



Expediente:

2.01.23

Cliente:

GRADUAL INGENIEROS, S.L.

Proyecto de referencia:

PHD para Emisario Marítimo Terrestre de la EDAR Mahón - Es Castell
Es Castell – T.M. Maó

INFORME GEOTÉCNICO.

OBJETO: Estratigrafía y caracterización geotécnica
Doc. 1. Rev.1ª

Son Serra de Marina, marzo de 2023

Contenido

- **PARTE 1ª. Memoria**

1. INTRODUCCIÓN	3
2. OBJETO.....	3
3. DOCUMENTACIÓN DE ANTECEDENTES	4
4. CONTEXTO GEOLÓGICO	4
5. PROGRAMA DE RECONOCIMIENTO GEOTÉCNICO DIRECTO	7
5.1. Trabajos de campo	7
5.2. Ensayos de laboratorio	7
6. ESTUDIO VISUAL DEL TRAZO PHD y ENCAJANTE ROCOSO DE LA CALA	8
7. AREA DE SONDEO S1. ESTRATIGRAFÍA y PARAMETRIZACIÓN GEOTÉCNICA.	11
7.1. Estratigrafía	11
7.2. Nivel freático	11
7.3. Caracterización geomecánica	11
7.4. Parametrización geotécnica	12
8. EXCAVABILIDAD	13
9. SOBRE LA PERFORABILIDAD Y REVESTIMIENTO DE LA PHD	15
9.1. Perforabilidad	15
9.2. Sobre la necesidad de revestimiento	15
10. CONSLUSIONES Y RECOMENDACIONES	16

- **PARTE 2ª. Anejos**

Anejo 1. ENSAYOS DE LABORATORIO

Anejo 2. ENSAYOS DE CAMPO (Sondeos/DPSH)

Anejo 3. REPORTAJE FOTOGRÁFICO

Anejo 4. PLANOS SONDEOS (Emplazamiento/Litología/Secciones)

Nota de navegación en Acrobat Reader

- Este es un documento digital. Aproveche la posibilidad de navegar fluidamente por los diferentes apartados del documento, activando el índice de marcadores en su Acrobat Reader en el panel lateral izquierdo.
- En el mismo panel lateral izquierdo encontrará también el icono de firmas digitales, para poder verificar la firma del presente documento electrónico.

PARTE 1ª. Memoria

Trabajo:	Estudio Geotécnico para Tramo Terrestre de Emisario
Ciente:	GRADUAL INGENIEROS, S.L.
Proyecto de referencia:	PHD para Emisario Marítimo Terrestre de la EDAR Mahón - Es Castell
Emplazamiento:	Es Castell - T.M. Maó
Expediente:	2.01.23

1. INTRODUCCIÓN

Hemos sido solicitados por GRADUAL INGENIEROS, S.L., para realizar el estudio geotécnico vinculado al Estudio de Viabilidad para la ejecución del emisario marítimo terrestre de la EDAR de Mahón-Es Castell mediante la técnica de perforación horizontal dirigida (PHD); concretamente con la finalidad de establecer la caracterización geotécnica del tramo terrestre.

El estudio de campo ha consistido en la ejecución de un sondeo mecánico de reconocimiento con recuperación continua de testigo hasta la profundidad de 20m (con recuperación y ensayo de muestras en laboratorio de mecánica de suelos), así como un reconocimiento directo de los afloramientos rocosos existentes desde el inicio de la PHD hasta la cala de Es Pouet (punto de salida al mar del emisario, o conexión con el tramo marítimo).

El sondeo de reconocimiento se emplaza a unos 230m de la línea de costa, en la confluencia de la Avda. des Port con el Passeig Marítim de Es Castell, según emplazamiento de detalle reflejado en el Plano 1. Dicho sondeo se aborda con cota de arranque entorno la elevación +13m sobre el espejo de agua marina.

El sondeo mecánico de reconocimiento se ha complementado con una tomografía eléctrica 2D siguiendo el trazo actualmente previsto para la PHD de los tramos terrestre y marítimo.

2. OBJETO

El objeto del presente estudio se centra en los puntos siguientes:

- Caracterización estratigráfica del subsuelo en el punto de sondeo y parametrización geotécnica general a lo largo del trazo terrestre del emisario.
- Verificación del nivel freático en el sondeo.
- Caracterización geomecánica de los afloramientos rocosos en la cala de Es Pouet
- Caracterización de la dureza del subsuelo frentes a su perforabilidad/excavabilidad.
- Recomendación sobre sostenimiento de perforaciones horizontales.

3. DOCUMENTACIÓN DE ANTECEDENTES

Se dispone o se nos facilita la siguiente documentación de antecedentes en el momento de realizar el estudio.

- Croquis con el desarrollo del emisario facilitado por GRADUAL INGENIEROS, indicando el área de preferencia para la realización del sondeo terrestre.
- Cartografía geológica digital del IGME, escala 1:25.000, 1:50.000 y en formato papel 1:50.000 (año 1991).
- Registro de 1 sondeo mecánico de reconocimiento con recuperación continua de testigo hasta la profundidad de 20m, así como ensayos de laboratorio sobre las muestras seleccionadas, a cargo de la empresa SGS Tecnos S.A.
- Tomografía eléctrica 2D de los tramos marítimo y terrestre (según perfiles longitudinales solapados, coincidiendo también con el trazo de los tramos marítimo y terrestre previstos para la PHD). Ensayo realizado por la empresa Geozone Asesores, S.L., e informe vinculado de fecha 23 de enero de 2023.

4. CONTEXTO GEOLÓGICO¹

El dominio estudiado se enmarca en las siguientes unidades geológicas de edad MIOCENO, según la cartografía del IGME:

Mioceno. Unidad inferior conglomerática, (Mg); clave cartográfica 24

Aflora en una estrecha franja a 10 largo del margen occidental del puerto de Mao, acuñándose hacia el S y quedando cubierta por la unidad suprayacente que la solapa hacia el N. Aflora, además, en la península de La Mola y en las islas del Rei y de Lazareto.

Su potencia máxima, medida en el fondo del puerto, alcanza unos 30 m. Esta potencia, salvo pequeñas variaciones, corresponde, en este sector, al mayor espesor observado para esta unidad. Hacia el SW, a juzgar por los datos suministrados por los pozos, disminuye rápidamente de espesor hasta desaparecer, posiblemente por acuñamiento, en las inmediaciones de la línea Punta Prima-Sant Lluís.

Nota. Unidad no detectada directamente en el sondeo.

Mioceno. Unidad intermedia (Mc); claves cartográficas 25/26/28 y 28

Esta unidad es la que alcanza una mayor extensión de afloramiento en el área abarcada por la Hoja. Sobre ella se ha modelado la mayor parte del acantilado que limita el puerto por su margen occidental, dando lugar a un relieve prácticamente tabular que desde Maó y Es Castell se extiende hacia el aeropuerto.

Al igual que su yacente conglomerático, prácticamente no ha sido distorsionado por la tectónica. Su escaso buzamiento (probablemente la pendiente original de depósito) dificulta obtener series

¹ Mapa Geológico de España, E 1:50.000, ITGE (1991), Hoja 724/(39-28)

que permitan conocer la evolución lateral de las mismas. Su espesor máximo puede evaluarse, en el área ocupada por las Hojas, en un centenar de metros.

Yace discordante, solapándola, sobre la unidad conglomerática de la base del Mioceno menorquín. Este contacto es de difícil observación en afloramiento por presentarse los cortes naturales en el sentido perpendicular al de solapamiento, proporcionando un aspecto de paraconformidad.

