

ESTUDIO PREVIO DE VIABILIDAD

PARA LA EJECUCIÓN DEL EMISARIO MARÍTIMO-TERRESTRE DE LA EDAR DE MAÓ-
ES CASTELL MEDIANTE LA TÉCNICA DE PHD.
INFORME FINAL DEL ESTUDIO PREVIO DE LA PHD.

Ubicación: Maó-Es Castell. Menorca

Promotor: Agència Balear de l'Aigua i la Qualitat Ambiental (ABAQUA)

Fecha: 13 de marzo de 2023



Autor: Roger Torregrosa Llorens. ICCP



G CONSELLERIA
O MEDI AMBIENT,
I AGRICULTURA
B I PESCA
/ AGÈNCIA BALEAR
AIGUA I QUALITAT
AMBIENTAL

CONSULTORÍA:

 **GRADUAL**

Nº Expediente:43/2022

GRADUAL INGENIEROS SL

C/ SANT CRISTÒFOL 30. ED CETIS. TORRE 6. PLANTA 2ª. OFICINA 205. 07800 EIVISSA

P01_V02

INFORME FINAL DEL ESTUDIO PREVIO DE LA PHD

INFORME FINAL DEL ESTUDIO PREVIO DE LA PHD

ÍNDICE

1. ANTECEDENTES	3
2. UBICACIÓN.....	3
3. OBJETO	4
4. ESTUDIO DE VIABILIDAD DE LA TÉCNICA DE PERFORACIÓN PHD	5
4.1 TOPOGRAFÍA TERRESTRE Y BATIMETRÍA MARINA.....	6
4.1.1 Topografía tramo terrestre.....	6
4.1.2 Batimetría fondo marino	12
4.2 ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO TERRESTRE.....	12
4.2.1 Descripción geológica del ámbito de estudio	14
4.2.2 Tomografía eléctrica.....	17
4.2.3 Caracterización estratigráfica del subsuelo	19
4.2.4 Estudio visual del trazo PHD y encajante rocoso de la cala.....	21
4.2.5 Nivel freático.....	22
4.2.6 Caracterización geomecánica de los niveles identificados.....	22
4.2.7 Excavabilidad	24
4.3 ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO. TRAMO MARINO	26
4.3.1 Tomografía eléctrica.....	26
4.4 ESTUDIO GEOMORFOLOGÍA MARINA	28
4.5 ESTUDIO BIOCENOSIS	29
4.6 AFECTACIÓN ARQUEOLÓGICA	33
4.6.1 Problemática arqueológica	35
4.6.2 Propuesta de intervención arqueológica	36
4.7 AFECTACIÓN PORTUARIA.....	37
4.7.1 Condicionantes que afectan al diseño del trazado del emisario.....	37



4.8 ANÁLISIS METEOROLÓGICO	39
4.9 AFECTACIÓN AMBIENTAL	45
4.10 SERVICIOS AFECTADOS	47
5. CONSIDERACIONES SOBRE LA VIABILIDAD DE LA PHD COMO TÉCNICA DE PERFORACIÓN PARA LA INSTALACIÓN DEL TRAMO DE TRANSICIÓN TERRESTRE – MARINO DEL EMISARIO	47
5.1 SOBRE EL ANÁLISIS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO	48
5.2 SOBRE EL ANÁLISIS ARQUEOLÓGICO	49
5.3 SOBRE EL ANÁLISIS DE AFECTACIÓN PORTUARIA.....	49
5.4 SOBRE LA AFECTACIÓN AMBIENTAL	50
5.5 SOBRE LA IMPLANTACIÓN DEL EQUIPO NECESARIO PARA EJECUTAR LA PHD	50
6. PROPUESTA DE TRAZADO EN PLANTA Y ALZADO	51
7. RESUMEN Y CONCLUSIONES	52
8. DOCUMENTOS QUE FORMAN EL ESTUDIO DE VIABILIDAD	53

ANEJO Nº 1.- LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

ANEJO Nº 2.- ESTUDIO GEOFÍSICO MEDIANTE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA PARA CARACTERIZACIÓN DEL
SUBSUELO TERRESTRE Y MARINO

ANEJO Nº 3.- PROSPECCIÓN DE GEORRADAR

ANEJO Nº 4.- INFORME GEOTÉCNICO. ESTRATIGRAFÍA Y CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

ANEJO Nº 5.- INFORME DE RESULTADOS DE PROSPECCIÓN MARINA

ANEJO Nº 6.- INFORME ARQUEOLÓGICO

ANEJO Nº 7.- PLANOS

INFORME FINAL DEL ESTUDIO PREVIO DE LA PHD

1. ANTECEDENTES

La Agencia Balear del Agua y de la Calidad Ambiental (ABAQUA) gestiona el sistema general de saneamiento y depuración asociado a las EDARs de Maó-es Castell en base al Convenio de colaboración formalizado el 3 de julio de 1996 (pendiente de actualización).

En el año 2006 se inició la tramitación del “Proyecto de adecuación y legalización del emisario submarino y vertido al mar de la EDAR de Maó-es Castell”, que consistía en la sustitución del actual emisario y su adecuación a las nuevas necesidades. El citado proyecto contemplaba la ejecución del emisario terrestre mediante zanja convencional, y del emisario submarino mediante zanja submarina y posterior apoyo en fondo marino. La tramitación del mismo quedó suspendida temporalmente debido a las dificultades técnicas y administrativas para escoger el trazado en la zona del Castell de Sant Felip (BIC).

La existencia y aplicación de nuevas técnicas de ejecución para este tipo de actuaciones podría facilitar los trabajos de construcción del emisario, así como minimizar las afecciones derivadas. Por este motivo se contempla la posibilidad de ejecutar una parte del trazado del emisario mediante la técnica de Perforación Horizontal Dirigida (PHD). Correspondería, según la documentación aportada, a unos 1.100 metros de longitud total, de los cuales 250 metros se ejecutarían en tramo terrestre y los 850 restantes en tramo submarino.

Para poder llevar a cabo la ejecución mediante la técnica de PHD es necesario realizar un estudio previo para garantizar su viabilidad. Este estudio previo está basado en diversos trabajos de campo y de gabinete, tanto en el tramo terrestre como en tramo marino, y que determinarán el tipo de terreno existente y si éste permite ejecutar este tramo del emisario mediante la técnica de la PHD.

2. UBICACIÓN

El ámbito del estudio se encuentra, por lo tanto, en las inmediaciones de las localidades de Maó y de Es Castell. Se propone mantener unos 1.640 m del tramo actual terrestre que parte de la EDAR de Maó-es Castell (en rojo en la imagen siguiente), ejecutar un nuevo tramo en zanja a partir del cementerio municipal y siguiendo la Av. des Port de 392 m, un tramo en PHD a partir del Carrer Lepanto de 1.408 m y un tramo apoyado en el lecho marino de 674 m hasta el punto de vertido (todo ello en azul en la imagen).



Imagen 1. Ámbito de estudio. En verde la impulsión, en cian el aliviadero, en rojo el trazado actual y en azul el trazado propuesto.

3. OBJETO

Es objeto del presente estudio:

- Definir las campañas de campo llevadas a cabo para determinar la viabilidad de la ejecución de la técnica de la Perforación Horizontal Dirigida (PHD) para el emisario marítimo terrestre de Maó-es Castell.
- Estudiar cada una de las campañas efectuadas y analizarlas en su conjunto.
- Estudiar los condicionantes de operatividad portuaria y meteorológicos.
- Emitir las consideraciones propias tras el estudio de cada una de las campañas efectuadas y de los condicionantes identificados.
- Evaluar la viabilidad para la ejecución de la técnica de la PHD en el emisario marítimo-terrestre de Maó-es Castell.

4. ESTUDIO DE VIABILIDAD DE LA TÉCNICA DE PERFORACIÓN PHD

Como opción prioritaria para el tramo de transición entre la zona terrestre y la zona marina se plantea la técnica de la Perforación Horizontal Dirigida (PHD). Dicha técnica presenta ventajas técnicas y de afectación medioambiental respecto a sistemas convencionales de tendido de tuberías en fondo marino mediante la apertura de zanja a cielo abierto.

Para estudiar la viabilidad de dicha técnica se han realizado una serie de trabajos de campo que pretenden evaluar la geología y geomorfología del entorno para estudiar la viabilidad del proceso constructivo de la PHD. Se han llevado a cabo las siguientes campañas:

Tramo terrestre-tramo PHD

- Levantamiento topográfico. Se aporta en el *Anejo nº 1. Levantamiento topográfico* del presente documento.
- Tomografía eléctrica. Se aporta en el *Anejo nº 2. Estudio geofísico mediante tomografía eléctrica para caracterización del subsuelo terrestre y marino* del presente documento.
- Georradar para la detección de servicios. Se aporta en el *Anejo nº 3. Prospección de georradar* del presente documento.
- Campaña geológica-geotécnica. Se aporta en el *Anejo nº 4. Informe geotécnico. Estratigrafía y caracterización geotécnica* del presente documento.

Tramo marino

- Tomografía eléctrica. Se aporta en el *Anejo nº 2. Estudio geofísico mediante tomografía eléctrica para caracterización del subsuelo terrestre y marino* del presente documento. Se incluyen además los archivos correspondientes a las distintas filmaciones llevadas a cabo.
- Campaña geomorfológica, de biocenosis y batimetría. Se aporta en el *Anejo nº 5. Informe de resultados de prospección marina* del presente documento.

Adicionalmente, se ha procedido a la localización de servicios existentes a través de la plataforma Inkolan, así como a la petición de servicios a las empresas suministradoras y al Ajuntament des Castell.

Por otro lado, se ha solicitado un informe arqueológico para determinar la posible afectación a restos arqueológicos por el tramo propuesto del emisario. este se aporta en el Anejo nº 6. Informe arqueológico del presente documento.

Adicionalmente se han mantenido reuniones presenciales y telemáticas con técnicos responsables del Puerto de Maó de la Autoridad Portuaria de Baleares para evaluar las afecciones sobre la operatividad portuaria.



También se han analizado los datos históricos de oleaje registrados por el Punto SIMAR 8234026 de la red de datos simulados de oleaje de Puertos del Estado.

A continuación, se realiza una evaluación de la viabilidad de la técnica de la PHD a partir de los resultados obtenidos de cada uno de los trabajos de campo efectuados.

4.1 TOPOGRAFÍA TERRESTRE Y BATIMETRÍA MARINA

Se ha realizado un levantamiento topográfico de detalle del ámbito terrestre y una campaña de batimetría marina, ambos en el ámbito de estudio previsto.

Estos trabajos han permitido identificar con un grado de detalle suficiente las características físicas del terreno en el último tramo terrestre previo al inicio del tramo marino, así como el perfil batimétrico de la costa para poder determinar el punto donde se prevé llevar a cabo la salida de la PHD e iniciar el tramo tendido del futuro emisario.

El punto de salida de la PHD en el fondo marino es un punto crítico de decisión durante el proceso de diseño de la PHD. Dicho punto debe ubicarse en las zonas más adecuadas del contorno del fondo marino pero siempre estará condicionada al resto de factores existentes.

4.1.1 Topografía tramo terrestre

El levantamiento topográfico realizado se aporta, como se ha dicho, en el *Anejo nº 1. Levantamiento topográfico* del presente documento, a partir del cuál se ha desarrollado la información que se presenta a continuación.

El trazado propuesto del emisario consiste en un primer tramo en zanja terrestre que comienza a la altura del cementerio municipal y discurre por toda la Avinguda des Port. Este tramo entroncaría en su inicio con el emisario existente de hormigón de DN500 procedente de la EDAR de Maó-Es Castell.



ESTUDIO PREVIO DE VIABILIDAD PARA LA EJECUCIÓN DEL EMISARIO MARÍTIMO-TERRESTRE DE LA EDAR DE MAÓ-ES CASTELL MEDIANTE LA TÉCNICA DE PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA (PHD)



Imagen 2. Inicio del tramo propuesto en zanja en la Av. des Port (1/5).



Imagen 3. Av. des Port por la que se propone ejecutar el emisario en zanja (2/5).



ESTUDIO PREVIO DE VIABILIDAD PARA LA EJECUCIÓN DEL EMISARIO MARÍTIMO-TERRESTRE DE LA EDAR DE MAÓ-ES CASTELL MEDIANTE LA TÉCNICA DE PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA (PHD)



Imagen 4. Avinguda des Port, por la que se propone ejecutar el emisario en zanja (3/5).

