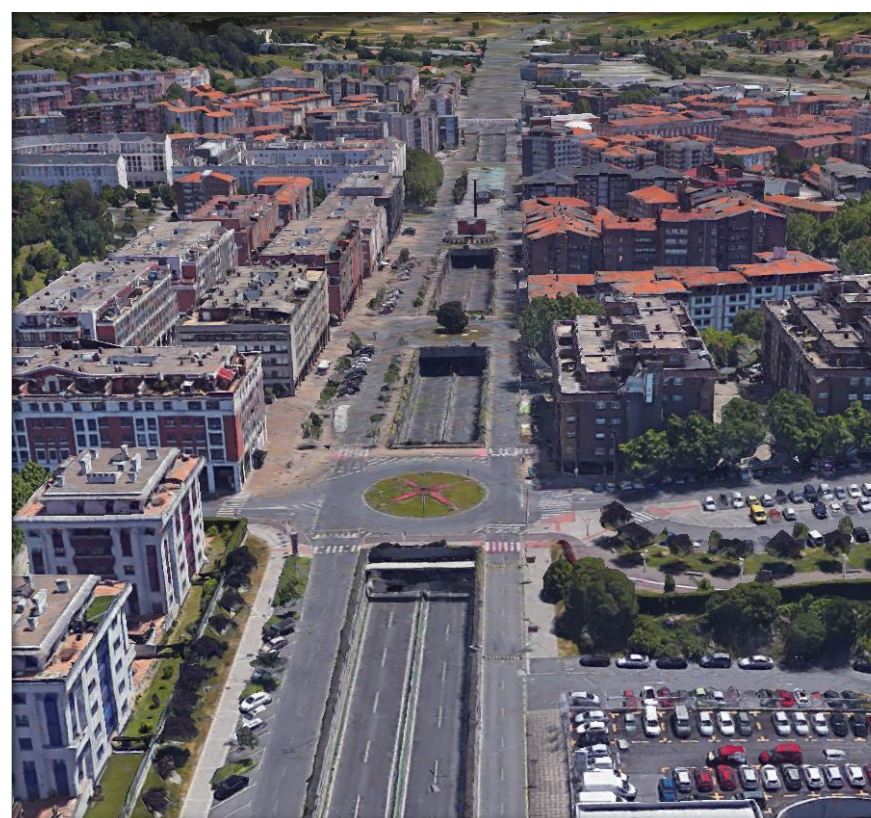


PROYECTO CONSTRUCTIVO DE ADECUACIÓN DEL TÚNEL DE LA AVANZADA EN LA BI-637
Nº EX.: 2020/004/073/10

PROYECTO DE ADECUACIÓN DEL TÚNEL DE LA AVANZADA EN LA BI-637



Anejo 02 - Geología y geotecnia

Control de firmas

Realizado	Aprobado
Joaquín Souto	Jorge Alcalde
Fecha y Firma	Fecha y Firma
No precisa firma si está aprobado electrónicamente mediante ruta	

Información del Documento	
Código Documento	P0210L59-ATA-AP-GT-AN-0002
Referencia	P0210L59

Registro de cambios

[illegible]

INDICE	
1	INTRODUCCIÓN..... 5
1.1	Objeto 5
1.2	Alcance 5
2	DOCUMENTOS DE REFERENCIA 5
2.1	Documentos de antecedentes 5
2.2	Resumen de la información geotécnica 6
3	GEOLOGÍA 7
3.1	Generalidades 7
3.2	Geomorfología 7
3.3	Estratigrafía 7
3.4	Tectónica..... 8
3.5	Hidrología e hidrogeología 8
4	GEOTECNIA 9
4.1	Antecedentes 9
4.1.1	Proyecto de Construcción del Desdoblamiento de la carretera de La Avanzada (1985).... 9
4.1.2	Proyecto Actualizado Pasarela de Artaza (2007) 11
4.1.3	Anteproyecto de Ampliación y adecuación del Túnel de La Avanzada (2008)..... 11
4.1.4	Proyecto básico de apantallamiento acústico en las bocas de La Avanzada (Junio de 2014). 12
4.2	Modelo geotécnico 13
4.2.1	Resultados sondeos 13
4.2.2	Resultados penetrómetros 13
4.2.3	Ensayos de laboratorio 16
4.2.4	Problemática geotécnica..... 20
4.2.5	Síntesis de niveles geotécnicos 20
4.2.6	Nivel freático 22
4.2.7	Parámetros geotécnicos 24
4.2.8	Perfil geotécnico 26
4.2.9	Cimentaciones estructuras 27
4.2.10	Datos geotécnicos adicionales 27

APÉNDICE 1: PLANOS.

FIGURAS

Figura 1: Vista de la cartografía geológica regional del área de proyecto con las unidades de sustrato: (1) FDC (2) FDA 7
Figura 2: Principales acumulaciones de suelos en el área de La Avanzada 8
Figura 3: Principales estructuras en la zona del cuadrante 61-II (Bilbao)..... 8
Figura 4: Principales cauces y zonas inundables en la zona de Leioa..... 9
Figura 5: Plano de situación de elementos de campaña de investigación geotécnica (PC. Desdoblamiento de la Carretera de la Avanzada. Fuente: PC. Desdoblamiento de la Carretera de la Avanzada. Anejo nº 2: Geotecnia y materiales. (1985) 9
Figura 6: Registro penetrómetros tipo Borros P-6 (Rechazo a 6.6. m), P-7 (5.6 m) y P-8 (7.0). Fuente: P.C. Desdoblamiento de la Carretera de la Avanzada Anejo nº 2: Geotecnia y materiales) (1985) 10
Figura 7: Zona de vaguada con suelos arcillosos en el perfil geotécnico de La Avanzada. Fuente: P.C. Desdoblamiento de la Carretera de la Avanzada, 1985. 11
Figura 8: Representación de perfil geológico de la Pasarela de Artaza 11
Figura 9: Ensayos DPSH (2012) frente a Borros (B-10/B-11) (1983). 15
Figura 10: DPSH (2012) frente a borros (1983). Ensayos P-3/B-12. 15
Figura 11: Resultados ensayos DPSH (N20 vs profundidad) 15
Figura 12: DPSH frente a Qu en sondeo SR-1..... 16
Figura 13: Evaluación de las correlaciones DPSH/qu y DPSH/SPT. 16
Figura 14: Carta de plasticidad. Fuente: Elaboración propia. 17
Figura 15: Resultados ensayos de corte 18
Figura 16: Ensayos de resistencia a tracción. 19
Figura 17: Extensión de la zona dunar en la cartografía de Gobierno Vasco (1999) 20
Figura 18: Niveles y grados de meteorización..... 21
Figura 19: Testigos del sondeo SR-1: Niveles y grados de meteorización 21
Figura 20: Registro del agotamiento y recuperación del nivel freático en el SR-1 (2012) 22
Figura 21: Evolución del nivel freático en SR-1 22
Figura 22: Evolución del nivel freático en los sondeos 22
Figura 23: Comportamiento en los bombeos 23
Figura 24: Posición del Nivel freático (1983). Fuente: Elaboración propia a partir de estudio geotécnico del proyecto de Desdoblamiento. 23
Figura 25: Nivel freático (2012)- Fuente: Elaboración propia a partir de datos del estudio geotécnico. 23
Figura 26: Posición estimada del Nivel freático 24
Figura 27: SPT Relación de la resistencia al corte sin drenaje (su) con la profundidad. 24
Figura 28: Distribución de la resistencia al corte sin drenaje (su): Correlación qu-su en el estudio actual. 25
Figura 29: Envolventes de rotura para el FDC..... 25
Figura 30: Perfil geotécnico: datos de partida..... 26
Figura 31: Perfil geotécnico (continuación). Datos de partida..... 26
Figura 32: Perfil geotécnico: niveles 26
Figura 33: Perfil geotécnico: niveles (continuación)..... 27

TABLAS

Tabla 1: Resumen de antecedentes técnico-administrativos	6
Tabla 2: Información geotécnica de los antecedentes del área. Fuente: Elaboración propia.....	7
Tabla 3: Información geotécnica del Proyecto de Construcción del Desdoblamiento de la carretera de La Avanzada (1985) Fuente: Elaboración propia	10
Tabla 4: Parámetros geotécnicos para el cálculo de muros bandeja. Fuente: Elaboración propia a partir del Anteproyecto de Ampliación y adecuación del Túnel de La Avanzada (2008)	11
Tabla 5: Parámetros geotécnicos para el cálculo de muros pantalla. Fuente: Elaboración propia a partir del Anteproyecto de Ampliación y adecuación del Túnel de La Avanzada (2008).....	12
Tabla 6: Características principales de las perforaciones y correspondencia con penetrómetros. Fuente: Proyecto básico de apantallamiento acústico en las bocas de La Avanzada (Junio de 2014).....	12
Tabla 7: Coordenadas de los elementos de reconocimiento (SR= sondeo/ P=penetrómetro). Sistema de coordenadas ETRS89 UTM30. Fuente: Proyecto básico de apantallamiento acústico en las bocas de La Avanzada (Junio de 2014).	12
Tabla 8: Características principales de las muestras extraídas (MI/SPT/MA y TP) en las perforaciones realizadas. Fuente: Proyecto básico de apantallamiento acústico en las bocas de La Avanzada (Junio de 2014).....	13
Tabla 9: Elementos de investigación del año 1983 en la zona de estudio. Fuente: Proyecto básico de apantallamiento acústico en las bocas de La Avanzada (Junio de 2014).	13
Tabla 10: Correspondencia sondeos/penetrómetros. Fuente: Proyecto básico de apantallamiento acústico en las bocas de La Avanzada (Junio de 2014).	13
Tabla 11: Coordenadas penetrómetros. Fuente: Proyecto básico de apantallamiento acústico en las bocas de La Avanzada (Junio de 2014).	13
Tabla 12: Coordenadas penetrómetros. Fuente: Proyecto básico de apantallamiento acústico en las bocas de La Avanzada (Junio de 2014).	14
Tabla 13: Distancia entre pares sondeo /penetro y posición del techo de roca (cotas absolutas y diferencias). Fuente: Proyecto básico de apantallamiento acústico en las bocas de La Avanzada (Junio de 2014).....	14
Tabla 14: Resultados N20 por nivel geotécnico. Fuente: Proyecto básico de apantallamiento acústico en las bocas de La Avanzada (Junio de 2014).	14
Tabla 15: Información geotécnica del Proyecto de Construcción del Desdoblamiento de la carretera de La Avanzada (1985) Fuente: Elaboración propia a partir del anejo nº 2 del PC (1985)	17
Tabla 16: Ensayos en suelos (identificación).....	17
Tabla 17: Ensayos en suelos (tensodeformacional).	18
Tabla 18: Resultados ensayos de corte	18
Tabla 19: Ensayos en suelos (químicos)	18
Tabla 20: Ensayos en roca. Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de ensayos de EG (2012)	19
Tabla 21: Determinación densidad y humedad en roca	19
Tabla 22: Grados de meteorización (I-V). Escala D.G. Moye. Fuente: Proyecto básico de apantallamiento acústico en las bocas de La Avanzada (Junio de 2014).....	20
Tabla 23: Niveles geotécnicos reconocidos en los sondeos. Fuente: Proyecto básico de apantallamiento acústico en las bocas de La Avanzada (Junio de 2014).....	22
Tabla 24: Correspondencia sondeos/penetrómetros. Fuente: Proyecto	23
Tabla 25: Resultados ensayo de agresividad agua (2012).....	23
Tabla 26: Parámetros geotécnicos deducidos en el estudio geotécnico. Fuente: modificado a partir de [14] 25	

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Objeto

El 3 de marzo de este año 2020 la Diputación Foral de Bizkaia publicó el primer documento para licitar los trabajos de ASISTENCIA TÉCNICA PARA LA REDACCIÓN DEL PROYECTO CONSTRUCTIVO DE ADECUACIÓN DEL TÚNEL DE LA AVANZADA EN LA BI- 637, siendo adjudicados el 22 de septiembre del 2020 a SENER, INGENIERÍA Y SISTEMAS, S.A. y formalizándose mediante la resolución 2020-004-073-10.

El objeto del presente documento es definir el contexto geológico del proyecto y su interpretación geotécnica orientada a los trabajos y al análisis de la interacción de las estructuras con el sustrato. El proyecto contempla cubrir las zonas descubiertas, o también denominadas huecos, del trazado en trinchera de la vía BI-637 y ampliar la cubrición con una cubierta en ambas entradas al paso inferior.

Se consideran las siguientes estructuras:

1. Cubiertas: En este tipo de estructuras se requiere evaluar la capacidad de los materiales en los que apoyan los muros existentes, en caso de que se demuestre que dichos muros no presentan una capacidad adecuada se plantearán soluciones de refuerzo. Se consideran dos situaciones en función de las solicitudes:
 - a. Cubierta Tipo 1: Corresponde al cubrimiento de los huecos y estará solicitada para la sobrecarga por tráfico rodado y peatonal. Se considera una estructura de vigas de hormigón pretensado con forma de “I”, sobre la que se apoyaría una losa de hormigón armado.
 - b. Cubierta Tipo 2: Correspondiente a las bocas del túnel y con una solicitud restringida únicamente para la actuación de labores de conservación.
2. Galerías de evacuación: éstas se sitúan a ambos lados del túnel y requieren una estructura de contención.
3. Cuartos técnicos ubicados en ambas bocas del túnel.

1.2 Alcance

El alcance de este documento es definir las condiciones geológico-geotécnicas para el desarrollo, a nivel de Proyecto, de las soluciones de ampliación de la cubierta de la carretera Bi-367 (La Avanzada) en su paso por el municipio de Leioa. Las recomendaciones geotécnicas se realizan a partir de los datos de antecedentes disponibles que incluyen entre otros el proyecto de desdoblamiento de la carretera de La Avanzada (trabajos realizados en 1983) y las investigaciones realizadas en 2012 (relativos al Proyecto de construcción de ampliación y adecuación del túnel de la avanzada y aumento de la capacidad en la Bi-637 sentido Getxo-Urbe Kosta, tramo: Landabarri-Artaza-Bolue). Se incluye también una recomendación de los datos geotécnicos que se consideran necesarios para el desarrollo del Proyecto.

2 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

2.1 Documentos de antecedentes

Sobre el área del actual proyecto se han elaborado una serie de documentos.

REF.	DOCUMENTO o CONVENIO	ADMINISTRACIÓN	CONSULTOR	AÑO
[1]	PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DEL DESDOBLAMIENTO DE LA CARRETERA DE LA AVANZADA	Diputación Foral de Bizkaia	Ingeniería de Autopistas, S.A.	1985
[2]	PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE LA CANALIZACIÓN DEL ARROYO ELEXALDE	Diputación Foral de Bizkaia	Ingeniería de Autopistas	1984
[3]	DESDOBLAMIENTO DE LA CARRETERA DE LA AVANZADA Y CANALIZACIÓN DEL ARROYO ELEXALDE.	Diputación Foral de Bizkaia	Ingeniería de Autopistas	1984
[4]	MODIFICACIONES TÉCNICAS AL PROYECTO DE DESDOBLAMIENTO DE LA CARRETERA DE LA AVANZADA TRAMO C	Diputación Foral de Bizkaia	Ingeniería de Autopistas	1988
[5]	PUESTA EN SERVICIO DEL TÚNEL		-	1989
[6]	MODIFICACIONES TÉCNICAS AL PROYECTO DE DESDOBLAMIENTO DE LA CARRETERA DE LA AVANZADA Y CANALIZACIÓN DEL ARROYO ELEXALDE. TRAMO B	Diputación Foral de Bizkaia	Ingeniería de Autopistas	1990
[7]	PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DEL CORREDOR URIBE KOSTA. SUBTRAMO ARTAZA - BOLUE	Diputación Foral de Bizkaia	TYPSA	1993
[8]	ESTUDIO PREVIO Y DE FACTIBILIDAD PARA LA MEJORA DE DIVERSOS ELEMENTOS DEL DESDOBLAMIENTO DE LA AVANZADA	Ayuntamiento de Leioa	PROCISA-J.P.C. Ingenieros	1999
[9]	PROYECTO DE REGENERACIÓN FUNCIONAL DE LA CARRETERA DE LA AVANZADA. TRAMO: ENLACE DE LA UNIVERSIDAD - ROTONDA DE ARTATZA	Diputación Foral de Bizkaia	Dair Ingenieros, S.L.	2000
[10]	ESTUDIO ACÚSTICO EN DETALLE PARA LA AUTOVÍA DE LA AVANZADA A SU PASO POR EL MUNICIPIO DE LEIOA	Diputación Foral de Bizkaia	AAC Centro de Acústica Aplicada S.L. y Basoinsa S.L.	2003
[11]	ESTUDIO DE NUEVA VIALIDAD EN EL BULEVAR DE LEIOA	Diputación Foral de Bizkaia	UTE ZAINDU BI	2004
[12]	CONVENIO POR UNA ACCESIBILIDAD SOSTENIBLE Y UNA MEJORA DE LA CALIDAD DE VIDA EN EL CENTRO URBANO DE LEIOA	Diputación Foral de Bizkaia y Ayuntamiento de Leioa	-	2005
[13]	PROYECTO ACTUALIZADO DE LA PASARELA DE ARTAZA	Diputación Foral de Bizkaia	DAIR Ingenieros, S.L.	2007
[14]	ANTEPROYECTO DE AMPLIACIÓN Y ADECUACIÓN DEL TÚNEL DE LA AVANZADA	Diputación Foral de Bizkaia	SENER, INGENIERÍA Y SISTEMAS, S.A.	2008

Anejo 02 - Geología y geotecnia

REF.	DOCUMENTO o CONVENIO	ADMINISTRACIÓN	CONSULTOR	AÑO
[15]	ANTEPROYECTO DE CUBIERTA DE LA BOCA ESTE DEL TÚNEL DE LA AVANZADA	Diputación Foral de Bizkaia	SENER, INGENIERÍA Y SISTEMAS, S.A.	2009
[16]	ASPECTOS A TENER EN CUENTA PARA LA REDACCIÓN DE UN PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN BASADO EN EL ANTEPROYECTO DE AMPLIACIÓN Y ADECUACIÓN DEL TÚNEL DE LA AVANZADA	Ayuntamiento de Leioa	IDOM	2009
[17]	INFORME DE AUDITORIA DEL TÚNEL DE LA AVANZADA	Diputación Foral de Bizkaia	Organismo de Inspección de Túneles de Bizkaia - OITB	2011
[18]	ESTUDIO DE SOLUCIONES Y PROYECTO BÁSICO DE APANTALLAMIENTO ACÚSTICO EN LAS BOCAS DEL TÚNEL DE LA AVANZADA DE LA BI-637	Diputación Foral de Bizkaia	SENER, INGENIERÍA Y SISTEMAS, S.A.	2014
[19]	INFORME SOBRE APANTALLAMIENTO ACÚSTICO EN LAS BOCAS DEL TÚNEL DE LA AVANZADA	Diputación Foral de Bizkaia	Organismo de Inspección de Túneles de Bizkaia - OITB	2014
[20]	PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE AMPLIACIÓN Y ADECUACIÓN DEL TÚNEL DE LA AVANZADA EN LA BI-637 FASE I: MEDIDAS DE APANTALLAMIENTO ACÚSTICO	Diputación Foral de Bizkaia	SENER, INGENIERÍA Y SISTEMAS, S.A.	2016

Tabla 1: Resumen de antecedentes técnico-administrativos

Fuente: Elaboración propia

2.2 Resumen de la información geotécnica

Un resumen de la información geotécnica contenida se presenta en la siguiente tabla.