Está compuesto predominantemente por calcarenitas blanquecinas, aunque localmente puede presentar una importante proporción de material terrígeno. Limita estas facies, hacia el mar, una barrera bioconstruida, alineada de E a W, que se extiende desde Es Rafalet hacia el aeroclub y aeropuerto, formado predominantemente por algas rodóficneas. Estas facies bioconstruidas, sin apenas trazas de estratificación, hacia el S, pasan transicionalmente a facies de talud arrecifal, es decir, a gruesas laminas inclinadas hacia el mar y con sus materiales, en su mayoría, disturbados en su totalidad.

→ *Estos materiales de la unidad intermedia corresponden a las unidades de calcarenitas y calcarenitas bioconstruidas CCC, CBC, CCP y CBP detectadas en el sondeo S1 del presente trabajo.*

La siguiente figura expresa el contexto geológico en el marco de estudio, según IGME, (fuente: cartografía digital continua E 1:50.000).

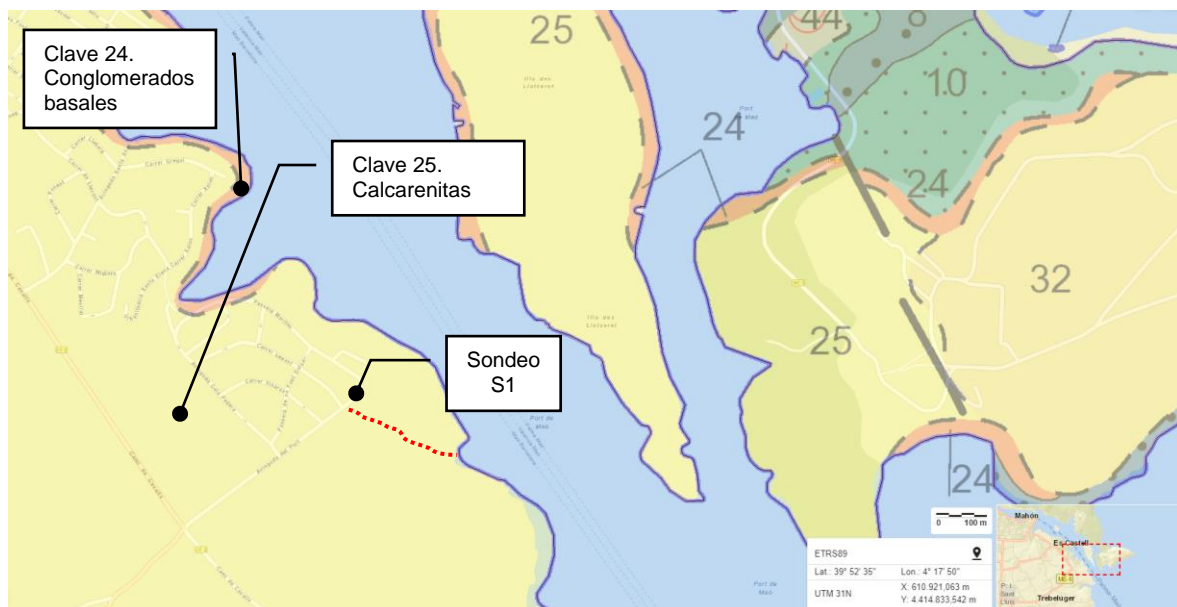


Figura 1. Contexto geológico según cartografía digital del IGME. E 1:50.000

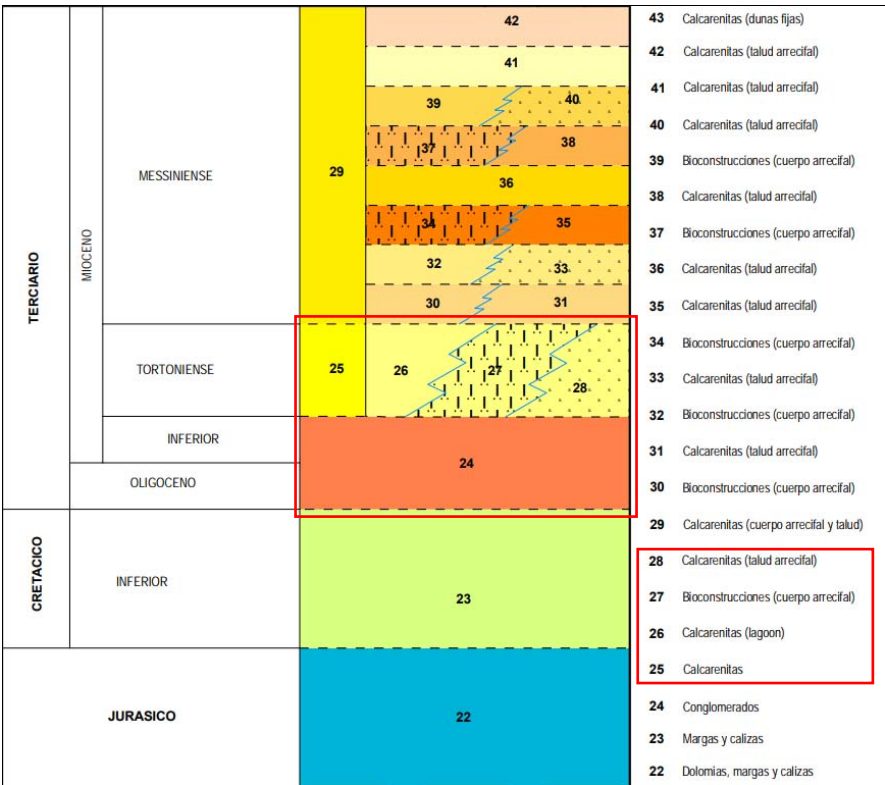


Figura 2. Leyenda de la cartografía digital del IGME. E 1:50.000

Vale la pena comentar en este punto que según el corte geológico I-I' de la cartografía geológica del IGME E 1:25.000 de Mahón (Hoja 657 III), las unidades calcareníticas miocenas descritas anteriormente, reposarían sobre las turbiditas del Carbonífero, a una profundidad de contacto de entorno los 150m, considerando dicho corte geológico:

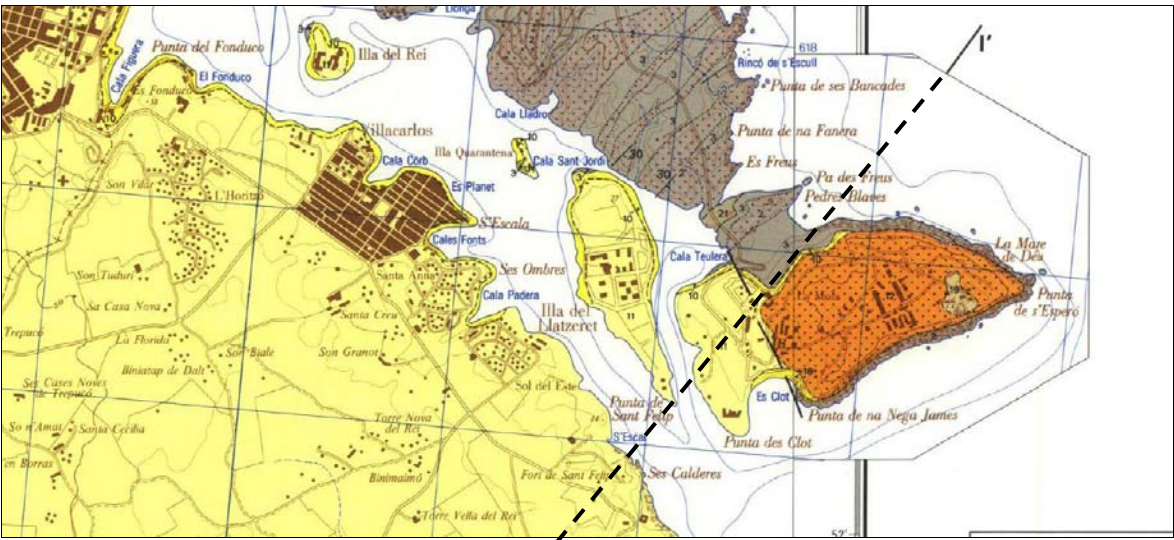


Figura 3. Parte de la cartografía del sector de Mahón/Es Castell (Hoja 657 III) E 1:25.000. Definición corte I-I'

