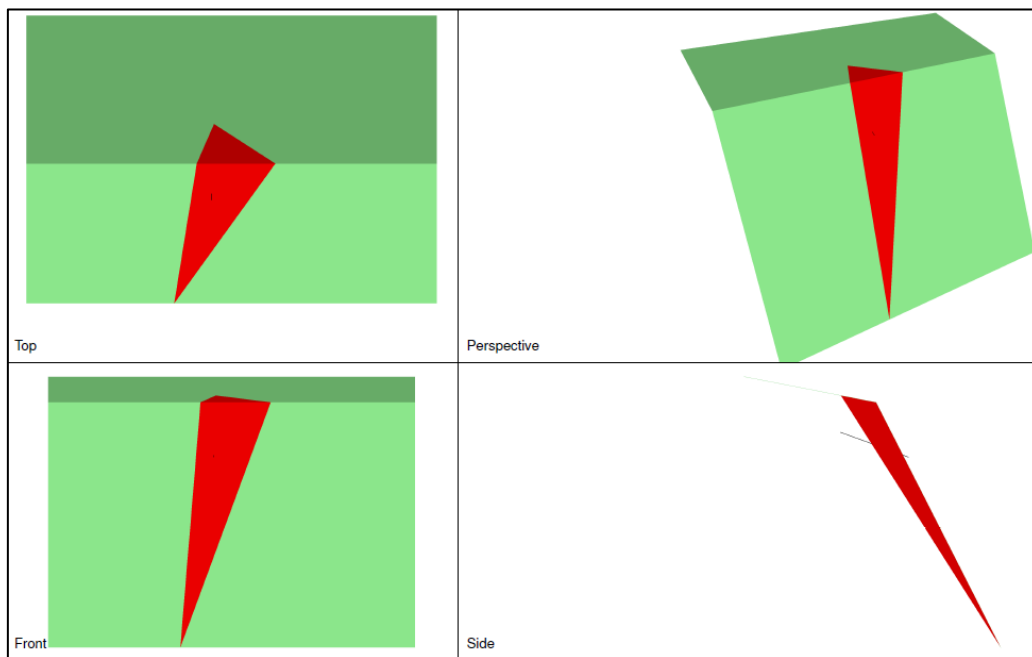


Figura 5.3.3 - Cuña formada en el talud frontal por la intersección de J1 y J2

La situación arriba representada correspondería a una situación límite en la que la cuña formada se extendería en toda la altura del talud. Sin embargo, en función de los datos de las estaciones geomecánicas tales como la persistencia, podría realizarse un análisis más detallado con unas dimensiones de cuña más realistas. En cualquier caso, el análisis anterior es indicativo de la necesidad de introducir un bulonado sistemático para evitar el deslizamiento de la cuña, obteniéndose un coeficiente de seguridad superior a 1,50 para una fuerza total 5.300 kN y una inclinación del bulón de 20° con respecto a la horizontal.

En segundo lugar se procede al estudio de las cuñas formadas por las juntas J1 y J3 con el talud frontal. En este caso también es visible el cumplimiento de la condición cinemática dado que la intersección de ambas juntas aflora al talud. La baja o nula cohesión unida a la baja fricción son también determinantes en este caso, resultando un coeficiente

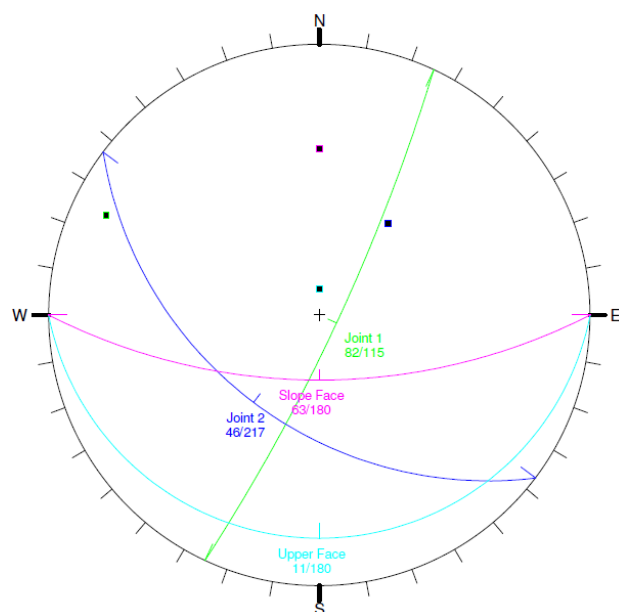


Figura 5.3.4 - Proyección estereográfica Talud Frontal - J1/J3

de seguridad de 0,46, por lo que el deslizamiento está asegurado. La solución que se propone en este caso es similar a la presentada para la situación anterior, con una fuerza de 40.950 kN y una inclinación del bulón de 6° con respecto a la horizontal.

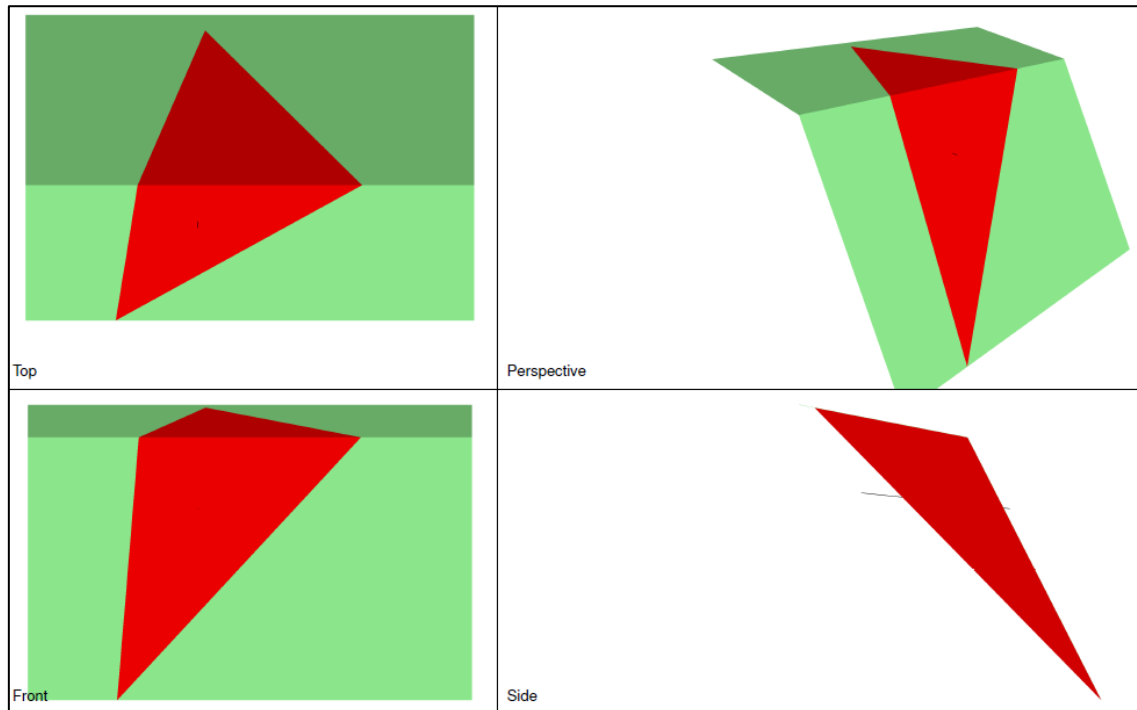


Figura 5.3.5 - Cuña formada en el talud frontal por la intersección de J1 y J3

La conclusión que puede obtenerse del análisis realizado es fundamentalmente la necesidad de prever un bulonado sistemático que garantice la estabilidad del talud frontal del emboquille sur. Al tratarse de un estudio previo, la realización de un análisis detallado para la definición de la malla de bulones, con separaciones, cargas en rotura, etc. carecería de sentido alguno.

Las situaciones representadas arriba no son del todo realistas. Por un lado, no es habitual que se forme una cuña a todo lo alto del talud. Además, sabiendo que la persistencia de las juntas J1, J2 y J3 en el dominio estructural 8 es inferior a 1 metro, las cuñas formadas serán de menor tamaño. En cualquier caso, el objetivo del análisis realizado se ha satisfecho, al identificarse la necesidad de emplear un bulonado sistemático y que, por tanto, deberá quedar así plasmado en el proyecto. Más adelante, ya en fase de construcción, una vez se disponga de datos concretos del talud, se procederá a diseñar la malla de bulones ajustándose a las condiciones realmente existentes.



CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES



Una vez realizado el análisis geotécnico y constructivo completo del túnel ferroviario ubicado en la localidad de Sorbas, se llega a las siguientes conclusiones:

- I. **La construcción del túnel en la ubicación propuesta es factible desde el punto de vista geotécnico.** Tal y como se ha observado en el análisis realizado, no existe ningún factor externo que condicione la construcción del túnel hasta tal magnitud que haga inviable su desarrollo.
- II. **Los asentos en superficie serán mínimos.** Al estar el túnel excavado en materiales rocosos suficientemente competentes, los asentos en superficie son prácticamente despreciables. En cualquier caso, no constituiría un factor excesivamente limitante al tratarse de un túnel en campo abierto.
- III. **Los esfuerzos actuantes sobre el revestimiento son moderados, permitiendo una configuración habitual de los elementos estructurales.** De los resultados obtenidos en el análisis tenso-deformacional se deduce que la utilización de configuraciones habituales basadas en dovelas para los tramos excavados mediante tuneladora y sostenimientos basados en bulones y hormigón proyectado para las secciones excavadas con Nuevo Método Austríaco, son suficientes para garantizar la estabilidad del túnel. No se requerirá, por tanto, la adopción de ninguna medida de carácter extraordinario para garantizar la estabilidad de la excavación.
- IV. **El emboquille norte requerirá la construcción de una estructura de contención para proporcionar al talud en suelos la estabilidad necesaria.** A partir del análisis realizado con el software SLOPE/W se ha demostrado que el talud propuesto no es estable, por lo que será necesario llevar a cabo la construcción de una estructura de contención que proporcione la estabilidad necesaria con un coeficiente de seguridad adecuado.
- V. **El emboquille sur requerirá la ejecución de un bulonado sistemático para el sostenimiento de las posibles cuñas que puedan generarse.** Tras demostrarse que se cumplen las condiciones cinemáticas para que se produzca el deslizamiento de las cuñas, es necesario prever, fundamentalmente a nivel presupuestario, la necesidad de realizar un bulonado sistemático del talud



frontal. No obstante, la correcta definición del mismo deberá realizarse en fase de construcción ya que es una vez comenzada la excavación del desmonte cuando mejor se observan las características de las discontinuidades.

- VI. **La utilización de una tuneladora de doble escudo garantiza la seguridad de la excavación y el rendimiento óptimo.** Este tipo de máquinas permiten colocar el sostenimiento definitivo (anillo de dovelas) al mismo tiempo que se va realizando la excavación, con un cierto desfase, garantizando de esta manera la seguridad de la misma. Además, mediante el sistema de doble escudo es posible mejorar el rendimiento al permitir tanto el apoyo en la roca, cuando sus características lo permitan, como en el anillo de dovelas previamente instalado, cuando el material sea menos competente.
- VII. **Deberán adoptarse las medidas necesarias para evitar los problemas asociados a la expansión de las anhidritas.** Como se ha comentado al estudiar la sección de cálculo 3, la presencia de anhidritas puede ocasionar un fenómeno de expansión de los materiales en la zona de la solera como consecuencia de la descarga producida con la retirada del material excavado. Al tratarse de un fenómeno de elevada complejidad y difícil solución, se recomienda adoptar las medidas necesarias para evitar la hidratación y el consecuente fenómeno de expansión de las mismas.



BIBLIOGRAFÍA



- [1] LÓPEZ JIMENO, C. et al. (2011). *Manual de túneles y obras subterráneas*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas. Madrid.
- [2] MAZARIEGOS DE LA SERNA, A., ESCOLANO SÁNCHEZ, F., SÁNCHEZ LAVÍN, J.R. (2016). *El Estudio Geotécnico. Campaña de campo y ensayos de laboratorio*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Civil. Madrid.
- [3] JIMÉNEZ SALAS, J.A. et al. (1980). *Geotecnia y Cimientos. Segunda Parte*. Ed. Rueda. Madrid.
- [4] MENDAÑA SAAVEDRA, F. y RUIZ MERINO, J. (1997). *Las tuneladoras modernas*. Revista de Obras Públicas Nº3369. Madrid.
- [5] SAGASETA MILLÁN, C. y ALONSO PÉREZ DE ÁGRED A, E. (2003). *Informe Previo sobre los Problemas Derivados de la Expansividad del Terreno en los Túneles de Lilla, Camp Magré y Puig Cabrer*.
- [6] RODRÍGUEZ ORTIZ, J.M. (2011). *Túneles en terrenos salinos: el Túnel de El Regajal*. Jornada Técnica de Túneles en Terrenos Salinos y Expansivos. Barcelona.
- [7] MARINOS, V., MARINOS, P., HOEK, E. (2005). *The geological strength index: applications and limitations*. Bulletin of Engineering Geology and the Environment.
- [8] HOEK, E., CARRANZA – TORRES, C., CORKUM, B. (2004). *El criterio de rotura de Hoek-Brown. Edición 2002*. Carlos López Jimeno (Ed.), IngeoTÚNELES, Capítulo 1, Libro 7, 2003. Escuela Técnica Superior de Ingenieros en Minas. Madrid
- [9] MINISTERIO DE FOMENTO (2011). *Estudio del Corredor Ferroviario Mediterráneo*. Madrid.
- [10] MINISTERIO DE INDUSTRIA (1975). *Plan Nacional de Investigación de Aguas Subterráneas. Estudio hidrogeológico de la cuenca sur de Almería*. Madrid.
- [11] CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE DE LA JUNTA DE ANDALUCÍA (2007). *Geología del Entorno Árido Almeriense. Guía didáctica de campo*. Almería.
- [12] INECO (2007). *Instrucciones generales para trabajos geológico-geotécnicos*. Madrid.



- [13] INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA (1973). *Mapa geotécnico general. Almería – Garrucha. Memoria Geotécnica*. Madrid.
- [14] INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA. *Perforación de Sondeos de Investigación*. Madrid.
- [15] MINISTERIO DE FOMENTO (2001). *Recomendaciones para dimensionar túneles ferroviarios por efectos aerodinámicos de presión sobre viajeros*. Madrid.
- [16] MINISTERIO DE FOMENTO (2012). *Recomendaciones sobre la campaña geotécnica en proyectos de la Dirección General de Carreteras*. Madrid.
- [17] PLAXIS (2016). *2D- Manuals*. Delft
- [18] GEO-SLOPE INTERNATIONAL (2012). *Stability Modeling with SLOPE/W*. Calgary.
- [19] ROCSCIENCE (2013). *Swedge. Probabilistic analysis of the geometry and stability of surface wedges*. Toronto.



ANEJO I

SONDEOS

SM – 0+119



Sondeo: SM-0+119

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 42,00 M

Coordenadas: X_{UTM} : 586720,66 Y_{UTM} : 4107264 Z_{UTM} : 216,300

SM - 0+119



Profundidad de 0,00 a 2,40 metros



Profundidad de 2,40 a 4,80 metros



Profundidad de 4,80 a 7,20 metros



Profundidad de 7,20 a 9,60 metros



Profundidad de 9,60 a 12,00 metros



Profundidad de 12,00 a 14,40 metros



Profundidad de 14,40 a 16,80 metros



Profundidad de 16,80 a 19,20 metros





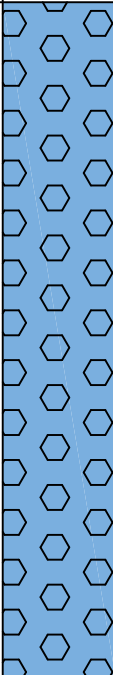
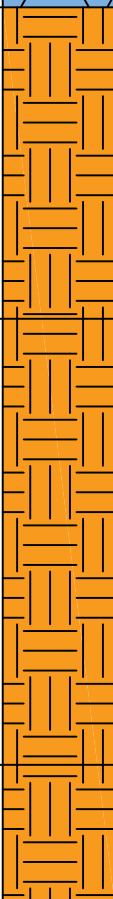
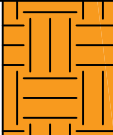
Sondeo: SM-0+119

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 42,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586720,66 Y_{UTM}: 4107264 Z_{UTM}: 216,300

SM - 0+119

Profundidad (m)	Ø Perforación/Tipo	Ø Revestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
1	116W		8,98	8,98		Q_{AB}	Gravas de cantos de naturaleza carbonatada con matriz de arenas finas y limos. Se observan cantos de hasta 10 cm de diámetro, disminuyendo el tamaño hacia la base, donde apenas superan los 2-3 cm.	3,00		
2								MI-1		
3								3,60		
4								6,00		
5								MI-2		
6								6,60		
7								9,00		
8								MI-3		
9								9,60		
10	113		13,10	4,12		T_{SA}	Margas arcillosas, algo arenosas, de tonos amarillentos. Se presentan algo alteradas y muy disagregadas, en parte por la propia perforación.	12,00		
11								MI-4		
12								12,60		
13								15,00		
14								MI-5		
15								15,60		
16								19,35		
17								TP-1		
18								19,80		
19	101W		19,00							
20										

19,20



Sondeo: SM-0+119

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 42,00 M

Coordenadas: X_{UTM} :586720,66 Y_{UTM} : 4107264 Z_{UTM} : 216,300

SM - 0+119

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
22	101W	113		23,00		T_{SA}	Margas arenosas de tonos grises, con interestratos y lentejones de areniscas gris claro de grano fino.	23,00		
23								TP-2 23,25		
24										
25										
26										
27								27,00 TP-3 27,25		
28										
29										
30										
31								31,55 TP-4 31,80		
32										
33										
34										
35								35,00 TP-5 35,20		
36										
37										
38								37,55 TP-6 37,85		
39										
40										
41								41,20 TP-7 41,40		
42										

SM – 0+129



Sondeo: SM-0+129

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 36,00 M

Coordenadas: X_{UTM} : 586719,04 Y_{UTM} : 4107254 Z_{UTM} : 217,25

SM - 0+129



Profundidad de 0,00 a 2,40 metros



Profundidad de 2,40 a 4,80 metros



Profundidad de 4,80 a 7,20 metros



Profundidad de 7,20 a 9,60 metros



Profundidad de 9,60 a 12,00 metros



Profundidad de 12,00 a 14,40 metros



Profundidad de 14,40 a 16,80 metros



Profundidad de 16,80 a 19,20 metros



Profundidad de 19,20 a 21,60 metros



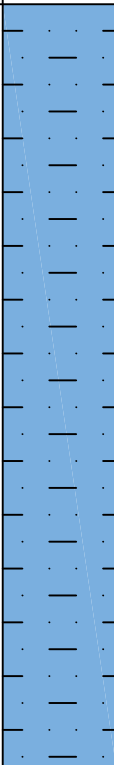
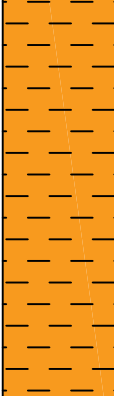
Sondeo: SM-0+129

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 36,00 M

Coordenadas: X_{UTM} : 586719,04 Y_{UTM} : 4107254 Z_{UTM} : 217,25

SM - 0+129

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
1	116W	113		10,10		Q _{AB}	Gravas de cantos de naturaleza carbonatada con matriz de arenas finas y limos. Se observan cantos de hasta 10 cm de diámetro, disminuyendo el tamaño hacia la base, donde apenas superan los 2-3 cm.	4,60 TP-1 4,80		
2										
3										
4										
5	101D		10,10			T _{SA}	Zona deslizada formada por margas arcillosas algo alteradas. Hacia muro se observan nivelillos o lentejones más areniscosos. De 11,70 m a 12,30 m la roca parece evidenciar cierta deformación.	12,25	TP-2	12,50
6										
7			12,30	2,20			Margas de tonos marrón claro a oscuro, algo arenosas, con algunos niveles milimétricos y centimétricos de areniscas grises de grano fino. Se observa alteración diferencial entre los tramos más margosos que se encuentran más alterados, y los areniscosos que están más sanos.			
8										
9			14,50	2,20			Margas algo arenosas, con algunos niveles de arenisca gris de grano fino, de tonos amarillentos por alteración. Consistencia firme.	17,50 TP-3 17,75		
10										
11										
12										
13										
14										
15			21,50							
16										
17										
18										
19										
20										19,80



Sondeo: SM-0+129

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 36,00 M

Coordenadas: X_{UTM} :586719,04 Y_{UTM} : 4107254 Z_{UTM} : 217,25

SM - 0+129

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
22	101D									
23								23,65		
24								TP-4		
25								24,00		
26										
27								26,55		
28								TP-5		
29								26,80		
30										
31										
32								29,40		
33								TP-6		
34								29,70		
35										
36								31,80		
								TP-7		
								32,20		
								33,80		
								TP-8		
								34,20		



SM – 0+277



Sondeo: SM-0+277

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 84,00 M

Coordenadas: X_{UTM} : 586682,77 Y_{UTM} : 4107033 Z_{UTM} : 257,000

SM - 0+277



Profundidad de 44,60 a 47,00 metros



Profundidad de 47,00 a 49,10 metros



Profundidad de 49,10 a 51,30 metros



Profundidad de 51,30 a 53,60 metros



Profundidad de 53,60 a 55,40 metros



Profundidad de 55,40 a 58,80 metros



Profundidad de 58,80 a 61,80 metros



Profundidad de 61,80 a 64,80 metros



Profundidad de 64,80 a 67,80 metros



Profundidad de 67,80 a 70,80 metros



Profundidad de 70,80 a 73,80 metros



Profundidad de 73,80 a 76,80 metros



Sondeo: SM-0+277

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 84,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586682,77 Y_{UTM}: 4107033 Z_{UTM}: 257,000

SM - 0+277

Profundidad (m)	Ø Perforación/Tipo	Ø Revestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
1	131W	128	0,40	0,40		TV	Arenas y arcillas, de tono marrón, con cantos milimétricos de naturaleza carbonatada. Presencia de carbonato pulverulento en la matriz.			
2				3,20		M _{AC}	Calcarenitas muy alteradas y disgregadas, formando cantos centimétricos en matriz arenosa-arcillosa de color marrón oscuro.	3,00		
3			3,60					MI-1		
4	116W	113				T _{SA}		3,60		
5										
6				4,80			Margas arcillosas y arenosas, de tono grisáceo, poco compactadas. Aparecen algunos cantos areniscosos dispersos.	6,00		
7								6,60	MI-2	
8			8,40							
9	101W	113				T _{SA}		9,00		
10				4,10			Margas arenosas y areniscosas. Carbonato pulverulento disperso en la matriz. Poco compactadas.	9,09	MI-3	
11										
12			12,50					12,00	MI-4	
13	101W	113				T _{SA}		12,06		
14				4,85			Margas arenosas con tramos centimétricos de areniscas. Aparecen nódulos más margosos de manera dispersa y de tonalidad marrón claro.	15,00	MI-5	
15								15,60		
16			17,35							
17				1,55			Arenisca de grano muy fino, sana y muy compactada.	17,70	TP-1	
18			18,90					18,00		
19				0,85			Margas arenosas, con algún nivel intercalado más arenisco y compactado de 19,15 m a 19,35 m.			
20			19,75							
21				4,10						



Sondeo: SM-0+277

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 84,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586682,77 Y_{UTM}: 4107033 Z_{UTM}: 257,000

SM - 0+277

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
22	101W			16,25				TP-2	25,00	
23								21,30		
24								TP-3		
25								23,65		
26	113							TP-4	2,50E-06 (cm/s)	27,50
27								24,00		
28								26,55		
29								TP-5		
30	101D							26,80	30,00	
31								29,40		
32								TP-6		
33								32,20		
34			36,00	1,20				33,80		
35								TP-7		
36								34,20		
37								38,80		
38			37,20					TP-8		
39								39,10		
40								41,80		
41								TP-9		
42				7,80						

Areniscas de grano muy fino algo arcillosas. Se observa dos niveles más fracturados de 25,00 a 25,60 m y de 32,82 a 32,40 m.

Margas grises de aspecto disgregado y abundante presencia de arcilla. Se observa algún tramo arenoso de grano fino intercalado.

Margas grises, de aspecto homogéneo y sanas. En torno a la cota 37,80 m y 39,60 m se observan dos niveles algo más arenosos y cementado.



Sondeo: SM-0+277

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 84,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586682,77 Y_{UTM}: 4107033 Z_{UTM}: 257,000

SM - 0+277

Profundidad (m)	Ø Perforación/Tipo	Ø Revestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
43	101D		45,00	7,80		T _{SA}	Margas grises, de aspecto homogéneo y sanas. En torno a la cota 37,80 m y 39,60 m se observan dos niveles algo más areniscosos y cementado.	TP-9 42,10		
44								44,60		
45			51,15			T _{SB}	Conglomerado polimítico con cantos angulosos y mal graduados, desde tamaño milimétrico hasta decimétrico. Matriz areno-arcillosa, de tono marrón grisáceo.	TP-10 45,00		
46				5,60						
47										
48										
49										
50										
51								51,30		
52			52,45	1,30			Margas, de tonos amarillentos, con algún nódulo arcilloso. Los últimos 15 cm presentan un aspecto conglomerático con gravas de diversa naturaleza y tamaño milimétrico a centimétrico.	TP-11 52,35		
53										
54			31,55			T _{IA2}	Margas arenosas con intercalaciones y lentejones de areniscas de grano fino, de tonos grises.	54,20		
55								TP-13 54,65		
56										
57										
58										
59								59,00		
60								TP-14 59,60		
61										
62										
63										



Sondeo: SM-0+277

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 84,00 M

Coordenadas: X_{UTM} :586682,77 Y_{UTM} : 4107033 Z_{UTM} : 257,000

SM - 0+277

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
64	101D			31,55		T_{IA2}	Margas arenosas con intercalaciones y lentejones de areniscas de grano fino, de tonos grises.	64,50		
65								TP-15		
66								65,10		
67										
68										
69										
70								70,10		
71								TP-16		
72								70,70		
73										
74										
75										
76								75,70		
77								TP-17		
78								76,30		
79										
80										
81								81,30		
82								TP-18		
83								81,90		
84										



SM – 0+523



Sondeo: SM-0+523

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 129,00 M

Coordenadas: X_{UTM} : 586642,95 Y_{UTM} : 4106790 Z_{UTM} : 302,43

SM - 0+523



Profundidad de 88,80 a 91,20 metros



Profundidad de 91,20 a 93,60 metros



Profundidad de 93,60 a 96,00 metros



Profundidad de 96,00 a 98,40 metros



Profundidad de 98,40 a 100,80 metros



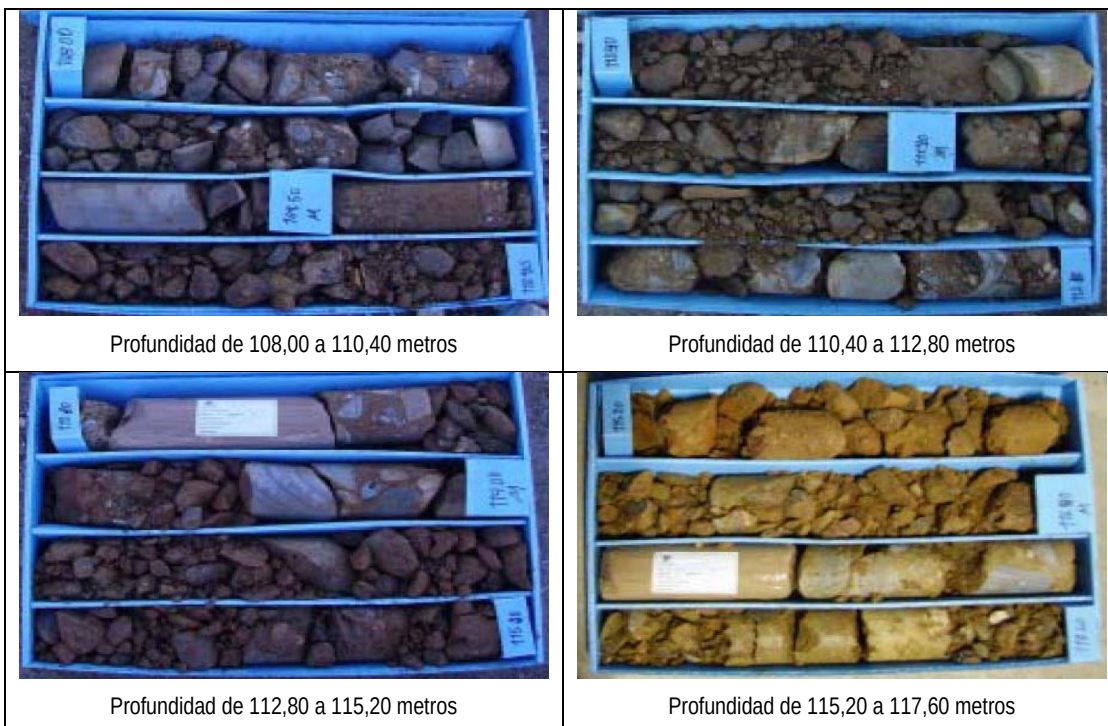
Profundidad de 100,80 a 103,20 metros



Profundidad de 103,20 a 105,60 metros



Profundidad de 105,60 a 108,00 metros





Sondeo: SM-0+523

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 129,00 M

Coordenadas: X_{UTM} :586642,95 Y_{UTM} : 4106790 Z_{UTM} : 302,43

SM - 0+523

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
1	101W	113	1,00	1,00		TV	Terreno vegetal, formado por arcillas y calcarenitas, muy alteradas y disgregadas con abundantes raíces.			
2	101D			9,80		M _{AC}	Calcarenitas de color amarillento, bastante sanas aunque fracturadas sobre todo a techo. La arena es de grano fino, restos de conchas de gasterópodos , porosidad fenestral.	2,00		
3								TP-1		
4								4,35		
5								TP-2		
6								4,65		
7								6,90		
8								TP-3		
9								7,20		
10								9,70		
11								TP-4		
12	10,00									
13	101W		11,45	0,65		T _{SA}	Marga arenosa de color amarillento y de consistencia medianamente densa.			
14				5,35				T _{SA}	Marga arenosa de color grisáceo, algo fracturada pero bastante sana, con oxidación y moscovita en las juntas.	12,90
15										TP-5
16										13,20
17										15,90
18										TP-6
19										16,20
20										18,00
21	TP-7									
22	18,35									
23				6,60		T _{SA}	Marga arenosa de color grisáceo. Tramo fracturado y algo alterado. Abundante presencia de micas.			



Sondeo: SM-0+523

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 129,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586642,95 Y_{UTM}: 4106790 Z_{UTM}: 302,43

SM - 0+523

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
22	101W		24,00	6,60		T _{SA}	Marga arenosa de color grisáceo. Tramo fracturado y algo alterado. Abundante presencia de micas.	23,15		
23								TP-8		
24								23,40		
25								25,20		
26								TP-9		
27								25,55		
28			16,80		Arenisca margosa, de grano muy fino y cemento carbonático, sana y algo fracturada. Presenta bastante moscovita (a 33,00 m venas de calcita). De 26,40 a 28,90 aparecen indicios de lavado en poros arenosos.		28,20			
29							TP-10			
30							28,50			
31							31,20			
32							TP-11			
33							31,70			
34										
35							35,60			
36							TP-12			
37							35,85			
38							37,80			
39							TP-13			
40							TP-14			
41							39,00			
42							40,80			
43			40,80	10,20				TP-15		
44								41,40		
										38,80



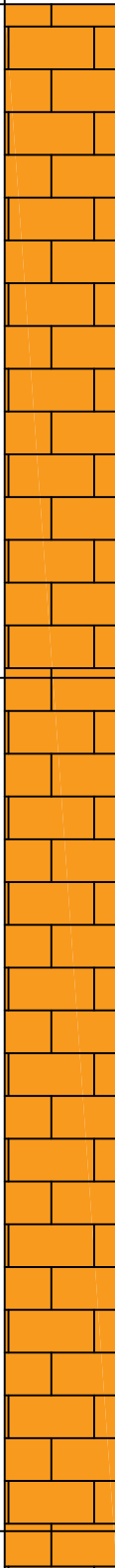
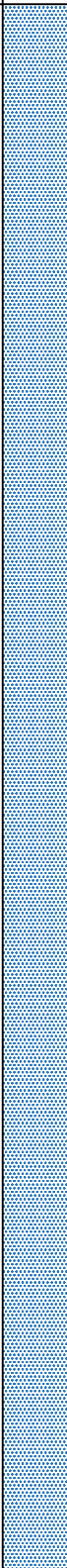
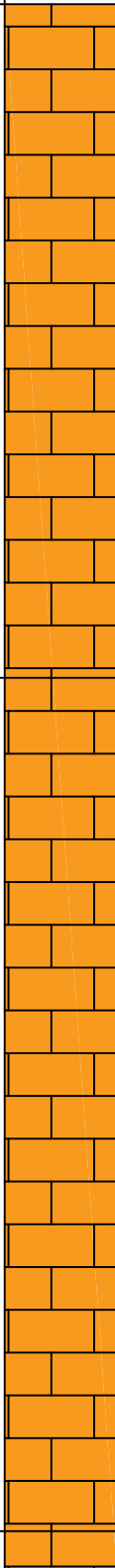
Sondeo: SM-0+523

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 129,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586642,95 Y_{UTM}: 4106790 Z_{UTM}: 302,43

SM - 0+523

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico				
43	101W		51,00	10,20		T _{SA}	Marga arenosa gris claro con cantos de tamaño centimétrico de cuarcita dispersos en la matriz. En general, sana y poco fracturada.	43,88						
44								TP-16			44,20			
45														
46														
47														
48											48,00			
49											TP-17	48,40		
50														
51														
52			62,40	11,40							Marga arenosa gris oscuro, de grano muy fino y con bastante moscovita, principalmente en las juntas. Tramo sano pero más fracturado que los anteriores. A 53,00 metros se observan venas de calcita.	52,80		
53												TP-18	53,10	
54														
55													55,50	
56													TP-19	55,80
57														
58														
59													59,10	
60													TP-20	59,40
61														
62													62,00	
63													TP-21	62,40



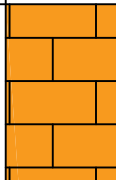
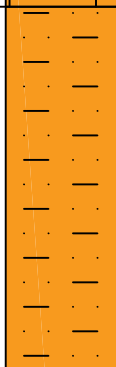
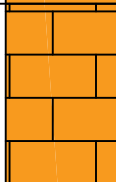
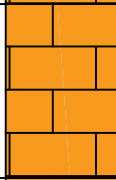
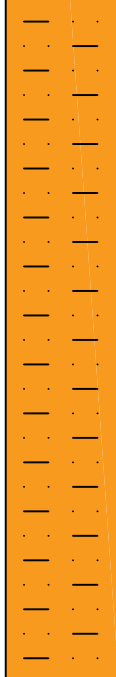
Sondeo: SM-0+523

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 129,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586642,95 Y_{UTM}: 4106790 Z_{UTM}: 302,43

SM - 0+523

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico	
64	101W		65,40	3,00		T _{SA}	Marga arenosa con intercalaciones de arenisca, de aspecto sano y poco fracturada, con calcita en las juntas.	64,20			
65							TP-22	64,80			
66			70,20	4,80			Arenisca gris oscuro, algo calcárea y arcillosa, de grano muy fino. Aspecto sano aunque fracturada.	67,20			
67								TP-23			67,60
68								70,20			
69								TP-24			70,70
70			72,60	2,40			Marga arenosa con intercalaciones de arenisca, de aspecto sano y poco fracturada, con calcita en las juntas.	72,60			
71								TP-25			72,90
72			74,90	2,30			Marga arenosa gris oscuro, algo alterada y fracturada.	75,00			
73								TP-26			75,60
74								78,30			
75			81,10	12,10			Arenisca gris clara sana poco fracturada, de grano muy fino. Bastante calcárea aunque con matriz arcillosa.	TP-27			78,60
76								81,10			
77								TP-28			81,60
78											
79											
80											
81											
82											
83											
84											



Sondeo: SM-0+523

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 129,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586642,95 Y_{UTM}: 4106790 Z_{UTM}: 302,43

SM - 0+523

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico			
85	101W		87,00	12,10		T _{SA}	Arenisca gris clara sana poco fracturada, de grano muy fino. Bastante calcárea aunque con matriz arcillosa.	84,60					
86								TP-29					
87								85,00					
88			87,00	16,30			Marga arenosa con intercalaciones de arenisca, de aspecto sano y poco fracturada, con calcita en las juntas.	88,20					
89								TP-30					
90								88,80					
91								91,20					
92								TP-31					
93								91,60					
94								95,40					
95								TP-32					
96								95,80					
97								98,70					
98								TP-33					
99								99,00					
100			103,30	2,90			Arenisca calcárea grosera (microconglomerática), de color gris, con algunos restos de fósiles (ostreidos principalmente).	102,00					
101								TP-34					
102								102,50					
103								104,50					
104								TP-35					



Sondeo: SM-0+523

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 129,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586642,95 Y_{UTM}: 4106790 Z_{UTM}: 302,43

SM - 0+523

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico							
106	101W		106,20	2,90		T _{SB}	Arenisca calcárea grosera (microconglomerática), de color gris, con algunos restos de fósiles (ostreidos principalmente).	107,00 TP-36 107,40									
107			107,00	0,80			Conglomerado muy disgregado y sin apenas matriz (probablemente debido a la perforación) de cantos heterométricos y de diversa naturaleza.										
108			15,00				Conglomerado poligénico y polimíctico, mal seleccionado, con cantos de tamaño centimétrico a decimétrico, mayoritariamente de cuarzo, cuarcita y esquistos. Matriz limo-arenosa de tonos rojizos, algo alterada y disgregada por la propia perforación.										
109																	
110																	
111																	
112																	
113																	
114							112,65 TP-37 112,95										
115							116,40 TP-38 116,65										
116																	
117																	
118																	
119							121,80 TP-39 122,10										
120			122,00	7,00							Conglomerado poligénico y polimíctico, de muy mala selección, pero de aspecto más compacto y sano que el tramo anterior.						
121																	
122																	
123																	
124																	
125																	
126																	



Sondeo: SM-0+523

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 129,00 M

Coordenadas: X_{UTM} :586642,95 Y_{UTM} : 4106790 Z_{UTM} : 302,43

SM - 0+523

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
127 128 129	101W			7,00		T_{SB}	Conglomerado poligénico y polimíctico, de muy mala selección, pero de aspecto más compacto y sano que el tramo anterior.	128,00 TP-39 128,30		

SM – 0+770



Sondeo: SM-0+770

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 154,00 M

Coordenadas: X_{UTM} : 586602,96 Y_{UTM} : 4106546 Z_{UTM} : 328,07

SM - 0+770



Profundidad de 102,00 a 105,00 metros



Profundidad de 105,00 a 108,00 metros



Profundidad de 108,00 a 111,00 metros



Profundidad de 111,00 a 114,00 metros



Profundidad de 114,00 a 117,00 metros



Profundidad de 117,00 a 120,00 metros



Profundidad de 120,00 a 123,00 metros



Profundidad de 123,00 a 126,00 metros



Profundidad de 126,00 a 129,00 metros



Profundidad de 129,00 a 132,00 metros



Profundidad de 132,00 a 135,00 metros



Profundidad de 135,00 a 136,60 metros



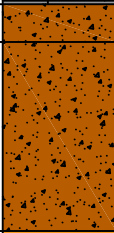
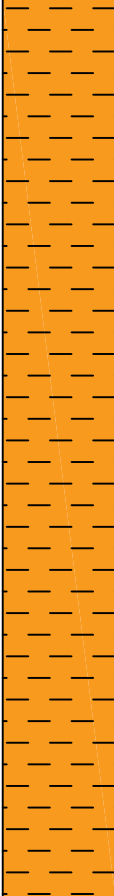
Sondeo: SM-0+770

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 154,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586602,96 Y_{UTM}: 4106546 Z_{UTM}: 328,07

SM - 0+770

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
1	101W	113	6,00	6,00		MAC	Calizas de color ocre con restos bioclásticos (moluscos y corales). Presencia de microcarstificación y de arcillas de descalcificación. Está degradada en algunas pequeñas zonas del tramo.	3,30 TP-1 3,60		
2										
3										
4										
5										
6										
6	101W	113	6,00 6,50	0,50		F	Zona de falla. Caliza de color ocre con restos bioclásticos muy fracturada y alterada.	9,30 TP-2 9,60		
7										
8										
9										
10										
11										
12	101W	113	9,20	2,70		TSA	Zona de falla. Margas arenosas muy fracturadas y degradadas.	14,10 TP-3 14,22		
13										
14										
15										
16										
17										
18	101W	113	17,80	17,80		TSA	Margas arenosas con intercalaciones areniscosas de grano fino. Se observan algunos signos de oxidación en niveles areniscosos. Presencia de rellenos milimétricos de yeso.	17,40 TP-4 17,60		
19										
20										
21										
22										
23										



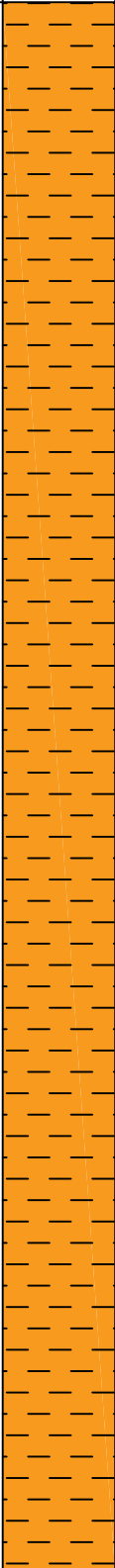
Sondeo: SM-0+770

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 154,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586602,96 Y_{UTM}: 4106546 Z_{UTM}: 328,07

SM - 0+770

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
43	101W			36,00		T _{SA}	Margas arenosas con algunas intercalaciones, en lentejones y niveles de escaso espesor, de arenisca de grano fino y tono gris claro.	43,30 TP-11 43,60	5,40E-05 (cm/s)	
44										
45										
46										
47										
48										
49										
50										
51										
52								52,30 TP-12 52,50		
53										
54										
55								55,20 TP-13 55,45		
56										
57										
58								58,20 TP-14 58,47		
59										
60										
61								61,55 TP-15 61,80		
62										
63										



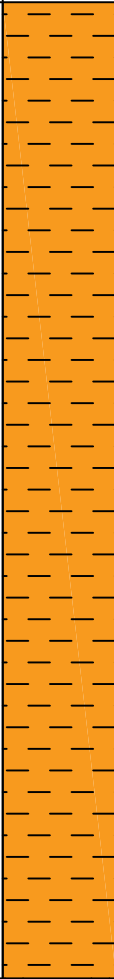
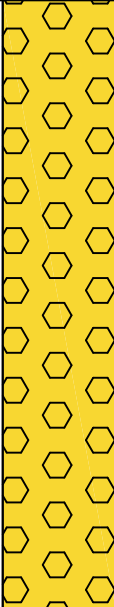
Sondeo: SM-0+770

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 154,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586602,96 Y_{UTM}: 4106546 Z_{UTM}: 328,07

SM - 0+770

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
64	101W		75,90	12,90		T _{SA}	Margas arenosas con algunas intercalaciones, en lentejones y niveles de escaso espesor, de arenisca de grano fino y tono gris claro.	64,40	5,40E-05 (cm/s)	
65								TP-16		
66								64,80		
67										
68										
69										
70										
71										
72										
73										
74										
75								75,00		
76				TP-17						
77				75,25						
78										
79										
80										
81										
82										
83										
84										
				58,00		T _{SB}	Conglomerado poligénico y polimíctico, mal seleccionado, con cantos de tamaño centimétrico a decimétrico, mayoritariamente de cuarzo, cuarcita y esquistos. Matriz limo-arenosa de tonos rojizos, algo alterada, y disgregada por la propia perforación en algunos tramos debido a la poca cementación.		3,10E-05 (cm/s)	



Sondeo: SM-0+770

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 154,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586602,96 Y_{UTM}: 4106546 Z_{UTM}: 328,07

SM - 0+770

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
85	101W			58,00		T _{SB}	Conglomerado poligénico y polimíctico, mal seleccionado, con cantos de tamaño centimétrico a decimétrico, mayoritariamente de cuarzo, cuarcita y esquistos. Matriz limo-arenosa de tonos rojizos, algo alterada, y disgregada por la propia perforación en algunos tramos debido a la poca cementación.	85,25	TP-18	86,00
86								85,62		
87										
88										
89										
90										
91										
92										
93										
94										
95										
96										
97										
98										
99										
100										
101								101,55	TP-19	100,00
102								102,00		
103										
104										
105								104,70	TP-20	



Sondeo: SM-0+770

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 154,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586602,96 Y_{UTM}: 4106546 Z_{UTM}: 328,07

SM - 0+770

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
106	101W			58,00		T _{SB}	Conglomerado poligénico y polimíctico, mal seleccionado, con cantos de tamaño centimétrico a decimétrico, mayoritariamente de cuarzo, cuarcita y esquistos. Matriz limo-arenosa de tonos rojizos, algo alterada, y disgregada por la propia perforación en algunos tramos debido a la poca cementación.			
107										
108										
109										
110										
111										
112										
113								112,90 TP-21 113,20		
114										
115								114,95 TP-22 115,20		
116										
117										
118										
119										
120										
121										
122										
123								123,00 TP-23 123,25		
124										
125										
126										



Sondeo: SM-0+770

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 154,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586602,96 Y_{UTM}: 4106546 Z_{UTM}: 328,07

SM - 0+770

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico		
127	101W		133,90	58,00		T _{SB}	Conglomerado poligénico y polimíctico, mal seleccionado, con cantos de tamaño centimétrico a decimétrico, mayoritariamente de cuarzo, cuarcita y esquistos. Matriz limo-arenosa de tonos rojizos, algo alterada, y disgregada por la propia perforación en algunos tramos debido a la poca cementación.	127,80				
128								TP-24 128,10				
129								129,70				
130								TP-25 129,95				
131								TP-26 132,00 132,37				
132												
133												
134				20,10		T _{IA2}	Arenisca de grano medio, de color gris. Presenta niveles margosos, de color gris oscuro, milimétricos a centimétricos.	135,70				
135								TP-27 135,95				
136								TP-28 140,70 141,00				
137												
138												
139												
140												
141												
142								TP-29 145,70 146,00				
143												
144												
145												
146												
147												



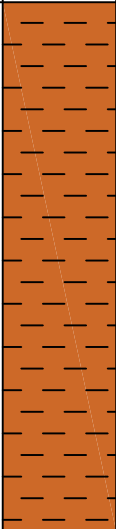
Sondeo: SM-0+770

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 154,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586602,96 Y_{UTM}: 4106546 Z_{UTM}: 328,07

SM - 0+770

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
148	101W			20,10		T _{IA2}	Arenisca de grano medio, de color gris. Presenta niveles margosos, de color gris oscuro, milimétricos a centimétricos.	150,70 TP-30 151,00		
149										
150										
151										
152										
153										
154										



SM – 1+016



Sondeo: SM-1+016

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 144,00 M

Coordenadas: X_{UTM} : 586563,13 Y_{UTM} : 4106303 Z_{UTM} : 320,000

SM - 1+016



Profundidad de 96,80 a 109,10 metros



Profundidad de 109,10 a 112,85 metros



Profundidad de 112,85 a 116,20 metros



Profundidad de 116,20 a 123,30 metros



Profundidad de 123,30 a 127,50 metros



Profundidad de 127,50 a 132,00 metros



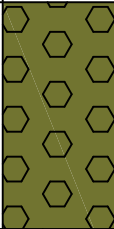
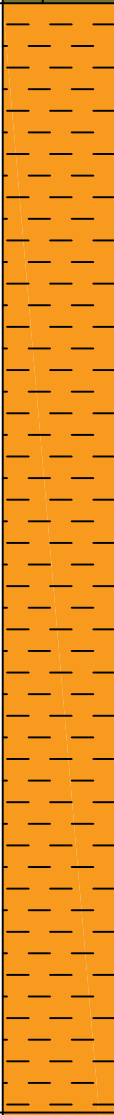
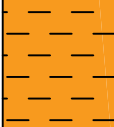
Sondeo: SM-1+016

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 144,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586563,13 Y_{UTM}: 4106303 Z_{UTM}: 320,000

SM - 1+016

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico			
1	101W	113	3,00	3,00		M _{AR}	Gravas de cantos subredondeados de calcarenita de hasta 5 cm, en una matriz areno-limosa.						
2				0,75							Calcarenita con restos fósiles calcáreos (bivalvos, corales, etc) algo alterada y bastante fracturada. No se aprecia la estratificación.		
3													
4													
5	101W		3,75	14,65		T _{SA}	Margas algo arenosas, de color beige, algo más carbonatadas hacia muro. Hasta los 6,00 metros aparecen algo más fracturadas.	5,80					
6								TP-1			6,05		
7													
8													
9								TP-2			8,85	9,05	
10													
11								TP-3			11,65	11,85	
12													
13													
14													
15													
16								TP-4			16,10	16,35	
17													
18													
19								18,40			1,75		Margas algo arenosas, de color beige, con algunos niveles o lentejones areniscosos. Se presentan muy fracturadas y con algunas evidencias de oxidación en matriz y juntas.
20								20,15			5,75		



Sondeo: SM-1+016

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 144,00 M

Coordenadas: X_{UTM} : 586563,13 Y_{UTM} : 4106303 Z_{UTM} : 320,000

SM - 1+016

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
22	101W		25,90	5,75		T _{SA}	Margas algo arenosas de color beige con algunos niveles o lentejones areniscosos. Se presentan algo fracturadas. Presencia de moscovita a favor de la estratificación.	TP-5 21,30		
23								23,75		
24								TP-6 24,05		
25			30,15	4,25			Margas arenosas, de color pardo, bastante fracturadas y algo alteradas sobre todo en las juntas, donde presentan signos de oxidación. Su aspecto puede estar relacionado con la zona deslizada en la que se encuentra, siendo una posible superficie de rotura.			
26										
27										
28			33,10	2,95			Margas algo arenosas de tonos grises con algunos niveles o lentejones areniscosos. Se presentan algo fracturadas.	31,55 TP-7 31,80		
29										
30										
31			36,85	3,75			Margas arenosas de tonos grises. Presentan un aspecto quebradizo y brechoide. Su estructura ha sido deformada y reestructurada debido a un gran deslizamiento rotacional.	35,00 TP-8 35,20		
32										
33										
34			38,10	1,25			Marga arenosa algo conglomerática, con cantos poligénicos (cuarcíticos y areniscos) subredondeados, de hasta varios centímetros, que se encuentran desorientados dentro de la matriz margosa.	37,55 TP-9 37,85		
35										
36										
37			41,20	14,40			Margas arenosas con niveles o lentejones areniscosos, de color grisáceo y grano fino, casi sin fracturas y de aspecto sano. Aumenta la presencia de moscovita a favor de la estratificación.	41,20 TP-10 41,40		
38										
39										
40										
41										
42										

38,90



Sondeo: SM-1+016

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 144,00 M

Coordenadas: X_{UTM} :586563,13 Y_{UTM} : 4106303 Z_{UTM} : 320,000

SM - 1+016

Profundidad (m)	Ø Perforación/Tipo	Ø Revestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
43	101W		52,50	14,40		T_{SA}	Margas arenosas con niveles o lentejones areniscosos, de color grisáceo y grano fino, casi sin fracturas y de aspecto sano. Aumenta la presencia de moscovita a favor de la estratificación.	44,20 TP-11 44,40	3,70E-07 (cm/s)	
44										
45										
46										
47								46,80 TP-12 47,00		
48										
49										
50								49,40 TP-13 49,60		
51										
52										
53	101W		52,50	12,10		T_{SA}	Margas arenosas gris oscuro, con algunos niveles o lentejones areniscosos de color grisáceo y grano fino. Tramo muy fracturado.	55,80 TP-14 55,95	3,70E-07 (cm/s)	
54										
55										
56										
57										
58										
59										
60								60,00		
61								60,95 TP-15 61,20		
62										
63										



Sondeo: SM-1+016

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 144,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586563,13 Y_{UTM}: 4106303 Z_{UTM}: 320,000

SM - 1+016

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico						
64	101W		64,60	12,10		T _{SA}	Margas arenosas gris oscuro, con algunos niveles o lentejones areniscosos de color grisáceo y grano fino. Tramo muy fracturado.	64,00 TP-16 64,30	65,00							
65				7,90				65,50 TP-17 65,70								
66																
67																
68																
69							Margas arenosas y areniscosas, de tonos gris claro. Aspecto muy sano en general. Presencia de moscovita a favor de la estratificación.	69,55 TP-18 69,85								
70																
71			72,50	1,00			Marga algo arenosa muy fracturada y algo alterada.									
72																
73			73,50		T _{SB}	Conglomerado mal graduado y mal seleccionado, de cantos, de hasta 30 cm, de diversa génesis y composición, de matriz arenoso-limosa, en general alterada y poco cementada, por lo que se presentan tramos muy disgregados, favorecidos por la propia perforación.	77,25 TP-19 77,45									
74																
75																
76																
77																
78																
79																
80																
81																
82																
83																
84																



Sondeo: SM-1+016

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 144,00 M

Coordenadas: X_{UTM} :586563,13 Y_{UTM} : 4106303 Z_{UTM} : 320,000

SM - 1+016

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
85	101W			53,35		T_{SB}	Conglomerado mal graduado y mal seleccionado, de cantos, de hasta 30 cm, de diversa génesis y composición, de matriz arenoso-limosa, en general alterada y poco cementada, por lo que se presentan tramos muy disgregados, favorecidos por la propia perforación.	89,90	90,00	9,20E-07 (cm/s)
86								TP-20		
87								90,20		
88										
89										
90										
91										
92								92,20		
93								TP-21		
94								92,35		
95										
96										
97										
98										
99										
100										
101										
102										
103										
104										
105										



Sondeo: SM-1+016

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 144,00 M

Coordenadas: X_{UTM} :586563,13 Y_{UTM} : 4106303 Z_{UTM} : 320,000

SM - 1+016

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
106	101W			53,35		T_{SB}	Conglomerado mal graduado y mal seleccionado, de cantos, de hasta 30 cm, de diversa génesis y composición, de matriz arenoso-limosa, en general alterada y poco cementada, por lo que se presentan tramos muy disgregados, favorecidos por la propia perforación.	112,50 TP-22 112,70	1,40E-06 (cm/s)	
107										
108										
109										
110										
111										
112										
113										
114										
115										
116										
117										
118										
119										
120										
121										
122										
123										
124										
125										
126										



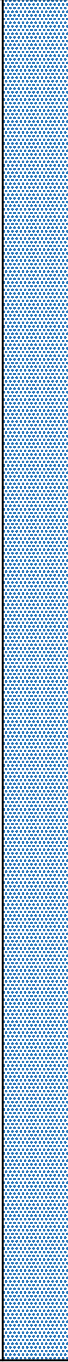
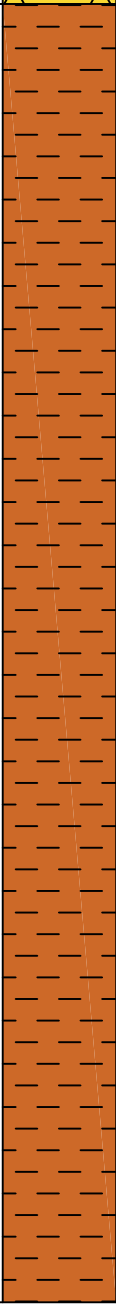
Sondeo: SM-1+016

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 144,00 M

Coordenadas: X_{UTM} :586563,13 Y_{UTM} : 4106303 Z_{UTM} : 320,000

SM - 1+016

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
127	101W		126,85	53,35		T _{SB}		130,00 TP-23 130,20		
128					T _{IA2}	Arenisca de grano medio, de color gris. Presenta niveles margosos, de color gris oscuro, milimétricos a centimétricos.				
129										
130										
131										
132										
133										
134										
135										
136										
137										
138										
139										
140										
141										
142										
143										
144										



SM – 1+509



Sondeo: SM-1+509

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 92,00 M

Coordenadas: X_{UTM} : 586483,32 Y_{UTM} : 4105817 Z_{UTM} : 270,150

SM - 1+509



Profundidad de 51,90 a 55,65 metros



Profundidad de 55,65 a 58,60 metros



Profundidad de 58,60 a 61,55 metros



Profundidad de 61,55 a 64,55 metros



Profundidad de 64,55 a 67,45 metros



Profundidad de 67,45 a 70,30 metros



Profundidad de 70,30 a 73,20 metros



Profundidad de 73,20 a 76,05 metros



Profundidad de 76,05 a 78,90 metros



Profundidad de 78,90 a 81,50 metros



Profundidad de 81,50 a 84,30 metros



Profundidad de 84,30 a 85,20 metros



Sondeo: SM-1+509

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 92,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586483,32 Y_{UTM}: 4105817 Z_{UTM}: 270,150

SM - 1+509

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
1	116D			9,00		Q _{AL}	Material compuesto por arcilla, arenas y gravas. Los cantos son milimétricos a centimétricos, polimícticos y van de redondeados a subredondeados. A muro el tamaño de los cantos aumenta.			
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9	101D		9,00	12,15		T _{SA}	Margas arenosas con intercalaciones de arenisca de grano fino y tono gris claro. Abundante contenido en moscovita. Hacia la mitad del tramo (13,80 m) el material se encuentra más disgregado. De 16,70 m a 18,25 m el tramo es más margoso.		15,00	8,30E-08 (cm/s)
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										
23										
24										

7,60



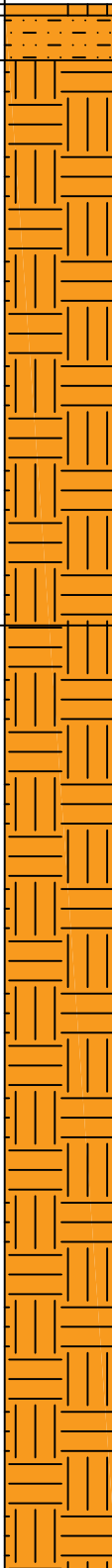
Sondeo: SM-1+509

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 92,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586483,32 Y_{UTM}: 4105817 Z_{UTM}: 270,150

SM - 1+509

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico	
22	101D		21,15	0,60		T _{SA}	Arenisca gris de grano fino-medio con mayor cantidad de mica	TP-1 21,45			
23			21,75								
24			7,55								
25											
26							Margas arenosas de tonos grises, con cantos subredondeados a angulosos, de hasta 4 cm de naturaleza calcárea, dispersos en la matriz.				
27											
28											
29				29,30							29,00 TP-2 29,25
30											
31											
32								31,85 TP-3 32,10			
33			16,40								
34											
35							34,90 TP-4 35,15				
36							Margas arenosas grises con niveles o lentejones areniscosos de color gris claro y grano fino. De 33,00 a 36,00 m el tramo se hace más margoso.				
37											
38							37,55 TP-5 37,80				
39											
40							40,25 TP-6 40,50				
41											
42											



Sondeo: SM-1+509

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 92,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586483,32 Y_{UTM}: 4105817 Z_{UTM}: 270,150

SM - 1+509

Profundidad (m)	Ø Perforación/Tipo	Ø Revestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
43	101D		45,70	16,40		T _{SA}	Margas arenosas grises con niveles o lentejones areniscosos de color gris claro y grano fino. De 33,00 a 36,00 m el tramo se hace más margoso.	43,90		
44								TP-7		
45								44,26		
46			49,50	3,80		T _{SCG}	Arenisca de grano grueso, microconglomerática, con niveles de margas arenosas. El tamaño del grano se hace mayor hacia el final del tramo.	46,30		
47								TP-8		
48								46,60		
49								50,00		
50							Microconglomerado polimíctico y poligénico, con cantos de tamaño milimétrico en matriz areniscosas, con niveles de areniscas grises de grano medio, y algunos niveles margosos.	TP-9		
51								50,25		
52								55,00		
53								TP-10		
54								55,25		
55								60,00		
56								TP-11		
57								60,25		
58										
59										
60										
61										
62										
63										



Sondeo: SM-1+509

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 92,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586483,32 Y_{UTM}: 4105817 Z_{UTM}: 270,150

SM - 1+509

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
64	101D			30,70		T _{SCG}	Microconglomerado polimíctico y poligénico, con cantos de tamaño milimétrico en matriz areniscosas, con niveles de areniscas grises de grano medio, y algunos niveles margosos.	65,00		
65								TP-12 65,25		
66										
67										
68										
69										
70								70,00 TP-13 70,25		
71										
72										
73										
74										
75								75,00 TP-14 75,25		
76										
77										
78										
79										
80			80,20	11,80		T _{SB}	Conglomerado polimíctico con cantos angulosos y mal graduados, desde tamaño milimétrico hasta decimétrico. Matriz areno-arcillosa, de tono marrón grisáceo.	80,20 TP-15 80,45		
81										
82										
83										
84										



Sondeo: SM-1+509

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 92,00 M

Coordenadas: X_{UTM} :586483,32 Y_{UTM} : 4105817 Z_{UTM} : 270,150

SM - 1+509

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
85	101D			11,80		T _{SB}	Conglomerado polimíctico con cantos angulosos y mal graduados, desde tamaño milimétrico hasta decimétrico. Matriz areno-arcillosa, de tono marrón grisáceo.	85,00 TP-16 85,25		
86										
87										
88										
89										
90								90,00 TP-17 90,25		
91										
92										



SM – 1+756



Sondeo: SM-1+756

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 97,00 M

Coordenadas: X_{UTM} : 586443 Y_{UTM} : 4105573 Z_{UTM} : 276,82

SM - 1+756



Profundidad de 57,60 a 61,35 metros



Profundidad de 61,35 a 64,30 metros



Profundidad de 64,30 a 67,25 metros



Profundidad de 67,25 a 70,25 metros



Profundidad de 70,25 a 73,15 metros



Profundidad de 73,15 a 76,00 metros



Profundidad de 76,00 a 78,90 metros



Profundidad de 78,90 a 81,75 metros



Profundidad de 81,75 a 84,60 metros



Profundidad de 84,60 a 87,45 metros



Sondeo: SM-1+756

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 97,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586443 Y_{UTM}: 4105573 Z_{UTM}: 276,82

SM - 1+756

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
1	116W	129	7,10			Q_{AL}	Aluvial formado por gravas mal seleccionadas con limos y arenas, de color marrón claro. Los cantos son heterométricos y polimícticos, centimétricos a decimétricos. Hacia el final del tramo aparecen unas gravas bien seleccionadas con algo de arena y nada de finos y con los cantos más redondeados.			
2										
3										
4										
5	116D	113	14,70			T_{SA}	Arenisca margosa de grano fino, de color marrón, con gran cantidad de micas. Aparecen intercalaciones milimétricas de arenisca de grano fino-medio. El contenido en margas es mayor en algunas zonas, aunque hacia la base este tramo es algo más arenoso.	11,05 TP-1 11,40		
6										
7										
8										
9	101D		15,45			T_{SCG}	Microconglomerado polimíctico y poligénico, de cantos en general menores de 5 mm, de subredondeados a redondeados, en matriz arenosa de tonos gris claro.	15,00 TP-2 15,30		
10										
11										
12										
13							Margas arenosas de tonos gris oscuro, con lentejones areniscosos de grano fino, y areniscas algo margosas, de grano fino a grueso.	18,50 TP-3 18,80		
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										
23										
24										