Título proyecto	Año	Anejo/ Apartado Geología/ geotecnia Observaciones alcance	Sondeos	Penetrómetros	Catas	Otras observaciones
Proyecto de Construcción del Desdoblamiento de la carretera de La Avanzada	1985	Anejo nº 2 Geología y geotecnia Geología y geotecnia Investigación centrada en estructuras.	10/ 190.75 m	18/ 127.6 metros.	--	Planta topográfica de situación de sondeos. Perfil geotécnico aproximado.
Modificaciones técnicas al proyecto de desdoblamiento de la carretera de La Avanzada y canalización del arroyo Elexalde. Tramo B	1993	Se encuentra en papel: Memoria y Anejos varios: Trazado, Firmes, Iluminación y Estructuras. En la entrada de los cálculos se indica: Pantalla: suelo (arcillas/arenas arcillosas) $\phi=25^\circ / c=0,5T/m^2. \gamma=2,00 T/m^3$. Roca $\phi=30^\circ / c=5T/m^2. \gamma=2,00 T/m^3$				

Título proyecto	Año	Anejo/ Apartado Geología/ geotecnia Observaciones alcance	Sondeos	Penetrómetros	Catas	Otras observaciones
		Nivel freático a la -6,3 metros (posible recomendación de mechnales)				
Estudio previo y de factibilidad para la mejora de diversos elementos del Desdoblamiento de La Avanzada	1999	Definición a nivel de estudio previo para la creación: 1.- Pasarela en el Barrio de Artaza 2.- Idem en el barrio de Mendibile. 3.- Cubrición del tramo en trinchera del tronco del Desdoblamiento de la Avanzada.				
Proyecto de Regeneración Funcional de la carretera de La Avanzada: Tramo: Enlace de la Universidad - Rotonda de Artatza	2000	Dadas las características de las obras proyectadas no se consideraba necesario disponer de información geotécnica salvo para el tramo de colector de drenaje del Enlace de la Universidad (sistema de perforación horizontal). Sin embargo, no se realizó investigación de campo, ya que el Consorcio de Aguas, Abastecimiento y Saneamiento había llevado a cabo recientemente una perforación similar con una traza relativamente próxima, algo más profunda, con motivo de las obras del Interceptor Lamiako-Udondo-Universidad y se disponía de la información relativa a este proyecto. No obstante, se consideraba conveniente la realización de un sondeo de contraste previo a la ejecución de las obras, sobre la traza del colector proyectado.				No se dispone del apéndice: REPRODUCCIÓN PARCIAL DEL CONTENIDO DEL ANEJO DE GEOLOGÍA Y GEOTECNIA DEL PROYECTO DEL INTERCEPTOR LAMIAKO-UDONDO-UNIVERSIDAD
Estudio acústico en detalle para la autovía de La Avanzada a su paso por el municipio de Leioa	2003					
Estudio de nueva vialidad en el Bulevar de Leioa	2004					

Título proyecto	Año	Anejo/ Apartado Geología/ geotecnia Observaciones alcance	Sondeos	Penetrómetros	Catas	Otras observaciones
Convenio por una accesibilidad sostenible y una mejora de la calidad de vida en el centro urbano de Leioa	2005					
Proyecto actualizado de la pasarela de Artaza en La Avanzada	2007	Disponible	7 sondeos			
Anteproyecto de Ampliación y adecuación del Túnel de La Avanzada	2008	Dispone de un anejo de efectos sísmicos (anejo nº 2) (ac<0.04g) y de un anejo (nº 4) de estructuras donde se revisa el cálculo de los muros y de la estructura de cubrición.				
Aspectos a tener en cuenta para la redacción de un Proyecto de Construcción basado en el Anteproyecto de ampliación y adecuación del Túnel de La Avanzada	2009					
Anteproyecto de cubierta de la boca este del Túnel de La Avanzada	2009	Dispone de un anejo (nº 3) de cálculo de estructuras				
Proyecto básico de apantallamiento acústico en las bocas de La Avanzada" redactado por SENER para el Departamento de Obras Públicas y Transportes	2014		seis sondeos con un total de 61.4 metros perforados	cuatro penetrómetros de tipo DPSH con un total de 33.8 metros		Campaña en 2012. Control Nivel freático

Tabla 2: Información geotécnica de los antecedentes del área. Fuente: Elaboración propia

Para las siguientes fases de proyecto se dispondrá de una campaña geotécnica específica, aunque a efectos de estudio de soluciones se considera que la información disponible es válida para definir las unidades y problemática geotécnica.

3 GEOLOGÍA

3.1 Generalidades

Geológicamente la zona se encuadra dentro de la Cuenca Vasco- Cantábrica (CVC), concretamente en la Unidad Oiz, Sector Gernika, y está compuesta por dos materiales alternantes de edad Cretácico Superior, denominados como Flysch Detrítico Arenoso (FDA) y Flysch Detrítico Carbonatado (FDC). Estos materiales constituyen una amplia banda de dirección N-120°-E con buzamientos muy verticalizados hacia el NE. Dada su competencia variable se han erosionado intensamente en algunos de los paquetes y sobre todo la zona del contacto entre ellos.

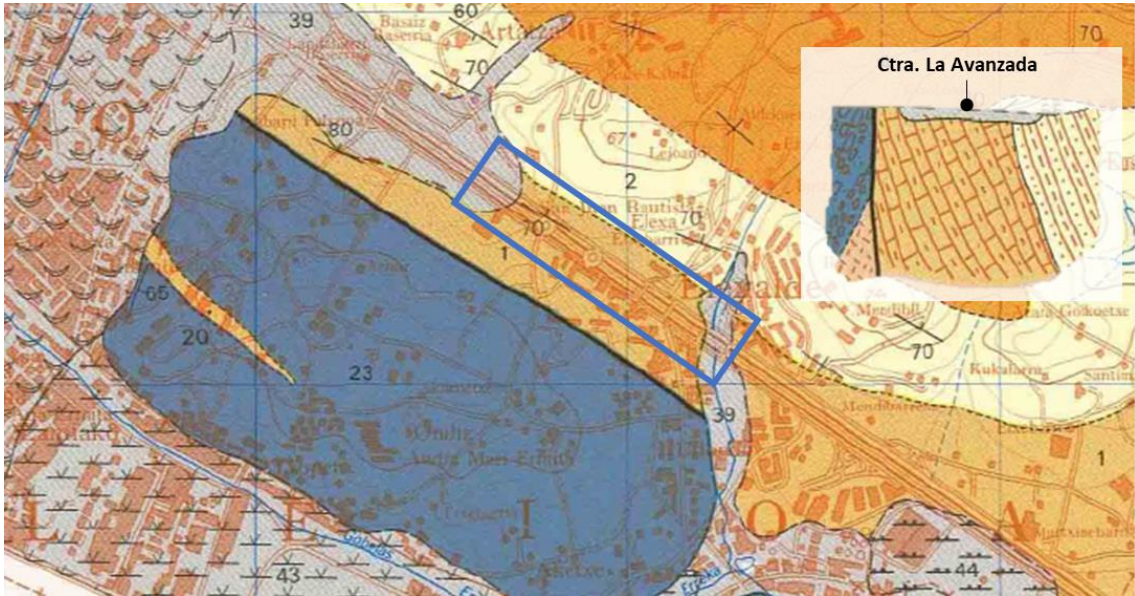


Figura 1: Vista de la cartografía geológica regional del área de proyecto con las unidades de sustrato: (1) FDC (2) FDA

Fuente: Modificado a partir de la Cartografía del Cuadrante 61-II (EVE).

Este sustrato está cubierto por un depósito cuaternario en ocasiones de gran potencia y de génesis mixta, ya que se interdigitan sedimentos aluviales, eluviales, eólicos, y marismales. Dado el carácter urbano el área también presenta rellenos antrópicos en general adecuadamente compactados.

3.2 Geomorfología

Desde el punto de vista geomorfológico el área de proyecto se encuentra condicionada por la estructura de los materiales y la alternancia de unidades de diferente competencia en los FDC y FDA. Se puede también interpretar una depresión más acusada hacia la costa (se han detectado en estas zonas espesores de suelos arenosos superiores a los 20 metros) y colmatada por depósitos de tipo dunar en la zona de Artaza en transición a depósitos aluviales del Gobelos. También hay vaguadas en sentido transversal que erosionan localmente el techo de roca y estas vaguadas podrían tener un origen estructural (orientadas según la fase III de deformación regional). Además de estos procesos en el área habrían funcionado procesos de ladera.

Globalmente los relieves son suaves y actualmente los procesos de depósito o erosión están básicamente inactivos.

3.3 Estratigrafía

Básicamente se consideran tres unidades:

- **Cretácico Superior:**
 - Cret. Sup. (Cenomaniense-Coniaciense): **Flysch detrítico calcáreo (FDC):** Se trata del sustrato general de la zona, es una alternancia regular de margas, margocalizas y calcarenitas

Anejo 02 - Geología y geotecnia

(areniscas calcáreas) en niveles centimétricos que están muy plegados y deformados o fracturados y rellenas de calcita. Son fácilmente alterables y producen notables espesores suelos arcillosos.

- Cret. Sup. (Campaniense): **Flysch detrítico arenoso (FDA)**: Es una alternancia de niveles calcareníticos, areniscas calcáreas decalcificadas y margas, muy similar a la anterior, pero con mayor porcentaje de niveles de areniscas. Aparecen también muy deformados y fracturados.

la cartografía previa del IGME (cuadrante 61 (1973)), desplaza dicho contacto (unidades C₂₂ (Cret, Sup.(Turonense)/C₂₃₋₂₄ Cret, Sup.(Coniaciense-Santonense)) situándolo al Sur de La Avanzada. El estudio geológico de la zona de la Pasarela (2000) apunta a un posible contacto mecánico entre estas dos unidades y apunta a que localmente dicho contacto podría milonitizar el material, además el estudio ubica localmente dicho contacto en el eje de la vaguada.

- **Cuaternario**: A nivel de suelos el área es bastante compleja al ser los suelos relativamente potentes y poligénicos (aluviales/coluviales/eluviales/eólicos y antrópicos).

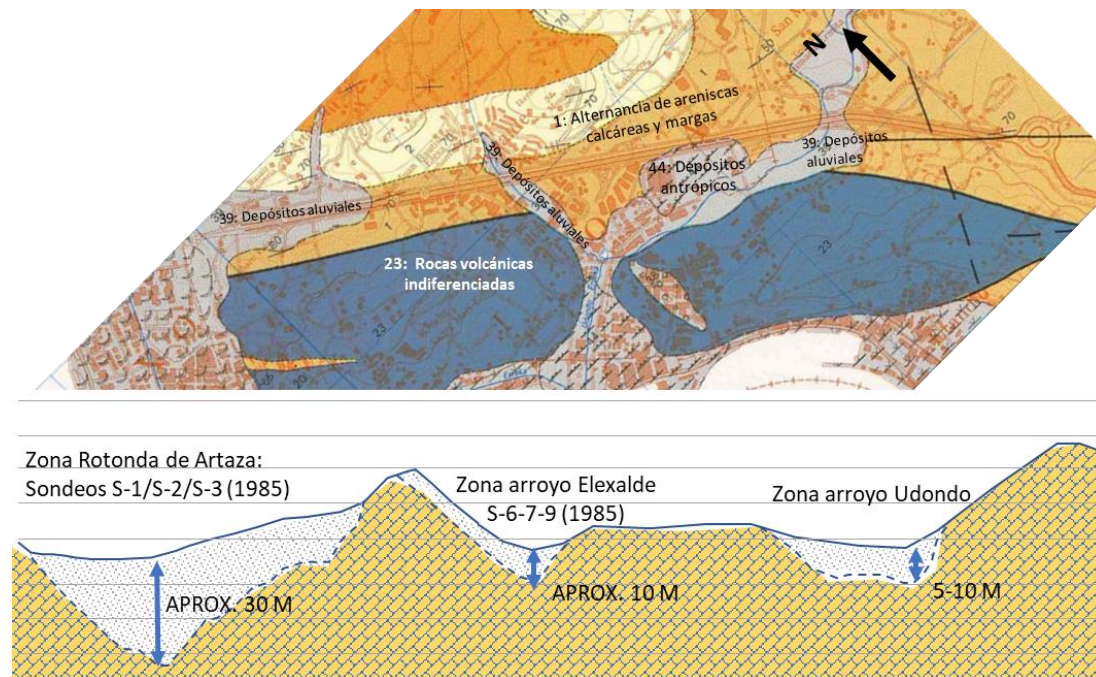


Figura 2: Principales acumulaciones de suelos en el área de La Avanzada

Fuente: SENER a partir de cartografía del EVE y datos de estudios previos.

Hay fundamentalmente tres zonas de acumulación de suelos: Artaza (>30 m de suelos eólicos y aluviales). Cruce del arroyo Elexalde y arroyo Udondo (aluviales).

En la zona de interés consideramos tres tipos:

- **Roca meteorizada/eluviales**: Como se indicaba en la descripción del sustrato el FDC se meteoriza con facilidad y da como resultado niveles limo-arcillosos con algo a bastante arena. La meteorización es irregular y la estructura subvertical condiciona la aparición de un notable espesor de suelos.
- **Suelos aluviales**: Limos arcillosos o arenosos de consistencia variable (fondo de valle).
- **Rellenos**: Con una potencia variable (estimado hasta unos 3 metros) se trataría de rellenos granulares.

3.4 Tectónica

Tectónicamente el área de estudio se enclava en el flanco Norte del Anticlinal de Bilbao y flanco Sur del Sinclinal de Bizkaia. Ambas estructuras son de fase I (fase de deformación más antigua reconocible en la cuenca Vasco-Cantábrica). Asociado a este plegamiento aparece una esquistosidad de plano axial que es muy visible en las litologías más blandas. Además, el plegamiento origina la aparición de grandes fallas y cabalgamientos paralelos a la dirección general de las capas. Entre estas estructuras aparece la Falla de Durango a la que se considera responsable de la verticalización de las capas.

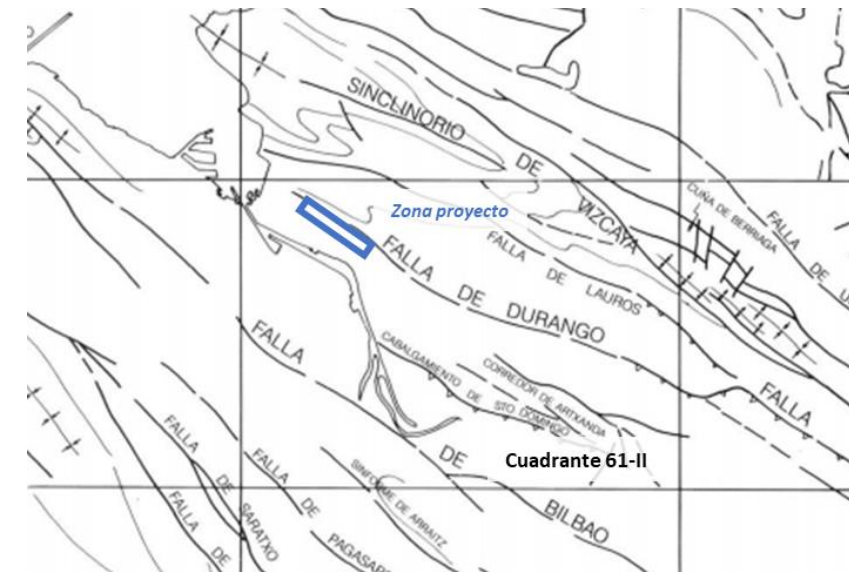


Figura 3: Principales estructuras en la zona del cuadrante 61-II (Bilbao)

Fuente: EVE (Memoria 61-II)

A nivel de detalle y en afloramientos cercanos la dirección general de las capas es N-120° con buzamientos al NO (50-90°, en general 75-80°), pero existen multitud de pequeñas deformaciones y repliegues y fallas a nivel local muy difíciles de observar por falta de afloramientos, y que provocan bruscas variaciones en las condiciones de los materiales. Se debe tener en cuenta que el flysch es un nivel geotécnicamente poco competente y ha absorbido la mayoría de las deformaciones durante el plegamiento.

3.5 Hidrología e hidrogeología

La zona ha ido presentando variaciones de la configuración incluyendo un periodo (1502-1772) en el que el Gobelas desembocaba directamente en el mar serpenteando por el cordón dunar que separaba un dominio de estuario de un contexto aluvial. Se considera que el área de La Avanzada presentaría originalmente una vega más o menos encharcada de tipo pantanoso. Actualmente el Gobelas se encuentra encauzado con recientes actuaciones para evitar la recurrencia de inundaciones en el área (1987 y 2008). Los niveles freáticos observados en sondeos están entre unos 2 y 7 metros sin apreciar en los periodos de control variaciones significativas.

En la zona de proyecto se atraviesa el arroyo Elexalde que confluye con el Udondo y finalmente con el Gobelas que desemboca en la zona de Lamiako. Aguas arriba de la zona de proyecto hay una pequeña zona de riesgos de inundación vinculada al Elexalde.



Figura 4: Principales cauces y zonas inundables en la zona de Leioa

Fuente: Modificado a partir de Geoeuskadi: <https://www.geo.euskadi.eus/>

El sustrato (FDC: permeabilidad por fracturación/discontinuidades) se considera en general de baja permeabilidad e incapaz de transmitir caudales relevantes de agua, sin embargo, en el depósito cuaternario (permeabilidad por porosidad) existen niveles de alta transmisividad como las arenas y también los niveles de meteorización. Los cauces de los arroyos facilitan el drenaje del freático, cuando este se eleva por encima de su cota.

4 GEOTECNIA

4.1 Antecedentes

4.1.1 Proyecto de Construcción del Desdoblamiento de la carretera de La Avanzada (1985)

Este proyecto incluye un anejo 2 dedicado a la Geología, geotecnia y estudio de materiales. Este documento se basa en una campaña geotécnica con 10 sondeos y 18 ensayos de penetración realizados en 1983. Los estadillos de sondeos no disponen de coordenadas o cotas (x/y ó z) por lo que para su georeferenciación se debe recurrir a los planos de planta (esto excluye algunos de los penetrómetros que no aparecerían en los planos).

En la figura siguiente se muestra la planta de la zona de la actual rotonda de Artaza en el proyecto de 1985.

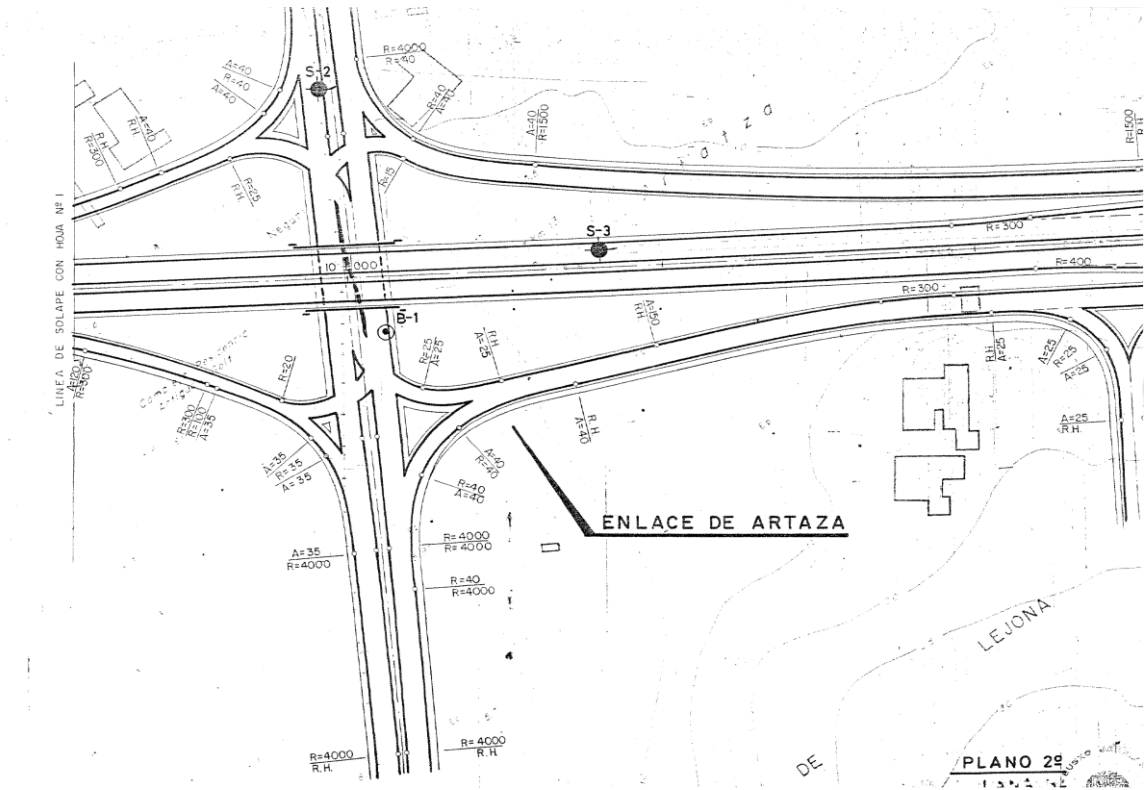


Figura 5: Plano de situación de elementos de campaña de investigación geotécnica (PC. Desdoblamiento de la Carretera de la Avanzada. Fuente: PC. Desdoblamiento de la Carretera de la Avanzada. Anejo nº 2: Geotecnia y materiales. (1985)

Sondeo/ Penetro	Tipo	Longitud (m)	Observaciones. Descripción litológica basada en la columna
S-1	Sondeo a rotación	23.7	Hasta 13,1 metros en suelos. Roca arenisca y calizas muy fracturadas. Paso para el río Gobelas
S-2	Sondeo a rotación	32.4	Hasta unos 29 metros aparece suelo. Roca de tipo arenisca Paso para el río Gobelas
S-3	Sondeo a rotación	28.05	Hasta unos 25 metros aparece suelo. Roca argilita Paso para el río Gobelas
S-4	Sondeo a rotación	13.40	Hasta 8,7 metros aparece suelo/ Roca argilita Enlace cruz roja.
S-5	Sondeo a rotación	13.00	Desde 1,5 metros aprox. aparece la roca

Anejo 02 - Geología y geotecnia

Sondeo/ Penetro	Tipo	Longitud (m)	Observaciones. Descripción litológica basada en la columna
S-6	Sondeo a rotación	17.00	Hasta 11 metros suelo de tipo arcilloso a eluvial/ roca meteorizada en grado V-VI. Margas.
S-7	Sondeo a rotación	21.85	Hasta unos 7 metros rellenos y suelos arcillosos. Sustrato rocoso formado por margas.
S-8	Sondeo a rotación	13.75	Hasta uno 5 metros arcillas y limos. Sustrato formado por margas/ margocalizas. OF 2.8 Enlace Lamiako
S-9	Sondeo a rotación	14.60	Hasta unos 7 metros suelos arcillosos. Sustrato formado por margas/ margocalizas.
S-10	Sondeo a rotación	13.00	Hasta unos 8,5 metros se describen limos arcillosos y arcillas. Sustrato de margas calcáreas
P-1	Borros	26	Hasta 10 metros golpes inferior a 20 ($N_{20}<20$). A partir de 24 $N_{20}>40$.
P-2	Borros	17.2	Posible intercalación granular (gravas) de 9 a 11 metros. Con esta excepción $N_{20}<20$ hasta unos 16 metros.
P-3	Borros	10.2	Hasta 9 metros golpes inferior a 10 ($N_{20}<10$).
P-4	Borros	7.6	Hasta 7 metros golpes inferior a 10 ($N_{20}<10$).
P-5	Borros	8.2	Hasta 5 metros golpes inferior a 10 ($N_{20}<10$).
P-6	Borros	6.6	Hasta 6 metros golpes inferior a 10 ($N_{20}<10$).
P-7	Borros	5.6	Hasta 5 metros golpes inferior a 10 ($N_{20}<10$).
P-8	Borros	7	Hasta 6 metros golpes inferior a 10 ($N_{20}<10$).
P-9	Borros	9.4	Hasta 5 metros golpes inferior a 10 ($N_{20}<10$).
P-10	Borros	7.2	Hasta 7 metros golpes inferior a 10 ($N_{20}<10$).
P-11	Borros	5.8	Hasta 5 metros golpes inferior a 10 ($N_{20}<10$).
P-12	Borros	5.2	Hasta 4 metros golpes inferior a 10 ($N_{20}<10$).
P-13	Borros	1.0	OF 3.9 Enlace universidad
P-14	Borros	2.0	