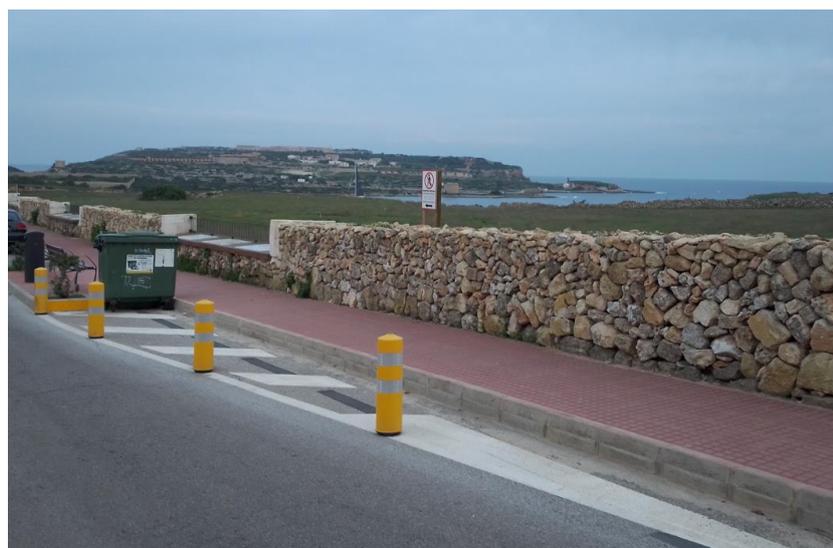


Imagen 5. Avinguda des Port, por la que se propone ejecutar el emisario en zanja (4/5).



Imagen 6. Avinguda des Port, por la que se propone ejecutar el emisario en zanja (5/5).

A partir del Carrer Lepanto se propone un giro en el trazado hacia el sureste, iniciándose el tramo en PHD, para dirigir el emisario hacia el mar a través de una parcela rústica de titularidad privada, y así evitar las viviendas unifamiliares que se encuentran en el extremo oriental de la urbanización Sol del Este. Las 2 siguientes imágenes muestran una perspectiva desde el Carrer Lepanto en el punto exacto en el que se propone el cambio de dirección y, por lo tanto, daría comienzo el tramo PHD.



Imagen 7. Inicio del Carrer Lepanto, donde se prevé ubicar la perforadora e iniciar el tramo PHD.



Imagen 8. Vista del trazado propuesto hacia el mar desde el inicio de la PHD (1/2).



Imagen 9. Vista del trazado propuesto hacia el mar desde el inicio de la PHD (2/2).

El tramo marítimo-terrestre en PHD atravesará la citada parcela en dirección al mar siguiendo la dirección aproximada de la siguiente imagen:



Imagen 10. Trazado aproximado propuesto bajo la parcela de titularidad privada.

Posteriormente continuará en el ámbito marino, también mediante PHD, a partir del siguiente punto:



Imagen 11. Punto de transición entre el ámbito terrestre y el marino del trazado en PHD.

Se ha estudiado el entorno y, como se indica más adelante, se considera el Carrer Lepanto como zona óptima para iniciar la PHD e implantar en ella los diferentes equipos que forman la operativa, concluyendo que existe espacio físico suficiente para la implantación de todos los equipos.



Imagen 12. Carrer Lepanto, donde se prevé implantar los equipos necesarios e iniciar la PHD.

4.1.2 Batimetría fondo marino

El contorno de la costa es abrupto. Se alcanza una profundidad importante en poco recorrido horizontal.

Una vez salvado el primer desnivel importante, el fondo marino presenta una forma de vaguada bien marcada y pronunciada y conforme se avanza hacia el NE, el fondo marino alcanza su profundidad máxima para empezar a recuperar cota de nuevo conforme se alcanza la Punta des Clot.

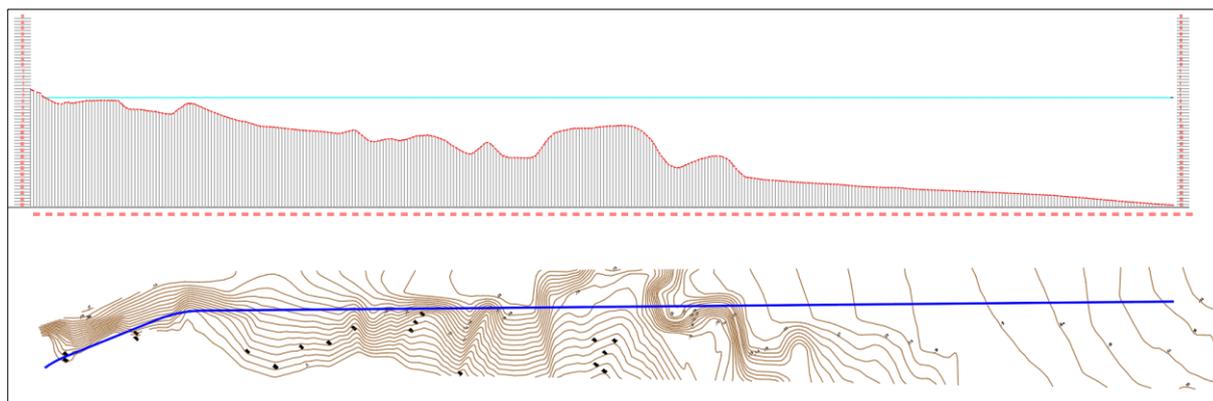


Imagen 13. Batimetría del fondo marino y perfil longitudinal.

4.2 ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO TERRESTRE

La información que se expone a continuación se extrae de los siguientes documentos elaborados específicamente para la redacción de este informe y que se presentan de forma íntegra en los Anejos adjuntos:



- Anejo nº2: Estudio geofísico mediante tomografía eléctrica 2D y tomografía marina 2D (ERT2D), para caracterización resistiva del subsuelo a lo largo del trazado de Perforación Horizontal Dirigida para emisario submarino en Menorca. Redactor: GEOZONE. (identificación de este documento en el presente informe como DOC A2)
- Anejo nº 4: Estudio geotécnico para tramo terrestre de Emisario. Redactor: GEOTECHNICAL SOLUTIONS SL. (identificación de este documento en el presente informe como DOC A4)
- Anejo nº 5: Informe de resultados de la prospección marina. Redactor: OCEANSNELL (identificación de este documento en el presente informe como DOC A5)

Los estudios de campo realizados en el ámbito terrestre han sido:

- Sondeo mecánico de reconocimiento con recuperación continua de testigo hasta una profundidad de 20 metros.
- Ensayos de muestras en laboratorio de mecánica de suelos.
- Reconocimiento directo de los afloramientos rocosos existentes desde el inicio de la PHD hasta la cala de Es Pouet.
- Tomografía eléctrica formada por 2 perfiles solapados, empleando una configuración Wenner-Schlumberger y dipolo-dipolo de alta resolución con 24 electrodos y una separación entre electrodos de 7 metros, conformando una longitud total de 234,50 metros.

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



Imagen 14. Ubicación sondeo perforación con extracción (S1) y trazado previsto PHD (línea discontinua verde). Fuente: Propia

Para determinar la viabilidad de la PHD desde un punto de vista geotécnico se estudia en el DOC A4:

- Caracterización estratigráfica del subsuelo en el punto de sondeo y parametrización geotécnica.
- Verificación del nivel freático en el sondeo.
- Caracterización geomecánica de los afloramientos rocosos desde el inicio de la PHD hasta la cala de es Pouet.
- Caracterización de la dureza del subsuelo frente a su excavabilidad.
- Recomendación sobre la perforabilidad y el revestimiento de la PHD

También se ha llevado una tomografía eléctrica en el DOC A2 consistente en la caracterización del subsuelo a partir de la resistividad de los materiales atravesados. Este sistema se trata de un método de prospección eléctrico basado en la medición de resistividades aparentes de los materiales del subsuelo. En el DOC A2 se incluye la explicación completa del principio y funcionamiento de este método.

4.2.1 Descripción geológica del ámbito de estudio

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

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

La segunda unidad es la que alcanza mayor extensión de afloramiento y es la que se identifica en el sondeo de rotación con extracción realizado.

Sobre esta unidad 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.

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 rodofíceas. Estas facies bioconstruidas, sin apenas trazas de estratificación, hacia el S, pasan transicionalmente a facies de talud arrecifal, es decir, a gruesas láminas inclinadas hacia el mar y con sus materiales, en su mayoría, disturbados en su totalidad.



Imagen 15. Contexto geológico según cartografía digital del IGME E:1:50.000

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

Considerando dicho corte geológico:



ESTUDIO PREVIO DE VIABILIDAD PARA LA EJECUCIÓN DEL EMISARIO MARÍTIMO-TERRESTRE DE LA EDAR DE MAÓ-ES CASTELL MEDIANTE LA TÉCNICA DE PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA (PHD)

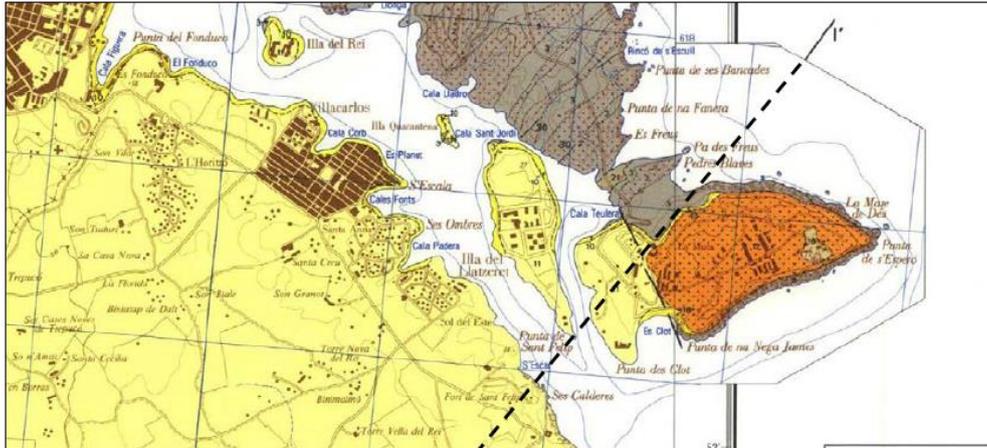


Imagen 16. Parte de la cartografía del sector de Maó/Es Castell (Hoja 657 III). Fuente: IGME

TERCIARIO	MIOCENO	MESSINIENSE	42	43	Calcarenitas (dunas fijas)
			41	42	Calcarenitas (talud arrecifal)
			39	41	Calcarenitas (talud arrecifal)
			37	40	Calcarenitas (talud arrecifal)
			36	39	Bioconstrucciones (cuerpo arrecifal)
			34	38	Calcarenitas (talud arrecifal)
			32	37	Bioconstrucciones (cuerpo arrecifal)
			30	36	Calcarenitas (talud arrecifal)
			29	35	Calcarenitas (talud arrecifal)
			28	34	Bioconstrucciones (cuerpo arrecifal)
TERCIARIO	TORTONIENSE	INFERIOR	26	33	Calcarenitas (talud arrecifal)
			25	32	Bioconstrucciones (cuerpo arrecifal)
			24	31	Calcarenitas (talud arrecifal)
TERCIARIO	OLIGOCENO		23	30	Bioconstrucciones (cuerpo arrecifal)
			22	29	Calcarenitas (cuerpo arrecifal y talud)
CRETACICO	INFERIOR		21	28	Calcarenitas (talud arrecifal)
			20	27	Bioconstrucciones (cuerpo arrecifal)
			19	26	Calcarenitas (lagoon)
CRETACICO	INFERIOR		18	25	Calcarenitas
			17	24	Conglomerados
CRETACICO	SUPERIOR		16	23	Margas y calizas
			15	22	Dolomias, margas y calizas

Imagen 17. Leyenda de la cartografía digital del IGME. Fuente: IGME

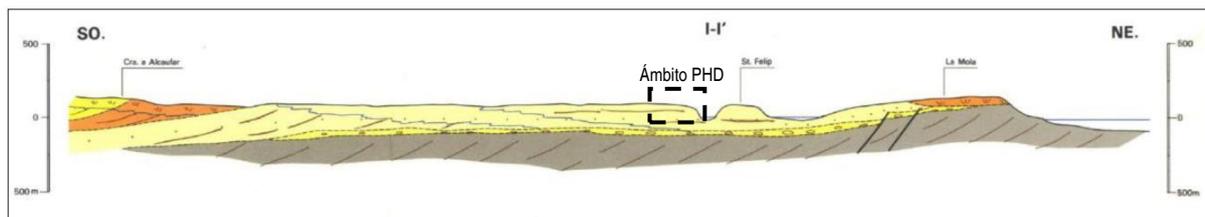


Imagen 18. Corte I-I' del sector de Maó/es Castell (Hoja 657 III). Fuente: IGME

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 calcarenita (amarillo) antes del contacto con las turbiditas carboníferas (gris) se hallaría entorno los 130-150 metros.