3,60



Sondeo: SM-1+756

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 97,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586443 Y_{UTM}: 4105573 Z_{UTM}: 276,82

SM - 1+756

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
22	101D		22,85			T _{scg}	Margas arenosas de tonos gris oscuro, con lentejones areniscosos de grano fino, y areniscas algo margosas, de grano fino a grueso.	22,10 TP-4 22,45	25,00	
23				23,75				Conglomerado polimíctico y poligénico de cantos de hasta tres centímetros, de subredondeados a redondeados, en matriz areno-limosa de tonos marrones. Hacia la base se hace clasto-soportado.		
24										
25			28,90		Areniscas de grano medio a grueso con cemento carbonático, que presentan intercalaciones de microconglomerados poligénicos y polimícticos.		25,10 TP-5 25,45			
26										
27										
28										
29										
30			38,20		Areniscas de grano medio a grueso, con algunos clastos de diversa naturaleza dispersos en la matriz, y margas arenosas con lentejones de areniscas grises de grano fino. Hacia la base se vuelve más areniscoso.		30,45 TP-7 30,75	30,00		
31										
32										
33										
34			T _{sb}	Conglomerado polimíctico y poligénico, de cantos heterométricos, de subangulosos a angulosos, en matriz limoso-arenosa de color ocre-rojizo. La matriz se encuentra más cementada a partir de los 46,50 metros.	33,85 TP-8 34,15	35,50				
35										
36					6,60E-06 (cm/s)					
37										
38										
39					41,00 TP-10 41,40	40,50				
40										
41										



Sondeo: SM-1+756

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 97,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586443 Y_{UTM}: 4105573 Z_{UTM}: 276,82

SM - 1+756

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
43	101D				Conglomerado polimíctico y poligénico, de cantos heterométricos, de subangulosos a angulosos, en matriz limoso-arenosa de color ocre-rojizo. La matriz se encuentra más cementada a partir de los 46,50 metros.	T _{SB}				
44										
45										
46								46,00		
47								TP-11		
48								46,40		
49										
50										
51								51,00		
52								TP-12		
53								51,40		
54										
55										
56								56,00		
57								TP-13		
58								56,40		
59										
60										
61								61,00		
62								TP-14		
63								61,40		



Sondeo: SM-1+756

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 97,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586443 Y_{UTM}: 4105573 Z_{UTM}: 276,82

SM - 1+756

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
64	101D					T _{SB}	Conglomerado polimítico y poligénico, de cantos heterométricos, de subangulosos a angulosos, en matriz limoso-arenosa de color ocre-rojizo. La matriz se encuentra más cementada a partir de los 46,50 metros.	66,00		
65								TP-15		
66								66,40		
67										
68										
69										
70										
71								71,00		
72								TP-16		
73								71,40		
74										
75										
76								76,00		
77								TP-17		
78								76,40		
79										
80										
81								81,00		
82								TP-18		
83								81,40		
84										



Sondeo: SM-1+756

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 97,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586443 Y_{UTM}: 4105573 Z_{UTM}: 276,82

SM - 1+756

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
85	101D				T _{IA2}		Arenisca de grano medio, de color gris. Presenta niveles margosos, de color gris oscuro, milimétricos a centimétricos.	86,00		
86								TP-19		
87								86,40		
88										
89										
90								91,00		
91								TP-20		
92								91,40		
93										
94										
95										
96								96,00		
97								TP-21		
								96,40		



SM – 3+235



Sondeo: SM-3+235

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 279,00 M

Coordenadas: X_{UTM} : 56203,89 Y_{UTM} : 4104114 Z_{UTM} : 475,430

SM - 3+235



Profundidad de 236,50 a 239,25 metros



Profundidad de 239,25 a 242,15 metros



Profundidad de 242,15 a 245,05 metros



Profundidad de 245,05 a 247,90 metros



Profundidad de 247,90 a 250,80 metros



Profundidad de 250,80 a 253,80 metros



Profundidad de 253,80 a 256,50 metros



Profundidad de 256,50 a 259,45 metros



Profundidad de 259,45 a 262,25 metros



Profundidad de 262,25 a 265,90 metros



Profundidad de 265,90 a 269,75 metros



Profundidad de 269,75 a 273,70 metros



Sondeo: SM-3+235

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 279,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:56203,89 Y_{UTM}: 4104114 Z_{UTM}: 475,430

SM - 3+235

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
1	116W									
2										
3										
4										
5	116D			36,90		T _{SA}	Marga con abundantes intercalaciones arenosas de grano fino de tamaños centimétricos a decimétricos. Al principio del tramo se aprecia yeso selenita relleno de las juntas. El tramo pasa de muy fracturado a fracturado y de algo alterado a sano según aumenta la profundidad. La estratificación se aprecia con facilidad.			
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13	116D			36,90		T _{SA}	Marga con abundantes intercalaciones arenosas de grano fino de tamaños centimétricos a decimétricos. Al principio del tramo se aprecia yeso selenita relleno de las juntas. El tramo pasa de muy fracturado a fracturado y de algo alterado a sano según aumenta la profundidad. La estratificación se aprecia con facilidad.			
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21	116D			36,90		T _{SA}	Marga con abundantes intercalaciones arenosas de grano fino de tamaños centimétricos a decimétricos. Al principio del tramo se aprecia yeso selenita relleno de las juntas. El tramo pasa de muy fracturado a fracturado y de algo alterado a sano según aumenta la profundidad. La estratificación se aprecia con facilidad.			
22										
23										
24										



Sondeo: SM-3+235

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 279,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:56203,89 Y_{UTM}: 4104114 Z_{UTM}: 475,430

SM - 3+235

Profundidad (m)	Ø Perforación/Tipo	Ø Revestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
22	116D			36,90		T _{SA}	Marga con abundantes intercalaciones arenosas de grano fino de tamaños centimétricos a decimétricos. Al principio del tramo se aprecia yeso selenita relleno de las juntas. El tramo pasa de muy fracturado a fracturado y de algo alterado a sano según aumenta la profundidad. La estratificación se aprecia con facilidad.	24,00		
23								TP-4		
24								24,20		
25										
26										
27								27,40		
28								TP-5		
29								27,70		
30										
31								30,45		
32	101D		36,90			T _{SGC}	Areniscas margosas de grano fino y microconglomerados de cantos poligénicos y polimícticos, preferentemente calcáreos. El tramo se encuentra algo fracturado pero sano y la estratificación se observa con más facilidad en los niveles más arenosos.	TP-6		
33								30,70		
34										
35								33,80		
36								TP-7		
37								34,25		
38										
39										
40								40,45		
41								TP-8		
42								40,75		



Sondeo: SM-3+235

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 279,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:56203,89 Y_{UTM}: 4104114 Z_{UTM}: 475,430

SM - 3+235

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
43	101D			36,90		T _{scg}	Areniscas margosas de grano fino y microconglomerados de cantos poligénicos y polimícticos, preferentemente calcáreos. El tramo se encuentra algo fracturado pero sano y la estratificación se observa con más facilidad en los niveles más arenosos.	44,05		
44								TP-9 44,30		
45										
46										
47										
48										
49								49,60		
50								TP-10 49,90		
51										
52								52,85		
53								TP-11 53,10		
54										
55										
56								56,55		
57								TP-12 56,90		
58										
59										
60								59,75		
61								TP-13 60,05		
62										
63										



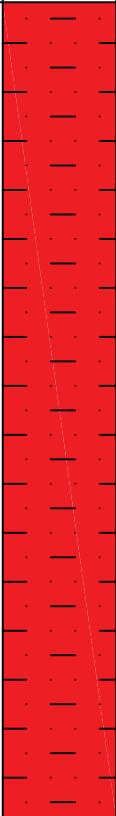
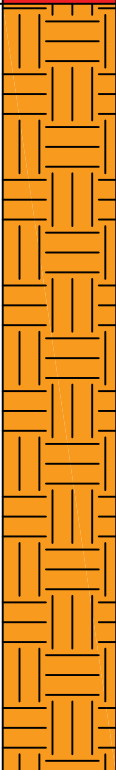
Sondeo: SM-3+235

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 279,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:56203,89 Y_{UTM}: 4104114 Z_{UTM}: 475,430

SM - 3+235

Profundidad (m)	Ø Perforación/Tipo	Ø Revestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
64	101D		73,80	36,90		T_{scg}	Areniscas margosas de grano fino y microconglomerados de cantos poligénicos y polimícticos, preferentemente calcáreos. El tramo se encuentra algo fracturado pero sano y la estratificación se observa con más facilidad en los niveles más arenosos.	64,45 TP-14 64,70		
65										
66										
67								67,45 TP-15 67,70		
68										
69										
70								70,20 TP-16 70,50		
71										
72										
73								73,05 TP-17 73,55		
74										
75				27,30		T_{sa}	Marga grisácea sana y poco fracturada con intercalaciones arenosas centimétricas de grano fino y ricas en moscovita, también incluye algún nivel de margocalizas. Los niveles arenosos marcan la estratificación.	76,15 TP-18 76,40		
76										
77										
78										
79								79,25 TP-19 79,75		
80										
81										
82										
83								82,90 TP-20 83,15		
84										



Sondeo: SM-3+235

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 279,00 M

Coordenadas: X_{UTM} : 56203,89 Y_{UTM} : 4104114 Z_{UTM} : 475,430

SM - 3+235

Profundidad (m)	Ø Perforación/Tipo	Ø Revestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
85	101D			27,30		T _{SA}	Marga grisácea sana y poco fracturada con intercalaciones arenosas centimétricas de grano fino y ricas en moscovita, también incluye algún nivel de margocalizas. Los niveles arenosos marcan la estratificación.	86,05		
86								TP-21		
87								86,45		
88										
89								89,60		
90								TP-22		
91								90,00		
92										
93										
94								94,25		
95								TP-23		
96								94,65		
97										
98								97,20		
99								TP-24		
100								97,60		
101		101,10		20,40			Tramo margoso con algún indicio de arenas y de niveles margocalizos que se encuentra muy fracturado aunque bastante sano.	100,30	3,20E-07 (cm/s)	
102								TP-25		
103								100,55		
104								102,85		
105								TP-26		
								103,10		



Sondeo: SM-3+235

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 279,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:56203,89 Y_{UTM}: 4104114 Z_{UTM}: 475,430

SM - 3+235

Profundidad (m)	Ø Perforación/Tipo	Ø Revestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
106	101D			20,40		T _{SA}	Tramo margoso con algún indicio de arenas y de niveles margocalizos que se encuentra muy fracturado aunque bastante sano.	106,80		
107								TP-27 107,10		
108										
109										
110										
111								111,40		
112								TP-28 111,60		
113										
114								114,55		
115								TP-29 114,80		
116			121,50	18,75			Marga grisácea algo alterada y fracturada, en los niveles margosos, con intercalaciones arenosas centimétricas de grano fino y ricas en moscovita. Los niveles arenosos marcan la estratificación.			
117								117,30		
118								TP-30 117,50		
119										
120										
121								121,15		
122								TP-31 121,50		
123										
124										
125										
126										



Sondeo: SM-3+235

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 279,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:56203,89 Y_{UTM}: 4104114 Z_{UTM}: 475,430

SM - 3+235

Profundidad (m)	Ø Perforación/Tipo	Ø Revestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
127	101D			18,75		T _{SA}	Marga grisácea algo alterada y fracturada, en los niveles margosos, con intercalaciones arenosas centimétricas de grano fino y ricas en moscovita. Los niveles arenosos marcan la estratificación.	127,70		
128								TP-32 128,00		
129										
130										
131										
132										
133								133,25		
134								TP-33 133,65		
135										
136								136,30		
137								TP-34 136,65		
138							Areniscas margosas de grano fino y microconglomerados de cantos subredondeados poligénicos y polimícticos, preferentemente calcáreos. El tramo se encuentra fracturado pero sano y la estratificación se observa con más facilidad en los niveles más arenosos.			
139								139,25		
140								TP-35 139,50		
141										
142										
143								142,45		
144								TP-36 142,65		
145										
146								146,05		
147								TP-37 146,25		



Sondeo: SM-3+235

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 279,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:56203,89 Y_{UTM}: 4104114 Z_{UTM}: 475,430

SM - 3+235

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
148	101D		160,80	18,15		T _{SA}	Marga grisácea sana y poco fracturada con intercalaciones arenosas centimétricas de grano fino. Los niveles arenosos marcan la estratificación.	149,25		
149								TP-38		
150								149,50		
151										
152										
153										
154								153,85		
155								TP-39		
156								154,15		
157										
158								156,90		
159								TP-40		
160								157,25		
161										
162								159,60		
163								TP-41		
164								160,05		
165							Tramo margoso con algún indicio de arenas que se encuentra fracturado aunque bastante sano. Se observan evidencias de oxidación hacia el final del tramo.			
166								164,30		
167								TP-42		
168								164,70		



Sondeo: SM-3+235

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 279,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:56203,89 Y_{UTM}: 4104114 Z_{UTM}: 475,430

SM - 3+235

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico								
169	101D		169,95	9,15		T _{SA}	Tramo margoso con algún indicio de arenas que se encuentra fracturado aunque bastante sano. Se observan evidencias de oxidación hacia el final del tramo.	168,40 TP-43 168,60										
170				9,20			Arenisca margosa de grano medio a grueso, algo alterada y fracturada, incluye un nivel margocalizo decimétrico hacia los 172,00 m.	171,80 TP-44 172,00										
171			179,15					174,90 TP-45 175,15										
172																		
173																		
174																		
175																		
176																		
177																		
178																		
179			81,15				Marga grisácea sana y fracturada con intercalaciones arenosas de centimétricas a decimétricas la mayoría de grano fino. Los niveles arenosos marcan la estratificación.	179,15 TP-46 179,50										
180													182,85 TP-47 183,10					
181																		
182																		
183																		
184																		
185													185,20 TP-48 185,50					
186																		
187													188,20 TP-49 188,45					
188																		
189																		



Sondeo: SM-3+235

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 279,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:56203,89 Y_{UTM}: 4104114 Z_{UTM}: 475,430

SM - 3+235

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
190	101D			81,15		T _{SA}	Marga grisácea sana y fracturada con intercalaciones arenosas de centimétricas a decimétricas la mayoría de grano fino. Los niveles arenosos marcan la estratificación.	192,45 TP-50 192,80	200,00 4,50E-07 (cm/s) 205,00	
191										
192										
193										
194										
195								195,40 TP-51 195,70		
196										
197										
198								197,80 TP-52 198,05		
199										
200								200,95 TP-53 201,30		
201										
202										
203										
204								204,65 TP-54 204,85		
205										
206										
207										
208								207,95 TP-55 208,30		
209										
210										



Sondeo: SM-3+235

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 279,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:56203,89 Y_{UTM}: 4104114 Z_{UTM}: 475,430

SM - 3+235

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
211	101D			81,15		T _{SA}	Marga grisácea sana y fracturada con intercalaciones arenosas de centimétricas a decimétricas la mayoría de grano fino. Los niveles arenosos marcan la estratificación.	210,85 TP-56 211,20		
212										
213										
214								214,10 TP-57 214,35		
215										
216										
217								216,90 TP-58 217,25		
218										
219										
220								220,60 TP-59 220,85		
221										
222										
223								223,60 TP-60 223,85		
224										
225										
226								226,35 TP-61 226,65		
227										
228										
229								229,30 TP-62 229,60		
230										
231										



Sondeo: SM-3+235

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 279,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:56203,89 Y_{UTM}: 4104114 Z_{UTM}: 475,430

SM - 3+235

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
232	101D			81,15		T _{SA}	Marga grisácea sana y fracturada con intercalaciones arenosas de centimétricas a decimétricas la mayoría de grano fino. Los niveles arenosos marcan la estratificación.	233,15		
233								TP-63		
234								233,35		
235										
236								236,05		
237								TP-64		
238								236,40		
239										
240										
241								241,65		
242								TP-65		
243								241,90		
244								244,05		
245								TP-66		
246								244,45		
247										
248								248,05		
249								TP-67		
250								248,40		
251										
252								250,80		
253								TP-68		
254								251,05		



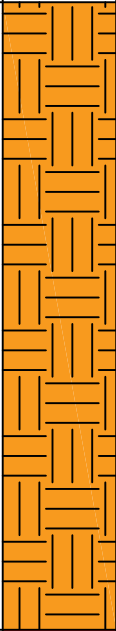
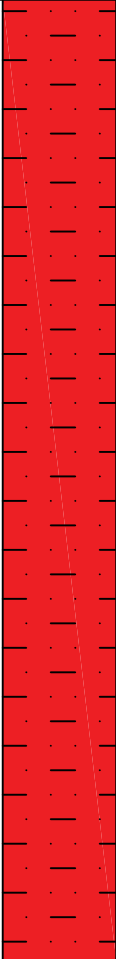
Sondeo: SM-3+235

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 279,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:56203,89 Y_{UTM}: 4104114 Z_{UTM}: 475,430

SM - 3+235

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
253	101D		260,30	81,15		T _{SA}	Marga grisácea sana y fracturada con intercalaciones arenosas de centimétricas a decimétricas la mayoría de grano fino. Los niveles arenosos marcan la estratificación.	256,50 TP-69 256,75		
254										
255										
256										
257										
258										
259										
260										
261										
262										
263										
264										
265										
266										
267										
268			260,30	18,70		T _{SCG}	Alternancia de margas arenosas con areniscas margosas de grano medio, microconglomerados y conglomerados. Los conglomerados, de matriz arenosa, tienen cantos subredondeados poligénicos y polimícticos en general de pizarra, carbonatos y cuarzo. El tramo se encuentra algo alterado y fracturado y la estratificación se aprecia mejor en los niveles arenosos y margosos.	263,00 TP-71 263,20		
269										
270										
271										
272										
273										



Sondeo: SM-3+235

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 279,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:56203,89 Y_{UTM}: 4104114 Z_{UTM}: 475,430

SM - 3+235

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
274	101D			18,70		T _{scg}	Alternancia de margas arenosas con areniscas margosas de grano medio, microconglomerados y conglomerados. Los conglomerados, de matriz arenosa, tienen cantos subredondeados poligénicos y polimícticos en general de pizarra, carbonatos y cuarzo. El tramo se encuentra algo alterado y fracturado y la estratificación se aprecia mejor en los niveles arenosos y margosos.	TP-73		
275								273,45		
276								275,60		
277								TP-74		
278								276,10		
279										

SM – 3+728



Sondeo: SM-3+728

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 242,00 M

Coordenadas: X_{UTM} : 586120,18 Y_{UTM} : 4103628,3 Z_{UTM} : 444,040

SM - 3+728



Profundidad de 201,90 a 204,90 metros



Profundidad de 204,90 a 207,70 metros



Profundidad de 207,70 a 210,30 metros



Profundidad de 210,30 a 213,00 metros



Profundidad de 213,00 a 215,85 metros



Profundidad de 215,85 a 218,85 metros



Profundidad de 218,85 a 221,70 metros



Profundidad de 221,70 a 224,60 metros



Profundidad de 224,60 a 227,65 metros



Profundidad de 227,65 a 230,70 metros



Profundidad de 230,70 a 233,55 metros



Profundidad de 233,55 a 236,45 metros



Sondeo: SM-3+728

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 242,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586120,18 Y_{UTM}: 4103628,3 Z_{UTM}: 444,040

SM - 3+728

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico			
1	116W	113	2,24	2,24		Q _{AB}	Limo arenoso y arena limosa de color pardo claro. Presenta venas de espesor milimétrico de yeso sin dirección preferente. Restos vegetales.						
2													
3			14,56		T _{SCG}	Arenisca de grano fino a muy fino, de color gris. Presenta zonas con abundantes óxidos. Abundante mica blanca. Presenta niveles de margas de color gris oscuro de espesor milimétrico, venas de yeso y niveles de arcillas abundantes en algunas zonas. Zonas algo alteradas y otras bastante alteradas, generalmente más ricas en niveles arcillosos.							
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10													
11													
12													
13													
14													
15													
16													
17	116D	113											
18													
19													
20													
18	101D	113	16,80	3,90		T _{SCG}	Arenisca de grano fino, de color gris y marrón, de poco a algo alteradas. Concentran niveles arcillosos de hasta 1 cm de espesor y contienen abundante mica blanca. Hay niveles dispersos milimétricos, de margas de color gris oscuro.						
19													
20			20,70			T _{SCG}							
21													
22								8,45	TP-1				
23								8,80					
24													
25								12,15	TP-2				
26								12,40					
27													
28													
29													
30													
31													
32													
33													
34													
35													
36													
37													
38													
39													
40													
41													
42													
43													
44													
45													
46													
47													
48													
49													
50													
51													
52													
53													
54													
55													
56													
57													
58													
59													
60													
61													
62													
63													
64													
65													
66													
67													
68													
69													
70													
71													
72													
73													
74													
75													
76													
77													
78													
79													
80													
81													
82													
83													
84													
85													
86													
87													
88													
89													
90													
91													
92													
93													
94													
95													
96													
97													
98													
99													
100													
101													
102													
103													
104													
105													
106													
107													
108													
109													
110													
111													
112													
113													
114													
115													
116													
117													
118													
119													
120													
121													
122													
123													
124													
125													
126													
127													
128													
129													
130													
131													
132													
133													
134													
135													
136													
137													
138													
139													
140													
141													
142													
143													
144													
145													
146													
147													
148													
149													
150													
151													
152													
153													
154													
155													
156													
157													
158													
159													
160													
161													
162													
163													
164													
165													
166													
167													
168													
169													
170													
171													
172													
173													
174													
175													
176													
177													
178													
179													
180													
181													
182													
183													
184													
185													
186													
187													
188													
189													
190													
191													
192													
193													
194													
195													
196													
197													
198													
199													
200													
201													
202													
203													
204													
205													
206													
207													
208													
209													
210													
211													
212													
213													
214													
215													
216													
217													
218													
219													
220													
221													
222													
223													
224													
225													
226													
227													
228													
229													
230													
231													
232													
233													
234													
235													
236													
237													
238													
239													
240													
241													
242													
243													



Sondeo: SM-3+728

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 242,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586120,18 Y_{UTM}: 4103628,3 Z_{UTM}: 444,040

SM - 3+728

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
22	101D		29,75	9,05		T _{scg}	Arenisca margosa de grano fino, de tonos grises, de espesor centimétrico. Presenta niveles margosos centimétricos. En general está algo alterada a excepción de los niveles de arenisca gris claro. Posible zona de fractura de 24,70 a 25,00 metros.	21,15		
23								24,20		
24								TP-4		
25								24,70		
26										
27								27,40		
28								TP-5		
29								27,80		
30			32,75	3,00			Arenisca de grano fino a medio de color gris. Presenta niveles de arenisca de grano medio y zonas de arenisca margosa de grano fino, con niveles de espesor milimétrico de margas. A excepción de alguna zona aislada está poco alterado.	30,35		
31								TP-6		
32			36,60	3,85			Arenisca de grano fino a medio, de tonos grises, algo alterada. Presenta niveles margosos centimétricos y cantos dispersos de hasta 2 cm. Bastante disgregado.	30,65		
33										
34										
35			37,90	1,30			Arenisca de grano medio, de tonos grises, con pequeños cantos dispersos (2-3 mm) fundamentalmente de cuarzo y pizarra. Poco alterada.	37,90		
36								TP-7		
37			7,35				Arenisca de grano medio a fino, de tonos grises, sana y bien cementada. Poco fracturadas. Hay un tramo microconglomerático de 45,30 a 45,75 metros.	38,15		
38										
39										
40										
41										
42										

29,60



Sondeo: SM-3+728

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 242,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586120,18 Y_{UTM}: 4103628,3 Z_{UTM}: 444,040**SM - 3+728**

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
43	101D		45,25	7,35		T _{scg}	Arenisca de grano medio a fino, de tonos grises, sana y bien cementada. Poco fracturadas. Hay un tramo microconglomerático de 45,30 a 45,75 metros.	42,30 TP-8 42,55	2,0E-05 (cm/s)	
44				4,20			Arenisca de grano medio a grueso, de color gris oscuro con abundantes micas blancas. Esta algo alterada siendo disgregable con los dedos en muchas zonas.	46,20 TP-9 46,45		
45			49,45					Arenisca de grano fino a medio, de tonos grises. Poco alterado y bien cementado. Presenta niveles de color gris claro de arenisca de grano fino.		
46				6,85			Arenisca de grano medio a grueso de color gris oscuro, muy poco o nada alterada y bien cementada. Abundantes micas blancas.			
47			56,30					Arenisca de grano medio a grueso de color gris oscuro, alternando con niveles conglomeráticos poligénicos y polimícticos bien cementados. De 62,85 a 63,40 metros existe una posible zona de falla.		
48				3,60			55,45			
49			59,90					57,00 TP-12 57,65		
50				5,20			60,50 TP-13 60,75			
51										
52										
53										
54										
55										
56										
57										
58										
59										
60										
61										
62										
63										



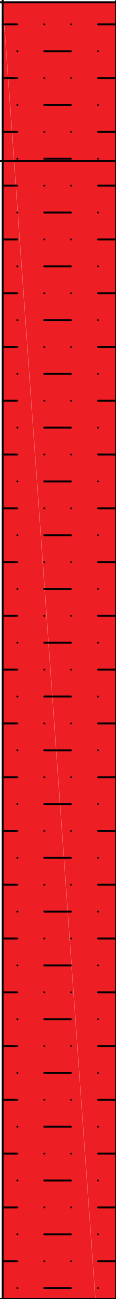
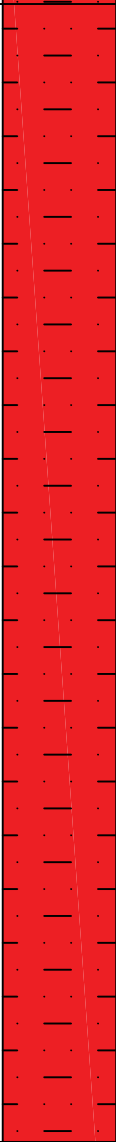
Sondeo: SM-3+728

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 242,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586120,18 Y_{UTM}: 4103628,3 Z_{UTM}: 444,040

SM - 3+728

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico	
64	101D		65,10	5,20		T _{scg}	Arenisca de grano medio a grueso de color gris oscuro, alternando con niveles conglomeráticos poligénicos y polimícticos bien cementados. De 62,85 a 63,40 metros existe una posible zona de falla.	63,40 TP-14 63,80			
65											
66			15,05				Arenisca de grano fino a medio de color gris. Presenta buena cementación y poca alteración. Presenta niveles aislados margosos y niveles de arenisca margosa, de color gris oscuro.	66,70 TP-15 66,95			
67											
68											
69											
70								70,10 TP-16 70,40			
71								8,45 TP-1 8,80			
72								72,90 TP-17 73,30			
73											
74											
75											
76								75,70 TP-18 76,05			
77											
78								78,40 TP-19 78,65			
79											
80											
81								Alternancia de conglomerado bien cementado, polimíctico y poligénico, de tamaño de grano medio, a excepción de un tramo de 84,60 a 84,90 m de mayor tamaño de grano (1-2 cm), y arenisca.			80,70
82											81,40 TP-20 81,60
83											
84											



Sondeo: SM-3+728

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 242,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586120,18 Y_{UTM}: 4103628,3 Z_{UTM}: 444,040

SM - 3+728

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico	
85	101D		86,70	6,55		T _{scg}	Alternancia de conglomerado bien cementado, polimictico y poligénico, de tamaño de grano medio, a excepción de un tramo de 84,60 a 84,90 m de mayor tamaño de grano (1-2 cm), y arenisca.	85,00	85,70		
86				85,35							
87			23,50					Arenisca de grano fino a medio con niveles de arenisca margosa y margas. Presenta algún nivel aislado de arenisca de grano grueso y de microconglomerado. Posibles zonas de fractura, con rellenos de calcita de 101,25 a 101,35 m y de 102,85 a 103,00 m.			88,30
88											TP-22
89											88,65
90											
91											91,10
92											TP-23
93											91,40
94											
95											94,20
96											TP-24
97											94,75
98											97,05
99											TP-25
100											97,35
101											
102											100,45
103											TP-26
104											100,75
105											
106	103,45										
107	TP-27										
108	103,80										



Sondeo: SM-3+728

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 242,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586120,18 Y_{UTM}: 4103628,3 Z_{UTM}: 444,040

SM - 3+728

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico	
106	101D		110,20	23,50		T _{scg}	Arenisca de grano fino a medio con niveles de arenisca margosa y margas. Presenta algún nivel aislado de arenisca de grano grueso y de microconglomerado. Posibles zonas de fractura, con rellenos de calcita de 101,25 a 101,35 m y de 102,85 a 103,00 m.	106,35	1,7E-05 (cm/s)		
107								TP-28			
108								106,65			
109			109,30	114,75			4,55	Similar al anterior nivel de conglomerado grueso.			TP-29
110			109,75								
111			112,55								
112			TP-30								
113			112,80	118,50			3,75	Arenisca de grano fino a medio con niveles aislados margosos.			TP-31
114			115,55								
115			115,80								
116			117,90	119,50			1,00				TP-32
117			118,20								
118	121,00										
119	TP-33										
120	121,35		6,60		Arenisca de grano fino a medio, y en algunas zonas medio a grueso, con algún nivel conglomerático aislado.	124,60					
121	TP-34										
122	124,90										
123											



Sondeo: SM-3+728

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 242,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586120,18 Y_{UTM}: 4103628,3 Z_{UTM}: 444,040

SM - 3+728

Profundidad (m)	Ø Perforación/Tipo	Ø Revestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
127	101D		126,10	1,90		T _{scg}	Conglomerado poligénico, polimíctico de tamaño centimétrico, completamente disgregado. Posible zona de fractura, hay venas y fracturas rellenas de cuarzo.	129,30 TP-35 129,55		
128			128,00	4,00			Arenisca de grano fino a medio, de color oscuro, con niveles margosos.			
129			132,00	0,85			Conglomerado poligénico, polimíctico (tamaño medio 0,50 a 2 cm), muy disgregado.			
130			132,85	35,40			Arenisca gris con niveles margosos y de arenisca margosa. El tramo de grano dominante es el grano medio a fino.			
131										
132										
133										
134										
135										
136										
137								133,75 TP-36 134,20		
138								137,10 TP-37 137,35		
139								140,40 TP-38 140,70		
140								144,20 TP-39 144,45		
141									146,60	
142										
143										
144										
145										
146										
147										



Sondeo: SM-3+728

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 242,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586120,18 Y_{UTM}: 4103628,3 Z_{UTM}: 444,040

SM - 3+728

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
148	101D			35,40		T _{scg}	Arenisca gris con niveles margosos y de arenisca margosa. El tramo de grano dominante es el grano medio a fino.	147,90 TP-40 148,10	1,5E-05 (cm/s)	
149										
150										
151								150,80 TP-41 151,10		
152										
153										
154								153,65 TP-42 154,00		
155										
156										
157										
158										
159										
160								160,10 TP-43 160,40		
161										
162										
163								163,45 TP-44 163,75		
164										
165										
166								165,90 TP-45 166,25		
167										
168										



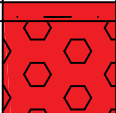
Sondeo: SM-3+728

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 242,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586120,18 Y_{UTM}: 4103628,3 Z_{UTM}: 444,040

SM - 3+728

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
169	101D		168,25	1,25		T _{SCG}	Conglomerado poligénico, clastosoportado, de tamaño de grano medio y bien cementado.	169,55	9,3E-06 (cm/s)	
170			169,50				TP-46	169,90		
171					171,90					
172					TP-47		172,20			
173										
174										
175					175,45					
176					TP-48		175,65			
177										
178					178,70					
179					TP-49		179,05			
180							180,00			
181										
182										
183										
184					184,05					
185					TP-50		184,25			
186							185,00			
187										
188										
189										



Sondeo: SM-3+728

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 242,00 M

Coordenadas: X_{UTM} :586120,18 Y_{UTM} : 4103628,3 Z_{UTM} : 444,040

SM - 3+728

Profundidad (m)	Ø Perforación/Tipo	Ø Revestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
190	101D			72,50		T_{SCG}	Arenisca bien cementada. Predomina el grano medio a grueso. Presenta niveles muy margosos y alguno microconglomerático, de color gris a gris oscuro.	190,00 TP-51 190,20		
191										
192										
193										
194										
195								195,00 TP-52 195,20		
196										
197										
198										
199										
200								200,00 TP-53 200,20		
201										
202										
203										
204										
205								205,00 TP-54 205,20		
206										
207										
208										
209										
210										



Sondeo: SM-3+728

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 242,00 M

Coordenadas: X_{UTM} :586120,18 Y_{UTM} : 4103628,3 Z_{UTM} : 444,040

SM - 3+728

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
211	101D			72,50		T_{SCG}	Arenisca bien cementada. Predomina el grano medio a grueso. Presenta niveles muy margosos y alguno microconglomerático, de color gris a gris oscuro.	211,00 TP-55 211,20		
212										
213										
214										
215										
216								216,00 TP-56 216,20		
217										
218										
219										
220										
221								221,00 TP-57 221,20		
222										
223										
224										
225										
226								226,00 TP-58 226,20		
227										
228										
229										
230										
231										



Sondeo: SM-3+728

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 242,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586120,18 Y_{UTM}: 4103628,3 Z_{UTM}: 444,040

SM - 3+728

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
232	101D			72,50		T_{SCG}	Arenisca bien cementada. Predomina el grano medio a grueso. Presenta niveles muy margosos y alguno microconglomerático, de color gris a gris oscuro.	232,00 TP-59 232,20		
233										
234										
235										
236										
237								237,00 TP-60 237,20		
238										
239										
240										
241										
242										



SM – 4+961



Sondeo: SM-4+961

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 147,00 M

Coordenadas: X_{UTM} : 586039 Y_{UTM} : 4102401 Z_{UTM} : 335,400

SM - 4+961



Profundidad de 75,80 a 78,55 metros



Profundidad de 78,55 a 81,30 metros



Profundidad de 81,30 a 84,25 metros



Profundidad de 84,25 a 87,00 metros



Profundidad de 87,00 a 89,45 metros



Profundidad de 89,45 a 92,45 metros



Profundidad de 92,45 a 95,50 metros



Profundidad de 95,50 a 98,20 metros



Profundidad de 98,20 a 100,65 metros



Profundidad de 100,65 a 103,65 metros



Profundidad de 103,65 a 106,55 metros



Profundidad de 106,55 a 109,35 metros



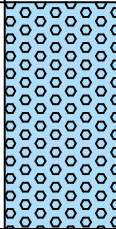
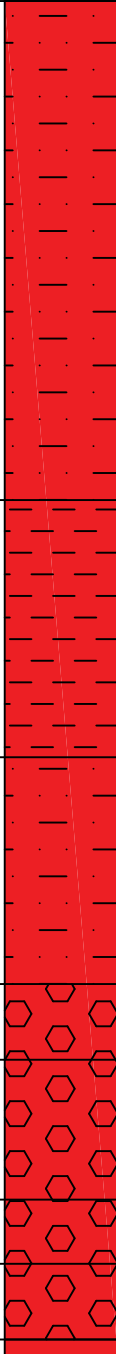
Sondeo: SM-4+961

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 117,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586039 Y_{UTM}:4102401 Z_{UTM}:335,400

SM - 4+961

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
1	116W	113	3,00	3,00		Q _{Fv}	Gravas heterométricas de diversa naturaleza (cuarcitas, calcarenitas, etc) en matriz arenosa-limosa carbonatada.	3,00		
2										
3										
4	101W		9,60	6,60		T _{scg}	Arenisca grosera de tonos marrones, con alguna intercalación margosa y conglomerática. Tiene subtramos de mayor compacidad y otros más disgregados debido a la menor cementación y a la perforación. Los cantos son heterométricos y principalmente de cuarzo y cuarcita. Hacia el final del tramo aumenta el tamaño de grano y se hace más margosa.	MI-1		
5								3,35		
6								23,65		
7								TP-1		
8				24,00						
9				8,85						
10				TP-2						
11				9,05						
12										
13				12,95						
14				TP-3						
15				13,20						
16										
17				16,85						
18				TP-4						
19				17,05						
20				18,85						
21	TP-5									
22	19,15									
23										
24										
25										
26										
27										
28										
29										
30										
31										
32										
33										
34										
35										
36										
37										
38										
39										
40										
41										
42										
43										
44										
45										
46										
47										
48										
49										
50										
51										
52										
53										
54										
55										
56										
57										
58										
59										
60										
61										
62										
63										
64										
65										
66										
67										
68										
69										
70										
71										
72										
73										
74										
75										
76										
77										
78										
79										
80										
81										
82										
83										
84										
85										
86										
87										
88										
89										
90										
91										
92										
93										
94										
95										
96										
97										
98										
99										
100										



Sondeo: SM-4+961

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 117,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586039 Y_{UTM}:4102401 Z_{UTM}:335,400

SM - 4+961

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
22	101W		28,45	7,75		T _{scg}	Alternancia de areniscas y microconglomerados de tonos grisáceos. Aspecto, en general muy firme. A los 22,90 m aparece un pequeño tramo de aproximadamente 11 metro con una matriz más arcillosa y mayor tamaño de clastos. Aumenta el contenido en micas y el grado de disgregación hacia muro, aunque aumenta el tamaño de clasto.	22,00		
23								TP-6		
24										
25								24,65		
26								TP-7		
27								25,15		
28										
29								28,65		
30								TP-8		
31								29,20		
32			30,00	1,55			Conglomerado grisáceos con cantos heterométricos de cuarzo y cuarcita. Matriz arcillosa. Alta compacidad. Bastante duro.	31,90		
33								TP-9		
34								32,50		
35								35,10		
36								TP-6		
37								35,30		
38										
39								38,35		
40								TP-11		
41								38,65		
42			37,10	36,60			Areniscas de grano muy fino y tono gris claro. Es un tramo de mucha compacidad y firmeza. Hacia el final del tramo el tamaño de grano va aumentando. Se observan intercalaciones de niveles algo margosos.	41,70		
43								TP-12		



Sondeo: SM-4+961

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 117,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586039 Y_{UTM}: 4102401 Z_{UTM}: 335,400

SM - 4+961

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
43	101W			36,60		T _{scg}	Areniscas de grano muy fino y tono gris claro. Es un tramo de mucha compacidad y firmeza. Hacia el final del tramo el tamaño de grano va aumentando. Se observan intercalaciones de niveles algo margosos.	42,15		
44								44,45		
45								TP-13 44,75		
46										
47										
48								47,95 TP-14 48,30		
49										
50										
51								50,90 TP-15 51,30		
52										
53										
54								54,35 TP-16 54,60		
55										
56										
57								56,65 TP-17 56,95		
58										
59										
60										
61								61,60 TP-18 61,95		
62										
63										



Sondeo: SM-4+961

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 117,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586039 Y_{UTM}: 4102401 Z_{UTM}: 335,400

SM - 4+961

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico		
64	101W		73,70	36,60		T _{scg}	Areniscas de grano muy fino y tono gris claro. Es un tramo de mucha compacidad y firmeza. Hacia el final del tramo el tamaño de grano va aumentando. Se observan intercalaciones de niveles algo margosos.	65,15				
65								TP-19				
66								65,50				
67												
68								68,05				
69								TP-20				
70								68,35				
71								70,40				
72								TP-21				
73								70,75				
74		73,40	TP-22	73,65								
75			76,30	2,60			Conglomerados de tonos grisáceos de naturaleza polimíctica y poligénica y cantos heterométricos de hasta 3 cm en matriz arenosa. Aspecto masivo.					
76												
77												
78								77,65			TP-23	77,90
79												
80								80,45			TP-24	80,65
81								81,40			TP-25	81,60
82												
83												
84												
			83,55									



Sondeo: SM-4+961

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 117,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586039 Y_{UTM}: 4102401 Z_{UTM}: 335,400

SM - 4+961

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico					
85	96W		88,05	4,50		T _{scg}	Arenisca de tonos grises de grano medio a grueso con niveles de microconglomerados. Alta compacidad y bastante duro.	84,35 TP-26 84,60	1,20E-07 (cm/s)						
86								87,15 TP-27 87,65							
87															
88															
89			101,30	13,25			Conglomerado de tonos grises, polimíctico y poligénico, con cantos heterométricos de hasta 10 cm. En general, salvo los primeros 30 cm, presenta un aspecto masivo y muy compacto. La matriz es arenoso-limosa y muy bien cementada. Presencia de alguna intercalación de areniscas de grano grueso.	89,00							
90								90,40 TP-28 90,70							
91								94,05 TP-29 94,35							
92															
93															
94															
95															
96															
97								97,00 TP-30 97,35							
98								100,10 TP-31 100,50							
99															
100															
101															
102							Arenisca de tonos grises de grano medio-grueso, con algunas intercalaciones de microconglomerados. Alta compacidad y bastante duro. Al final del tramo están muy fracturadas. A muro presenta un nivel margoso de unos 20 cm.	103,05 TP-32 103,35	104,00						
103				5,65											
104															
105															



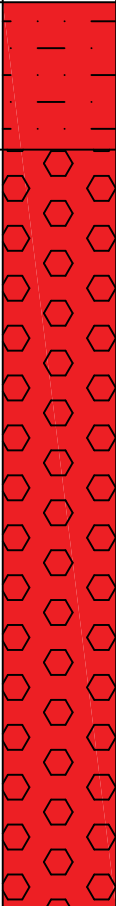
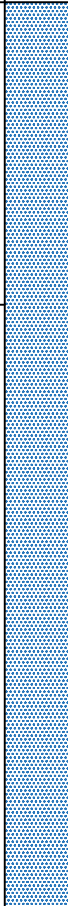
Sondeo: SM-4+961

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 117,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586039 Y_{UTM}: 4102401 Z_{UTM}: 335,400

SM - 4+961

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
106	96W		106,95	5,65		T _{scg}	Arenisca de tonos grises de grano medio-grueso, con algunas intercalaciones de microconglomerados. Alta compacidad y bastante duro. Al final del tramo están muy fracturadas. A muro presenta un nivel margoso de unos 20 cm.	106,20 TP-33 106,55	2,50E-07 (cm/s)	
107				Conglomerados en tonos grisáceos de naturaleza polimíctica y poligénica y cantos heterométricos de hasta 6 cm, con algún nivel arenoso de grano grueso.			110,00 TP-34 110,25			
108										
109										
110										
111										
112										
113										
114										
115										
116										
117										



SM – 5+207



Sondeo: SM-5+207

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 126,00 M

Coordenadas: X_{UTM} : 586051 Y_{UTM} : 4102154 Z_{UTM} : 347,76

SM - 5+207



Profundidad de 82,80 a 85,80 metros



Profundidad de 85,80 a 88,80 metros



Profundidad de 88,80 a 91,80 metros



Profundidad de 91,80 a 94,80 metros



Profundidad de 94,80 a 97,80 metros



Profundidad de 97,80 a 100,80 metros



Profundidad de 100,80 a 103,80 metros



Profundidad de 103,80 a 106,80 metros



Profundidad de 106,80 a 109,80 metros



Profundidad de 109,80 a 112,80 metros



Profundidad de 112,80 a 115,80 metros



Profundidad de 115,80 a 118,80 metros



Sondeo: SM-5+207

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 126,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586051 Y_{UTM}: 4102154 Z_{UTM}: 347,76

SM - 5+207

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
1	101W	113	5,80	5,80		T _{IA2}	Limos arenosos de color pardo, con pequeños cantos de areniscas dispersos.			
2										
3										
4										
5										
6		5,80	0,60		Areniscas de color gris oscuro, de grano grueso.		9,70			
7		6,40					TP-1			
8							10,00			
9		4,60					Arenisca margosa de grano muy fino, de color pardo.			
10										
11	11,00	4,00	Arenisca de grano medio, de color gris. Presenta niveles margosos, de color gris oscuro, milimétricos a centimétricos.	12,20						
12				TP-2						
13				12,70						
14										
15	15,00			23,00		Marga de color gris oscuro. Presenta niveles de arenisca de grano fino a medio, centimétricos, de color gris a gris claro.	16,20			
16		TP-3								
17		16,80								
18										
19		19,30								
20							TP-4	19,60	20,00	



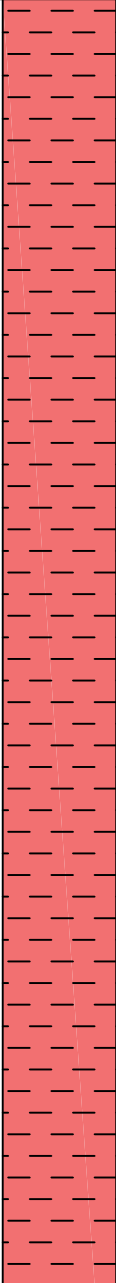
Sondeo: SM-5+207

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 126,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586051 Y_{UTM}: 4102154 Z_{UTM}: 347,76

SM - 5+207

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
22	101W			23,00		T _{IA2}	Marga de color gris oscuro. Presenta niveles de arenisca de grano fino a medio, centimétricos, de color gris a gris claro.	22,50	9,30E-06 (cm/s)	
23								TP-5		
24								22,80		
25								25,80	25,00	
26								TP-6		
27								26,15		
28								28,80	30,00	
29								TP-7		
30								29,05		
31										
32										
33								33,30	7,80E-06 (cm/s)	
34								TP-8		
35								33,60		
36								36,00		
37								TP-9		
38	36,35	35,00								
39	38,05									
40	TP-10									
41	38,35									
42	41,40	Alternancia de margas, gris oscuro y arenisca de grano fino a medio de color gris a gris claro.								
	TP-11									
	41,70									



Sondeo: SM-5+207

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 126,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586051 Y_{UTM}: 4102154 Z_{UTM}: 347,76

SM - 5+207

Profundidad (m)	Ø Perforación/Tipo	Ø Revestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
43	101W		46,00	8,00		T _{IA2}	Alternancia de margas, gris oscuro y arenisca de grano fino a medio de color gris a gris claro.	44,60		
44								TP-12		
45								44,90		
46			49,50	3,50		T _{IA2}	Arenisca de grano fino a medio de color gris. Presenta niveles margosos de color gris oscuro de espesor milimétrico.	47,50		
47								TP-13		
48								47,75		
49			53,75	4,25		T _{IA2}	Arenisca de grano medio a grueso de color gris, con niveles de microconglomerado. Presenta niveles de arenisca de grano fino y niveles margosos, gris oscuro de espesor milimétrico.	50,00		
50								TP-14		
51								50,20		
52			55,40	1,65		T _{IC}	Conglomerado polimítico y poligénico fundamentalmente de cantos de cuarcita y pizarra, granosoportado. Matriz arenosa de tamaño medio a grueso, bien cementada.	53,40		
53								TP-15		
54								53,75		
55			61,70	6,30		T _{IC}	Arenisca de grano fino, de color gris a gris oscuro. Presenta niveles margosos, de espesor milimétrico y niveles de arenisca de grano medio a grueso, de espesor centimétrico y de color gris blanquecino.	56,50	7,00E-06 (cm/s)	
56								TP-16		
57								56,80		
58			62,70	3,20		T _{IC}	Arenisca de grano fino de color gris oscuro.	59,40		
59								TP-17		
60								59,75		
61								62,40		
62								TP-18		
63								62,70		



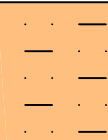
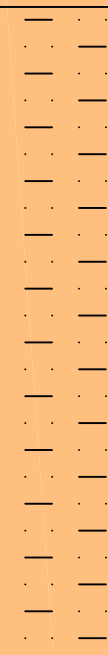
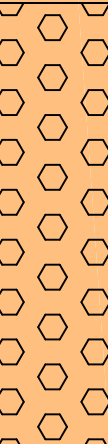
Sondeo: SM-5+207

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 126,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586051 Y_{UTM}:4102154 Z_{UTM}:347,76

SM - 5+207

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
64	101W		64,90	3,20		T _{lc}	Arenisca de grano fino de color gris oscuro.	64,90	65,00	
65				8,60				Arenisca de grano fino de color gris. Presenta niveles margosos milimétricos y niveles de arenisca de grano medio centimétricos. Presenta también un nivel conglomerático de 5 cm de espesor.		
66			67,90		TP-20 68,30					
67										
68			71,40		TP-21 71,75					
69										
70										
71										
72										
73										
74			4,60		Alternancia de arenisca de grano medio a grueso, de color gris y conglomerado polimíctico y poligénico granosoportado. La matriz es de arena fina y está bien cementada.		74,00	1,90E-05 (cm/s)		
75							TP-22 74,40			
76										
77										
78										
79										
80			7,70		Conglomerado polimíctico y poligénico con matriz de arena media a fina, bien cementado. Presenta niveles de arenisca de grano medio a grueso, de espesor centimétrico y niveles margosos aislados milimétricos, de color gris a gris oscuro.		80,00	78,50		
81							TP-23 80,35			
82										
83							83,40			
84							TP-24 83,65			



Sondeo: SM-5+207

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 126,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586051 Y_{UTM}: 4102154 Z_{UTM}: 347,76

SM - 5+207

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico						
85	101W		85,80	7,70		T _{IC}			85,00	1,40E-05 (cm/s)						
86								85,80	TP-25		86,15					
87			8,70					Conglomerado polimíctico (cantos de hasta 10 cm de tamaño) y poligénico, granosoportado y bien cementado, de tonalidades grises y pardas. Presenta zonas con pequeñas venas de calcita.	89,00		TP-26	89,30				
88																
89																
90									94,50					93,10	TP-27	93,50
91																
92																
93																
94																
95									3,40					95,00	TP-28	95,35
96																
97																
98			97,90								97,90	TP-29	98,30			
99																
100	101,00					101,00	TP-30	101,35								
101																
102																
103	7,40					Conglomerado polimíctico, presenta bloques aislados de hasta 15 cm, y poligénico, granosoportado y bien cementado, de color gris. Presenta niveles decimétricos de arenisca de grano medio a grueso.										
104																
105																



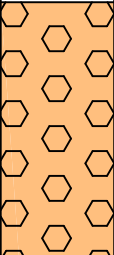
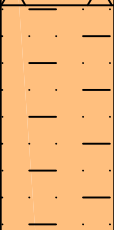
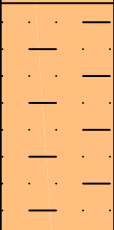
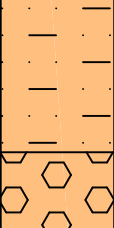
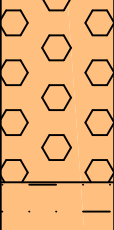
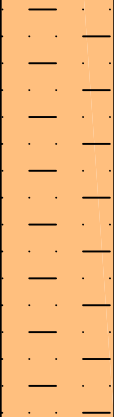
Sondeo: SM-5+207

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 126,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586051 Y_{UTM}:4102154 Z_{UTM}:347,76

SM - 5+207

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico	
106	101W		108,40	7,40		T _{IC}	Conglomerado polimítico, presenta bloques aislados de hasta 15 cm, y poligénico, granosoportado y bien cementado, de color gris. Presenta niveles decimétricos de arenisca de grano medio a grueso.	TP-31 105,30			
107								107,00 TP-32 107,25			
108											
109			111,40	3,00			Arenisca de grano medio a grueso, de color gris. Presenta niveles conglomeráticos de espesor centimétrico y algún nivel margoso de espesor milimétrico.	110,50 TP-33 110,90			
110											
111											
112			116,40	5,00			Arenisca de grano grueso, de color gris a gris oscuro, con niveles conglomeráticos de espesor decimétrico.	113,60 TP-34 113,85			
113											
114											115,90 TP-35 116,40
115											
116			119,80	3,40			Conglomerado polimítico y poligénico, granosoportado y bien cementado, de color gris claro.	116,40 119,40 TP-36 119,80			
117											
118											
119				6,20		Alternancia de arenisca de grano medio a grueso, de color gris oscuro, y conglomerado polimítico y poligénico.					
120											
121											
122											
123											
124											
125											
126											



SM – 5+454



Sondeo: SM-5+454

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 94,00 M

Coordenadas: X_{UTM} : 586074 Y_{UTM} : 4101908 Z_{UTM} : 317,91

SM - 5+454



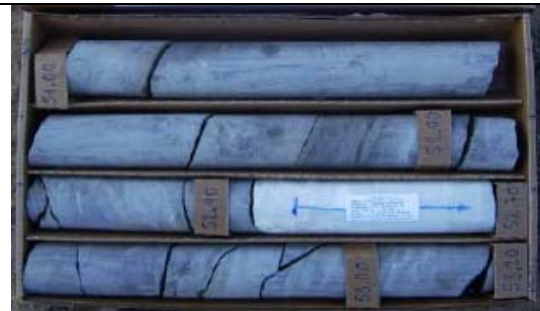
Profundidad de 54,20 a 56,40 metros



Profundidad de 56,40 a 58,70 metros



Profundidad de 58,70 a 61,00 metros



Profundidad de 61,00 a 63,20 metros



Profundidad de 63,20 a 65,10 metros



Profundidad de 65,10 a 67,30 metros



Profundidad de 67,30 a 69,60 metros



Profundidad de 69,60 a 72,00 metros



Profundidad de 72,00 a 74,10 metros



Profundidad de 74,10 a 76,40 metros



Profundidad de 76,40 a 78,80 metros



Profundidad de 78,80 a 81,20 metros



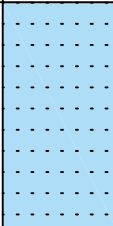
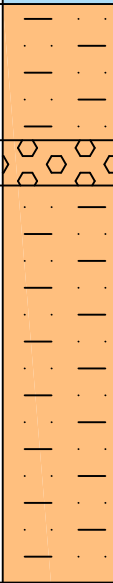
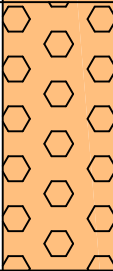
Sondeo: SM-5+454

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 94,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586074 Y_{UTM}:4101908 Z_{UTM}:317,91

SM - 5+454

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico		
1	131W	128	3,00	3,00		Q _{Fv}	Arcillas con arenas de grano fino de tonalidades ocre y rojizas y consistencia muy blanda. Presenta nódulos carbonatados que aumentan en proporción y tamaño hacia muro. Presencia de restos vegetales.					
2												
3												
4	101W		3,00	1,80		T _{Ic}	Areniscas de grano medio a grueso de color marrón, con intercalaciones microconglomeráticas. Presenta cemento carbonático.	4,50		5,65		
5				0,60			Conglomerados polimícticos y poligénico, tamaño de cantos de 3 mm a 4 c, matriz-soportado. La matriz es arenosa de color marrón y presenta cemento carbonático.	4,80				
6				5,25				Arenisca de grano media a grueso, de tonos marrones a grises, con intercalaciones margosas y de microconglomerados.			6,65	
7											7,00	
8												
9				10,65			1,35				Marga areniscosa de color grisáceo, con algún nivel de arenisca de grano fino - muy fino.	11,10
10												11,35
11												
12				12,00			2,85				Arenisca de grano fino de color grisáceo con cemento carbonático. Presenta estratificación subhorizontal marcada por la intercalación de pequeños niveles margosos.	14,00
13												14,25
14												
15	101D		14,85	3,55		T _{Ic}	Conglomerado poligénico matriz-soportado, con cantos de 1-2 cm de tamaño, de matriz areniscosa de grano medio. Presenta cementación carbonatada.					
16												
17												
18											18,40	
19											19,00	0,60
20				7,20			Arenisca de grano medio a grueso de color gris, con cantos dispersos y cemento carbonatado. Presenta un nivel de conglomerado poligénico y polimíctico matriz-soportado entre 21,40 y 22,20 metros.					
21												
22												



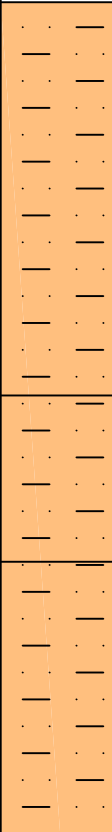
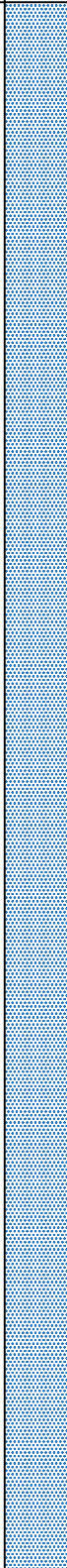
Sondeo: SM-5+454

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 94,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586074 Y_{UTM}:4101908 Z_{UTM}:317,91

SM - 5+454

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
22	101D		26,20	7,20		T _{lc}	Arenisca de grano medio a grueso de color gris, con cantos dispersos y cemento carbonatado. Presenta un nivel de conglomerado poligénico y polimíctico matriz-soportado entre 21,40 y 22,20 metros.	22,20		
23								TP-6		
24								22,45		
25								25,10		
26			TP-7							
27			25,35							
28			26,85							
29			TP-8							
30			27,10							
31			28,55							
32			TP-9							
33			28,85							
34			32,90							
35			TP-10							
36			33,25							
37			37,30							
38			TP-11							
39			37,65							
40			40,65							
41			TP-12							
42	40,95									



Sondeo: SM-5+454

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 94,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586074 Y_{UTM}:4101908 Z_{UTM}:317,91**SM - 5+454**

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico	
43	101D		44,70	5,20		T _{lc}	Areniscas de grano fino de color gris con cemento carbonático. Muy poco alteradas.				
44											
45			47,60	2,90			Areniscas grises de grano fino-medio con niveles de arenisca de grano medio y cantos dispersos de tamaño centimétrico. Presencia de cemento carbonático.	45,00 TP-13 45,30			
46											
47											
48			48,70	1,10			Arenisca de grano medio a grueso de color gris oscura, con cantos dispersos de tamaño centimétrico, con cemento carbonático.	48,30 TP-14 48,70			
49											
50			50,40	1,70			Conglomerado polimíctico y poligénico matriz-soportado, de color grisáceo. La matriz es areniscosa y el cemento carbonático.	50,40 TP-15 50,70			
51				0,60				Arenisca de grano fino de color grisáceo con algunos niveles centimétricos de arenisca margosa. Presenta cemento carbonatado.			52,40 TP-16 52,70
52			55,10	4,10			Areniscas de grano fino de color grisáceo con cemento carbonático. Presenta juntas rellenas de arcilla.	55,70 TP-17 56,00			
53											
54											
55			59,60	4,50			Arenisca de grano fino de color gris, alternando con niveles de arenisca de grano medio. Además presenta niveles dispersos de conglomerados polimícticos.	58,05 TP-18 58,35			
56											
57											
58											
59											
60			61,60	4,40			Areniscas de grano fino a muy fino de color gris.	61,60 TP-19 61,90			
61											
62											
63											



Sondeo: SM-5+454

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 94,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586074 Y_{UTM}: 4101908 Z_{UTM}: 317,91

SM - 5+454

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
64	101D		64,00	4,40		T _{lc}	Areniscas de grano fino a muy fino de color gris.	64,10 TP-20 64,35	65,00	5,40E-06 (cm/s)
65				5,10			Alternancia de niveles decimétricos de areniscas y conglomerados polimícticos y poligénicos, de color grisáceo a pardo.	69,40 TP-21 69,70		
66										
67										
68										
69										
70			24,90	Arenisca de grano medio a grueso de color grisáceo, con cemento carbonático.			74,40 TP-22 74,70			
71										
72										
73										
74										
75										
76										
77										
78										
79										
80										
81										
82										
83										
84										



Sondeo: SM-5+454

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 94,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586074 Y_{UTM}: 4101908 Z_{UTM}: 317,91

SM - 5+454

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
85	101D			24,90		T _{lc}	Arenisca de grano medio a grueso de color grisáceo, con cemento carbonático.	84,40		
								TP-24		
86								84,70		
87										
88										
89								89,40		
90								TP-25		
91								89,70		
92										
93										
94										



SM – 5+947



Sondeo: SM-5+947

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 94,00 M

Coordenadas: X_{UTM} :586147 Y_{UTM} : 4101420 Z_{UTM} : 324,250

SM - 5+947



Profundidad de 51,20 a 54,00 metros



Profundidad de 54,00 a 56,75 metros



Profundidad de 56,75 a 59,60 metros



Profundidad de 59,60 a 62,40 metros



Profundidad de 62,40 a 65,35 metros



Profundidad de 65,35 a 68,00 metros



Profundidad de 68,00 a 70,95 metros



Profundidad de 70,95 a 73,95 metros



Profundidad de 73,95 a 77,00 metros



Profundidad de 77,00 a 80,50 metros



Profundidad de 80,50 a 83,40 metros



Profundidad de 83,40 a 86,30 metros



Sondeo: SM-5+947

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 94,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586147 Y_{UTM}: 4101420 Z_{UTM}: 324,250

SM - 5+947

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
1	116W	128						3,90 TP-1 4,15		
2										
3										
4	116D	113		45,45		B _{MC}	Conglomerado brechoide, polimítico y poligénico, de cantos subangulosos y heterométricos (dolomías, esquistos...), en matriz areno-limosa de color ocre, que alternan con calizas algo brechoides, de tonos rojizos, de entre 20 y 30 cm de espesor. Presencia de niveles de arenisca de grano fino y margas arenosas.	8,30 TP-2 8,70		
5										
6										
7	101D							13,10 TP-3 13,35		
8										
9										
10								16,75 TP-4 16,95		
11										
12										
13								19,60 TP-5 19,80		
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										



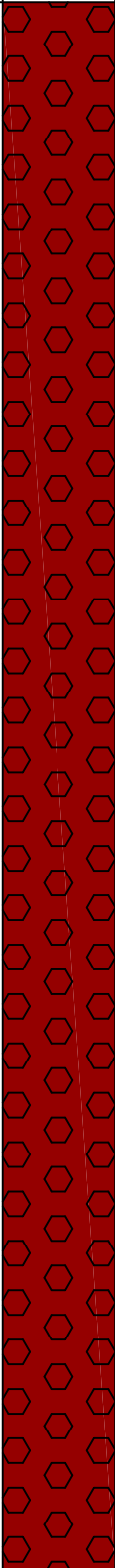
Sondeo: SM-5+947

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 94,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586147 Y_{UTM}: 4101420 Z_{UTM}: 324,250

SM - 5+947

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
22	101D			45,45		B_{MC}	Conglomerado brechoide, polimíctico y poligénico, de cantos subangulosos y heterométricos (dolomías, esquistos...), en matriz areno-limosa de color ocre, que alternan con calizas algo brechoides, de tonos rojizos, de entre 20 y 30 cm de espesor. Presencia de niveles de arenisca de grano fino y margas arenosas.	25,50 TP-6 25,75		
23										
24										
25										
26										
27										
28										
29								29,45 TP-7 29,70		
30										
31										
32										
33								33,70 TP-8 33,95		
34										
35										
36								36,45 TP-9 36,90		
37										
38										
39										
40								39,90 TP-10 40,10		
41										
42										



Sondeo: SM-5+947

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 94,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586147 Y_{UTM}: 4101420 Z_{UTM}: 324,250

SM - 5+947

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
43	101D		45,45	45,45		B _{MC}	Conglomerado brechoide, polimíctico y poligénico, de cantos subangulosos y heterométricos (dolomías, esquistos...), en matriz areno-limosa de color ocre, que alternan con calizas algo brechoides, de tonos rojizos, de entre 20 y 30 cm de espesor. Presencia de niveles de arenisca de grano fino y margas arenosas.	43,65 TP-11 43,85	45,00	7,10E-06 (cm/s)
44										
45			14,40		B _C	Calizas micríticas de aspecto brechoide y tonos rosados, que pasan a grises a muro. La roca presenta un aspecto quebradizo con numerosas fisuras multidireccionales. Se observan procesos de disolución en juntas y microfracturas.	46,90 TP-12 47,20	50,00		
46										
47										
48										
49										
50										
51										
52							52,15 TP-13 52,35			
53										
54										
55										
56							56,50 TP-14 56,70			
57										
58										
59										
60			8,15		B _C	Calizas micríticas de aspecto brechoide y tonos grises. La roca presenta un aspecto quebradizo con numerosas fisuras y fracturas multidireccionales.		51,50		
61										
62							62,30 TP-15 62,50			
63										



Sondeo: SM-5+947

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 94,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586147 Y_{UTM}: 4101420 Z_{UTM}: 324,250

SM - 5+947

Profundidad (m)	Ø Perforación/Tipo	Ø Revestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
64	101D		68,00	8,15		B_C	Calizas micríticas de aspecto brechoide y tonos grises. La roca presenta un aspecto quebradizo con numerosas fisuras y fracturas multidireccionales.	65,05		
65								TP-16		
66								65,30		
67										
68								68,25		
69								TP-17		
70								68,55		
71								71,00		
72								TP-18		
73								71,35		
74			73,85	20,15		D_M	Dolomías brechoides, de tonos gris oscuro, muy fracturadas y alteradas. El tramo está muy tectonizado, presentando un aspecto muy quebradizo. Se observan algunas brechas de falla de cantos dolomíticos en matriz areno-arcillosa de bajo grado de cementación y alto contenido en materia orgánica. Evidencias de lavado y disolución de matriz y juntas. Presencia de cemento de origen hidrotermal.	75,25	1,70E-05 (cm/s)	
75								TP-19		
76								75,65		
77										
78										
79										
80										
81										
82										
83										
84										



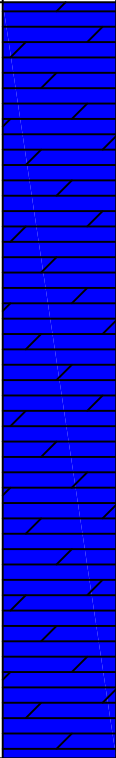
Sondeo: SM-5+947

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 94,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586147 Y_{UTM}: 4101420 Z_{UTM}: 324,250

SM - 5+947

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
85	101D			20,15		D _M	Dolomías brechoides, de tonos gris oscuro, muy fracturadas y alteradas. El tramo está muy tectonizado, presentando un aspecto muy quebradizo. Se observan algunas brechas de falla de cantos dolomíticos en matriz areno-arcillosa de bajo grado de cementación y alto contenido en materia orgánica. Evidencias de lavado y disolución de matriz y juntas. Presencia de cemento de origen hidrotermal.			
86										
87										
88										
89										
90										
91										
92										
93										
94										

SM – 6+070



Sondeo: SM-6+070

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 123,00 M

Coordenadas: X_{UTM} : 586172 Y_{UTM} : 4101300 Z_{UTM} : 355,310

SM - 6+070



Profundidad de 82,45 a 85,25 metros



Profundidad de 85,25 a 88,20 metros



Profundidad de 88,20 a 90,95 metros



Profundidad de 90,95 a 93,80 metros



Profundidad de 93,80 a 96,65 metros



Profundidad de 96,65 a 99,50 metros



Profundidad de 99,50 a 102,15 metros



Profundidad de 102,15 a 104,90 metros



Profundidad de 104,90 a 107,75 metros



Profundidad de 107,75 a 110,50 metros



Profundidad de 110,50 a 113,35 metros



Profundidad de 113,35 a 116,25 metros



Sondeo: SM-6+070

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 123,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586172 Y_{UTM}: 4101300 Z_{UTM}: 355,310

SM - 6+070

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
1	116W	113	2,90	2,90		B _{MC}	Calcarenitas de tonos beige y grano medio, con algunos niveles lutíticos intermedios algo alterados.			
2										
3										
4			9,10		Conglomerado brechoide, polimictico y poligénico, de cantos subangulosos y heterométricos, en matriz areno-limosa de color ocre alterada, con algún nivel de arenisca de grano fino y margas arenosas. A partir de los 12,00 metros la mayoría de los clastos son de naturaleza calcárea y algunos de tamaño bloque.		3,70			
5							TP-1			
6							4,20			
7										
8							7,45			
9							TP-2			
10							7,75			
11										
12			12,00		Conglomerados de tonos grises y aspecto brechoide, de cantos heterométricos de calizas dolomíticas, de hasta tamaño bloque, de subangulosos a angulosos, en matriz areno-limosa calcárea. Presentan un aspecto más sano que en el tramo anterior aunque con evidencias de disolución en matriz y juntas.		11,80			
13							TP-3			
14							12,20			
15										
16							15,60			
17							TP-4			
18							15,95			
19										
20							19,70			
21							TP-5			
22							20,25			
23							20,30			
24										



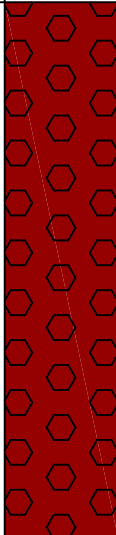
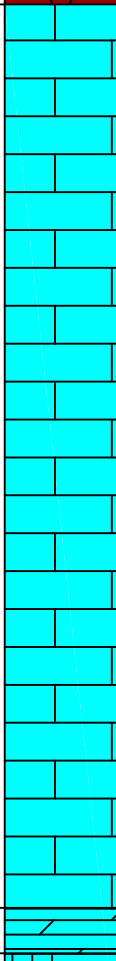
Sondeo: SM-6+070

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 123,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586172 Y_{UTM}: 4101300 Z_{UTM}: 355,310

SM - 6+070

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico		
22	116W	113	28,10	16,10		B _{MC}	Conglomerados de tonos grises y aspecto brechoide, de cantos heterométricos de calizas dolomíticas, de hasta tamaño bloque, de subangulosos a angulosos, en matriz areno-limosa calcárea. Presentan un aspecto más sano que en el tramo anterior aunque con evidencias de disolución en matriz y juntas.	23,35	2,0E-06 (cm/s)			
23								TP-6				
24								23,65				
25								25,25				
26												
27								27,20				
28								TP-7				
29								27,55				
30								29,70				
31								TP-8				
32								30,05				
33	101W	113	40,05	11,95		B _C	Calizas micríticas grises de aspecto brechoide, con algunos restos fósiles visibles. Presencia de venas de calcita. Se observan evidencias de disolución en juntas y puntualmente en matriz. Hasta los 36,50 metros se encuentran algo fracturadas.	34,35	1,2E-06 (cm/s)			
34								TP-9				
35								34,65				
36								35,55				
37								TP-10				
38								35,85				
39								39,10				
40								TP-11				
41								39,55				
42								40,00				
43												
			40,65	0,60			Nivel de dolomía de aspecto masivo, microcarstificada.					
			6,70				Margas de color gris oscuro y aspecto noduloso o brechoide, que se hace algo rojiza hacia muro.					