Sondeo/ Penetro	Tipo	Longitud (m)	Observaciones. Descripción litológica basada en la columna
P-15	Borros	1.0	
P-16	Borros	1.8	
P-17	Borros	3.6	Hasta 3 metros golpes inferior a 10 ($N_{20}<10$).
P-18	Borros	2.2	

Tabla 3: Información geotécnica del Proyecto de Construcción del Desdoblamiento de la carretera de La Avanzada (1985) Fuente: Elaboración propia

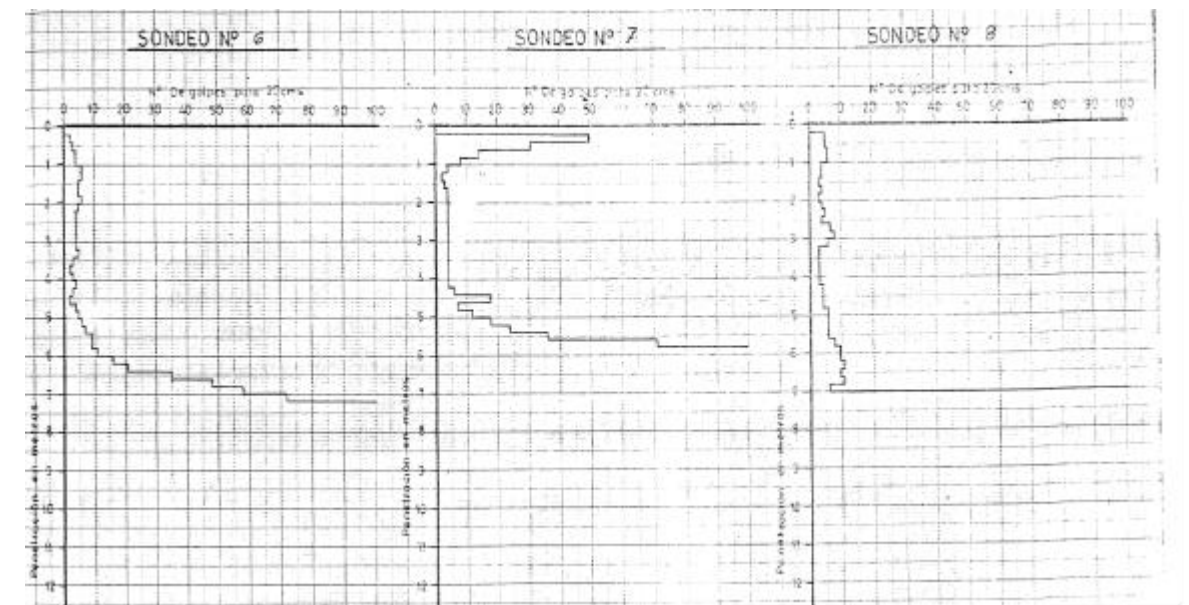


Figura 6: Registro penetrómetros tipo Borros P-6 (Rechazo a 6.6. m), P-7 (5.6 m) y P-8 (7.0). Fuente: P.C. Desdoblamiento de la Carretera de la Avanzada Anejo nº 2: Geotecnia y materiales) (1985)

Todos los sondeos presentaban nivel freático (mayo a julio de 1983) entre 1.68 (S-8) y 8.5 (S-5) metros de profundidad. Se incluía un cuadro de caracterización de la agresividad (porcentajes de sulfatos de 0.06 a 0.235 g/litro).

A nivel de perfil esta diferenciación se simplifica a tres clases de roca: margocalizas, calcoargilitas y areniscas.

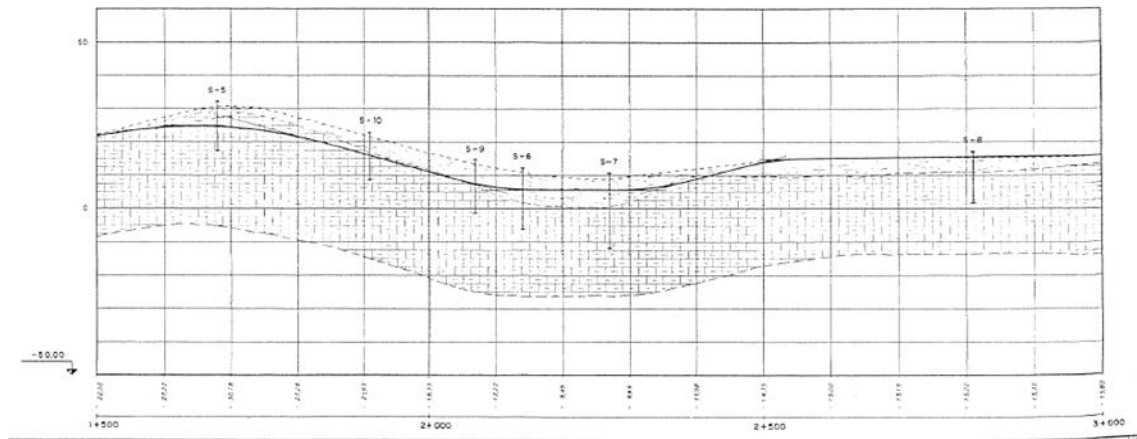


Figura 7: Zona de vaguada con suelos arcillosos en el perfil geotécnico de La Avanzada. Fuente: P.C. Desdoblamiento de la Carretera de la Avanzada, 1985.

4.1.2 Proyecto Actualizado Pasarela de Artaza (2007)

Este proyecto dispondría de una campaña específica de siete sondeos centrados en los apoyos de la estructura principal.

La zona de Artaza presenta un importante espesor de suelos de tipo arena a arenas arcillo- limosas y transición a arcillas limosas. Los materiales se han reconocido en los proyectos de desdoblamiento de 1985 y corredor Uribe-Kosta, los trabajos posteriores analizados hasta la fecha disponen de un reconocimiento muy limitado con excepción de este proyecto, ver perfil figura abajo) que dispone de 7 sondeos que muestran la estructura de la formación de sustrato (Alternancia de margas, margocalizas, calizas micríticas y calcarenitas).

En relación al nivel freático se indica:

- “En el perfil se percibe que el nivel freático es bastante constante, a lo largo del depósito y que se mantiene aproximadamente a +8 metros sobre el nivel del mar. Las diferentes litologías sufren un gran cambio en sus propiedades por debajo de esta cota, ya que pasan a estado de saturación y se vuelven más blandas”.

No se evalúa la agresividad del terreno o del agua.

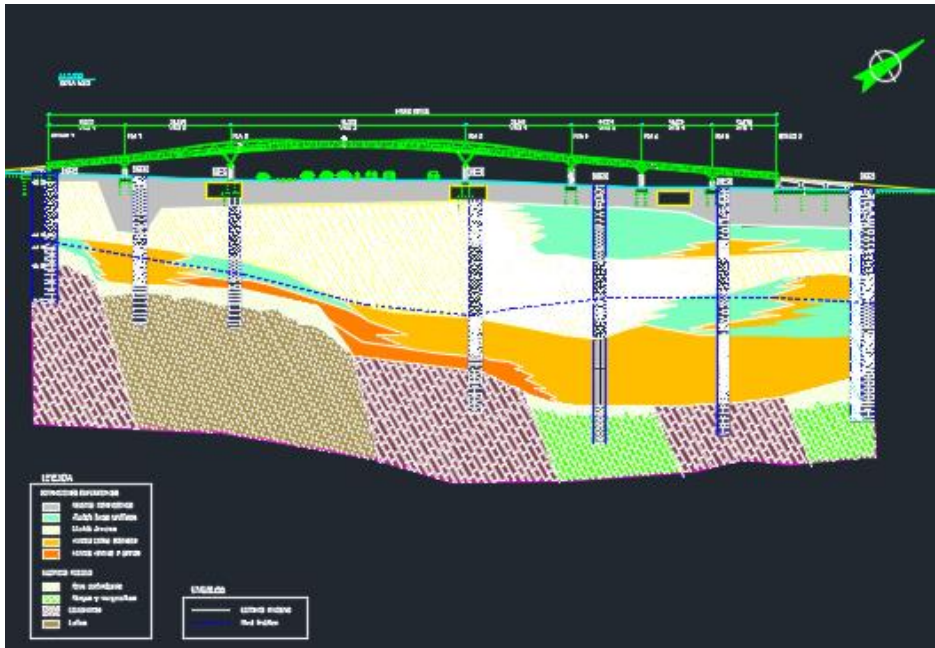


Figura 8: Representación de perfil geológico de la Pasarela de Artaza
Fuente: proyecto actualizado pasarela Artaza (2007)

4.1.3 Anteproyecto de Ampliación y adecuación del Túnel de La Avanzada (2008)

En este proyecto se indica que los datos necesarios para la revisión del cálculo se habrían obtenido del proyecto “Modificaciones técnicas al proyecto: Desdoblamiento de la carretera de La Avanzada y canalización del arroyo Elexalde”. No fue posible disponer de datos adicionales al proyecto original (informe geotécnico) o de la ejecución de la obra (estado de la excavación, drenaje, etc.)

En este documento únicamente se incluyen dos cuadros:

1. Muros bandeja:

Cálculo Muros Bandeja según proyecto fin de obra			
Datos del terreno			
Parámetro		Valor	Unidades
Densidad aparente rellenos	$\gamma_{rel} =$	19	[kN/m³]
Densidad saturada rellenos:	$\gamma'_{rel} =$	22	[kN/m³]
ángulo de rozamiento interno	$\varphi =$	35	[°]
ángulo de rozamiento tierras-muro	$\vartheta =$	23.33	[°]
ángulo de rozamiento tierras-zapata	$\vartheta =$	35	[°]
Tensión admisible del terreno:	$\sigma_{adm} =$	250	[kN/m²]

Tabla 4: Parámetros geotécnicos para el cálculo de muros bandeja. Fuente: Elaboración propia a partir del Anteproyecto de Ampliación y adecuación del Túnel de La Avanzada (2008)

Anejo 02 - Geología y geotecnia

2. Pantallas:

Cálculos Muro Pantalla				
Material	Parámetros	Arcillas y arenas arcillosas	Cayuela	Unidades
densidad aparente relleno	$\gamma_{rell} =$	20	20	[kN/m ³]
ángulo de rozamiento interno	$\varphi =$	30	30	[°]
cohesión:	$c' =$	5	50	[kN/m ²]

Tabla 5: Parámetros geotécnicos para el cálculo de muros pantalla. Fuente: Elaboración propia a partir del Anteproyecto de Ampliación y adecuación del Túnel de La Avanzada (2008)

4.1.4 Proyecto básico de apantallamiento acústico en las bocas de La Avanzada (Junio de 2014).

Con la finalidad de estudiar la naturaleza del sustrato y solicitudes sobre los muros y futuras zonas de cubrición se realizó una campaña geotécnica que incluía seis sondeos (SR-nº) con un total de 61.4 metros perforados y cuatro penetrómetros de tipo DPSH (dinámica/superpesada, denominación P-nº) con un total de 33.8 metros. En la siguiente tabla (se recogen las características principales de las perforaciones y su correspondencia con los penetrómetros.

sondeo	fecha	prof. (m)	roca grado II	DPSH	rechazo
SR-1	12/03/2012	15	8	P-1	8.5
SR-3	14/03/2012	15	9.45	P-2	10.9
SR-5	19/03/2012	8.7	5.7	P-3	5.5
SR-6	20/03/2012	11.4	8.75	P-4	8.9
SR-7	20/03/2012	6.3	2.3	--	
SR-8	19/03/2012	5	0.8	--	

Tabla 6: Características principales de las perforaciones y correspondencia con penetrómetros. Fuente: Proyecto básico de apantallamiento acústico en las bocas de La Avanzada (Junio de 2014).

Estas perforaciones se han georeferenciado proporcionando las siguientes coordenadas:

Nº elemento	UTM X	UTM Y	Z
SR-1	501112.05	4796963.17	10.97
P-1	501111.45	4796963.57	10.66
SR-3	500971.88	4797058.35	15.09
P-2	500972.06	4797057.69	15.76
SR-5	500855.70	4797130.87	23.08
P-3	500854.10	4797131.12	22.31
SR-6 *	500843.52	4797083.09	22.22
P-4 *	500843.26	4797082.82	22.22
SR-7	500739.75	4797210.76	29.78

Nº elemento	UTM X	UTM Y	Z
SR-8	500738.73	4797165.14	26.32

Tabla 7: Coordenadas de los elementos de reconocimiento (SR= sondeo/ P=penetrómetro). Sistema de coordenadas ETRS89 UTM30. Fuente: Proyecto básico de apantallamiento acústico en las bocas de La Avanzada (Junio de 2014).

Sobre dichas perforaciones se ha aplicado un plan de muestreo que ha permitido obtener un total de 35 muestras (tipo SPT/MI/MA=muestra alterada, resultando una proporción 0.57 muestra/metro). De estas muestras, 21 corresponden a suelo/roca meteorizada asimilable a suelos y las 14 muestras restantes corresponden a parafinados (TP) sobre rocas del tipo FDC. En la siguiente tabla se recogen las características principales de las muestras extraídas:

sondeo	cotas		Nº	tipo	1	2	3	4	N ₃₀	Material	Grado	Descripción
SR-1	1.50	1.95	1	SPT	5	7	4		11	Relleno		GM
SR-1	2.70	3.00	1	MA						Relleno		GM
SR-1	3.00	3.45	2	SPT	5	2	4		6	Relleno		GM
SR-1	4.20	4.50	2	MA						Relleno		GM
SR-1	4.50	4.95	3	SPT	6	6	4		10	Relleno		GM
SR-1	6.00	6.60	1	MI	3	7	11	14	18	Roca meteorizada	5	ML
SR-1	8.70	9.00	1	TP						Roca meteorizada	3	FDC
SR-1	11.60	12.00	2	TP						Roca sana	2	FDC
SR-1	14.70	15.00	3	TP						Roca sana	2	FDC
SR-3	1.30	1.40	1	TP						Roca meteorizada	5	ML
SR-3	1.50	1.95	1	SPT	7	4	5		9	Roca meteorizada	5	ML
SR-3	2.80	3.40	1	MI	8	15	16	20	31	Roca meteorizada	5	ML
SR-3	4.40	4.85	2	SPT	5	6	7		13	Roca meteorizada	5	ML
SR-3	6.10	6.40	2	TP						Roca meteorizada	5	ML
SR-3	6.80	7.25	3	SPT	4	6	10		16	Roca meteorizada	5	ML
SR-3	9.00	9.45	4	SPT	9	26	33		59	Roca meteorizada	4	ML/GM
SR-3	13.10	13.40	3	TP						Roca sana	2	FDC
SR-3	14.60	15.00	4	TP						Roca sana	2	FDC
SR-5	1.30	1.75	1	SPT	11	6	6		12	Relleno		ML
SR-5	2.80	3.40	1	TP						Roca meteorizada	5	ML
SR-5	5.00	5.50	2	SPT	9	12	R		12	Roca meteorizada	4	ML/GM
SR-5	7.60	7.70	1	SPT	R					Roca sana	3	FDC
SR-6	1.40	2.00	1	NR	8	8	8	9	16	Relleno		
SR-6	2.80	3.40	2	MI	12	12	12	13	24	Roca meteorizada	5	CL
SR-6	4.80	5.40	3	MI	7	10	12	14	22	Roca meteorizada	5	CL
SR-6	6.00	6.30	1	MA						Roca meteorizada	5	CL
SR-6	7.00	7.15	4	MI	3	R				Roca meteorizada	5	CL
SR-6	9.15	9.45	1	TP						Roca sana	2	FDC
SR-6	11.00	11.40	2	TP						Roca sana	2	FDC
SR-7	1.50	1.80	1	MA						Roca meteorizada	5	GM/GP

Anejo 02 - Geología y geotecnia

sondeo	cotas		Nº	tipo	1	2	3	4	N ₃₀	Material	Grado	Descripción
SR-7	1.80	2.25	1	SPT	4	11	28		39	Roca meteorizada	5	GM/GP
SR-7	2.90	3.10	1	TP						Roca sana	3	FDC
SR-7	5.80	6.00	2	TP						Roca sana	3	FDC
SR-8	2.40	2.60	1	TP						Roca sana	3	FDC
SR-8	3.55	3.70	2	TP						Roca sana	3	FDC

Tabla 8: Características principales de las muestras extraídas (MI/SPT/MA y TP) en las perforaciones realizadas. Fuente: Proyecto básico de apantallamiento acústico en las bocas de La Avanzada (Junio de 2014).

4.2 Modelo geotécnico

4.2.1 Resultados sondeos

Los antecedentes disponibles presentan un esquema similar:

Perforaciones (1983)	Longitud total (m)	Suelos (m)	Características suelos	Elemento reconocimiento próximo (2012)
Sondeos				
S-5	13.00	1.5	Arcillas	SR-8
S-6	17.00	11	Arcillas de baja plasticidad (CL y limos de lata compresibilidad (MH))	SR-1
S-7	21.85	7.4	Arcillas con gravas y margocalizas	
S-9	14.60	7	Arcillas de baja plasticidad	
S-10	13.00	5.9	Limos de baja plasticidad y arcillas	SR-6
Penetrómetros				
B-5	8.2	8.2	Nb< 5 hasta 2 metros. Nb=5-10 hasta 5 metros Nb=20 hasta 8 metros	
B-8	7.0	7.0	Nb<10 hasta 7 metros	
B-9	9.4	9.4	Nb<10 hasta 5 metros Nb=10-20 hasta 9 metros	
B-10	7.2	7.2	Nb=5 hasta 6 metros	
B-11	5.8	5.8	Nb=5 hasta 4.5 metros	SR-3
B-12	5.2	5.2	Nb=5-10 hasta 4.0 metros	SR-5
B-14	2.0	2.0	Nb= progresivo hasta rechazo.	
B-16	2.0	2.0		SR-7 SR-8

Tabla 9: Elementos de investigación del año 1983 en la zona de estudio. Fuente: Proyecto básico de apantallamiento acústico en las bocas de La Avanzada (Junio de 2014).

4.2.2 Resultados penetrómetros

Tal y como se indicaba se ha optado por realizar penetrómetros de tipo DPSH (*Dynamic Probe Super Heavy*) (UNE 103801) coincidiendo con algunos de los sondeos.

sondeo	fecha	prof. (m)	roca grado II	DPSH	rechazo
SR-1	12/03/2012	15	8	P-1	8.5
SR-3	14/03/2012	15	9.45	P-2	10.9
SR-5	19/03/2012	8.7	5.7	P-3	5.5

sondeo	fecha	prof. (m)	roca grado II	DPSH	rechazo
SR-6	20/03/2012	11.4	8.75	P-4	8.9

Tabla 10: Correspondencia sondeos/penetrómetros. Fuente: Proyecto básico de apantallamiento acústico en las bocas de La Avanzada (Junio de 2014).

Las coordenadas de los elementos de investigación son:

Nº penetrómetro	UTM X	UTM Y	Z
P-1	501111.454	4796963.57	10.6591
P-2	500972.057	4797057.69	15.7563
P-3	500854.101	4797131.12	22.3089
P-4	500843.26	4797082.82	22.22

Tabla 11: Coordenadas penetrómetros. Fuente: Proyecto básico de apantallamiento acústico en las bocas de La Avanzada (Junio de 2014).

En total se han realizado 4 penetrómetros con un total de 33,8 metros reconocidos. Este valor es significativo en la zona y achacable a la significativa meteorización de la roca además de los rellenos con los que parece haberse regularizado la topografía del área. En la siguiente tabla se recogen los resultados obtenidos (golpeos N₂₀) indicando los niveles geotécnicos reconocidos en los sondeos a los que equivalen los penetros.