4.2.2 Tomografía eléctrica

Se han definido los siguientes rangos asociados a materiales:

- Resistividades muy bajas inferiores a 0.5 Ohm.m (color azul oscuro), pueden corresponderse con sedimento no consolidado de grano fino a medio de baja compacidad saturado.
- Resistividades muy bajas comprendidas entre 0.5-2.5 Ohm.m (color azul), pueden corresponderse con sedimento no consolidado de grano medio a grueso saturado de compacidad media.
- Resistividades bajas comprendidas entre 2.5-10 Ohm.m (color azul verdoso, verde lima y verde oscuro), pueden corresponderse con sedimento no consolidado de grano grueso saturado, calcarenitas fracturadas y/o fondos de sedimento compacto.
- Resistividades medias comprendidas entre 10-1.500 Ohm.m color verde claro, amarillo, marrón y rojo), pueden corresponderse con calcarenitas competentes.
- Resistividades altas superiores a 1.500 Ohm.m (color morado), pueden corresponderse con zonas oquerosas de menor compacidad.



El perfil terrestre obtenido es el siguiente:

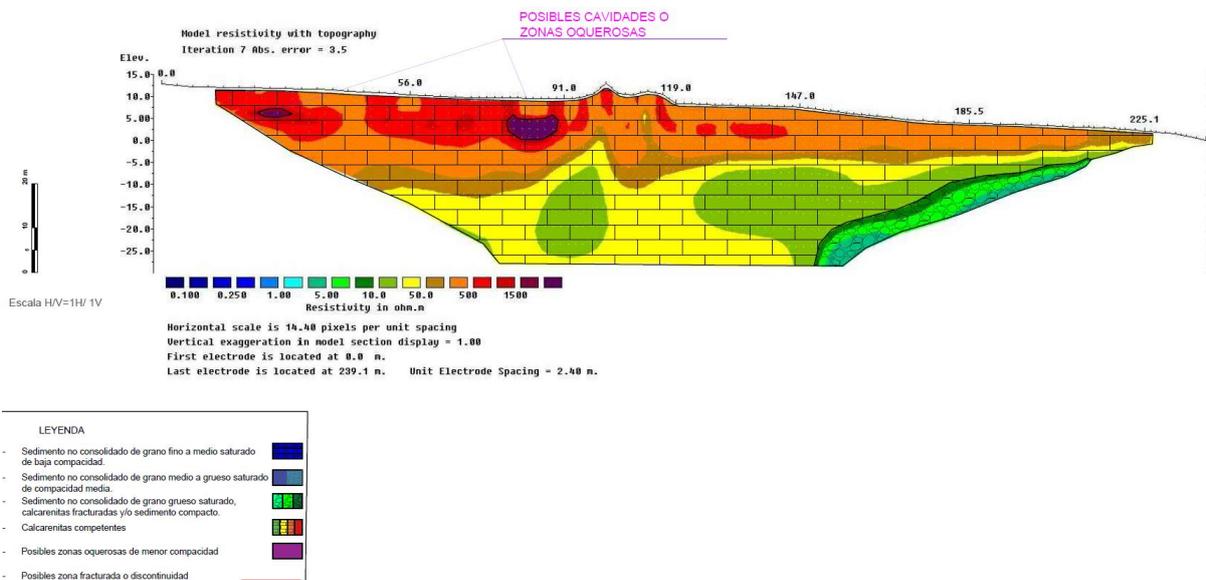
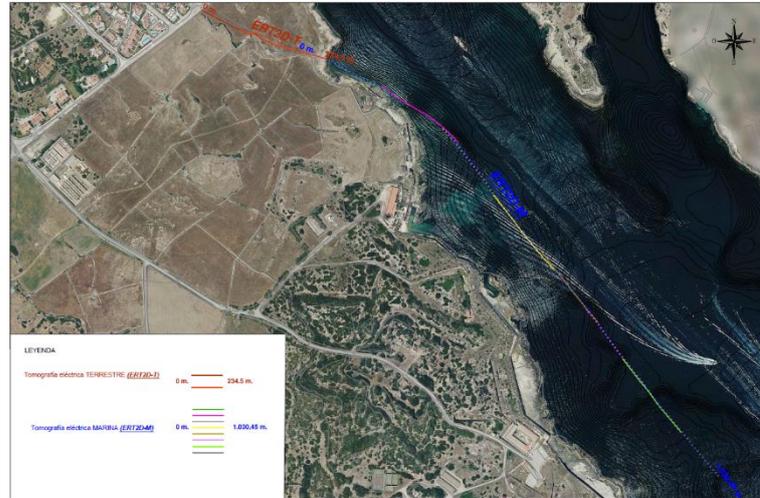


Imagen 19. Perfil tomografía ámbito terrestre. Fuente: Geozone

De los resultados obtenidos se concluye que se tiene una capa de resistividades continua con valores superiores a los 50 Ohm.m (color marrón y rojo), asociado con calcarenitas con un menor grado de saturación, presentándose con un espesor variable, siendo superior en el inicio del perfil, y disminuyendo con el avance de este, estando influenciado por el nivel freático, con espesores variables de 22 en el inicio del perfil y 2.80 m en el final de este. Bajo esta, se presenta una disminución resistiva a valores comprendidos entre 10-50 Ohm.m (color verde y



amarillo), este descenso resistivo está condicionado por la influencia del nivel freático. Finalmente se han determinado dos zonas de alta resistividad con valores superiores a los 1.500 Ohm.m (color morado), que pueden corresponderse con zonas oquerosas y/o cavidades, siendo la primera de menor entidad, con profundidades de afectación comprendidas entre el metro 4,80 al 6,65 y una segunda zona de mayor entidad, a una profundidad comprendida entre el metro 4,75 al 9.

4.2.3 Caracterización estratigráfica del subsuelo

Se diferencian tres niveles 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.

El perfil obtenido es el siguiente:

ESTUDIO PREVIO DE VIABILIDAD PARA LA EJECUCIÓN DEL EMISARIO MARÍTIMO-TERRESTRE DE LA EDAR DE MAÓ-ES CASTELL MEDIANTE LA TÉCNICA DE PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA (PHD)

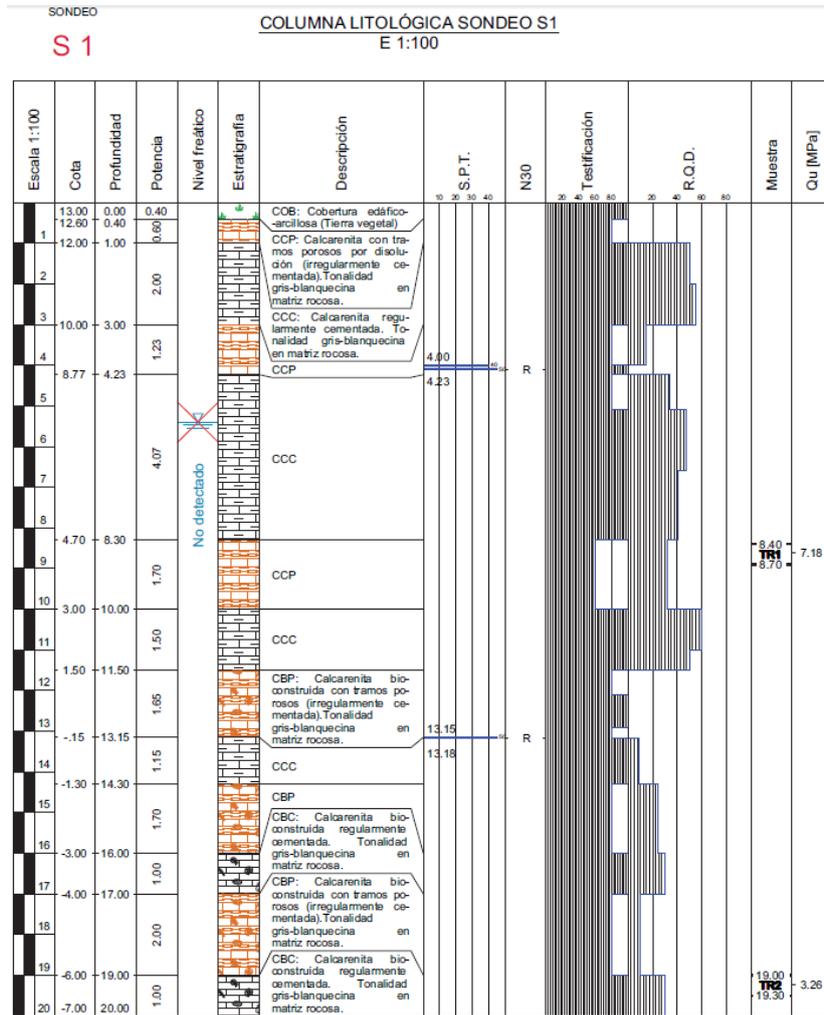


Imagen 20. Columna litológica del sondeo de rotación. Fuente: Geotechnical solutions SL

Los valores de resistencia a la compresión simple obtenidos de las dos muestras extraídas son los siguientes:

TESTIGO NUMERO	ALTURA (L)	DIAM. MEDIO (D)	PESO	SECCION	ESBELTEZ	VEL. CARGA	CARGA ROTURA	RESISTENCIA COMP. SIMPLE	RESISTENCIA COMP. SIMPLE CORREGIDA	DENSIDAD GEOMÉTRICA
	mm.	mm.	g	mm ² .	L/D	Kn/S	Kn	Mpa	Mpa	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

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 multipisódico.



4.2.4 Estudio visual del trazo PHD y encajante rocoso de la cala

Se ha realizado una inspección ocular 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 (unidad CCC), con estratificación de orden métrico.



Imagen 21. Cantera de extracción de mares al inicio del tramo. Fuente: Geotechnical Solutions SL

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.



Imagen 22. Afloramiento de calcarenitas tipo CBC y CCC en la línea de costa. Fuente: Geotechnical Solutions SL

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.

4.2.5 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 poroso. 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.

Este análisis sirve para la interpretación de los valores obtenidos por la tomografía del tramo marino que se desarrolla en apartado posterior de este documento.

4.2.6 Caracterización geomecánica de los niveles identificados

La clasificación geomecánica de las unidades rocosas referenciadas en los niveles estratigráficos se obtiene valorando el índice RMR de Bieniawsky (1989):

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. Diad. continuas	Relleno blando > 5mm ó abertura > 5mm . Diacelas 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

Imagen 23. Índice RMR de Bieniawsky (1989). Fuente: Geotechnical Solutions SL

Los parámetros geotécnicos del modelo constitutivo de Mohr Coulomb de las unidades rocosas referenciadas son:

NIVEL GEOTÉCNICO	PARÁMETROS GEOTÉCNICOS (Modelo constitutivo: Mohr Coulomb)								
	γ _{nat} (kN/m ³)	γ _{sat} (kN/m ³)	φ'(°)	c' (kPa)	Cu (kPa)	E' (GPa)	v (-)	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	-

Imagen 24. Parámetros geotécnicos estimados/correlacionados para los niveles estratigráficos. Fuente: Geotechnical Solutions SL

Notas

- γ_{nat} : Peso específico natural
- γ_{sat} : Peso específico saturado
- ϕ' : Ángulo de fricción efectivo (en CA3 correlacionado a partir de RMR=32)
- c' : Cohesión efectiva
- C_u : Resistencia al corte sin drenaje
- E' : Módulo de deformación efectivo (en CA3 correlacionado a partir de RMR=32)
- ν' : Coeficiente de Poisson
- K_{30} : Coeficiente de balasto para placa de 30x30cm
- N_{SPT} : Parámetro de golpeo característico N_{30} del ensayo SPT.

4.2.7 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				

Imagen 25. Adaptado de López Jimeno et al. (1997): "Manual de túneles y obras subterráneas". Entorno Gráfico, Madrid. 1082 pp

Siguiendo esta metodología, se establece la siguiente gráfica de excavabilidad:

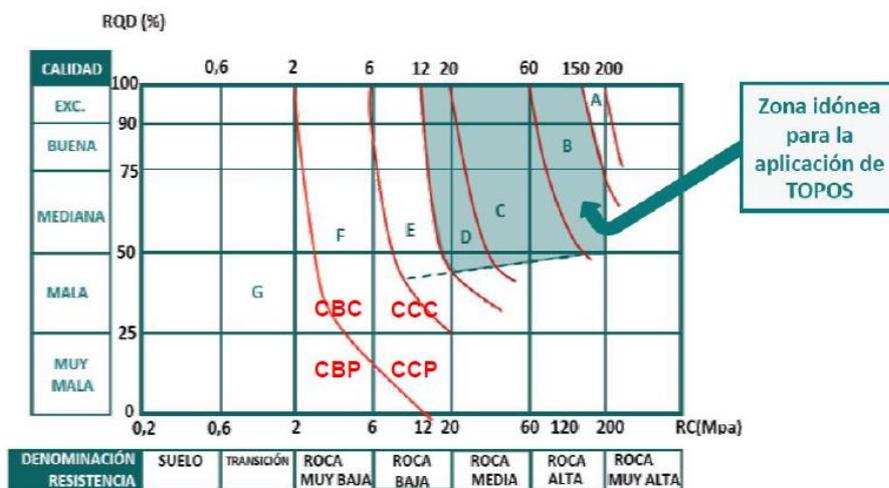


Imagen 26. Adaptado de López Jimeno et al. (1997): "Manual de túneles y obras subterráneas". Entorno Gráfico, Madrid. 1082 pp. Fuente: Geotechnical Solutions SL

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 CCP, CBP, CCC y CBC, con valores RMR para CCP y CBP de 19 y para CCC y CBC de 32.