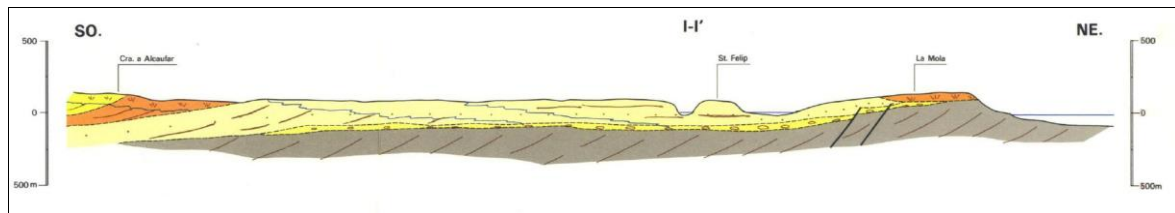


Figura 4. Corte I-I' del sector de Mahón/Es Castell (Hoja 657 III) E 1:25.000.

Según la escala vertical de dicho corte, aunque puede no haberse definido con la pretensión de ser preciso a escala métrica o decamétrica, se aprecia que la potencia de la unidad miocena calcarenítica (amarillo) antes del contacto con las turbiditas carboníferas (gris) se hallaría entorno los 130/150m.

5. PROGRAMA DE RECONOCIMIENTO GEOTÉCNICO DIRECTO

5.1. Trabajos de campo

Trabajos/ensayos de campos realizados según se resume en la tabla siguiente:

Tabla 1: Trabajos de campo.

Punto de estudio	Profundidad (m)	Cota Boca ² (m)	SPT UNE 103800:92 (nº de ensayos)
S1	20.00	13	2 uds.

Notas:

- **S:** Sondeo mecánico de reconocimiento realizado según norma XP P94-202. Perforación a rotación con recuperación continua de testigo mediante batería tipo T/B-86.
- El resultado de los ensayos de penetración SPT puede visualizarse tanto en las columnas litológicas del Plano 2, como en las actas de ensayo del Anejo 2.

5.2. Ensayos de laboratorio

Ensayos de laboratorio de mecánica de suelos referenciados en la tabla siguiente:

² Cotas absolutas según referencias cartográficas de SIGPAC, Google Earth, y con criterio de la profundidad de estabilización del nivel de agua en sondeo (nivel del agua = nivel freático → Profundidad NF = cota absoluta)

Tabla 2: Plan de ensayos de laboratorio de mecánica de suelos.

PUNTO DE ESTUDIO	S1	
	TR1 (8.40m)	TR1 (19.30m)
	A	A
MUESTRAS (prof.. m.)		
Tipo Muestra s/CTE		
Compresión simple en roca UNE 22950-1/90	•	•

Resumen de los ensayos de laboratorio:

TESTIGO NUMERO	ALTURA (L) mm.	DIAM. MEDIO (D) mm.	PESO g	SECCION mm2.	ESBELTEZ L/D	VEL. CARGA Kn/S	CARGA ROTURA Kn	RESISTENCIA COMP. SIMPLE Mpa	RESISTENCIA COMP. SIMPLE CORREGIDA Mpa	DENSIDAD GEOMÉTRICA g/Cm3
1	165,00	71,00	1305	3957	2,32	0,47	27,94	7,06	7,18	2,00
2	155,00	71,00	1098	3957	2,18	0,06	12,76	3,22	3,26	1,79

6. ESTUDIO VISUAL DEL TRAZO PHD y ENCAJANTE ROCOSO DE LA CALA

Se he procedido a realizar una inspección ocular del del substrato rocoso aflorante entre el punto de inicio previsto para el tramo de la PHD terrestre y su conexión en la cala de Es Pouet con el tramo marítimo.

Los afloramientos más importantes acontecen al inicio y al final del tramo terrestre. Al inicio del tramo, y ya desde el posicionamiento del sondeo S1, se hallan localizados en los restos de una antigua cantera ya abandonada en la que se extraían calcarenitas competentes y masivas (más adelante denominadas como unidad CCC), con estratificación de orden métrico, según puede apreciarse en las siguientes fotografías:



Foto 1. Cantera de extracción de marés al inicio del tramo.



Foto 2. Vista interior de la cantera.

Los afloramientos de las calcarenitas regularmente cementadas se hallan también hasta el medio trazo en forma de promontorios sobre la superficie que parecen haber sido también objeto de tallado y explotación en el pasado:



Foto 3. Afloramiento de calcarenitas a medio trazo;

Ya en la línea de costa se mantiene igualmente el afloramiento de las calcarenitas masivas (CCC) alternándose con calcarenitas bioconstruídas masivas (CBC), pero en cualquier caso con carácter competente en todo el frente costero investigado.



Foto 1. Afloramiento de calcarenitas tipo CBC y CCC en la línea de costa (vista hacia el oeste)



Foto 1. Afloramiento de calcarenitas tipo CBC y CCC en la línea de costa (vista hacia el este)



Foto 3. Afloramiento de calcarenitas CCC y CBC en el punto final del tramo terrestre. Vista proximal.

7. AREA DE SONDEO S1. ESTRATIGRAFÍA y PARAMETRIZACIÓN GEOTÉCNICA.

7.1. Estratigrafía

Se ha diferenciado los siguientes niveles estratigráficos en la testificación del sondeo S1:

Tabla 3: Niveles geotécnicos/estratigráficos

NIVEL	DESCRIPCIÓN
COB	Cobertura edáfico-arcillosa (Tierra vegetal)
CCC	Calcarenita regularmente cementada. Tonalidad gris-blanquecina en matriz rocosa.
CBC	Calcarenita bioconstruida regularmente cementada. Tonalidad gris-blanquecina en matriz rocosa.
CBP	Calcarenita bioconstruida con tramos porosos (irregularmente cementada). Tonalidad gris-blanquecina en matriz rocosa.
CCP	Calcarenita con tramos porosos por disolución (irregularmente cementada). Tonalidad gris-blanquecina en matriz rocosa.

Para acotaciones en la vertical se remite a la columna litológica del plano 2.

7.2. Nivel freático

No se detecta la presencia de nivel freático en la perforación del sondeo. Ello significa que la vertical de su emplazamiento el medio rocoso no se halla en conexión hidráulica con el espejo de agua marina. De hecho, ello no significa que en otros puntos del tramo terrestre no pueda estarlo; todo ello depende de la compleja red de fracturas internas del medio rocoso. Según comunicación verbal de expertos de SGS Tecnos, en el área son frecuentes los acuíferos libres en los que el nivel freático se halla a poca profundidad, y en cambio en algunos sondeos de control o extracción de agua, el nivel freático se halla a mayor profundidad que el nivel del mar.

7.3. Caracterización geomecánica

Se procede a realizar una caracterización geomecánica de las unidades rocosas referenciadas en la tabla 3, valorando el índice RMR de Bieniawsky (1989) en base a las observaciones de campo de los afloramientos rocosos en superficie del tramo terrestre y del registro del sondeo de reconocimiento.