Sondeo: SM-6+070

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 123,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586172 Y_{UTM}:4101300 Z_{UTM}:355,310

SM - 6+070

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
43	101W		47,35	6,70		B _C	Margas de color gris oscuro y aspecto noduloso o brechoide, que se hace algo rojiza hacia muro.	42,50 TP-12 42,75	1,2E-06 (cm/s) 45,00	
44										
45										
46								45,80 TP-13 46,15		
47										
48										
49										
50										
51								49,50 TP-14 49,75		
52										
53										
54								53,30 TP-15 53,75		
55			55,50	0,80		Y _{DM}	Nivel conglomerático de aspecto masivo y color blanquecino, de cantos milimétricos que van desde angulosos a subredondeados, polimícticos y poligénicos.			
56								56,10 TP-16 56,35		
57										
58										
59			59,65	12,00		Y _{DM}	Yesos y/o anhidritas negras, laminadas y con interestratos de lutitas grises y rojizas yesíferas. La serie se verticaliza hacia los 59,65 metros. Aspecto brechoide hacia el final del tramo, y con intraclastos dolomíticos, desde 64,40 hasta 67,50 metros. Los yesos están muy replegados (pliegues en vaina) y presentan indicios de lavado en matriz y juntas.	59,10 TP-17 59,45		
60										
61										
62								62,10 TP-18 62,50		
63										



Sondeo: SM-6+070

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 123,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586172 Y_{UTM}: 4101300 Z_{UTM}: 355,310

SM - 6+070

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico	
64	101W		67,50	12,00		Y _{DM}	Yesos y/o anhidritas negras, laminadas y con interestratos de lutitas grises y rojizas yesíferas. La serie se verticaliza hacia los 59,65 metros. Aspecto brechoide hacia el final del tramo, y con intraclastos dolomíticos, desde 64,40 hasta 67,50 metros. Los yesos están muy replegados (pliegues en vaina) y presentan indicios de lavado en matriz y juntas.	65,90 TP-19 66,15	5,9E-06 (cm/s)		
65											Conglomerado de aspecto masivo y de color blanquecino, de cantos milimétricos que van desde angulosos a subredondeados, polimícticos y poligénicos.
66											
67			69,40	1,90							
68											
69											
70			18,30								
71											
72											
73											
74											
75											
76							Yesos y/o anhidritas, de colores grises y en ocasiones rojizos, de aspecto muy brechoide con intercalaciones de microconglomerado. El tramo parece muy verticalizado y fuertemente tectonizado. Indicios de lavado en matriz y juntas.				
77											
78											
79											
80							79,75 TP-20 80,15				
81											
82											
83											
84											



Sondeo: SM-6+070

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 123,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586172 Y_{UTM}: 4101300 Z_{UTM}: 355,310

SM - 6+070

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
85	101W		87,70	18,30		Y _{DM}	Yesos y/o anhidritas, de colores grises y en ocasiones rojizos, de aspecto muy brechoide con intercalaciones de microconglomerado. El tramo parece muy verticalizado y fuertemente tectonizado. Indicios de lavado en matriz y juntas.	87,75	1,2E-06 (cm/s)	
86				TP-21						
87				88,00						
88				91,00						
89				TP-22						
90				91,35						
91				94,35						
92				TP-23						
93				94,70						
94				95,00						
95				97,10						
96				TP-24						
97				97,50						
98				100,55						
99				TP-25						
100				100,90						
101				102,45						
102				MM-1						
103				102,75						
104				104,40						
105				TP-26						
								104,65		



Sondeo: SM-6+070

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 123,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586172 Y_{UTM}: 4101300 Z_{UTM}: 355,310

SM - 6+070

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
106	101W			35,30		Y _{DM}	Yesos y/o anhidritas, negros y grises, con algún intraclasto y nivel dolomítico, de aspecto en general mucho más sano que los tramos anteriores. Se encuentran muy replegados (pliegues en vaina). En general son laminados, aunque en algunos tramos presentan un aspecto más masivo.	108,75		
107								TP-27		
108								109,05		
109										
110										
111										
112								112,15		
113								TP-28		
114								112,55		
115										
116										
117										
118										
119								118,55		
120								TP-29		
121								118,80		
122										
123										



SM – 6+193



Sondeo: SM-6+193

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 165,00 M

Coordenadas: X_{UTM} : 586199 Y_{UTM} : 4101180 Z_{UTM} : 398,350

SM - 6+193



Profundidad de 101,00 a 103,80 metros



Profundidad de 103,80 a 106,65 metros



Profundidad de 106,65 a 109,50 metros



Profundidad de 109,50 a 112,65 metros



Profundidad de 112,65 a 115,65 metros



Profundidad de 115,65 a 118,60 metros



Profundidad de 118,60 a 121,60 metros



Profundidad de 121,60 a 123,75 metros



Profundidad de 123,75 a 127,05 metros



Profundidad de 127,05 a 129,95 metros



Profundidad de 129,95 a 133,00 metros



Profundidad de 133,00 a 135,00 metros



Sondeo: SM-6+193

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 165,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586199 Y_{UTM}: 4101180 Z_{UTM}: 398,350

SM - 6+193

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico					
1	101W	113	6,00	6,00		B _{MC}	Conglomerado de color marrón, de cantos poligénicos subangulosos, parcialmente alterado, con algún nivel margoso-arenoso. Se observa también algún canto de caliza. Presenta un aspecto más disgregado por la perforación.								
2															
3															
4															
5															
6															
7			4,50	4,50		B _{MC}	Conglomerado clastosoportado de cantos mal seleccionados y tamaño centimétrico, de subangulosos a subredondeados, de rocas metamórficas y calcáreas, con matriz arenosa algo alterada y cemento carbonatado. No se observa orientación en los cantos.	7,80 TP-1 8,00							
8															
9															
10															
11	10,50	7,10		B _C	Calizas brechoides algo dolomitizadas. Presencia de óxidos de hierro y manganeso en las juntas. Se observan algunas venas de calcita. La roca se presenta con un cierto nivel de fracturación y alteración que aumenta hacia muro.	10,50 TP-2 10,75									
12															
13															
14															
15															
16															
17															
18									2,00	2,00		Calizas algo dolomitizadas con evidencias de disolución en juntas y fracturas, con algún relleno de calcita. Presencia de arcillas de descalcificación.	17,60 TP-3 17,95		
19															
20									1,10	1,10		Nivel de margas arenosas de color beige algo alteradas y casi sin fracturas en las que parece apreciarse alguna junta.	19,35 TP-4 19,60		
21															
22	20,70														
23															
24															



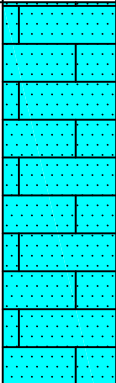
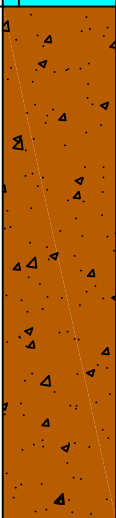
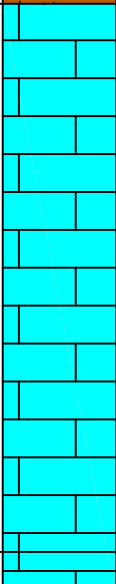
Sondeo: SM-6+193

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 165,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586199 Y_{UTM}: 4101180 Z_{UTM}: 398,350

SM - 6+193

Profundidad (m)	Ø Perforación/Tipo	Ø Revestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
22	101W		26,10	5,40		B_C	Calcarenita algo alterada de color anaranjado, con porosidad móldica y de fractura, que en ocasiones está rellena de cristales de calcita.	TP-5	1,7E-06 (cm/s)	
23								21,25		
24										
25								25,30		
26								TP-6		
27			27,30	1,20		B_C	Caliza dolomítica brechoide muy fracturada y con signos de microcarstificación y de disolución en matriz y juntas.	25,60		
28										
29										
30			34,10	6,80		F	Zona de falla formada fundamentalmente por calizas dolomíticas carstificadas y muy fracturadas. Presencia de arcillas de descalcificación.			
31										
32										
33										
34										
35			41,35	7,25		B_C	Caliza dolomítica brechoide algo fracturada y con evidencias de microcarstificación y disolución en matriz y juntas. En torno a los 37,10 metros se observa un tramo de unos 30 cm con abundantes arcillas de descalcificación.			
36										
37										
38										
39										
40										
41										
42										
43				1,65			Caliza dolomítica brechoide, fracturada y con signos de microcarstificación y de disolución en matriz y juntas.			

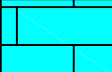
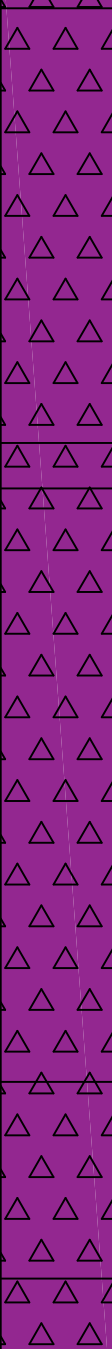
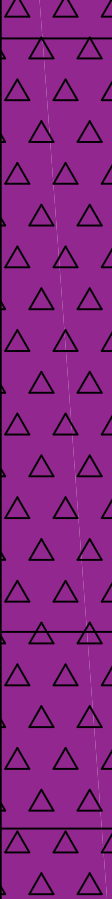


Sondeo: SM-6+193

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 165,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586199 Y_{UTM}: 4101180 Z_{UTM}: 398,350**SM - 6+193**

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico			
43	101W		43,00	1,65		B _C	Caliza dolomítica brechoide, fracturada y con signos de microcarstificación y de disolución en matriz y juntas.	42,70 TP-7					
44				1,00			Yesos y/o anhidritas muy alteradas y tectonizadas en el contacto con las calizas infrayacentes.	42,90 44,15					
45			44,00	5,75		Y _{DM}	Yesos y/o anhidritas grises laminados con interestratos milimétricos de lutita negra y niveles o clastos de dolomía. Aspecto muy sano y poco fracturado. Se presentan algo replegados.	TP-8					
46								45,15					
47								49,75			0,60	Yesos y/o anhidritas grises con interestratos milimétricos de lutita negra. Se presentan algo más degradados. Secuencia verticalizada y aspecto más masivo.	49,10 TP-9
48													49,50
49			50,35	7,85				Yesos y/o anhidritas grises de aspecto algo más masivo con algún nivel y cantos dolomíticos.			52,45 TP-10		
50											52,80		
51											55,90 TP-11		
52											56,10		
53			58,20	2,60							Yesos y/o anhidritas grises, laminadas y con interestratos milimétricos de lutita negra y niveles o clastos de dolomía. Algo alterados y fracturados a techo. Se aprecian zonas muy masivas lo que hace difícil seguir la esquistosidad.	58,25 TP-12	
54												58,45	
55												60,65 TP-13	
56												60,85	
57			60,80	0,95							Yesos y/o anhidritas alterados. Posible zona de falla.		
58													
59	61,75	6,10											
60													



Sondeo: SM-6+193

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 165,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586199 Y_{UTM}: 4101180 Z_{UTM}: 398,350

SM - 6+193

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico				
64	101W		67,85	6,10		Y _{DM}	Yesos y/o anhidritas grises, laminadas y con interestratos milimétricos de lutita negra y niveles o clastos de dolomía. Aspecto sano y algo fracturados. Se presentan algo replegados.	64,85	2,2E-07 (cm/s)					
65								TP-14						
66								65,20						
67								67,30						
68			82,40	14,55			Yesos y/o anhidritas grises laminados con interestratos milimétricos de lutita negra y niveles o clastos de dolomía. Se presentan algo replegados y menos fracturados que el tramo anterior.	TP-15						
69								67,55						
70								70,00						
71								72,65						
72														
73								TP-16						
74								73,00						
75								76,05						
76														
77								TP-17						
78								76,45						
79								78,65						
80								TP-18						
81								79,05						
82								81,65						
83			7,15				Yesos y/o anhidritas, con niveles y clastos de dolomía, en general con aspecto caótico, algo alterados y fracturados.	TP-19						
84								82,00						



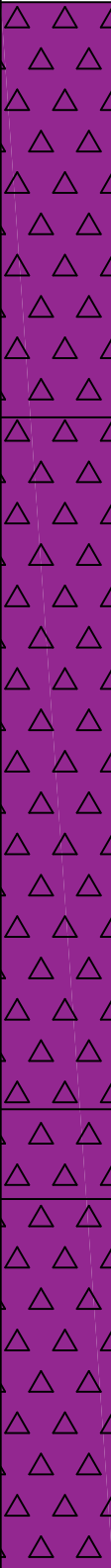
Sondeo: SM-6+193

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 165,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586199 Y_{UTM}: 4101180 Z_{UTM}: 398,350

SM - 6+193

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
85	101W		89,55	7,15	 Y _{DM}		Yesos y/o anhidritas, con niveles y clastos de dolomía, en general con aspecto caótico, algo alterados y fracturados.	85,10 TP-20 85,35	100,00	1,9E-07 (cm/s)
86								88,00 TP-21 88,30		
87										
88										
89										
90			98,80	9,25			Yesos y/o anhidritas grises laminados con interestratos milimétricos de lutita negra, y niveles y clastos de dolomía. Poco fracturados, sanos y muy replegados (pliegues en vaina).			
91										
92										
93										
94										
95										
96										
97								97,20 TP-23 97,40		
98										
99										
100			100,00	19,75			Yesos y/o anhidritas, alterados y algo degradados, con aspecto brechoide. Zona algo tectonizada.	100,40 TP-25 100,80		
101										
102										
103										
104										
105										



Sondeo: SM-6+193

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 165,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586199 Y_{UTM}: 4101180 Z_{UTM}: 398,350

SM - 6+193

Profundidad (m)	Ø Perforación/Tipo	Ø Revestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
106	101W			19,75		Y _{DM}	Yesos y/o anhidritas grises laminados con interestratos milimétricos de lutita negra. Se observan algunos niveles y clastos de dolomía de tamaño centimétrico a decimétrico. Se presentan algo replegados (pliegues en vaina). En algunas zonas se observan indicios de lavado, principalmente a favor de la esquistosidad.	106,05 TP-26 106,35	118,00	
107								108,60 TP-27 108,85		
108								111,80 TP-28 112,05		
109								114,45 TP-29 114,70		
110								117,35 TP-30 117,60		
111								120,70 TP-31 121,00		
112								123,15 TP-32 123,50		
113										
114										
115										
116										
117										
118										
119										
120										
121										
122										
123										
124										
125										
126										



Sondeo: SM-6+193

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 165,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586199 Y_{UTM}: 4101180 Z_{UTM}: 398,350

SM - 6+193

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
127	101W			42,00		P_M	Tramo muy tectonizado formado por pizarras violáceas cataclastizadas y muy alteradas, que engloban bloques y cantos decimétricos de yesos y dolomías brechoides, con algún tramo de areniscas limolíticas, de tonos rojizos.	126,70 TP-33 126,90	130,00 9,9E-08 (cm/s) 135,00	
128								129,30 TP-34 129,55		
129								132,45 TP-35 132,80		
130								137,45 TP-36 137,80		
131								142,45 TP-37 142,80		
132										
133										
134										
135										
136										
137										
138										
139										
140										
141										
142										
143										
144										
145										
146										
147										

SM - 6+193

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
148	101W			42,00	</					



SM – 6+331



Sondeo: SM-6+331

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 135,00 M

Coordenadas: X_{UTM} : 586228 Y_{UTM} : 4101045 Z_{UTM} : 376,070

SM - 6+331



Profundidad de 98,00 a 101,00 metros



Profundidad de 101,00 a 103,80 metros



Profundidad de 103,80 a 106,80 metros



Profundidad de 106,80 a 109,60 metros



Profundidad de 109,60 a 112,40 metros



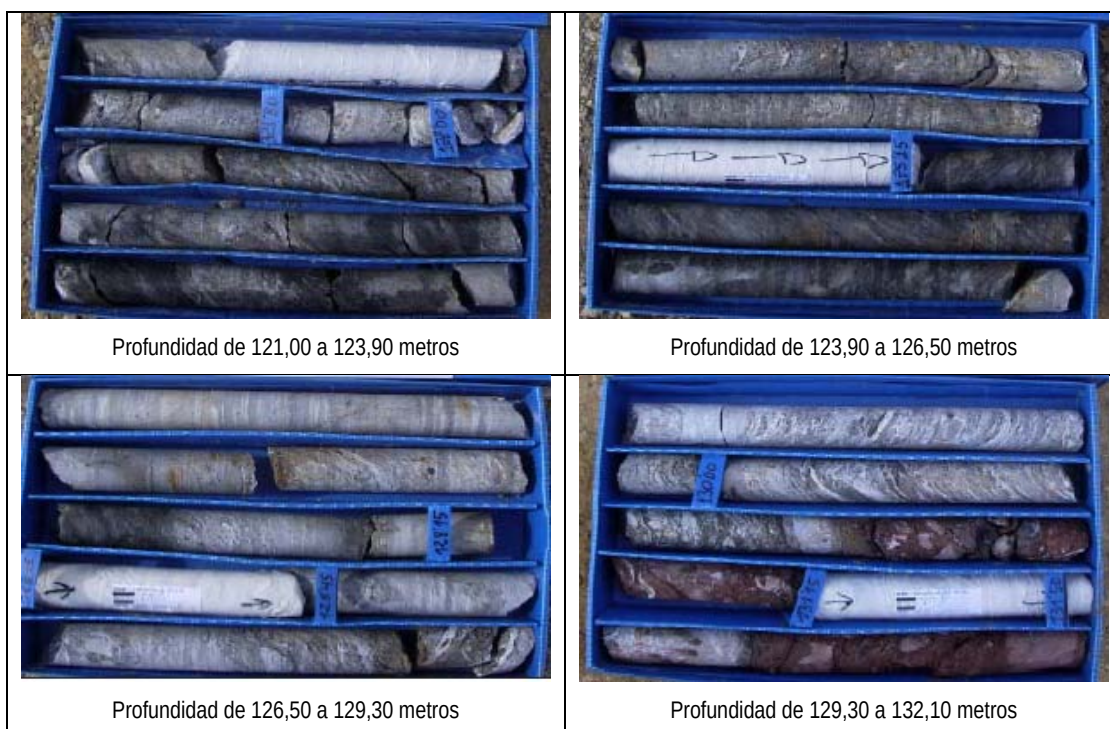
Profundidad de 112,40 a 115,25 metros



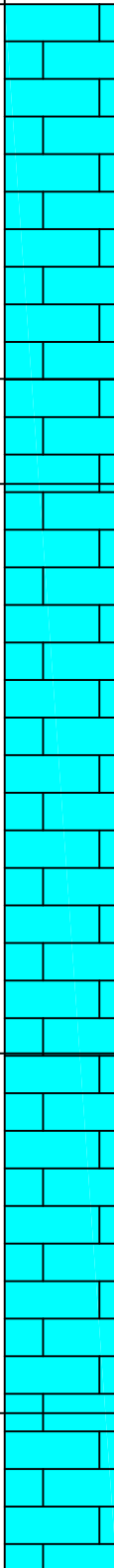
Profundidad de 115,25 a 118,05 metros



Profundidad de 118,05 a 121,00 metros



SM - 6+331

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
1	116W		5,00	5,00		B _c	Calizas brechoides de tonos marrones muy meteorizadas. Se encuentran completamente disgregadas principalmente debido a la perforación. Se observan algunos fragmentos de margas arenosas.	7,85 TP-1 8,20 		



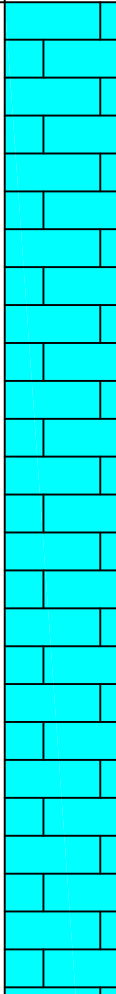
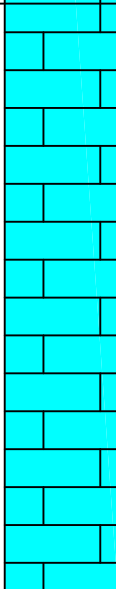
Sondeo: SM-6+331

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 135,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586228 Y_{UTM}: 4101045 Z_{UTM}: 376,070

SM - 6+331

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico	
22	116D		15,35	15,35		B _C	Calizas micríticas brechoides de tonos beige, parcialmente dolomitizadas, con evidencias de disolución a favor de matriz y juntas (microcarstificación). Presenta numerosas fisuras multidireccionales y arcillas de descalcificación.	24,75	9,2E-05 (cm/s)		
23								TP-5			
24								25,15			
25								25,15	25,15		
26									28,20		
27											
28								TP-6			
29								28,45			
30											
31											
32								32,20	TP-7		
33								32,45			
34			34,15	22,85			Calizas micríticas brechoides de tonos beige, parcialmente dolomitizadas, con evidencias de disolución y microcarstificación, principalmente a favor de las fisuras multidireccionales. Aparecen algunas zonas más fracturadas y tectonizadas, con algunos rellenos arcillosos.		38,50		
35											
36											
37											
38								TP-8			
39								38,70			
40									38,70		
41											
42											



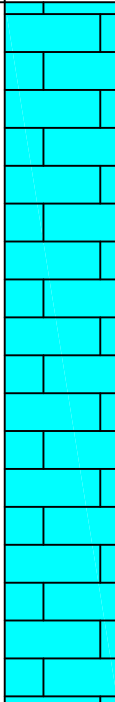
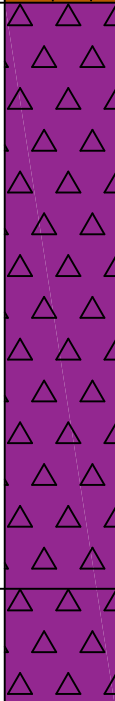
Sondeo: SM-6+331

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 135,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586228 Y_{UTM}: 4101045 Z_{UTM}: 376,070**SM - 6+331**

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
43	116D			22,85		B _C	Calizas micríticas brechoides de tonos beige, parcialmente dolomitizadas, con evidencias de disolución y microcarstificación, principalmente a favor de las fisuras multidireccionales. Aparecen algunas zonas más fracturadas y tectonizadas, con algunos rellenos arcillosos.	42,75		
								TP-9		
								43,15		
44										
45								44,95		
								TP-10		
								45,25		
46										
47								47,50		
								TP-11		
48	101D		57,00	15,30		B _C	Calizas micríticas brechoides de tonos beige, parcialmente dolomitizadas, con evidencias de disolución y microcarstificación, principalmente a favor de las fisuras multidireccionales. Aparecen algunas zonas más fracturadas y tectonizadas, con algunos rellenos arcillosos.	47,70		
49										
50										
51								51,35		
								TP-12		
52								51,75		
53										
54										
55								54,70		
								TP-13		
56						B _C	Calizas dolomíticas brechoides, de tonos amarillentos, con evidencias de disolución y microcarstificación, principalmente a favor de las fisuras multidireccionales y en matriz. Aparecen algunas zonas más fracturadas y tectonizadas, con algunos rellenos arcillosos.	55,00		
57										
58										
59										
60										
61										
62								61,85		
								TP-14		
								62,15		
63										

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico		
64	101D		72,30	15,30		B _c	Calizas dolomíticas brechoides, de tonos amarillentos, con evidencias de disolución y microcarstificación, principalmente a favor de las fisuras multidireccionales y en matriz. Aparecen algunas zonas más fracturadas y tectonizadas, con algunos rellenos arcillosos.	65,35	77,80	1,4E-06 (cm/s)		
65								TP-15				
66								65,60				
67												
68												
69												
70								70,10				
71								TP-16				
72								70,45				
73												
74												
75											74,45	74,75
76	78,85											
77					Yesos y/o anhidritas grises con interestratos laminares de lutita y con algún intraclasto y nivel dolomítico. Aspecto en general sano. Se encuentran algo replegados. Son laminados, aunque en algunos tramos presentan un aspecto más masivo. Evidencias de lavado en algunas juntas. .	81,75						
78				TP-19		82,20						
79												
80												
81												
82			82,20	8,90					82,80			
83												
84												



Sondeo: SM-6+331

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 135,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586228 Y_{UTM}: 4101045 Z_{UTM}: 376,070**SM - 6+331**

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
85	101D		91,10	8,90		Y _{DM}	Yesos y/o anhidritas grises con interestratos laminares de lutita y con algún intraclasto y nivel dolomítico. Aspecto en general sano. Se encuentran algo replegados. Son laminados, aunque en algunos tramos presentan un aspecto más masivo. Evidencias de lavado en algunas juntas. .	85,45	5,3E-06 (cm/s)	
86								TP-20		
87								85,75		
88										
89								89,00		
90			TP-21							
91										
92										
93			92,35							
94			TP-22							
95			92,85							
96										
97										
98			93,00							
99										
100										
101										
102										
103										
104										
105										



Sondeo: SM-6+331

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 135,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586228 Y_{UTM}: 4101045 Z_{UTM}: 376,070

SM - 6+331

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
106	101D		115,55	19,10		Y _{DM}	Yesos y/o anhidritas grises, laminados, con interestratos milimétricos de lutita negra. Se observan algunos niveles y clastos de dolomía de tamaño milimétrico a centimétrico. Se presentan algo replegado (pliegues en vaina). En algunas zonas se observan indicios de lavado, principalmente a favor de la esquistosidad y hacia muro. Aspecto sano.	106,35		
107								TP-26		
108								106,80		
109										
110								110,15		
111								TP-27		
112								110,60		
113										
114				114,10						
115				TP-28						
116				114,40						
117										
118				118,20						
119				TP-29						
120				118,45						
121										
122				121,10						
123				TP-30						
124				121,45						
125										
126				124,75						
	TP-31	125,00								
	125,15									



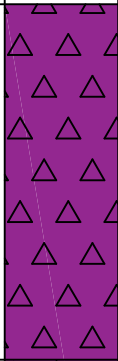
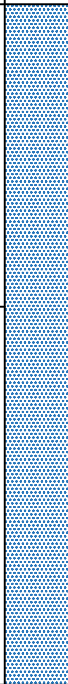
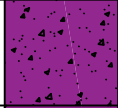
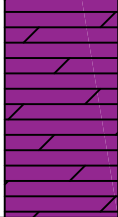
Sondeo: SM-6+331

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 135,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586228 Y_{UTM}: 4101045 Z_{UTM}: 376,070

SM - 6+331

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
127	101D		130,70	15,15		Y _{DM}	Yesos y/o anhidritas, laminados y de aspecto algo brechoide, con interestratos de lutita negra. Estructura replegada y algo más grosera que arrastra cantos angulosos de dolomía y caliza dolomítica entre los pliegues, cementándolos por una precipitación posterior de yeso. Aspecto sano.	128,15	1,5E-06 (cm/s)	
128								TP-32		
129			132,10	1,40			Posible brecha de falla formada por limolitas rojas con yesos y cantos de dolomía de diversos tamaños. Tramo alterado y tectonizado.	128,45		
130										
131								131,15		
132			132,10	2,90		Y _{DM}	Dolomías y calizas dolomíticas de aspecto brechoide, de tonos grises y rosados, ligeramente alteradas y con algunas evidencias de disolución en juntas y matriz.	TP-33	130,00	
133								131,50		
134										
135										



SM – 6+686



Sondeo: SM-6+686

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 77,00 M

Coordenadas: X_{UTM} : 586302 Y_{UTM} : 4100698 Z_{UTM} : 351,672

SM - 6+686



Profundidad de 70,45 a 73,40 metros



Profundidad de 73,40 a 76,35 metros



Profundidad de 76,35 a 79,10 metros



Profundidad de 79,10 a 82,05 metros



Profundidad de 82,05 a 84,05 metros



Profundidad de 84,05 a 87,85 metros



Profundidad de 87,85 a 90,75 metros



Profundidad de 90,75 a 93,65 metros



Profundidad de 93,65 a 96,45 metros



Profundidad de 96,45 a 99,40 metros



Profundidad de 99,40 a 102,20 metros



Profundidad de 102,20 a 105,10 metros



Sondeo: SM-6+686

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 77,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586302 Y_{UTM}: 4100698 Z_{UTM}: 351,672**SM - 6+686**

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
1	116W		5,00	5,00		Y _{DA}	Yeso sacaroideo de color gris y aspecto masivo. Presenta numerosas venas multidireccionales de yeso sacaroideo blanco.	2,80		
2								TP-1		
3								3,00		
4										
5										
6	101D		7,10	2,10		Y _{DA}	Yesos y/o anhidritas grises con algún nivel dolomítico. Presentan algunas juntas rellenas de yeso fibroso y huellas de oxidación. Se presentan muy laminados y fracturados en los primeros 40 cm.	7,20	TP-2	
7								7,70		
8			14,00	6,90		Y _{DA}	Yesos y/o anhidritas grises, muy laminados, con interestratos de lutitas negras y dolomías gris claro. Se encuentran algo replegados (pliegues en vaina). Presencia de óxidos y arcillas en algunas juntas.	10,85	TP-3	
9								11,10		
10										
11										
12								14,00		
13								TP-4		
14								14,25		
15			10,60			Y _{DA}	Yesos y/o anhidritas de colores grisáceos y blanquecinos, de aspecto en general masivo y algo brechoide. Estructura replegada y algo más grosera que, en ocasiones, arrastra cantos angulosos y niveles de dolomía entre los pliegues, cementándolos por una precipitación posterior de yeso.	17,60	TP-5	
16								17,85		
17										
18										
19										
20								20,10		
21								TP-6		
22								20,30		



Sondeo: SM-6+686

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 77,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586302 Y_{UTM}: 4100698 Z_{UTM}: 351,672

SM - 6+686

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
43	101D		53,00	27,50		Y _{DA}	Yesos y/o anhidritas de tonos grisáceos, en general bastante masivos, aunque en algunas zonas se puede observar la esquistosidad. Aspecto en general sano y poco fracturado. Presencia de intraclastos dolomíticos en la matriz yesífera.	44,50		
44								TP-14		
45								44,90		
46										
47								47,55		
48								TP-15		
49								47,95		
50										
51								50,60		
52								TP-16		
53				51,00						
54				53,90						
55				TP-17						
56				54,15						
57				56,95						
58				TP-18						
59				57,25						
60				56,60						
61				TP-19						
62				56,95						
63	62,65									
64	TP-20									



Sondeo: SM-6+686

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 77,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586302 Y_{UTM}: 4100698 Z_{UTM}: 351,672

SM - 6+686

Profundidad (m)	Ø Perforación/Tipo	Ø Revestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
64	101D		74,00	21,00		Y _{DA}	Yesos y/o anhidritas de color grisáceo, en general bastante masivas y de aspecto sano. Presencia de niveles dolomíticos e intraclastos en la matriz yesífera. Puntualmente se observan evidencias de disolución en algunas juntas.	65,40		
65								TP-21		
66								65,70		
67										
68								68,65		
69								TP-22		
70								69,05		
71								71,35		
72								TP-23		
73								71,60		
74										
75			74,00	18,50		Y _{DA}	Yesos y/o anhidritas grisáceas, laminadas y replegadas (pliegues en vaina), algo masivas hacia el final del tramo. En general sanas y poco fracturadas. Aumenta el contenido de los clastos dolomíticos cementados por yeso, dando un aspecto brechoide en algunas zonas.	74,65	4,7E-07 (cm/s)	
76								TP-24		
77								75,05		
78										
79								78,60		
80								TP-25		
81								78,85		
82										
83								81,75		
84								TP-26		
								82,20		



Sondeo: SM-6+686

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 77,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586302 Y_{UTM}: 4100698 Z_{UTM}: 351,672

SM - 6+686

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico		
85	101D		92,50	18,50		Y _{DA}	Yesos y/o anhidritas grisáceas, laminadas y replegadas (pliegues en vaina), algo masivas hacia el final del tramo. En general sanas y poco fracturadas. Aumenta el contenido de los clastos dolomíticos cementados por yeso, dando un aspecto brechoide en algunas zonas.	85,45	85,00			
86								TP-27 85,75				
87												
88												
89								89,00 TP-28 89,25				
90												
91												
92								92,35				
93								92,50			Yesos y/o anhidritas de aspecto brechoide, algo alterados y fracturados, con evidencias de disolución en juntas y en matriz. Posible zona de falla.	TP-29 92,85
94			93,65	1,15								
95			18,35								Yesos y/o anhidritas de tonos grisáceos, en general bastante masivos, aunque de aspecto brechoide. En general sanos y poco fracturados, aunque aparecen tramos decimétricos donde se evidencian lavados de matriz y juntas. Presencia de intraclastos y niveles dolomíticos grises. Replegados, aunque la serie está verticalizada.	
96												96,90
97												TP-30 97,35
98												
99												
100												100,50 TP-31 100,85
101												
102												102,75
103												TP-32 103,00
104												
105												



Sondeo: SM-6+686

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 77,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586302 Y_{UTM}: 4100698 Z_{UTM}: 351,672

SM - 6+686

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
106	101D			18,35		Y _{DA}	Yesos y/o anhidritas de tonos grisáceos, en general bastante masivos, aunque de aspecto brechoide. En general sanos y poco fracturados, aunque aparecen tramos decimétricos donde se evidencian lavados de matriz y juntas. Presencia de intraclastos y niveles dolomíticos grises. Replegados, aunque la serie está verticalizada.	106,35		
107								TP-33 106,80		
108										
109										
110								110,15		
111								TP-34 110,60		
112										
113										
114								114,10		
115								TP-35 114,40		
116										
117										
118								118,20		
119								TP-36 118,45		
120										
121								121,10		
122								TP-37 121,45		



SM – 6+933



Sondeo: SM-6+933

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 66,00 M

Coordenadas: X_{UTM} : 586354 Y_{UTM} : 4100457 Z_{UTM} : 308,697

SM - 6+933



Profundidad de 24,50 a 27,40 metros



Profundidad de 27,40 a 35,20 metros



Profundidad de 35,20 a 33,00 metros



Profundidad de 33,00 a 35,65 metros



Profundidad de 35,65 a 38,55 metros



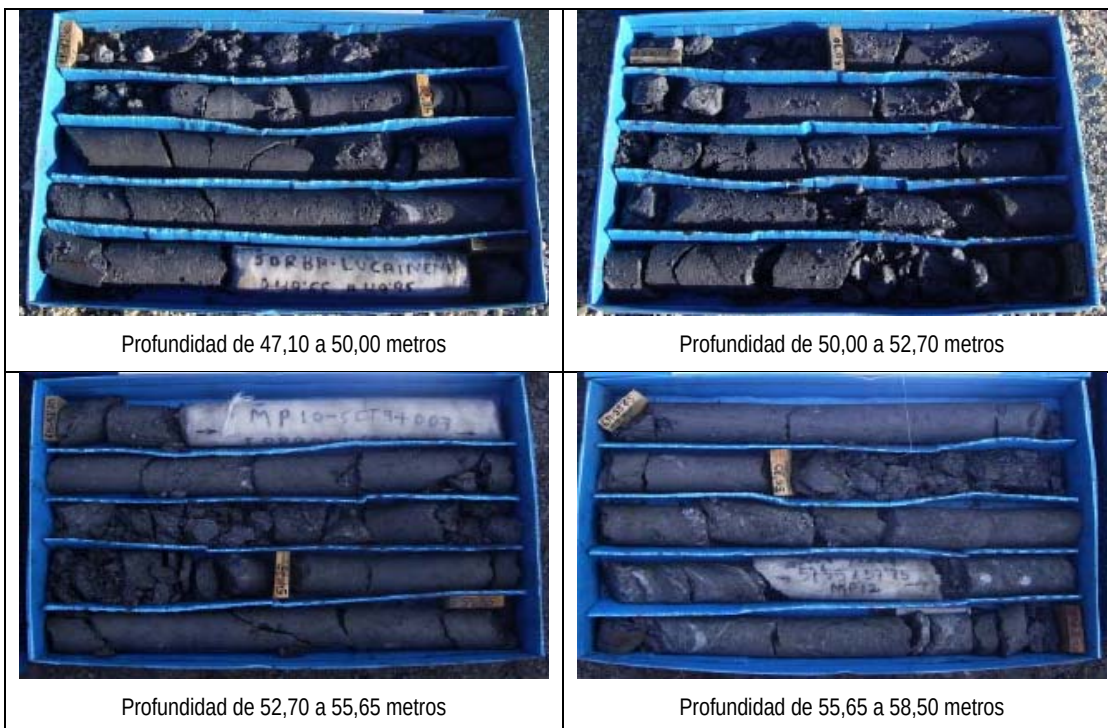
Profundidad de 38,55 a 41,35 metros



Profundidad de 41,35 a 44,10 metros



Profundidad de 44,10 a 47,10 metros





Sondeo: SM-6+933

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 66,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586354 Y_{UTM}: 4100457 Z_{UTM}: 308,697**SM - 6+933**

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico					
1	116W	113	2,50	2,50		E _{NF}	Esquistos negros algo alterados. Se presentan muy fracturados en buena medida por la propia perforación. Se observan algunos óxidos en las juntas.	4,00 TP-1 4,20							
2															
3			4,00	1,50			Esquistos negros fracturados y algo alterados, con oxidación en algunas juntas.								
4															
5	101W		9,90	5,90		E _{NF}	Esquistos negros de grano fino con alguna intercalación de cuarcita de no más de 5 cm y boudines de cuarzo. Poco alterado pero si fracturado por los planos de esquistosidad. Se observan algunos micropliegues.	7,50 TP-2 7,70							
6															
7															
8															
9			13,30	3,40			Esquistos negros de grano fino muy fracturado en algunas zonas con óxidos de hierro en juntas y también en la matriz.	13,70 TP-3 13,95							
10															
11															
12															
13			14,10				Esquistos negros de grano fino algo alterado en superficie que incluye hacia la mitad del tramo algunos bancos de no más de 5 cm de cuarcita. Esquistosidad replegada y muy marcada, boudines y pequeñas intercalaciones de cuarzo a lo largo del tramo que está bastante fracturado.	20,00 TP-4 20,25							
14															
15															
16															
17															
18															
19															
20															
21															



Sondeo: SM-6+933

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 66,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586354 Y_{UTM}: 4100457 Z_{UTM}: 308,697

SM - 6+933

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico						
22	101W		27,40	14,10		E _{NF}	Esquistos negros de grano fino algo alterado en superficie que incluye hacia la mitad del tramo algunos bancos de no más de 5 cm de cuarcita. Esquistosidad replegada y muy marcada, boudines y pequeñas intercalaciones de cuarzo a lo largo del tramo que está bastante fracturado.	29,90								
23																
24																
25																
26			30,00	2,60			Esquistos negros de grano fino alterado y menos fracturado que el anterior tramo. Algún boudin de cuarzo pero no representativo, esquistosidad apreciable pero muy replegada.									
27																
28																
29																
30											35,00	5,00				TP-5
31			30,25													
32			32,35													
33			TP-6													
34											8,10					
35																
36																
37																
38																
39																
40	TP-7															
41	39,45															
42																

39,90

39,90



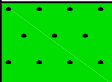
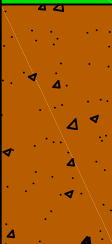
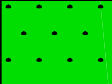
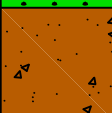
Sondeo: SM-6+933

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 66,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586354 Y_{UTM}: 4100457 Z_{UTM}: 308,697

SM - 6+933

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
43	101W		43,10	8,10		E _{NF}		TP-8 42,20	50,00	6,2E-06 (cm/s)
44				3,20		F	Zona de falla. El tramo comienza con un dique de cuarzo de 10 cm y continua con una zona muy fracturada de aspecto brechoide de esquistos muy alterados con arcillas y con fragmentos y detritus de cuarzo.			
45										
46			46,30		E _{NF}	Esquistos negros de grano fino algo alterados y fracturados con ocasionales boudines de cuarzo. Micropliegues en la esquistosidad.				
47										
48										
49										
50			49,65 TP-9 49,95							
51										
52										
53			52,90 TP-10 53,30							
54										
55										
56										
57										
58	57,55 TP-11 57,75									
59										
60	59,60	1,90		E _{NF}	Esquistos negros de grano fino, sanos y algo fracturados, solo algo alterados hacia el final del tramo. Esquistosidad apreciable.					
61										
62	61,50	2,20		F	Zona de falla. Esquistos negros de grano fino, muy fracturados y ligeramente alterados con algunos detritus de cuarzo.					
63										



Sondeo: SM-6+933

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 66,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586354 Y_{UTM}: 4100457 Z_{UTM}: 308,697

SM - 6+933

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
64	101W		63,70	2,20		F		64,00		
65				2,30		E _{NF}	Esquistos negros de grano fino algo alterados y fracturados, por los planos de esquistosidad. Algunos boudines de cuarzo dispersos en el tramo.	TP-12 64,20		
66										

SM – 7+412



Sondeo: SM-7+412

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 26,00 M

Coordenadas: X_{UTM} : 586453 Y_{UTM} : 4099988 Z_{UTM} : 281,821

SM - 7+412



Profundidad de 0,00 a 1,80 metros



Profundidad de 1,80 a 2,30 metros



Profundidad de 2,30 a 5,25 metros



Profundidad de 5,25 a 8,45 metros



Profundidad de 8,45 a 11,45 metros



Profundidad de 11,45 a 14,15 metros



Profundidad de 14,15 a 17,40 metros



Profundidad de 17,40 a 20,20 metros



Profundidad de 20,20 a 23,00 metros



Profundidad de 23,00 a 25,75 metros

SM - 7+412

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
1	116W	113	1,30	1,30			Esquisto gris oscuro a negro, algo alterado. Se encuentra muy fracturado por la perforación.			
2				1,10			Esquistos negros con foliación algo alabeada. Se presenta fracturado por la esquistosidad. Abundancia de óxidos a favor de fracturas y pequeñas venas de cuarzo.			
3	101W		2,40	23,60		E _{NF}	Esquistos grises a negros. El color negro lo dan los niveles más finos mientras que los tonos grises los dan los niveles más cuarcíticos. La fracturación no es muy intensa, presentando óxidos y una zona de fractura de 7,40 a 10,40 metros. Presencia de boudines de cuarzo.	10,40		
4								TP-1		
5			10,80							
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17			17,10							
18			TP-2							
19			17,40							
20										
21			19,85							
22	TP-3									
23	20,15									



Sondeo: SM-7+412

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 26,00 M

Coordenadas: X_{UTM}:586453 Y_{UTM}: 4099988 Z_{UTM}: 281,821

SM - 7+412

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
22	101W			23,60		ENF	Esquistos grises a negros. El color negro lo dan los niveles más finos mientras que los tonos grises los dan los niveles más cuarcíticos. La fracturación no es muy intensa, presentando óxidos y una zona de fractura de 7,40 a 10,40 metros. Presencia de boudines de cuarzo.	23,25		
23								TP-4		
24								23,55		
25										
26										



SM – 7+422



Sondeo: SM-7+422

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 30,00 M

Coordenadas: X_{UTM} : 586456 Y_{UTM} : 4099978 Z_{UTM} : 275,650

SM - 7+422



Profundidad de 0,00 a 1,80 metros



Profundidad de 1,80 a 2,30 metros



Profundidad de 2,30 a 5,25 metros



Profundidad de 5,25 a 8,45 metros



Profundidad de 8,45 a 11,45 metros



Profundidad de 11,45 a 14,15 metros



Profundidad de 14,15 a 17,40 metros



Profundidad de 17,40 a 20,20 metros



Profundidad de 20,20 a 23,00 metros



Profundidad de 23,00 a 25,75 metros



Profundidad de 25,75 a 28,50 metros



Profundidad de 28,50 a 30,00 metros

Coordenadas: X_{UTM} :586456 Y_{UTM} :4099978 Z_{UTM} :275,650

SM - 7+422

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico		
1	116W	113	1,20	1,20			Esquisto gris oscuro a negro, algo alterado. Se encuentra muy fracturado por la perforación.					
2			2,30	1,10			Esquistos negros con foliación algo alabeada. Se presenta fracturado por la esquistosidad. Abundancia de óxidos a favor de fracturas y pequeñas venas de cuarzo.					
3	101W			27,70		E _{NF}	Esquistos grises a negros. El color negro lo dan los niveles más finos mientras que los tonos grises los dan los niveles más cuarcíticos. La fracturación no es muy intensa, presentando óxidos y una zona de fractura de 7,40 a 10,40 metros. Presencia de boudines de cuarzo.	10,40				
4								TP-1			10,80	
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17								17,10			TP-2	17,40
18												
19												
20								19,85			TP-3	20,15
21												



Sondeo: SM-7+422

Escala de presentación: 1/100

Profundidad: 0,00 M - 30,00 M

Coordenadas: X_{UTM} :586456 Y_{UTM} : 4099978 Z_{UTM} : 275,650

SM - 7+422

Profundidad (m)	ØPerforación/Tipo	ØRevestimiento	Profundidad contacto (m)	Espesor (m)	Litología	Formación	Descripción	Tipo de muestra	Ensayo Lugeon	Nivel piezométrico
22	101W			27,70			Esquistos grises a negros. El color negro lo dan los niveles más finos mientras que los tonos grises los dan los niveles más cuarcíticos. La fracturación no es muy intensa, presentando óxidos y una zona de fractura de 7,40 a 10,40 metros. Presencia de boudines de cuarzo.	23,25		
23								TP-4		
24								23,55		
25										
26										
27								27,00		
28								TP-5		
29								27,30		
30										



ANEJO II

ENSAYOS DILATOMÉTRICOS



PROYECTO: TÚNEL DE SORBAS



ENSAYO REALIZADO EN
EL SONDEO N°:

LOCALIDAD (Provincia): SORBAS (Almería)

LOCALIZACIÓN DEL SONDEO: PK 6+193

COORDENADAS (X,Y,Z): (586199,00 ; 4101180,00 ; 398,350)

SM 6+193

ENSAYO DILATOMÉTRICO

LITOLOGÍA: Yesos laminados pertenecientes a la unidad litológica Y_{DM}

CALIBRACIÓN CAMISA

Nº camisa	37	
Calibración tubo	0,00047	cm/kp/cm ²
Calibración en vacío	3,8	kp/cm ²

CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO

Profundidad del ensayo	60	metros
Diámetro de la camisa	101	mm
Fecha de realización	10/04/2017	

Módulo de Corte G, definición general:

donde: r, radio final

r₀, radio inicial

$$G = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta r} \cdot \left[\frac{r_1 + r_2}{2} + r_0 \right]$$

Módulo de elasticidad E,

$$E = 2(1 + \nu)G = (1 + \nu) \frac{\Delta P}{\Delta r} \cdot \left[\frac{r_1 + r_2}{2} + r_0 \right]$$

Datos del ensayo

Escalones	Lectura Presión Brutas (kp/cm ²)	Presión corregida (kp/cm ²)	Deformación Bruta (mm)	Deformación Corregida (mm)	Radio interior camisa (mm)
1	0,60	0,00	0,44	0,000	33,500
2	3,00	0,01	3,65	3,210	36,710
3	5,00	0,96	6,46	6,019	39,519
4	6,00	1,84	6,90	6,459	39,959
5	8,00	3,86	13,54	13,098	46,598
6	10,00	5,91	13,76	13,318	46,818
7	12,00	7,92	13,79	13,348	46,848
8	14,00	9,93	13,82	13,378	46,878
9	16,00	11,92	13,79	13,348	46,848
10	18,00	13,93	13,85	13,408	46,908
11	20,00	15,94	13,88	13,438	46,938
12	22,00	17,94	13,88	13,438	46,938
13	24,00	19,95	13,90	13,458	46,958
14	26,00	21,94	13,88	13,439	46,939
15	27,00	22,96	13,94	13,499	46,999
16	29,00	24,97	13,97	13,528	47,028
17	31,00	26,99	14,05	13,608	47,108
18	33,00	29,02	14,16	13,718	47,218
19	35,00	31,04	14,24	13,798	47,298
20	38,00	34,06	14,30	13,857	47,357
21	41,00	37,11	14,47	14,027	47,527
22	45,00	41,18	14,67	14,227	47,727
23	48,00	44,22	14,80	14,339	47,839

INTERPRETACIÓN

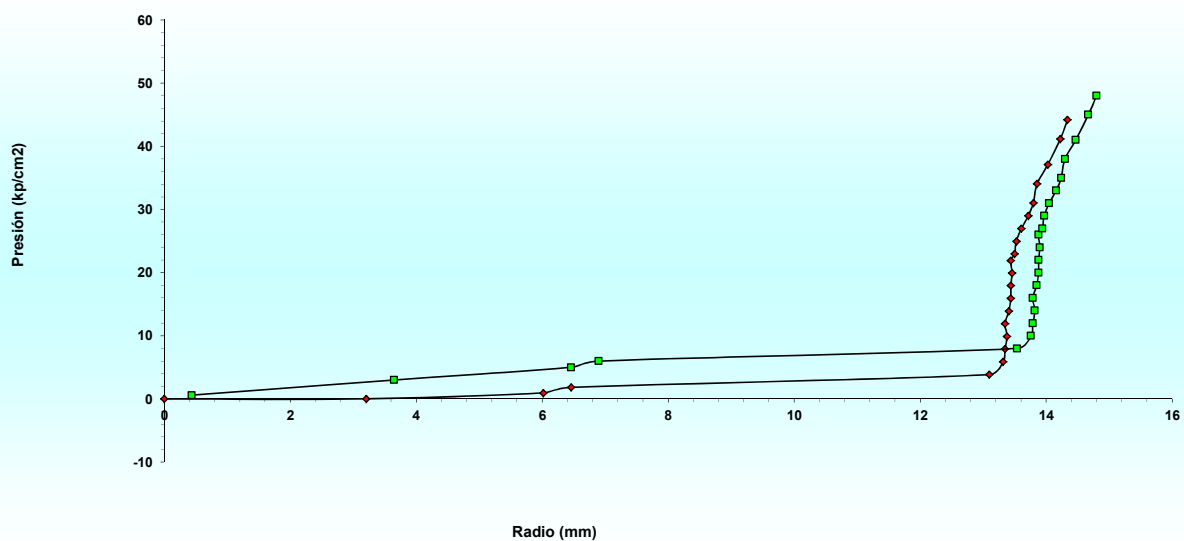
Coefficiente de Poisson	v	0,30	
Presión inicial neta	P ₁	5,91	kp/cm ²
Presión final neta	P ₂	26,99	kp/cm ²
Radio inicial neta	r ₁	13,32	mm
Radio final neta	r ₂	13,61	mm
Radio camisa	r ₀	46,60	mm

MODULO DE DEFORMACIÓN

Ep

5676 kp/cm²

CURVA PRESIOMÉTRICA





PROYECTO: TÚNEL DE SORBAS



ENSAYO REALIZADO EN
EL SONDEO N°:

LOCALIDAD (Provincia): SORBAS (Almería)

LOCALIZACIÓN DEL SONDEO: PK 6+193

COORDENADAS (X,Y,Z): (586199,00 ; 4101180,00 ; 398,350)

SM 6+193

ENSAYO DILATOMÉTRICO

LITOLOGÍA: Yesos laminados pertenecientes a la unidad litológica Y_{DM}

CALIBRACIÓN CAMISA

Nº camisa	37	
Calibración tubo	0,00047	cm/kp/cm ²
Calibración en vacío	3,8	kp/cm ²

CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO

Profundidad del ensayo	94	metros
Diámetro de la camisa	101	mm
Fecha de realización	10/04/2017	

Módulo de Corte G, definición general:

donde: r, radio final

r₀, radio inicial

$$G = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta r} \cdot \left[\frac{r_1 + r_2}{2} + r_0 \right]$$

Módulo de elasticidad E,

$$E = 2(1 + \nu)G = (1 + \nu) \frac{\Delta P}{\Delta r} \cdot \left[\frac{r_1 + r_2}{2} + r_0 \right]$$

Datos del ensayo

Escalones	Lectura Presión Brutas (kp/cm ²)	Presión corregida (kp/cm ²)	Deformación Bruta (mm)	Deformación Corregida (mm)	Radio interior camisa (mm)
1	0,00	0,00	0,60	0,000	33,500
2	2,00	0,47	0,67	0,070	33,570
3	3,00	0,74	1,01	0,410	33,910
4	5,00	0,78	11,52	10,920	44,420
5	8,00	0,81	11,55	10,947	44,447
6	10,00	6,10	11,60	10,997	44,497
7	12,00	8,10	11,60	10,998	44,498
8	14,00	10,10	11,55	10,948	44,448
9	16,00	12,10	11,57	10,967	44,467
10	20,00	16,10	11,59	10,987	44,487
11	22,00	18,11	11,68	11,077	44,577
12	26,00	22,12	11,74	11,137	44,637
13	28,00	24,12	11,75	11,147	44,647
14	32,00	28,12	11,76	11,157	44,657
15	34,00	30,12	11,79	11,188	44,688
16	36,00	32,12	11,81	11,208	44,708
17	38,00	34,13	11,83	11,228	44,728
18	40,00	36,13	11,85	11,248	44,748
19	42,00	38,13	11,88	11,280	44,780
20	44,00	40,13	11,89	11,288	44,788
21	46,00	42,14	11,91	11,310	44,810
22	48,00	44,14	11,93	11,330	44,830
23	50,00	46,14	11,97	11,370	44,870

INTERPRETACIÓN

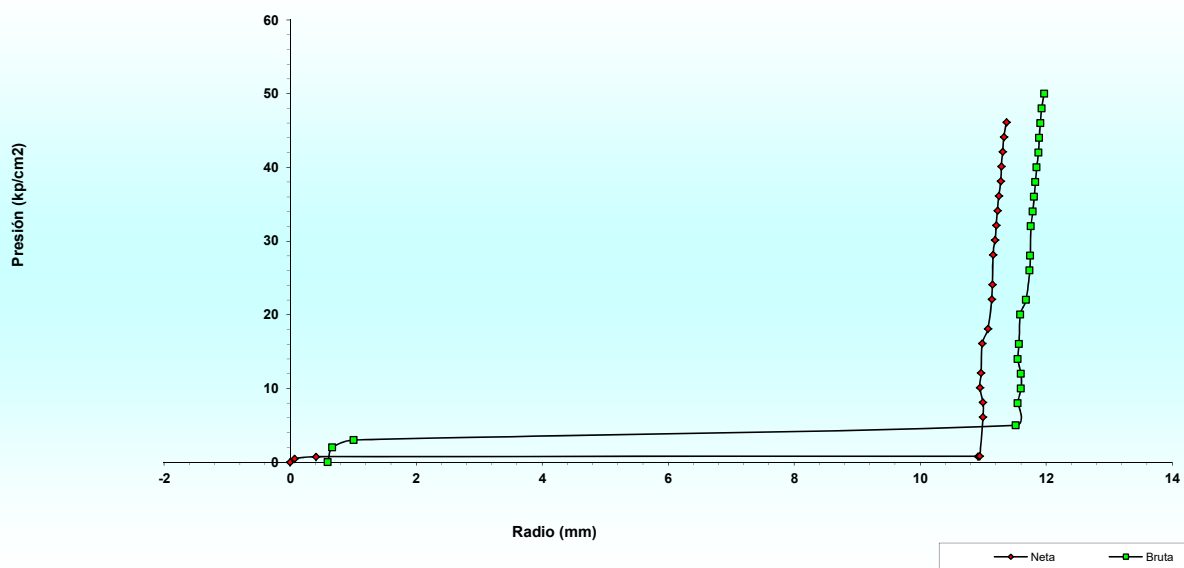
Coefficiente de Poisson	v	0,30	
Presión inicial neta	P ₁	0,81	kp/cm ²
Presión final neta	P ₂	46,14	kp/cm ²
Radio inicial neta	r ₁	10,95	mm
Radio final neta	r ₂	11,37	mm
Radio camisa	r ₀	46,60	mm

MODULO DE DEFORMACIÓN

Ep

8046 kp/cm²

CURVA PRESIOMÉTRICA





PROYECTO: TÚNEL DE SORBAS



ENSAYO REALIZADO EN
EL SONDEO N°:

LOCALIDAD (Provincia): SORBAS (Almería)

LOCALIZACIÓN DEL SONDEO: PK 6+193

COORDENADAS (X,Y,Z): (586199,00 ; 4101180,00 ; 398,350)