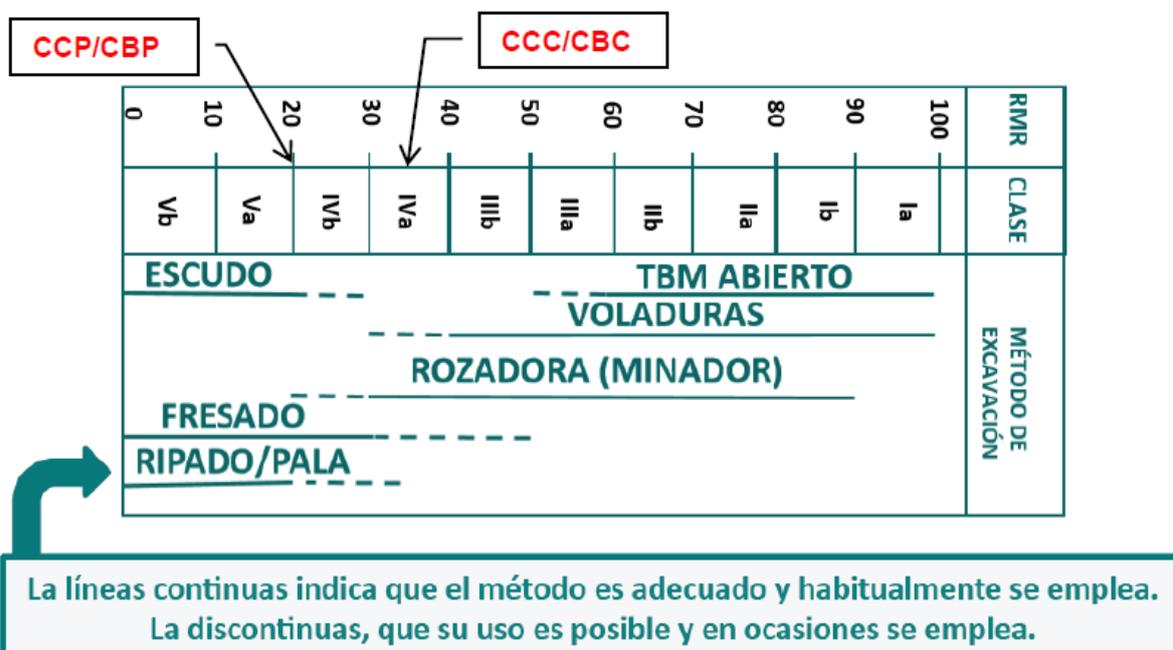


Imagen 27 Adaptado de Romana Ruiz, M. (2003): "Nuevas recomendaciones de excavación y sostenimiento para túneles y boquillas".

En términos generales puede establecerse que la PHD se desarrollaría en materiales rocosos de baja dureza (Qu entre 3 y 7 MPa) y valores bajos de RMR comprendidos entre 19 y 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.

Es de destacar que en el sondeo mecánico de reconocimiento no se detecta la unidad geológica infrayacente de turbiditas del Carbonífero (mucho más duras y 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.

4.3 ESTUDIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO. TRAMO MARINO

La información que se expone a continuación se extrae de los siguientes documentos elaborados específicamente para la redacción de este informe y que se presentan de forma íntegra en los Anejos adjuntos:

- Anejo nº2: Estudio geofísico mediante tomografía eléctrica 2D y tomografía marina 2D (ERT2D), para caracterización resistiva del subsuelo a lo largo del trazado de Perforación Horizontal Dirigida para emisario submarino en Menorca. Redactor: GEOZONE. (identificación de este documento en el presente informe como DOC A2)
- Anejo nº 4: Estudio geotécnico para tramo terrestre de Emisario. Redactor: GEOTECHNICAL SOLUTIONS SL. (identificación de este documento en el presente informe como DOC A4)
- Anejo nº 5: Informe de resultados de la prospección marina. Redactor: OCEANSNELL (identificación de este documento en el presente informe como DOC A5)

Los estudios de campo realizados en el ámbito marino han sido:

- Reconocimiento directo de los afloramientos rocosos existentes desde el inicio de la PHD hasta la cala de Es Pouet.
- Tomografía eléctrica formada por 8 perfiles solapados, el primer de ellos superpuesto con el tramo de tomografía terrestre, empleando una configuración Wenner-Schlumberger y dipolo-dipolo de alta resolución, conformando una longitud total de 1.030,45 metros.

4.3.1 Tomografía eléctrica

En el tramo marino se ha empleado el mismo rango de resistividades y colores que los descritos para la tomografía terrestre.

El perfil obtenido es el siguiente:

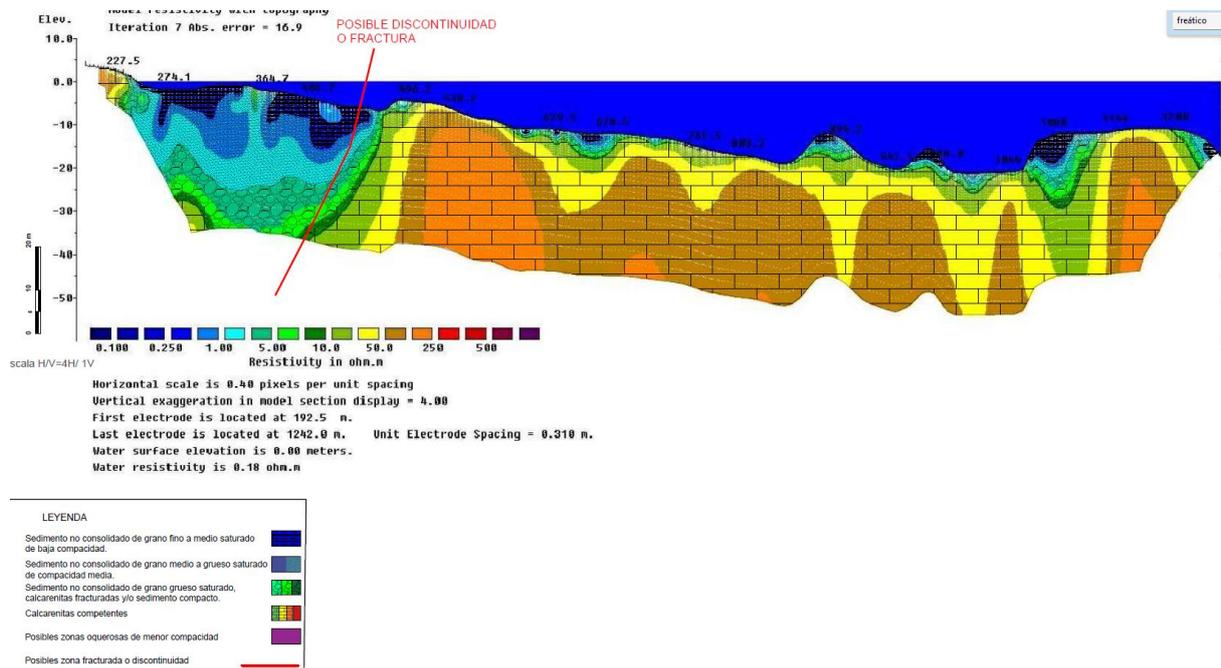


Imagen 28. Perfil tomografía ámbito marino. Fuente: Geozone

En el perfil de tomografía eléctrica ubicado en ámbito marino, se han determinado las siguientes capas resistivas asociadas a materiales:

- De forma general, se tiene una primera capa definida, la cual se presenta en mayor extensión, con resistividades comprendidas entre 10 – 1.500 Ohm.m (colores verde claro, amarillo, marrón y rojo), y que pueden corresponderse con calcarenitas competentes. Estas se presentan desde el metro 466,75 a longitud máxima del perfil, de forma continua sin presentarse la inmersión de nódulos de baja resistividad. Se tiene aflorante en el lecho marino en gran parte del perfil, alcanzando profundidades máximas de investigación.
- Se ha diferenciado una segunda capa de resistividades bajas, con valores inferiores a los 10 Ohm.m (colores azules y verdes), este rango resistivo puede estar asociado con sedimento no consolidado de grano fino, medio a grueso, incrementándose los valores resistivos en función del tamaño de grano y la compacidad existente. Estas zonas resistivas se presentan sobre la capa anterior aflorando en superficie. Presentando una primera zona entre el metro 587,45 al 684,65 con un espesor máximo de 6,15 metros, una segunda zona entre el metro 852 al 897,50 con un espesor máximo de 5,40 metros, una tercera zona entre el metro 945 al 1022 con un espesor de 9,30 metros, una cuarta zona entre el metro 1050 al 1122,50 con un espesor de 17 metros y finalmente, una quinta zona a partir del metro 1197,50 con un espesor de 6,80 metros.



- Este rango resistivo se presenta en el inicio del perfil, en la interfaz terrestre-marina, correspondiente entre el metro 231,15 al 457 del perfil, con valores resistivos inferiores a los 10 Ohm.m (colores azules y verdes), caracterizando estas resistivas como sedimentos de grano fino saturado para el caso de resistividades inferiores a 0,5 Ohm.m (color azul oscuro), aflorantes en superficie con espesores comprendidos entre 4-11 metros. Bajo esta se tiene un incremento resistivo a valores comprendidos entre 0,5 – 2,5 Ohm.m (color azul claro), que podría ser indicativo de un aumento de grano o compacidad, pudiendo corresponderse con sedimento no consolidado de grano medio a grueso con compacidad media. Este se tiene con un espesor variable de 12 – 20 metros.
- Finalmente, se presenta un incremento resistivo relativo bajo la anterior capa, con valores comprendidos entre 2,5 – 10 Ohm.m (color azul verdoso, verde lima y verde oscuro), que podrían corresponderse con sedimento no consolidado de grano grueso saturado, calcarenitas fracturadas y/o fondos de sedimento compacto. Esta capa resistiva presenta un gradiente resistivo alto respecto a la primera capa de resistividades más elevadas asociables con las calcarenitas. Este cambio resistivo, atendiendo a la disposición y gradiente, podría estar asociado con la presencia de una zona fracturada, presentando una discontinuidad resistiva. Atendiendo al plano resistivo generado, se ha obtenido un buzamiento aparente de 32,43° en dirección noroeste, sin ser definible de forma fidedigna con los ensayos realizados.
- Se ha alcanzado una profundidad máxima de investigación de 33 metros.

4.4 ESTUDIO GEOMORFOLOGÍA MARINA

Se ha realizado una caracterización geofísica de los espesores de sedimento existentes en el ámbito de estudio. Los materiales no consolidados presentes en el área de estudio forman parte de los rellenos sedimentarios procedentes de etapas y episodios de sedimentación y erosión.

Por lo general el área estudiada presenta espesores de sedimentos no consolidado bastantes irregulares y heterogeneas dadas las condiciones sedimentarias e hidrodinámicas

Se diferencia inicialmente una zona con una potencia de sedimento que llega hasta los 25 m entre los metros 231 y 457 del perfil y que en principio puede corresponder a sedimento de grano fino, medio a grueso. Posteriormente se identifican distintas zonas puntuales con espesores menores, que van de los 2 m a los 15 m y apoyan sobre áreas de muy bajas resistividades que, según se explica en el apartado 5.1, entendemos que se trata de zonas de calcarenita poco cementada y porosa.

4.5 ESTUDIO BIOCENOSIS

La información que se expone a continuación se extrae de los siguientes documentos elaborados específicamente para la redacción de este informe y que se presentan de forma íntegra en los Anejos adjuntos:

- Anejo nº 5: Informe de resultados de la prospección marina. Redactor: OCEANSNELL (identificación de este documento en el presente informe como DOC A5)

El análisis y procesado de los datos sonográficos obtenidos mediante sónar de barrido lateral y las diferentes prospecciones realizadas con TV submarina georeferenciada, han permitido elaborar una cartografía bionómica de detalle de las biocenosis marinas presentes en la zona de estudio.

En la tabla siguiente, se citan las diferentes biocenosis identificadas teniendo en cuenta la *Resolución de 22 de marzo de 2013, de la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar*, por la que se establecen los dos primeros elementos del Inventario Español de Hábitats Marinos (IEHEM): la lista patrón de los tipos de hábitats marinos presentes en España y su clasificación (Templado *et al.*, 2012).

Código	Denominación	Extensión (Km ²)	%
03040220	Arenas finas infralitorales bien calibradas	0,137	42,55
030512	Praderas de <i>Posidonia oceanica</i>	0,106	32,92
030104	Roca infralitoral inferior	0,043	13,35
03040504	Fondos de Maërl	0,036	11,18

La distribución y localización de las diferentes biocenosis y/o tipología de fondos se muestran de forma esquemática en el siguiente mapa, que se muestra con mayor detalle en el *Anejo nº 7.- Planos*.