Cota relativa media (m)	P-1/ SR-1	P-2/ SR-3	P-3/ SR-5	P-4/ SR-6	Leyenda
0.1	0	0	0	0	sin valor (aux)
0.3	9	16	0	0	Rellenos
0.5	23	15	0	2	Roca GM. V
0.7	22	12	12	2	
0.9	58	7	8	2	
1.1	13	6	7	2	
1.3	8	9	9	1	
1.5	16	9	13	2	
1.7	10	5	15	2	
1.9	6	7	14	4	
2.1	11	8	17	3	
2.3	15	8	12	4	
2.5	7	10	18	5	
2.7	12	8	12	5	
2.9	20	6	9	4	
3.1	7	6	15	2	
3.3	4	8	18	1	
3.5	3	10	22	2	
3.7	4	8	19	2	
3.9	4	7	23	2	
4.1	13	6	21	1	
4.3	11	5	25	2	
4.5	4	3	48	2	
4.7	5	12	19	2	
4.9	4	5	56 NF	2	

Cota relativa media (m)	P-1/ SR-1	P-2/ SR-3	P-3/ SR-5	P-4/ SR-6	Leyenda
5.1	3 NF	3	49	1	
5.3	3	3	68	1 NF	
5.5	4	4	100	1	
5.7	3	4		1	
5.9	2	4		1	
6.1	2	5		2	
6.3	2	5		2	
6.5	2	9		2	
6.7	5	7		2	
6.9	5	6		2	
7.1	6	5		7	
7.3	6	6		2	
7.5	6	9 NF		2	
7.7	5	7		2	
7.9	7	10		4	
8.1	7	14		5	
8.3	41	7		4	
8.5	100	8		4	
8.7		6		7	
8.9		11		100	
9.1		8			
9.3		7			
9.5		7			
9.7		6			
9.9		5			
10.1		4			
10.3		5			
10.5		22			
10.7		68			
10.9		100			
11.1					

Tabla 12: Coordenadas penetrómetros. Fuente: Proyecto básico de apantallamiento acústico en las bocas de La Avanzada (Junio de 2014).

De esta forma es posible apreciar la buena correlación de los penetrómetros con los sondeos en lo que se refiere a la posición del techo de la roca sana. Esta afirmación es correcta salvo para las parejas SR-3/P-2 y SR-1/P-1. En el primer caso más llamativo el penetro da rechazo a 10,8 metros frente a 9,45 metros donde se determina el cambio en el sondeo, no obstante se debe tener en cuenta que el penetrómetro se sitúa a la cota +15,76 frente a la 15,09 del SR-3 por lo que la diferencia de cota es de 0,78 m. En la siguiente tabla se recoge la posición del techo de la roca sana en cota absoluta para los elementos, así como la distancia en planta entre elementos de investigación.

	sondeo	penetro	distancia SR-P (m)	diferencia SR-P (Z) (m)
sondeo/penetro	SR-1	P-1	SR-1-P-1	SR-1-P-1
cota absoluta	+10.97	+10.66	0.72	0.81
cota roca sana	+2.97	+2.16		
sondeo/penetro	SR-3	P-2	SR-3-P-2	SR-3-P-2
cota absoluta	+15.09	+15.76	0.68	0.78
cota roca sana	+5.64	+4.86		
sondeo/penetro	SR-5	P-3	SR-5-P-3	SR-5-P-3
cota absoluta	+23.08	+22.31	1.62	0.57
cota roca sana	+17.38	+16.81		
sondeo/penetro	SR-6	P-4	SR-6-P-4	SR-6-P-4
cota absoluta	+22.22	+22.22	0.37	0.15
cota roca sana	+13.47	+13.32		

Tabla 13: Distancia entre pares sondeo /penetro y posición del techo de roca (cotas absolutas y diferencias). Fuente: Proyecto básico de apantallamiento acústico en las bocas de La Avanzada (Junio de 2014).

Por otra parte, para los diferentes niveles es posible obtener los siguientes valores medios del N_{20} .

Valores		P-1/SR-1	P-2/SR-3	P-3/SR-5	P-4/SR-6	por nivel
Nivel 1: Rellenos	promedio	12,39	12,50	10,67	2,22	9,98
	desviación	11,54	4,04	3,14	0,83	9,54
Nivel 2: roca GM V	promedio	4,24	7,00	25,83	2,67	7,70
	desviación	1,79	2,42	17,12	1,67	8,80

Tabla 14: Resultados N_{20} por nivel geotécnico. Fuente: Proyecto básico de apantallamiento acústico en las bocas de La Avanzada (Junio de 2014).

De acuerdo a las correlaciones habituales entre N_b (Borros), N_{30} (SPT) y N_{20} (DPSH) los resultados son coherentes entre los diferentes ensayos, pero resulta necesario hacer alguna corrección. Los que presentan mayor interés son los B-8, B-10, B-11 y B-12 del proyecto de 1983 en comparación con los DPSH-1, 2 y 3 (equivalentes a los SR-1, SR-3 y SR-5) del proyecto de 2012). De esta manera para la campaña de 2012 el promedio de golpeo (N_{DPSH} sería de 4 a 7) para el nivel arcillosos frente a golpes de Borros en torno a 6. Existe peor correlación y las cotas de rechazo resultan incoherentes si se trata de correlacionar sin corregir la cota de cabeza de los registros B-10 y B-11.

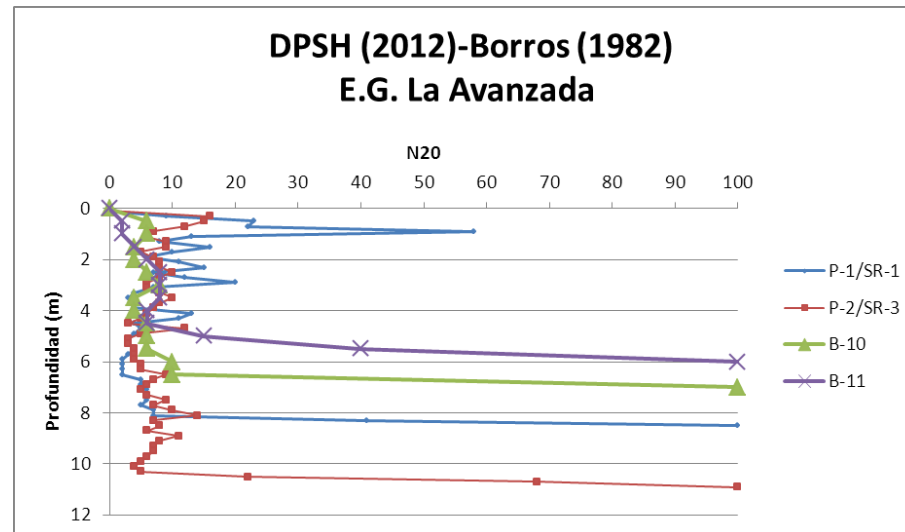


Figura 9: Ensayos DPSH (2012) frente a Borros (B-10/B-11) (1983).

El Borros B-12 y el P-3 (SR-5), como se puede apreciar en el siguiente gráfico, si encajan mejor en cuanto a cotas pero los golpes del Borros (sin corregir¹) son claramente inferiores lo que parece indicar que las condiciones habrían mejorado desde la construcción de la estructura de contención.

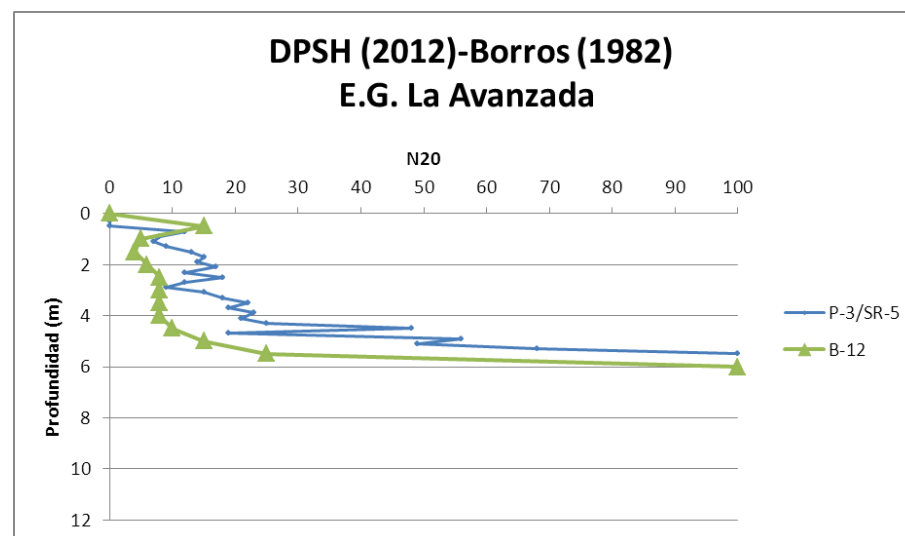


Figura 10: DPSH (2012) frente a borros (1983). Ensayos P-3/B-12.

Destacan los valores del P-1 y P-3, muy bajos, que además resultan extraordinariamente homogéneos. Ello parece indicar que los ensayos afectan a una capa bastante homogénea, muy alterada hasta alcanzar un límite neto con la roca sana (rechazo).

En la siguiente figura se muestran gráficamente los resultados obtenidos en las pruebas (N20: golpeo cada 20 cm)

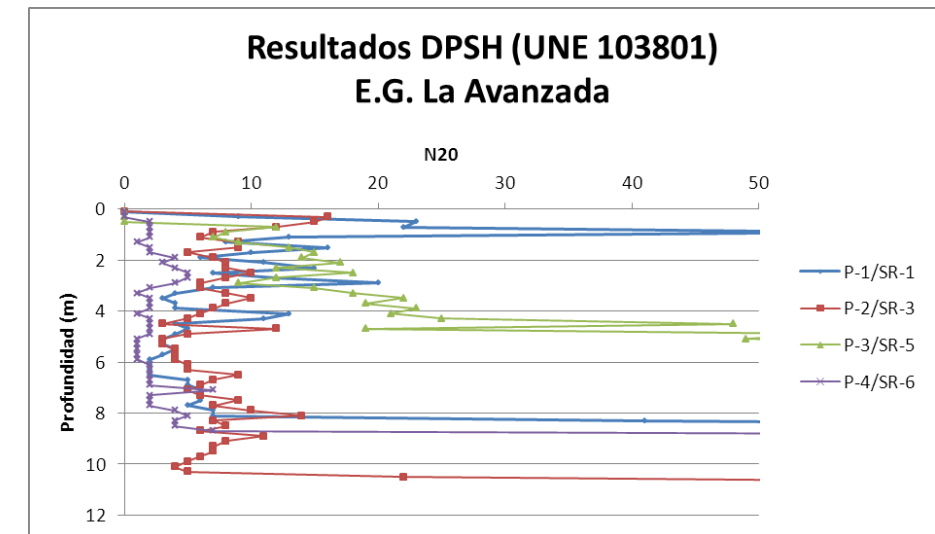


Figura 11: Resultados ensayos DPSH (N20 vs profundidad)

De los resultados obtenidos cabe destacar la correlación entre los golpes (N20) y los valores de resistencia a compresión simple (q_u) para el nivel de roca meteorizada. En la siguiente figura se muestran los ensayos disponibles para el SR-1 frente al DPSH-1.

¹ No se dispone de las características del equipo utilizado. Únicamente se indica que se realizaron 18 penetraciones dinámicas que hemos considerado como ensayos tipo Borros ya que resultaban bastante habituales en esa época. El ensayo Borros, en su modalidad más habitual, supone una energía de un 80% aproximadamente con respecto al DPSH.

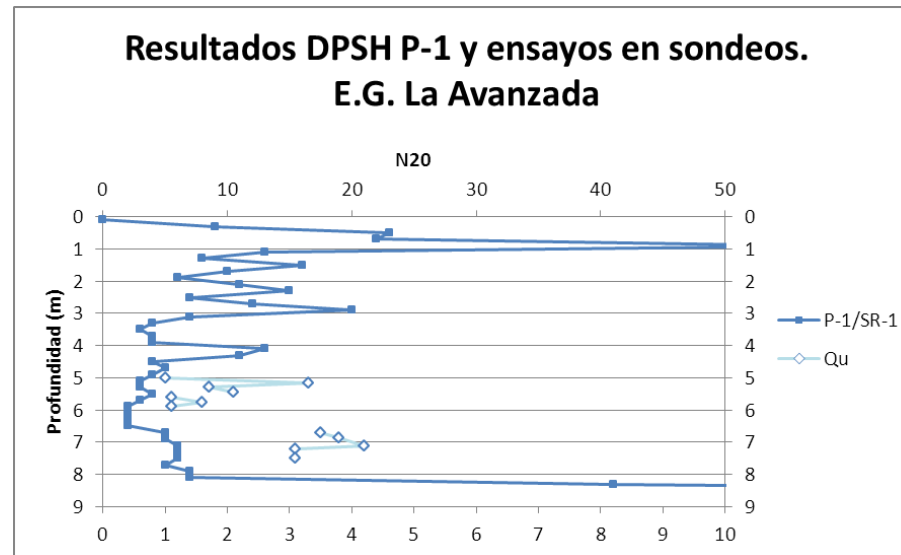


Figura 12: DPSH frente a Qu en sondeo SR-1.

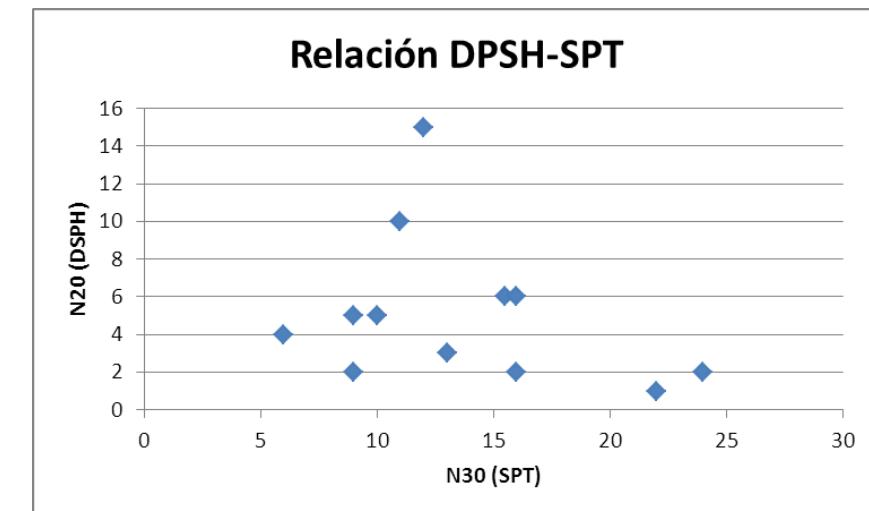
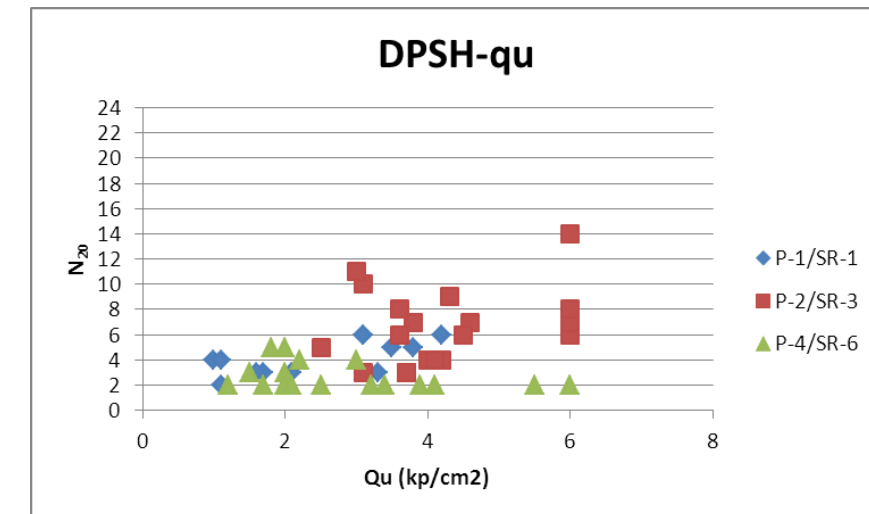
Los valores de q_u (compresión simple) resultan anormalmente altos ya que las correlaciones habituales indican que la resistencia al corte sin drenaje (s_u) debería poder estimarse con expresiones del tipo:

$$S_u = F \times N$$

- Siendo S_u la resistencia al corte sin drenaje (en kpa) y N el valor del SPT.
- Siendo F un factor que debería situarse en torno a 4-12 (ver correlaciones de Sanglerat (1972), Stroud (1974), Nixon (1982) y otros autores)

Para la zona en estudio una estimación media situaría dicho coeficiente en torno a 50. Esto parece deberse a que los valores del N_{20} son anormalmente bajos (ver al respecto lo comentado para los sondeos) lo que podría indicar que el terreno se habría visto alterado previamente en la ejecución del sondeo próximo y/o una variabilidad de las propiedades debido a la estructura subvertical y el carácter heterogéneo de la roca. Dado lo comentado nos inclinamos a pensar que los resultados se deben a la combinación de la estructura y un factor de alteración natural o inducida siendo esta causa menos probable por la distancia entre los sondeos y penetrómetros así como por la naturaleza de los materiales.

En la siguiente figura se han representado los gráficos de correlación DPSH (N_{20}) con la RCS/ q_u (kp/cm²) y la relación DPSH (N_{20})-SPT (N_{30}). La primera gráfica corresponde únicamente al nivel de roca meteorizada dado que es donde obtenemos datos de la resistencia a compresión simple. Se aprecia una leve correlación positiva con valores de resistencia en el rango 1-6 kp/cm² y N_{20} entre 2 y 14. El penetrómetro P-4 muestra un carácter anómalo con un valor casi constante del golpeo entre los 3 y casi 8 metros

Figura 13: Evaluación de las correlaciones DPSH/ q_u y DPSH/SPT.

4.2.3 Ensayos de laboratorio

4.2.3.1 Suelos

En el proyecto de 1983 se realizan una serie de ensayos de laboratorio que se ocupan básicamente de la **caracterización** (Granulometría por tamizado (30 ensayos) y determinación de límites de Atterberg (30 ensayos)) de los **suelos** de la traza. Por su parte los ensayos de **estado** tienen un menor alcance (11 determinaciones de humedad natural y densidad). En general las muestras se describen como arenas (SP/SW), arenas limosas (SM), arenas arcillosas (SC), fracciones minoritarias de limos de plasticidad intermedia a alta (MH-MI) y dos muestras de arcillas de baja plasticidad (CL en S-6 y S-9). Esta descripción contrasta en ocasiones (ver por ejemplo S-3 a unos 20 metros donde se describen como arcillas y se clasifica como SP-SM) con la empleada en los sondeos donde se describen en mayor medida los suelos como de tipo arcilloso.

Finalmente, los ensayos de tipo tensodeformacional incluyen 5 ensayos de resistencia a compresión simple y un ensayo triaxial. En la siguiente tabla se recogen los resultados de estos ensayos (ver pág. 241 de dicho proyecto).

Anejo 02 - Geología y geotecnia

Sondeos	Profundidad (m)	Descripción	Límite Líquido (Clase suelo USCS) Wnat	Qu (Kp/cm²)	c (Kp/cm²)	Φ (°)	Observaciones
S-6	2.3	Arcillas marrones amarillas con algunas arenas	27.3 (CL) 22.4	0.6	0.3		SPT=7
S-6	4.7	Arcillas limosas amarillas y grises muy plásticas	55.3 (MH) 40.3	0.3	0.15		SPT=12
S-6	6.3	Arcillas limosas amarillas y grises muy plásticas	55.3 (MH) 33.3	2.7	1.35		SPT=11
S-9	2.4	Arcilla marrón ocre de baja plasticidad	25.8 (CL) 23.4	0.9	0.45		SPT=13
S-10	2.3	Limos arcillosos inorgánicos de baja plasticidad	28.2 (ML) 9.1	0.7	0.35		SPT=14
S-9	2.3	Arcilla marrón ocre de baja plasticidad	25.8 (CL) 23.4		0.69/c'=0.4	15°/ φ'=27°	Triaxial/ SPT=13

Tabla 15: Información geotécnica del Proyecto de Construcción del Desdoblamiento de la carretera de La Avanzada (1985) Fuente: Elaboración propia a partir del anejo nº 2 del PC (1985)

Los ensayos in situ aportan valores de N_{30} en el rango 4-19 (prof<10 m) con un valor medio y modal en torno a 14. Se trataría habitualmente de arenas limosas.

La síntesis de los resultados obtenidos se muestra en las siguientes tablas:

1) identificación:

SONDEO	TIPO MUESTRA	NIVEL	COTA ABSOLUTA	COTA RELATIVAS			USCS	GRANULOMETRIA POR TAMIZADO					LÍMITES DE ATTERBERG		
				MEDIA	SUP	INF		pasa 25	pasa 20	PASA 5	PASA 2	PASA 0,08	LL	LP	IP
SR-1	MA	1	+7.37	2.7	4.5		SC	100	93.2	75.4	66.4	45	34	22.4	11.6
SR-3	TP	2	+13.74	1.3	1.4		ML	100	100	100	100	99	43.7	31.3	12.4
SR-3	SPT	2	+13.37	1.5	1.95		ML	100	100	100	87.2	74.7			
SR-3	MI	2	+11.99	2.8	3.4		ML	100	100	100	100	99	48.9	34.2	14.7
SR-3	TP	2	+8.84	6.1	6.4		ML	100	100	100	100	99.2	46.3	31.9	14.4
SR-3	SPT	2	+5.87	9	9.45		ML-GM	100	100	77.2	63.5	40.7	28.5	21.8	6.7
SR-5	SPT	2	+21.56	1.3	1.75		ML	100	100	72.5	65.8	52.8	37.9	27.1	10.8
SR-5	TP	2	+19.98	2.8	3.4		MH	100	100	100	100	98.8	51.6	36.1	15.5
SR-6	MI	2	+19.12	2.8	3.4		CL	100	100	100	100	99.1	50.9	34.7	16.2
SR-6	MI	2	+17.12	4.8	5.4		CL	100	100	100	100	99	52.1	34.9	17.2

SONDEO	TIPO MUESTRA	NIVEL	COTA ABSOLUTA	COTA RELATIVAS			USCS	GRANULOMETRIA POR TAMIZADO					LÍMITES DE ATTERBERG		
				MEDIA	SUP	INF		pasa 25	pasa 20	PASA 5	PASA 2	PASA 0,08	LL	LP	IP
SR-6	MA	2	+16.07	6	6.3		CL	100	100	100	99.5	98	44.5	29.2	15.3
SR-7	MA	2	+28.13	1.5	1.8		GM								
SR-7	SPT	2	+27.76	1.8	2.25		ML	100	100	98.1	95.6	90.4	42	30.4	11.6

Tabla 16: Ensayos en suelos (identificación)

Los resultados obtenidos son similares en sus características básicas. En el siguiente gráfico (carta de plasticidad) se representan las muestras de los estudios de 1983 y 2012.