SM 6+193

ENSAYO DILATOMÉTRICO

LITOLOGÍA: Yesos laminados pertenecientes a la unidad litológica Y_{DM}

CALIBRACIÓN CAMISA

Nº camisa	15	
Calibración tubo	0,00047	cm/kp/cm ²
Calibración en vacío	3,8	kp/cm ²

CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO

Profundidad del ensayo	113	metros
Diámetro de la camisa	96	mm
Fecha de realización	10/04/2017	

Módulo de Corte G, definición general:

donde: r, radio final

r₀, radio inicial

$$G = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta r} \cdot \left[\frac{r_1 + r_2}{2} + r_0 \right]$$

Módulo de elasticidad E,

$$E = 2(1 + \nu)G = (1 + \nu) \frac{\Delta P}{\Delta r} \cdot \left[\frac{r_1 + r_2}{2} + r_0 \right]$$

Datos del ensayo

Escalones	Lectura Presión Brutas (kp/cm ²)	Presión corregida (kp/cm ²)	Deformación Bruta (mm)	Deformación Corregida (mm)	Radio interior camisa (mm)
1	0,60	0,00	0,19	0,000	30,500
2	4,50	3,14	0,59	0,398	30,898
3	5,00	3,10	1,43	1,235	31,735
4	6,50	4,03	2,39	2,199	32,699
5	8,00	4,22	5,35	5,159	35,659
6	10,00	6,21	5,39	5,192	35,692
7	14,00	10,20	5,41	5,218	35,718
8	15,00	11,19	5,44	5,243	35,743
9	18,00	14,19	5,45	5,257	35,757
10	21,00	17,17	5,51	5,312	35,812
11	25,00	21,16	5,54	5,341	35,841
12	30,00	26,14	5,60	5,407	35,907
13	32,00	28,13	5,62	5,428	35,928
14	34,00	30,11	5,68	5,483	35,983
15	36,00	32,12	5,67	5,478	35,978
16	38,00	34,09	5,75	5,553	36,053
17	40,00	36,08	5,79	5,593	36,093
18	42,00	38,07	5,83	5,638	36,138
19	44,00	40,05	5,90	5,703	36,203
20	47,00	43,02	5,98	5,787	36,287
21	50,00	46,00	6,05	5,857	36,357
22	53,00	48,98	6,15	5,952	36,452
23	56,00	51,94	6,26	6,046	36,546

INTERPRETACIÓN

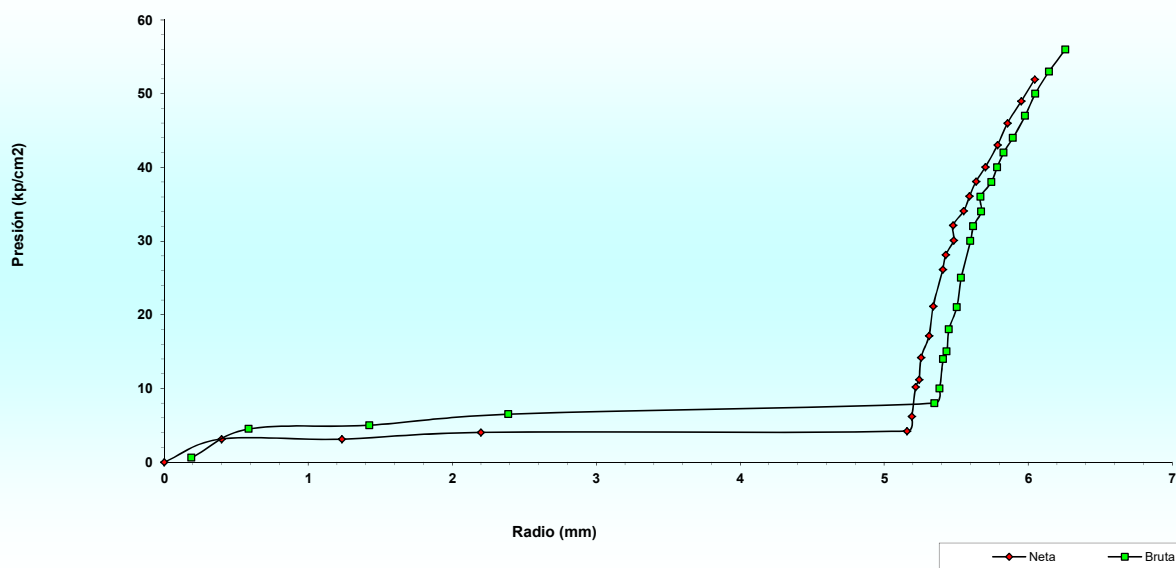
Coefficiente de Poisson	v	0,30	
Presión inicial neta	P ₁	4,22	kp/cm ²
Presión final neta	P ₂	32,12	kp/cm ²
Radio inicial neta	r ₁	5,16	mm
Radio final neta	r ₂	5,48	mm
Radio camisa	r ₀	44,00	mm

MÓDULO DE DEFORMACIÓN

Ep

5607 kp/cm²

CURVA PRESIOMÉTRICA





PROYECTO: TÚNEL DE SORBAS



ENSAYO REALIZADO EN
EL SONDEO N°:

LOCALIDAD (Provincia): SORBAS (Almería)

LOCALIZACIÓN DEL SONDEO: PK 6+331

COORDENADAS (X,Y,Z): (586228,00 ; 4101045,00 ; 376,070)

SM 6+331

ENSAYO DILATOMÉTRICO

LITOLOGÍA: Yesos laminados pertenecientes a la unidad litológica Y_{DM}

CALIBRACIÓN CAMISA

Nº camisa	37	
Calibración tubo	0,00047	cm/kp/cm ²
Calibración en vacío	3,8	kp/cm ²

CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO

Profundidad del ensayo	80	metros
Diámetro de la camisa	101	mm
Fecha de realización	10/04/2017	

Módulo de Corte G, definición general:

donde: r, radio final

r₀, radio inicial

$$G = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta r} \cdot \left[\frac{r_1 + r_2}{2} + r_0 \right]$$

Módulo de elasticidad E,

$$E = 2(1 + \nu)G = (1 + \nu) \frac{\Delta P}{\Delta r} \cdot \left[\frac{r_1 + r_2}{2} + r_0 \right]$$

Datos del ensayo

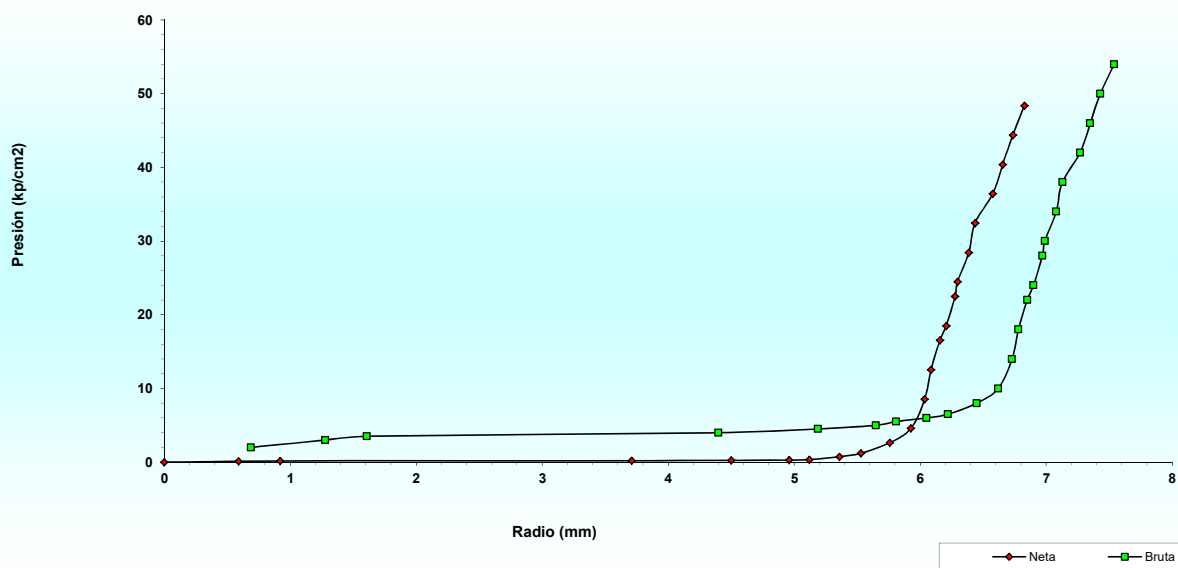
Escalones	Lectura Presión Brutas (kp/cm ²)	Presión corregida (kp/cm ²)	Deformación Bruta (mm)	Deformación Corregida (mm)	Radio interior camisa (mm)
1	2,00	0,00	0,69	0,000	33,500
2	3,00	0,12	1,28	0,590	34,090
3	3,50	0,16	1,61	0,920	34,420
4	4,00	0,20	4,40	3,710	37,210
5	4,50	0,24	5,19	4,500	38,000
6	5,00	0,29	5,65	4,960	38,460
7	5,50	0,33	5,81	5,120	38,620
8	6,00	0,75	6,05	5,360	38,860
9	6,50	1,20	6,22	5,529	39,029
10	8,00	2,63	6,45	5,758	39,258
11	10,00	4,58	6,62	5,927	39,427
12	14,00	8,55	6,73	6,036	39,536
13	18,00	12,54	6,78	6,086	39,586
14	22,00	16,52	6,85	6,157	39,657
15	24,00	18,51	6,90	6,207	39,707
16	28,00	22,49	6,97	6,277	39,777
17	30,00	24,48	6,99	6,297	39,797
18	34,00	28,46	7,08	6,386	39,886
19	38,00	32,45	7,13	6,436	39,936
20	42,00	36,42	7,27	6,576	40,076
21	46,00	40,40	7,35	6,656	40,156
22	50,00	44,38	7,43	6,736	40,236
23	54,00	48,36	7,54	6,827	40,327

INTERPRETACIÓN

Coefficiente de Poisson	v	0,25	
Presión inicial neta	P ₁	8,55	kp/cm ²
Presión final neta	P ₂	48,36	kp/cm ²
Radio inicial neta	r ₁	6,04	mm
Radio final neta	r ₂	6,83	mm
Radio camisa	r ₀	46,60	mm

MODULO DE DEFORMACIÓN	Ep	3336	kp/cm ²
-----------------------	----	------	--------------------

CURVA PRESIOMÉTRICA





PROYECTO: TÚNEL DE SORBAS



ENSAYO REALIZADO EN
EL SONDEO N°:

LOCALIDAD (Provincia): SORBAS (Almería)

LOCALIZACIÓN DEL SONDEO: PK 6+331

COORDENADAS (X,Y,Z): (586228,00 ; 4101045,00 ; 376,070)

SM 6+331

ENSAYO DILATOMÉTRICO

LITOLOGÍA: Yesos laminados pertenecientes a la unidad litológica Y_{DM}

CALIBRACIÓN CAMISA

Nº camisa	37	
Calibración tubo	0,00047	cm/kp/cm ²
Calibración en vacío	3,8	kp/cm ²

CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO

Profundidad del ensayo	119	metros
Diámetro de la camisa	101	mm
Fecha de realización	10/04/2017	

Módulo de Corte G, definición general:

donde: r, radio final

r₀, radio inicial

$$G = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta r} \cdot \left[\frac{r_1 + r_2}{2} + r_0 \right]$$

Módulo de elasticidad E,

$$E = 2(1 + \nu)G = (1 + \nu) \frac{\Delta P}{\Delta r} \cdot \left[\frac{r_1 + r_2}{2} + r_0 \right]$$

Datos del ensayo

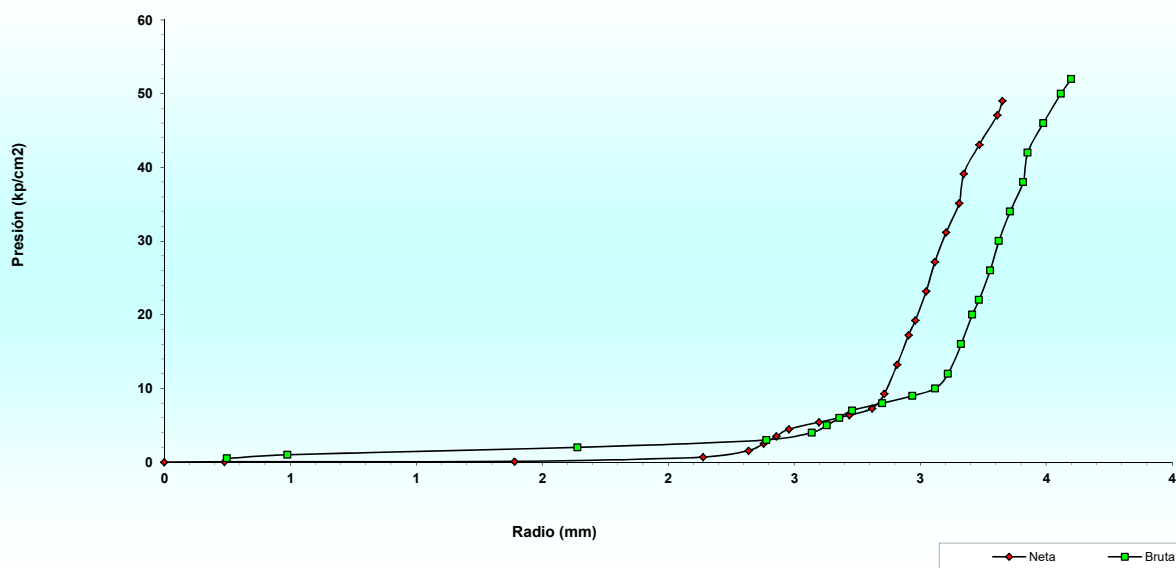
Escalones	Lectura Presión Brutas (kp/cm ²)	Presión corregida (kp/cm ²)	Deformación Bruta (mm)	Deformación Corregida (mm)	Radio interior camisa (mm)
1	0,50	0,00	0,25	0,000	33,500
2	1,00	0,05	0,49	0,240	33,740
3	2,00	0,10	1,64	1,390	34,890
4	3,00	0,67	2,39	2,139	35,639
5	4,00	1,57	2,57	2,319	35,819
6	5,00	2,53	2,63	2,379	35,879
7	6,00	3,51	2,68	2,429	35,929
8	7,00	4,48	2,73	2,479	35,979
9	8,00	5,42	2,85	2,599	36,099
10	9,00	6,36	2,97	2,719	36,219
11	10,00	7,31	3,06	2,809	36,309
12	12,00	9,28	3,11	2,858	36,358
13	16,00	13,26	3,16	2,909	36,409
14	20,00	17,24	3,21	2,954	36,454
15	22,00	19,22	3,23	2,981	36,481
16	26,00	23,20	3,28	3,024	36,524
17	30,00	27,18	3,31	3,059	36,559
18	34,00	31,16	3,36	3,103	36,603
19	38,00	35,14	3,41	3,155	36,655
20	42,00	39,13	3,43	3,173	36,673
21	46,00	43,10	3,49	3,235	36,735
22	50,00	47,07	3,56	3,306	36,806
23	52,00	49,05	3,60	3,327	36,827

INTERPRETACIÓN

Coefficiente de Poisson	v	0,25	
Presión inicial neta	P ₁	9,28	kp/cm ²
Presión final neta	P ₂	49,05	kp/cm ²
Radio inicial neta	r ₁	2,86	mm
Radio final neta	r ₂	3,33	mm
Radio camisa	r ₀	46,60	mm

MODULO DE DEFORMACIÓN	Ep	5267	kp/cm ²
-----------------------	----	------	--------------------

CURVA PRESIOMÉTRICA





PROYECTO: TÚNEL DE SORBAS



ENSAYO REALIZADO EN
EL SONDEO N°:

LOCALIDAD (Provincia): SORBAS (Almería)

LOCALIZACIÓN DEL SONDEO: PK 6+331

COORDENADAS (X,Y,Z): (586228,00 ; 4101045,00 ; 376,070)

SM 6+331

ENSAYO DILATOMÉTRICO

LITOLOGÍA: Yesos laminados pertenecientes a la unidad litológica Y_{DM}

CALIBRACIÓN CAMISA

Nº camisa	37	
Calibración tubo	0,00047	cm/kp/cm ²
Calibración en vacío	3,8	kp/cm ²

CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO

Profundidad del ensayo	108	metros
Diámetro de la camisa	101	mm
Fecha de realización	10/04/2017	

Módulo de Corte G, definición general:

donde: r, radio final

r₀, radio inicial

$$G = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta r} \cdot \left[\frac{r_1 + r_2}{2} + r_0 \right]$$

Módulo de elasticidad E,

$$E = 2(1 + \nu)G = (1 + \nu) \frac{\Delta P}{\Delta r} \cdot \left[\frac{r_1 + r_2}{2} + r_0 \right]$$

Datos del ensayo

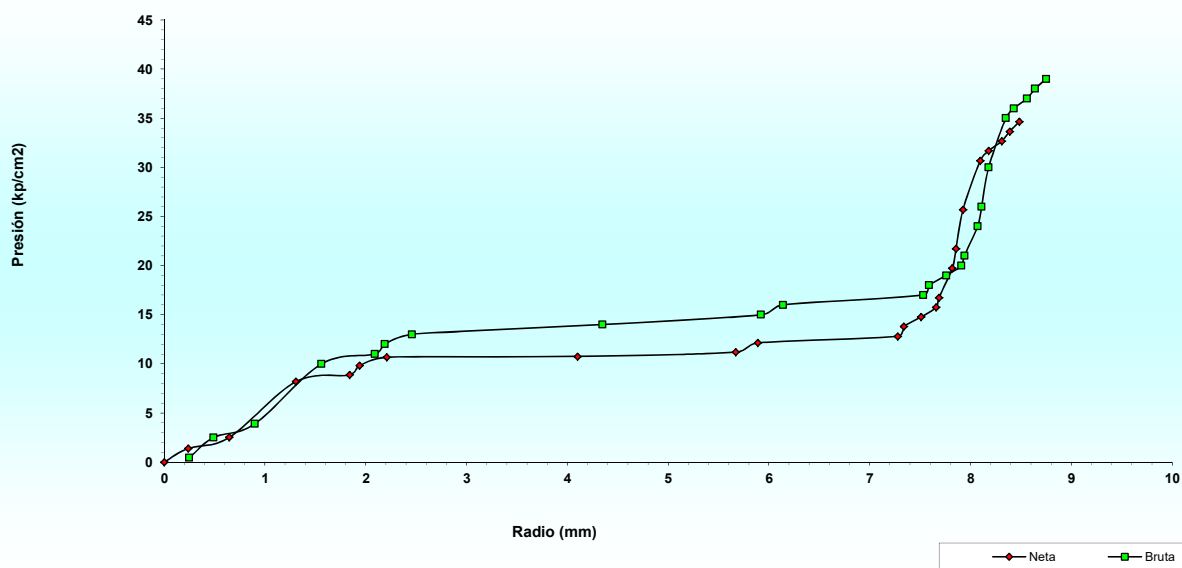
Escalones	Lectura Presión Brutas (kp/cm ²)	Presión corregida (kp/cm ²)	Deformación Bruta (mm)	Deformación Corregida (mm)	Radio interior camisa (mm)
1	0,46	0,00	0,25	0,000	33,500
2	2,50	1,39	0,49	0,239	33,739
3	3,90	2,52	0,90	0,647	34,147
4	10,00	8,19	1,56	1,307	34,807
5	11,00	8,88	2,09	1,839	35,339
6	12,00	9,82	2,19	1,939	35,439
7	13,00	10,67	2,46	2,210	35,710
8	14,00	10,76	4,35	4,100	37,600
9	15,00	11,20	5,92	5,669	39,169
10	16,00	12,13	6,14	5,889	39,389
11	17,00	12,81	7,53	7,279	40,779
12	18,00	13,80	7,59	7,339	40,839
13	19,00	14,77	7,76	7,509	41,009
14	20,00	15,75	7,91	7,659	41,159
15	21,00	16,74	7,94	7,688	41,188
16	24,00	19,72	8,07	7,818	41,318
17	26,00	21,72	8,11	7,857	41,357
18	30,00	25,71	8,18	7,926	41,426
19	35,00	30,69	8,35	8,097	41,597
20	36,00	31,68	8,43	8,179	41,679
21	37,00	32,66	8,56	8,309	41,809
22	38,00	33,66	8,64	8,389	41,889
23	39,00	34,65	8,75	8,484	41,984

INTERPRETACIÓN

Coefficiente de Poisson	v	0,25	
Presión inicial neta	P ₁	15,75	kp/cm ²
Presión final neta	P ₂	30,69	kp/cm ²
Radio inicial neta	r ₁	7,66	mm
Radio final neta	r ₂	8,10	mm
Radio camisa	r ₀	46,60	mm

MODULO DE DEFORMACIÓN	Ep	2323	kp/cm ²
-----------------------	----	------	--------------------

CURVA PRESIOMÉTRICA





PROYECTO: TÚNEL DE SORBAS



ENSAYO REALIZADO EN
EL SONDEO N°:

LOCALIDAD (Provincia): SORBAS (Almería)

LOCALIZACIÓN DEL SONDEO: PK 6+686

COORDENADAS (X,Y,Z): (586302,00 ; 4100698,00 ; 351,672)

SM 6+686

ENSAYO DILATOMÉTRICO

LITOLOGÍA: Yesos laminados pertenecientes a la unidad litológica Y_{DA}

CALIBRACIÓN CAMISA

Nº camisa	37	
Calibración tubo	0,00047	cm/kp/cm ²
Calibración en vacío	3,8	kp/cm ²

CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO

Profundidad del ensayo	71	metros
Diámetro de la camisa	101	mm
Fecha de realización	10/04/2017	

Módulo de Corte G, definición general:

donde: r, radio final

r₀, radio inicial

$$G = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta r} \cdot \left[\frac{r_1 + r_2}{2} + r_0 \right]$$

Módulo de elasticidad E,

$$E = 2(1 + \nu)G = (1 + \nu) \frac{\Delta P}{\Delta r} \cdot \left[\frac{r_1 + r_2}{2} + r_0 \right]$$

Datos del ensayo

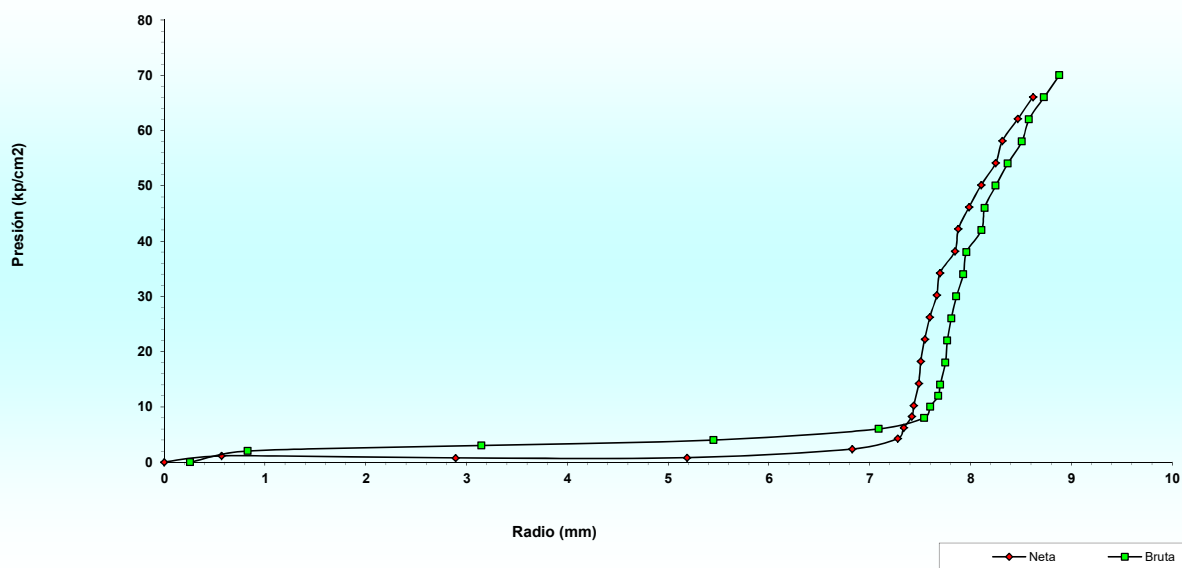
Escalones	Lectura Presión Brutas (kp/cm ²)	Presión corregida (kp/cm ²)	Deformación Bruta (mm)	Deformación Corregida (mm)	Radio interior camisa (mm)
1	0,00	0,00	0,26	0,000	33,500
2	2,00	1,13	0,83	0,570	37,070
3	3,00	0,77	3,15	2,890	36,390
4	4,00	0,81	5,45	5,189	38,689
5	6,00	2,36	7,09	6,828	40,328
6	8,00	4,27	7,54	7,278	40,778
7	10,00	6,26	7,60	7,338	40,838
8	12,00	8,25	7,68	7,418	40,918
9	14,00	10,24	7,70	7,437	40,937
10	18,00	14,24	7,75	7,486	40,986
11	22,00	18,23	7,77	7,506	41,006
12	26,00	22,23	7,81	7,546	41,046
13	30,00	26,22	7,86	7,596	41,096
14	34,00	30,21	7,93	7,666	41,166
15	38,00	34,20	7,96	7,696	41,196
16	42,00	38,18	8,11	7,846	41,346
17	46,00	42,18	8,14	7,879	41,376
18	50,00	46,16	8,25	7,986	41,486
19	54,00	50,15	8,37	8,106	41,606
20	58,00	54,13	8,51	8,250	41,750
21	62,00	58,12	8,58	8,316	41,816
22	66,00	62,11	8,73	8,470	41,970
23	70,00	66,09	8,88	8,620	42,120

INTERPRETACIÓN

Coefficiente de Poisson	v	0,30	
Presión inicial neta	P ₁	8,25	kp/cm ²
Presión final neta	P ₂	46,16	kp/cm ²
Radio inicial neta	r ₁	7,42	mm
Radio final neta	r ₂	7,99	mm
Radio camisa	r ₀	46,60	mm

MODULO DE DEFORMACIÓN	Ep	4712	kp/cm ²
-----------------------	----	------	--------------------

CURVA PRESIOMÉTRICA





PROYECTO: TÚNEL DE SORBAS



ENSAYO REALIZADO EN
EL SONDEO N°:

LOCALIDAD (Provincia): SORBAS (Almería)

LOCALIZACIÓN DEL SONDEO: PK 6+686

COORDENADAS (X,Y,Z): (586302,00 ;4100698,00 ; 351,672)

SM 6+686

ENSAYO DILATOMÉTRICO

LITOLOGÍA: Yesos laminados pertenecientes a la unidad litológica Y_{DA}

CALIBRACIÓN CAMISA

Nº camisa	37	
Calibración tubo	0,00047	cm/kp/cm ²
Calibración en vacío	3,8	kp/cm ²

CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO

Profundidad del ensayo	99	metros
Diámetro de la camisa	101	mm
Fecha de realización	10/04/2017	

Módulo de Corte G, definición general:

donde: r, radio final

r₀, radio inicial

$$G = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta r} \cdot \left[\frac{r_1 + r_2}{2} + r_0 \right]$$

Módulo de elasticidad E,

$$E = 2(1 + \nu)G = (1 + \nu) \frac{\Delta P}{\Delta r} \cdot \left[\frac{r_1 + r_2}{2} + r_0 \right]$$

Datos del ensayo

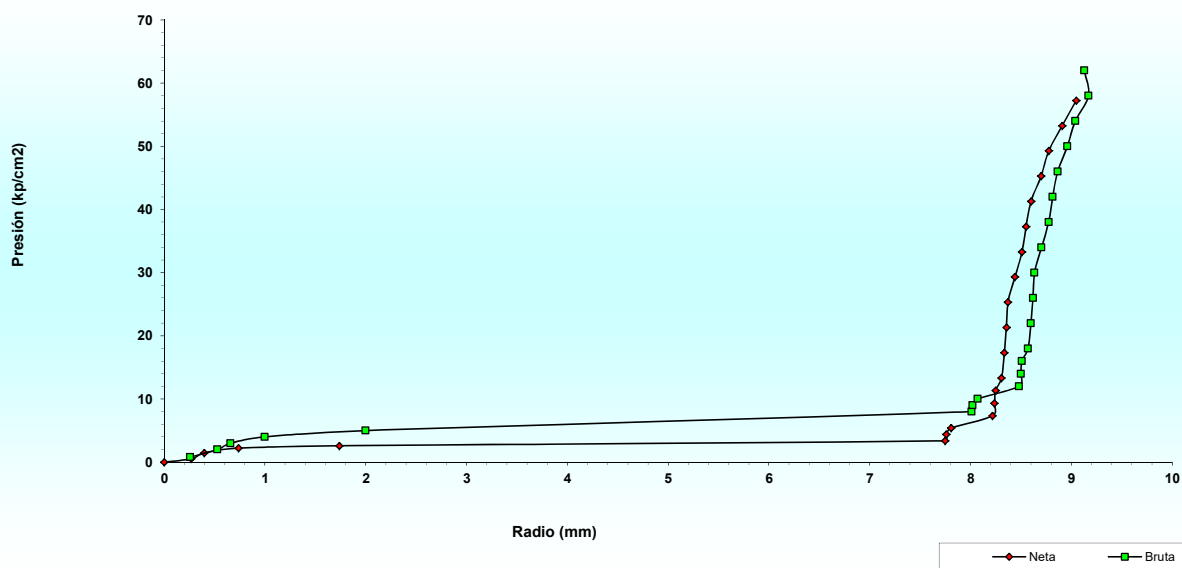
Escalones	Lectura Presión Brutas (kp/cm ²)	Presión corregida (kp/cm ²)	Deformación Bruta (mm)	Deformación Corregida (mm)	Radio interior camisa (mm)
1	0,80	0,00	0,26	0,000	33,500
2	2,00	0,53	0,53	0,269	33,769
3	3,00	1,44	0,66	0,399	33,899
4	4,00	2,22	1,00	0,739	34,239
5	5,00	2,59	2,00	1,739	35,239
6	8,00	3,39	8,01	7,749	41,249
7	9,00	4,39	8,02	7,759	41,259
8	10,00	5,39	8,07	7,809	41,309
9	12,00	7,33	8,48	8,218	41,718
10	14,00	9,33	8,50	8,238	41,738
11	16,00	11,33	8,51	8,248	41,748
12	18,00	13,32	8,57	8,307	41,807
13	22,00	17,32	8,60	8,336	41,836
14	26,00	21,32	8,62	8,356	41,856
15	30,00	25,32	8,64	8,371	41,871
16	34,00	29,31	8,71	8,441	41,941
17	38,00	33,30	8,78	8,511	42,011
18	42,00	37,30	8,82	8,551	42,051
19	46,00	41,30	8,87	8,601	42,101
20	50,00	45,29	8,96	8,700	42,200
21	54,00	49,28	9,04	8,776	42,276
22	58,00	53,27	9,17	8,910	42,410
23	62,00	57,27	9,13	9,050	42,550

INTERPRETACIÓN

Coefficiente de Poisson	v	0,30	
Presión inicial neta	P ₁	7,33	kp/cm ²
Presión final neta	P ₂	45,29	kp/cm ²
Radio inicial neta	r ₁	8,22	mm
Radio final neta	r ₂	8,70	mm
Radio camisa	r ₀	46,60	mm

MODULO DE DEFORMACIÓN	Ep	5637	kp/cm ²
-----------------------	----	------	--------------------

CURVA PRESIOMÉTRICA





ANEJO III

ENSAYOS DE PERMEABILIDAD



PROYECTO: TÚNEL DE SORBAS



ENSAYO REALIZADO EN
EL SONDEO N°:

LOCALIDAD (Provincia): SORBAS (Almería)

LOCALIZACIÓN DEL SONDEO: PK 1+509

COORDENADAS (X,Y,Z): (586483,32 ; 4105817 ; 270,150)

SM 1+509

ENSAYO DE PERMEABILIDAD LUGEON

LITOLOGÍA: Marga arenosa perteneciente a la unidad geológica Tsa

DATOS DE CAMPO

Diámetro del sondeo (mm):	101	En (m):	0,101
Profundidad del nivel piezométrico (m):	7		
Diámetro interior de la tubería y varillaje (mm):	101	En (m):	0,101
Altura del manómetro sobre suelo (m):	0		
Profundidad del tramo ensayado			
Superior (m):	15,00	Longitud (m):	5,00
Inferior (m):	20,00	Prof.media (m):	17,50
Duración del escalón (min.):	10	En (seg):	600

Permeabilidad (Custodio y Llamas, 1996)

$$K = \frac{Q}{6.28 \cdot P \cdot l} \cdot \ln \frac{l}{r}$$

donde: Q, caudal. P, presión
l, longitud ensayada.
r, radio

Permeabilidad (González de Vallejo, 2002)

$$K_{U.L.} = \frac{V_{(l)}}{l_{(m)}} \cdot \frac{1000}{P_{(Kpa)}} \cdot \frac{10}{t_{(min)}} \quad 1.U.L. = 1 \frac{l}{m \cdot min} = 10^{-5} \frac{cm}{s}$$

Datos del ensayo

Escalones de presión efectiva. (Kpa) (za)	Volumen admitido (l)	Potencial en el tramo (m)	Duración (min)	Caudal (l/min)	Absorción en tramo ensayado (l/m·min)	K (cm/s) (Custodio y Llamas)	Lugeon
0,0	0,0	7,00	10	0,00E+00	0,000E+00	0,00E+00	0,00
250,0	1,0	32,49	10	1,00E-01	2,000E-02	7,50E-07	0,08
500,0	0,0	57,99	10	0,00E+00	0,000E+00	0,00E+00	0,00
750,0	0,0	83,48	10	0,00E+00	0,000E+00	0,00E+00	0,00
1000,0	0,0	108,97	10	0,00E+00	0,000E+00	0,00E+00	0,00
750,0	0,0	83,48	10	0,00E+00	0,000E+00	0,00E+00	0,00
500,0	0,0	57,99	10	0,00E+00	0,000E+00	0,00E+00	0,00
250,0	0,0	32,49	10	0,00E+00	0,000E+00	0,00E+00	0,00
0,0	0,0	7,00	10	0,00E+00	0,000E+00	0,00E+00	0,00

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

TIPO DE MACIZO	U.L.	Presión (Kpa)
Muy impermeable	0 - 1	1000
Prácticamente impermeable	1 - 3	1000
Permeable	> 3	1000
	1,5 - 6	500
Muy permeable	> 3	1000
	> 6	500

Resultados

Volumen de agua inyectado a 1000 Kpa aprox., (10 bar) (l):	0,0
Duración del escalón, (min):	10
Longitud del tramo ensayado, (m):	5,00
Presión efectiva del escalón mayor, 1000 Kpa aprox. (Kpa):	1000,0

PERMEABILIDAD EN
UNIDADES LUGEON

0,01

U.L.

PERMEABILIDAD
(González de Vallejo)

8,3363E-08

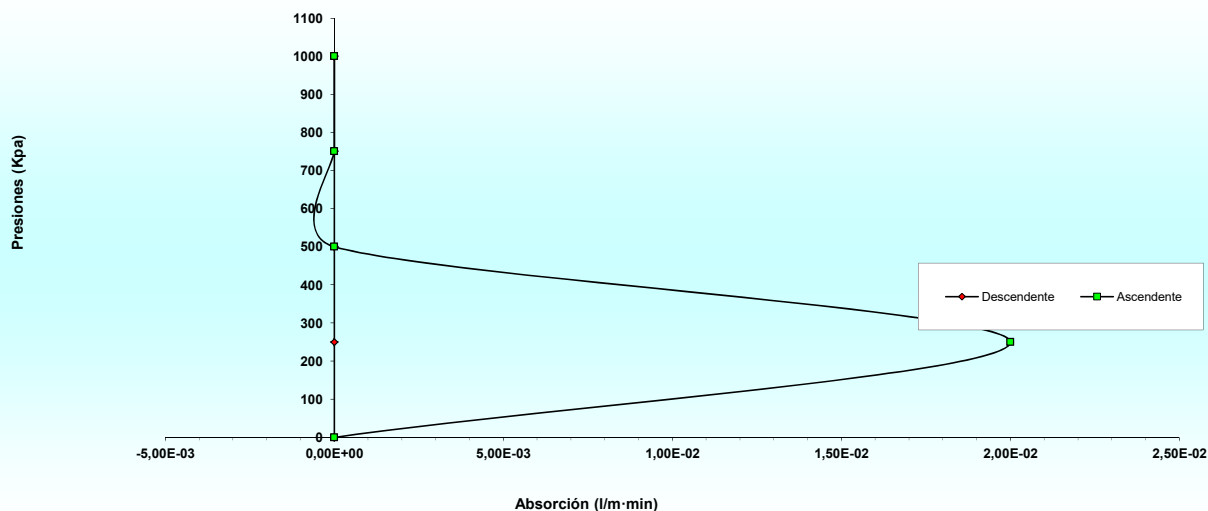
cm/s

PERMEABILIDAD MEDIA
(Custodio y Llamas)

0,0000E+00

K (m/s):

PERMEABILIDAD LUGEON





PROYECTO: TÚNEL DE SORBAS



ENSAYO REALIZADO EN
EL SONDEO N°:

LOCALIDAD (Provincia): SORBAS (Almería)

LOCALIZACIÓN DEL SONDEO: PK 1+756

COORDENADAS (X,Y,Z): (586443,00 ; 4105573,00 ; 276,820)

SM 1+756

ENSAYO DE PERMEABILIDAD LUGEON

LITOLOGÍA: Arenisca con intercalación de microconglomerados perteneciente a la unidad geológica Tscg

DATOS DE CAMPO

Diámetro del sondeo (mm):	101	En (m):	0,101
Profundidad del nivel piezométrico (m):	48,3		
Diámetro interior de la tubería y varillaje (mm):	101	En (m):	0,101
Altura del manómetro sobre suelo (m):	0,65		
Profundidad del tramo ensayado			
Superior (m):	25,00	Longitud (m):	5,00
Inferior (m):	30,00	Prof.media (m):	27,50
Duración del escalón (min.):	10	En (seg):	600

Permeabilidad (Custodio y Llamas, 1996)

$$K = \frac{Q}{6,28 \cdot P \cdot l} \cdot \ln \frac{l}{r}$$

donde: Q, caudal. P, presión
l, longitud ensayada.
r, radio

Permeabilidad (González de Vallejo, 2002)

$$K_{U.L.} = \frac{V_{(t)}}{l_{(m)}} \cdot \frac{1000}{P_{(Kpa)}} \cdot \frac{10}{t_{(min)}} \quad 1.U.L. = 1 \frac{l}{m \cdot min} = 10^{-5} \frac{cm}{s}$$

Datos del ensayo

Escalones de presión efectiva. (Kpa) (za)	Volumen admitido (l)	Potencial en el tramo (m)	Duración (min)	Caudal (l/min)	Absorción en tramo ensayado (l/m·min)	K (cm/s) (Custodio y Llamas)	Lugeon
0,0	0,0	28,15	10	0,00E+00	0,000E+00	0,00E+00	0,00
250,0	3,0	53,64	10	3,00E-01	6,000E-02	1,36E-06	0,14
500,0	6,5	79,14	10	6,50E-01	1,300E-01	2,00E-06	0,20
750,0	10,5	104,63	10	1,05E+00	2,100E-01	2,45E-06	0,24
1000,0	15,0	130,12	10	1,50E+00	3,000E-01	2,81E-06	0,28
750,0	9,0	104,63	10	9,00E-01	1,800E-01	2,10E-06	0,21
500,0	5,5	79,14	10	5,50E-01	1,100E-01	1,69E-06	0,17
250,0	2,0	53,64	10	2,00E-01	4,000E-02	9,09E-07	0,09
0,0	0,0	28,15	10	0,00E+00	0,000E+00	0,00E+00	0,00

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

TIPO DE MACIZO	U.L.	Presión (Kpa)
Muy impermeable	0 - 1	1000
Prácticamente impermeable	1 - 3	1000
Permeable	> 3	1000
	1,5 - 6	500
Muy permeable	> 3	1000
	> 6	500

Resultados

Volumen de agua inyectado a 1000 Kpa aprox., (10 bar) (l):	15,0
Duración del escalón, (min):	10
Longitud del tramo ensayado, (m):	5,00
Presión efectiva del escalón mayor, 1000 Kpa aprox. (Kpa):	1000,0

PERMEABILIDAD EN
UNIDADES LUGEON

0,15 U.L.

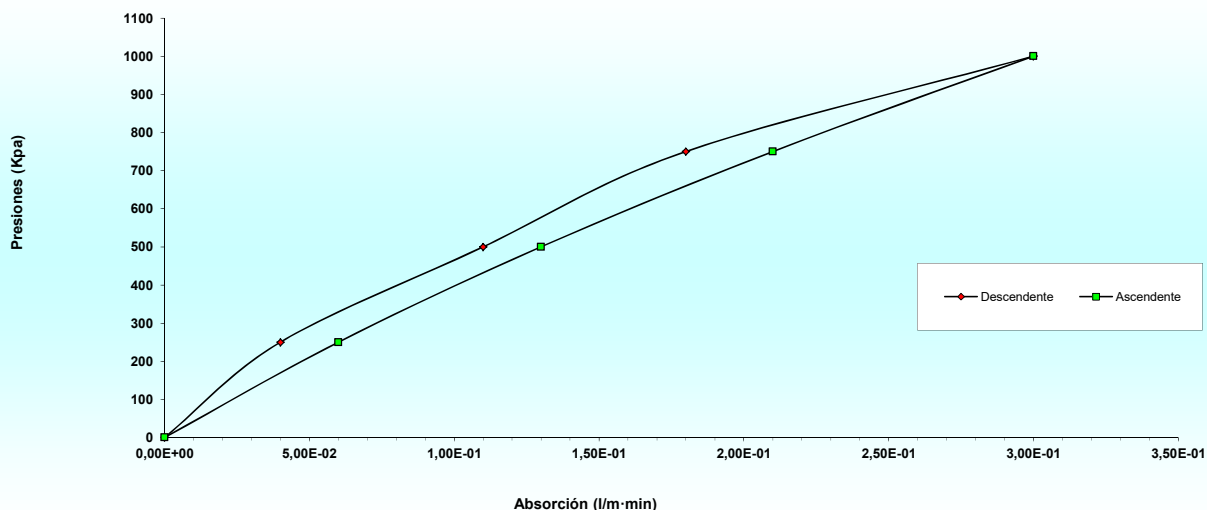
PERMEABILIDAD
(González de Vallejo)

1,4803E-06 cm/s

PERMEABILIDAD MEDIA
(Custodio y Llamas)

1,9932E-06 K (m/s):

PERMEABILIDAD LUGEON





PROYECTO: TÚNEL DE SORBAS



ENSAYO REALIZADO EN
EL SONDEO N°:

LOCALIDAD (Provincia): SORBAS (Almería)

LOCALIZACIÓN DEL SONDEO: PK 1+756

COORDENADAS (X,Y,Z): (586443,00 ; 4105573,00 ; 276,820)

SM 1+756

ENSAYO DE PERMEABILIDAD LUGEON

LITOLOGÍA: Arenisca y conglomerado mal graduado perteneciente a las formaciones geológicas Tscg-Tsb

DATOS DE CAMPO

Diámetro del sondeo (mm):	101	En (m):	0,101
Profundidad del nivel piezométrico (m):	48,3		
Diámetro interior de la tubería y varillaje (mm):	101	En (m):	0,101
Altura del manómetro sobre suelo (m):	1		
Profundidad del tramo ensayado			
Superior (m):	35,50	Longitud (m):	5,00
Inferior (m):	40,50	Prof.media (m):	38,00
Duración del escalón (min.):	10	En (seg):	600

Permeabilidad (Custodio y Llamas, 1996)

donde: Q, caudal. P, presión
l, longitud ensayada.
r, radio

$$K = \frac{Q}{6.28 \cdot P \cdot l} \cdot \ln \frac{l}{r}$$

Permeabilidad (González de Vallejo, 2002)

$$K_{U.L.} = \frac{V_{(l)}}{l_{(m)}} \cdot \frac{1000}{P_{(Kpa)}} \cdot \frac{10}{t_{(min)}} \quad 1.U.L = 1 \frac{l}{m \cdot min} = 10^{-5} \frac{cm}{s}$$

Datos del ensayo

Escalones de presión efectiva. (Kpa) (za)	Volumen admitido (l)	Potencial en el tramo (m)	Duración (min)	Caudal (l/min)	Absorción en tramo ensayado (l/m·min)	K (cm/s) (Custodio y Llamas)	Lugeon
0,0	0,0	39,00	10	0,00E+00	0,000E+00	0,00E+00	0,00
250,0	12,0	64,49	10	1,20E+00	2,400E-01	4,54E-06	0,45
500,0	27,0	89,99	10	2,70E+00	5,400E-01	7,31E-06	0,73
750,0	58,0	115,48	10	5,80E+00	1,160E+00	1,22E-05	1,22
1000,0	88,0	140,97	10	8,80E+00	1,760E+00	1,52E-05	1,52
750,0	61,0	115,48	10	6,10E+00	1,220E+00	1,29E-05	1,29
500,0	30,5	89,99	10	3,05E+00	6,100E-01	8,26E-06	0,83
250,0	14,5	64,49	10	1,45E+00	2,900E-01	5,48E-06	0,55
0,0	0,0	39,00	10	0,00E+00	0,000E+00	0,00E+00	0,00

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

TIPO DE MACIZO	U.L.	Presión (Kpa)
Muy impermeable	0 - 1	1000
Prácticamente impermeable	1 - 3	1000
Permeable	> 3	1000
	1,5 - 6	500
Muy permeable	> 3	1000
	> 6	500

Resultados

Volumen de agua inyectado a 1000 Kpa aprox., (10 bar) (l):	88,0
Duración del escalón, (min):	10
Longitud del tramo ensayado, (m):	5,00
Presión efectiva del escalón mayor, 1000 Kpa aprox. (Kpa):	1000,0

PERMEABILIDAD EN
UNIDADES LUGEON

0,73

U.L.

PERMEABILIDAD
(González de Vallejo)

7,3260E-06

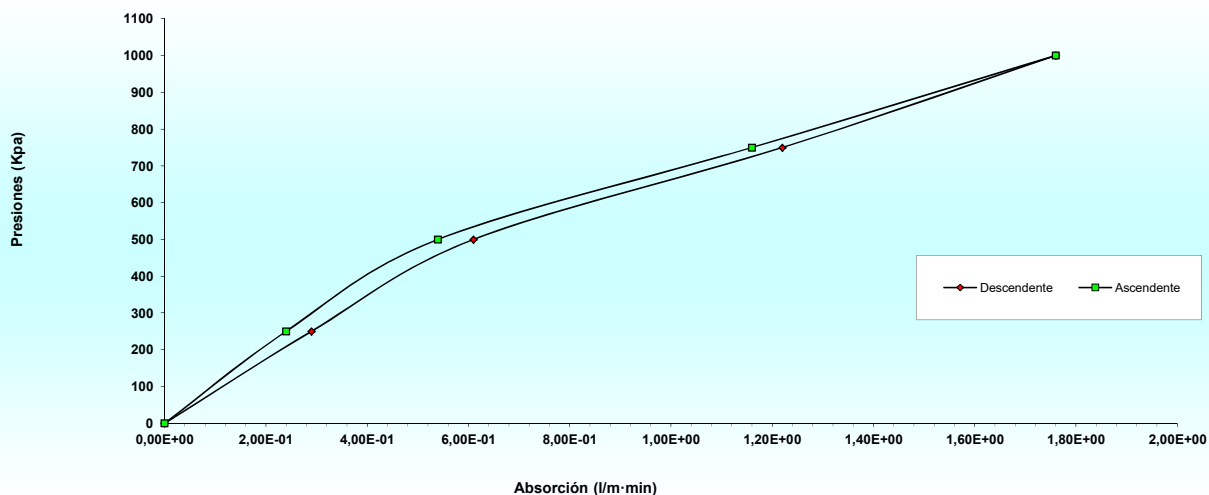
cm/s

PERMEABILIDAD MEDIA
(Custodio y Llamas)

1,0233E-05

K (m/s):

PERMEABILIDAD LUGEON





PROYECTO: TÚNEL DE SORBAS



ENSAYO REALIZADO EN
EL SONDEO N°:

LOCALIDAD (Provincia): SORBAS (Almería)

LOCALIZACIÓN DEL SONDEO: PK 3+235

COORDENADAS (X,Y,Z): (56203,89 ; 4104114 ; 475,430)

SM 3+235

ENSAYO DE PERMEABILIDAD LUGEON

LITOLOGÍA: Margas con algún indicio de arenas perteneciente a la unidad geológica Tsa

DATOS DE CAMPO

Diámetro del sondeo (mm):	101	En (m):	0,101
Profundidad del nivel piezométrico (m):	315		
Diámetro interior de la tubería y varillaje (mm):	101	En (m):	0,101
Altura del manómetro sobre suelo (m):	0,7		
Profundidad del tramo ensayado			
Superior (m):	100,00	Longitud (m):	5,00
Inferior (m):	105,00	Prof.media (m):	102,50
Duración del escalón (min.):	10	En (seg):	600

Permeabilidad (Custodio y Llamas, 1996)

donde: Q, caudal. P, presión
l, longitud ensayada.
r, radio

$$K = \frac{Q}{6,28 \cdot P \cdot l} \cdot \ln \frac{l}{r}$$

Permeabilidad (González de Vallejo, 2002)

$$K_{U.L.} = \frac{V_{(t)}}{l_{(m)}} \cdot \frac{1000}{P_{(Kpa)}} \cdot \frac{10}{t_{(min)}} \quad 1.U.L. = 1 \frac{l}{m \cdot min} = 10^{-3} \frac{cm}{s}$$

Datos del ensayo

Escalones de presión efectiva. (Kpa) (za)	Volumen admitido (l)	Potencial en el tramo (m)	Duración (min)	Caudal (l/min)	Absorción en tramo ensayado (l/m·min)	K (cm/s) (Custodio y Llamas)	Lugeon
0,0	0,0	103,20	10	0,00E+00	0,000E+00	0,00E+00	0,00
250,0	3,0	128,69	10	3,00E-01	6,000E-02	5,68E-07	0,06
500,0	5,0	154,19	10	5,00E-01	1,000E-01	7,91E-07	0,08
750,0	10,0	179,68	10	1,00E+00	2,000E-01	1,36E-06	0,14
1000,0	13,0	205,17	10	1,30E+00	2,600E-01	1,54E-06	0,15
750,0	9,0	179,68	10	9,00E-01	1,800E-01	1,22E-06	0,12
500,0	6,0	154,19	10	6,00E-01	1,200E-01	9,49E-07	0,09
250,0	2,0	128,69	10	2,00E-01	4,000E-02	3,79E-07	0,04
0,0	0,0	103,20	10	0,00E+00	0,000E+00	0,00E+00	0,00

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

TIPO DE MACIZO	U.L.	Presión (Kpa)
Muy impermeable	0 - 1	1000
Prácticamente impermeable	1 - 3	1000
Permeable	> 3	1000
	1,5 - 6	500
Muy permeable	> 3	1000
	> 6	500

Resultados

Volumen de agua inyectado a 1000 Kpa aprox., (10 bar) (l):	13,0
Duración del escalón, (min):	10
Longitud del tramo ensayado, (m):	5,00
Presión efectiva del escalón mayor, 1000 Kpa aprox. (Kpa):	1000,0

PERMEABILIDAD EN
UNIDADES LUGEÓN

0,08

U.L.

PERMEABILIDAD
(González de Vallejo)

7,5654E-07

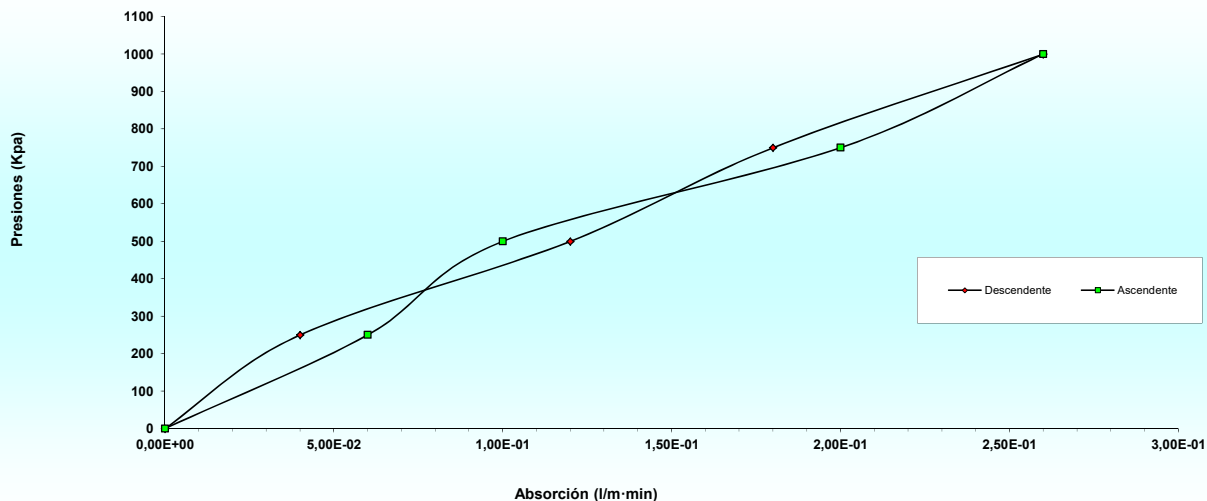
cm/s

PERMEABILIDAD MEDIA
(Custodio y Llamas)

1,0401E-06

K (m/s):

PERMEABILIDAD LUGEON





PROYECTO: TÚNEL DE SORBAS



ENSAYO REALIZADO EN
EL SONDEO N°:

LOCALIDAD (Provincia): SORBAS (Almería)

LOCALIZACIÓN DEL SONDEO: PK 3+235

COORDENADAS (X,Y,Z): (56203,89 ; 4104114 ; 475,430)

SM 3+235

ENSAYO DE PERMEABILIDAD LUGEON

LITOLOGÍA: Margas con algún indicio de arenas perteneciente a la unidad geológica Tsa

DATOS DE CAMPO

Diámetro del sondeo (mm):	101	En (m):	0,101
Profundidad del nivel piezométrico (m):	315		
Diámetro interior de la tubería y varillaje (mm):	101	En (m):	0,101
Altura del manómetro sobre suelo (m):	0,85		
Profundidad del tramo ensayado			
Superior (m):	200,00	Longitud (m):	5,00
Inferior (m):	205,00	Prof.media (m):	202,50
Duración del escalón (min.):	10	En (seg):	600

Permeabilidad (Custodio y Llamas, 1996)

$$K = \frac{Q}{6.28 \cdot P \cdot l} \cdot \ln \frac{l}{r}$$

donde: Q, caudal. P, presión
l, longitud ensayada.
r, radio

Permeabilidad (González de Vallejo, 2002)

$$K_{U.L.} = \frac{V_{(l)}}{l_{(m)}} \cdot \frac{1000}{P_{(Kpa)}} \cdot \frac{10}{t_{(min)}} \quad 1.U.L = 1 \frac{l}{m \cdot min} = 10^{-5} \frac{cm}{s}$$

Datos del ensayo

Escalones de presión efectiva. (Kpa) (za)	Volumen admitido (l)	Potencial en el tramo (m)	Duración (min)	Caudal (l/min)	Absorción en tramo ensayado (l/m·min)	K (cm/s) (Custodio y Llamas)	Lugeon
0,0	0,0	203,35	10	0,00E+00	0,000E+00	0,00E+00	0,00
250,0	4,0	228,84	10	4,00E-01	8,000E-02	4,26E-07	0,04
500,0	8,0	254,34	10	8,00E-01	1,600E-01	7,67E-07	0,08
750,0	11,0	279,83	10	1,10E+00	2,200E-01	9,58E-07	0,10
1000,0	18,0	305,32	10	1,80E+00	3,600E-01	1,44E-06	0,14
750,0	12,0	279,83	10	1,20E+00	2,400E-01	1,05E-06	0,10
500,0	9,0	254,34	10	9,00E-01	1,800E-01	8,63E-07	0,09
250,0	4,0	228,84	10	4,00E-01	8,000E-02	4,26E-07	0,04
0,0	0,0	203,35	10	0,00E+00	0,000E+00	0,00E+00	0,00

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

TIPO DE MACIZO	U.L.	Presión (Kpa)
Muy impermeable	0 - 1	1000
Prácticamente impermeable	1 - 3	1000
Permeable	> 3	1000
	1,5 - 6	500
Muy permeable	> 3	1000
	> 6	500

Resultados

Volumen de agua inyectado a 1000 Kpa aprox. (10 bar) (l):	18,0
Duración del escalón, (min):	10
Longitud del tramo ensayado, (m):	5,00
Presión efectiva del escalón mayor, 1000 Kpa aprox. (Kpa):	1000,0

PERMEABILIDAD EN
UNIDADES LUGEON

0,07

U.L.

PERMEABILIDAD
(González de Vallejo)

6,5807E-07

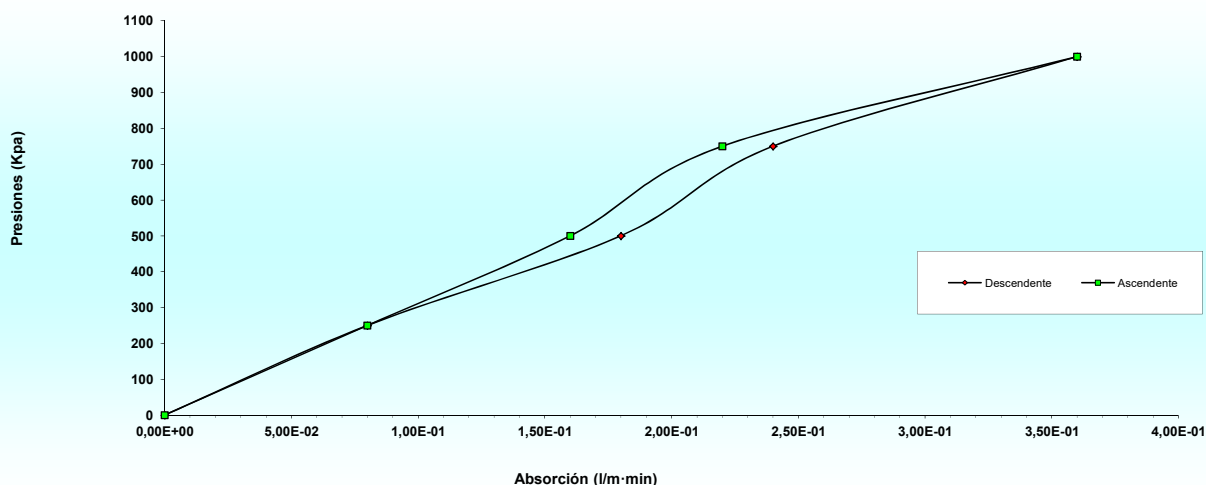
cm/s

PERMEABILIDAD MEDIA
(Custodio y Llamas)

9,1609E-07

K (m/s):

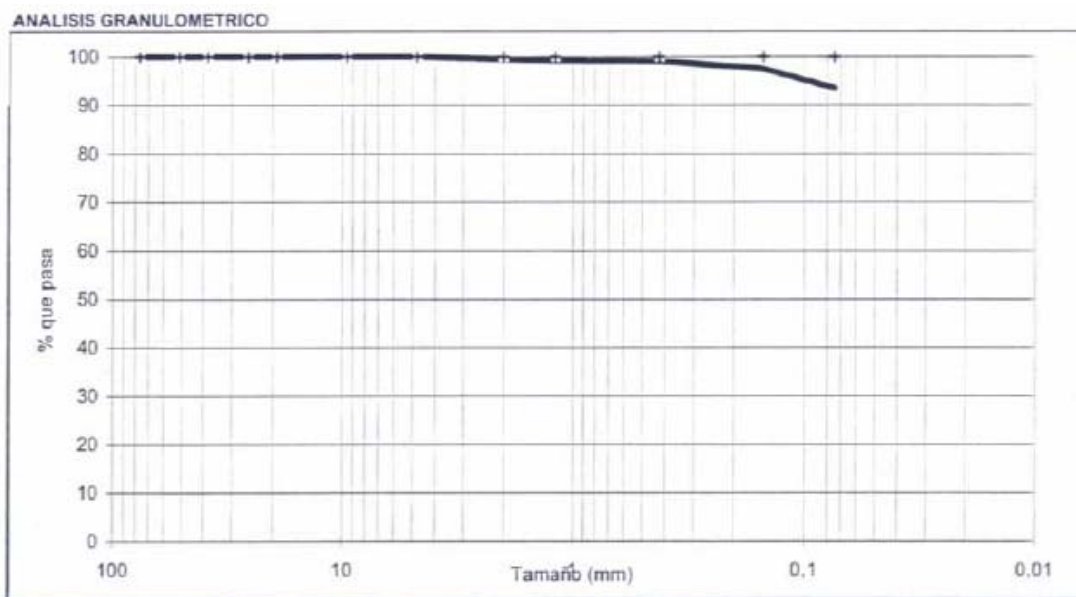
PERMEABILIDAD LUGEON





ANEJO IV

GRANULOMETRÍA Y LÍMITES DE ATTERBERG

**GRANULOMETRÍA Y LÍMITES DE ATTERBERG****SONDEO: SM - 0+058****MUESTRA: MI-1****PROFUNDIDAD: 3,00 – 3,60****DESCRIPCIÓN DEL SUELO**Arcilla gris perteneciente a la formación Q_{AB}.**CURVA GRANULOMÉTRICA**

Tamices	3"	2"	1.5"	1"	3/4"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº16	Nº40	Nº100	Nº200
Abertura	76,2	50,8	38,1	25,4	19,1	9,52	4,75	2	1,19	0,42	0,149	0,074
% Pasa							100	99,5	99,3	99,1	97,6	93,5

LÍMITES DE ATTERBERG

Límite Líquido (LL).....61,8

Límite Plástico (LP).....24,6

Índice de Plasticidad (IP).....37,2

CLASIFICACIÓN

U.S.C.S.....CH

H.R.B.....A-7-6

Índice de grupo.....20

R.T.T.....A3



ANEJO V

PETROLOGÍA Y MINERALOGÍA



ESTUDIO MINERALÓGICO Y PETROGRÁFICO		
SONDEO: SM - 0+770	MUESTRA: TP-10	PROFUNDIDAD: 41,10 - 41,40

CLASIFICACIÓN

Margas con bioclastos, pertenecientes a la formación T_{SA}.

ESTRUCTURA

Laminación sedimentaria grosera, definida por la intercalación de niveles fosilíferos con cuarzo en materiales margosos, a ella se suma una fábrica planar muy incipiente, que se hace más visible en los tramos ricos en micas, debido tanto a presiones litostáticas como a tectónicas.

TEXTURA

Deposicional:

- **Fracción fina:** micrítica (para los carbonatos), arcillas (para los minerales de la arcilla, filosilicatos).
- **Fracción gruesa:**
 - Fósiles, entre 0,08 y 0,24 mm (textura muy fina a fina)
 - Terrígenos, entre 0,08 y 0,17 mm (arena fina), hasta 0,50 m para las micas.

MINERALOGÍA

CALCITA – FILOSILICATOS (en fracción arcilla) – OPACOS – FELDESPATOS – FOSFATOS

COLORACIÓN

Gris verde claro (5Y 6/1) a gris marrón claro (5YR 6/1).