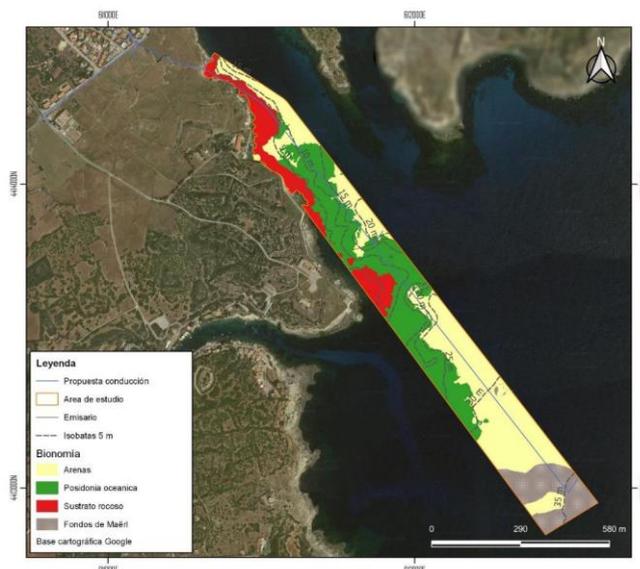


Imagen 29. Cartografía bionómica de la zona de estudio. Fuente: Oceansnell.



A continuación, se describen las diferentes biocenosis marinas identificadas en la zona de estudio teniendo en cuenta la clasificación del Inventario Español de Hábitats y Especies Marinos (IEHEM):

- **03040220 - Arenas finas infralitorales bien calibradas.**

Esta biocenosis, con una extensión de 0,137 km², representa el 42,55% de la superficie total prospectada. Se caracteriza por la presencia de arenas finas y homogéneas de origen terrígeno poco enfangadas, característica de zonas con hidrodinamismo moderado. Su contenido en fango aumenta con la profundidad.

Se ha observado mediante televisión submarina haces dispersos de *Cymodocea nodosa* que no se han podido detectar mediante la utilización del sonar. No se descarta la presencia de esta fanerógama, con densidades muy bajas, de forma puntual en algunas zonas asiladas de esta biocenosis.



Imagen 30. Biocenosis de arenas finas bien calibradas junto con haces dispersos de *Cymodocea nodosa*. Fuente: Oceansnell.

- **Praderas de *Posidonia oceanica* (030512)**

Esta biocenosis se ha localizado a lo largo de toda el área de estudio, ocupando una superficie de 0,106 km², representando el 32,92% de la superficie total prospectada.

Las praderas de *Posidonia oceanica* se encuentran únicamente en el Mediterráneo, ya que se trata de una planta endémica de este mar. Las densas praderas que forma pueden encontrarse desde la superficie hasta una profundidad variable de hasta 40 m de profundidad, dependiendo de la transparencia del agua. En las áreas insulares mediterráneas con aguas muy claras (como en las islas Baleares), puede encontrarse hasta unos 40 m de profundidad. Sin embargo, en las costas de la Península Ibérica no suele sobrepasar los 30 m, debido a la menor transparencia de las aguas. Puede crecer tanto sobre sustratos sedimentarios como rocosos, si bien, por lo general se instala sobre fondos duros en las aguas más someras y en zonas abiertas sometidas a un



hidrodinamismo intenso; mientras que en las grandes ensenadas o a mayor profundidad, donde el hidrodinamismo es menor, se instala preferentemente sobre sustratos arenosos (Templado *et al.*, 2012).

Esta biocenosis se localiza de forma paralela a la línea de costa, desde los 2 m hasta una profundidad máxima de unos 30 m en la zona de estudio, y se encuentra tanto sobre sustrato arenoso como sobre sustrato rocoso. No se han detectado marcas de garreo, zonas de mata muerta y/o signos de regresión evidente que pongan de manifiesto un mal estado de conservación de la pradera en la zona.



Imagen 31. Praderas de *Posidonia oceanica* sobre arena en el ámbito de estudio. Fuente: Oceansnell.

- Roca infralitoral inferior (030104)

Esta biocenosis se ha localizado a lo largo de toda el área de estudio, ocupando una superficie de 0,043 km², representando el 13,35% de la superficie total prospectada.

En la zona de estudio esta comunidad se localiza en zonas someras. El recubrimiento macroalgal que presenta esta biocenosis puede ser muy variable siendo la composición florística dependiente de la cota batimétrica a la que se localice. De forma general, en este hábitat, las algas fotófilas presentes están dominadas por algas pardas y rojas de pequeño y mediano porte.

Respecto a la fauna sésil, está representada por algunas esponjas propias de lugares bien iluminados que resisten bien a la competencia con las algas. También la fauna móvil de las comunidades de algas fotófilas es muy rica. Los equinodermos están bien representados por los erizos *Paracentrotus lividus* y *Arbacia lixula*, que son los herbívoros más importantes, por la estrella de mar (*Echinaster sepositus*), por las ofiuras (*Ophiotrix fragilis*) y por el holoturioideo (*Holoturia tubulosa*).



Imagen 32. Roca infralitoral inferior en el ámbito de estudio. Fuente: Oceansnell.

- Fondos de Maërl (03040504)

Esta biocenosis se ha localizado en la zona más profunda del área de estudio, ocupando una superficie de 0,036 km², representando el 11,18% de la superficie total prospectada.

En algunas zonas de la plataforma continental se produce una gran acumulación de algas coralinas sueltas, de forma y tamaño variable, que dan lugar a lo que se conoce como fondos “maërl”. A cada una de las algas individuales o elementos que constituyen estos fondos se le denomina “rodolito”, cuya forma puede variar desde muy ramificada a más o menos esferoidal, dependiendo de las condiciones hidrodinámicas (su tamaño oscila normalmente entre 1 y 6-7 cm). Su distribución batimétrica depende directamente de la transparencia del agua y suelen hallarse en zonas de corrientes intensas. En el Mediterráneo se encuentran a profundidades comprendidas entre 30 y 150 m (Templado et al., 2012).

La importancia ecológica del maërl viene dada por la elevada diversidad de fauna y flora que alberga y al gran número de nichos ecológicos que genera su estructura tridimensional (Bosence 1983, Birkett *et al.* 1998).

El maërl se encuentra en fondos caracterizados por la presencia de intensas corrientes y en casos particularmente favorables estas formaciones calcáreas predominan sobre la fracción detrítica. La macrofauna bentónica asociada está representada principalmente por los poliquetos y crustáceos, sobre todo decápodos y anfípodos. Entre los poliquetos son muy importantes especies de tamaño relativamente grande como *Eunice vittata*, *Marphisa belli*, *Nematonereis unicornis* (Eunicidae), *Neanthes rubicunda* (Nereidae), *Syllis spp.* (Syllidae), *Sigalion mathildae* (Sigalionidae), *Pista cristata* (Terebellidae) y *Onuphis eremita* y *Halynoecia bilineata* (Onuphidae).

En general, los fondos de maërl suelen tener una mayor heterogeneidad, comparado con las arenas gruesas, cosa que se traduce en una mayor biodiversidad. Esta heterogeneidad se traduce también en una mayor rugosidad,



que determina un incremento de la turbulencia en proximidad del fondo, favoreciendo aún más la presencia de animales que pertenecen al grupo trófico de los suspensívoros. Estos encuentran aquí un hábitat favorable, debido además a una mayor cantidad de refugios como consecuencia de la irregularidad del fondo.



Imagen 33. Fondos de maërl en el ámbito de estudio. Fuente: Oceansnell.

4.6 AFECTACIÓN ARQUEOLÓGICA

Para el análisis de posibles afecciones arqueológicas durante la ejecución de la PHD se ha encargado la elaboración de un informe arqueológico al arqueólogo local Carlos de Salort Giménez. Dicho informe se adjunta de forma íntegra en el *Anejo nº 6.- Informe arqueológico* del presente informe.

El tramo terrestre de la PHD discurre por la zona arqueológica comprendida entre los restos del castillo de Sant Felip al E, la Av. Des Port des Castell, límite meridional de la urbanización Sol del Este, la costa y las casas perdiales de Torrenova del Rei. Se trata de la extensión de terreno que aproximadamente ocupó, entre 1554 y 1771, la población del Raval de Sant Felip.

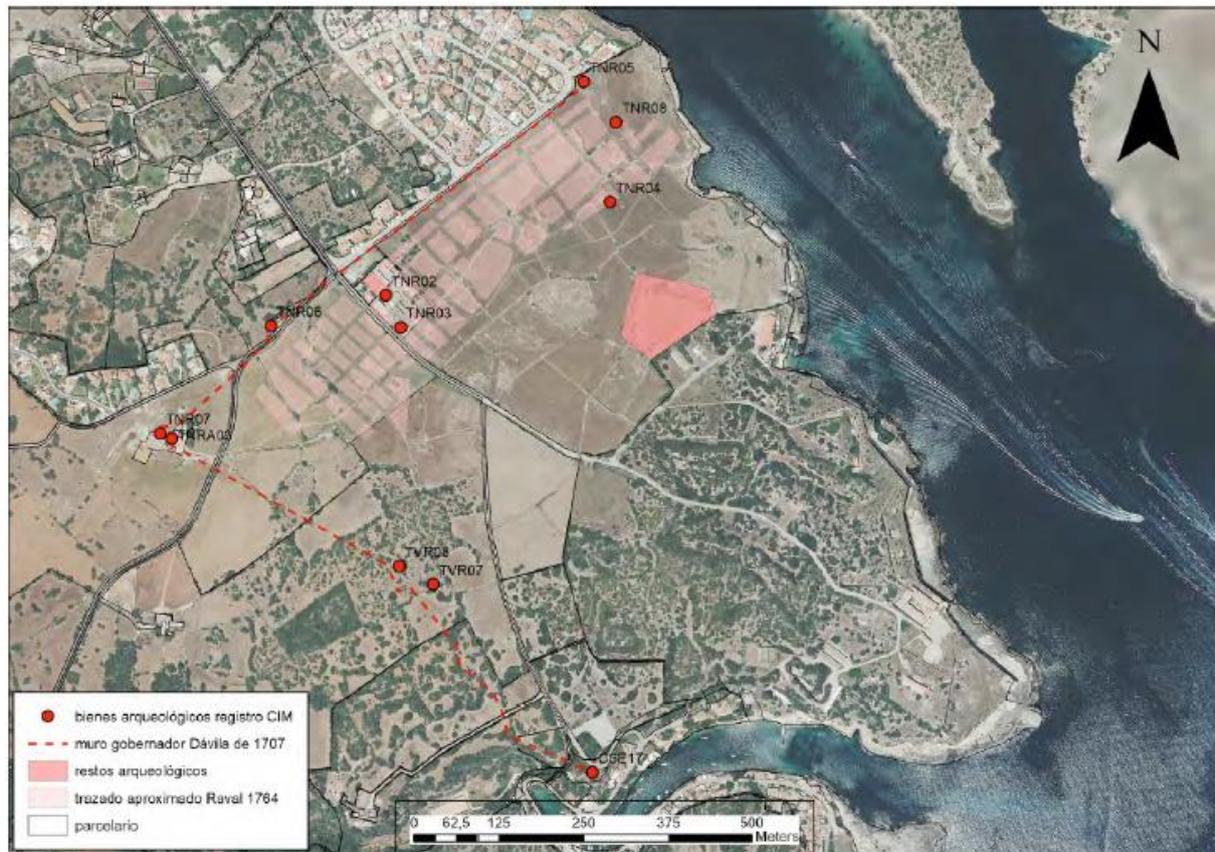


Imagen 34. Sant Felip con todos los elementos descritos en el informe arqueológico. Fuente: Inf Arq Carlos de Salort Giménez

La propuesta de intervención para el futuro emisario marítimo terrestre es la siguiente:

- Inicio del tramo proyectado en el cruce entre la Ctra. De Sant Felip, la des Castell a Sant Lluís y la Av. Des Port des Castell. El emisario discurriría unos 390 m por la Av. Des Port des Castell hasta aproximadamente la altura del Carrer Lepanto. La instalación del emisario se llevaría a cabo mediante la técnica tradicional de apertura de zanja, colocación de tubo y posterior relleno y tapado.
- Continúa el emisario desde la Av. Des Port des Castell, por la parcela en rústico de 07064A00500003 (Sant Felip) unos 240 m hasta alcanzar la costa por el punto conocido como es Pouet. La instalación del emisario se llevaría a cabo mediante la técnica de la PHD.
- Se plantea colocar la perforadora en el Carrer Lepanto, para iniciar la perforación en la Av. Des Port des Castell soterrándose a 16º alcanzando la parcela en rústico a 5 metros de profundidad aproximadamente respecto a la cota del terreno en ese punto.
- Ya dentro de la parcela en rústico, la perforadora se soterraría de los 5 m a los 10 m aproximadamente respecto a la cota del terreno durante los primeros 20 m, alcanzaría los 17,78 m de profundidad a los 80 m de recorrido y finalizaría el tramo terrestre en es Pouet a una profundidad de unos 26,10 m.