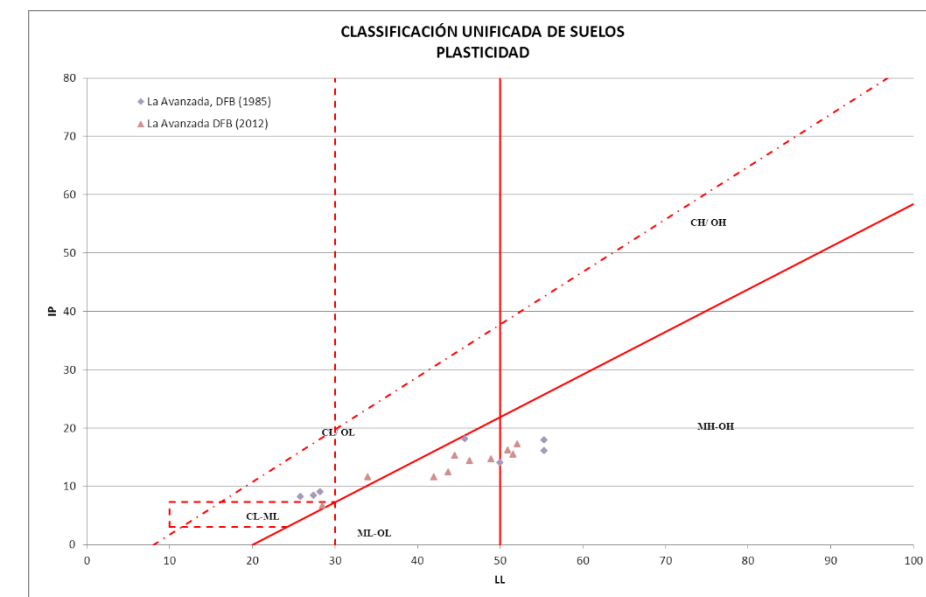


Figura 14: Carta de plasticidad. Fuente: Elaboración propia.

Es posible concluir que la vaguada existente en el año 1983 se habría regularizado parcialmente en la zona de los sondeos SR-1 y SR-3 con unos 3 metros de material compactado.

2) Ensayos de Estado y comportamiento tensodeformacional:

SONDEO	TIPO MUESTRA	NIVEL	COTA ABSOLUTA	USCS	TAMIZADO		LLAA	HUMEDAD	DENSIDAD		CORTE DIRECTO		RCS	
									SECA	HÚMEDA	C'	Φ'	rcs	ε
			MEDIA		PASA 2	PASA 0,08	IP	%	g/cm³	g/cm³	Kp/cm²	º	kPa	%
SR-1	MA	1	+7.37	SC	66.4	45	11.6							
SR-3	TP	2	+13.74	ML	100	99	12.4	25.84	1.52	1.91				
SR-3	SPT	2	+13.37	ML	87.2	74.7								
SR-3	MI	2	+11.99	ML	100	99	14.7	43.51			0.4	23.6		
SR-3	TP	2	+8.84	ML	100	99.2	14.4	24.86						

Anejo 02 - Geología y geotecnia

SONDEO	TIPO MUESTRA	NIVEL	COTA ABSOLUTA	USCS	TAMIZADO		LLAA	HUMEDAD	DENSIDAD		CORTE DIRECTO		RCS	
									SECA	HÚMEDA	C'	Φ'	r _{cs}	ε
			MEDIA		PASA 2	PASA 0,08	IP	%	g/cm ³	g/cm ³	Kp/cm ²	º	kPa	%
SR-3	SPT	2	+5.87	ML-GM	63.5	40.7	6.7							
SR-5	TP	2	+19.98	MH	100	98.8	15.5	35.17	1.42	1.92			205	5.6
SR-6	MI	2	+19.12	CL	100	99.1	16.2	40.14	1.29	1.8				
SR-6	MI	2	+17.12	CL	100	99	17.2	36.83	1.39	1.9	0.5	27.5		
SR-6	MA	2	+16.07	CL	99.5	98	15.3							
SR-7	MA	2	+28.13	GM										
SR-7	SPT	2	+27.76	ML	95.6	90.4	11.6							

Tabla 17: Ensayos en suelos (tensodeformacional).

En relación con los ensayos de corte se han realizado en esta fase dos ensayos de tipo consolidado y drenado de tipo CD a los que se añade el triaxial realizado en el PC de 1983 (tipo CU)². Los resultados se han representado en la siguiente figura.

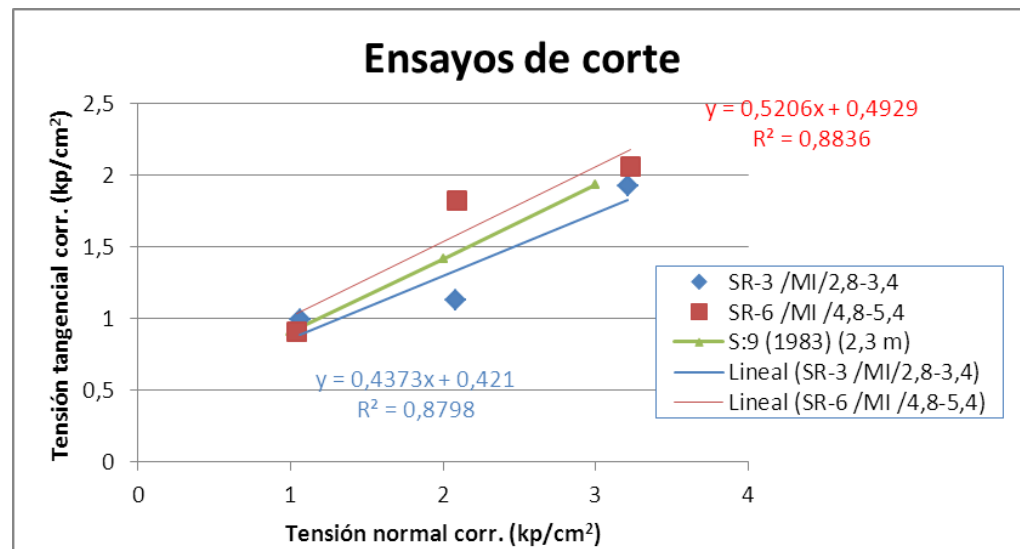


Figura 15: Resultados ensayos de corte

Se puede apreciar que los resultados obtenidos en 2012 son bastante coherentes entre los tres ensayos pese a su distinta naturaleza (ML/MH y CL con ensayos tipo Triaxial (CU) y corte directo (CD)).

Muestra	Clasificación (LL/IP)	Estado (probetas) (W (%)/ densidad seca (g/cm ³))	C' (kp/cm ²)	Φ' (°)
2978/ SR-3 (2.8-3.4)	ML 48.9/14.7	30.7-39.8-48.0 1.43-1.30-1.15	0.43	23.7°
2986 SR-6 (4.8-5.4)	MH 52.1/17.2	32.17-31.06-28.94 1.44-1.46-1.48	0.52	27.5°
44815/S-9 (2.10-2.7)	CL 25.8/8.2	20-20.2-19.8 1.76-1.74-1.77	0.4	27°

Tabla 18: Resultados ensayos de corte

A.3.- Químicos:

SONDEO	TIPO MUESTRA	NIVEL	COTA ABSOLUTA	USCS	TAMIZADO		SULFATOS	ACIDEZ BAUMANN GULLY
					PASA 2	PASA 0.08		
			MEDIA				mg/Kg	ml/Kg
SR-1	MA	1	+7.37	SC	66.4	45		
SR-3	TP	2	+13.74	ML	100	99		
SR-3	SPT	2	+13.37	ML	87.2	74.7		
SR-3	MI	2	+11.99	ML	100	99		
SR-3	TP	2	+8.84	ML	100	99.2		
SR-3	SPT	2	+5.87	ML-GM	63.5	40.7		
SR-5	TP	2	+19.98	MH	100	98.8		
SR-6	MI	2	+19.12	CL	100	99.1	50.8	2
SR-6	MI	2	+17.12	CL	100	99		
SR-6	MA	2	+16.07	CL	99.5	98		
SR-7	MA	2	+28.13	GM			182.2	1.8
SR-7	SPT	2	+27.76	ML	95.6	90.4		

Tabla 19: Ensayos en suelos (químicos)

4.2.3.2 Ensayos en Roca

En relación con la roca el proyecto de 1983 dispone de pocos ensayos, p.e. un ensayo de carga puntual (l.d.=12.6 kp/cm²), dos determinaciones de densidad/absorción de agua (2.4-2.5 g/cm³/2.8-2.55%) y tres determinaciones de carbonatos (27.5-37.5%). Se describen las litologías en sondeo como margas, margas calizas, areniscas o argilitas.

En el estudio de 2012 se realiza una caracterización bastante detallada:

² Muestra nº44815. Ensayo tipo CU con medida de presiones intersticiales.

SONDEO	TIPO MUESTRA	NIVEL	COTA ABSOLUTA	COTA RELATIVAS		RCS (N/mm²) (Mpa)				RT	OBSERVACIONES
						CARGA PUNTUAL	MARTILLO SCHMIDT				
			MEDIA	SUP	INF		N/mm2	ÍNDICE	MIN	MAX	
SR-1	MA	3	<+3	varias		37					varias muestras y cotas
SR-1	MA	3	-1.83	12.80			33.2	29	57.5		
SR-1	MA	3	-3.23	14.20			31.4	24.8	52		
SR-3	MA	3	+4.69	10.40			29	20.2	46		
SR-3	MA	3	+0.89	14.20			33.4	29.4	58		
SR-6	MA	3	+18.72	3.50			41.2	52	87.5		
SR-7	MA	3	+19.08	10.70			52.2	89.5	156		
SR-3	TP	3	+0.29	14.60	15.00					8.39	ROTURA POR S ₀
SR-6	TP	3	+12.92	9.15	9.45					92.06	
SR-7	TP	3	+23.88	5.80	6.00					13.92	
SR-8	TP	3	+22.70	3.55	3.7					14.18	
SR-3	TP	3	+1.84	13.1	13.4					77.17	
SR-6	TP	3	+12.92	9.15	9.45					58.29	
SR-7	TP	3	+26.78	2.9	3.1					36.71	
SR-8	TP	3	+23.82	2.4	2.6					35.69	

Tabla 20: Ensayos en roca. Fuente: Elaboración propia a partir de resultados de ensayos de EG (2012)

En la siguiente figura se muestran imágenes de los ensayos de resistencia a tracción.

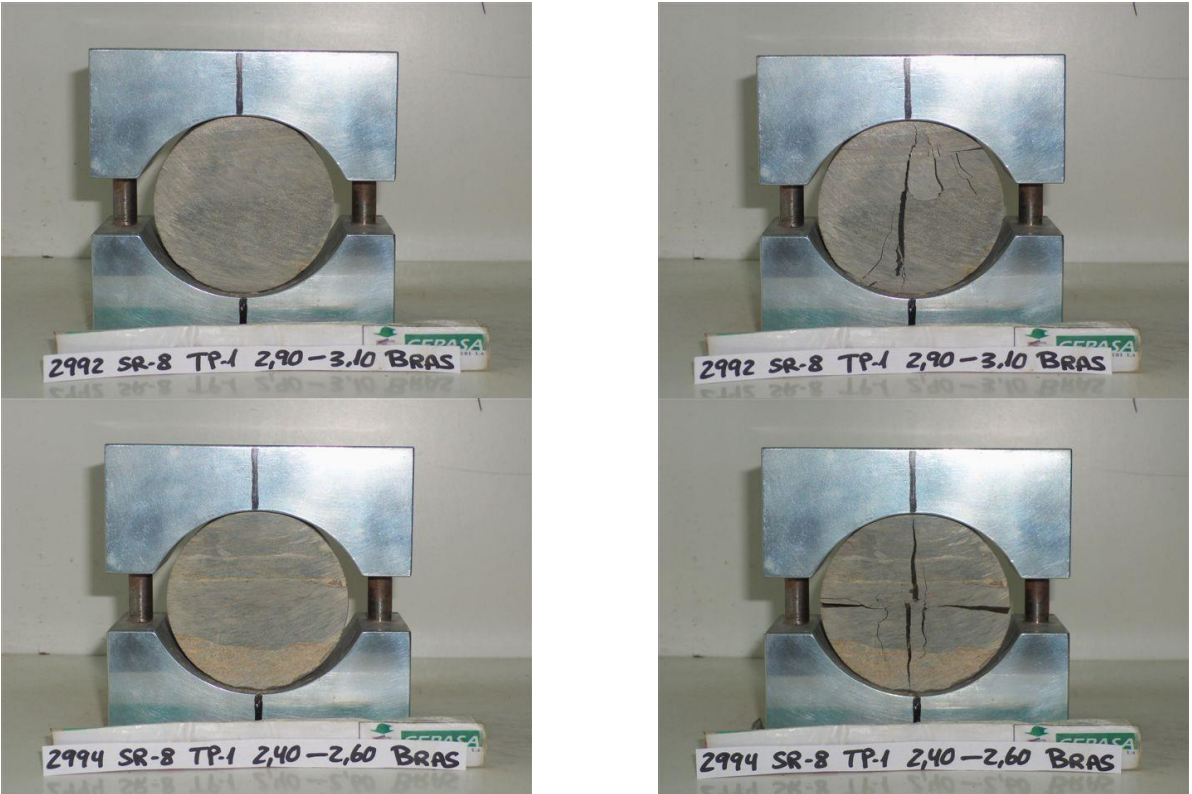
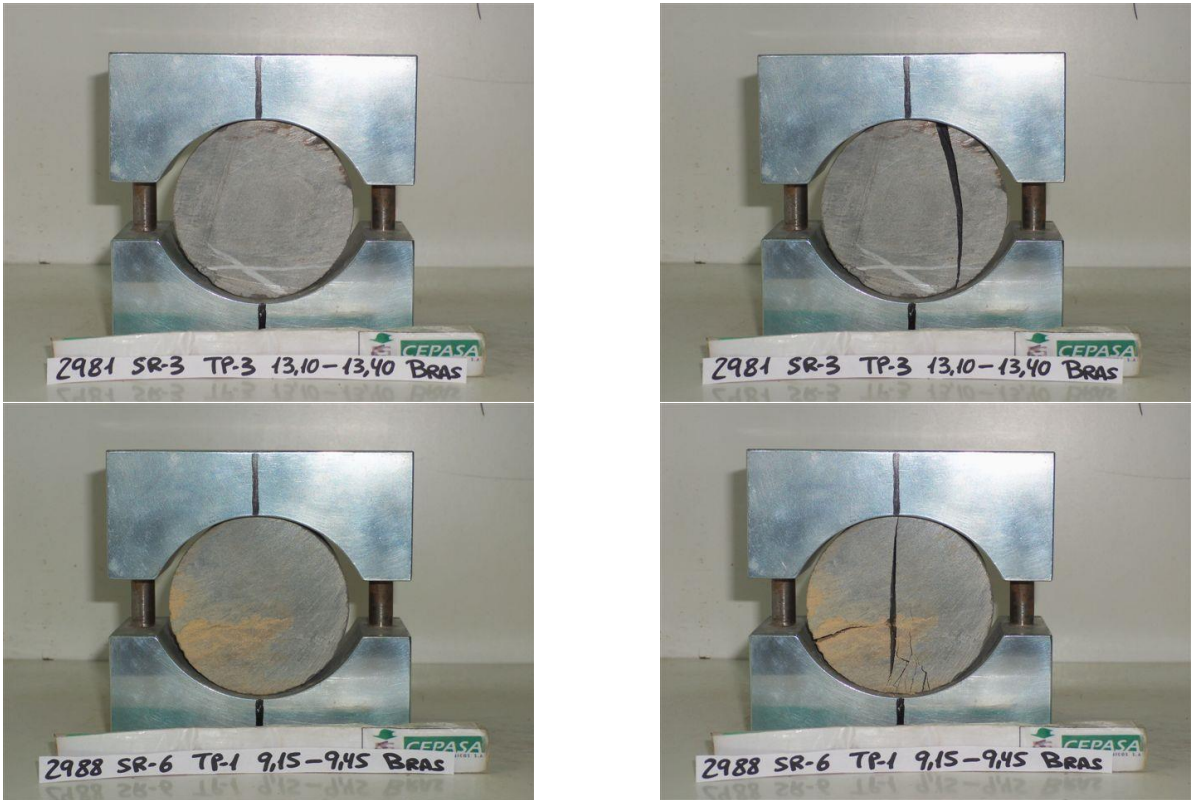


Figura 16: Ensayos de resistencia a tracción.

Adicionalmente se habrían realizado una serie de ensayos para la determinación de la densidad de la roca. Los resultados obtenidos han sido:

Sondeo	Cota	Tipo muestra	Densidad seca (g/cm ³)	Densidad húmeda (g/cm ³)	Humedad natural (%)
SR-1	12.00	Roca FDC en GM II	2.643-2.773	2.656	0.53%
SR-6	11.00	Roca FDC en GM II	2.440-2.579	2.493	2.17%
SR-8	3.70	Roca FDC en GM II	2.302-2.439	2.366	2.78%

Tabla 21: Determinación densidad y humedad en roca

En los estudios del año 1983 se obtuvieron densidades de 2.488 (seca) a 2.586 (saturada) con absorción de 2.55 a 2.8%. Se estimaban densidades reales de 2.674-2.695 g/cm³. Con respecto a otros ensayos se realizaron tres determinaciones del contenido en carbonatos con porcentajes del 27.5 al 37.5%.

Por tanto, de los estudios realizados se confirman dos aspectos:

- 1.- Heterogeneidad litológica o de estado (valores que varían para el nivel de roca sana entre 2.4 y más de 2.7 T/m³).
- 2.- Valores localmente bajos de densidad que pueden ser achacables a la meteorización diferencial de la roca. En el estudio de la pasarela ya se apuntaba una densidad de 2.35 T/m³ similar a la densidad obtenida en el SR-8.

Los ensayos del año 1983 muestran además alguna anomalía ya que los valores de humedad parecen excesivamente altos.

4.2.4 Problemática geotécnica

Se ha considerado que la problemática geotécnica del área corresponde básicamente a los siguientes elementos:

- Existencia de zonas de vaguada (transversales) con suelos limo-arcillosos de potencia importante (hasta unos 10 metros).
- Transición longitudinal hacia ambiente “costero”. En los sondeos realizados en el estudio de 1985 aparecerían en la zona de Artaza hasta 28 metros de suelos (areno-limosos). Superficialmente los suelos se presentan con una baja densidad/compacidad. Parte de estos suelos pueden corresponder a rellenos que podrían regularizar algún tipo de paleo-relieve. Hay que indicar que esta hipótesis podría justificar la irregularidad en las profundidades del techo de roca.

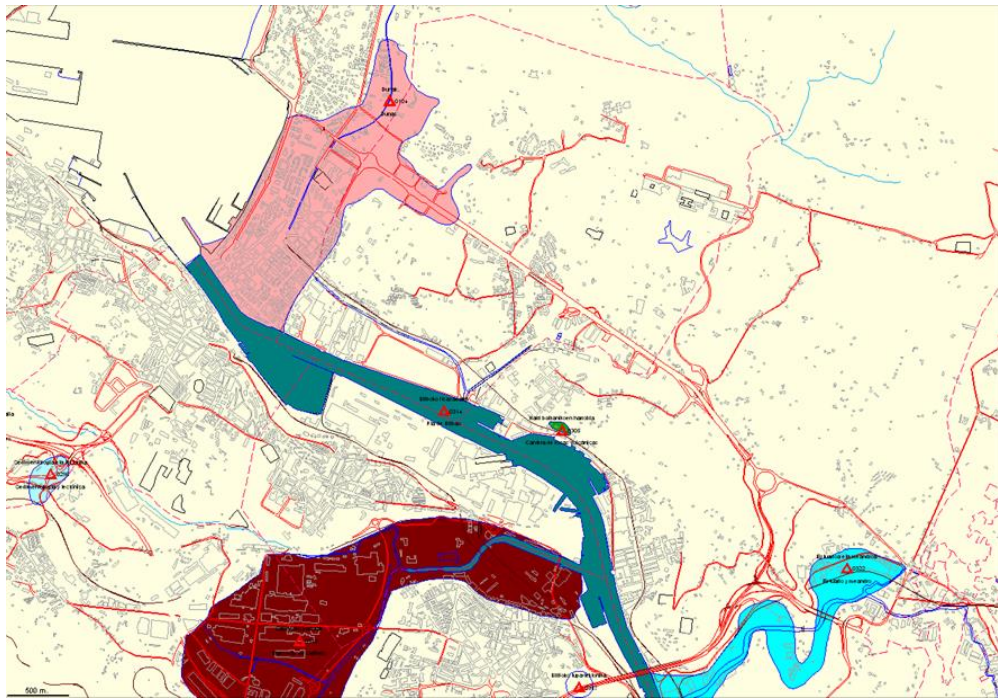


Figura 17: Extensión de la zona dunar en la cartografía de Gobierno Vasco (1999)

- Presencia de nivel freático relativamente alto (2-6 m de profundidad) en todos los sondeos realizados.
- Espesores localmente importantes de alteración significativa en la roca. Por debajo la roca aparece con un RQD medio-alto (>60%).