COMPOSICIÓN Y DESCRIPCIÓN

Fracción fina (68%): de naturaleza margosa, es el componente mayoritario, está compuesto por una fracción fina de naturaleza calcárea (micrítica), mezclada con una fracción arcillosa de naturaleza filosilicática (no puede diferenciarse con claridad dado el tamaño tan fino, aunque sí se pueden distinguir componentes ílíticos).



Terrígenos (16%):

- Los granos más abundantes son de cuarzo (8%) monocristalino, de extinción recta, y de forma muy ocasional policristalinos (incluyen texturas poligonales). Las secciones son subangulosas y existe corrosión por la matriz margosa, suelen formar niveles de concentración. Los tamaños oscilan entre 0,08 y 0,17 mm.
- Los laminares (8%) tipo moscovita y en menor proporción clorita, tienen una presentación más dispersa, pero también forman niveles de concentración junto a cuarzos y fósiles. Muestran orientación preferente (deposicional y por presiones litostáticas y/o tectónicas), los tamaños oscilan entre 0,07 y 0,85 mm.
- Feldespatos (< 1%), poco frecuentes y se observan con dificultad, corresponden principalmente a plagioclasas.
- Fragmentos de rocas metamórficas (< 1%), tipo esquisto, son poco frecuentes.

Fragmentos carbonáticos (1%): en forma de fragmentos de cristales de calcita (origen incierto) y de dolomita (procedentes de dolomías cristalinas).

Fósiles (10%): corresponden fundamentalmente a microforaminíferos tipo globigerínido en sus formas completas, menos frecuentes ostrácodos y puntualmente fragmentos de moluscos. Tamaños entre 0,08 y 0,24 mm. Las cavidades están rellenas por matriz margosa y/o material fosfático y/u opacos, y en ocasiones un cemento carbonático.

Fosfatos orgánicos (<1%): aparecen como fragmentos de piezas óseas, tamaños entre 0,03 y 0,17 mm.

Glauconita (< 1%): se muestra como característicos granos arriñonados, microestructura interna homogénea y en agregado micro a criptocristalino, se observan grietas de retracción. Los tamaños oscilan entre 0,08 y 0,17 mm.

Opacos (4%): se pueden encontrar como:

- Pequeñas formas irregulares (materia orgánica).
- Secciones redondeadas (piritas framboidales), forman niveles de concentración y suelen estar asociadas a materia carbonosa. Visibles en muestra de mano.
- Relleno de grietas por fino agregado de piritas.



- Rellenando de forma parcial o total las cavidades internas.



ESTUDIO MINERALÓGICO Y PETROGRÁFICO		
SONDEO: SM – 1+509	MUESTRA: TP-13	PROFUNDIDAD: 70,00 – 70,25

CLASIFICACIÓN

Marga aleurítico-arenosa, perteneciente a la formación T_{SCG}.

ESTRUCTURA

Laminar de origen deposicional, aunque la orientación preferente puede estar amplificada por presiones litostáticas y/o tectónicas.

TEXTURA

Deposicional:

- Micrítica
- Arcillosa
- Aleurítica
- Arenosa fina

MINERALOGÍA

FILOSILICATOS (fracción fina + micas y cloritas + glauconita) – CARBONATOS (fracción fina + fósiles) – CUARZO – FELDESPATOS – OPACOS (menas metálicas + materia orgánica) – FOSFATO ORGÁNICO.

COLORACIÓN

Gris verde claro (5Y 6/1)

COMPOSICIÓN Y DESCRIPCIÓN

La muestra está constituida por una fracción fina arcillosa (composicionalmente filosilicática) y micrítica (de naturaleza carbonática), en la que se van intercalando niveles con fracción arena (donde se concentran granos de cuarzo, laminares y fósiles).

Fracción fina: compuesta por material carbonático y filosilicático, en un agregado de partícula muy fino, cuya diferenciación a microscopio es muy difícil de estimar, aunque sí se puede apreciar un componente íltico con orientación preferente y masas marrones sin microestructuras.



Laminares (25%): predominan las láminas de moscovita sobre las de clorita, en muchos casos con orientación preferente, además pueden estar deformadas (carga diferencial y/o deformación tectónica), dimensiones entre 0,08 y 0,76 mm.

Cuarzo (15%): se encuentra generalmente como granos monocristalinos de extinción recta y menos frecuente ondulante, en tamaños que oscilan entre 0,05 y 0,31 mm. Los bordes pueden estar corroídos por los carbonatos.

Feldespatos (2%): no se aprecian con claridad, se han encontrado plagioclasas con maclado polisintético fino (áreas fuente cristalinas ricas en sílice), dimensiones entre 0,07 y 0,14 mm.

Fósiles (< 1%): corresponden principalmente a caparazones de microforaminíferos (tipo globigerínido y en menor medida rotálidos), seguidos en menor proporción por fragmentos de placas y espículas de equinodermos (en ocasiones deformados) y algunos ostrácodos. De forma ocasional se aprecian fragmentos briozoos. Las cavidades internas están ocupadas generalmente por cemento de calcita (por varios cristales o un único cristal), y en ocasiones por fracción fina margosa y de forma ocasional por opacos (menas metálicas y/o materia orgánica). Tamaños desde 0,07 mm hasta 1,02 mm.

Fragmentos de cristales (2%): de calcita y dolomita ferrosa, secciones irregulares entre 0,05 y 0,14 mm.

Granos fosfáticos (1%): orgánicos, probablemente piezas óseas de peces, secciones redondeadas y oblongas, entre 0,05 y 0,15 mm.

Grano de glauconita (< 1%): en granos redondeados, características secciones arriñonadas, internamente no se detectan microestructuras específicas.

Opacos (4%): tienen diversas formas de presentación:

- Como fragmentos elongados, muy probablemente correspondan a materia orgánica carbonosa.
- Relleno de pequeñas grietas, suelen corresponder a venas metálicas.
- Secciones redondeadas, se distribuyen por toda la muestra, en algunos casos forman agregados que dada su distribución podrían tener una base orgánica.



- Relleno parcial de fósiles, es poco frecuente, pueden corresponder a piritas framboidales y/o materia orgánica.

ESTUDIO MINERALÓGICO Y PETROGRÁFICO		
SONDEO: SM – 6+686	MUESTRA: TP-15	PROFUNDIDAD: 47,55 – 47,95

CLASIFICACIÓN

Anhidrita dolomítico/margosa deformada, perteneciente a la formación Y_{DA}.

ESTRUCTURA

Según áreas, microestructuras anisótropas donde los fragmentos arcillosos / margosos / dolomíticos forman hiladas y los cristales anhidríticos muestra una orientación muy grosera. En otras zonas la estructura es isótropa, de tipo brechoide o protoclastico.

TEXTURA

- Anhidrítica (diagenética), granular, equidimensional, bordes irregulares (alotriomorfos) puede tener orientación por deformación tectónica.
- Dolomita:
 - Cristales aislados alotriomorfos, a veces redondeados
 - Mosaicos xenotópicos
 - Micrítica
 - Relleno de venas
- Intraclastos / blastos.
- Yeso: fibroso (relleno de venas), porfiroblastos y agregado cristalino.

MINERALOGÍA

ANHIDRITA – DOLOMITA – FILOSILICATOS – YESO – OPACOS – CUARZO.

COLORACIÓN

Gris azulado claro (5B 7/1).

COMPOSICIÓN Y DESCRIPCIÓN

La anhidrita aparece con textura granular, en ocasiones orientada, cristales alotriomorfos y menor frecuentes subidiomorfos, de 0,17 a 0,34 mm. En zonas anexas al relleno en grietas del yeso fibroso, se observa la transformación por hidratación al yeso.



Los cristales y fragmentos de mosaicos dolomíticos pueden mostrar deformación, se encuentran mezclados con los cristales de anhidrita.

Los intraclastos de naturaleza arcillosa o margosa procederían de la fragmentación y deformación de niveles arcillosos y margosos, en algunas zonas forman hiladas o bandas brechoides. En otras zonas los intraclastos dolomíticos presentan una menor organización, que los fragmentos arcillosos, suelen estar inmersos en las bandas anhidríticas.

El yeso aparece como porfiroblastos que a su vez pueden incluir cristales de anhidrita (es el resultado de la rehidratación parcial). Una segunda forma de presentación es cuando se encuentra rellenando grietas, entonces la textura es fibrosa.

Los opacos aparecen preferentemente en los fragmentos dolomíticos, pero también se han observado en las bandas anhidríticas. Las secciones son subidiomorfos e idiomorfos, muy probablemente corresponden a menas metálicas de sulfuros, secciones entre 0,03 y 0,14 mm, y contenidos de hasta el 1 %, este tipo de material no se ha identificado en difracción (debido en parte a su bajo contenido).



ANEJO VI

ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE EN ROCAS



ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE EN ROCAS (UNE – 22.950-3)

SONDEO: SM – 0+523

MUESTRA: TP-32

PROFUNDIDAD: 95,40– 95,80

DESCRIPCIÓN DE LA LITOLOGÍA

Marga arenosa perteneciente a la unidad geológica T_{SA}.

DATOS DEL ENSAYO

Humedad (%): 6,16

Densidad natural (g/cm³): 2,333

Densidad seca (g/cm³): 2,198

Diámetro (cm): 8,05

Altura probeta (cm): 17,27

Área (cm²): 50,90

Volumen (cm³): 878,97

RESULTADOS

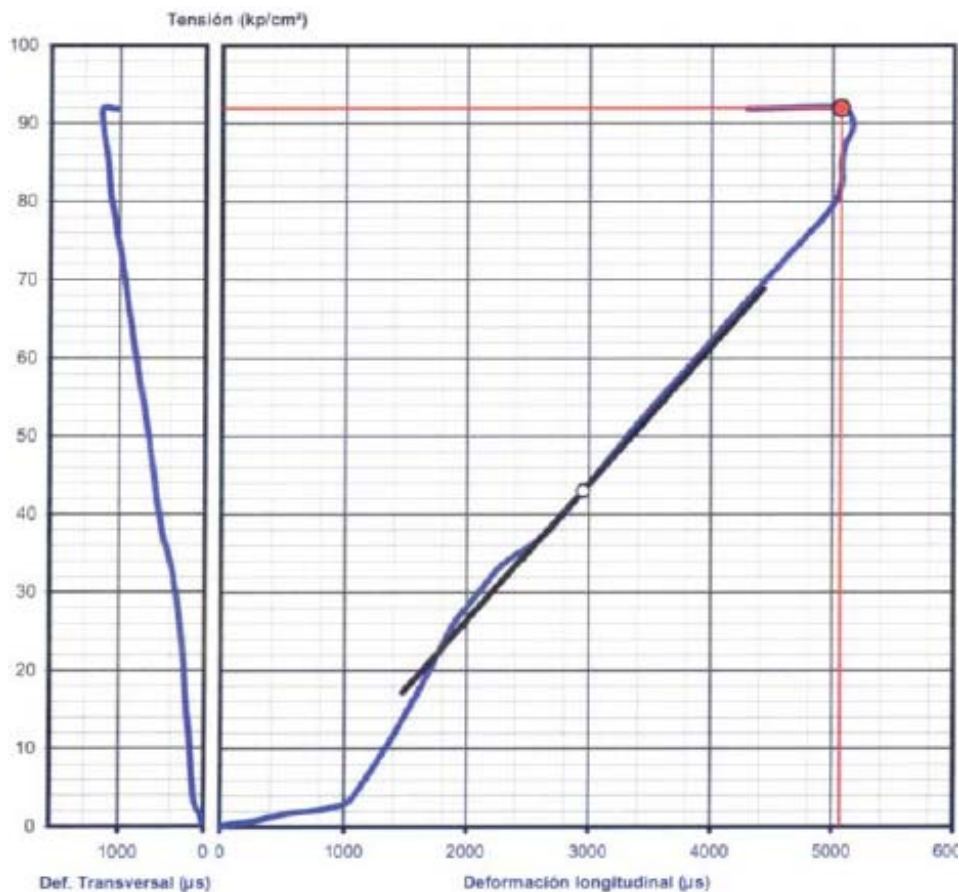
Resistencia máxima (kp/cm²): 92

Deformación (μs): 5.050

Módulo de Young (kp/cm²): 17.290

Coefficiente de Poisson: 0,29

CURVA COMPLETA DEL ENSAYO





ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE EN ROCAS (UNE – 22.950-3)

SONDEO: SM – 0+770

MUESTRA: TP-26

PROFUNDIDAD: 132,00– 132,37

DESCRIPCIÓN DE LA LITOLOGÍA

Conglomerado poligénico y polimíctico perteneciente a la unidad geológica T_{SB}.

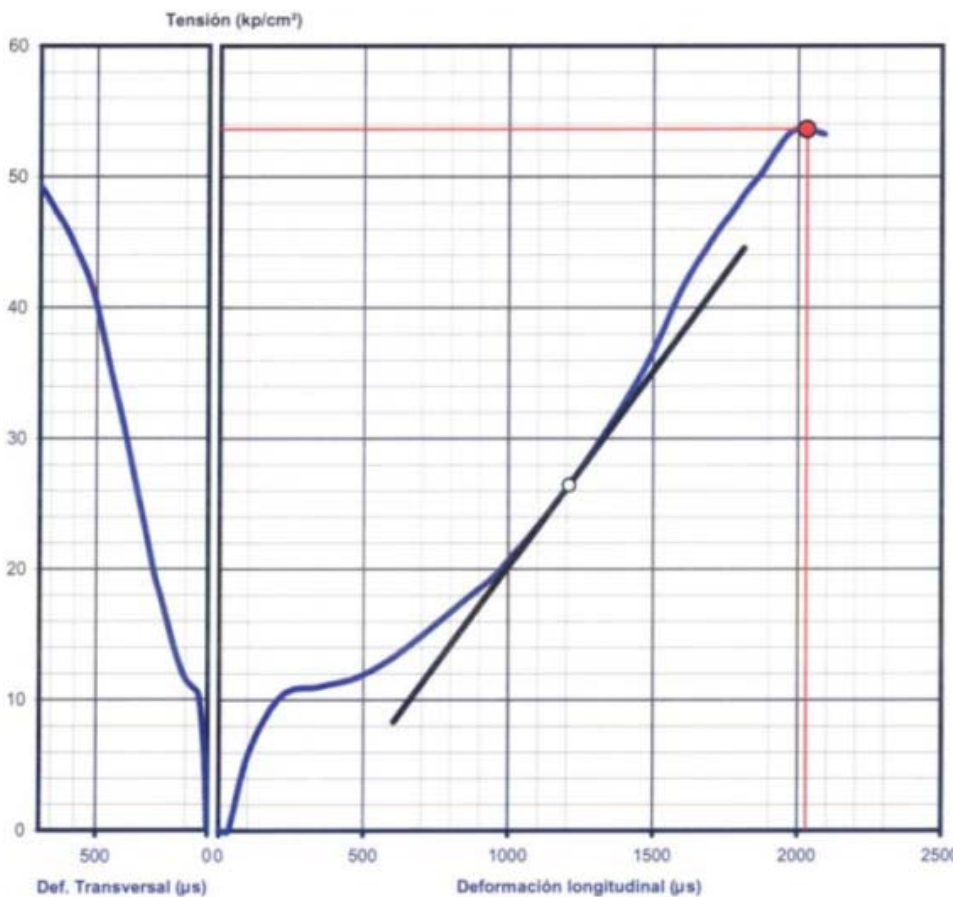
DATOS DEL ENSAYO

Humedad (%):	-
Densidad natural (g/cm ³):	2,416
Densidad seca (g/cm ³):	-
Diámetro (cm):	6,35
Altura probeta (cm):	13,38
Área (cm ²):	31,67
Volumen (cm ³):	423,73

RESULTADOS

Resistencia máxima (kp/cm ²):	54
Deformación (μs):	2.030
Módulo de Young (kp/cm²):	30.000
Coefficiente de Poisson:	0,30

CURVA COMPLETA DEL ENSAYO





ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE EN ROCAS (UNE – 22.950-3)

SONDEO: SM – 4+961

MUESTRA: TP-31

PROFUNDIDAD: 100,10– 100,50

DESCRIPCIÓN DE LA LITOLOGÍA

Arenisca con intercalación de microconglomerados perteneciente a unidad geológica T_{SCG}.

DATOS DEL ENSAYO

Humedad (%): 2,12

Densidad natural (g/cm³): 2,489

Densidad seca (g/cm³): 2,438

Diámetro (cm): 6,33

Altura probeta (cm): 13,30

Área (cm²): 31,47

Volumen (cm³): 418,55

RESULTADOS

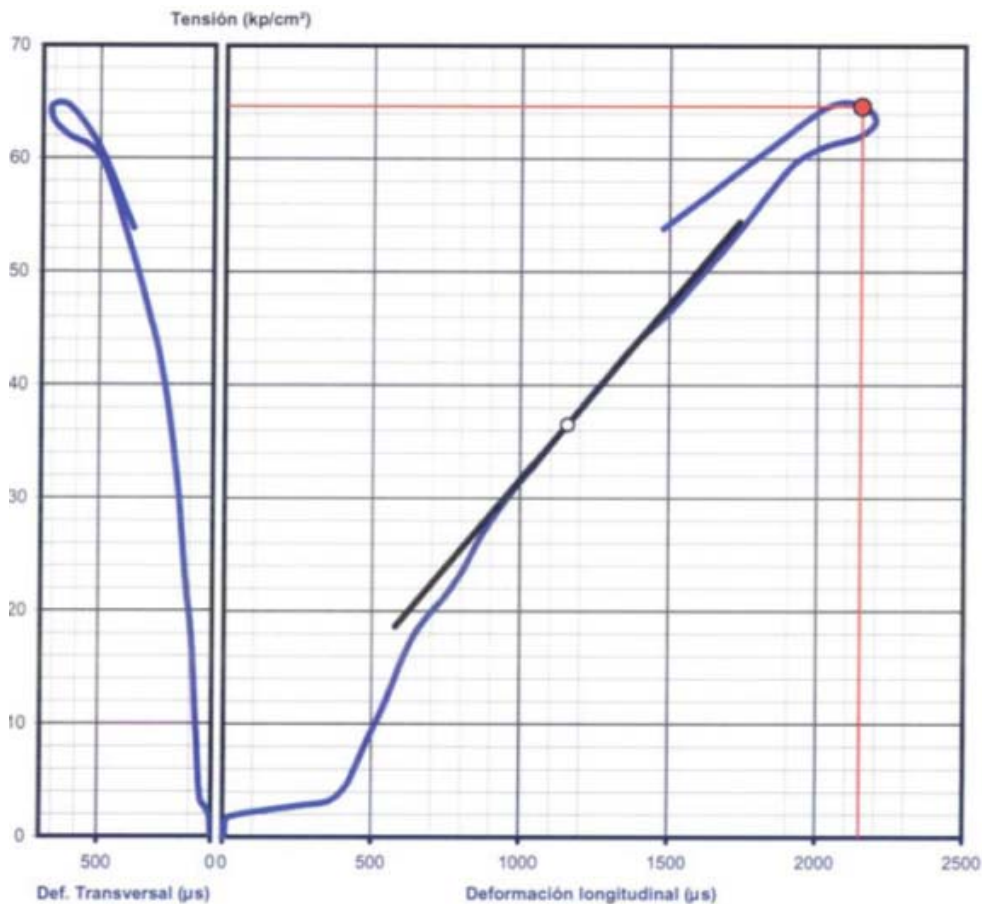
Resistencia máxima (kp/cm²): 65

Deformación (μs): 2.150

Módulo de Young (kp/cm²): 31.480

Coefficiente de Poisson: 0,23

CURVA COMPLETA DEL ENSAYO





ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE EN ROCAS (UNE – 22.950-3)

SONDEO: SM – 0+770

MUESTRA: TP-28

PROFUNDIDAD: 140,70– 141,00

DESCRIPCIÓN DE LA LITOLOGÍA

Areniscas margosas y margas arenosas pertenecientes a unidad geológica T_{IA2}.

DATOS DEL ENSAYO

Humedad (%): -

Densidad natural (g/cm³): 2,567

Densidad seca (g/cm³): -

Diámetro (cm): 6,33

Altura probeta (cm): 12,02

Área (cm²): 31,47

Volumen (cm³): 378,27

RESULTADOS

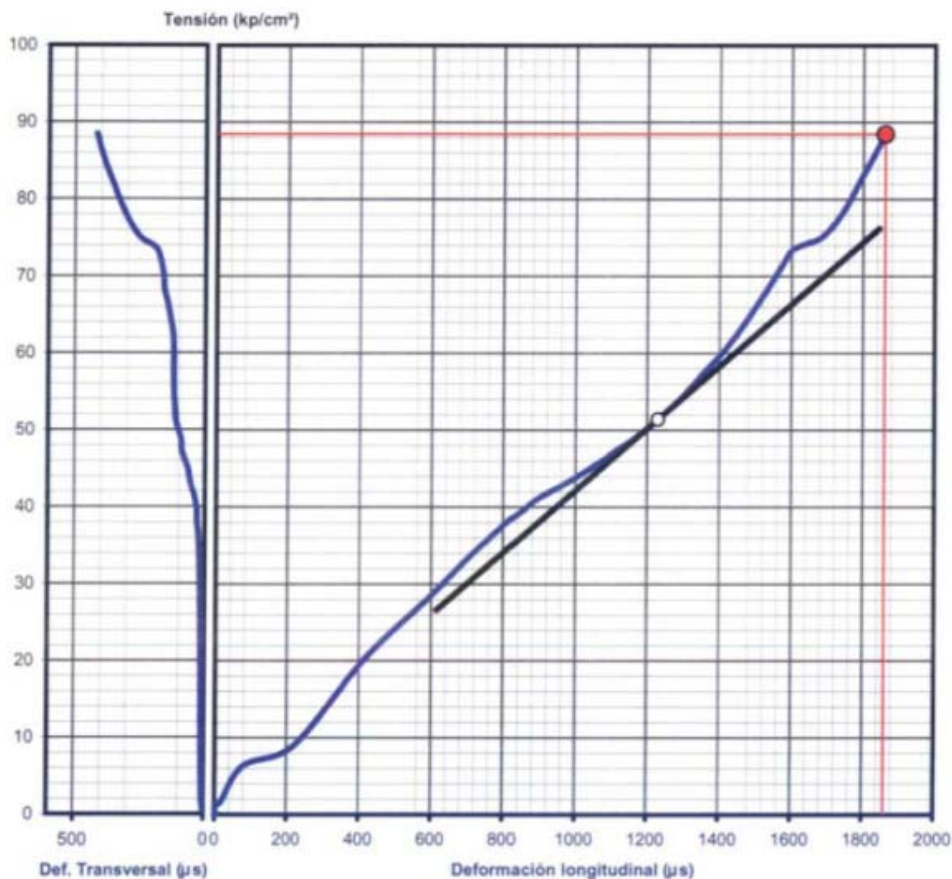
Resistencia máxima (kp/cm²): 88

Deformación (μs): 1.860

Módulo de Young (kp/cm²): 45.130

Coefficiente de Poisson: 0,24

CURVA COMPLETA DEL ENSAYO





ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE EN ROCAS (UNE – 22.950-3)

SONDEO: SM – 6+686

MUESTRA: TP-34

PROFUNDIDAD: 110,15– 110,60

DESCRIPCIÓN DE LA LITOLOGÍA

Yesos laminados pertenecientes a unidad geológica Y_{DA}.

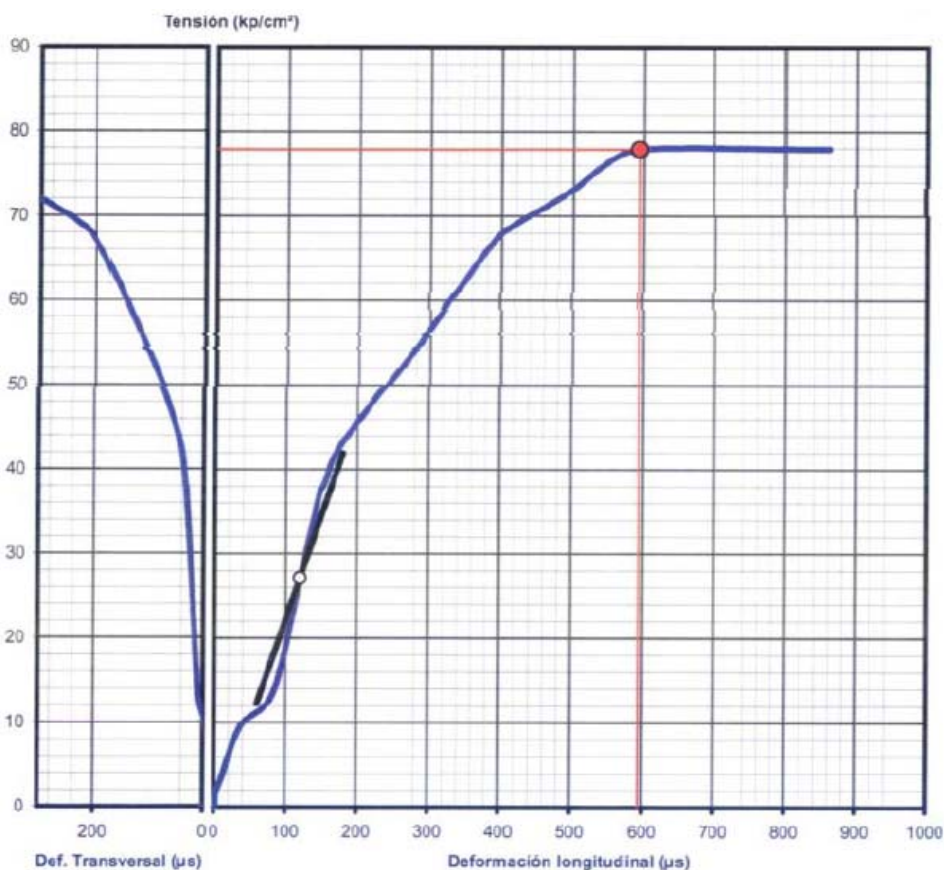
DATOS DEL ENSAYO

Humedad (%):	-
Densidad natural (g/cm ³):	2,496
Densidad seca (g/cm ³):	-
Diámetro (cm):	6,31
Altura probeta (cm):	13,23
Área (cm ²):	31,27
Volumen (cm ³):	413,72

RESULTADOS

Resistencia máxima (kp/cm ²):	78
Deformación (μs):	595
Módulo de Young (kp/cm²):	271.370
Coefficiente de Poisson:	0,31

CURVA COMPLETA DEL ENSAYO





ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE EN ROCAS (UNE – 22.950-3)

SONDEO: SM – 6+933

MUESTRA: TP-7

PROFUNDIDAD: 39,15– 39,45

DESCRIPCIÓN DE LA LITOLOGÍA

Esquistos negros con cuarcitas pertenecientes a unidad geológica E_{NF}.

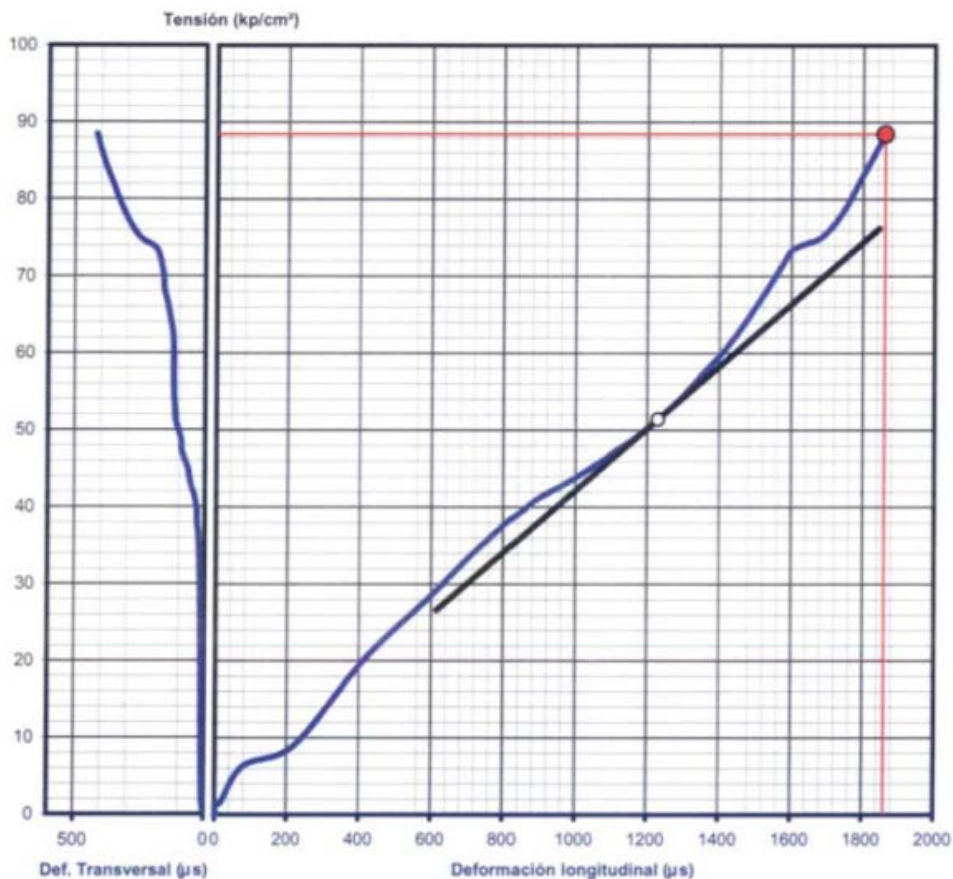
DATOS DEL ENSAYO

Humedad (%):	1,47
Densidad natural (g/cm ³):	2,718
Densidad seca (g/cm ³):	2,678
Diámetro (cm):	6,33
Altura probeta (cm):	13,84
Área (cm ²):	31,47
Volumen (cm ³):	435,55

RESULTADOS

Resistencia máxima (kp/cm ²):	45
Deformación (μs):	1.250
Módulo de Young (kp/cm²):	23.330
Coefficiente de Poisson:	0,30

CURVA COMPLETA DEL ENSAYO





ANEJO VII

ENSAYO DE COMPRESIÓN TRIAXIAL



PROYECTO: TÚNEL DE SORBAS



ENSAYO REALIZADO EN
LA MUESTRA

LOCALIDAD (Provincia): SORBAS (Almería)

LOCALIZACIÓN DEL SONDEO: PK 5+207

COORDENADAS (X,Y,Z): (586051 ; 4102154; 347,76)

TP-15 (53,40 - 53,75)
SM - 5+207

ENSAYO TRIAXIAL EN ROCAS

LITOLOGÍA: Areniscas margosas y margas arenosas. Perteneciente a la formación T_{1a2}

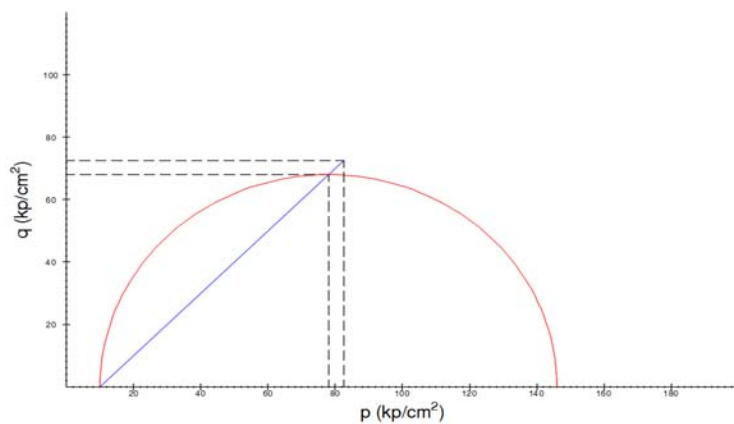
DATOS DEL ENSAYO

Humedad (%)	-
Densidad natural (g/cm ³)	2,332
Densidad seca (g/cm ³)	-
Diámetro (cm)	6,310
Altura probeta (cm)	13,700
Área (cm ²)	31,270
Volumen (cm ³)	428,420
Presión confinamiento (kp/cm ²)	10,000

TENSIÓN PICO 145,00 kp/cm²

TENSIÓN ROTURA 136,00 kp/cm²

DEFORMACIÓN 8.100,00 μs



PLANO DE LAMBE – CONDICIÓN DE ROTURA

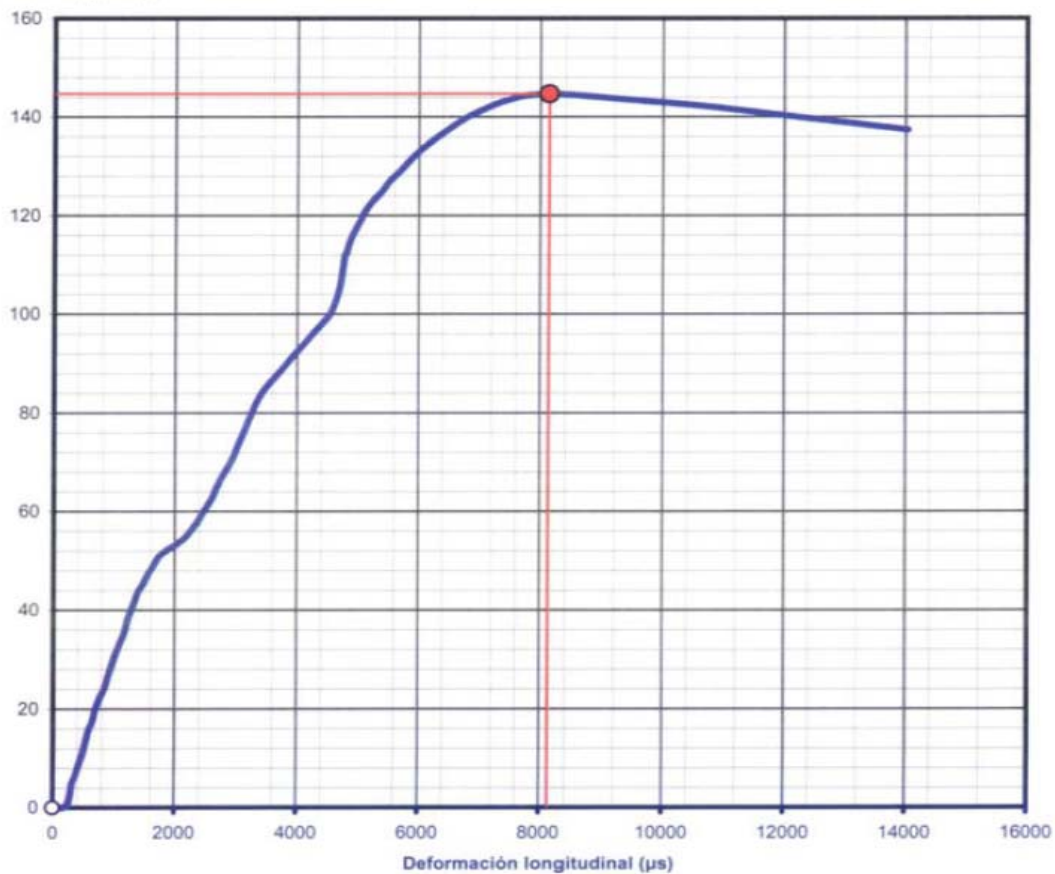
$$p = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} = p_c + \frac{\Delta\sigma_z}{2}$$

$$q = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{\Delta\sigma_z}{2}$$

PLANO DE LAMBE

	$\Delta\sigma_z$ pico	$\Delta\sigma_z$ rotura
p (kp/cm ²)	82,5	78
q (kp/cm ²)	72,5	68

Tensión (kp/cm²)





PROYECTO: TÚNEL DE SORBAS



ENSAYO REALIZADO EN
LA MUESTRA

LOCALIDAD (Provincia): SORBAS (Almería)

LOCALIZACIÓN DEL SONDEO: PK 3+235

COORDENADAS (X,Y,Z): (56203,89 ; 4104114; 475,43)

TP-53 (200,95 - 201,30)
SM - 3+235

ENSAYO TRIAXIAL EN ROCAS

LITOLOGÍA: Marga arenosa. Perteneciente a la formación T_{SA}

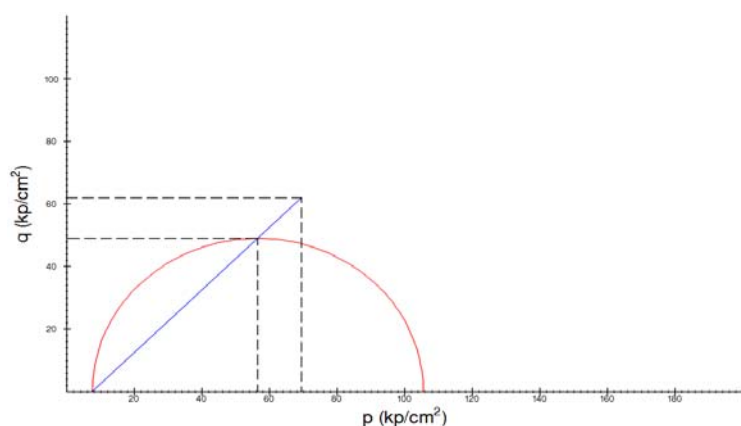
DATOS DEL ENSAYO

Humedad (%)	-
Densidad natural (g/cm ³)	2,165
Densidad seca (g/cm ³)	-
Diámetro (cm)	6,280
Altura probeta (cm)	13,430
Área (cm ²)	30,970
Volumen (cm ³)	415,990
Presión confinamiento (kp/cm ²)	7,500

TENSIÓN PICO 124,00 kp/cm²

TENSIÓN ROTURA 98,00 kp/cm²

DEFORMACIÓN 18.900,00 μs



PLANO DE LAMBE – CONDICIÓN DE ROTURA

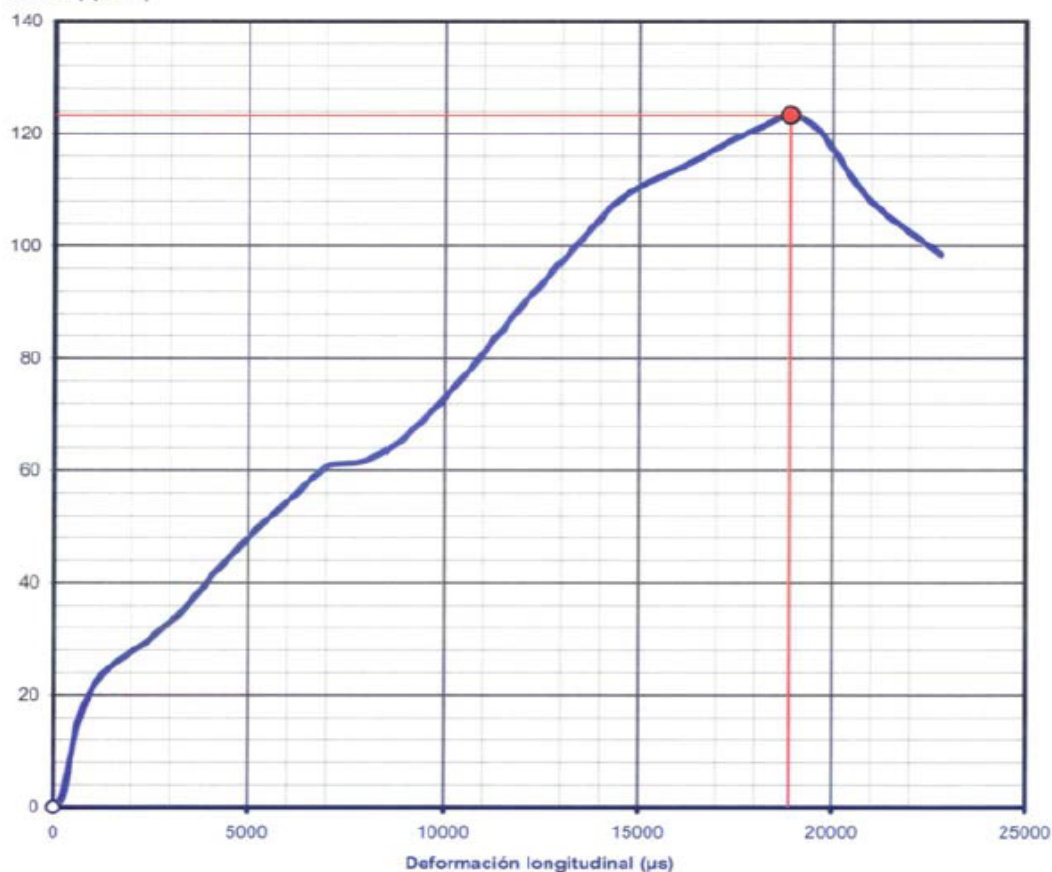
$$p = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} = p_c + \frac{\Delta\sigma_z}{2}$$

$$q = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{\Delta\sigma_z}{2}$$

PLANO DE LAMBE

	$\Delta\sigma_z$ pico	$\Delta\sigma_z$ rotura
p (kp/cm ²)	69,5	56,5
q (kp/cm ²)	62	49

Tensión (kp/cm²)





PROYECTO: TÚNEL DE SORBAS



ENSAYO REALIZADO EN
LA MUESTRA

LOCALIDAD (Provincia): SORBAS (Almería)

LOCALIZACIÓN DEL SONDEO: PK 1+756

COORDENADAS (X,Y,Z): (586443 ; 4105573; 276,82)

TP-8 (33,85 - 34,15)
SM - 1+756

ENSAYO TRIAXIAL EN ROCAS

LITOLOGÍA: Arenisca con intercalación de microconglomerados. Perteneciente a la formación T_{SCG}

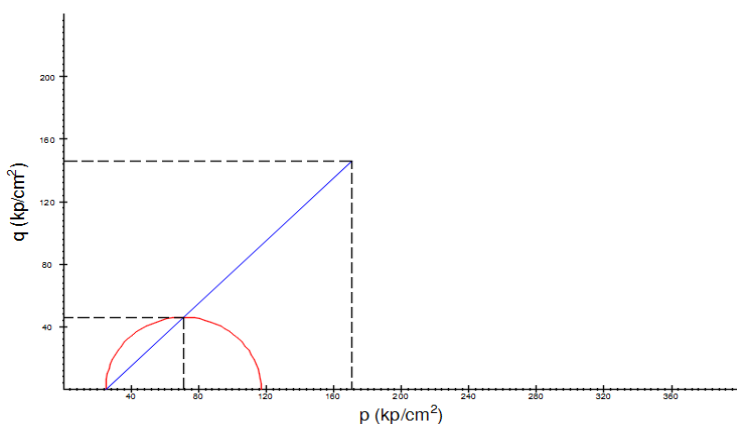
DATOS DEL ENSAYO

Humedad (%)	-
Densidad natural (g/cm ³)	2,234
Densidad seca (g/cm ³)	-
Diámetro (cm)	6,340
Altura probeta (cm)	11,190
Área (cm ²)	31,570
Volumen (cm ³)	353,260
Presión confinamiento (kp/cm ²)	25,000

TENSIÓN PICO 292,00 kp/cm²

TENSIÓN ROTURA 92,00 kp/cm²

DEFORMACIÓN 19.400,00 μs



PLANO DE LAMBE – CONDICIÓN DE ROTURA

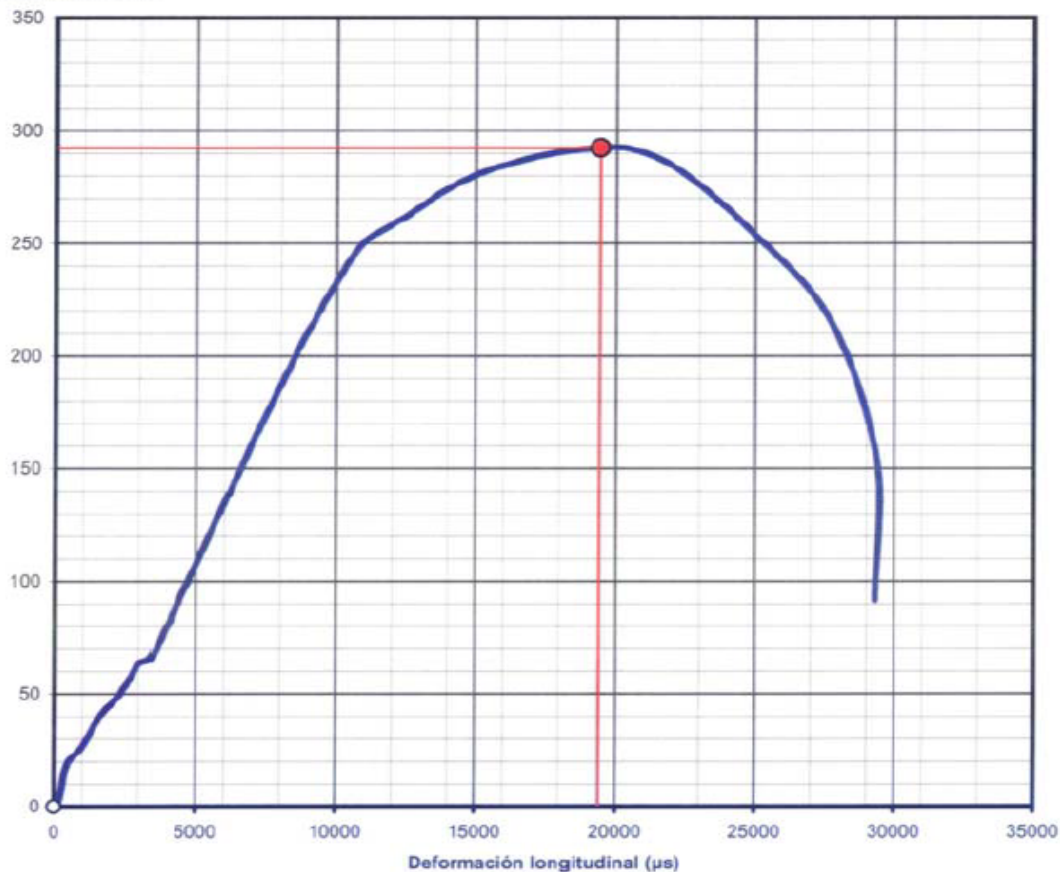
$$p = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} = p_c + \frac{\Delta\sigma_z}{2}$$

$$q = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{\Delta\sigma_z}{2}$$

PLANO DE LAMBE

	$\Delta\sigma_z$ pico	$\Delta\sigma_z$ rotura
p (kp/cm ²)	171	71
q (kp/cm ²)	146	46

Tensión (kp/cm²)





PROYECTO: TÚNEL DE SORBAS



ENSAYO REALIZADO EN
LA MUESTRA

LOCALIDAD (Provincia): SORBAS (Almería)

LOCALIZACIÓN DEL SONDEO: PK 6+331

COORDENADAS (X,Y,Z): (586228 ; 4101045; 376,070)

TP-24 (100,50 - 100,85)
SM - 6+331

ENSAYO TRIAXIAL EN ROCAS

LITOLOGÍA: Yesos y/o anhidritas grises, laminados, con interestratos de lutita negra. Perteneciente a la formación Y_{DM}

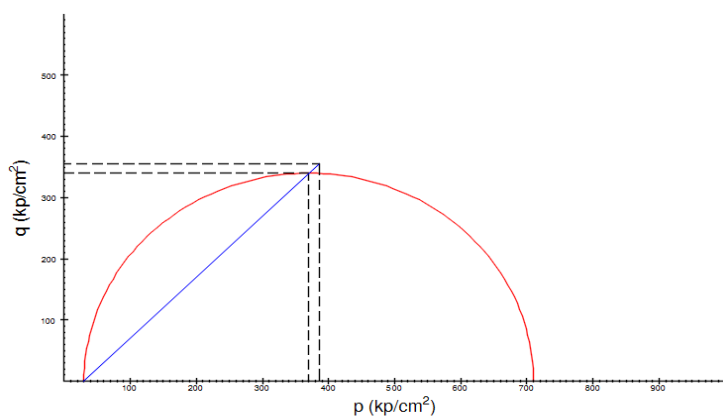
DATOS DEL ENSAYO

Humedad (%)	-
Densidad natural (g/cm ³)	2,93
Densidad seca (g/cm ³)	-
Diámetro (cm)	6,30
Altura probeta (cm)	13,39
Área (cm ²)	31,17
Volumen (cm ³)	417,40
Presión confinamiento (kp/cm ²)	30,00

TENSIÓN PICO 712,00 kp/cm²

TENSIÓN ROTURA 680,00 kp/cm²

DEFORMACIÓN 6.113,00 μs



PLANO DE LAMBE – CONDICIÓN DE ROTURA

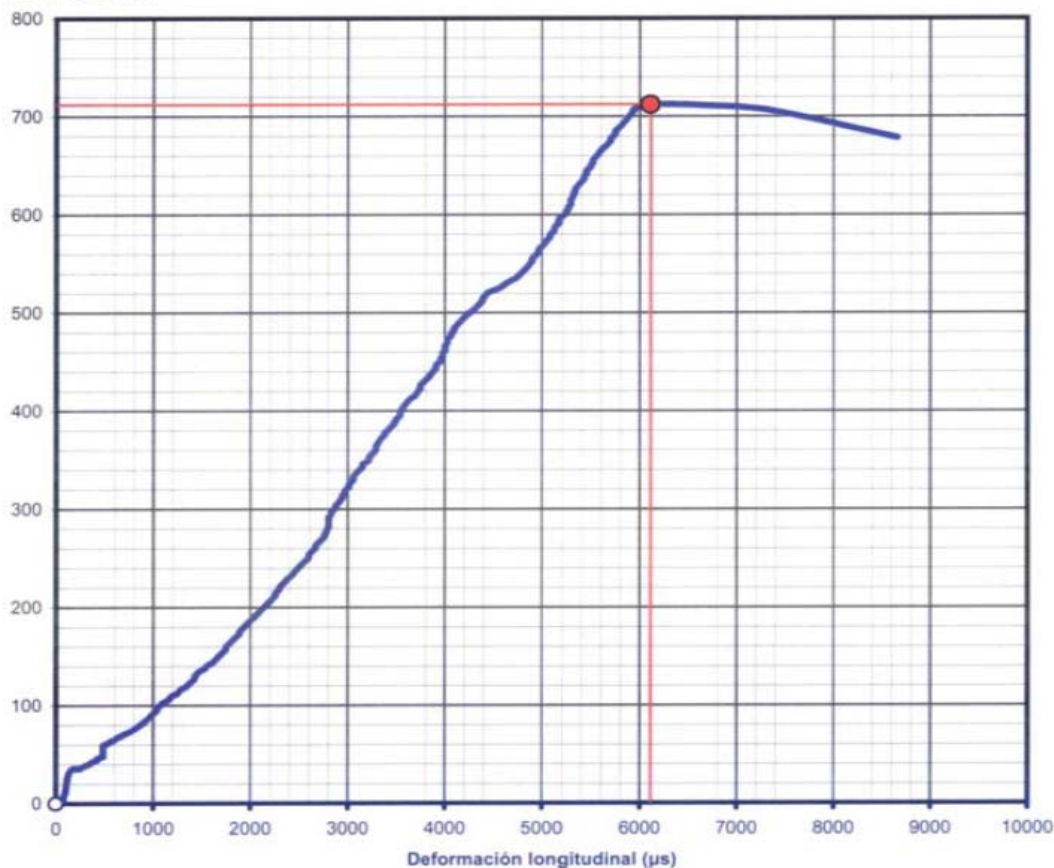
$$p = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} = p_c + \frac{\Delta\sigma_z}{2}$$

$$q = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{\Delta\sigma_z}{2}$$

PLANO DE LAMBE

	$\Delta\sigma_z$ pico	$\Delta\sigma_z$ rotura
p (kp/cm ²)	386	370
q (kp/cm ²)	356	340

Tensión (kp/cm²)





PROYECTO: TÚNEL DE SORBAS



ENSAYO REALIZADO EN
LA MUESTRA

LOCALIDAD (Provincia): SORBAS (Almería)

LOCALIZACIÓN DEL SONDEO: PK 6+331

COORDENADAS (X,Y,Z): (586228 ; 4101045; 376,070)

TP-27 (110,15 - 110,60)
SM - 6+331

ENSAYO TRIAXIAL EN ROCAS

LITOLOGÍA: Yesos y/o anhidritas grises, laminados, con interestratos de lutita negra. Perteneciente a la formación Y_{DM}

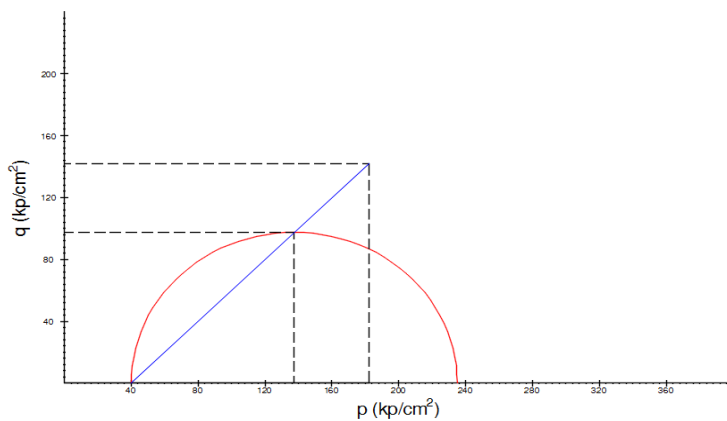
DATOS DEL ENSAYO

Humedad (%)	-
Densidad natural (g/cm ³)	2,536
Densidad seca (g/cm ³)	-
Diámetro (cm)	6,300
Altura probeta (cm)	13,270
Área (cm ²)	31,170
Volumen (cm ³)	413,660
Presión confinamiento (kp/cm ²)	40,000

TENSIÓN PICO 284,00 kp/cm²

TENSIÓN ROTURA 195,00 kp/cm²

DEFORMACIÓN 6.608,00 μs



PLANO DE LAMBE – CONDICIÓN DE ROTURA

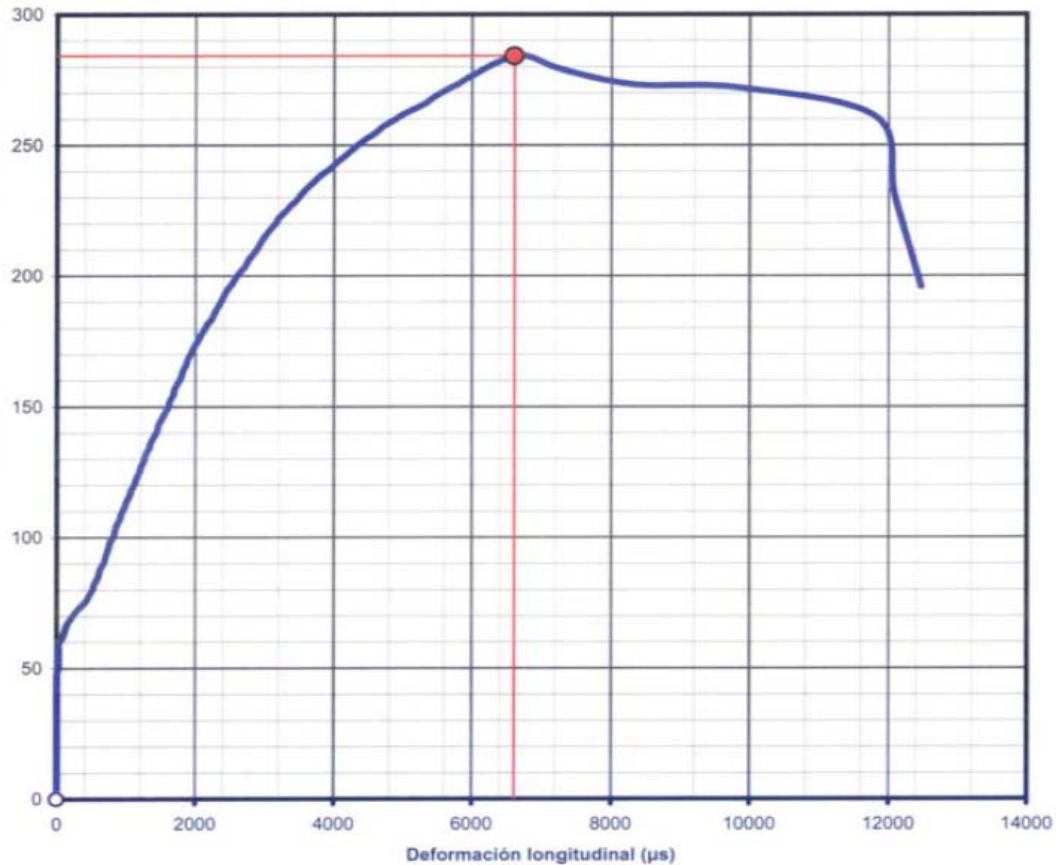
$$p = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} = p_c + \frac{\Delta\sigma_z}{2}$$

$$q = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{\Delta\sigma_z}{2}$$

PLANO DE LAMBE

	$\Delta\sigma_z$ pico	$\Delta\sigma_z$ rotura
p (kp/cm ²)	182	137,5
q (kp/cm ²)	142	97,5

Tensión (kp/cm²)





ANEJO VIII

ÍNDICE DE SCHIMAZEK



PROYECTO: TÚNEL DE SORBAS



ENSAYO REALIZADO EN
LA MUESTRA

LOCALIDAD (Provincia): SORBAS (Almería)

LOCALIZACIÓN DEL SONDEO: PK 6+686

COORDENADAS (X,Y,Z): (586302 ; 4100698; 351,672)

TP-30 (96,90 - 97,35)
SM - 6+686

ÍNDICE DE SCHIMAZEK

MINERALES Y LITOLOGÍA

MINERAL	M (%)	FACTOR MINERAL F_M	$M \cdot F_M$
Cuarzo	0,0	100,0	0,0
Feldespatos	0,0	35,0	0,0
Filosilicatos	0,0	4,0	0,0
Arcillas	6,0	4,0	24,0
Moscovita	0,0	3,6	0,0
Carbonatos	65,0	4,9	318,5
Yeso	19,0	0,5	0,0
Óxidos de Hierro	4,0	50,0	200,0
Materia orgánica	6,0	27,0	162,0
Olivino	0,0	72,0	0,0
TOTAL $\sum M \cdot F_M =$			704,5

Clasificación

Caliza con Yesos y Dolomita

$$Q = \frac{\sum M \cdot F_M}{100} (\%)$$

Q

7,05%

%

$$\text{ÍNDICE DE SCHIMAZEK: } F = \frac{Q \cdot d \cdot \delta_T}{10} (kN/m)$$

DIÁMETRO MEDIO DE DOLOMITA

MEDIDA Nº	TAMAÑO μ	MEDIDA Nº	TAMAÑO μ	MEDIDA Nº	TAMAÑO μ	MEDIDA Nº	TAMAÑO μ	MEDIDA Nº	TAMAÑO μ
1	375	11	200	21	750	31	500	41	375
2	250	12	175	22	700	32	350	42	375
3	300	13	225	23	800	33	425	43	250
4	375	14	250	24	750	34	475	44	375
5	1000	15	375	25	625	35	500	45	250
6	500	16	300	26	500	36	350	46	500
7	625	17	500	27	375	37	250	47	375
8	375	18	575	28	500	38	625	48	625
9	450	19	475	29	350	39	675	49	625
10	300	20	300	30	250	40	375	50	300

TAMAÑO MEDIO DE GRANO (d)

442,00

μ

0,04420

cm

ÍNDICE DE SCHIMAZEK

0,010

kN/m

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (δ_T)

32,40

kg/cm²

3,18

Mpa



PROYECTO: TÚNEL DE SORBAS



ENSAYO REALIZADO EN
LA MUESTRA

LOCALIDAD (Provincia): SORBAS (Almería)

LOCALIZACIÓN DEL SONDEO: PK 6+686

COORDENADAS (X,Y,Z): (586302 ; 4100698; 351,672)

TP-32 (102,75 - 103,00)
SM - 6+686

ÍNDICE DE SCHIMAZEK

MINERALES Y LITOLOGÍA

MINERAL	M (%)	FACTOR MINERAL F_M	$M \cdot F_M$
Cuarzo	0,0	100,0	0,0
Feldespatos	0,0	35,0	0,0
Filosilicatos	0,0	4,0	0,0
Arcillas	5,0	4,0	20,0
Moscovita	0,0	3,6	0,0
Carbonatos	0,0	4,9	0,0
Yeso	93,0	0,5	0,0
Óxidos de Hierro	2,0	50,0	100,0
Materia orgánica	0,0	27,0	0,0
Olivino	0,0	72,0	0,0
TOTAL $\sum M \cdot F_M =$			120,0

Clasificación

Yeso con arcillas

$$Q = \frac{\sum M \cdot F_M}{100} (\%)$$

Q

1,20%

%

$$\text{ÍNDICE DE SCHIMAZEK: } F = \frac{Q \cdot d \cdot \delta_T}{10} (kN/m)$$

DIÁMETRO MEDIO DE DOLOMITA

MEDIDA N°	TAMAÑO μ	MEDIDA N°	TAMAÑO μ	MEDIDA N°	TAMAÑO μ	MEDIDA N°	TAMAÑO μ	MEDIDA N°	TAMAÑO μ
1	300	11	200	21	100	31	120	41	50
2	250	12	250	22	100	32	50	42	60
3	230	13	150	23	150	33	110	43	60
4	50	14	30	24	120	34	80	44	60
5	70	15	40	25	200	35	100	45	70
6	100	16	50	26	120	36	70	46	40
7	100	17	320	27	140	37	80	47	50
8	60	18	60	28	50	38	50	48	140
9	50	19	70	29	100	39	70	49	150
10	80	20	80	30	100	40	120	50	230

TAMAÑO MEDIO DE GRANO (d)

109,60

μ

0,01096

cm

ÍNDICE DE SCHIMAZEK

0,006

kN/m

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (δ_T)

44,75

kg/cm²

4,39

Mpa



ANEJO IX

RELACIÓN ENTRE LOS MODELOS DE HOEK- BROWN Y MOHR-COULOMB

PARÁMETROS RESISTENTES DEL MACIZO ROCOSO (HOEK 2002)

PROYECTO: Túnel de Sorbas

TERRENO: T_{SA}, arenisca margosa y marga arcillosa

DATOS DE ENTRADA

$\sigma_{ci} := 9.33 \text{ MPa}$	Resistencia a compresión simple de la muestra inalterada.
$\text{GSI} := 60$	Geological Strength Index.
$m_i := 11.42$	Constante de Hoek-Brown para roca intacta.
$z := 98 \text{ m}$	Profundidad del túnel.
$\gamma := 26.65 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$	Peso específico.
$D := 0$	Factor de alteración.