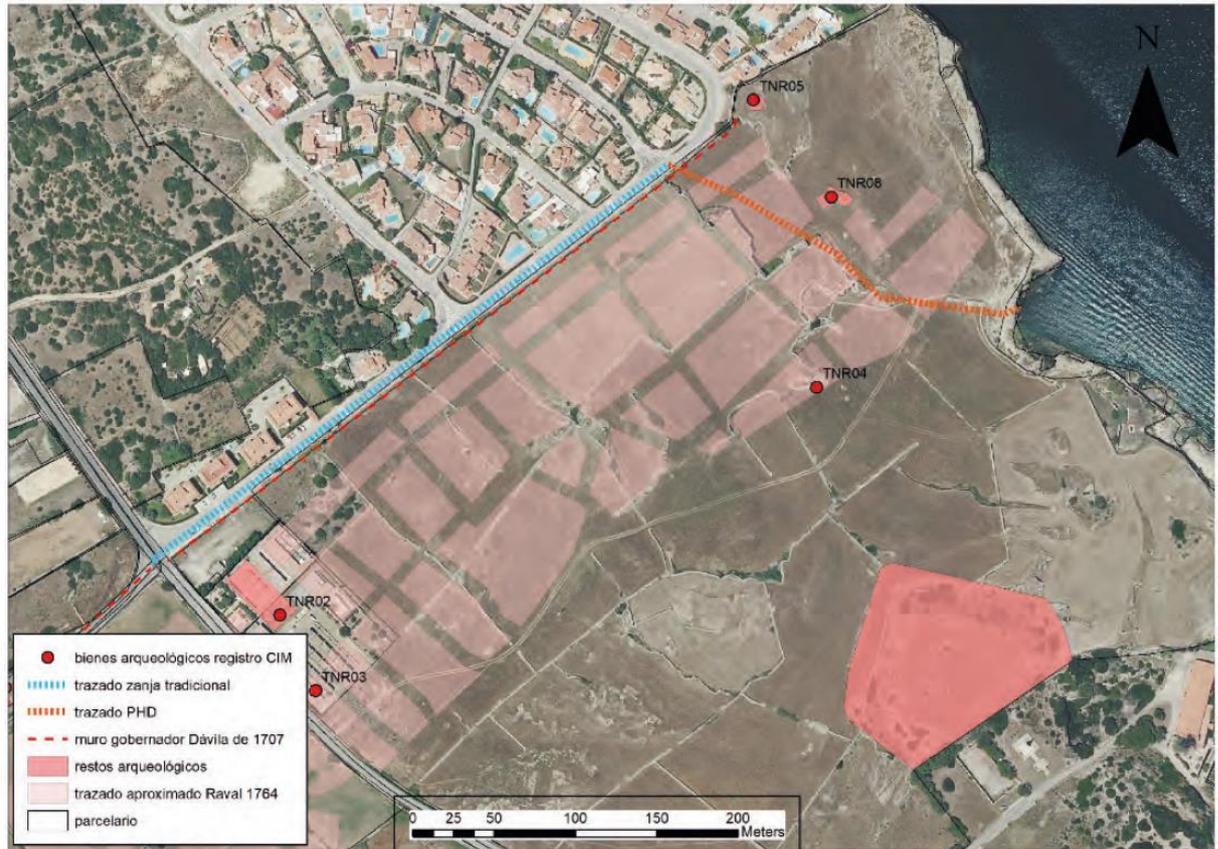


Imagen 35. Superposición restos arqueológicos con trazado previsto. Fuente: Inf Arq Carlos de Salort Giménez

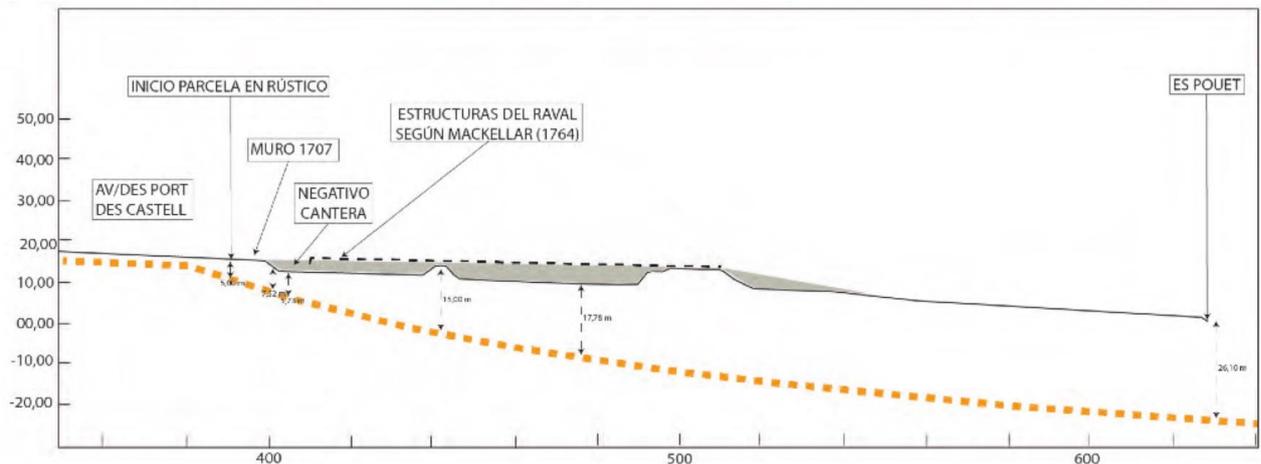


Imagen 36. Superposición en alzado del trazado de la PHD con los restos arqueológicos. Fuente: Inf Arq Carlos de Salort Giménez

4.6.1 Problemática arqueológica

El tramo de zanja mediante técnica tradicional proyectado entre la Carretera Sant Felip y la Av/ des Port des Castell y la Av/ des Port des Castell hasta aproximadamente la altura de la c/Lepanto, deberá contar con control

arqueológico dada su proximidad a la entrada del antiguo Raval des Castell y por ser susceptible a contener niveles estratigráficos con materiales arqueológicos muebles.

El tramo de emisario realizado mediante PHD, desde la Av/ des Port des Castell, unos 240 m hasta alcanzar es Pouet, no supone afectación arqueológica.

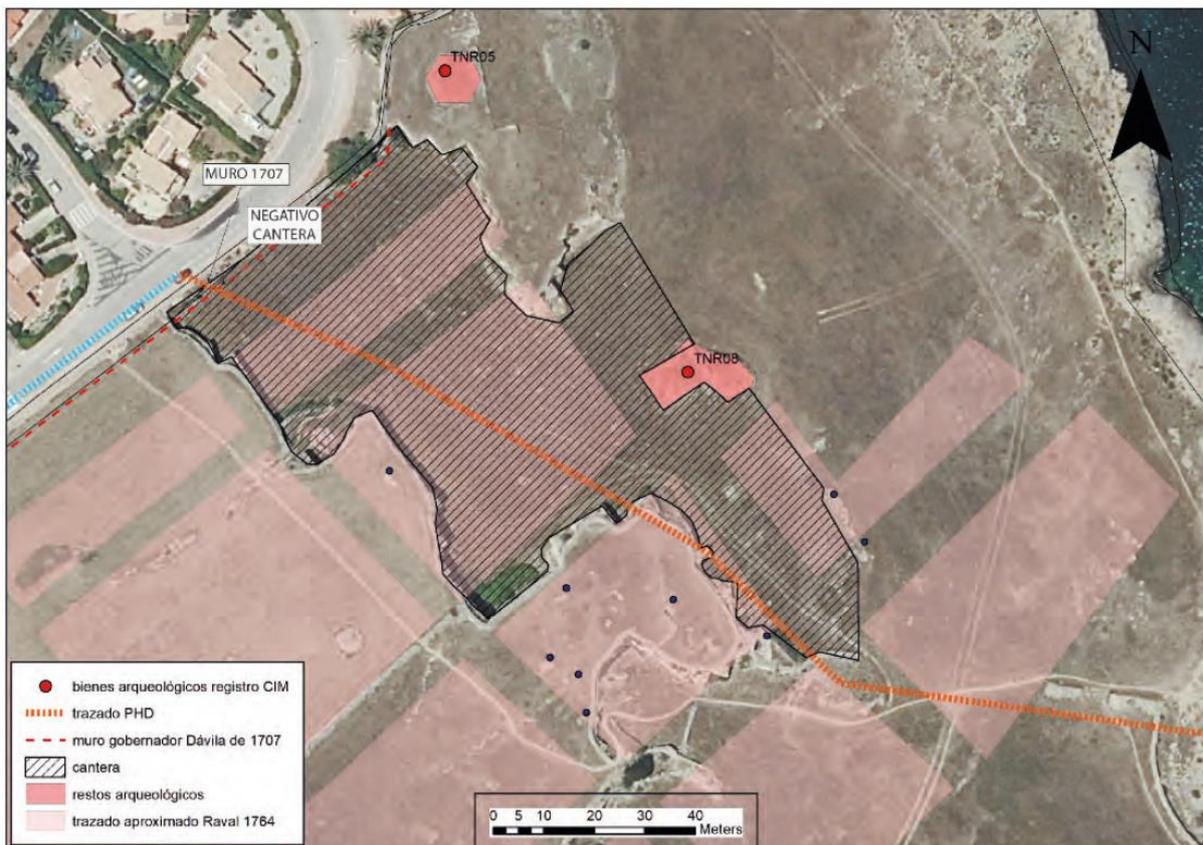


Imagen 37. Superposición negativo de la cantera con trazado previsto. Fuente: Inf Arq Carlos de Salort Giménez

4.6.2 Propuesta de intervención arqueológica

Será necesario establecer una serie de medidas de supervisión, prevención y control de calidad de los trabajos que se van a ejecutar. Estas medidas tienen como objetivo velar por la correcta ejecución del proyecto ante el Servei de Patrimoni Històric del Consell Insular de Menorca.

En el informe arqueológico que se adjunta íntegro en el *Anejo nº 6.- Informe arqueológico* del presente documento se incluye la relación completa de medidas a tener en cuenta tanto en la redacción del proyecto como la ejecución de la obra.

4.7 AFECTACIÓN PORTUARIA

El ámbito de estudio por el que discurre el futuro emisario marítimo terrestre se ubica en el ámbito del Puerto de Maó. Dicho puerto es uno de los mayores puertos naturales del Mediterráneo, con más de 6 km de longitud.

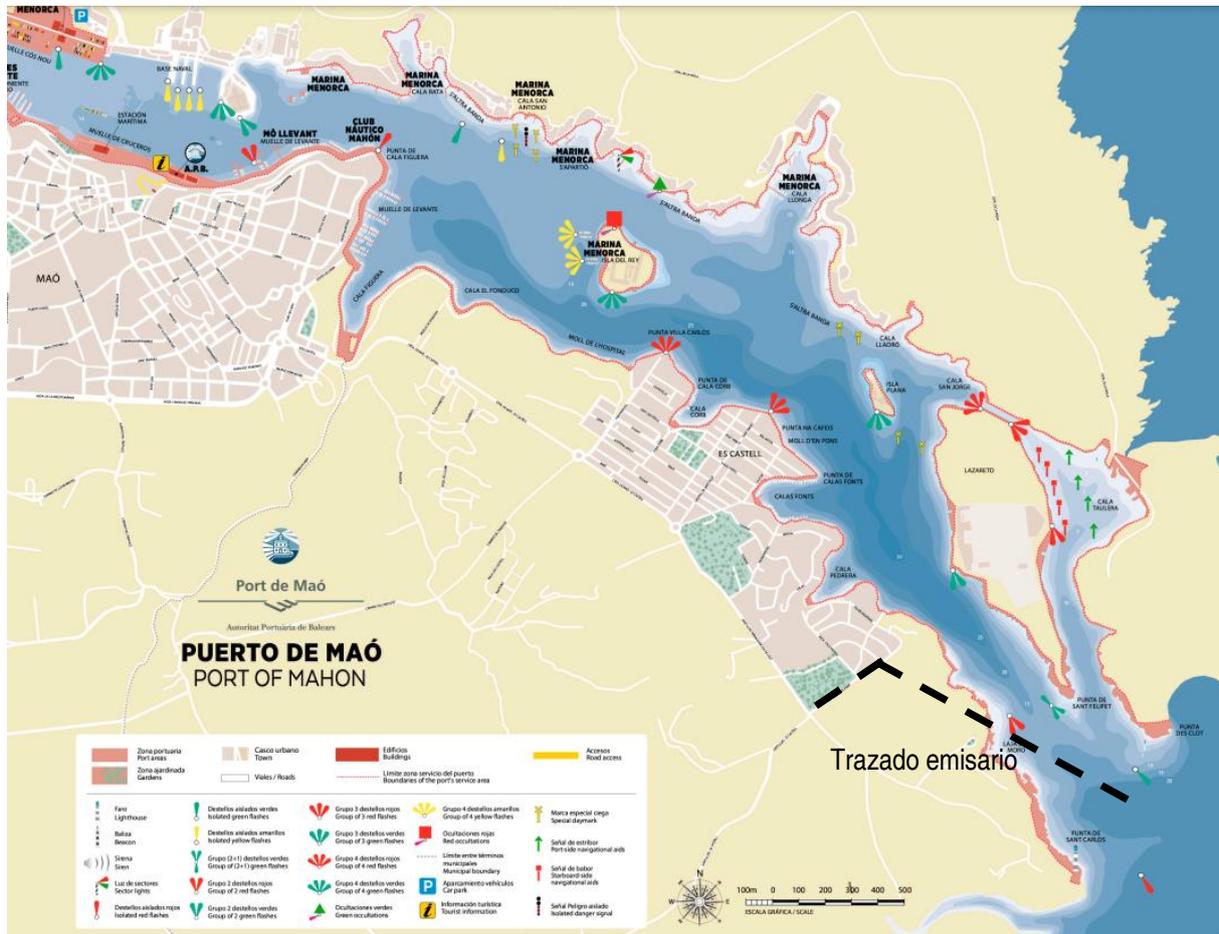


Imagen 38. Plano esquemático del Puerto de Maó. Fuente: APB

El ámbito del tramo marino del emisario discurre en la boca de entrada del Puerto de Maó. Se ubica dentro de la zona II del Puerto y el trazado queda condicionado por el canal de navegación de entrada y salida al puerto y las zonas autorizadas para fondeo de buques en espera que se ubican adyacentes al canal de navegación.