4.2.5 Síntesis de niveles geotécnicos

En los reconocimientos disponibles en el área se han podido diferenciar los siguientes niveles geotécnicos:

- 1.- Nivel 1: **Rellenos**: Habitualmente (zona pavimentada) se trata de acera y capa de hormigón sobre un relleno de tipo granular denso (gravas de tipo GP).
- 2.- Nivel 2: Por debajo de este nivel habitualmente aparece la **roca muy meteorizada en grado V**. Se debe indicar que la meteorización en rocas es un aspecto complejo, se suele recurrir en sondeos a una escala de 5 (I-V) grados que fue adoptada para el granito (roca de tipo ígneo, no foliada) pero polimineral con un comportamiento muy heterogéneo en este sentido (Q/Fto-Micas). La adopción de una escala similar para rocas foliadas se basa en el mismo criterio visual, aunque hace hincapié en el aspecto y funcionamiento resistente de las litoclasas.

Grado de Meteorización	Denominación	Criterios de Reconocimiento
I	Sana	Roca no meteorizada. Conserva el color en matriz y juntas. No alteración ni decoloración de discontinuidades.
II	Sana con juntas teñidas de óxidos	Las caras de las juntas están manchadas de óxidos, pero el bloque entre ellas mantiene el color y aspecto de la roca sana.
III	Moderadamente Meteorizada	Claramente meteorizada a través de la petrofábrica reconociéndose el cambio de color respecto de la roca sana. El cambio de color puede ser desde simples manchas a variación de color en toda la masa, generalmente a colores típicos de óxidos de hierro, la resistencia de la roca puede variar desde muy análoga a la roca grado II a bastante más baja, pero tal que trozos de 25 cm² de sección no pueden romperse a mano.
IV	Muy Meteorizada	Roca intensamente meteorizada, que puede desmenuzarse y romperse a mano, aunque la estructura es perfectamente reconocible.
V	Completamente Meteorizada	Material con aspecto de suelo, completamente descompuesto por meteorización “in-situ”, pero en el cual se puede reconocer la estructura de la roca original.

Tabla 22: Grados de meteorización (I-V). Escala D.G. Moye. Fuente: Proyecto básico de apantallamiento acústico en las bocas de La Avanzada (Junio de 2014).

En el estudio de la zona se ha descrito un nivel bastante potente (hasta casi unos 8 metros de espesor y 9.00 metros desde superficie para el SR-3, muy similar en el caso del SR-6) de roca alterada que se describe como limo arcilloso con indicios de grava, colores marrón-grisáceos y consistencia muy firme.

En estos materiales se ha procedido a testificar aplicando penetrómetro de bolsillo y vane test con lo que se obtiene valores aproximados de la resistencia a compresión simple (qu) y resistencia al corte sin drenaje (su). De los ensayos realizados se concluye:

- En el estudio de 2012 realizaron 61 ensayos con penetrómetro de bolsillo en este nivel con valores de compresión simple entre 1 y >6 kp/cm². El valor medio fue de 3.3 kp/cm² (consistencia dura)
- También se realizaron 41 ensayos con vane-test de bolsillo en este nivel con valores entre 0.48 y 3.75 kp/cm². El valor medio fue de 1.3 kp/cm² (consistencia dura).

Los valores medios son coherentes, aunque con una correlación limitada apreciándose también una notable heterogeneidad con intercalación de zonas menos alteradas entre zonas de consistencia media-baja (qu=1-1.5/su=0.5-0.8 kp/cm²). Los valores más bajos corresponden al sondeo SR-1 y puntualmente al SR-6.

En la siguiente figura se han representado los valores obtenidos de los ensayos:

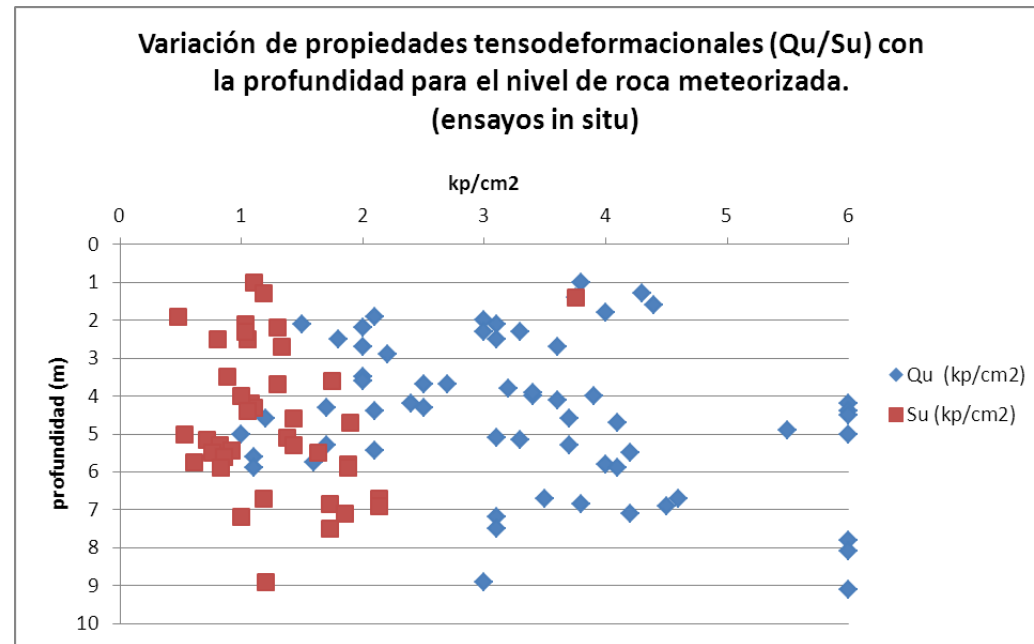


Figura 18: Niveles y grados de meteorización

- 3.- **Nivel 3: Roca sana:** La meteorización presenta habitualmente un contacto irregular pero neto pasando del grado V-IV a los grados II-III. Dadas las características del Flysch y su orientación subvertical se detectan resistencias bastante heterogéneas (martillo Schmidt) pero siempre superiores a los 200 kp/cm² (202-895 kp/cm²).

En la siguiente figura se muestra uno de los sondeos (SR-1) identificando los tres niveles reconocidos.



Figura 19: Testigos del sondeo SR-1: Niveles y grados de meteorización

Anejo 02 - Geología y geotecnia

En síntesis, lo reconocido en las perforaciones realizadas en la zona ha sido:

Sondeo/ Nivel geotécnico	SR-1	SR-3	SR-5	SR-6	SR-7	SR-8
Nivel 1: rellenos antrópicos tipo granular	0.00-4.80	0.00-1.00	0.00-1.60	0.00-2.10	0.00-1.40	0.00-0.80
Nivel 2: roca meteorizada a suelo de tipo limoso arcilloso con indicios granulares medios (GM-V-IV)	5.35-7.80	1.00-9.00	1.60-4.60	2.10-8.75	1.40-2.30	--
Nivel 3: roca de tipo FDC sana (GM-II-III)	7.80-15.00	9.00-15.00	4.60-8.70	8.70-11.40	2.30-6.30	0.80-5.00

Tabla 23: Niveles geotécnicos reconocidos en los sondeos. Fuente: Proyecto básico de apantallamiento acústico en las bocas de La Avanzada (Junio de 2014).

4.2.6 Nivel freático

4.2.6.1 Medidas de Nivel freático

La determinación de nivel freático es un aspecto relevante en este tipo de estudios. Para conseguir una medida fiable se deben tener en cuenta dos efectos:

- La perforación supone la entrada de agua como elemento auxiliar para la refrigeración de la corona. La mayor o menor permeabilidad de los materiales permitirá realizar una medida de mayor o menor
- Efectos dinámicos debidos a precipitaciones o influencia mareal.

Por todo ello se optó por agotar el agua y dependiendo del comportamiento observado realizar un control de la recuperación o establecer el nivel piezométrico estático mediante una serie de medidas. Estos dos procedimientos se ilustran en los siguientes gráficos.

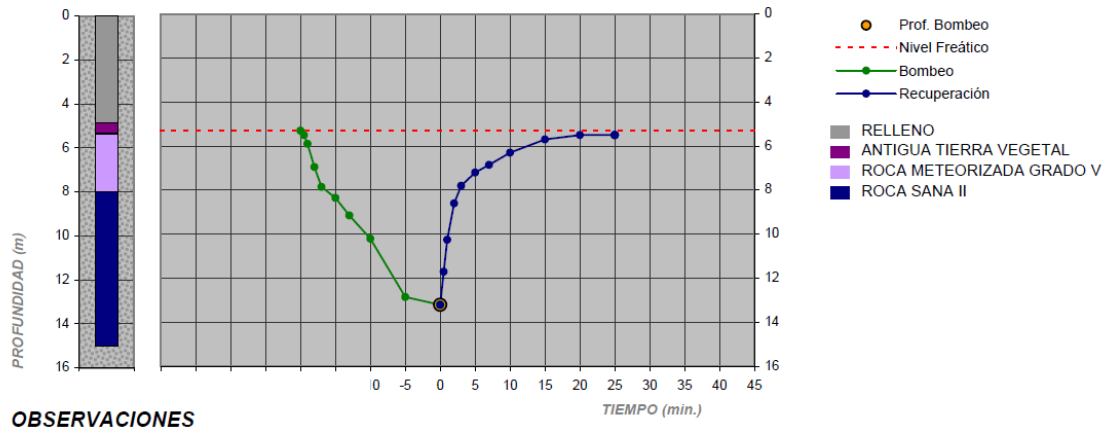


Figura 20: Registro del agotamiento y recuperación del nivel freático en el SR-1 (2012)

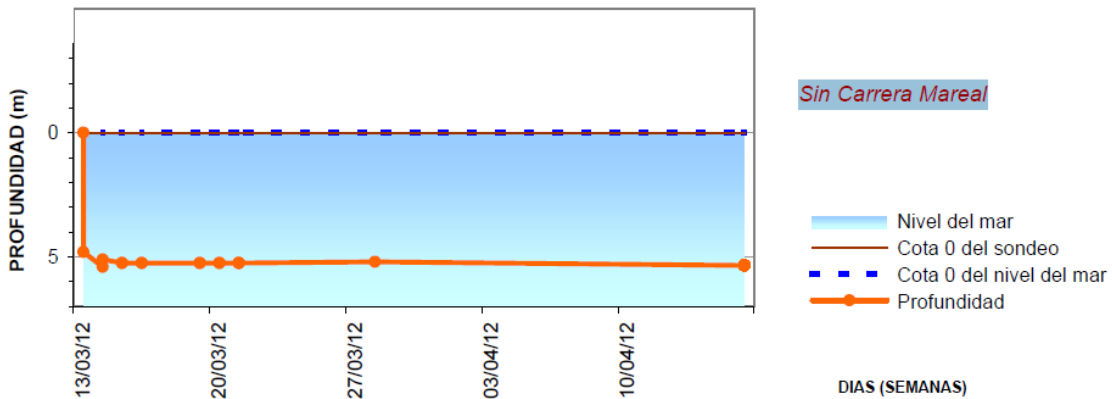


Figura 21: Evolución del nivel freático en SR-1

Se han integrado todas las medidas realizadas en los siguientes gráficos que permiten apreciar la posición real del nivel freático (cotas absolutas) y la respuesta ante los ensayos de bombeo-recuperación.

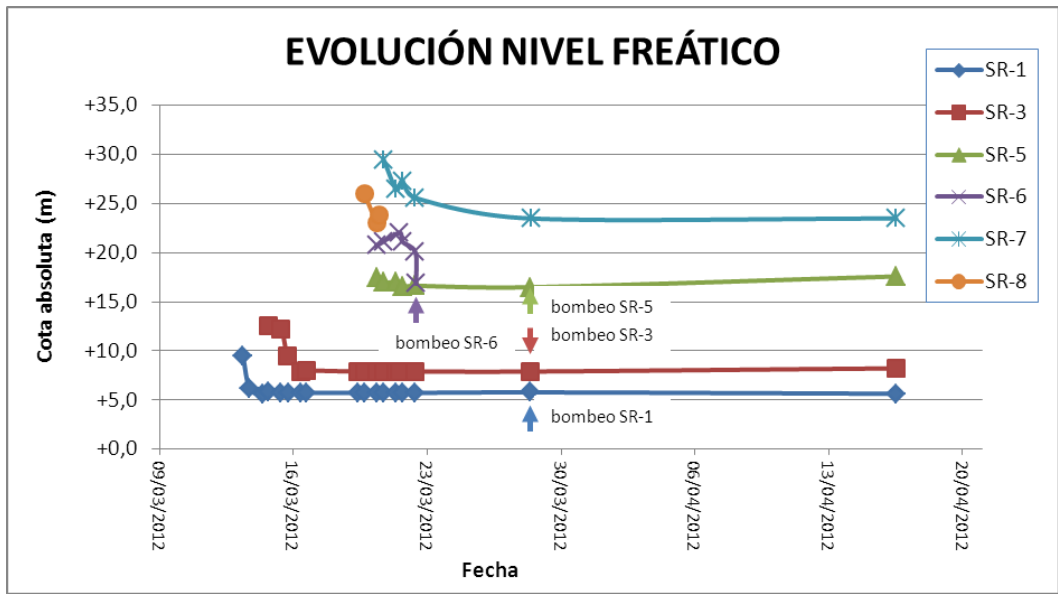


Figura 22: Evolución del nivel freático en los sondeos

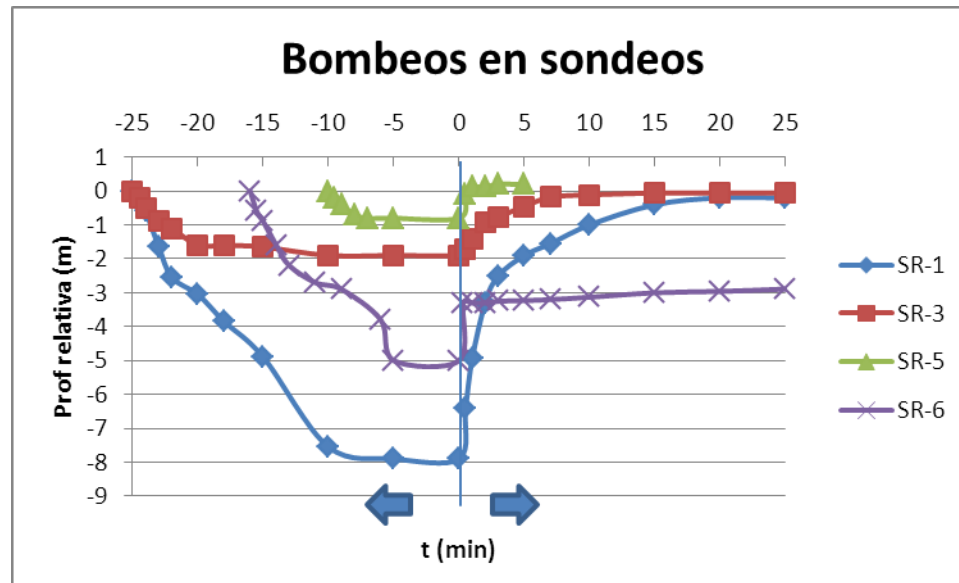


Figura 23: Comportamiento en los bombeos

De los ensayos realizados se pueden establecer como valores representativos:

Nº elemento	fecha final sondeo	fecha bombeo	Z	Z _{roca}	Z _{NF}	
SR-1	12/03/2012	28/03/2012	+10.97	+2.97	+5.63	16/04/2012 12:30
SR-3	14/03/2012	28/03/2012	+15.09	+5.64	+8.22	16/04/2012 12:30
SR-5	19/03/2012	28/03/2012	+23.08	+17.38	+17.58	16/04/2012 12:30
SR-6 *	20/03/2012	22/03/2012	+22.22	+13.47	+16.83	22/03/2012 10:00
SR-7	20/03/2012		+29.78	+27.48	+23.48	16/04/2012 12:30
SR-8	19/04/2012		+26.32	+25.52	+23.32	20/03/2012 11:30

Tabla 24: Correspondencia sondeos/penetrómetros. Fuente: Proyecto

4.2.6.2 Agresividad del agua

En el estudio de 2012 (SR-6) se tomó y ensayó una muestra de agua que aporta los siguientes valores:

Sondeo SR-6/ cota 5.4 mbt/(fecha muestreo: 22/03/2012)	
VALOR DEL pH	7.97
TEMPERATURA (°C)	19.2
CO ₂ AGRESIVO (mg CO ₂ /L)	1.8
ION AMONIO (mg NH ₄ /L)	0.34
ION MAGNESIO (mg Mg/L)	11.4
ION SULFATO (mg SO ₄ /L)	69.7
RESIDUO SECO (mg/L)	359

Tabla 25: Resultados ensayo de agresividad agua (2012)

La muestra se considera no agresiva de acuerdo con los criterios de la norma EHE.

4.2.6.3 Nivel freático de diseño

En 1983 (mayo a junio) las medidas de NF indican se encuentra entre 1.7 y 4.4 m de profundidad

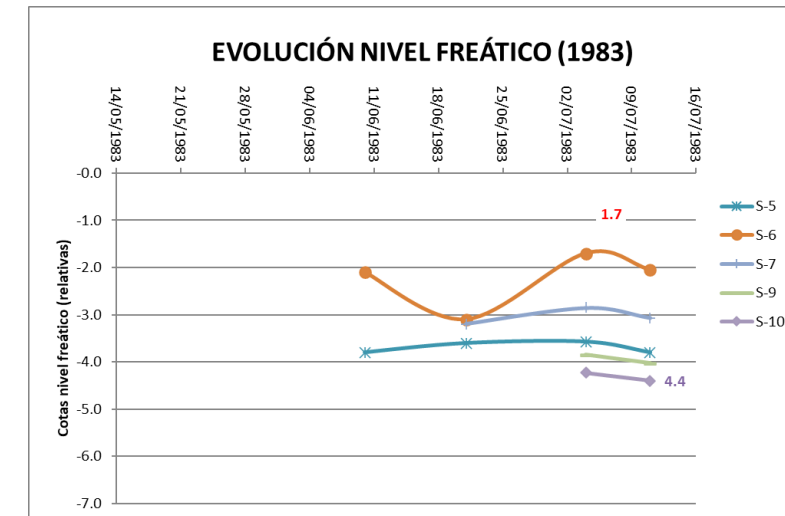


Figura 24: Posición del Nivel freático (1983). Fuente: Elaboración propia a partir de estudio geotécnico del proyecto de Desdoblamiento.

En 2012 (marzo-abril), sondeos SR-nº, se dispone de las cotas de cabeza de sondeos por lo que se reflejan en el esquema inferior las cotas absolutas de NF (en azul: +27, +23.8,+17,+20,+8 y +6) y las de cabeza de sondeo, el nivel freático estaría entre 2 y 7 metros por debajo del terreno.

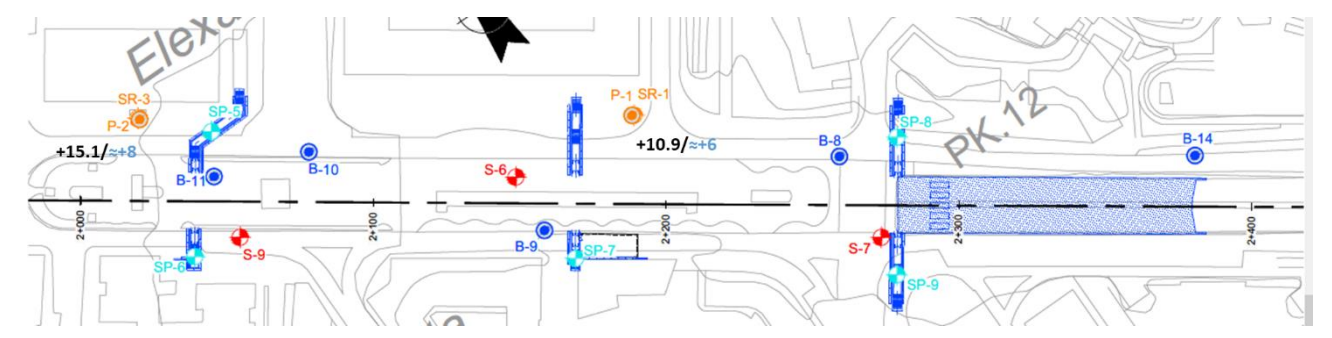
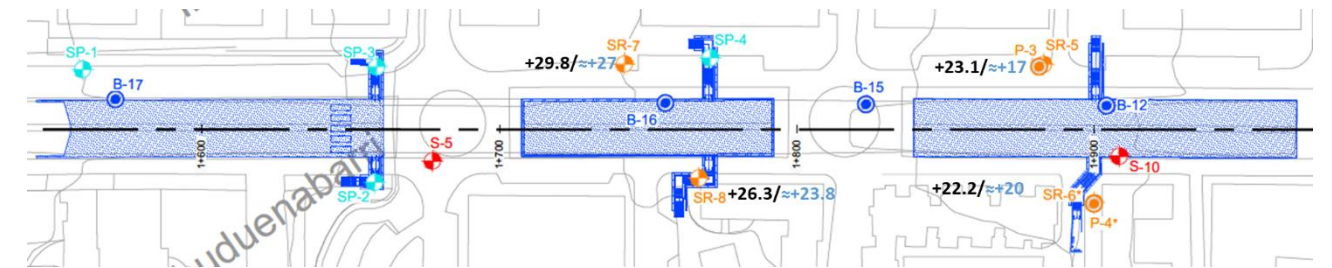


Figura 25: Nivel freático (2012)- Fuente: Elaboración propia a partir de datos del estudio geotécnico.