PARÁMETROS DEL MACIZO ROCOSO

En primer lugar se determina el valor de las constantes del material:

$$a := \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{6} \cdot \left(e^{\frac{-\text{GSI}}{15}} - e^{\frac{-20}{3}} \right) \right] = 0.5028$$

$$s := e^{\frac{\text{GSI}-100}{9-3 \cdot D}} = 0.0117$$

$$m_b := m_i \cdot e^{\frac{\text{GSI}-100}{28-14 \cdot D}} = 2.7368$$

A continuación, se determina el valor de la resistencia del macizo rocoso global:

$$\sigma_{cm} := \sigma_{ci} \cdot \frac{\left[m_b + 4 \cdot s - a \cdot (m_b - 8 \cdot s) \right] \cdot \left(\frac{m_b}{4} + s \right)^{a-1}}{2 \cdot (1 + a) \cdot (2 + a)} = 2.161 \cdot \text{MPa}$$

Así, es posible determinar el valor del límite superior del esfuerzo de confinamiento sobre el que se ha considerado la relación de los criterios de Mohr - Coulomb y Hoek - Brown. Dicho valor se obtiene a partir de la expresión ajustada para túneles:

$$\frac{\sigma_{3\max}}{\sigma_{cm}} = 0.47 \cdot \left(\frac{\sigma_{cm}}{\gamma \cdot z} \right)^{-0.94}$$

Por lo tanto,

$$\sigma_{3\max} := 0.47 \cdot \left(\frac{\sigma_{cm}}{\gamma \cdot z} \right)^{-0.94} \cdot \sigma_{cm} = 1.2136 \cdot \text{MPa}$$

Finalmente, se obtiene el valor del parámetro σ_{3n} :

$$\sigma_{3n} := \frac{\sigma_{3\max}}{\sigma_{ci}} = 0.1301$$

VALORES ADOPTADOS (AJUSTE DE HOEK)

El valor de la resistencia cohesiva del macizo rocoso en base al ajuste de Hoek es el siguiente:

$$c_{ef} := \frac{\sigma_{ci} \cdot [(1 + 2 \cdot a) \cdot s + (1 - a) \cdot m_b \cdot \sigma_{3n}] \cdot (s + m_b \cdot \sigma_{3n})^{a-1}}{(1 + a) \cdot (2 + a) \cdot \sqrt{1 + \frac{6 \cdot a \cdot m_b \cdot (s + m_b \cdot \sigma_{3n})^{a-1}}{(1 + a) \cdot (2 + a)}}}$$

$c_{ef} = 0.381 \cdot \text{MPa}$

El valor del ángulo de fricción en base al ajuste de Hoek es el siguiente:

$$\phi := \text{asin} \left[\frac{6 \cdot a \cdot m_b \cdot (s + m_b \cdot \sigma_{3n})^{a-1}}{2 \cdot (1 + a) \cdot (2 + a) + 6 \cdot a \cdot m_b \cdot (s + m_b \cdot \sigma_{3n})^{a-1}} \right]$$

$\phi = 40.1^\circ$

REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL AJUSTE

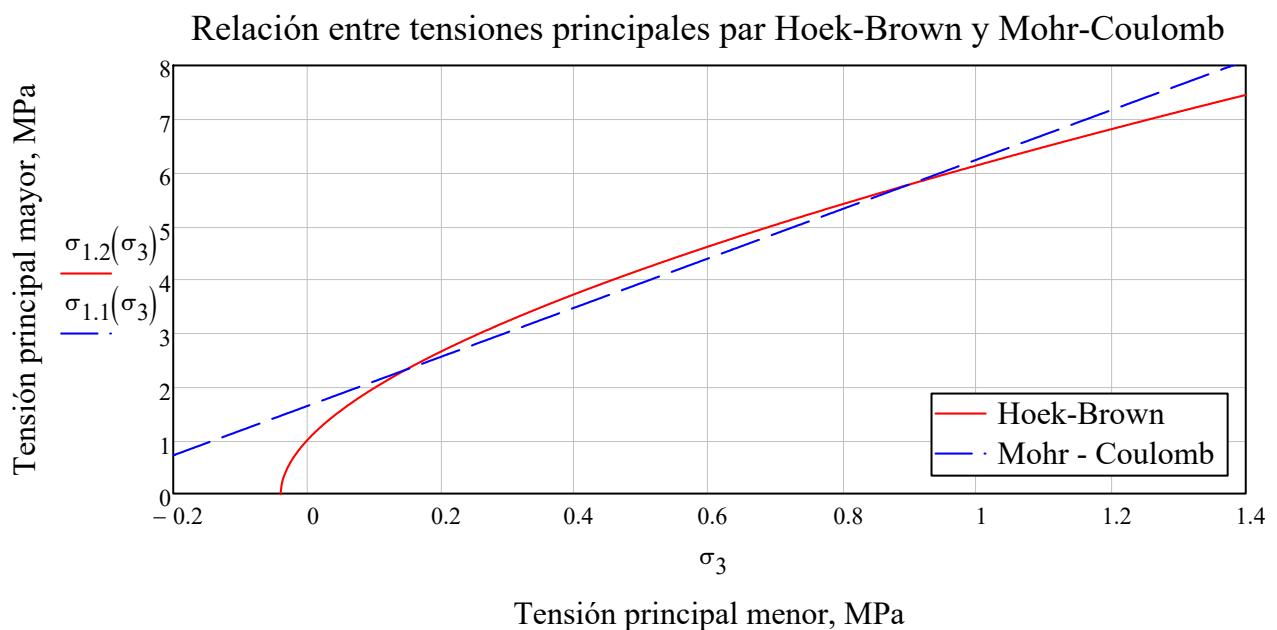
Finalmente, una vez obtenidos todos los parámetros de definición de los modelos, es posible representar gráficamente el ajuste realizado. Para ello, es necesario definir las funciones:

$$\sigma_{1.1}(\sigma_3) = \frac{2 \cdot c \cdot \cos(\phi)}{1 - \sin(\phi)} + \frac{1 + \sin(\phi)}{1 - \sin(\phi)} \cdot \sigma_3$$

Criterio de Mohr - Coulomb.

$$\sigma_{1.2}(\sigma_3) = \sigma_3 + \sigma_{ci} \cdot \left(m_b \cdot \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

Criterio generalizado de Hoek - Brown.



PARÁMETROS RESISTENTES DEL MACIZO ROCOSO (HOEK 2002)

PROYECTO: Túnel de Sorbas

TERRENO: T_{SCG}, conglomerados y areniscas groseras

DATOS DE ENTRADA

$\sigma_{ci} := 9.58 \text{ MPa}$	Resistencia a compresión simple de la muestra inalterada.
$\text{GSI} := 40$	Geological Strength Index.
$m_i := 7.70$	Constante de Hoek-Brown para roca intacta.
$z := 29.84 \text{ m}$	Profundidad del túnel.
$\gamma := 21.54 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$	Peso específico.
$D := 0$	Factor de alteración.

PARÁMETROS DEL MACIZO ROCOSO

En primer lugar se determina el valor de las constantes del material:

$$a := \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{6} \cdot \left(e^{\frac{-\text{GSI}}{15}} - e^{\frac{-20}{3}} \right) \right] = 0.5114$$

$$s := e^{\frac{\text{GSI}-100}{9-3 \cdot D}} = 0.0013$$

$$m_b := m_i \cdot e^{\frac{\text{GSI}-100}{28-14 \cdot D}} = 0.9034$$

A continuación, se determina el valor de la resistencia del macizo rocoso global:

$$\sigma_{cm} := \sigma_{ci} \cdot \frac{\left[m_b + 4 \cdot s - a \cdot (m_b - 8 \cdot s) \right] \cdot \left(\frac{m_b}{4} + s \right)^{a-1}}{2 \cdot (1 + a) \cdot (2 + a)} = 1.176 \cdot \text{MPa}$$

Así, es posible determinar el valor del límite superior del esfuerzo de confinamiento sobre el que se ha considerado la relación de los criterios de Mohr - Coulomb y Hoek - Brown. Dicho valor se obtiene a partir de la expresión ajustada para túneles:

$$\frac{\sigma_{3\max}}{\sigma_{cm}} = 0.47 \cdot \left(\frac{\sigma_{cm}}{\gamma \cdot z} \right)^{-0.94}$$

Por lo tanto,

$$\sigma_{3\max} := 0.47 \cdot \left(\frac{\sigma_{cm}}{\gamma \cdot z} \right)^{-0.94} \cdot \sigma_{cm} = 0.3132 \cdot \text{MPa}$$

Finalmente, se obtiene el valor del parámetro σ_{3n} :

$$\sigma_{3n} := \frac{\sigma_{3\max}}{\sigma_{ci}} = 0.0327$$

VALORES ADOPTADOS (AJUSTE DE HOEK)

El valor de la resistencia cohesiva del macizo rocoso en base al ajuste de Hoek es el siguiente:

$$c_{ef} := \frac{\sigma_{ci} \cdot \left[(1 + 2 \cdot a) \cdot s + (1 - a) \cdot m_b \cdot \sigma_{3n} \right] \cdot (s + m_b \cdot \sigma_{3n})^{a-1}}{(1 + a) \cdot (2 + a) \cdot \sqrt{1 + \frac{6 \cdot a \cdot m_b \cdot (s + m_b \cdot \sigma_{3n})^{a-1}}{(1 + a) \cdot (2 + a)}}}$$

$c_{ef} = 0.105 \cdot \text{MPa}$

El valor del ángulo de fricción en base al ajuste de Hoek es el siguiente:

$$\phi := \text{asin} \left[\frac{6 \cdot a \cdot m_b \cdot (s + m_b \cdot \sigma_{3n})^{a-1}}{2 \cdot (1 + a) \cdot (2 + a) + 6 \cdot a \cdot m_b \cdot (s + m_b \cdot \sigma_{3n})^{a-1}} \right]$$

$\phi = 41.8^\circ$

REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL AJUSTE

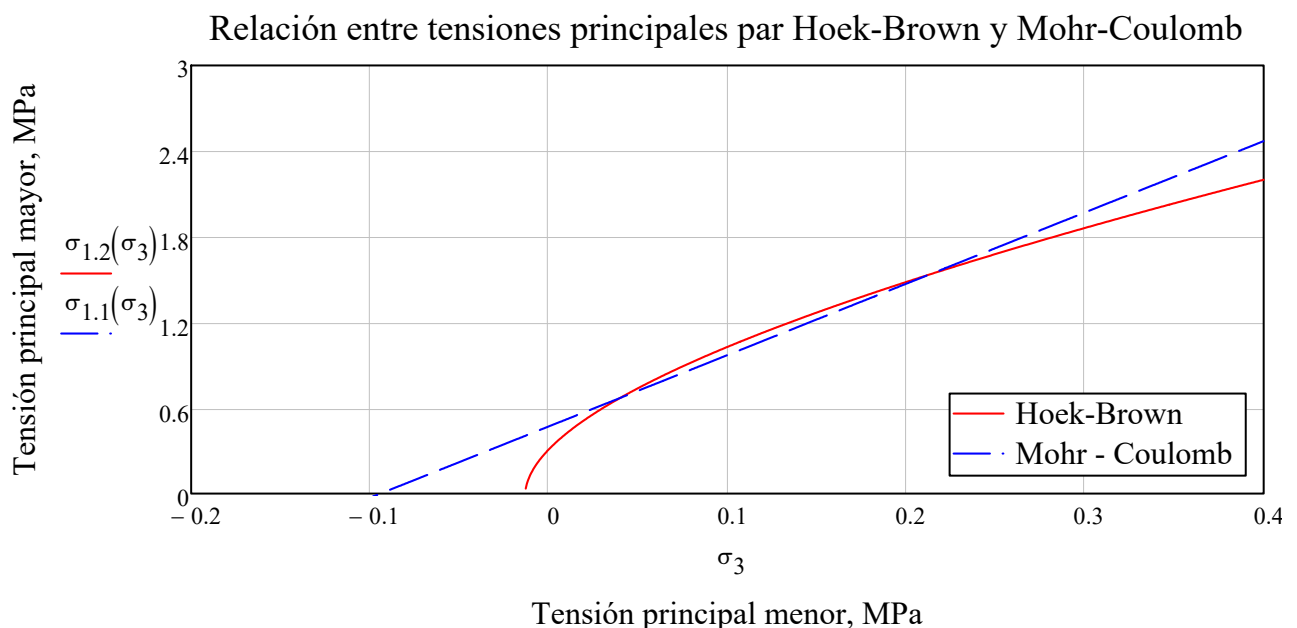
Finalmente, una vez obtenidos todos los parámetros de definición de los modelos, es posible representar gráficamente el ajuste realizado. Para ello, es necesario definir las funciones:

$$\sigma_{1.1}(\sigma_3) = \frac{2 \cdot c \cdot \cos(\phi)}{1 - \sin(\phi)} + \frac{1 + \sin(\phi)}{1 - \sin(\phi)} \cdot \sigma_3$$

Criterio de Mohr - Coulomb.

$$\sigma_{1.2}(\sigma_3) = \sigma_3 + \sigma_{ci} \cdot \left(m_b \cdot \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

Criterio generalizado de Hoek - Brown.



PARÁMETROS RESISTENTES DEL MACIZO ROCOSO (HOEK 2002)

PROYECTO: Túnel de Sorbas

TERRENO: Y_{DA}, yesos con dolomías

DATOS DE ENTRADA

$$\sigma_{ci} := 28.46 \text{ MPa}$$

Resistencia a compresión simple de la muestra inalterada.

$$\text{GSI} := 45$$

Geological Strength Index.

$$m_i := 8$$

Constante de Hoek-Brown para roca intacta.

$$z := 87.03 \text{ m}$$

Profundidad del túnel.

$$\gamma := 24.82 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

Peso específico.

$$D := 0$$

Factor de alteración.

PARÁMETROS DEL MACIZO ROCOSO

En primer lugar se determina el valor de las constantes del material:

$$a := \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{6} \cdot \left(e^{\frac{-\text{GSI}}{15}} - e^{\frac{-20}{3}} \right) \right] = 0.5081$$

$$s := e^{\frac{\text{GSI}-100}{9-3 \cdot D}} = 0.0022$$

$$m_b := m_i \cdot e^{\frac{\text{GSI}-100}{28-14 \cdot D}} = 1.122$$

A continuación, se determina el valor de la resistencia del macizo rocoso global:

$$\sigma_{cm} := \sigma_{ci} \cdot \frac{\left[m_b + 4 \cdot s - a \cdot (m_b - 8 \cdot s) \right] \cdot \left(\frac{m_b}{4} + s \right)^{a-1}}{2 \cdot (1 + a) \cdot (2 + a)} = 3.991 \cdot \text{MPa}$$

Así, es posible determinar el valor del límite superior del esfuerzo de confinamiento sobre el que se ha considerado la relación de los criterios de Mohr - Coulomb y Hoek - Brown. Dicho valor se obtiene a partir de la expresión ajustada para túneles:

$$\frac{\sigma_{3\max}}{\sigma_{cm}} = 0.47 \cdot \left(\frac{\sigma_{cm}}{\gamma \cdot z} \right)^{-0.94}$$

Por lo tanto,

$$\sigma_{3\max} := 0.47 \cdot \left(\frac{\sigma_{cm}}{\gamma \cdot z} \right)^{-0.94} \cdot \sigma_{cm} = 1.0533 \cdot \text{MPa}$$

Finalmente, se obtiene el valor del parámetro σ_{3n} :

$$\sigma_{3n} := \frac{\sigma_{3\max}}{\sigma_{ci}} = 0.037$$

VALORES ADOPTADOS (AJUSTE DE HOEK)

El valor de la resistencia cohesiva del macizo rocoso en base al ajuste de Hoek es el siguiente:

$$c_{ef} := \frac{\sigma_{ci} \cdot \left[(1 + 2 \cdot a) \cdot s + (1 - a) \cdot m_b \cdot \sigma_{3n} \right] \cdot (s + m_b \cdot \sigma_{3n})^{a-1}}{(1 + a) \cdot (2 + a) \cdot \sqrt{1 + \frac{6 \cdot a \cdot m_b \cdot (s + m_b \cdot \sigma_{3n})^{a-1}}{(1 + a) \cdot (2 + a)}}}$$

$c_{ef} = 0.382 \cdot \text{MPa}$

El valor del ángulo de fricción en base al ajuste de Hoek es el siguiente:

$$\phi := \text{asin} \left[\frac{6 \cdot a \cdot m_b \cdot (s + m_b \cdot \sigma_{3n})^{a-1}}{2 \cdot (1 + a) \cdot (2 + a) + 6 \cdot a \cdot m_b \cdot (s + m_b \cdot \sigma_{3n})^{a-1}} \right]$$

$\phi = 42.7^\circ$

REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL AJUSTE

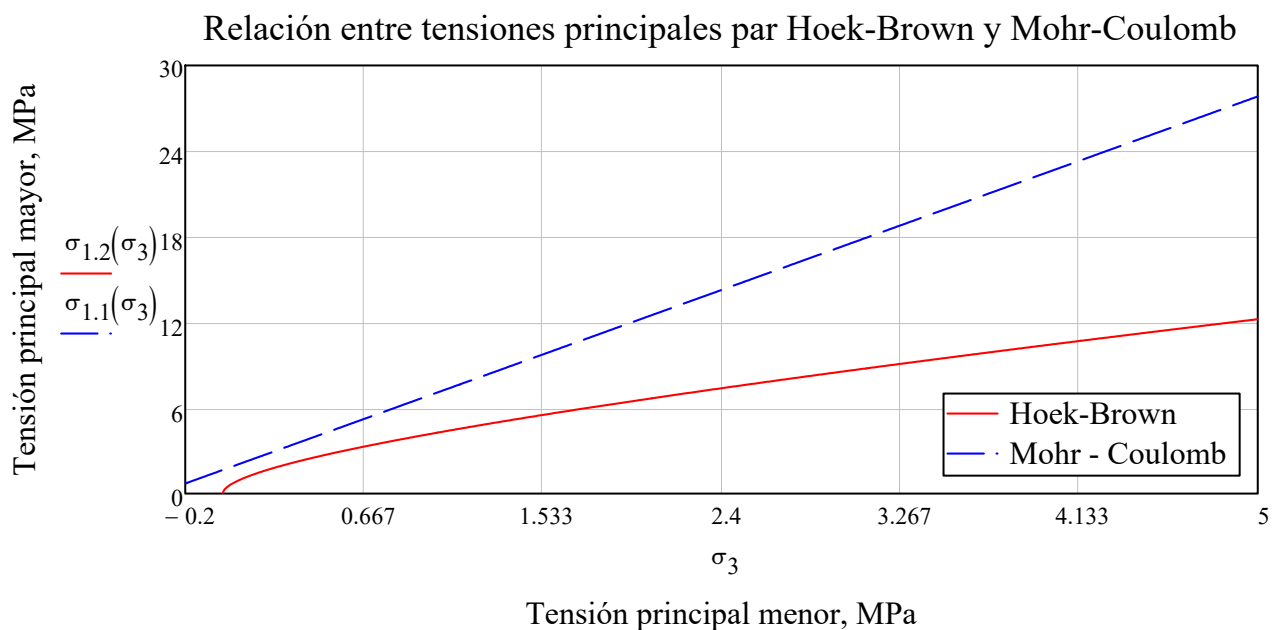
Finalmente, una vez obtenidos todos los parámetros de definición de los modelos, es posible representar gráficamente el ajuste realizado. Para ello, es necesario definir las funciones:

$$\sigma_{1.1}(\sigma_3) = \frac{2 \cdot c \cdot \cos(\phi)}{1 - \sin(\phi)} + \frac{1 + \sin(\phi)}{1 - \sin(\phi)} \cdot \sigma_3$$

Criterio de Mohr - Coulomb.

$$\sigma_{1.2}(\sigma_3) = \sigma_3 + \sigma_{ci} \cdot \left(m_b \cdot \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

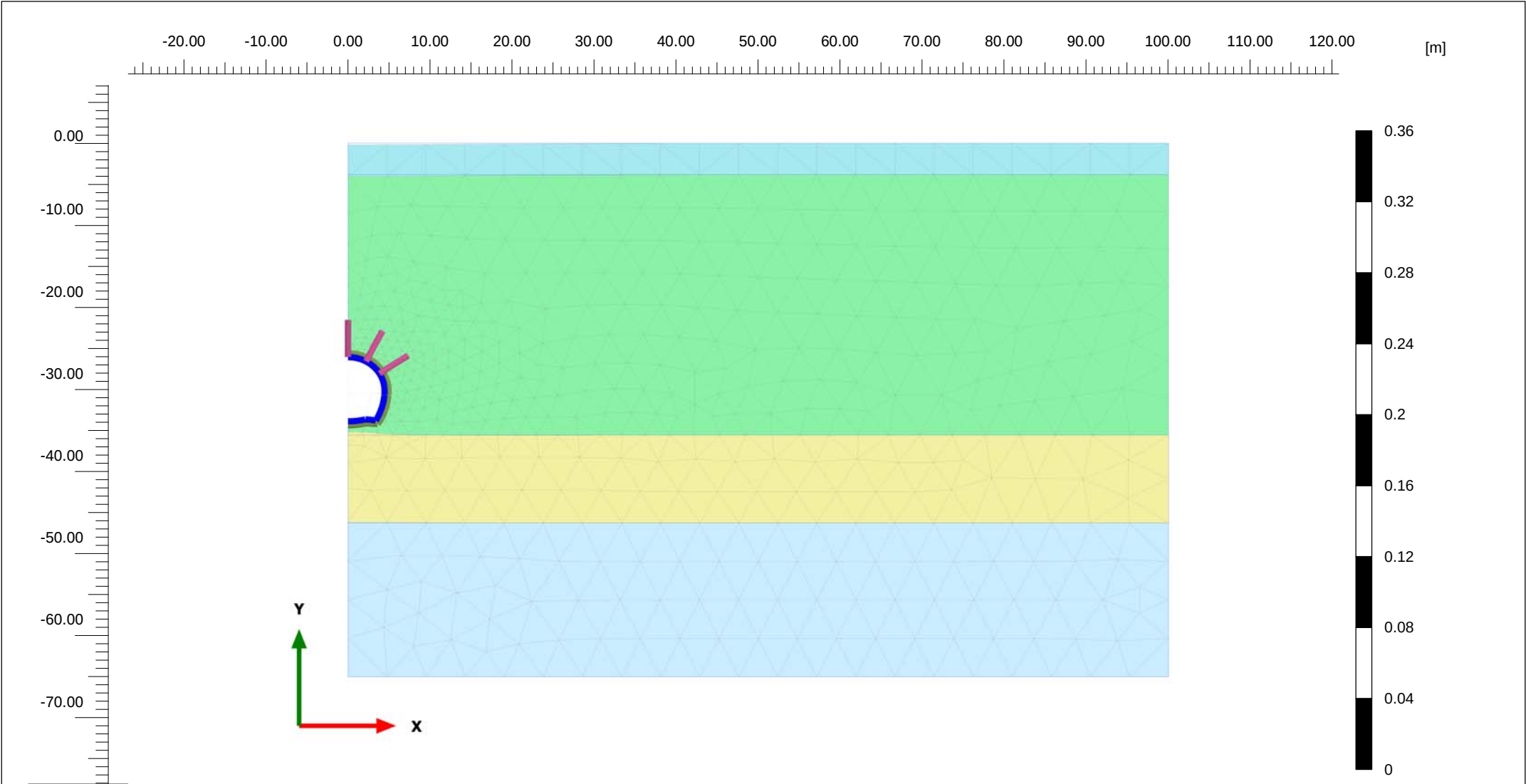
Criterio generalizado de Hoek - Brown.





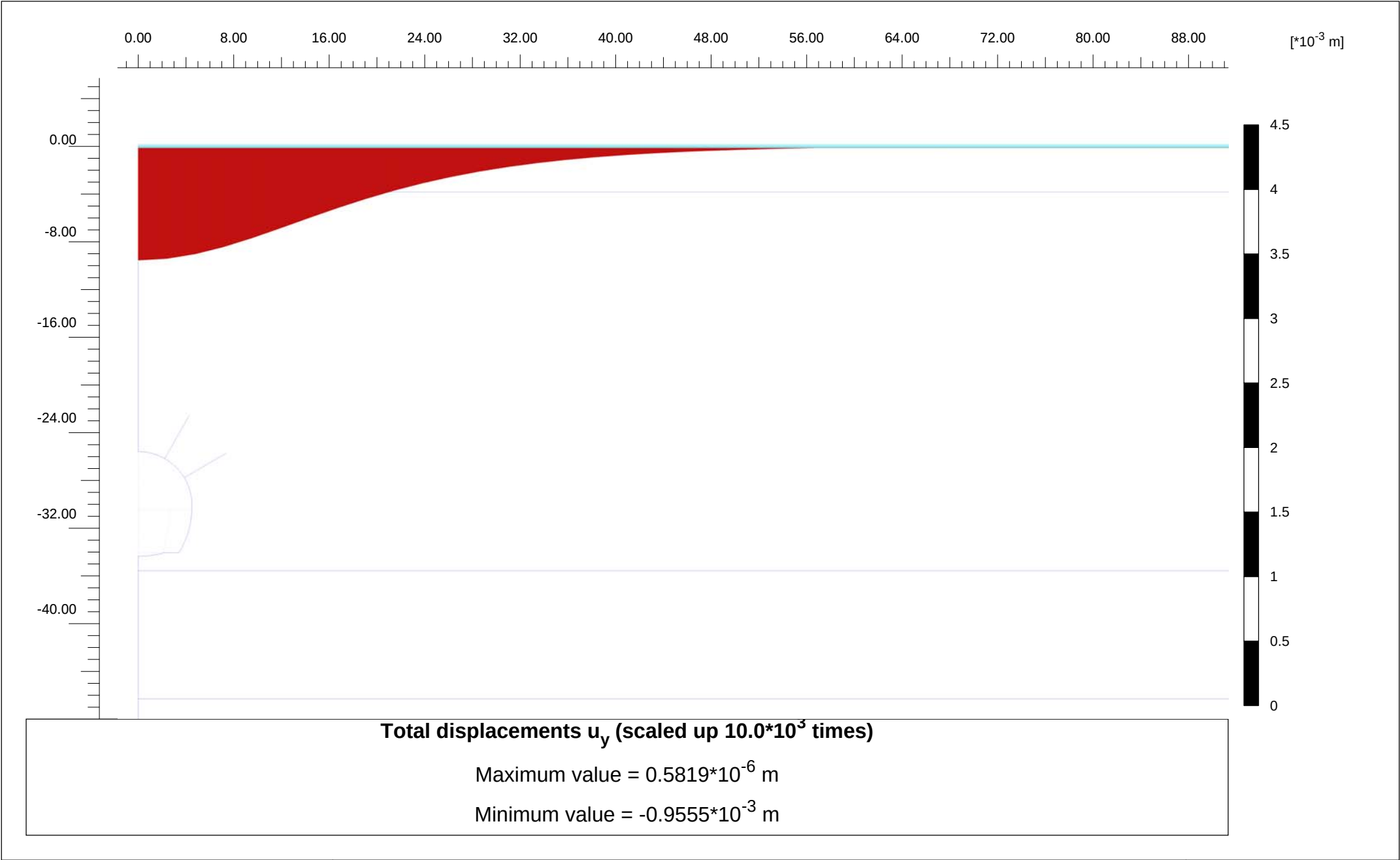
ANEJO X

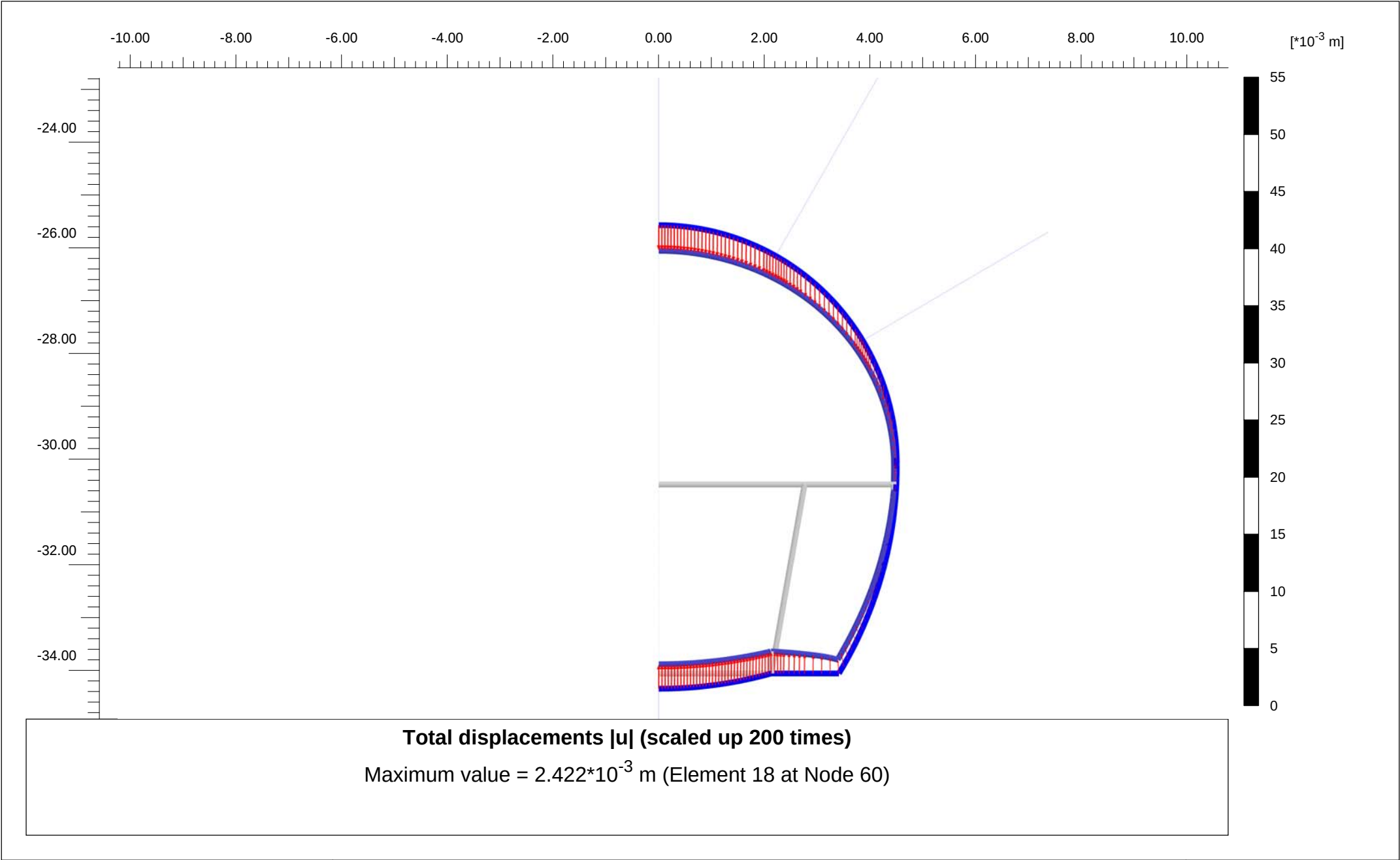
RESULTADOS DEL ANÁLISIS TENSO-DEFORMACIONAL

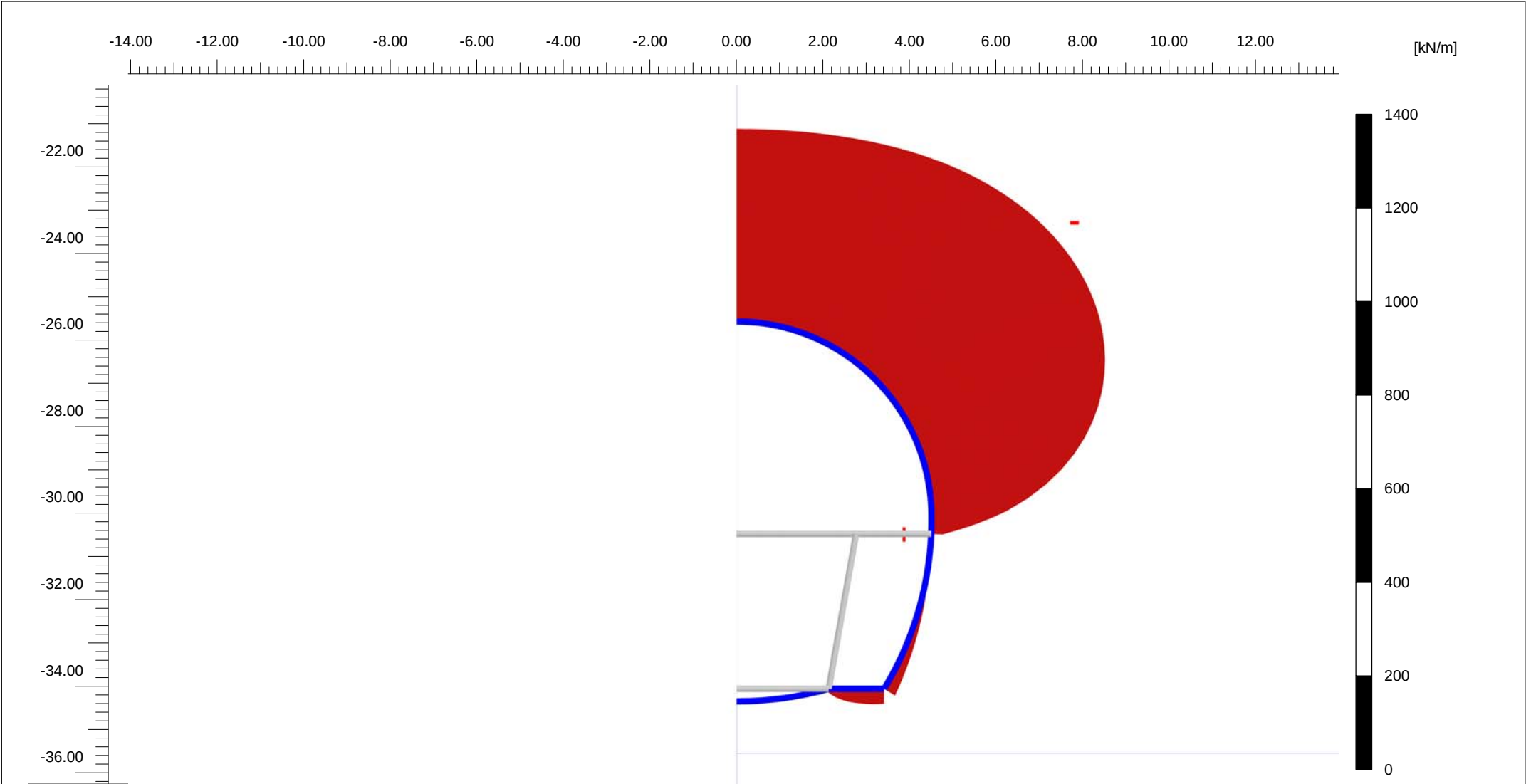


Deformed mesh |u| (scaled up 200 times)

Maximum value = $2.422 \cdot 10^{-3}$ m (Element 0 at Node 60)







Axial forces N (scaled up 0.0100 times)

Maximum value = 2.752 kN/m (Element 42 at Node 2238)

Minimum value = -527.1 kN/m (Element 7 at Node 1017)



Project description

NMA

Date

01/06/2017

Project filename

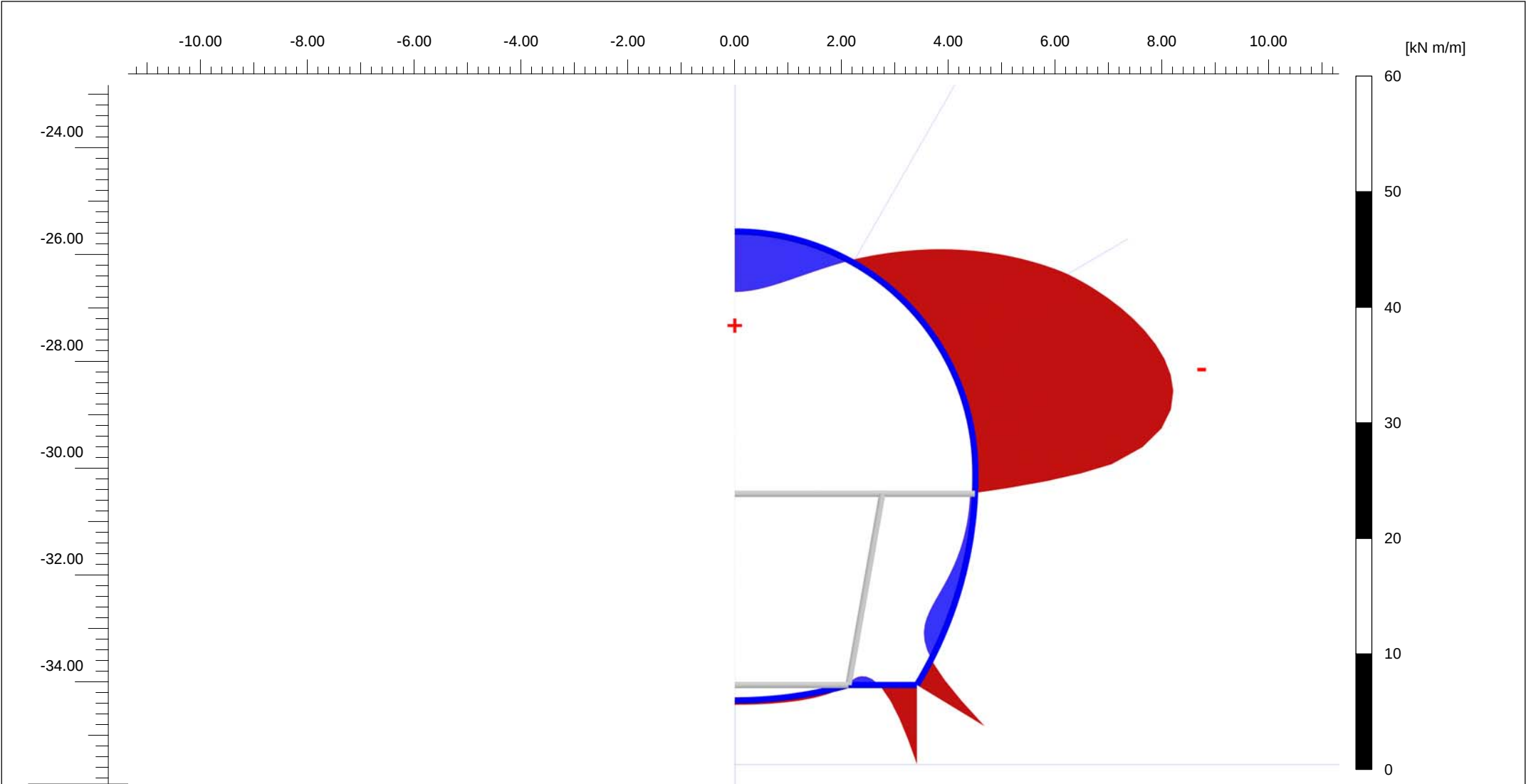
Seccion NATM - Simetria

Step

14

User name

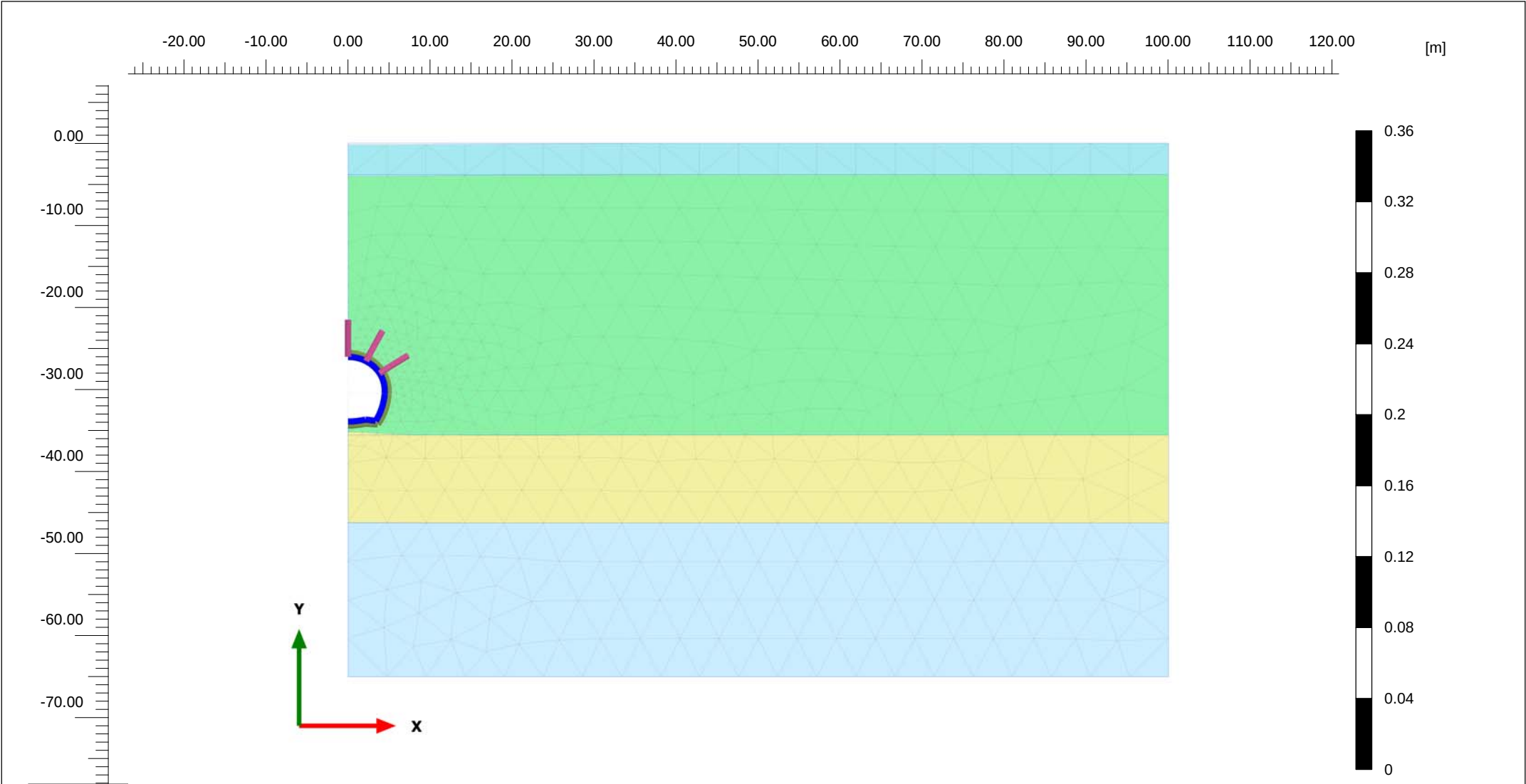
Universidad de Cantabria



Bending moments M (scaled up 0.200 times)

Maximum value = 5.645 kN m/m (Element 18 at Node 60)

Minimum value = -19.27 kN m/m (Element 2 at Node 1973)



Project description

NMA

Project filename

Seccion NATM 2 - Simetria

Step

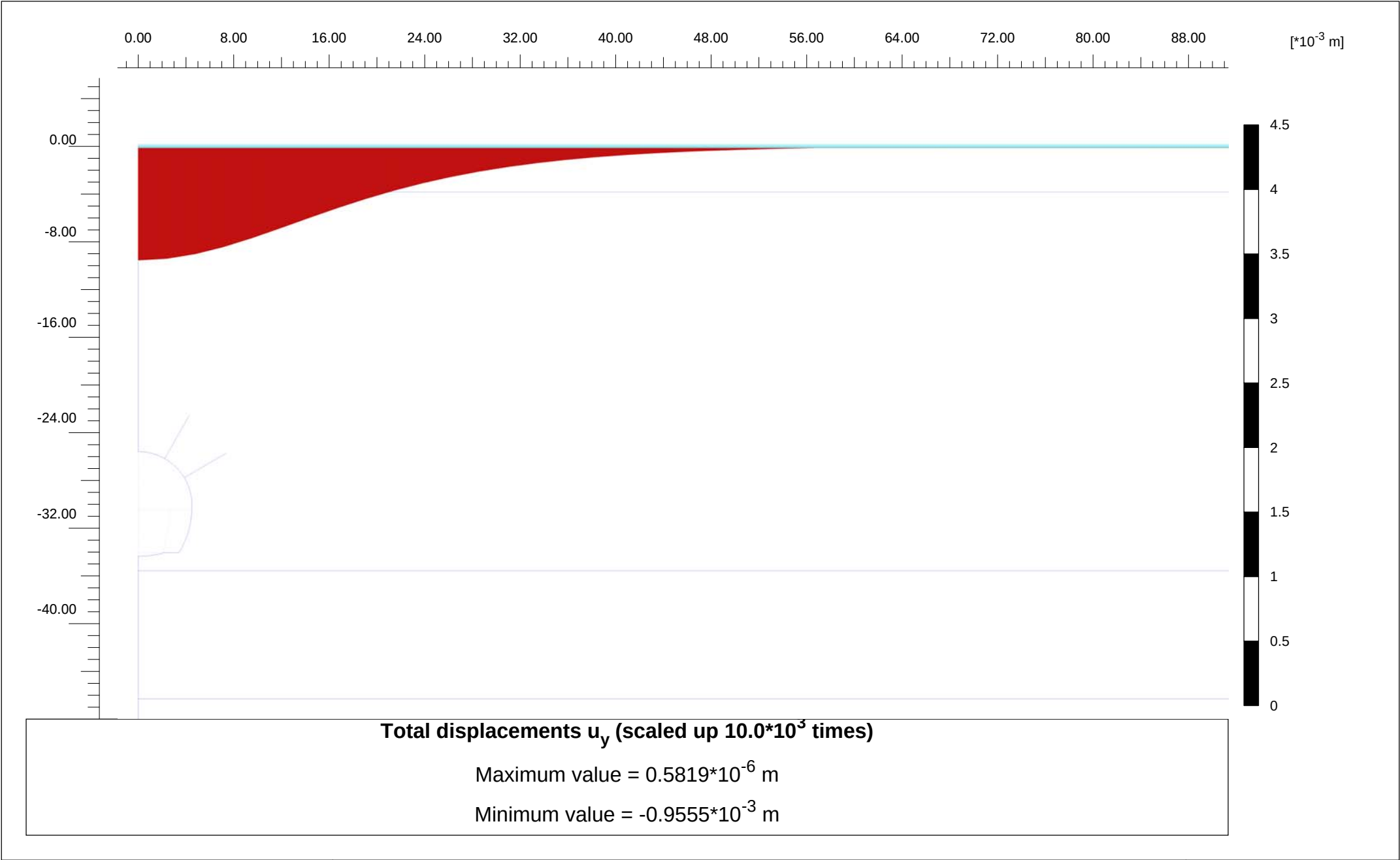
10

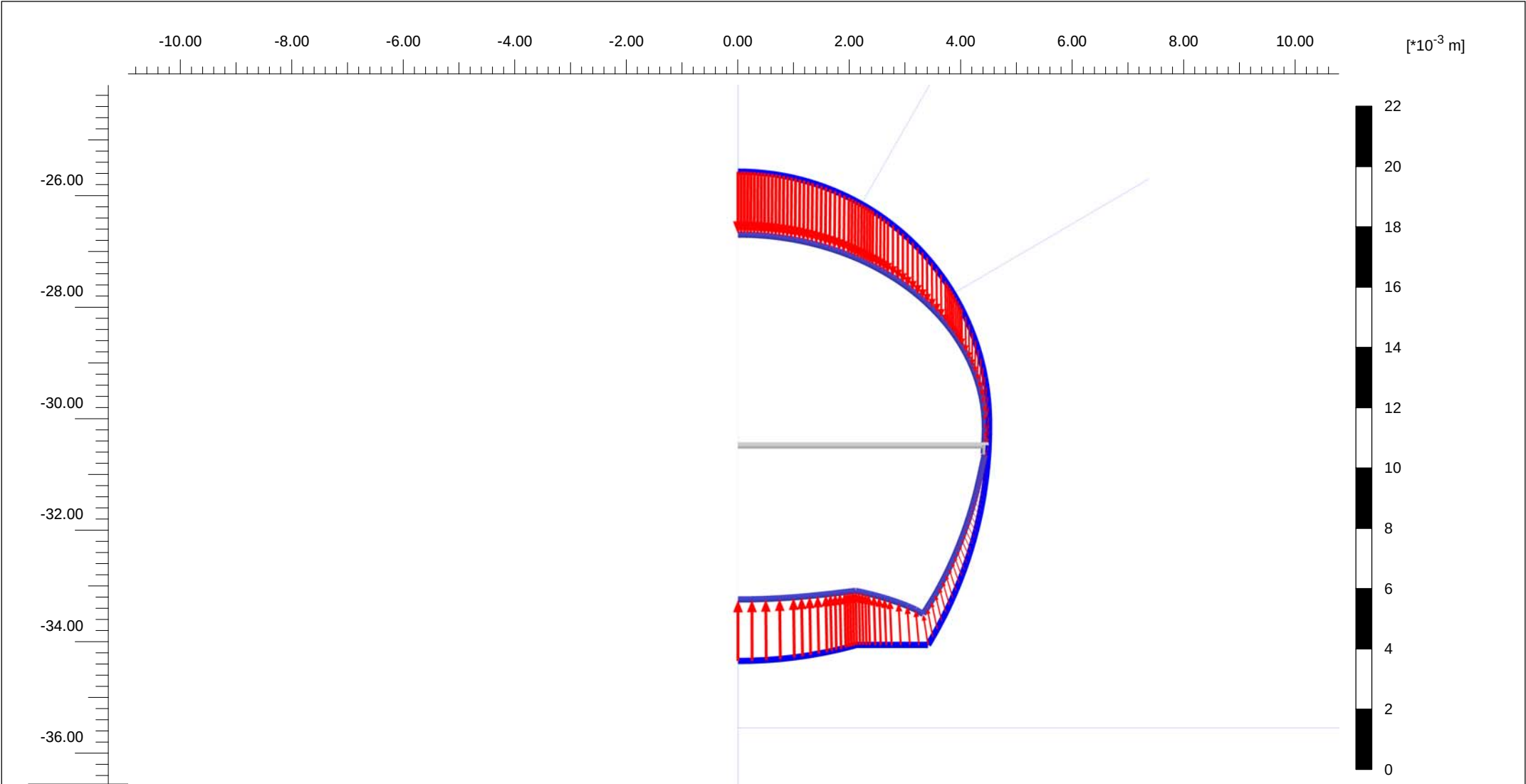
User name

Universidad de Cantabria

Date

01/06/2017





Total displacements $|u|$ (scaled up 500 times)

Maximum value = $2.254 \cdot 10^{-3}$ m (Element 18 at Node 32)



Project description

NMA

Project filename

Seccion NATM 2 - Simetria

Step

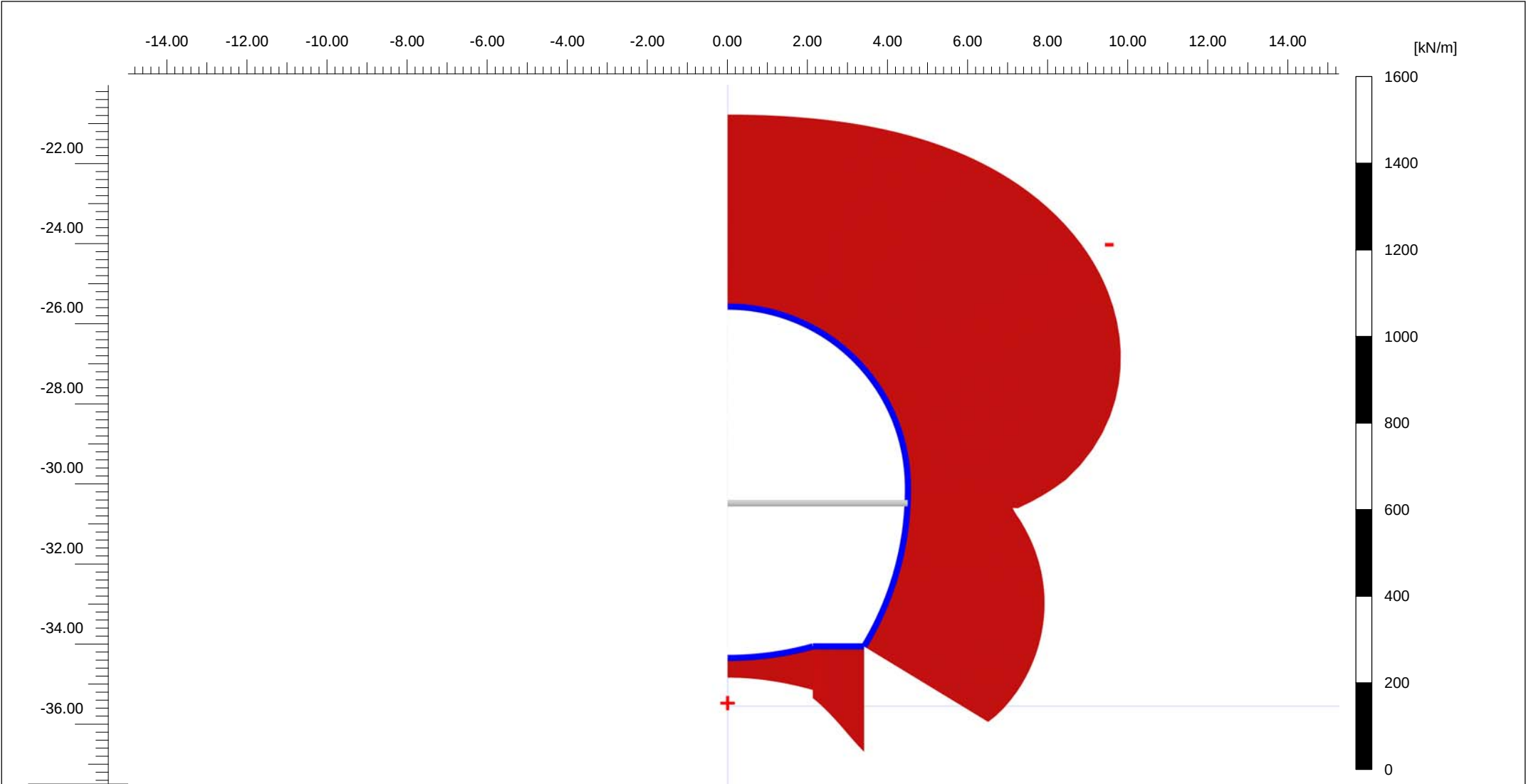
10

User name

Universidad de Cantabria

Date

01/06/2017

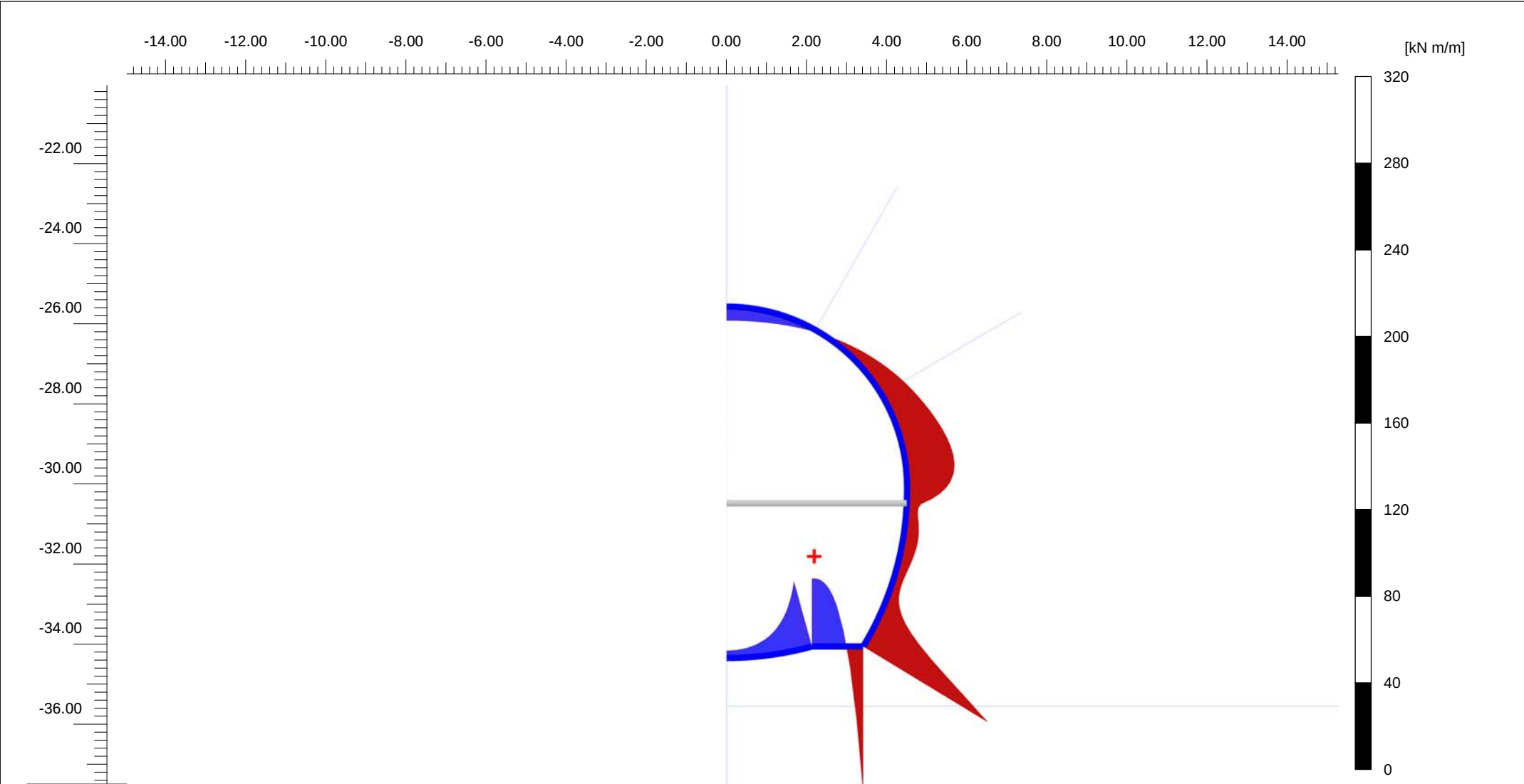


Axial forces N (scaled up 0.0100 times)

Maximum value = -48.64 kN/m (Element 42 at Node 3127)

Minimum value = -621.2 kN/m (Element 5 at Node 1361)

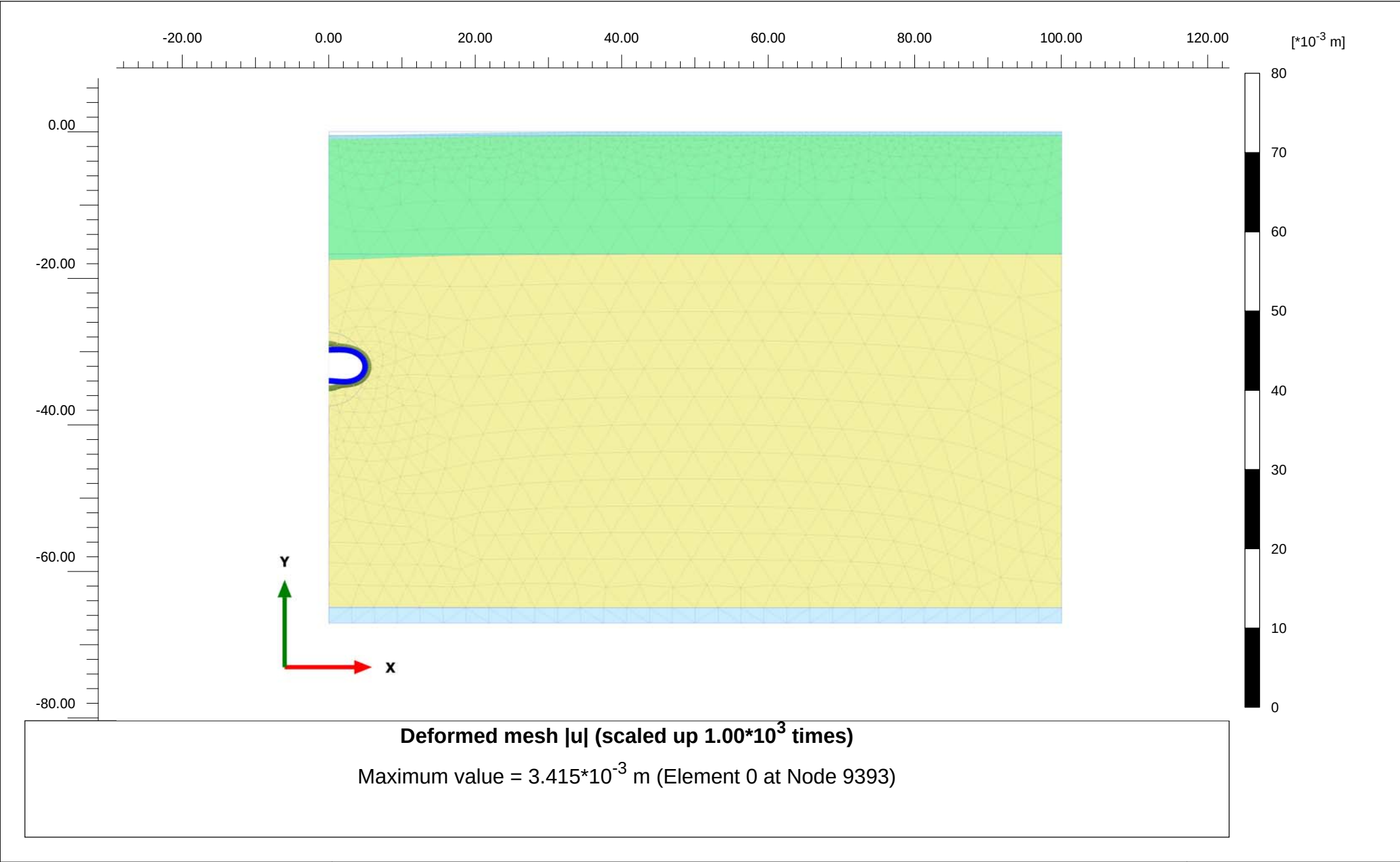
	<i>Project description</i> NMA		<i>Date</i> 01/06/2017
	<i>Project filename</i> Seccion NATM 2 - Simetria	<i>Step</i> 10	<i>User name</i> Universidad de Cantabria