4.7.1 Condicionantes que afectan al diseño del trazado del emisario

Los condicionantes portuarios existentes que afectan al diseño del trazado son los siguientes:

- Existencia canal de navegación
- Existencia de zonas autorizadas para el fondeo de buques en espera para entrada al puerto
- Zona de maniobrabilidad complicada en la bocana del puerto



Estos tres condicionantes, combinados con el estudio de la batimetría, condiciona el punto de salida de la PHD al fondo marino.

La existencia de zonas autorizadas para el fondeo de buques en espera para entrada al puerto obliga a no proyectar el tramo apoyado sobre el fondo marino en dichas zonas.

La entrada al puerto de Maó es compleja en situaciones con oleajes considerables. La maniobrabilidad de las embarcaciones puede verse condicionada y pueden darse situaciones de fondeos de emergencia de embarcaciones en situaciones de oleaje importante. Por ello es necesario que el tramo apoyado en el fondo marino no discurra por dentro del canal de navegación en el ámbito de la bocana del puerto.

Una vez fuera de la bocana del puerto, el tramo apoyado sobre el fondo marino puede discurrir por dentro del canal de navegación, pero la configuración geomorfológica del fondo marino no es favorable a que la salida sea directamente por la zona central de dicho canal.

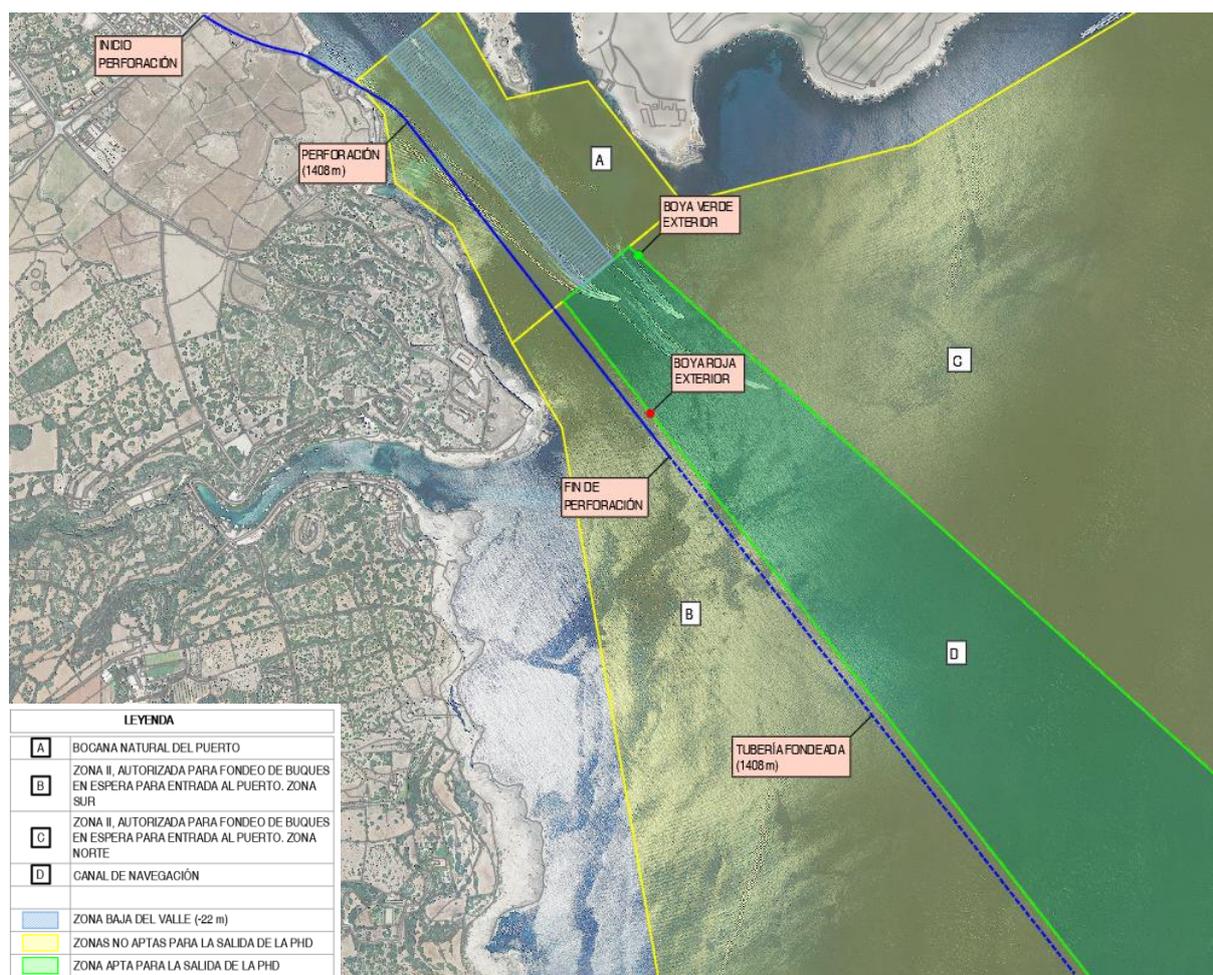


Imagen 39. Zonificación y afectación portuaria durante la instalación de la tubería.



Además, hay que tener en cuenta que, durante el proceso de colocación de la tubería por el interior de la PHD, la totalidad de la misma queda en flotación en el agua frente al punto de entrada de la PHD. Se estima que la longitud total de dicha tubería alcance los 1408 metros.

Este procedimiento no puede implicar que el puerto de Maó quede sin operativa y se deberá garantizar en todo momento un canal de navegación mínimo que permita el paso de las embarcaciones durante el proceso de introducción de la tubería en la PHD.

En el puerto de Maó pueden operar embarcaciones de hasta 300 metros de eslora. Estas embarcaciones disponen de unas mangas comprendidas entre los 30 y 40 metros en función de la tipología concreta de embarcación. Habrá que garantizar un paso libre de 5 mangas a la bocana del puerto.

Durante el proceso de introducción de la tubería en el interior de la perforación, será necesario balizar la zona II de espera sur para que únicamente pueda albergar durante dicho proceso la propia tubería en flotación y el resto de embarcaciones necesarias para llevar a cabo la operativa.

Por tanto, el trazado del emisario marino deberá tender a ubicarse en el entorno de la alineación que delimita el canal de navegación con las zonas autorizada de fondeo por el sur. El punto de la salida de la PHD será aquel en el que se adapte mejor la batimetría existente.

Por otro lado, tras conversaciones mantenidas con los responsables del Port de Maó, muestran su preferencia a realizar la ejecución de la PHD y, por lo tanto, la botadura e introducción de la tubería en la perforación, entre los meses de mayo y junio, ya que el tráfico de embarcaciones es menor que en los meses de julio y agosto, como se reitera en el apartado siguiente.

Por último, se concluye también tras analizar conjuntamente la situación con los responsables del Port de Maó la necesidad de proceder a la botadura de la tubería en 2 tramos para que pueda quedar la tubería fondeada y abrigada durante la ejecución de la perforación. Serán posteriormente soldados en la fase de introducción de la misma en la perforación sobre embarcación especializada.

Además, durante el proceso de soldadura de los subtramos de 12 m la misma quedará abrigada en el espejo de agua en una zona del puerto a determinar, y que se desarrollará con mayor detalle en el informe de diseño constructivo de la PHD que se desarrollará más adelante.

4.8 ANÁLISIS METEOROLÓGICO

Tal y como se expone en las consideraciones del punto 5.1 del presente informe, se estima que será necesario llevar a cabo técnicas de doble varillaje de perforación. Ello implica que el proceso de introducción de la tubería

en el interior de la perforación puede ofrecer unos rendimientos menores que queden condicionados por la necesidad de tener que reperforar ante situaciones de colapsos del terreno.

Es fundamental para el proceso de colocación de la tubería en el interior de la perforación disponer de una ventana meteorológica favorable lo suficientemente grande como para que permita llevar a cabo toda la operativa de forma continuada.

Puede entenderse que unas condiciones meteorológicas favorables corresponden a oleajes de altura hasta 1 metro.

Por otro lado, para determinar la duración del proceso de introducción de la tubería en el interior de la perforación se hace el siguiente análisis:

- Longitud estimada de introducción: 1408 metros lineales
- Técnica del doble varillaje que permite que el escariado previo a la introducción de la tubería se asemeje al diámetro de perforación.
- Estimaciones de rendimientos de colocación de tubería para el caso que se fondeen los 1408 metros completos o se divida la tubería en dos tramos que deberán ser soldados en el mar sobre una embarcación.

	Pésimo	Estandar	Óptimo
Long Total	1408		
Long Tramo 1	1408		
<i>Doble varillaje (permite que el escariado previo a la introducción de la tubería se asemeje al diámetro de perforación máximo necesario)</i>			
Rendimiento colocación tubería (ml/hora)	10	25	40
Duración (horas)	140,8	56,32	35,2
Duración (días, 24 horas)	5,87	2,35	1,47