A partir de las medidas se han establecido las siguientes conclusiones:

- El nivel freático en el área aparece como una superficie compleja ligada al techo de la roca sana que se considera impermeable. Las profundidades determinadas entre los 3 y los 7 metros desde boca de sondeo suponen cotas absolutas desde la +3 hasta la +23. En la siguiente figura se ha representado la situación de la margen izquierda en sentido Bilbao (sondeos SR-1, 3, 5 y 7)

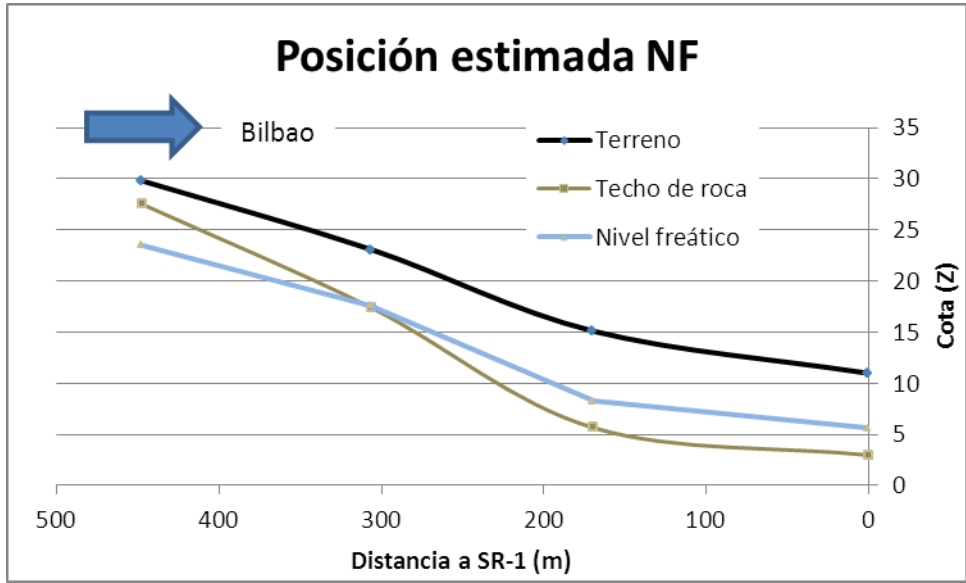


Figura 26: Posición estimada del Nivel freático

- No se han apreciado efectos mareales en las medidas realizadas.
- A partir de los ensayos realizados se puede estimar que la roca meteorizada presentaría una permeabilidad en torno a los $10e-3/-4$ cm/s. Este valor es razonable, aunque lo consideramos elevado dada la naturaleza del material, se debe también tener en cuenta que el valor real será bastante heterogéneo.

De acuerdo con el CTE/HS se exige (presencia de agua y coeficiente de permeabilidad) un grado de impermeabilidad alto a los muros en las condiciones descritas.

4.2.7 Parámetros geotécnicos

De acuerdo con la investigación geotécnica disponible se han establecido los siguientes parámetros:

Nivel 1: rellenos antrópicos: Nivel en general escasamente significativo por su reducido espesor. Se proponen las siguientes características.

Nivel	Espesor	Tipo (USCS)	Porcentaje de finos	C (kp/cm ²)	Φ (°)
1: rellenos	0-2 metros*	GM-GP	45% (1 ensayo)	<0.1	34°

Nivel 2: Suelos de alteración (eluviales):

Se da lugar a suelos predominantemente limosos de plasticidad baja a intermedia (ML/CL puntualmente MH de acuerdo con el sistema USCS con $LL=28.5-52.1$ / $IP=6.7-17.2$ (8.4-18 en el estudio de 1983)). Parece haber diferencias entre los suelos de la zona de Elexalde (8 de los 10 valores de s_u están por debajo de 1 kp/cm² en esta zona).

Los suelos presentan una densidad húmeda (n=4 datos) de 1.8-1.9 g/cm³, seca (1.29-1.52 g/cm³) con humedades (n=6 datos) de un 5 a 20% por debajo del límite líquido.

Nivel	Espesor	Su (kp/cm ²)	Qu (kp/cm ²)	Cc (adim)	C' (kp/cm ²)	Φ' (°)
2: Suelos de alteración	2-9 metros (espesores mayores en zona Elexalde)	0,48-3,75 (1,28) (vane test=41 ensayos)	1->6 3,38* (penetrómetro de bolsillo=61 ensayos)	0,11-0,34 (2 ensayos)**	0,4 (0,4-0,52) (3 ensayos)	25° (23,7-27,5°)

* Los valores superiores a 6 kp/cm² (limitación del equipo) se asimilan a este valor.

** Los valores de edómetros corresponden al estudio del año 1983.

En el triaxial del año 1983 (S-9: 2.1-2.7 metros) se obtuvieron parámetros CU: $\phi_{cu}=15^\circ$ y $c_{cu}=0.69$ kp/cm².

La relación con la profundidad no resulta excesivamente clara y dados los resultados de los ensayos de penetración es recomendable adoptar valores conservadores. En el siguiente gráfico se muestran los valores obtenidos y dos posibles correlaciones con:

$$Su/\sigma'v=0.16-0.22$$

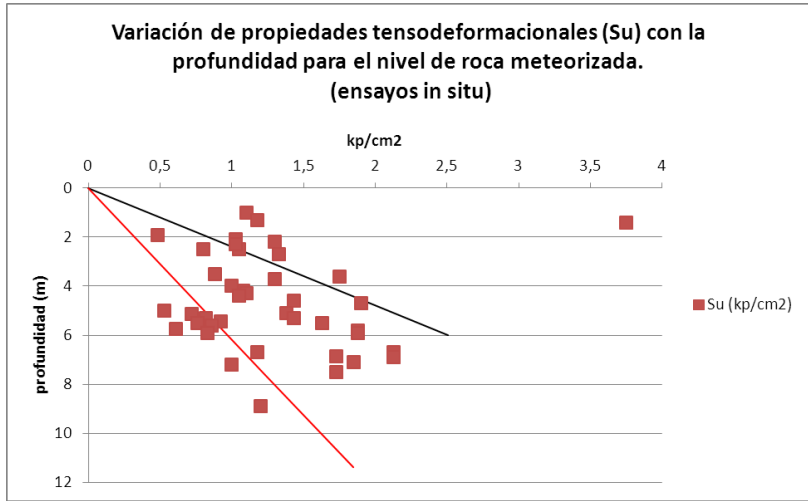


Figura 27: SPT Relación de la resistencia al corte sin drenaje (su) con la profundidad.

Los valores de resistencia a compresión simple en probetas del año 1983 se deben valorar con precaución (0.1-0.9 kp/cm²) ya que entendemos que podrían haber estado influidas por la naturaleza del material.

Anejo 02 - Geología y geotecnia

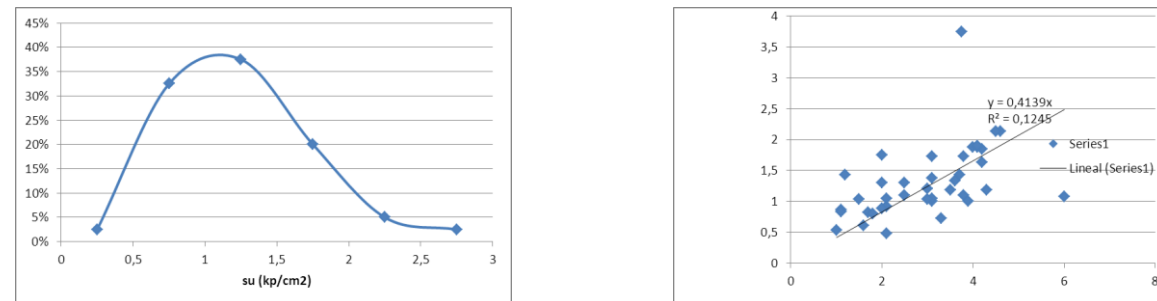


Figura 28: Distribución de la resistencia al corte sin drenaje (su): Correlación qu-su en el estudio actual.

Nivel 3: Roca:

Se estima para la roca sana (GM II) una densidad de 24-27 KN/m³. Se han realizado una serie de ensayos que muestran con claridad el carácter heterogéneo del material. Los materiales corresponden a un flysch calcáreo (alternancia de margas, calizas y calizas arenosas) con porcentajes de carbonatos significativos (27.5-37.5%). Los valores de resistencia a compresión simple obtenidos han sido muy heterogéneos (13-92 MPa (el valor de 8.39 (SR-3) corresponde a rotura por la estratificación)) así como los de tracción indirecta (3.5-7.7 MPa).

En síntesis, con los datos obtenidos se ha estimado una envolvente de rotura por los criterios de Hoek-Brown y su correspondiente lineal para un talud de unos 8 metros de altura ($c=0.37 \text{ kp/cm}^2$ / $\phi=34.7^\circ$).

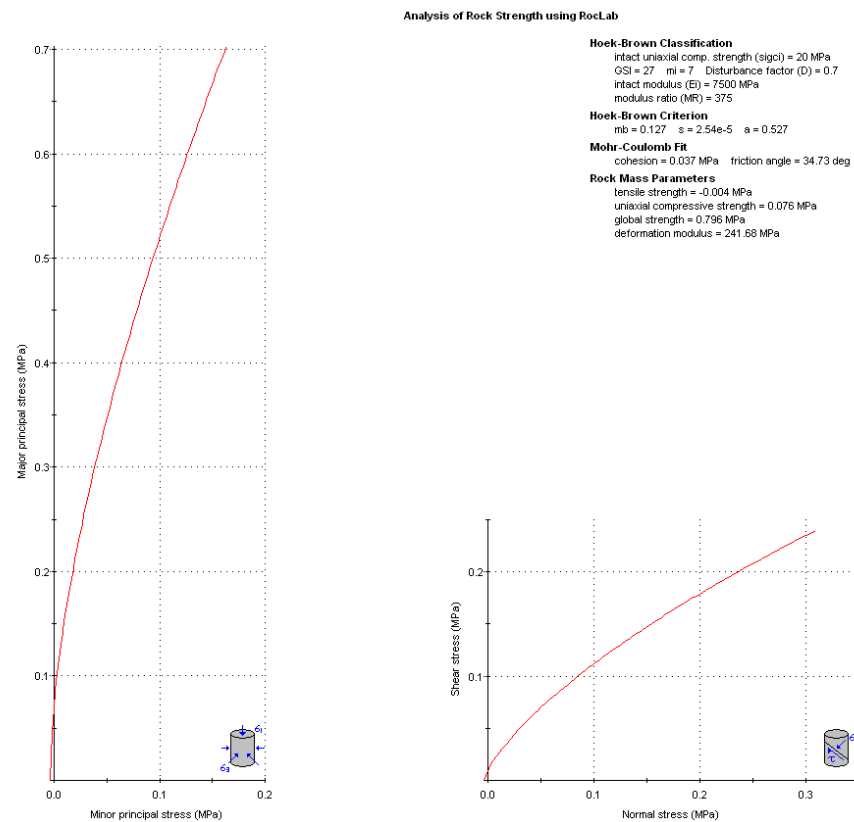


Figura 29: Envolventes de rotura para el FDC.

A la espera de la campaña geotécnica complementaria se establecen como valores estimados para el cálculo los siguientes:

Nivel	Espesor	Tipos (USCS)	Porcentaje de finos	W_{nat} (%)	γ (kN/m³)	c (kp/cm²)	Φ (°)	S_u (kp/cm²)	Q_u (kp/cm²)	C_c (adim)
1: rellenos	0-2 metros	GM-GP/GW	45% (1 ensayo)			<0.1	34°			
2: Suelos de alteración	2-9 metros (espesores mayores en zona Elexalde)	ML-MH/CL (localmente GM-SC)	40-99%	20-40% (1985)	13-15 (seca)-18-19	0.44 (0.4-0.52) (3 ensayos)	25° (23.7-27.5°)	0.48-3.75 (1.28) (vane test=41 ensayos) $S_u/\sigma'_v = 0.16-0.22$	1->6 3.38* (penetrómetro de bolsillo=61 ensayos)	0.11-0.34 (2 ensayos) Pasarela 0.1-0.33 (6 ensayos)
3: Roca tipo FDC GM II-III		Roca	--		24-27	0.37	34.7		130-920	

Tabla 26: Parámetros geotécnicos deducidos en el estudio geotécnico. Fuente: modificado a partir de [14]

A partir de los datos recopilados en los estudios realizados los parámetros que se consideran aplicables al cálculo serían:

- Nivel geotécnico 1) Rellenos de tipo granular con matriz limosa, en general materiales compactados: En este nivel la variabilidad corresponde a la proporción de finos y su compactación.
 - γ (kN/m³): 18-19
 - c (kN/m²): 0-5
 - Φ (°): 32-34°
 - Es: 20-50 MPa
- Nivel geotécnico 2) Suelos arcillosos/ roca meteorizada GM V (NG 2.1) /roca meteorizada a grado IV (NG 2.2): En este nivel la variabilidad de parámetros obedece a la meteorización diferencial de la roca.
 - γ (kN/m³): 18-19
 - Wl=28-52%
 - Ip=6.7-17.2% (8.4-18% (1985))
 - W_{nat} =25-43%
 - c (kN/m²): 60-20
 - Φ (°): 15-27°
 - Es: 20-30 MPa
- Nivel geotécnico 3) Roca sana a moderadamente meteorizada (grado II-III): En este nivel la variabilidad se debe a la naturaleza litológica y especialmente al grado de fracturación.
 - γ (kN/m³): 24-27
 - RCS (kp/cm²): 120-250
 - c (kN/m²): 40 a >100
 - Φ (°): 35-30°
 - Es: 20-30 MPa

Anejo 02 - Geología y geotecnia

La tensión admisible considerada en el proyecto de 1985 variaba para los apoyos en roca entre los 400 (roca descompuesta en la zona de cubrición), 500 (muros de la zona deprimida) y 700 KPa, este último valor para la zona de cubrición y en caso de que la roca aparezca sana, aunque se indicaban valores de hasta 1000 KPa (OF-1-8, a partir de 9 metros de profundidad con un RQD del 85%). Se desconoce la distribución de la roca fracturada en el apoyo de los muros y el diseño o soluciones finalmente aplicados en estas cimentaciones.

Según los sondeos realizados en marzo -abril 2012, el nivel freático se encuentra en profundidades entre 2,8 y 7 m desde la cota del terreno.

4.2.8 Perfil geotécnico

De acuerdo con la investigación realizada se ha definido el perfil geotécnico de la zona con tres niveles: Rellenos, roca alterada (GM IV-V) y roca sana (FDC).

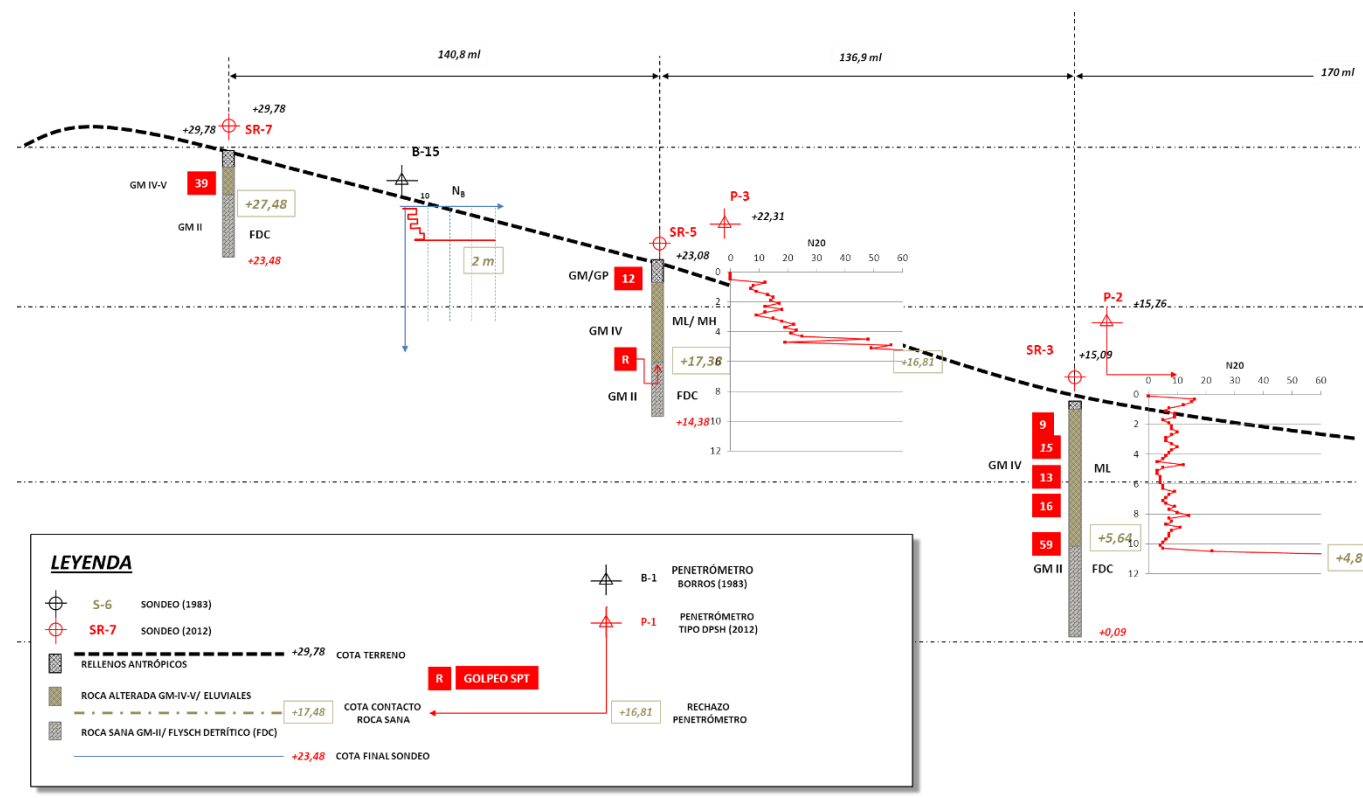


Figura 30: Perfil geotécnico: datos de partida

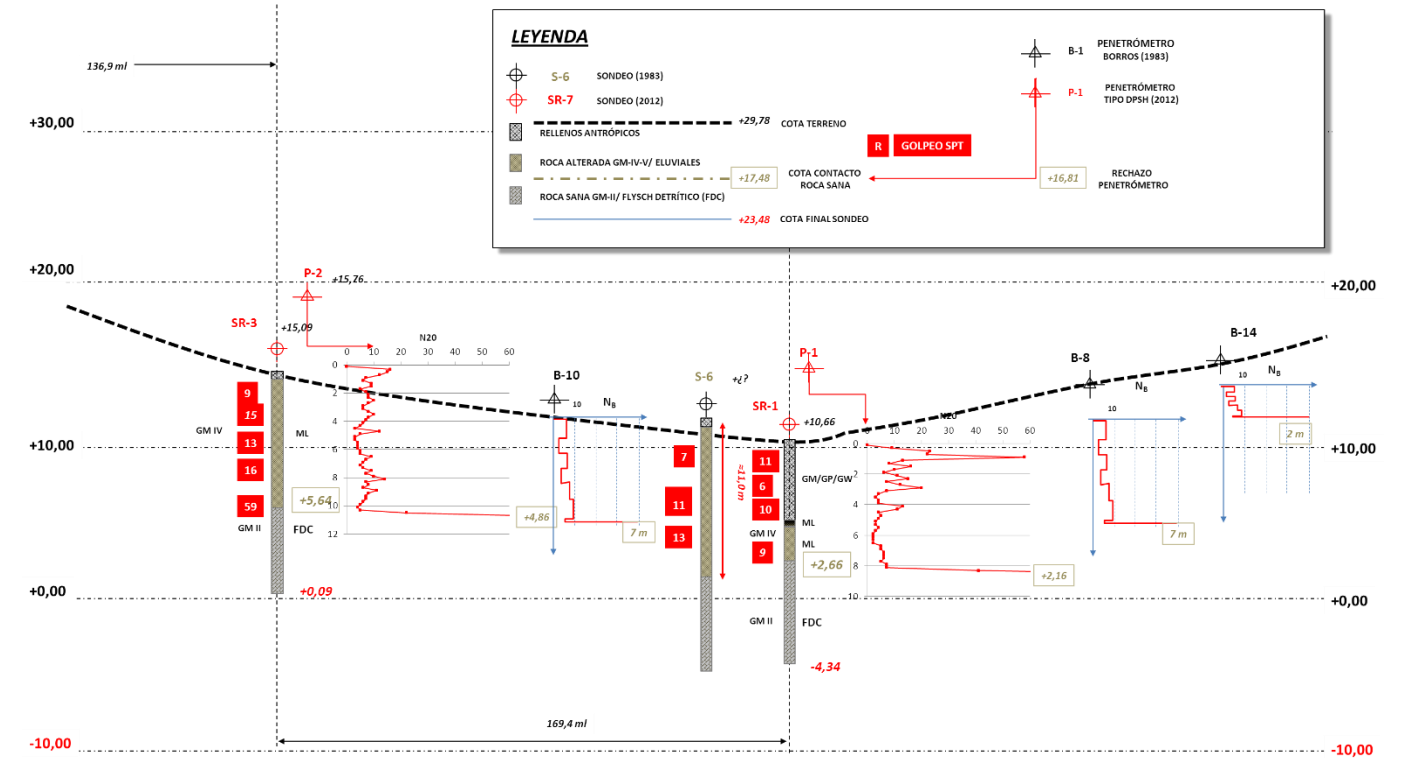


Figura 31: Perfil geotécnico (continuación). Datos de partida.