CLASIFICACION GEOMECANICA

RMR Bieniawsky (1989)

Parámetros de clasificación

1	Resistencia a la compresión Kp/cm^2	>2500	1000-2500	500-1000	250 - 500	50-250	10-50	<10
	Valoración	15	12	7	4	2	1	0
2	Índice de calidad R.Q.D (%)	90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25		
	Valoración	20	17	13	6	3		
3	Separación entre juntas	> 2m	0.6 - 2m	0.2 - 0.6 m	0.06 - 0.2 m	< 0.06m		
	Valoración	20	15	10	8	5		
4	Estado de las juntas	Muy rugosas. Discontinuas sin separación. Bordes sanos.	Ligeramente rugosas. Abertura < 1mm. Bordes duros.	Ligeramente rugosas. Abertura < 1mm. Bordes blandos.	Espejos de falla o con relleno < 5mm o abiertas 2-5 mm. Diacl. continuas.	Relleno blando > 5mm ó abertura > 5mm. Diaclasis continuas.		
	Valoración	30	25	20	10	0		
5	Agua freática	Seco	Lig. Húmedo	Húmedo	Goteando	Fluyendo		
	Valoración	15	10	7	4	0		

Valoración

CCC	CBC	CCP	CBP
2	1	1	1
6	6	3	3
10	10	8	8
10	10	0	0
7	7	7	7
RMR= 35	34	19	19

7.4. Parametrización geotécnica

Se procede a asignar los parámetros geotécnicos del modelo constitutivo de Mohr Coulomb, a las unidades rocosas referenciadas en la tabla 3

Tabla 4: Parámetros geotécnicos estimados/correlacionados para los niveles estratigráficos

NIVEL GEOTÉCNICO	PARÁMETROS GEOTÉCNICOS (Modelo constitutivo: Mohr Coulomb)								
	γ_{nat} (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	ϕ' (°)	c' (kPa)	C_u (kPa)	E' (GPa)	ν (-)	k_{30} (kp/cm ³)	N_{SPT}
CCC Calcarenita cementada	20	21	22,5	175	-	1.07	0.28	17.0	R
CBC Calcarenita Bioconstruida	18	19	22,0	170	-	0.70	0.28	17.0	R
CCP Calcarenita Porosa	18	20	15,00	100	-	0.45	0.30	10.0	-
CBP Calcarenita Bioc. Porosa	17	19	14,5	95	-	0.29	0.30	8.0	-

Notas

- γ_{nat} : Peso específico natural
- γ_{sat} : Peso específico saturado
- ϕ' : Ángulo de fricción efectivo
- c' : Cohesión efectiva
- c_u : Resistencia al corte sin drenaje
- E' : Módulo de deformación efectivo
- ν' : Coeficiente de Poisson
- k_{30} : Coeficiente de balasto para placa de 30x30cm
- N_{SPT} : Parámetro de golpeo característico N_{30} del ensayo SPT.

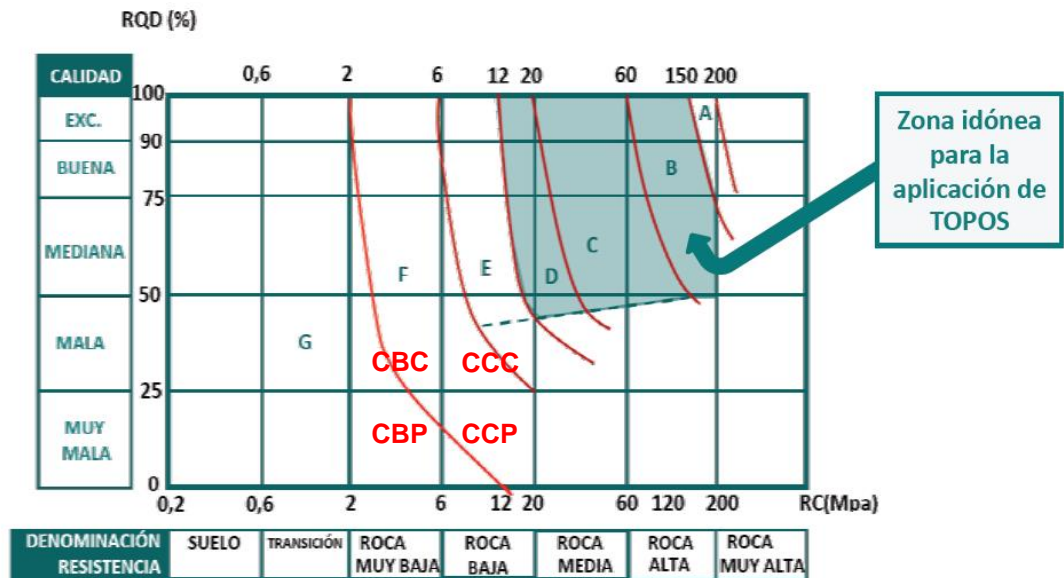
8. EXCAVABILIDAD

Se recurre a la clasificación propuesta por Manuel Romana (1981 – 1983), de carácter simplificado y basada en los parámetros resistencia a compresión simple RC y el RQD. La versión actualizada de 1983, considera además la abrasividad. Hace una consideración de la excavabilidad de los terrenos mediante medios mecánicos:

RESISTENCIA DE LA MATRIZ ROCOSA			CALIDAD DEL MACIZO		ABRASIVIDAD	
RC (MPa)	MATERIAL	RESISTENCIA	RQD (%)	CALIDAD DEL MACIZO	CUARZO EQUIVALENTE (%)	VIABILIDAD DE LA EXCAVACIÓN MECÁNICA
< 0,6	Suelo	–	0 - 25	Muy mala	< 40	Viable económicamente
0,6 - 0,2	Transición	–	25 - 50	Mala	40 - 60	Posible. Los costes crecen con el contenido en cuarzo equivalente
2 - 6	Roca	Muy baja	50 - 75	Mediana	60 - 80	Posible. Costes altos, rendimientos bajos
6 - 20	Roca	Baja	75 - 90	Buena	> 80	Inviabile económicamente
20 - 60	Roca	Media	90 - 100	Muy buena		
60 - 200	Roca	Alta				
> 200	Roca	Muy alta				

Adaptado de: Lopez Jimeno et al. (1997): «Manual de Túneles y Obra Subterráneas». Entorno Grafico. Madrid. 1082 pp.

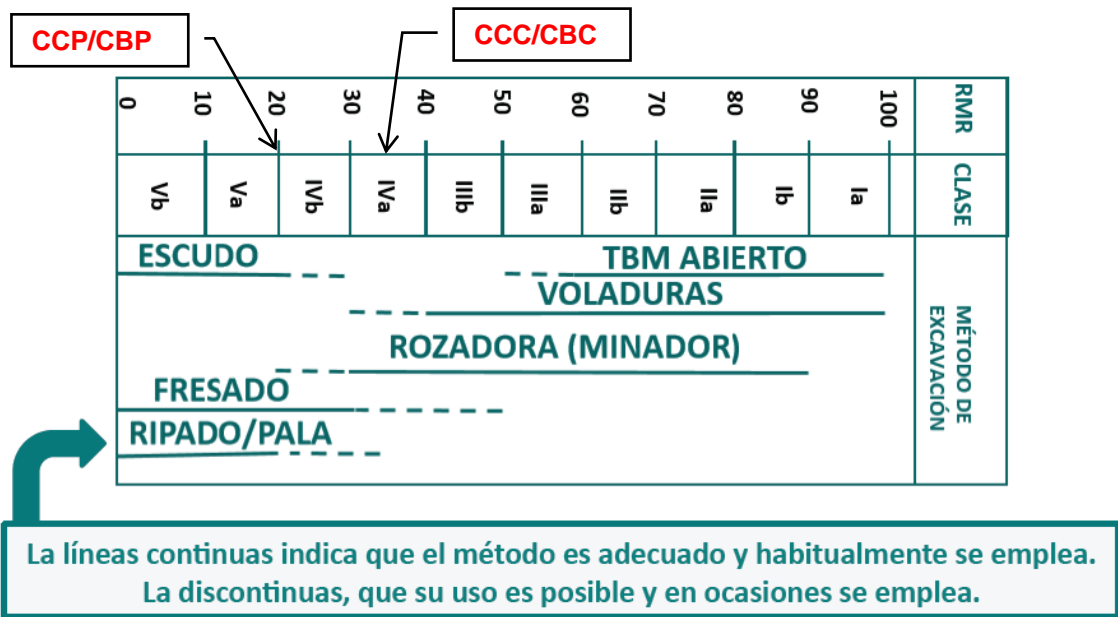
La figura y tabla siguientes establecen una clasificación de la excavabilidad, que el autor recomienda para anteproyectos o estudios previos:



Adaptado de: Lopez Jimeno et al. (1997): «Manual de Túneles y Obra Subterráneas». Entorno Grafico. Madrid. 1082 pp.

En el mapa anterior se emplaza la situación de las unidades CCC, CBC, CCP y CBP, considerando sus respectivos RQD y resistencia característica de la roca matriz intacta Rc.

La modificación del método de 2003 establece una propuesta de excavación en base al RMR de Bieniawsky, adecuadas para túneles de anchura comprendida entre los 10 y 14m, por lo que sirva aquí como una valoración orientativa. En la figura siguiente se mapea la posición de las unidades antes referenciadas, con valores de RMR respectivos de entre 19 y 35.



Adaptado de: Romana Ruiz, M. (2003): «Nuevas Recomendaciones de Excavación y Sostenimiento para Túneles y Boquillas».

9. SOBRE LA PERFORABILIDAD Y REVESTIMIENTO DE LA PHD

9.1. Perforabilidad

En términos generales puede establecerse que la PHD se desarrollaría en materiales rocosos de baja dureza ($Q_u \sim 3$ a 7 MPa) y bajo RMR ~ 19 a 35 .

En el tramo terrestre los materiales a perforar serían de naturaleza fundamentalmente calcarenítica, ello acorde al sondeo realizado, la inspección de campo del tramo terrestre y la interpretación de la tomografía eléctrica.

En el tramo marino, los materiales interpretados a partir de la ERT-2D incluyen también espesores considerables de sedimento no consolidado y/o calcarenitas en elevado grado de facturación y alteración, especialmente al inicio del tramo.

En conjunto se interpretan todos ellos como materiales blandos o no abrasivos ante la perforación.

→ *Es de destacar que en el sondeo mecánico de reconocimiento no se detecta la unidad geológica infrayacente de turbiditas del Carbonífero (mucho más duras o abrasivas); tampoco se interpreta dicha unidad en la tomografía eléctrica de los tramos marino y terrestre, ni se detecta tampoco en los afloramientos superficiales del trazo del tramo terrestre.*

9.2. Sobre la necesidad de revestimiento

Tramo terrestre

Con independencia del diámetro de trabajo de la PHD, la probabilidad de colapso de la perforación es relativamente elevada en los tramo terrestre por la presencia de niveles porosos que corresponden a roca alterada con grado de clasificación IV s/ISRM (unidades CCP, CBP), los cuales pueden comportarse en el tránsito suelo-roca. En el sondeo se aprecia una alternancia regular en la vertical de tramos regularmente cementados y los porosos, irregularmente cementados.

→ Por otro lado, y dado el bajo índice RQD medio ($<40\%$) de las unidades más competentes CCC, CBC, no puede garantizarse una perforación limpia sin que acontezcan colapsos o derrumbes que bloqueen la sección de la perforación, motivo por el que se considera prudente el revestimiento completo de la misma (si los puntos de inflexión del trazado lo permite), o bien emplear técnicas de doble varillaje de perforación que permita la reperforación en retroceso (en caso de derrumbe) en el momento de insertar la tubería definitiva.

Anomalías geotécnicas

La tomografía eléctrica del tramo terrestre detecta 2 núcleos de anomalía por muy alta resistividad, las cuales pueden interpretarse como cavidades en el seno de las calcarenitas o como volúmenes muy porosos, y por ende muy inestables. El primero se tiene entre el metro 21,64 al 29,50 a una profundidad de 4,80 metros y un espesor de 1,85 metros, y el segundo nódulo de mayor entidad, entre el metro 78 al 89,50 a una profundidad de 4,75 metros y un espesor de 4,25 metros, según el informe de Geozone.

Tramo marino

Según se ha comentado ya anteriormente, en el inicio del tramo marino la tomografía eléctrica interpreta importantes espesores de sedimento poco consolidado o de calcarenita porosa, con elevado grado de alteración, por lo que el uso del revestimiento se considera aún más necesario en este sector.

10. CONSLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los siguientes puntos constituyen una síntesis de la problemática geotécnica estudiada, en base a los trabajos de campo y posteriores ensayos de laboratorio.

Plan de trabajos y modelo estratigráfico

- Se ha abordado la ejecución de un sondeo mecánico de reconocimiento con recuperación continua de testigo hasta la profundidad de 20m (ver emplazamiento en plano 1), así como una caracterización geomecánica de los afloramientos rocosos superficiales presentes a lo largo del tramo terrestre previsto para la PDH, hasta la línea de costa (cala de Es Pouet). Estos trabajos se complementan con una tomografía eléctrica 2D realizada para los tramos terrestre y marino previstos para el emisario.
- El material detectado en el sondeo responde por lo general a un substrato rocoso de calcarenitas miocenas, con grados de alteración III y IV s/ISRM, representado respectivamente por las unidades competentes CCC/CBC y las porosas CCP/CBP. Estas unidades geotécnicas se suceden en la vertical del sondeo S1 con carácter multiepisódico.
- Los afloramientos rocosos superficiales del trazo terrestre previsto para la PHD presentan litológicas muy similares a las detectadas en el sondeo S1, y especialmente representadas por los niveles más competentes de calcarenita. Sin embargo, cabe esperar que los episodios competentes y más se suceden en la vertical con carácter multiepisódico, y en la horizontal sin unos límites bien definidos, ya que ambas constituyen de hecho una misma unidad geológica de calcarenitas miocenas, pero afectadas por diferentes grados de alteración.

Excavabilidad y ripabilidad

- Las unidades geotécnicas CCC/CBC y CCP/CBP pueden clasificarse respectivamente como rocas de mala y muy mala calidad (RMRs respectivos de 35 a 19 s/. valoración en sondeo), y especialmente la unidad CCP/CBP como un material de comportamiento geomecánico en el tránsito suelo-roca. Destaca en ambas unidades un bajo índice de calidad de roca medio RQD<30 %.
- En el apartado 8 se establece una valoración de su excavabilidad en base al método de Romana (1981/83 y 2003). Se ha recurrido a este método por su simplicidad y adecuación a los datos geotécnicos de que se dispone.