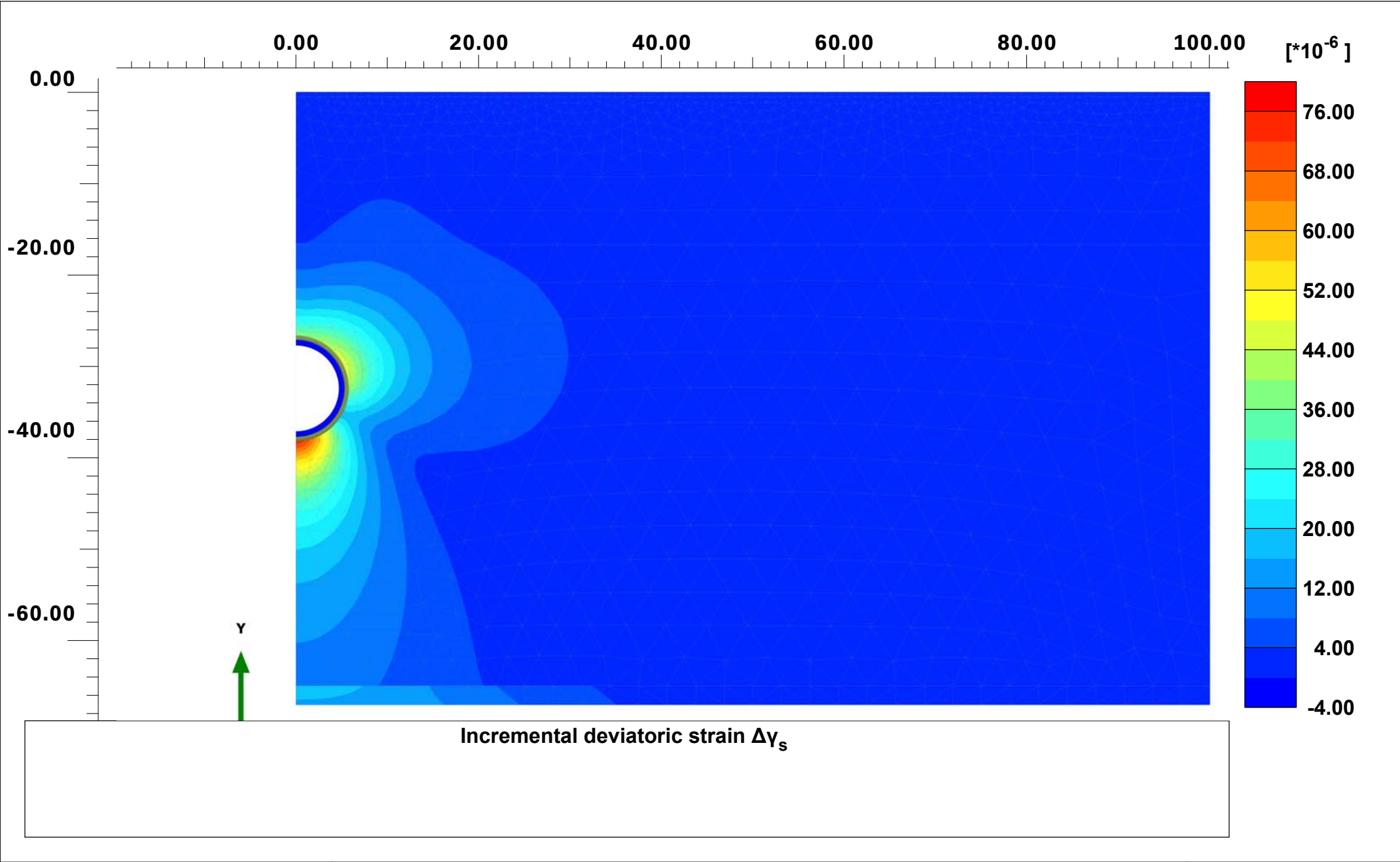


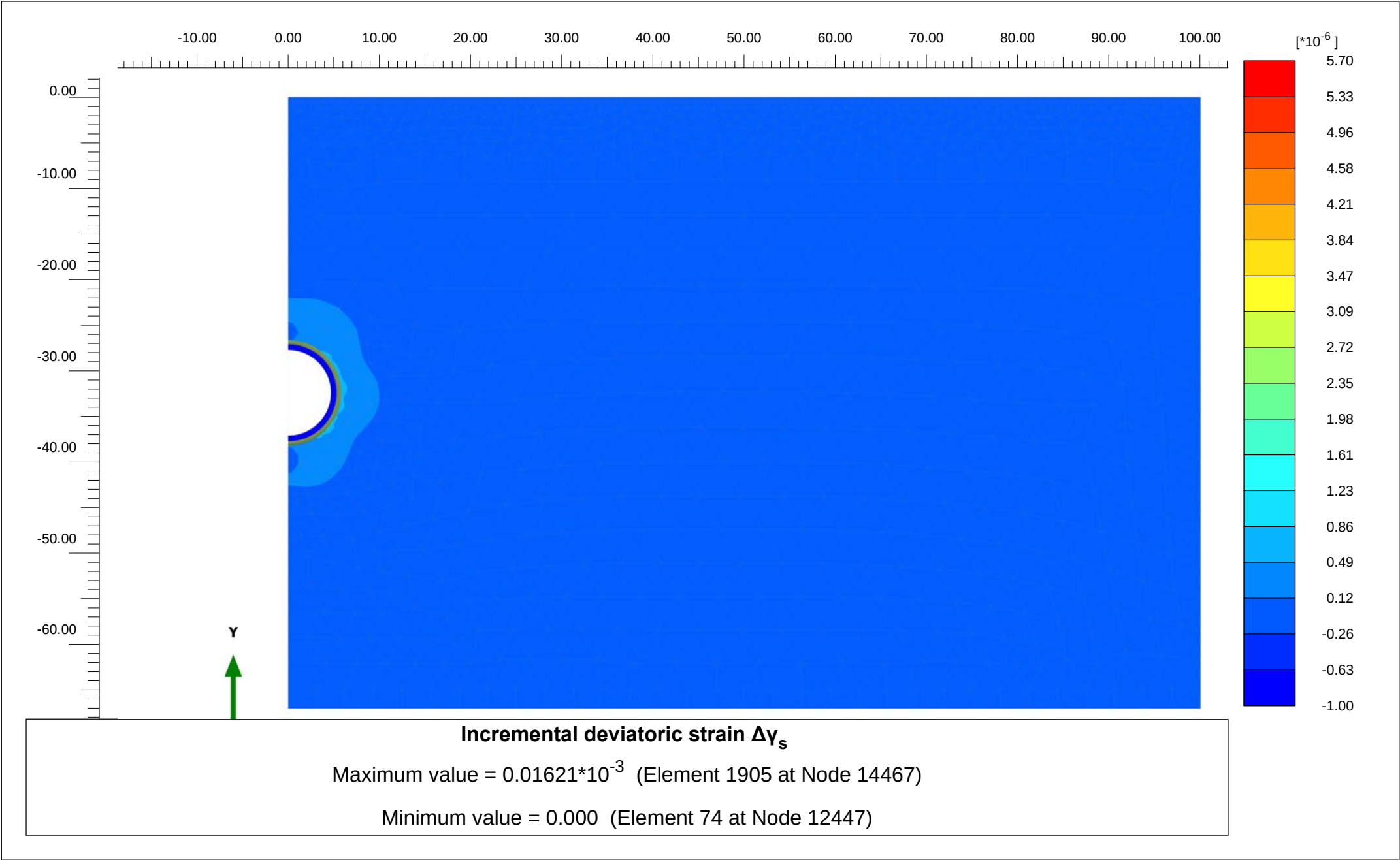
Bending moments M (scaled up 0.0500 times)

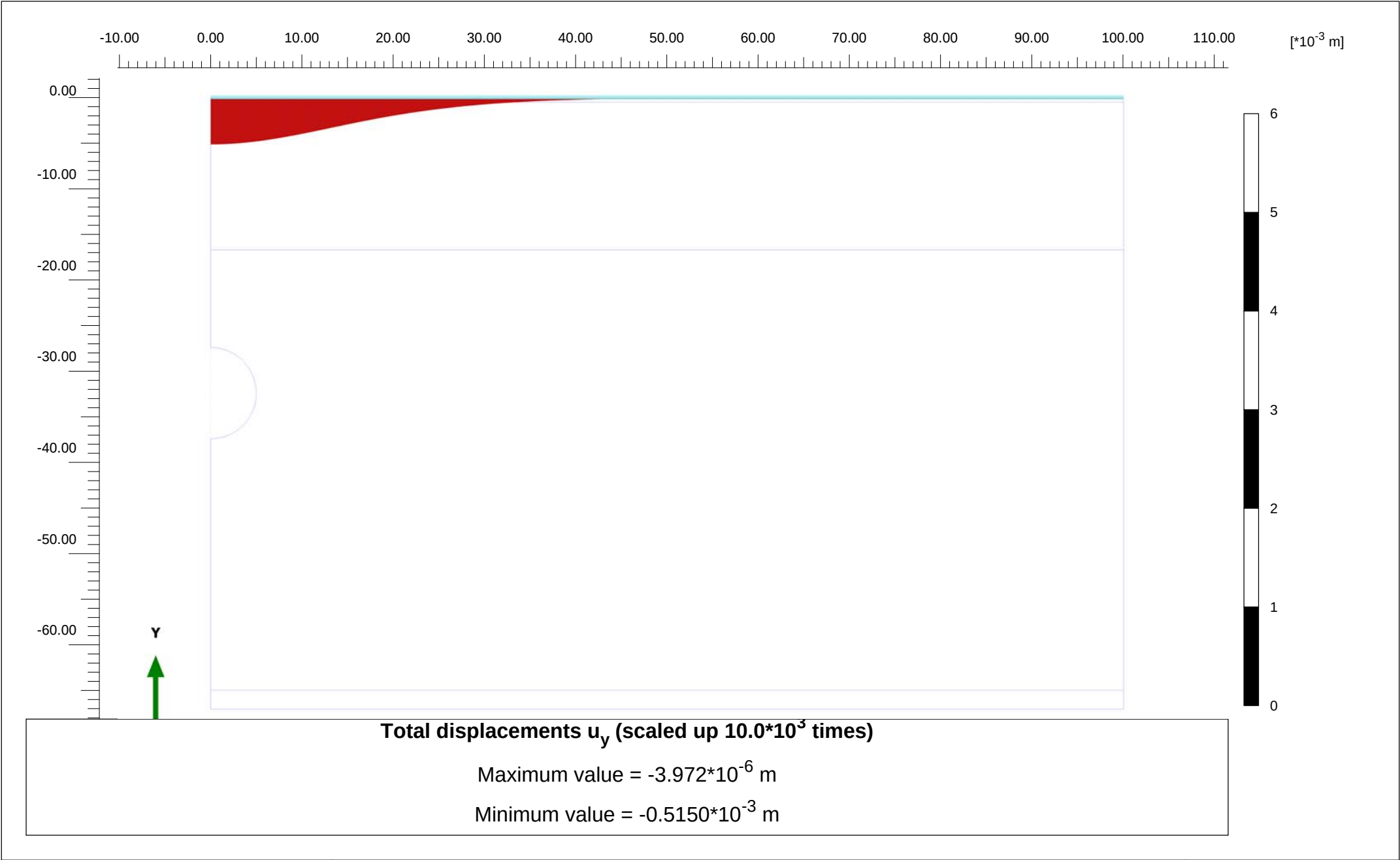
Maximum value = 33.91 kN m/m (Element 38 at Node 3772)

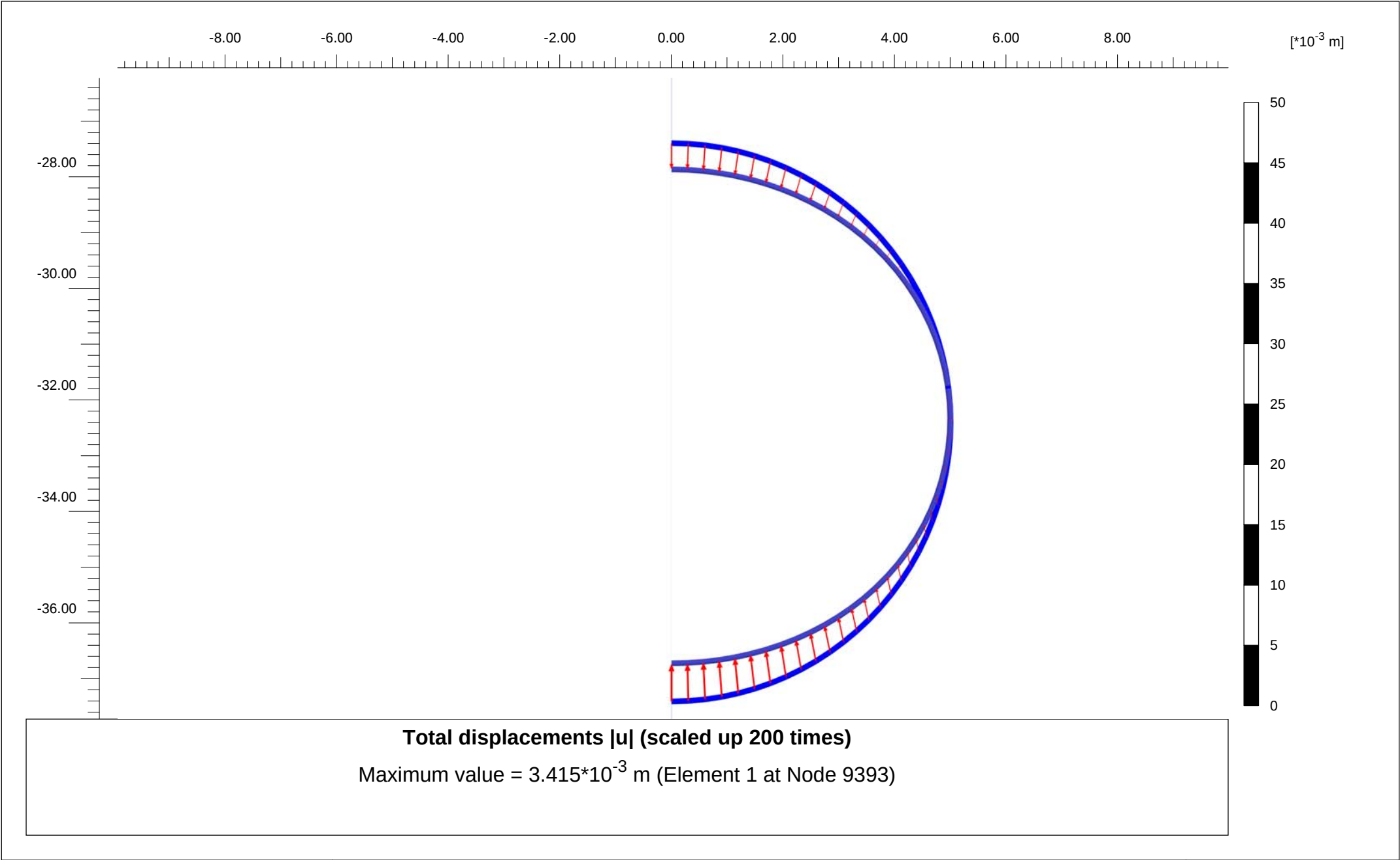
Minimum value = -72.77 kN m/m (Element 40 at Node 4261)

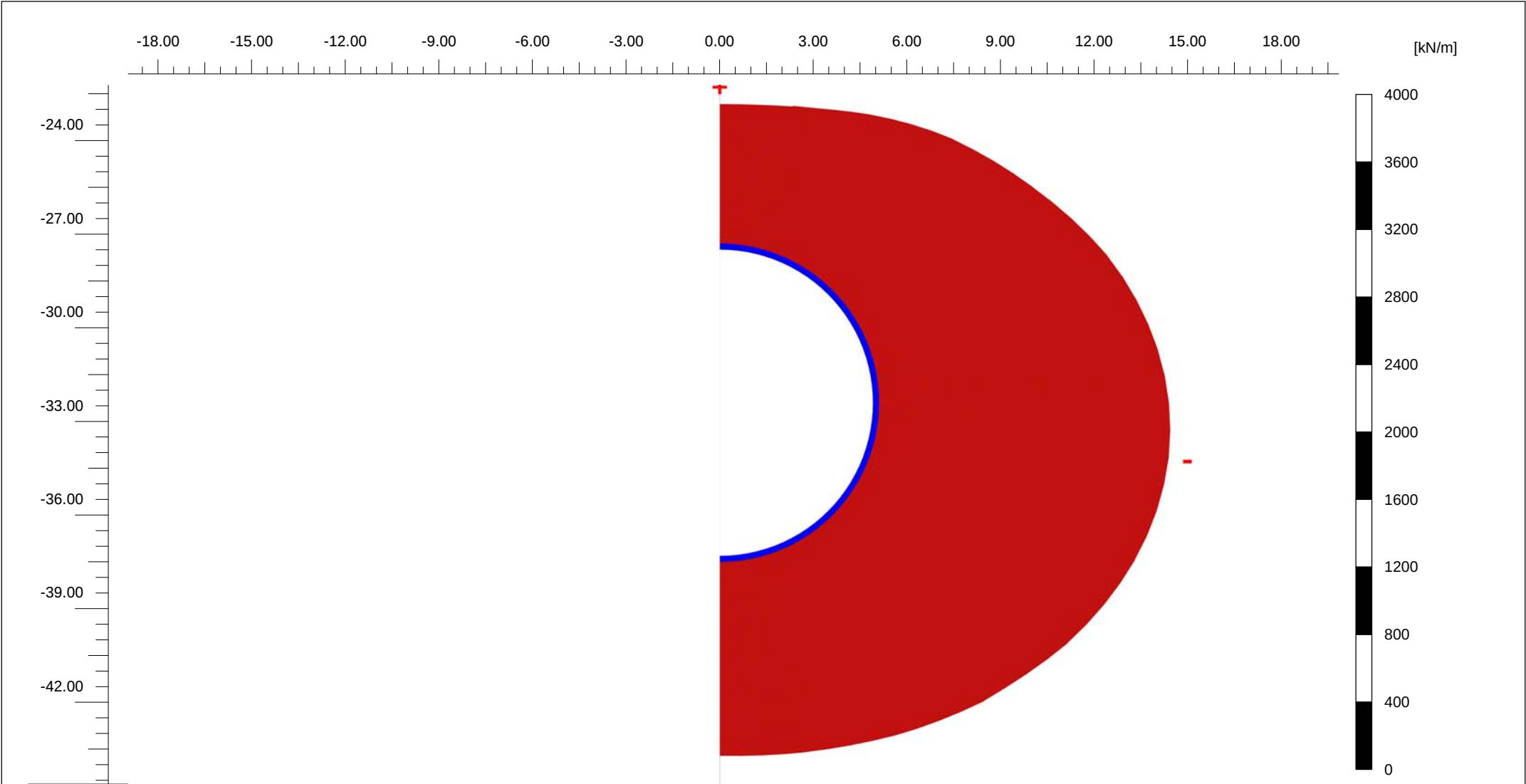








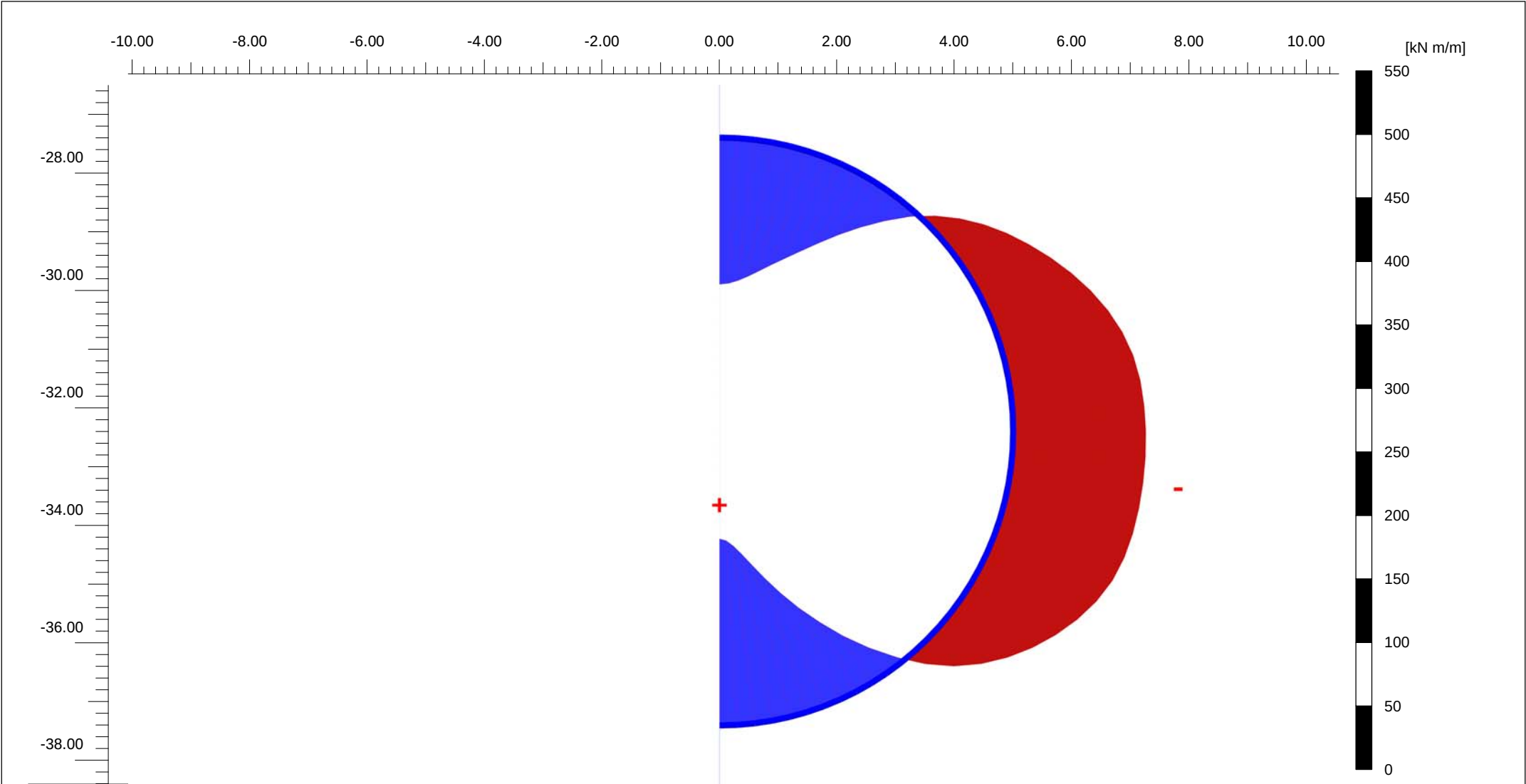




Axial forces N (scaled up $5.00 \cdot 10^{-3}$ times)

Maximum value = -911.3 kN/m (Element 13 at Node 13868)

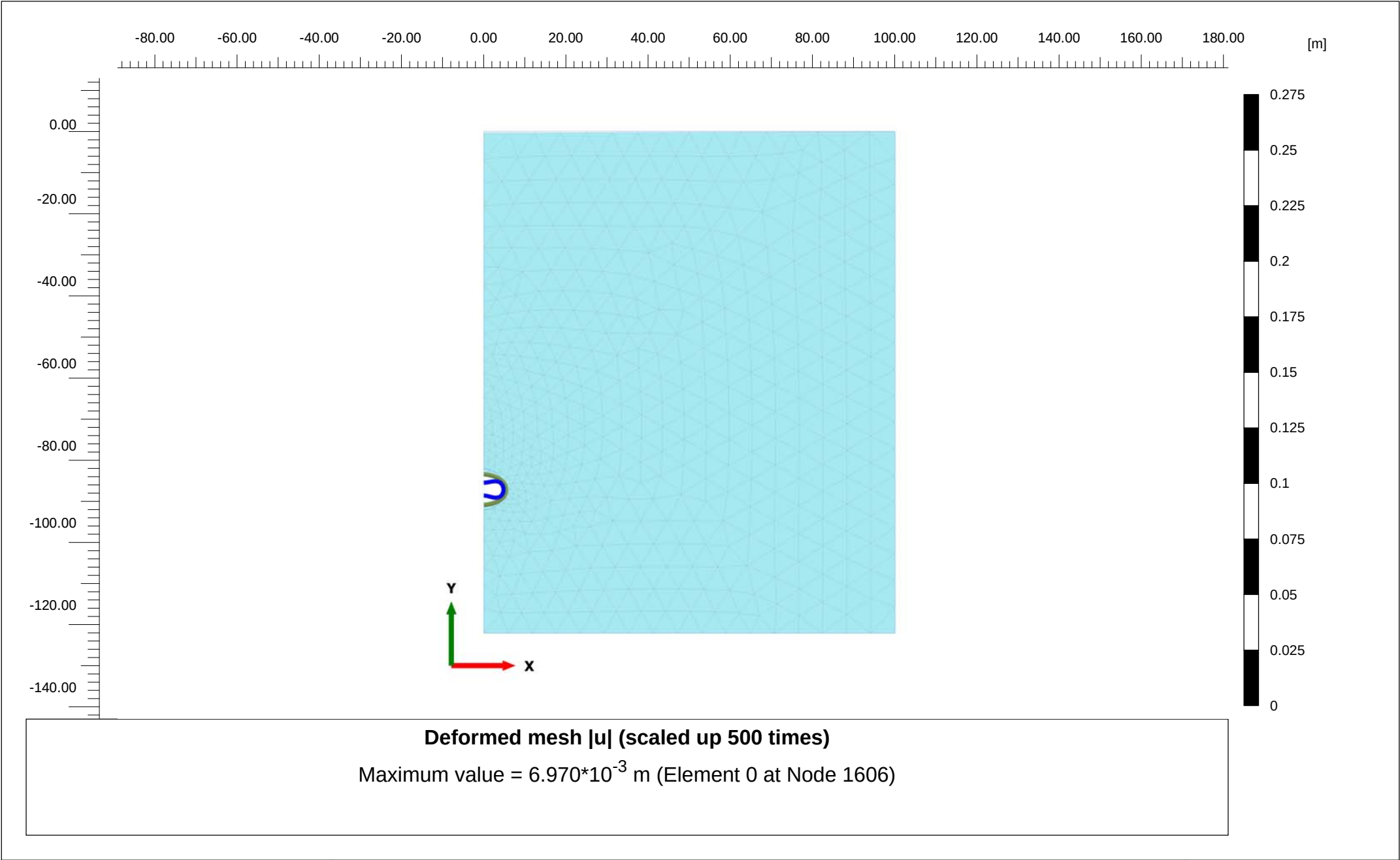
Minimum value = -1897 kN/m (Element 6 at Node 13055)

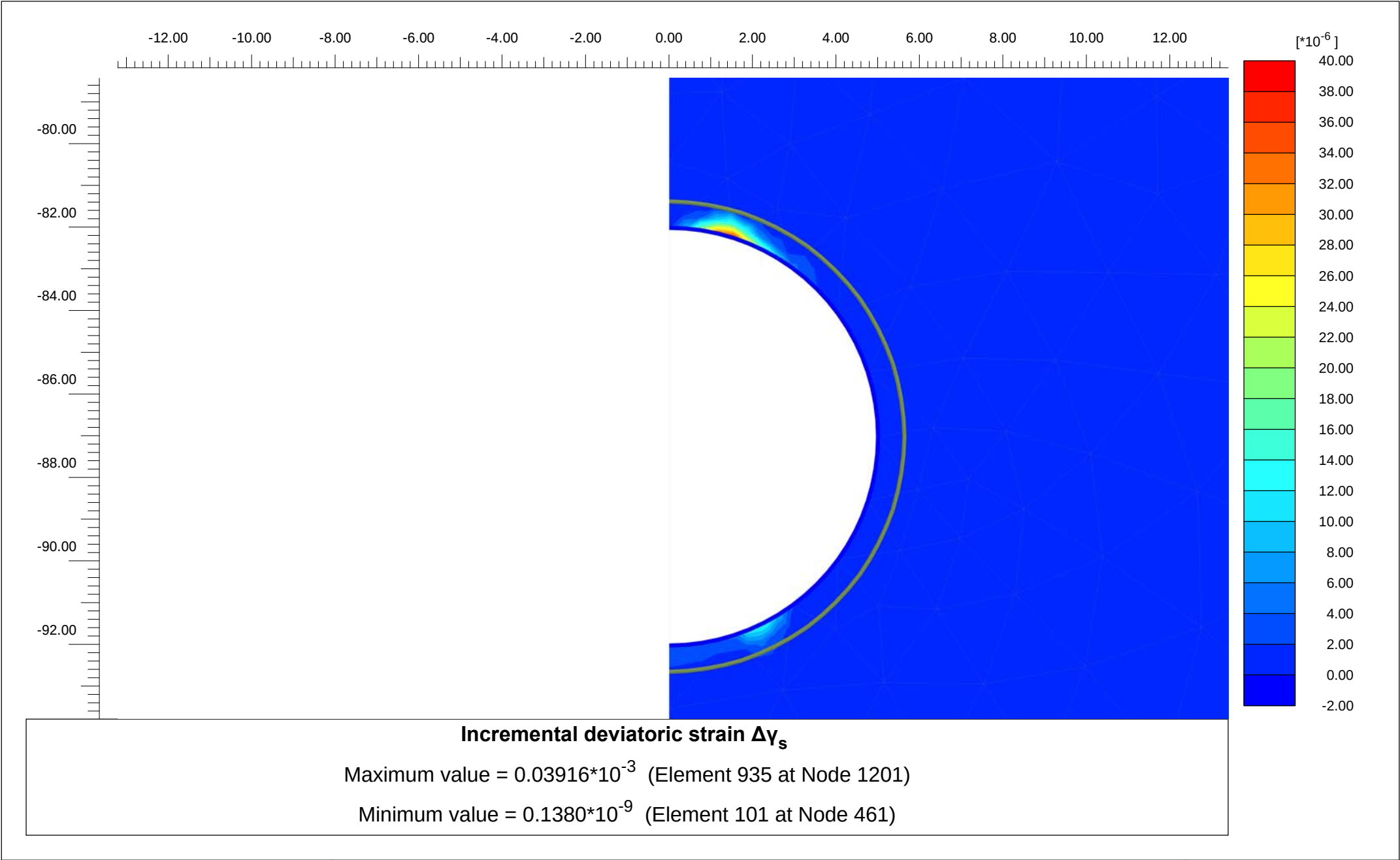


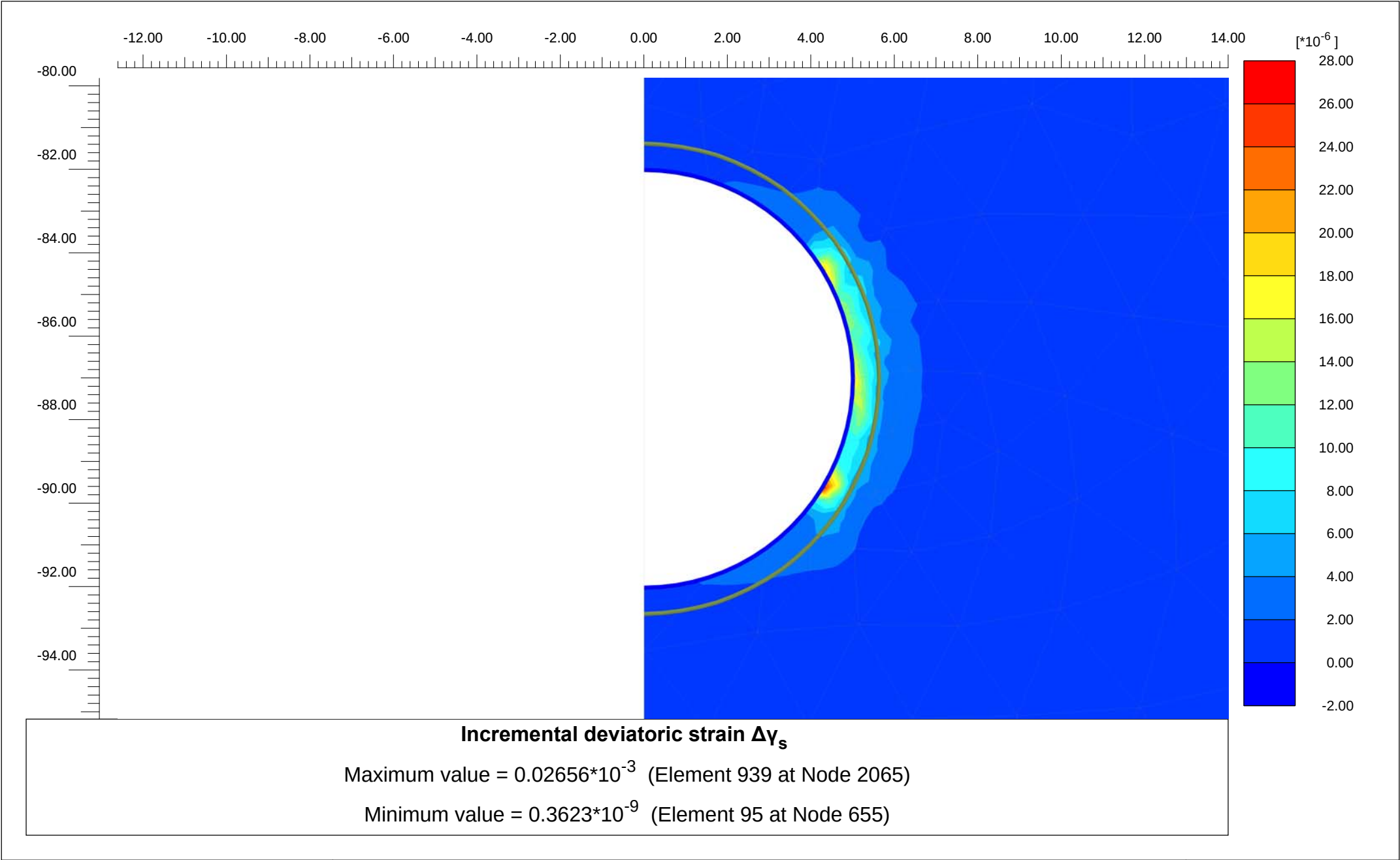
Bending moments M (scaled up 0.0200 times)

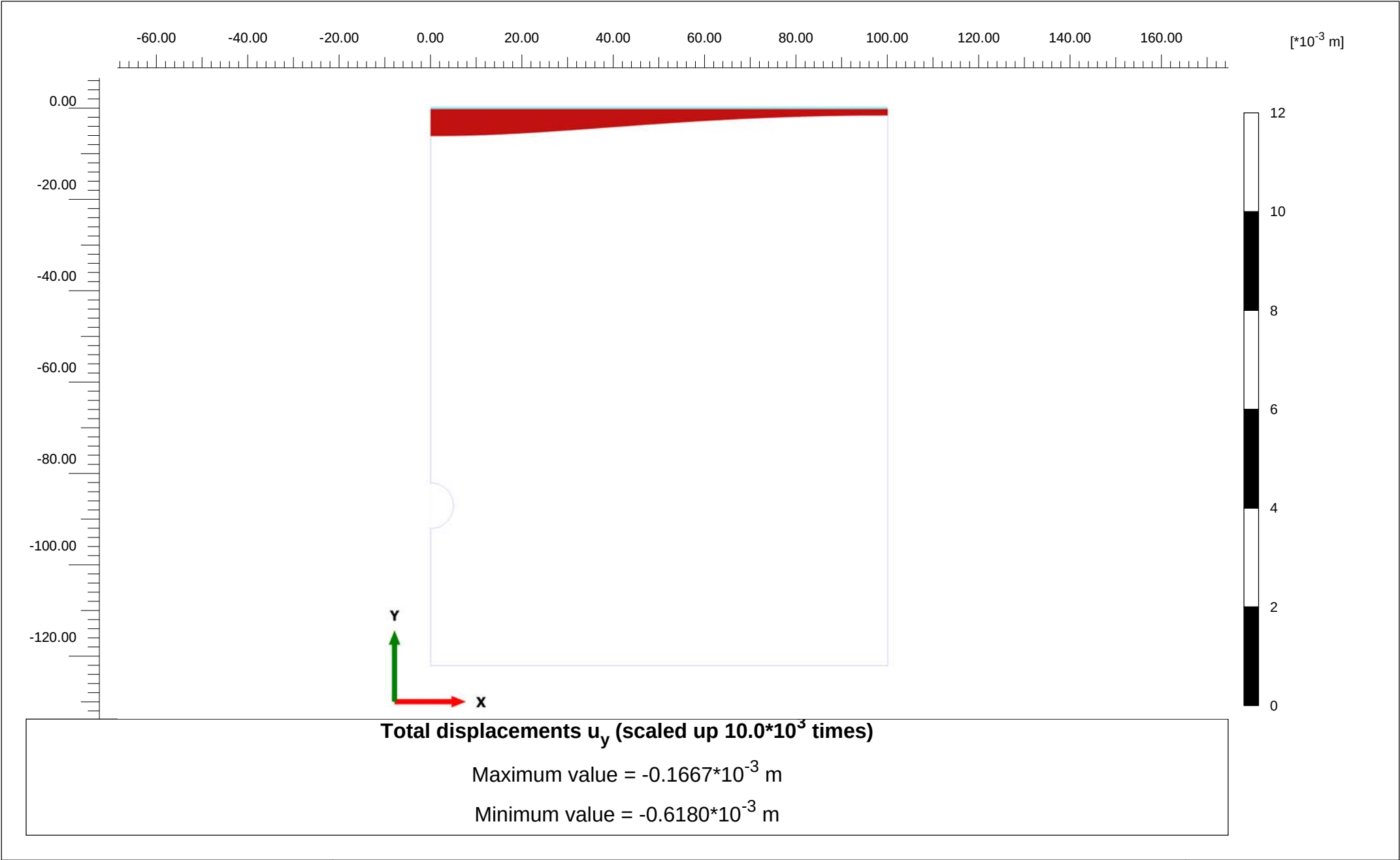
Maximum value = 158.8 kN m/m (Element 1 at Node 9393)

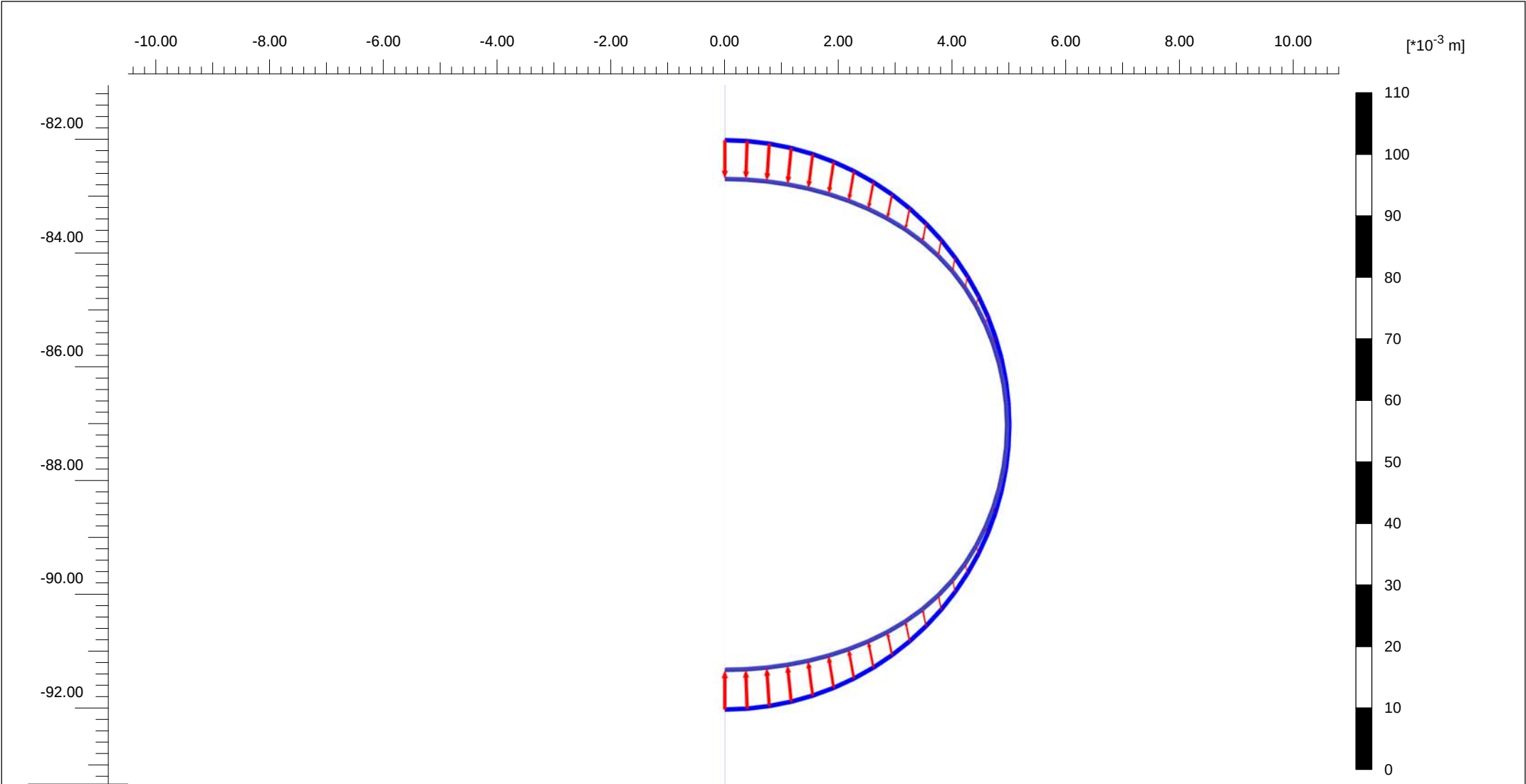
Minimum value = -113.2 kN m/m (Element 6 at Node 13055)





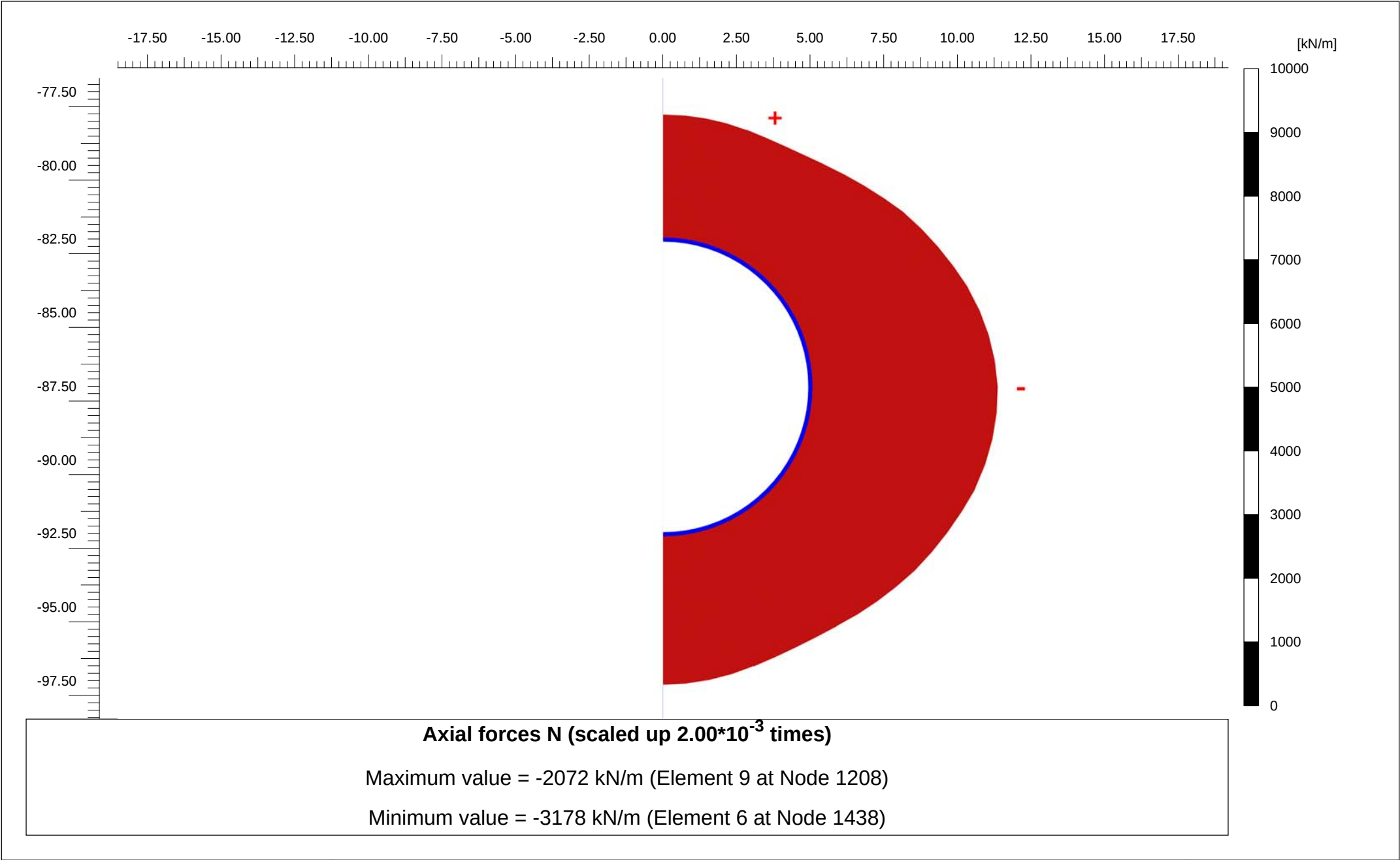


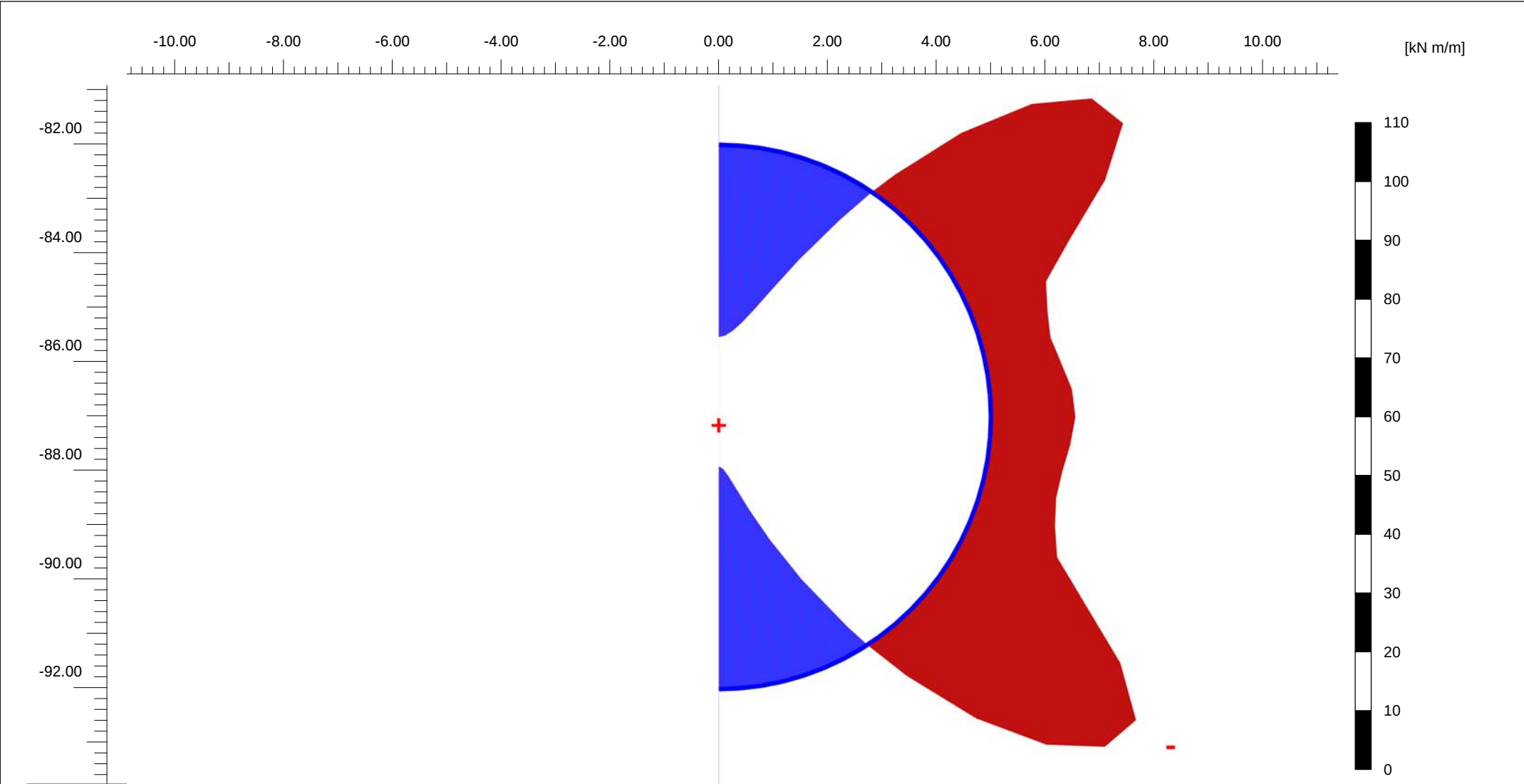




Total displacements $|u|$ (scaled up 100 times)

Maximum value = 6.970×10^{-3} m (Element 1 at Node 1606)





Bending moments M (scaled up 0.100 times)

Maximum value = 40.89 kN m/m (Element 1 at Node 1606)

Minimum value = -44.74 kN m/m (Element 4 at Node 1574)



Project description

Seccion Yesos

Date

01/06/2017

Project filename

Seccion Yesos - Simetría

Step

108

User name

Universidad de Cantabria



ANEJO XI

EVALUACIÓN DE LA CONVERGENCIA SEGÚN PANET Y GUENOT (1982)

ANÁLISIS DE RELAJACIÓN DEL TERRENO (PANET Y GUENOT, 1982)

PROYECTO: Túnel de Sorbas

TERRENO: T_{scg}, conglomerados y areniscas groseras

DATOS DE ENTRADA

$$z := 32.40\text{m}$$

Profundidad del eje en la sección de cálculo.

$$a := 5\text{m}$$

Radio del túnel.

$$h := 7.6\text{m}$$

Profundidad del nivel freático.

$$d := 5\text{m}$$

Distancia desde el frente de excavación hasta la colocación del sostenimiento.

$$G_{Tscg} := 573.577\text{MPa}$$

Módulo transversal de la formación T_{scg}.

$$\sigma_0 := 742.17\text{kPa}$$

Tensión inicial a la profundidad del eje.

El desplazamiento radial a una distancia d del frente, u_d , se expresa mediante interpolación entre los valores para distancia cero (u_0) y distancia infinita (u_∞), según:

$$u_d = u_0 + \alpha_d \cdot (u_{\text{inf}} - u_0)$$

El desplazamiento a distancia infinita del frente corresponde al caso de deformación plana:

$$u_{\text{inf}} = a \cdot \frac{\sigma_0}{2 \cdot G_{Tscg}} \quad u_{\text{inf}} := a \cdot \frac{\sigma_0}{2 \cdot G_{Tscg}} = 3.235 \times 10^{-3} \text{ m}$$

El desplazamiento radial junto al frente resulta un 25% de este valor:

$$u_0 := 0.25 u_{\text{inf}} = 8.087 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Por su parte, el coeficiente de interpolación se ajusta aproximadamente mediante:

$$\alpha_d := 1 - \left(\frac{0.75}{0.75 + \frac{d}{a}} \right)^2 = 0.816$$

Así, el desplazamiento radial a una distancia d del frente, será:

$$u_d := u_0 + \alpha_d \cdot (u_{\text{inf}} - u_0) = 2.789 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Por lo tanto, la convergencia de la sección será:

$$\epsilon_a := \frac{u_d}{a} = 0.000558$$

Y, en consecuencia, la pérdida volumétrica de sección, expresada en pérdida de radio, será:

$$\frac{\Delta R}{R} := \epsilon_a = 0.056\%$$

ANÁLISIS DE RELAJACIÓN DEL TERRENO (PANET Y GUENOT, 1982)

PROYECTO: Túnel de Sorbas

TERRENO: YD_A, yesos y/o anhidritas

DATOS DE ENTRADA

$$z := 87.02\text{m}$$

Profundidad del eje en la sección de cálculo.

$$a := 5\text{m}$$

Radio del túnel.

$$h := 39.9\text{m}$$

Profundidad del nivel freático.

$$d := 10\text{m}$$

Distancia desde el frente de excavación hasta la colocación del sostenimiento.

$$G_{YDa} := 1382.443\text{MPa}$$

Módulo transversal de la formación YD_A.

$$\sigma_0 := 2159.84\text{kPa}$$

Tensión inicial a la profundidad del eje.

El desplazamiento radial a una distancia d del frente, u_d , se expresa mediante interpolación entre los valores para distancia cero (u_0) y distancia infinita (u_∞), según:

$$u_d = u_0 + \alpha_d \cdot (u_{\text{inf}} - u_0)$$

El desplazamiento a distancia infinita del frente corresponde al caso de deformación plana:

$$u_{\text{inf}} = a \cdot \frac{\sigma_0}{2 \cdot G_{YDa}} \quad u_{\text{inf}} := a \cdot \frac{\sigma_0}{2 \cdot G_{YDa}} = 3.906 \times 10^{-3} \text{ m}$$

El desplazamiento radial junto al frente resulta un 25% de este valor:

$$u_0 := 0.25 u_{\text{inf}} = 9.765 \times 10^{-4} \text{ m}$$

Por su parte, el coeficiente de interpolación se ajusta aproximadamente mediante:

$$\alpha_d := 1 - \left(\frac{0.75}{0.75 + \frac{d}{a}} \right)^2 = 0.926$$

Así, el desplazamiento radial a una distancia d del frente, será:

$$u_d := u_0 + \alpha_d \cdot (u_{\text{inf}} - u_0) = 3.688 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Por lo tanto, la convergencia de la sección será:

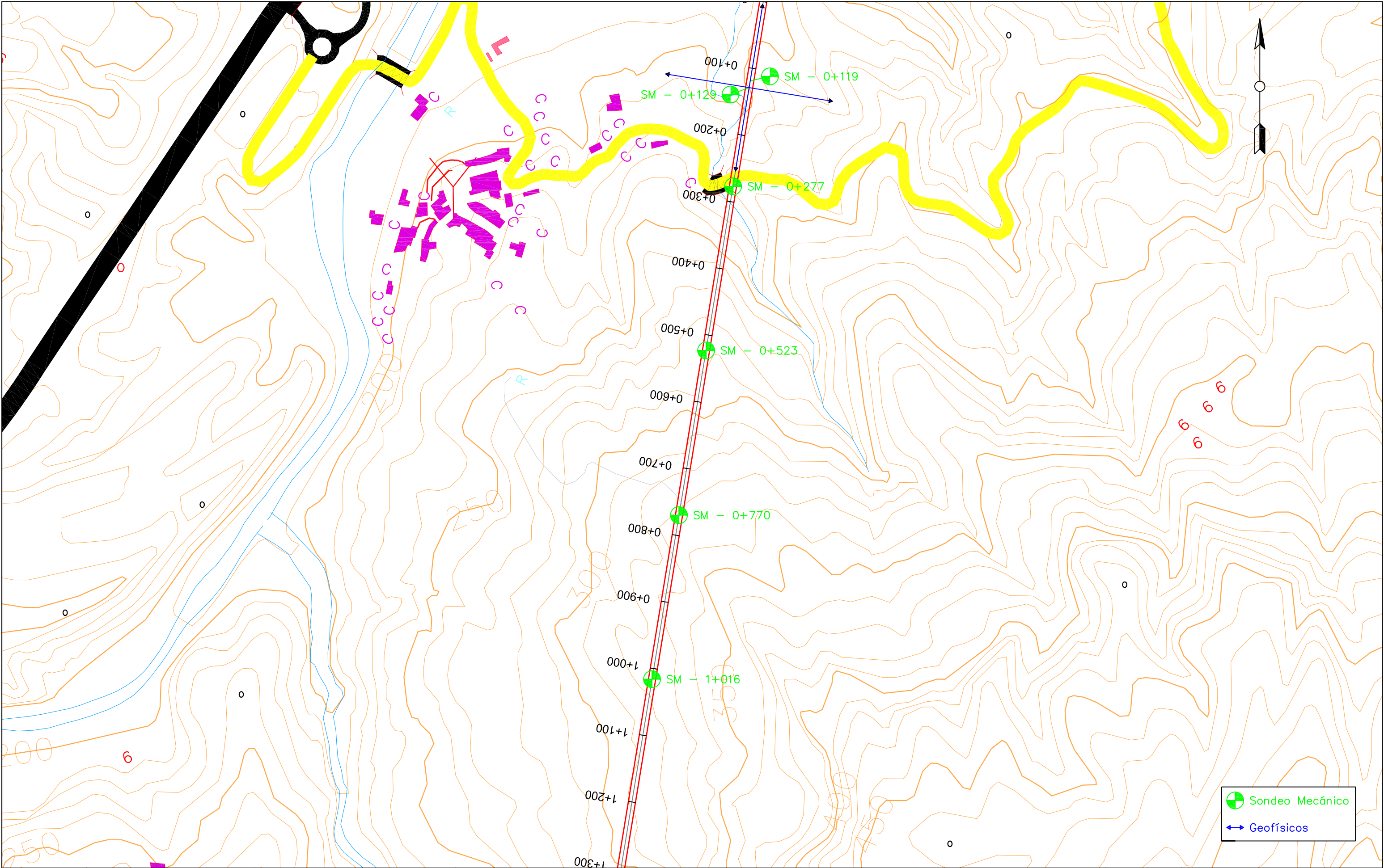
$$\epsilon_a := \frac{u_d}{a} = 0.000738$$

Y, en consecuencia, la pérdida volumétrica de sección, expresada en pérdida de radio, será:

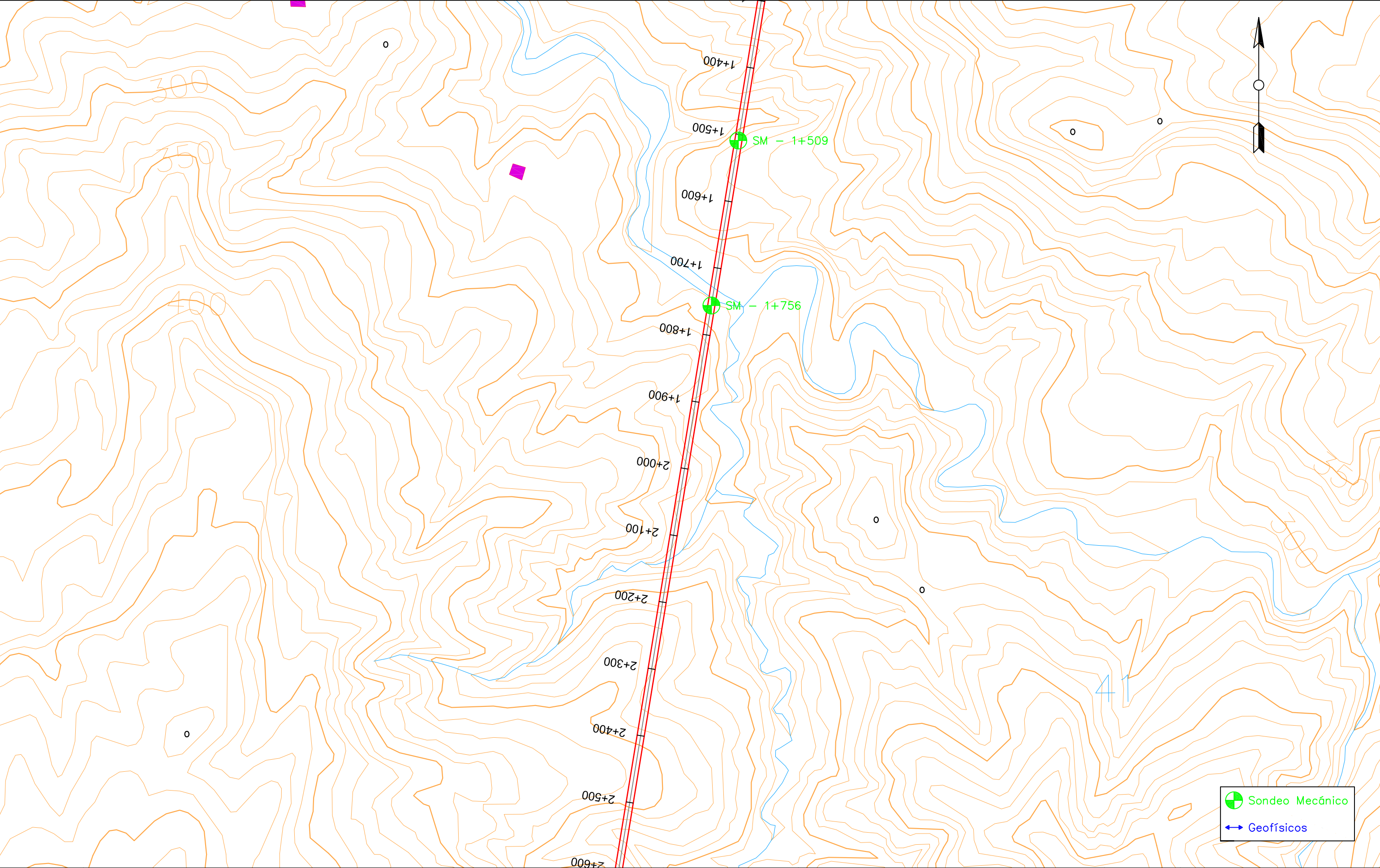
$$\frac{\Delta R}{R} := \epsilon_a = 0.074\%$$

ÍNDICE DE PLANOS

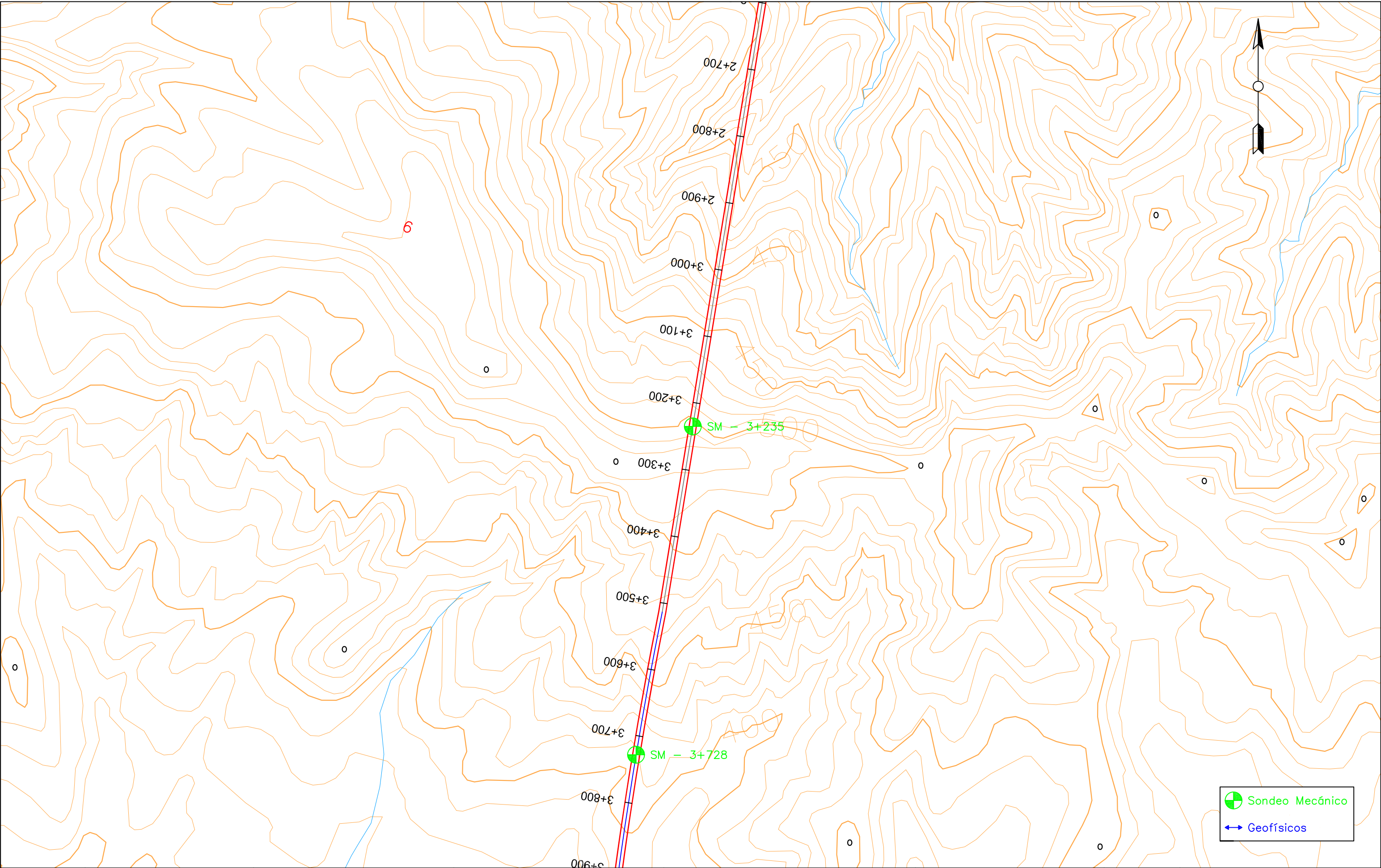
- PLANO 1.1 – PLANTA
- PLANO 1.2 – PERFIL LONGITUDINAL
- PLANO 2.1 – ÁREAS ATRAVESADAS POR EL TRAZADO PROPUESTO
- PLANO 2.2 – FORMACIONES SUPERFICIALES
- PLANO 2.3 – CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS
- PLANO 2.4 – CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS
- PLANO 3.1 – PERFIL GEOTÉCNICO