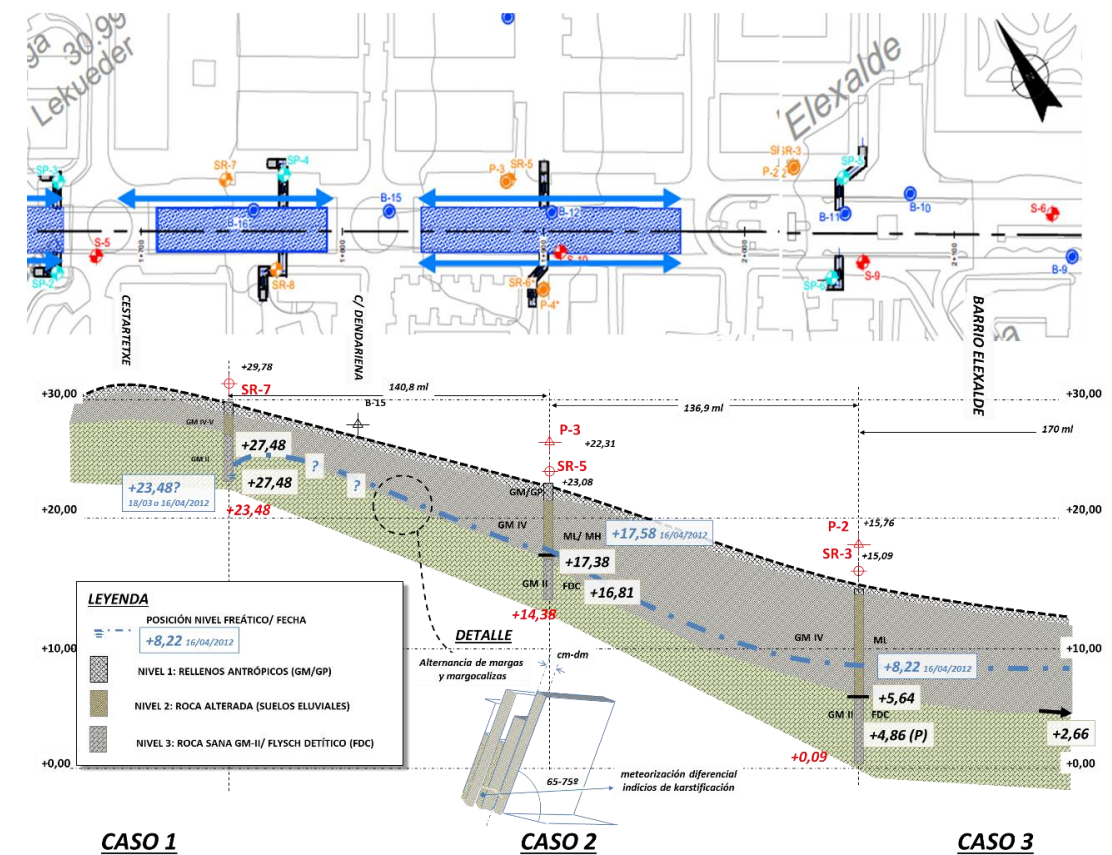


Figura 32: Perfil geotécnico: niveles

Anejo 02 - Geología y geotecnia

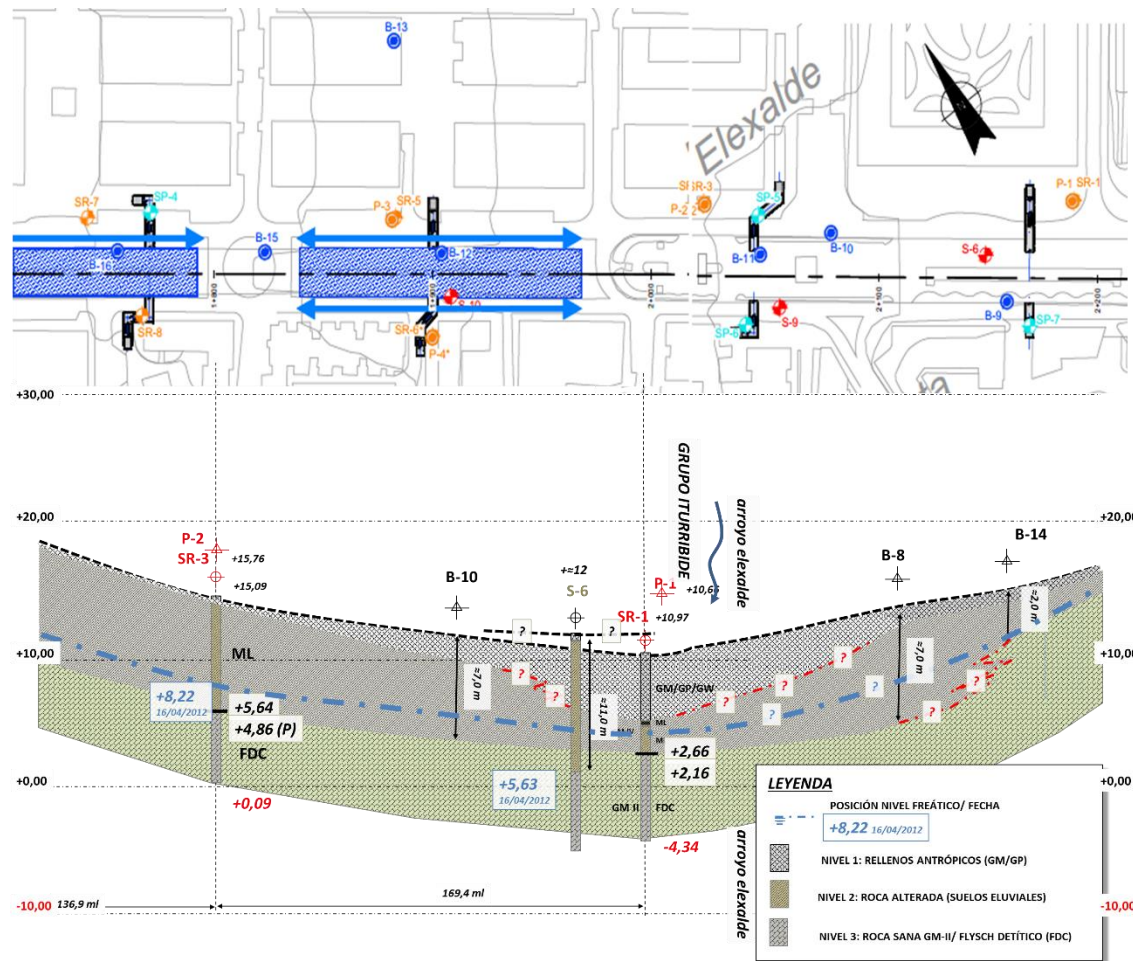


Figura 33: Perfil geotécnico: niveles (continuación)

4.2.9 Cimentaciones estructuras

Con carácter general se considera que la cimentación de estructuras se puede realizar con soluciones de tipo superficial apoyadas en el nivel 2 (roca meteorizada) y por supuesto en el nivel 3 (alternancia de margocalizas y calizas).

La tensión admisible considerada en el proyecto de 1985 variaba para los apoyos en roca entre los 400 (roca descompuesta en la zona de cubrición), 500 (muros de la zona deprimida) y 700 KPa, este último valor para la zona de cubrición y en caso de que la roca apareciera sana, aunque se indicaban valores de hasta 1000 KPa (OF-1-8, a partir de 9 metros de profundidad con un RQD del 85%). Se desconoce actualmente la distribución de la roca fracturada en el apoyo de los muros ejecutados y el diseño o soluciones finalmente aplicados en estas cimentaciones.

De acuerdo con los antecedentes disponibles se considera posible que algunas estructuras sensibles a los asentamientos (p.e. algunos apoyos de la Pasarela de La Avanzada así lo consideran) requieran una cimentación profunda, pero ello se debe a una tipología estructural que no aplica al presente proyecto). Los asentamientos diferenciales estimados alcanzan los 10 cm entre apoyo y suponen distorsiones angulares entre apoyos del orden de 0.6 a 0.7%. Se debe tener en cuenta que en el actual proyecto un aspecto importante es la necesidad de estructuras de contención que limiten la afección de las excavaciones en el entorno, se consideran que los micropilotes empotrados en roca (profundidad del techo entre unos 2 y 11 metros) son una solución idónea para este tipo de estructuras.

Cómo se comenta en el siguiente apartado, en este nivel de Proyecto y para el desarrollo del proyecto, se hace necesario definir una investigación geotécnica complementaria que facilite los datos necesarios para el proyecto detallado de cada una de las estructuras.

4.2.10 Datos geotécnicos adicionales

Para la realización del proyecto serán necesarios datos geotécnicos adicionales, estos elementos de reconocimiento deberán incidir en zonas específicas. Se mencionaba en el apéndice 1 (estudio de muros) del anejo nº 6 (Estructuras) del proyecto de 2014 las siguientes incertidumbres:

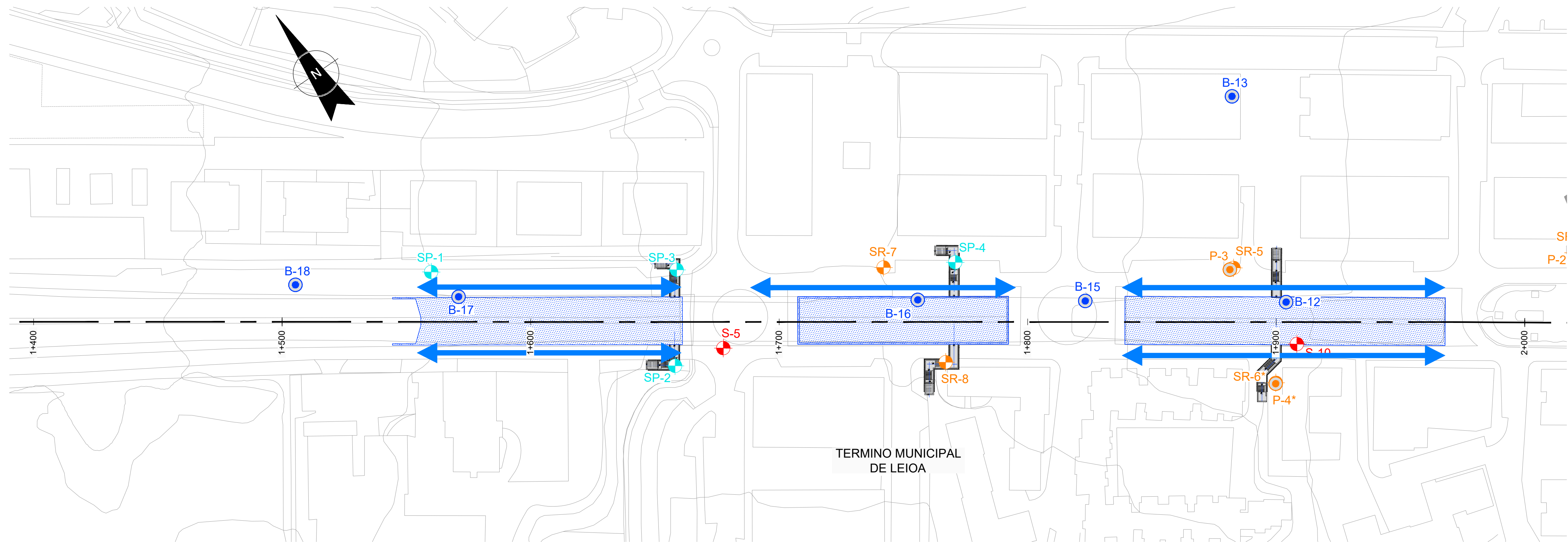
- Incertidumbres sobre la estructura existente.
- Incertidumbres sobre las características del terreno.
- Incertidumbres sobre las acciones existentes.
- Incertidumbres sobre el esquema real resistente.

Se indicaban las siguientes incertidumbres:

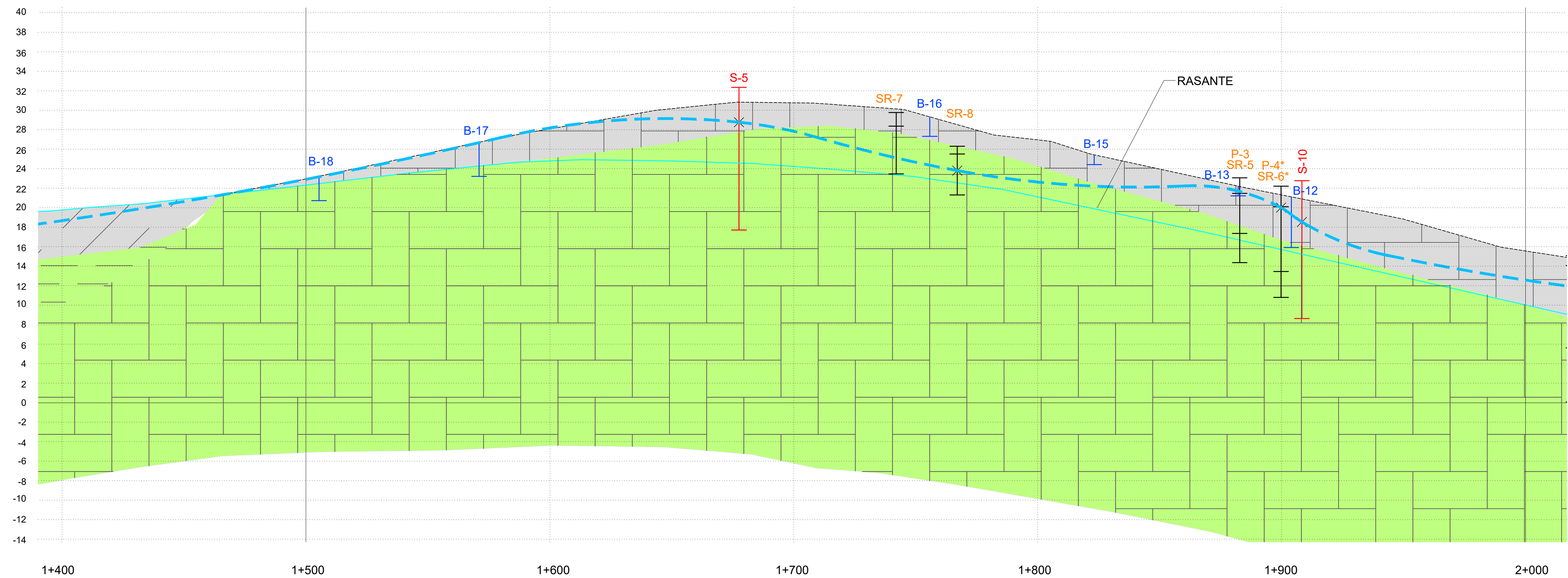
- Inexactitudes durante la ejecución que puedan afectar, por ejemplo, defectos de ejecución o similares o defectos en la calidad del hormigón.
- Posible existencia de actuaciones humanas posteriores o contemporáneas a la ejecución, pero no documentadas.
- Degradación natural de la estructura por ataques químicos bien se deba a la corrosión en el acero, la pérdida de sección de hormigón por ataque químico, pérdida de propiedades en el hormigón, ataques erosivos...etc.
- Sobre el terreno se debe tener en cuenta que jamás podrán considerar al cien por cien las características del terreno realmente existente; cuyas propiedades son, en última instancia función del área específica
- Que dependerán de las soluciones aportadas a la estructura en el proyecto constructivo, que dependerán del uso al que definitivamente se dedique la estructura y con una componente aleatoria que quedará inevitablemente remanente, por ejemplo, en el empuje de tierras.

Se apunta por tanto la realización de sondeos en las zonas de salidas de emergencia y tramos de nueva cubierta, estas perforaciones se han identificado en los planos del apéndice que reflejan también la investigación existente (periodo 1983 a 2012) y las estructuras proyectadas.

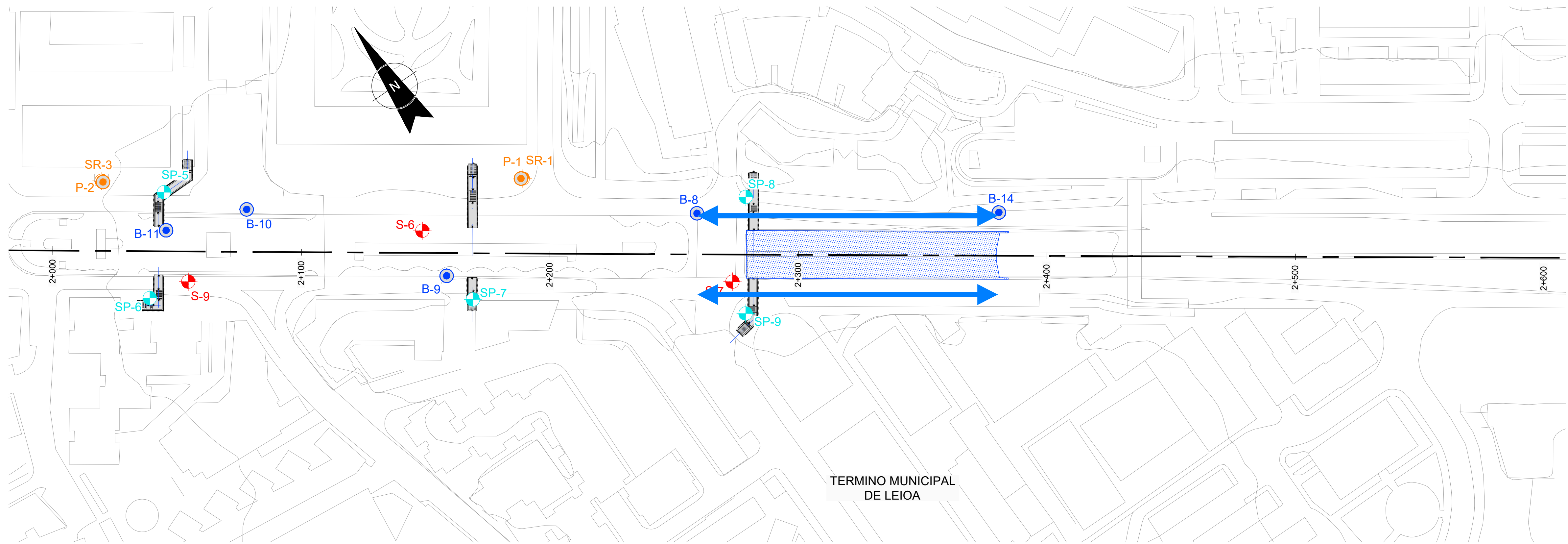
APÉNDICE 1: PLANOS: PLANTA INVESTIGACIÓN Y PERFIL GEOTÉCNICO



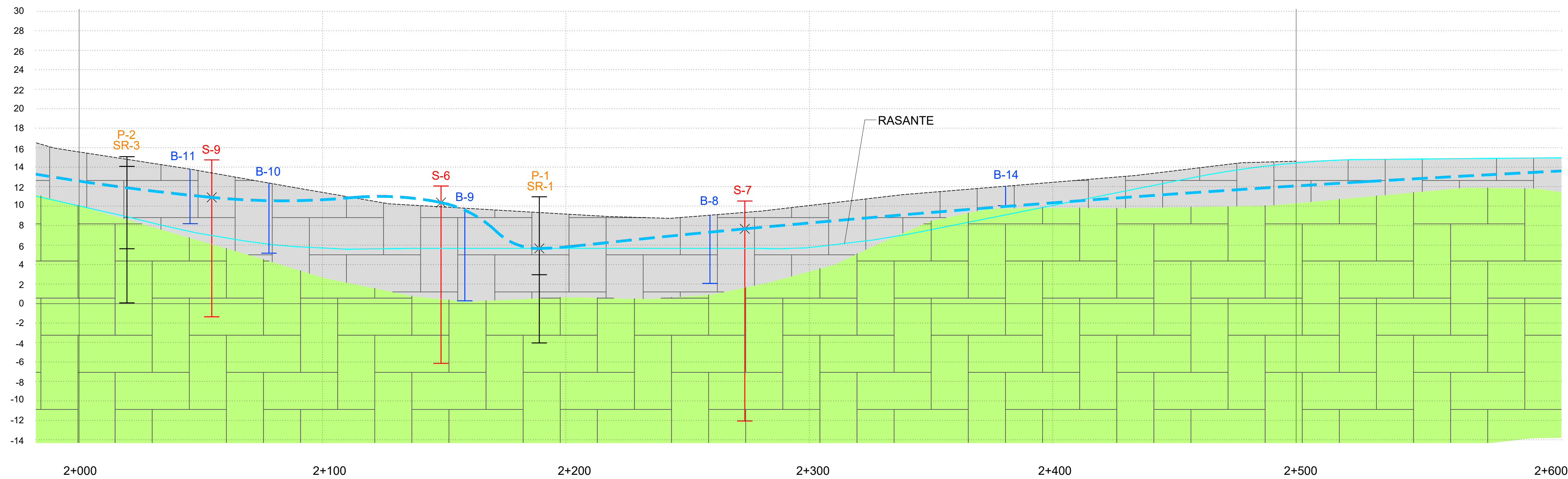
PLANTA
ESCALA 1/1.000



PERFIL LONGITUDINAL
ESCALA H 1/1.000
ESCALA V 1/250



PLANTA
ESCALA 1/1.000



PERFIL LONGITUDINAL
ESCALA H 1/1.000
ESCALA V 1/250