Revestimiento de perforaciones horizontales

- Se considera prudente proceder con una PHD revestida, especialmente en el tránsito al tramo marino, o bien recurrir a técnicas de perforación con doble varillaje (con capacidad de reperfusión/limpieza en retroceso) según se expone en el apartado 9.2.
- Este planteamiento surge principalmente del modelo estratigráfico de la tomografía eléctrica de Geozone en la que se caracteriza una zona de bajas resistividades en el inicio del tramo marino atribuible a materiales de resistividad de 05-10 ohm.m, a su vez interpretada como dominio de **sedimento no consolidado de grano grueso saturado, calcarenitas fracturadas y/o sedimento compacto** (ver siguiente figura)

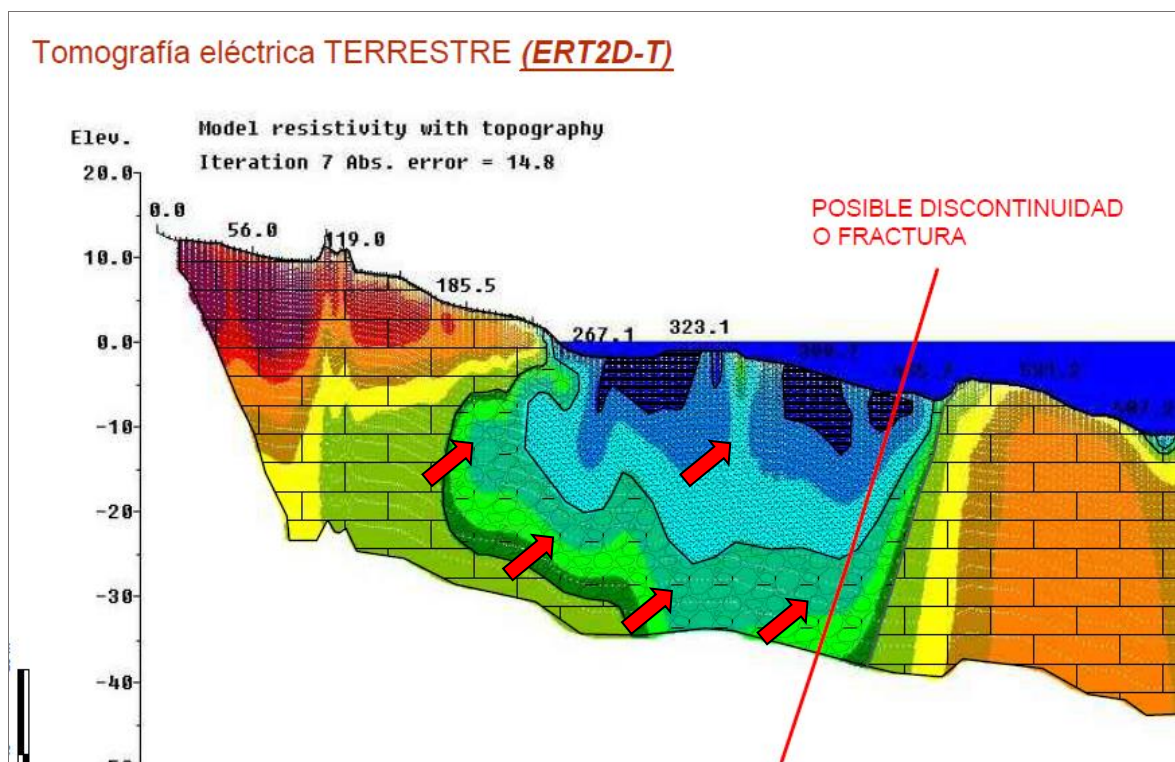


Figura 5. Zona de bajas resistividades en el tránsito tramo terrestre-tramo marino.

- Esta interpretación resulta un tanto ambigua y por ello a la vez comprometida en cuanto a su trascendencia para la viabilidad de la PHD; esto es: si se trata de una **calcarenita fracturada con fracturas saturadas por el agua marina**, entendemos que estaríamos en un dominio suficientemente competente como para mantener la integridad el taladro de perforación de la PHD, pero sin embargo, si se trata de un **sedimento de grano grueso no consolidado**, ello resulta más comprometido de cara a garantizar la estabilidad de la perforación, y es por ello que en principio se insta a una perforación con revestimiento o bien con doble varillaje de perforación por lo ya expuesto anteriormente.
- En cualquier caso, cabe mencionar que un modelo estratigráfico que contemple un espesor de sedimento no consolidado de hasta 40m bajo el nivel del espejo de agua marina (según se desprende de la anterior figura 5), resulta un tanto incongruente bajo la perspectiva de la dinámica erosiva del oleaje costero, y el presente trabajo se declina a considerar dicho

dominio como correspondiente a calcarenita muy fracturada con juntas saturadas; aspecto, no obstante, que debería ser confirmado por la **perforación piloto** de la PHD, la cual representará una testificación más realista del trazo de la PHD definitiva.

Expansividad, nivel freático y agresión química

- No se detecta materiales compatibles con el comportamiento expansivo, dada la naturaleza rocosa carbonatada del substrato detectado.
- Se considera improbable la agresión química del terreno por presencia de sulfatos.
- No se detecta nivel freático en el sondeo realizado hasta la profundidad de 20m; ello no obstante no implica que en otros puntos del trazo del tramo terrestre la fracturación del medio rocoso se no se halle en conexión hidráulica con el nivel del mar, con lo cual, sí podría existir un nivel freático generalizado en cierta parte del tramo terrestre. De hecho, el perfil terrestre interpretado de la tomografía eléctrica, así lo sugiere desde la mitad del perfil hacia la línea de costa, tal como también se comenta en el informe de Geozone.

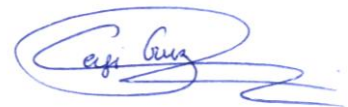
Cavidades

- No se detecta presencia de cavidades huecas en la perforación del sondeo. Sin embargo, la tomografía eléctrica del tramo terrestre detecta 2 núcleos de anomalía por muy alta resistividad, las cuales pueden interpretarse como cavidades en el seno de las calcarenitas o como volúmenes muy porosos, y por ende muy inestables (ver apartado 9.2).

Quedamos a disposición para la resolución de cualquier duda que pudiera surgir de la lectura del presente informe, así como durante la ejecución de la obra.

Son Serra de Marina, marzo de 2023

Informe emitido por
GEOTECHNICAL SOLUTIONS, S.L.



Fdo. Sergi Cruz i Rovira
Ingeniero Geotécnico, colegiado nº5107

Documento firmado digitalmente



PARTE 2ª. Anejos

Anejo 1. ENSAYOS DE LABORATORIO

Anejo 2. ENSAYOS DE CAMPO (Sondeos/DPSH)

Anejo 3. REPORTAJE FOTOGRÁFICO

Anejo 4. PLANOS SONDEOS (Emplazamiento/Litología/Secciones)

Anejo 1. ENSAYOS DE LABORATORIO

INFORME Nº: 2152 **CLIENTE:** EGE

FECHA REALIZACIÓN: 25-01-23

DESCRIPCIÓN TERRENO: CALCARENITA

PLAN DE ENSAYOS: ROTURA A COMPRESIÓN SIMPLE DE ROCA UNE 22950-1: 1990

EQUIPOS: Balanza Cobos (Cód. 028), Prensa (Cód. 024), Pie de rey (040)

FECHA EXTRACCIÓN

03-01 y 23-01 / 2023

FECHA DE ROTURA:

25-01-23

NÚMERO TESTIGOS:

2

AMBIENTE DE CONSERVACIÓN:

Humedad laboratorio

DESCRIPCIÓN FÍSICA:

Testigo 1. Sondeo 1 a 8,4 m de profundidad. Calcarenita

Testigo 2. Sondeo 1 a 19,3 m de profundidad. Calcarenita bioconstruida

Testigo 3.