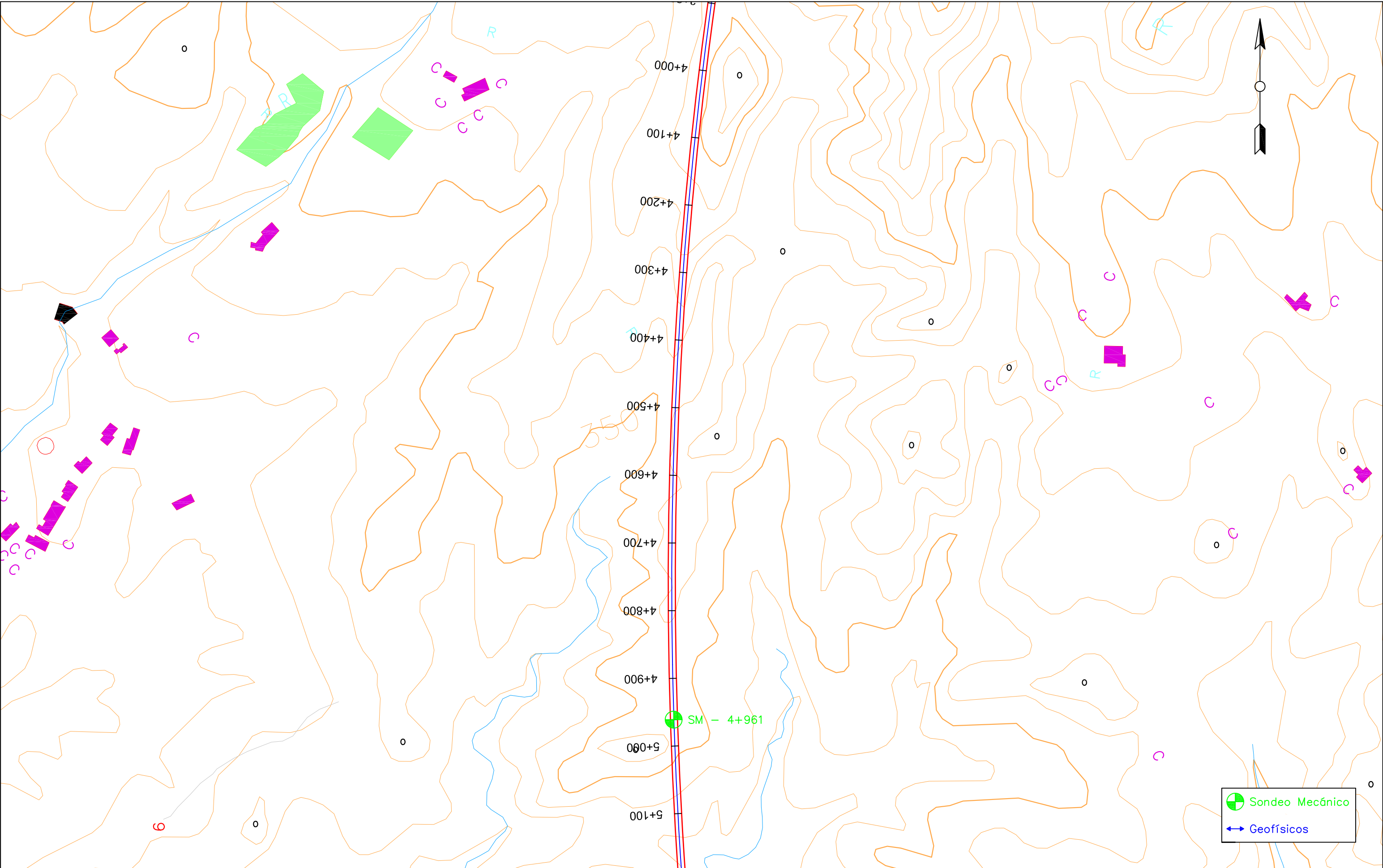
	ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS UNIVERSIDAD DE CANTABRIA	TIPO ESTUDIO GEOTÉCNICO	TITULO CORREDOR MEDITERRÁNEO DE ALTA VELOCIDAD TÚNEL DE SORBAS	TERMINO MUNICIPAL SORBAS	TITULO DEL PLANO PLANTA	AUTOR MIKEL MARTÍNEZ ALASTUEY	ESCALA 1:5000	FECHA JUNIO 2017	PLANO 1.1
				PROVINCIA ALMERÍA					HOJA 1 DE 6



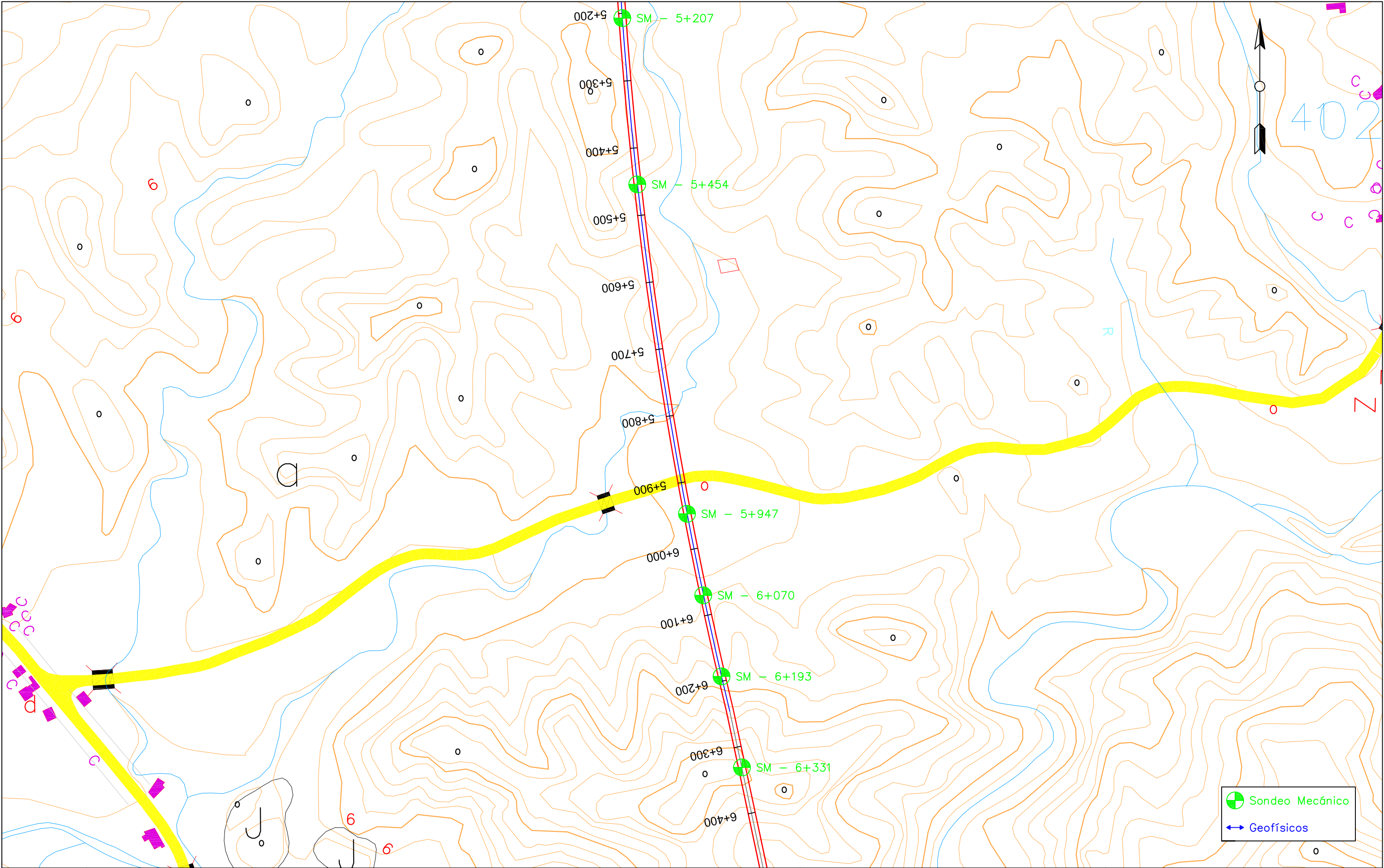
	ESCUOLA TECNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS UNIVERSIDAD DE CANTABRIA	TIPO ESTUDIO GEOTÉCNICO	TITULO CORREDOR MEDITERRÁNEO DE ALTA VELOCIDAD TÚNEL DE SORBAS	TERMINO MUNICIPAL SORBAS	TITULO DEL PLANO PLANTA	AUTOR MIKEL MARTÍNEZ ALASTUEY	ESCALA 1:5000	FECHA JUNIO 2017	PLANO 1.1
				PROVINCIA ALMERÍA					HOJA 2 DE 6



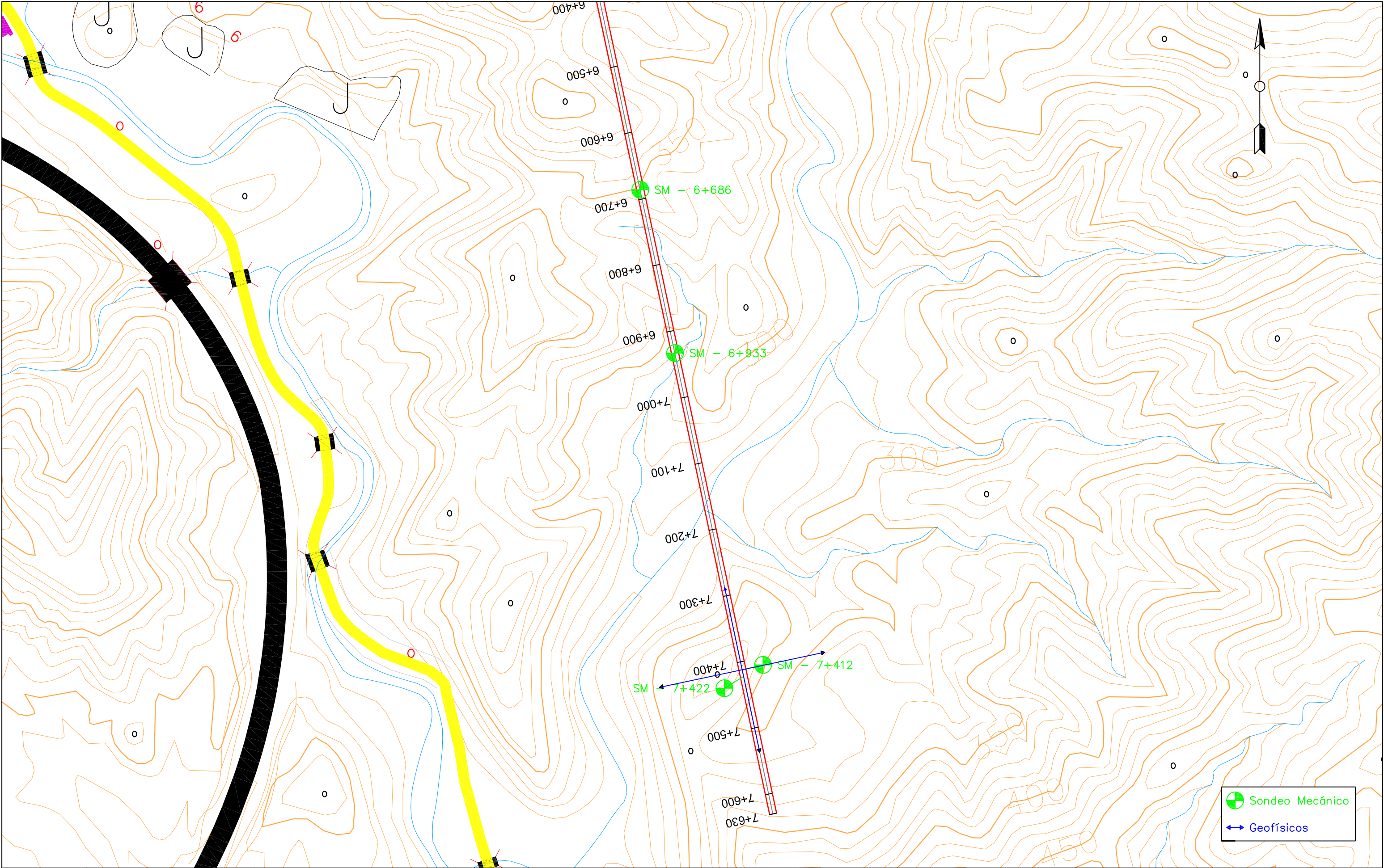
	ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS UNIVERSIDAD DE CANTABRIA	TIPO ESTUDIO GEOTÉCNICO	TITULO CORREDOR MEDITERRÁNEO DE ALTA VELOCIDAD TÚNEL DE SORBAS	TERMINO MUNICIPAL SORBAS	TITULO DEL PLANO PLANTA	AUTOR MIKEL MARTÍNEZ ALASTUEY	ESCALA 1:5000	FECHA JUNIO 2017	PLANO 1.1
				PROVINCIA ALMERÍA					HOJA 3 DE 6



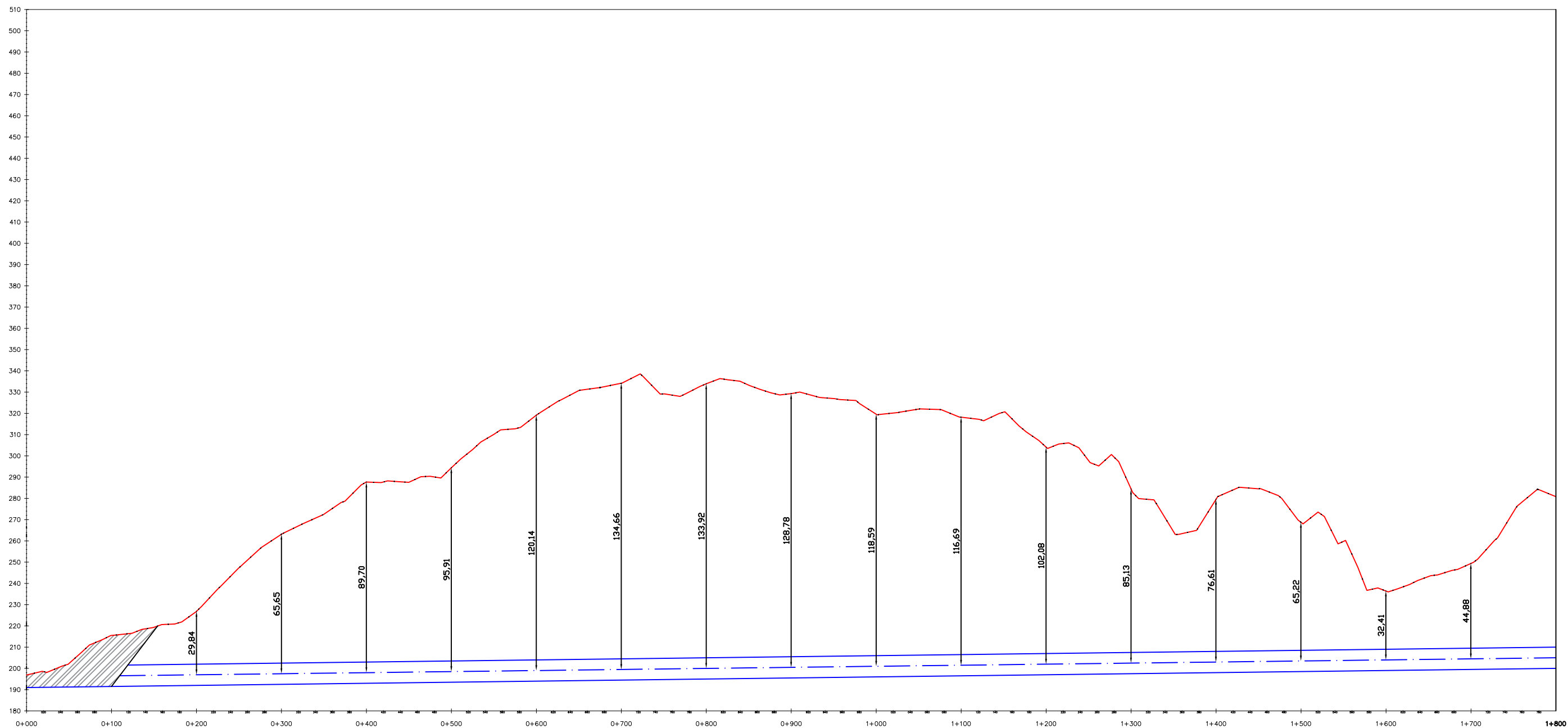
	ESCUOLA TECNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS UNIVERSIDAD DE CANTABRIA	TIPO ESTUDIO GEOTÉCNICO	TITULO CORREDOR MEDITERRÁNEO DE ALTA VELOCIDAD TÚNEL DE SORBAS	TERMINO MUNICIPAL SORBAS	TITULO DEL PLANO PLANTA	AUTOR MIKEL MARTÍNEZ ALASTUEY	ESCALA 1:5000	FECHA JUNIO 2017	PLANO 1.1
				PROVINCIA ALMERÍA					HOJA 4 DE 6



	ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS UNIVERSIDAD DE CANTABRIA	TIPO ESTUDIO GEOTÉCNICO	TITULO CORREDOR MEDITERRÁNEO DE ALTA VELOCIDAD TÚNEL DE SORBAS	TERMINO MUNICIPAL SORBAS	TITULO DEL PLANO PLANTA	AUTOR MIKEL MARTÍNEZ ALASTUEY	ESCALA 1:5000	FECHA JUNIO 2017	PLANO 1.1
				PROVINCIA ALMERÍA					HOJA 5 DE 6



	ESCUOLA TECNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS UNIVERSIDAD DE CANTABRIA	TIPO ESTUDIO GEOTÉCNICO	TITULO CORREDOR MEDITERRÁNEO DE ALTA VELOCIDAD TÚNEL DE SORBAS	TERMINO MUNICIPAL SORBAS	TITULO DEL PLANO PLANTA	AUTOR MIKEL MARTÍNEZ ALASTUEY	ESCALA 1:5000	FECHA JUNIO 2017	PLANO 1.1
				PROVINCIA ALMERÍA					HOJA 6 DE 6



ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

TIPO
ESTUDIO GEOTÉCNICO

TITULO
CORREDOR MEDITERRÁNEO DE ALTA VELOCIDAD
TÚNEL DE SORBAS

TERMINO MUNICIPAL
SORBAS
PROVINCIA
ALMERIA

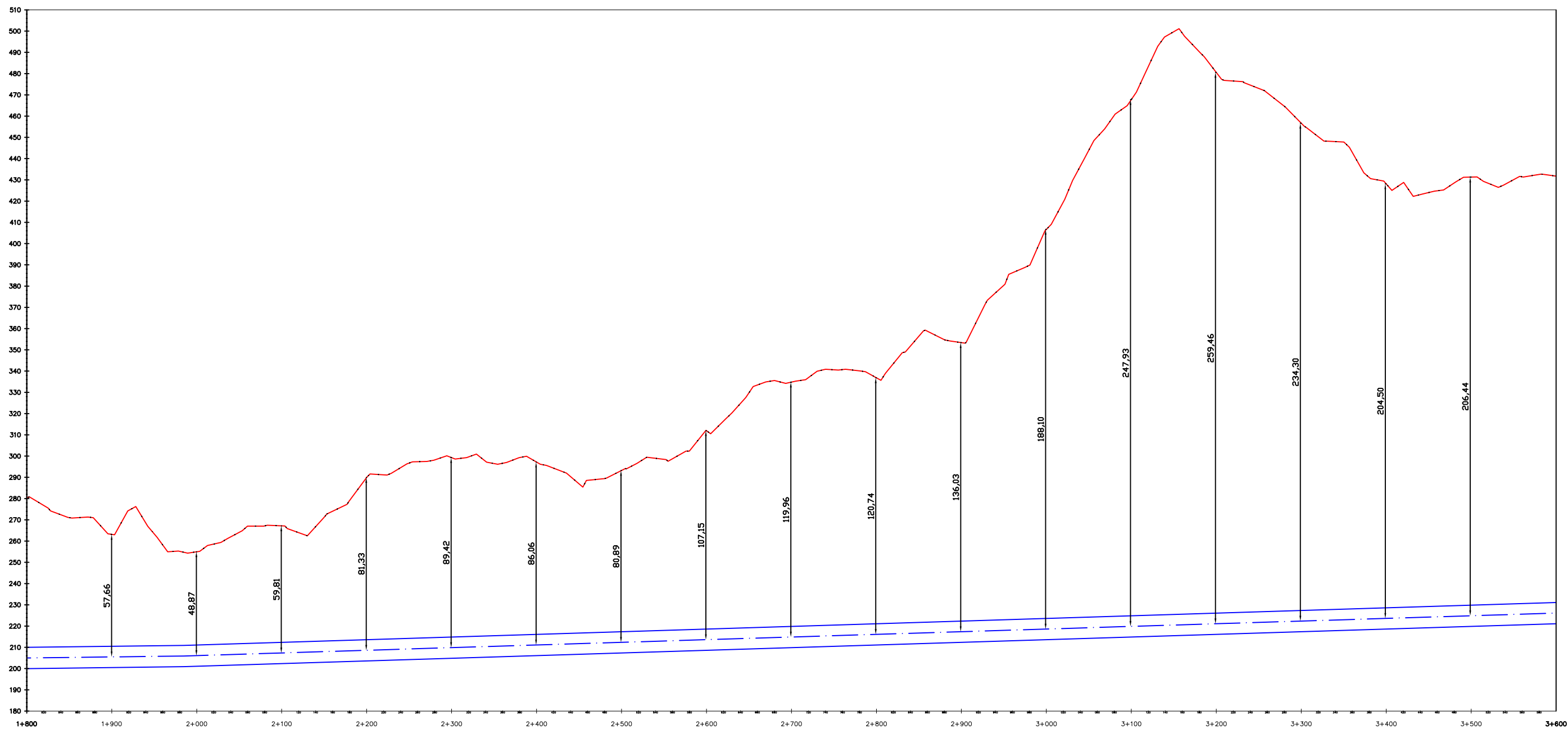
TITULO DEL PLANO
PERFIL LONGITUDINAL

AUTOR
MIKEL
MARTINEZ ALASTUEY

ESCALA
1:5000

FECHA
JUNIO 2017

PLANO 1.2
HOJA 01 DE 05



ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

TIPO
ESTUDIO GEOTÉCNICO

TITULO
CORREDOR MEDITERRÁNEO DE ALTA VELOCIDAD
TÚNEL DE SORBAS

TERMINO MUNICIPAL
SORBAS
PROVINCIA
ALMERIA

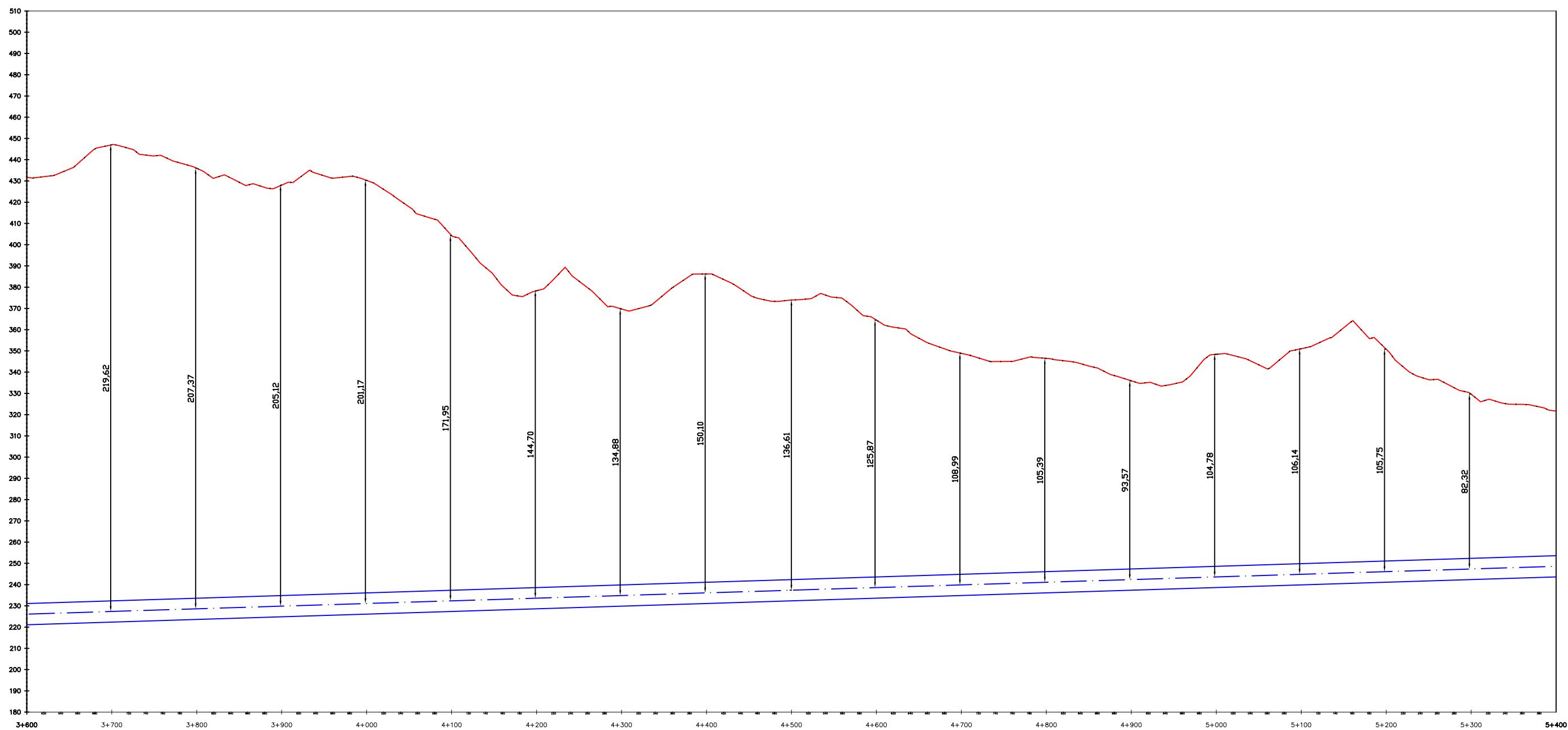
TITULO DEL PLANO
PERFIL LONGITUDINAL

AUTOR
MIKEL
MARTINEZ ALASTUEY

ESCALA
1:5000

FECHA
JUNIO 2017

PLANO 1.2
HOJA 02 DE 05



ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

TIPO
ESTUDIO GEOTÉCNICO

TITULO
CORREDOR MEDITERRÁNEO DE ALTA VELOCIDAD
TÚNEL DE SORBAS

TERMINO MUNICIPAL
SORBAS
PROVINCIA
ALMERIA

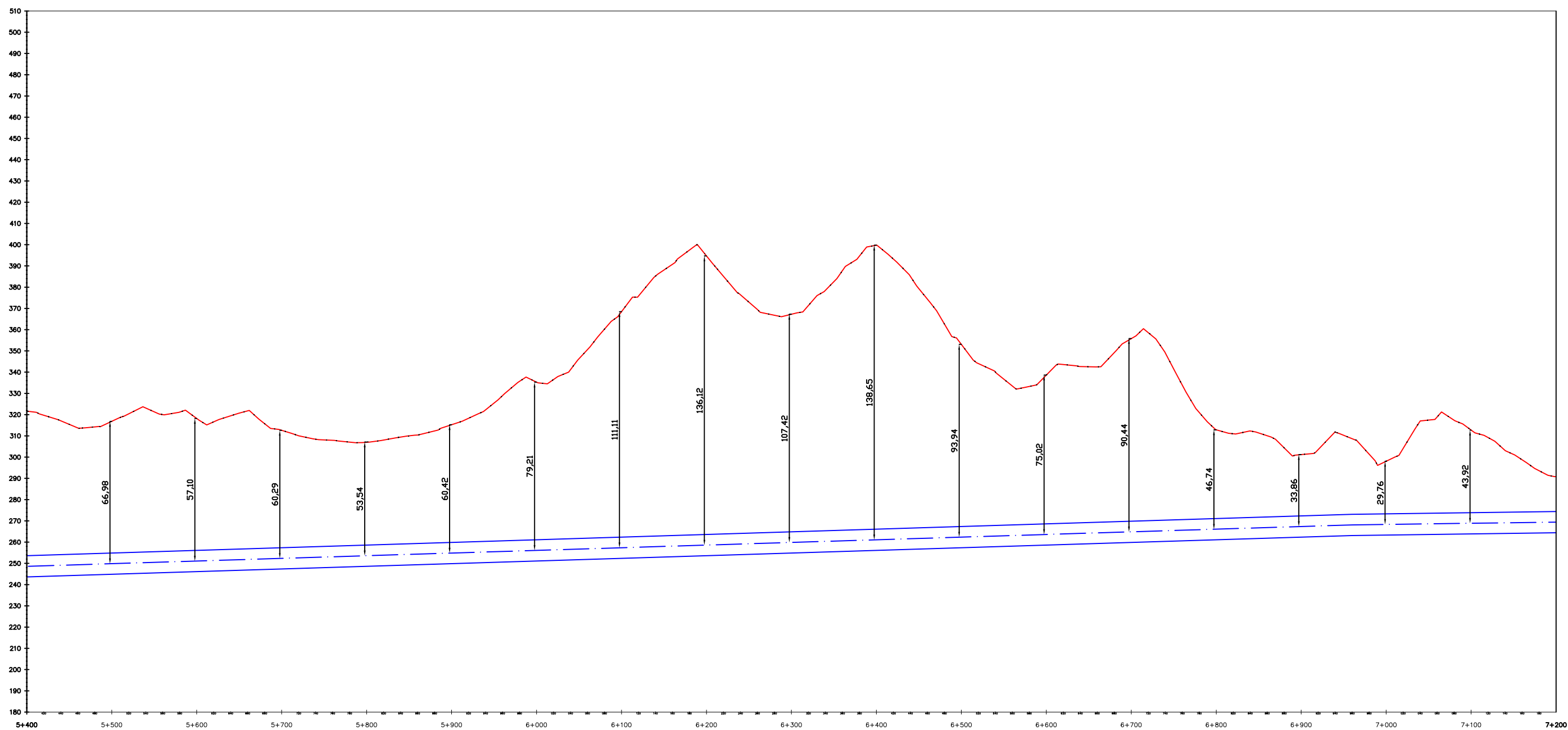
TITULO DEL PLANO
PERFIL LONGITUDINAL

AUTOR
MIKEL
MARTINEZ ALASTUEY

ESCALA
1:5000

FECHA
JUNIO 2017

PLANO 1.2
HOJA 03 DE 05



ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

TIPO
ESTUDIO GEOTÉCNICO

TITULO
CORREDOR MEDITERRÁNEO DE ALTA VELOCIDAD
TÚNEL DE SORBAS

TERMINO MUNICIPAL
SORBAS
PROVINCIA
ALMERIA

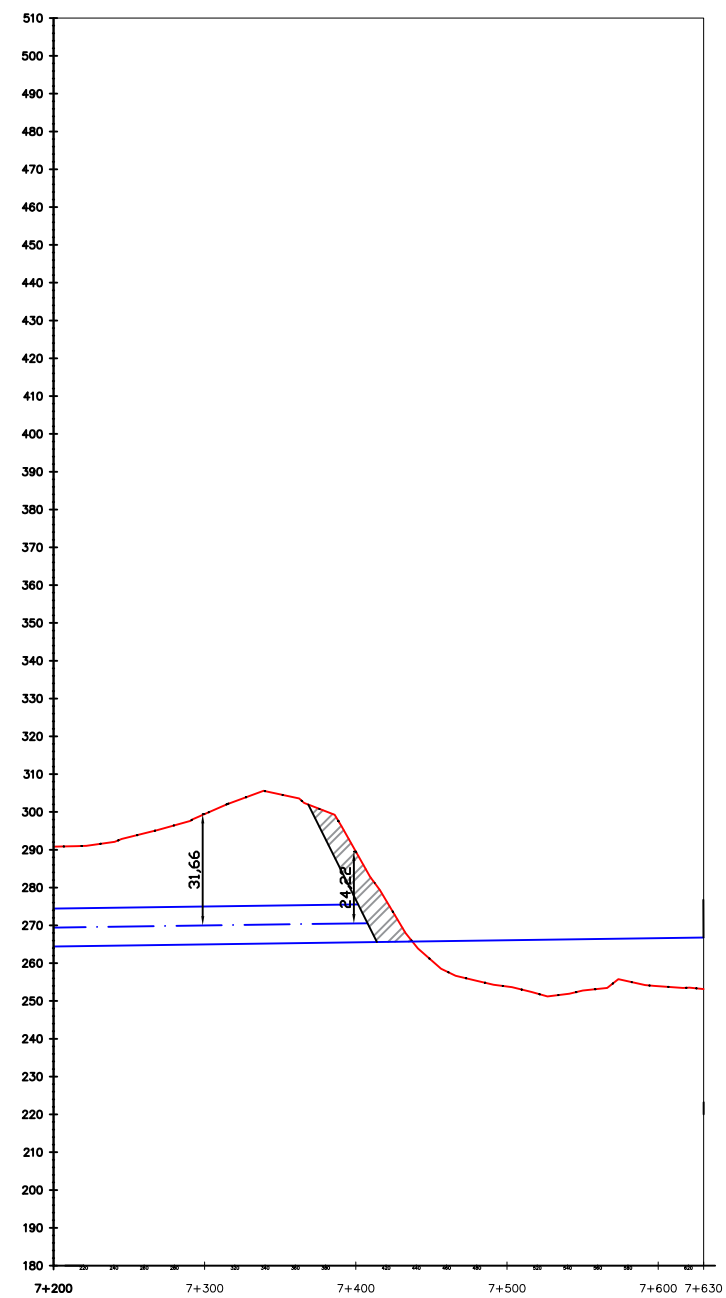
TITULO DEL PLANO
PERFIL LONGITUDINAL

AUTOR
MIKEL
MARTINEZ ALASTUEY

ESCALA
1:5000

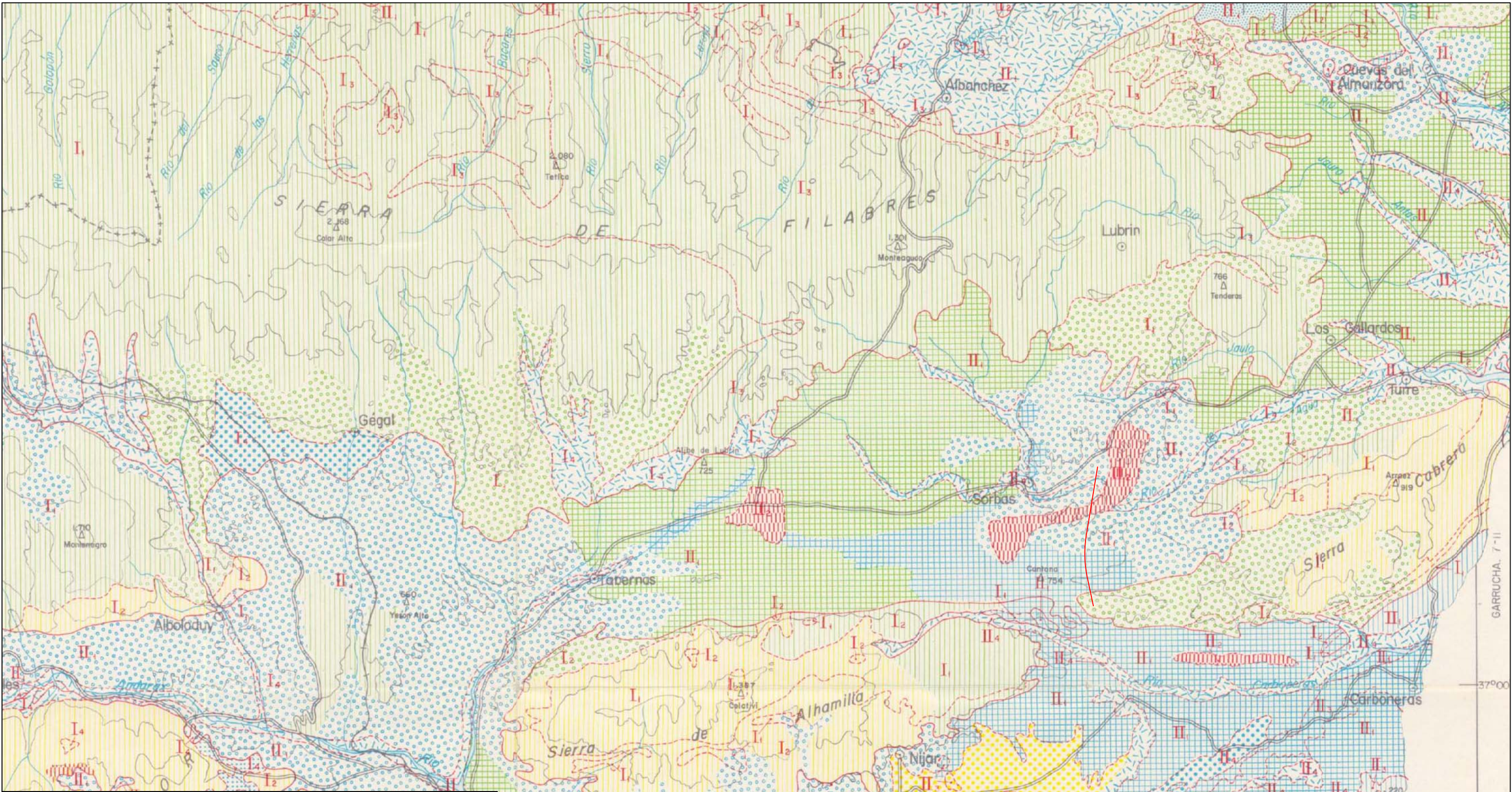
FECHA
JUNIO 2017

PLANO 1.2
HOJA 04 DE 05



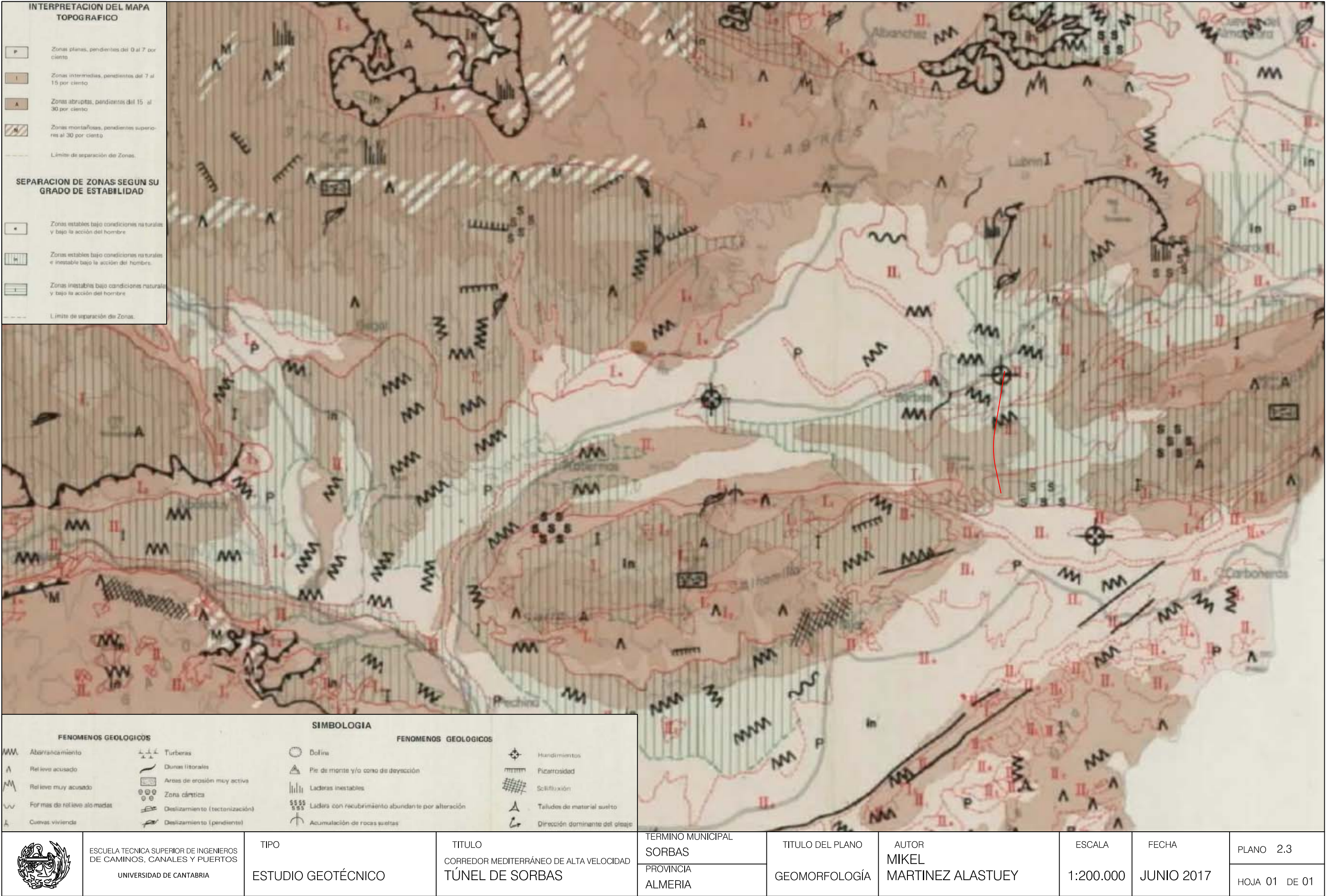
COTA (msnm)

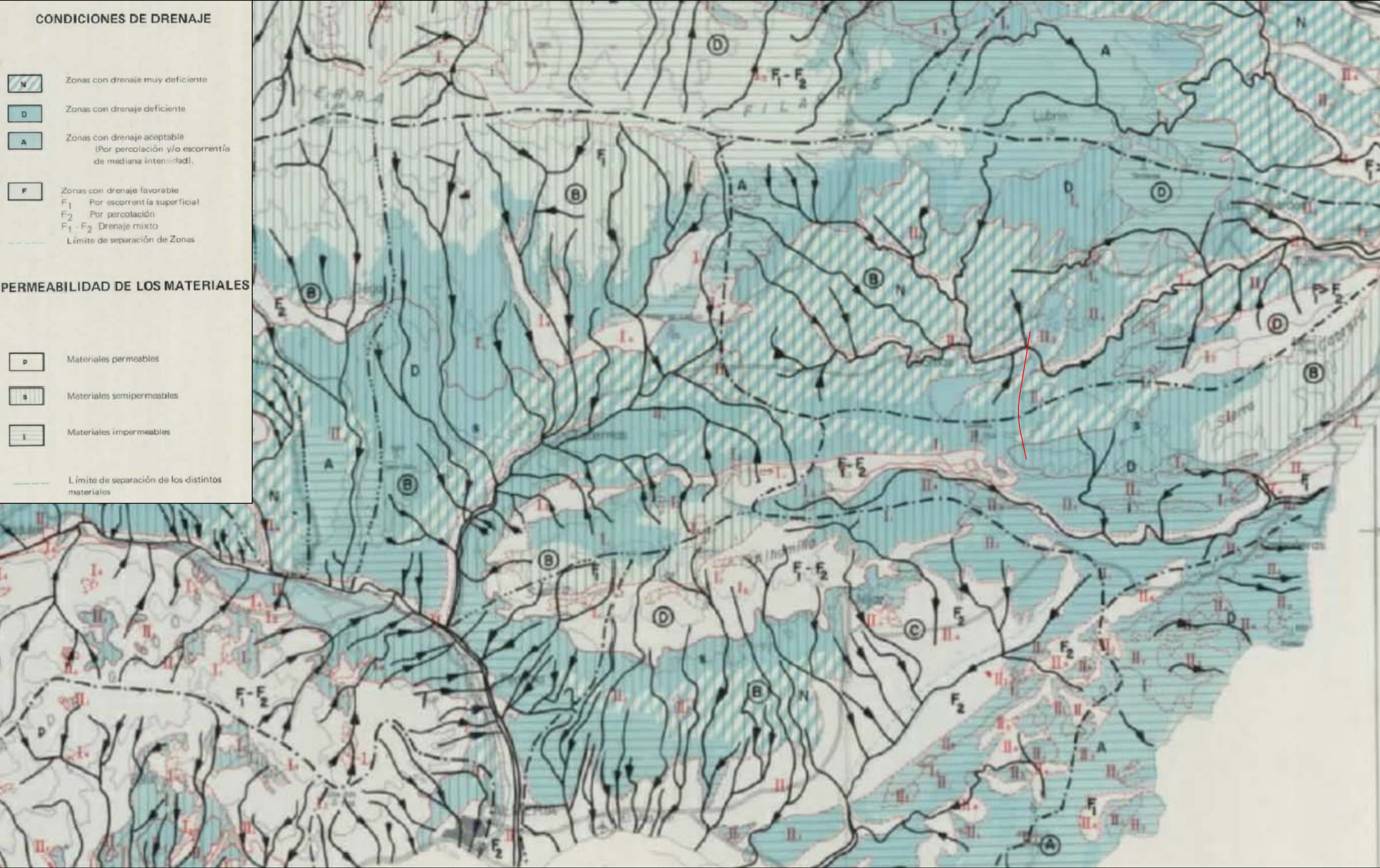
	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS UNIVERSIDAD DE CANTABRIA	TIPO ESTUDIO GEOTÉCNICO	TÍTULO CORREDOR MEDITERRÁNEO DE ALTA VELOCIDAD TÚNEL DE SORBAS	TERMINO MUNICIPAL SORBAS	TÍTULO DEL PLANO PERFIL LONGITUDINAL	AUTOR MIKEL MARTINEZ ALASTUEY	ESCALA 1:5000	FECHA JUNIO 2017	PLANO 1.2
				PROVINCIA ALMERIA					HOJA 05 DE 05



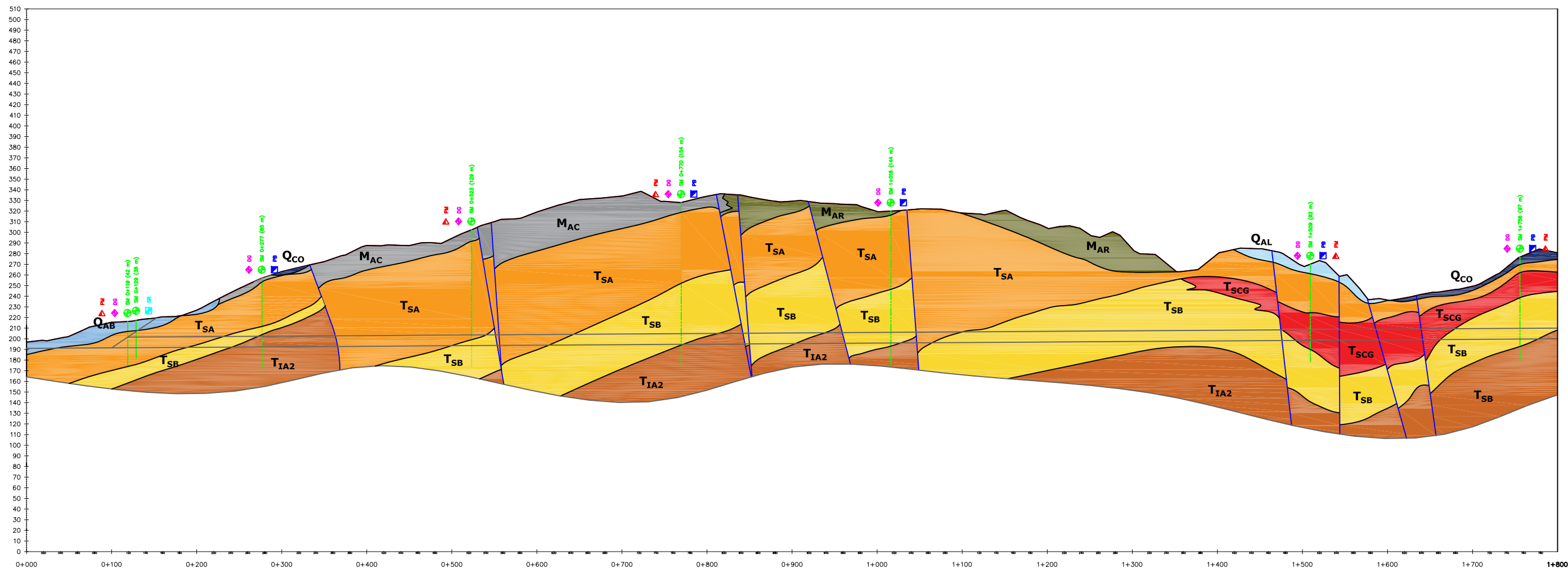
LEYENDA			
CONDICIONES CONSTRUCTIVAS FAVORABLES	CONDICIONES CONSTRUCTIVAS ACEPTABLES	CONDICIONES CONSTRUCTIVAS DESFAVORABLES	
Problemas de tipo geomorfológico	Problemas de tipo geológico	Problemas de tipo geológico y geomorfológico	Problemas de tipo geológico y geomorfológico
Problemas de tipo hidrogeológico	Problemas de tipo hidrogeológico	Problemas de tipo hidrogeológico y geomorfológico	Problemas de tipo hidrogeológico y geomorfológico
Problemas de tipo geomorfológico y geológico	Problemas de tipo geomorfológico y geológico	Problemas de tipo geomorfológico y geológico	Problemas de tipo geomorfológico y geológico
Problemas de tipo geomorfológico y geológico	Problemas de tipo geomorfológico y geológico	Problemas de tipo geomorfológico y geológico	Problemas de tipo geomorfológico y geológico

	ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS UNIVERSIDAD DE CANTABRIA	TIPO ESTUDIO GEOTÉCNICO	TITULO CORREDOR MEDITERRÁNEO DE ALTA VELOCIDAD TÚNEL DE SORBAS	TERMINO MUNICIPAL SORBAS	TITULO DEL PLANO ÁREA DE ESTUDIO	AUTOR MIKEL MARTINEZ ALASTUEY	ESCALA 1:200.000	FECHA JUNIO 2017	PLANO 2.1
				PROVINCIA ALMERIA					HOJA 01 DE 01



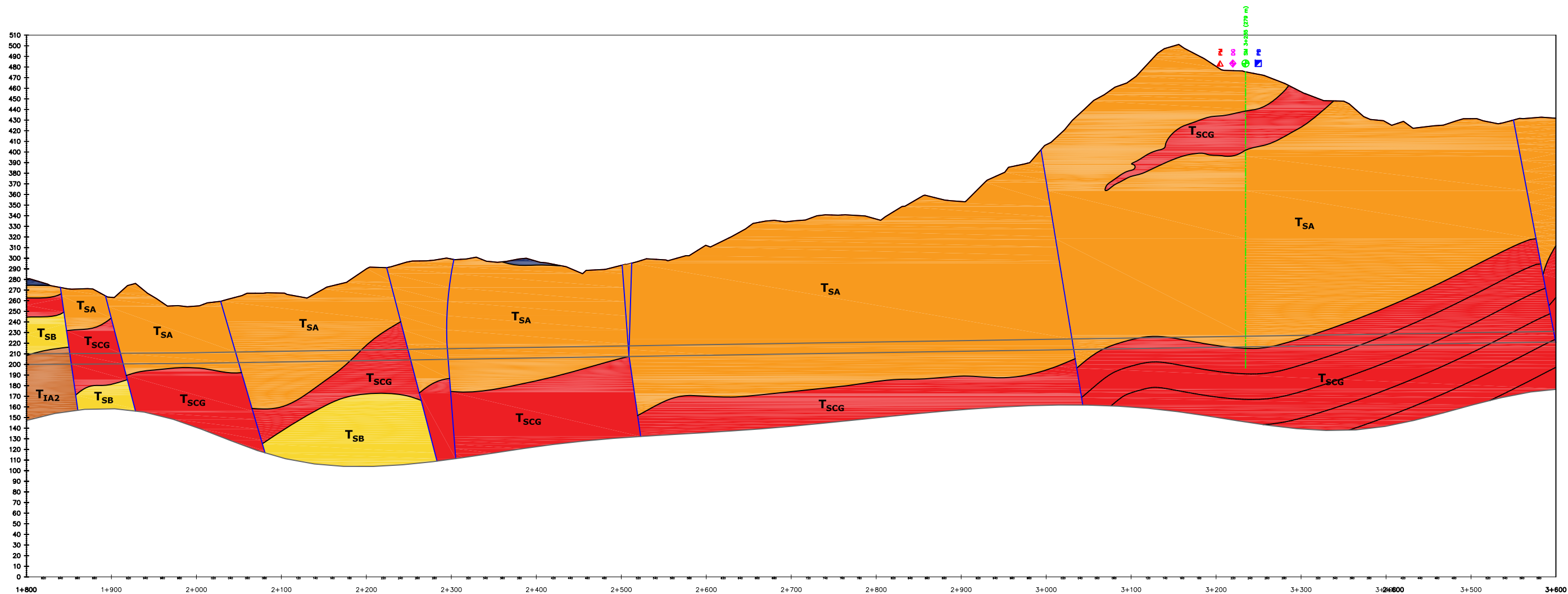


	ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS UNIVERSIDAD DE CANTABRIA	TIPO ESTUDIO GEOTÉCNICO	TITULO CORREDOR MEDITERRÁNEO DE ALTA VELOCIDAD TÚNEL DE SORBAS	TERMINO MUNICIPAL SORBAS	TITULO DEL PLANO HIDROGEOLOGÍA	AUTOR MIKEL MARTINEZ ALASTUEY	ESCALA 1:200.000	FECHA JUNIO 2017	PLANO 2.4
				PROVINCIA ALMERIA					HOJA 01 DE 01



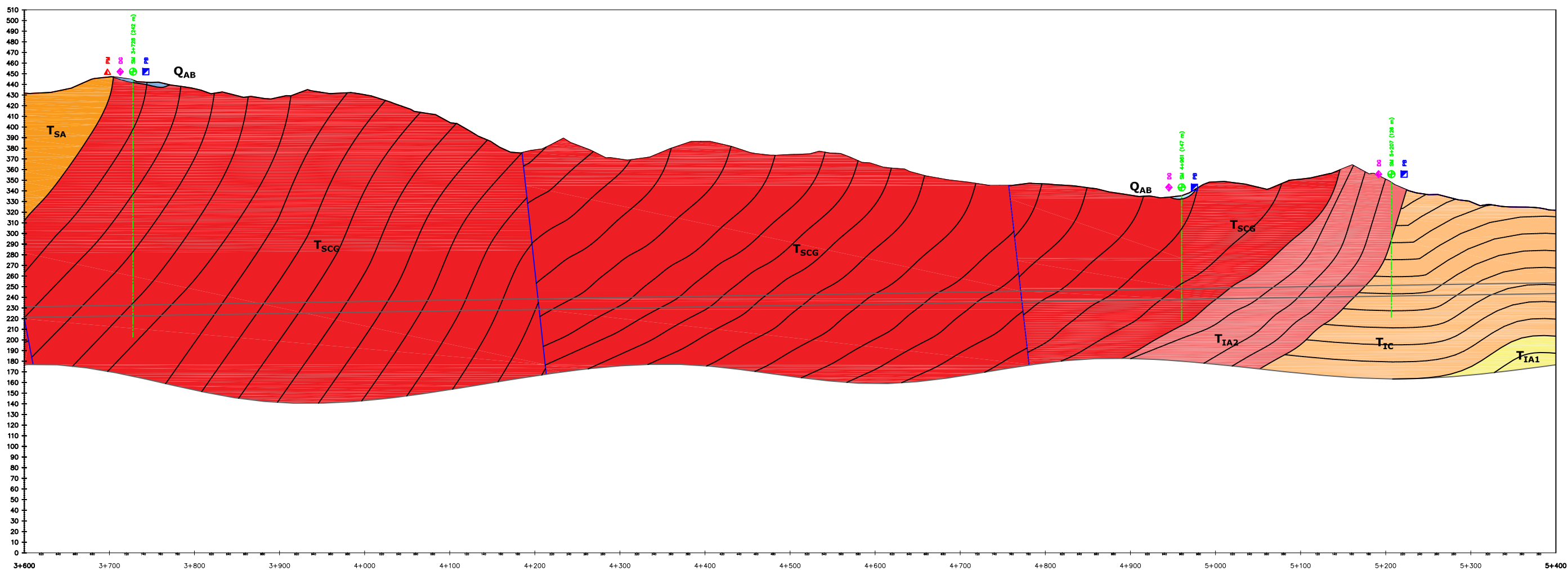
-  SONDEO MECÁNICO (SM)
-  PRESIÓMETRO (PM)
-  SÍSMICA DE REFRACCIÓN (SR)
-  ENSAYO DE PERMEABILIDAD (PB)
-  DIAGRAFÍA (DG)

	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS UNIVERSIDAD DE CANTABRIA	TIPO ESTUDIO GEOTÉCNICO	TÍTULO CORREDOR MEDITERRÁNEO DE ALTA VELOCIDAD TÚNEL DE SORBAS	TERMINO MUNICIPAL SORBAS	TÍTULO DEL PLANO PERFIL GEOTÉCNICO	AUTOR MIKEL MARTINEZ ALASTUEY	ESCALA 1:5000	FECHA JUNIO 2017	PLANO 3.1
				PROVINCIA ALMERIA					HOJA 01 DE 05



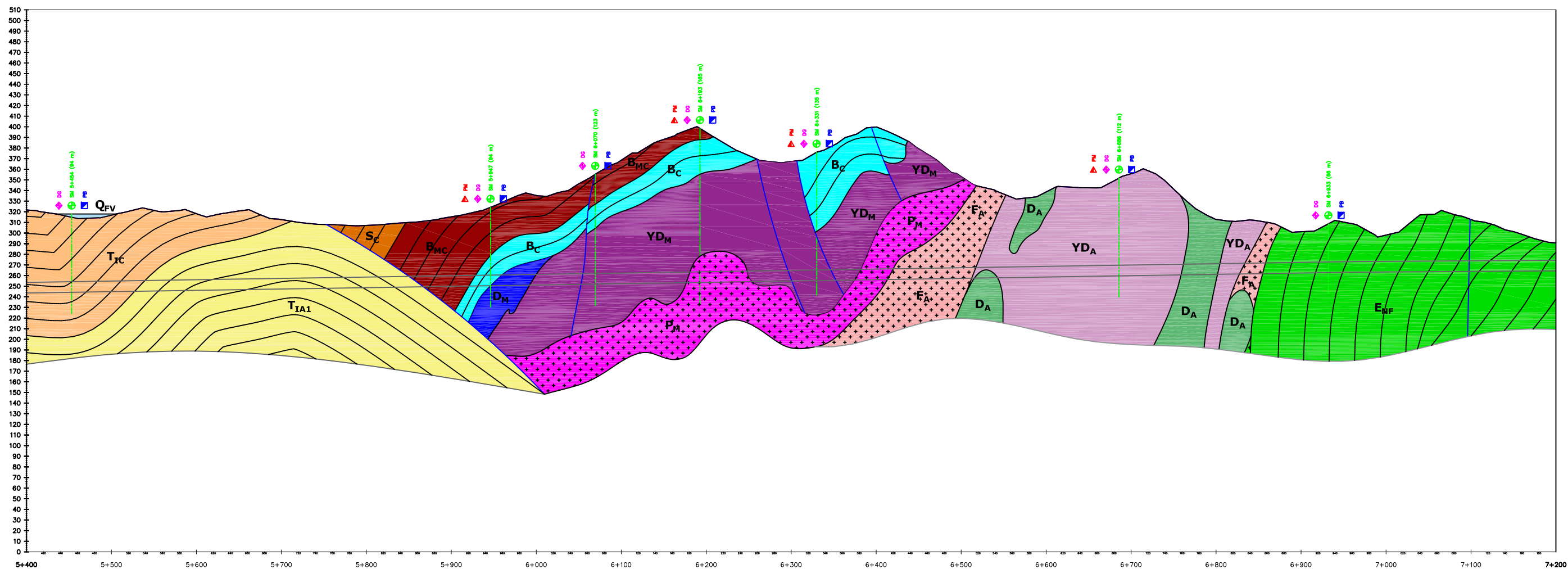
- SONDEO MECÁNICO (SM)
- PRESIÓMETRO (PM)
- SÍSMICA DE REFRACCIÓN (SR)
- ENSAYO DE PERMEABILIDAD (PB)
- DIAGRAFÍA (DG)

	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS UNIVERSIDAD DE CANTABRIA	TIPO ESTUDIO GEOTÉCNICO	TÍTULO CORREDOR MEDITERRÁNEO DE ALTA VELOCIDAD TÚNEL DE SORBAS	TERMINO MUNICIPAL SORBAS	TÍTULO DEL PLANO PERFIL GEOTÉCNICO	AUTOR MIKEL MARTINEZ ALASTUEY	ESCALA 1:5000	FECHA JUNIO 2017	PLANO 3.1
				PROVINCIA ALMERIA					HOJA 02 DE 05



- SONDEO MECÁNICO (SM)
- PRESIÓMETRO (PM)
- SÍSMICA DE REFRACCIÓN (SR)
- ENSAYO DE PERMEABILIDAD (PB)
- DIAGRAFÍA (DG)

	ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS UNIVERSIDAD DE CANTABRIA	TIPO ESTUDIO GEOTÉCNICO	TITULO CORREDOR MEDITERRÁNEO DE ALTA VELOCIDAD TÚNEL DE SORBAS	TERMINO MUNICIPAL SORBAS	TITULO DEL PLANO PERFIL GEOTÉCNICO	AUTOR MIKEL MARTINEZ ALASTUEY	ESCALA 1:5000	FECHA JUNIO 2017	PLANO 3.1
				PROVINCIA ALMERIA					HOJA 03 DE 05



- SONDEO MECÁNICO (SM)
- PRESIÓMETRO (PM)
- SÍSMICA DE REFRACCIÓN (SR)
- ENSAYO DE PERMEABILIDAD (PB)
- DIAGRAFÍA (DG)

	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS UNIVERSIDAD DE CANTABRIA	TIPO ESTUDIO GEOTÉCNICO	TÍTULO CORREDOR MEDITERRÁNEO DE ALTA VELOCIDAD TÚNEL DE SORBAS	TERMINO MUNICIPAL SORBAS	TÍTULO DEL PLANO PERFIL GEOTÉCNICO	AUTOR MIKEL MARTINEZ ALASTUEY	ESCALA 1:5000	FECHA JUNIO 2017	PLANO 3.1
				PROVINCIA ALMERIA					HOJA 04 DE 05