TESTIGO NUMERO	ALTURA (L) mm.	DIAM. MEDIO (D) mm.	PESO g	SECCION mm ² .	ESBELTEZ L/D	VEL. CARGA Kn/S	CARGA ROTURA Kn	RESISTENCIA COMP. SIMPLE Mpa	RESISTENCIA COMP. SIMPLE CORREGIDA Mpa	DENSIDAD GEOMÉTRICA g/Cm ³
1	165,00	71,00	1305	3957	2,32	0,47	27,94	7,06	7,18	2,00
2	155,00	71,00	1098	3957	2,18	0,06	12,76	3,22	3,26	1,79
3										

El diámetro medio corresponde a la media de tres diámetros perpendiculares de la sección.

El testigo 1 rompe antes de 5 min.

Forma de rotura:



Mahón a 25 de enero del 2023

El técnico de pruebas

La responsable del laboratorio

Bernat Caritg Monfort
Geólogo Col. Nº 5778

María José Raya Ortega
Licenciada Química

Los resultados se refieren únicamente a las muestras analizadas
 Se prohíbe la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización correspondiente.

Anejo 2. ENSAYOS DE CAMPO (Sondeos/DPSH)

CLIENTE	EGE				SONDEO Nº	1	INFORME	2152	
OBRA	ES CASTELL				SONDISTA	Bernat Caritg		CLIMA	SOL / LLUVIA
FECHA	02-01-23	3 a 5-01-23	19-01-23	23-01-23	GEÓLOGO	Bernat Caritg		MÁQUINA	Tecoinsa TP30
INICIO	11:30	9:00	10:00	07:45	PUNTO COTA 0 m	SONDEO			
1	14:00	12:30	13:30	13:30	X, Y, Z SONDEO (m)	-	-	-	-

Batería	Revest.	Profundidad (m)		Potencia (m)	Maniobra	% Recup. Testigo 20 40 60 80	Unidad	Trama	Nivel freático	Descripción del terreno	Ensayo	Golpeo			
		De	a									15	30	45	60
98		0	0.3	0.4	Seco		TV			Tierra vegetal					
		0.3	0.4							Tierra vegetal. Base Calcarenia					
		0.4	1							Calcarenia muy porosa. Base Cc					
		1	2							Calcarenia					
		2	3							Calcarenia algo porosa					
		3	4							Calcarenia con tramos porosos					
		4	4.23							Calcarenia algo porosa	SPT 1	40	50R(8)		
		4	5.1							Calcarenia	LYA				
		5.1	6.6												
		6.6	8.3												
86		8.3	10	19.6	Agua		Cc			Calcare. tramo 70 cm muy poroso					
		10	11							Calcarenia muy cementada					
		11	11.5							Calcarenia bioconstruida Tramo poroso					
		11.5	12.1												
		12.1	12.9							Calcarenia cementada					
		12.9	13.15												
		13.15	13.18							SPT 2	50R(3)				
		13.15	14.30							LYA					
		14.30	16.0							Cc bioconstruida. Tramos porosos					
		16.0	17.0							Calcarenia bioconstruida Tramos porosos					
		17.0	19.0							Calcarenia bioconstruida					
		19.0	20.0												

Observaciones:

SPT: Standard Penetration Test **MI:** Muestra inalterada **MA:** Muestra alterada en bolsa **LYA:** Maniobra de limpieza y avance **Txx:** Testigo x del sondeo x

RQD

0.4	5	61
5	10	70
10	15	38
15	20	45

Anejo 3. REPORTAJE FOTOGRÁFICO



Foto 1: Emplazamiento de sonda en punto S1



Foto 2: Caja porta testigos SONDEO 1 CAJA 1



Foto 3: Caja porta testigos SONDEO 1 CAJA 2



Foto 4: Caja porta testigos SONDEO 1 CAJA 3



Foto 5: Caja porta testigos SONDEO 1 CAJA 4

Anejo 4. PLANOS SONDEOS (Emplazamiento/Litología/Secciones)



PUNTOS DE SONDEO				
Punto	X(m)	Y(m)	Z(m)	Prof. (m)
S1	611135.00	4414495.00	13.10	20.00

NOTAS

- Cotas absolutas deducidas del visor IDEIB, determinando altitud y coordenadas en sistema ERTS-89 (uso 31N).
- Planta de fondo según visor IDEIB (<https://ideib.caib.es/visor/>)

----- Tramo de Tomografía Eléctrica Terrestre (234.5 m.l.), coincidente con el trazo terrestre previsto de la PHD. Ensayo realizado por GEOZONE.

S: Sondeo mecánico de reconocimiento. Perforación a rotación con recuperación continua de testigo (batería tipo T/B-86 a 98mm), según norma XP P94-202. Ensayo realizado por SGS Tecnos

Escala 1:100	Cota	Profundidad	Potencia	Nivel freático	Estratigrafía	Descripción	S.P.T.				N30	Testificación				R.Q.D.	Muestra	Qu [MPa]
							10	20	30	40		20	40	60	80			
1	13.00	0.00	0.40	<div>No detectado</div>		COB: Cobertura edáfico-arillosa (Tierra vegetal)												
	12.60	0.40	0.60			CCP: Calcarenita con tramos porosos por disolución (irregularmente cementada). Tonalidad gris-blancuecina en matriz rocosa.												
	12.00	1.00	0.60															
2			2.00															
3																		
4	10.00	3.00				CCC: Calcarenita regularmente cementada. Tonalidad gris-blancuecina en matriz rocosa.												
5	8.77	4.23	1.23			CCP	4.00				R							
6							4.23											
7			4.07			CCC												
8																		
9	4.70	8.30				CCP											8.40 TR1	7.18
10			1.70															
11	3.00	10.00	1.50			CCC												
12	1.50	11.50				CBP: Calcarenita bioconstruida con tramos porosos (irregularmente cementada). Tonalidad gris-blancuecina en matriz rocosa.												
13	-1.15	13.15	1.65				13.15				R							
14						CCC	13.18											
15	-1.30	14.30	1.15			CBP												
16			1.70			CBC: Calcarenita bioconstruida regularmente cementada. Tonalidad gris-blancuecina en matriz rocosa.												
17	-3.00	16.00	1.00			CBP: Calcarenita bioconstruida con tramos porosos (irregularmente cementada). Tonalidad gris-blancuecina en matriz rocosa.												
18	-4.00	17.00	2.00															
19	-6.00	19.00				CBC: Calcarenita bioconstruida regularmente cementada. Tonalidad gris-blancuecina en matriz rocosa.											19.00 TR2	3.26
20	-7.00	20.00	1.00														19.30	



FOTO 1. Emplazamiento de Sonda en punto de sondeo S1



FOTO 4. Caja Portatestigos SONDEO 1 CAJA 3 (10.0-15.0m)



FOTO 2. Caja Portatestigos SONDEO 1 CAJA 1 (0.0-5.0m)



FOTO 5. Caja Portatestigos SONDEO 1 CAJA 3 (15.0-20.0m)

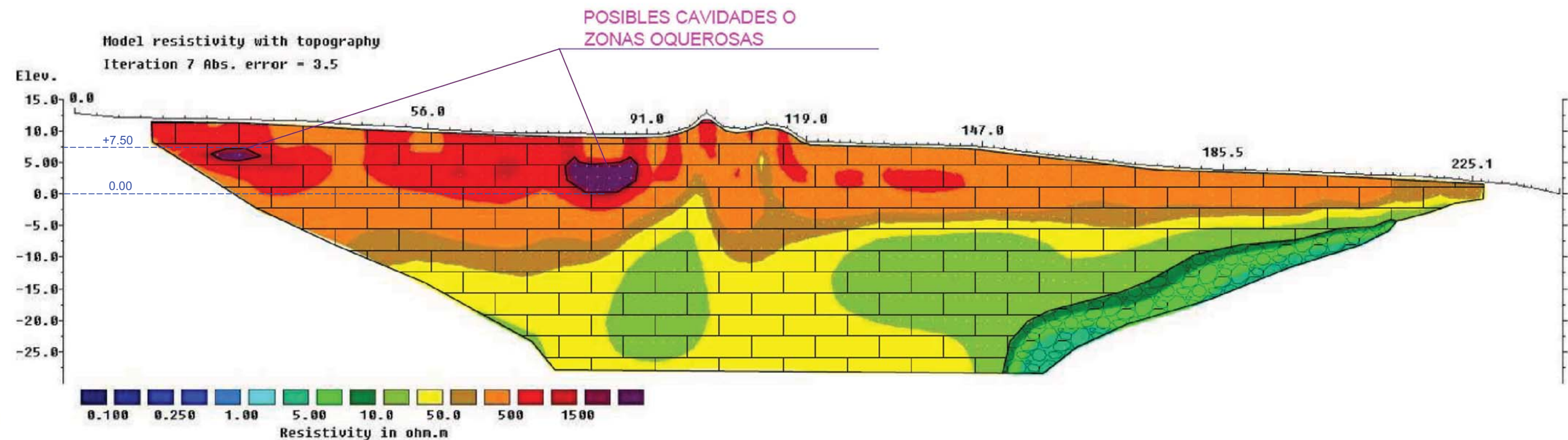


FOTO 3. Caja Portatestigos SONDEO 1 CAJA 2 (5.0-10.0m)

NOMENCLATURA:
* SPT: Standard Penetration Test
* Qu: Resistencia a compresión uniaxial
* M.I.: Muestra inalterada
* TR: Testigo de roca
* M: Muestra en bolsa estanca
* NF: Muestra de agua freática

OBSERVACIONES
No se detecta nivel freático en el interior del sondeo. El agua de la perforación se pierde por las fisuras y los tramos porosos de la formación calcarenítica.
En principio no existe necesariamente una conectividad hidráulica directa entre los posibles acuíferos colgados de la zona y el nivel del mar.

Tomografía eléctrica TERRESTRE (ERT2D-T)

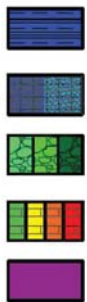


Escala H/V=1H/ 1V

Nota.- Figura procedente de los anejos del informe de tomografía eléctrica de GEOZONE

LEYENDA

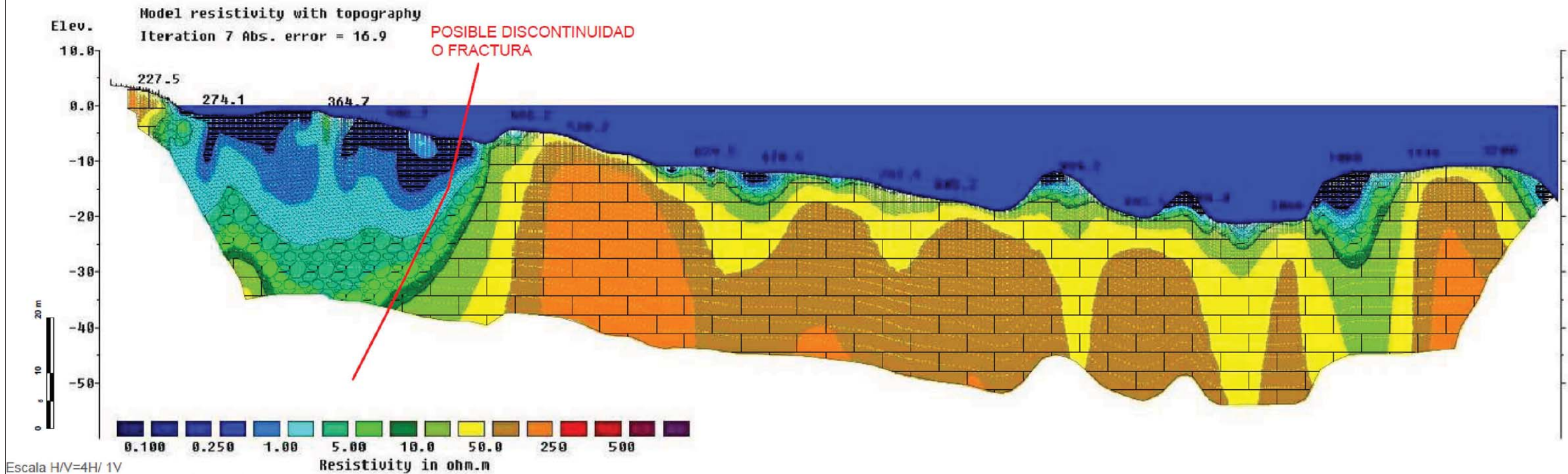
- Sedimento no consolidado de grano fino a medio saturado de baja compacidad.
- Sedimento no consolidado de grano medio a grueso saturado de compacidad media.
- Sedimento no consolidado de grano grueso saturado, calcarenitas fracturadas y/o sedimento compacto.
- Calcarenitas competentes
- Posibles zonas oquerosas de menor compacidad
- Posibles zona fracturada o discontinuidad



CORRESPONDENCIA CON EL SONDEO

CCC: Calcarenita regularmente cementada. Tonalidad gris-blancuecina en matriz rocosa.
CBC: Calcarenita bioconstruida regularmente cementada. Tonalidad gris-blancuecina en matriz rocosa.
CCP: Calcarenita con tramos porosos por disolución (irregularmente cementada). Tonalidad gris-blancuecina en matriz rocosa.
CBP: Calcarenita bioconstruida con tramos porosos (irregularmente cementada). Tonalidad gris-blancuecina en matriz rocosa.

Tomografía eléctrica MARINA (ERT2D-M)



Nota.- Figura procedente de los anejos del informe de tomografía eléctrica de GEOZONE

LEYENDA

- Sedimento no consolidado de grano fino a medio saturado de baja compacidad.
- Sedimento no consolidado de grano medio a grueso saturado de compacidad media.
- Sedimento no consolidado de grano grueso saturado, calcarenitas fracturadas y/o sedimento compacto.
- Calcarenitas competentes
- Posibles zonas oquerosas de menor compacidad
- Posibles zona fracturada o discontinuidad

CORRESPONDENCIA CON EL SONDEO

- CCC: Calcarenita regularmente cementada. Tonalidad gris-blancuecina en matriz rocosa.
- CBC: Calcarenita bioconstruida regularmente cementada. Tonalidad gris-blancuecina en matriz rocosa.
- CCP: Calcarenita con tramos porosos por disolución (irregularmente cementada). Tonalidad gris-blancuecina en matriz rocosa.
- CBP: Calcarenita bioconstruida con tramos porosos (irregularmente cementada). Tonalidad gris-blancuecina en matriz rocosa.



GEOTECHNICAL SOLUTIONS, S.L.
C/. Joan Frontera Riera 95A
07459 Son Serra de Marina.
T: 971 87 06 98 email: info@geotech.cat

Trabajos
ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA PERFORACIONES
HORIZONTALES DIRIGIDAS
Proyecto de referencia
PHD PARA EMISARIO MARÍTIMO TERRESTRE

Emplazamiento
AVDA. D'ES PORT CONFLUENCIA
PASSEIG MARÍTIM - ES CASTELL
Municipio
MAÓ

Cliente
GRADUAL INGENIEROS, S.L.
Expediente
02.01.23

El ingeniero geotécnico
Sergi Cruz i Rovira
Colegiado ICOG nº5107

Revisión
R0
Fecha
03/02/2023

TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA.
TRAMO MARINO
SECCIÓN INTERPRETADA

PLANO Nº
3.2
ESCALA (A3)
4H/1V