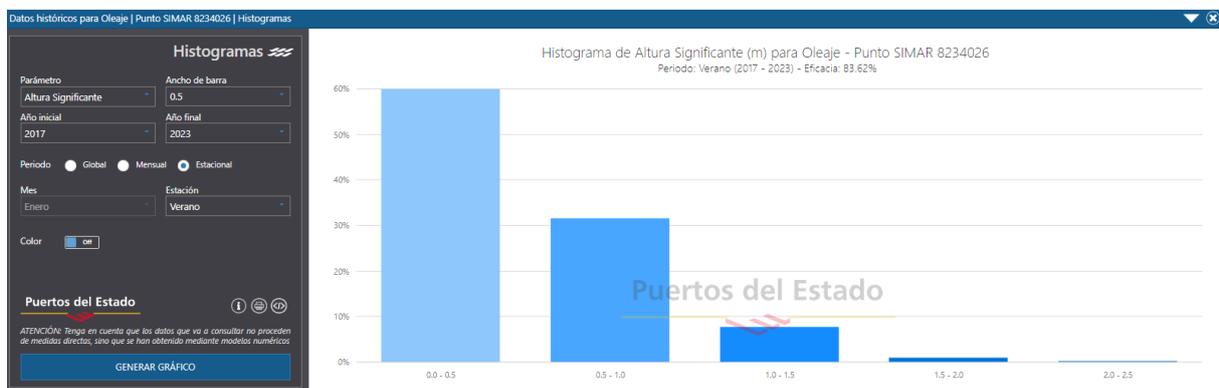
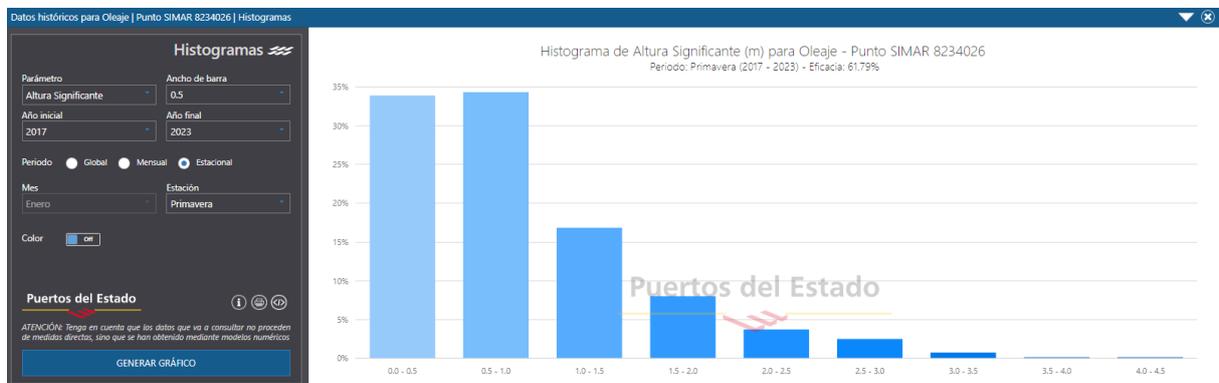
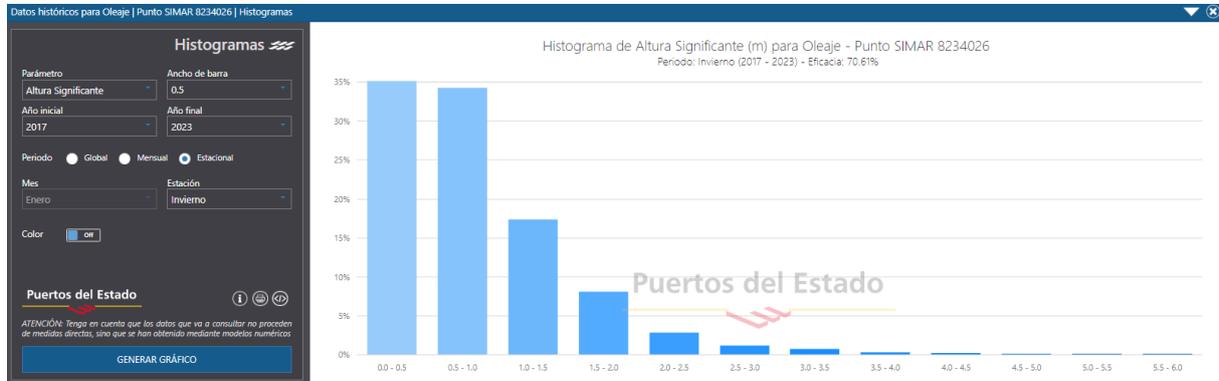
	Pésimo	Estandar	Óptimo
Long Total	1408		
Long Tramo 1	704		
Long Tramo 2	704		
<i>Doble varillaje (permite que el escariado previo a la introducción de la tubería se asemeje al diámetro de perforación máximo necesario)</i>			
Rendimiento colocación tubería (ml/hora)	10,00	25,00	40,00
Duración por tramo (horas)	70,40	28,16	17,60
Duración por tramo (días, 24 horas)	2,93	1,17	0,73
Botadura y soldadura tramo 2 (días)	2,00	1,50	1,00
Duración total (horas)	188,80	92,32	59,20
Duración total (días)	7,87	3,85	2,47

Por tanto, para poder proceder con la botadura de la tubería y su posterior introducción en el interior de la perforación habría que buscar una ventana meteorológica de al menos 10 días seguidos con oleajes que sean menores de 1 metro.

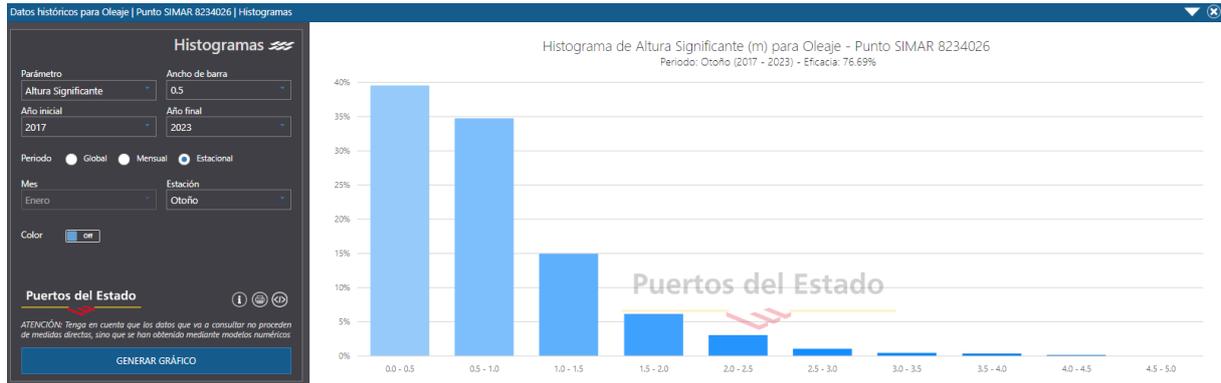
Se analizan los datos históricos del punto SIMAR 8234026 ubicado en el ámbito de estudio:



A continuación, se muestran los histogramas de registro de datos históricos de alturas de ola significantes¹ clasificadas por estaciones desde los años 2017 a 2023:

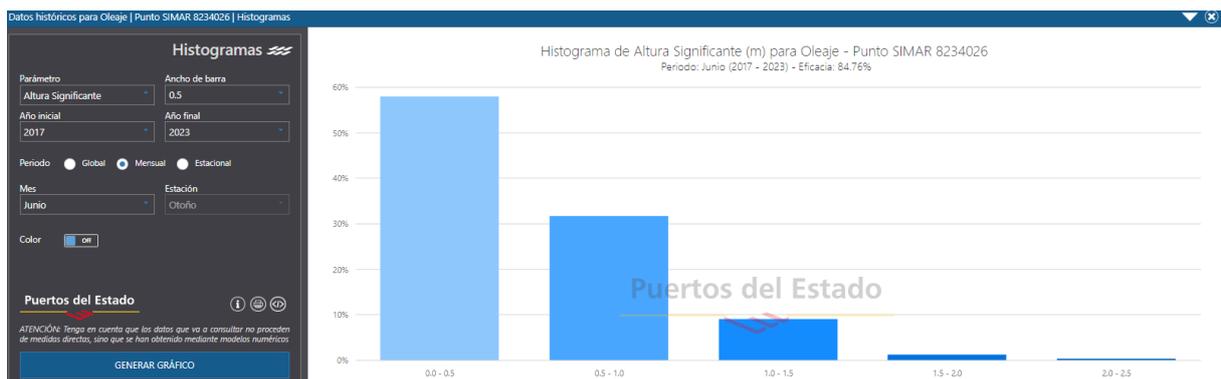
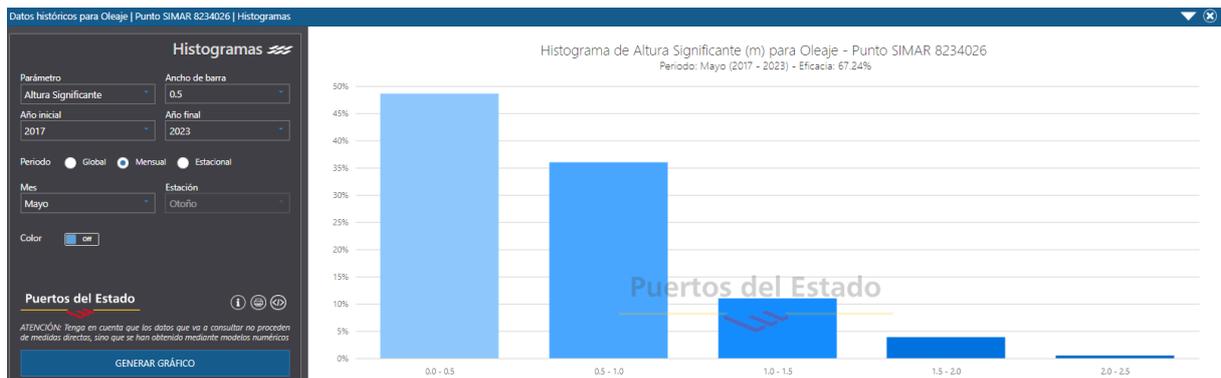


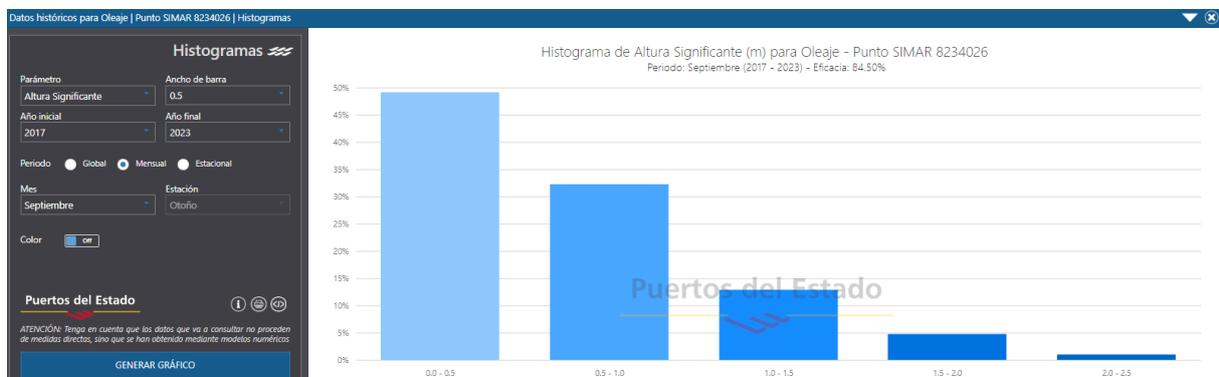
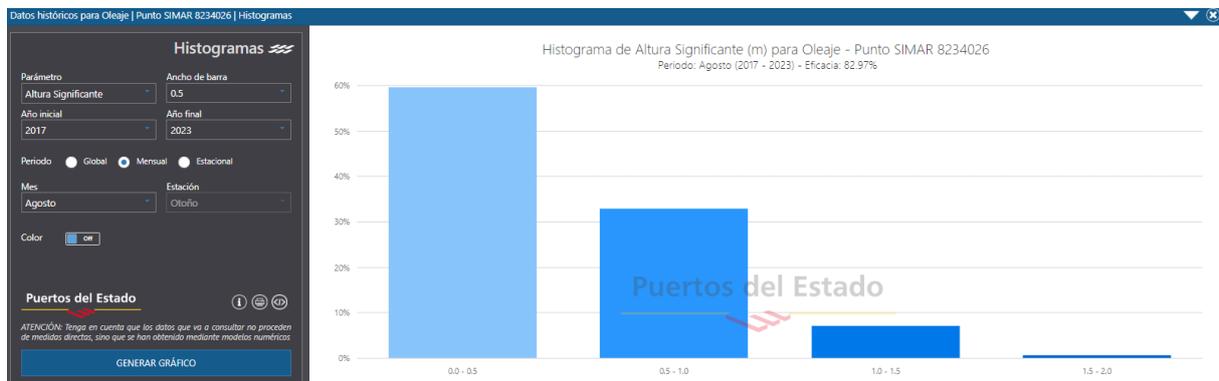
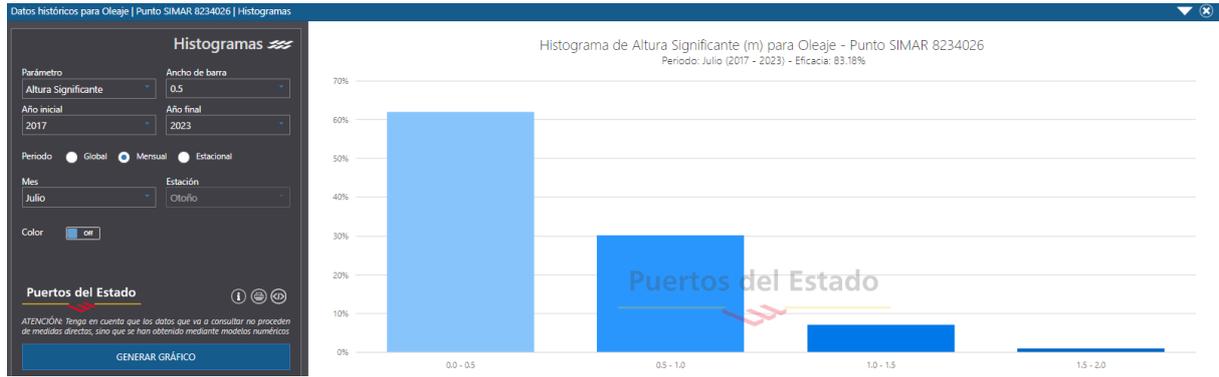
¹ La altura de ola significativa es el valor medio aritmético del tercio de olas más altas. Hay que tener en cuenta que los valores unitarios registrados para el cálculo de altura de ola significativa pueden duplicar el valor de la altura de ola.



De los cuatro histogramas se observa que el correspondiente a la estación de verano es el que presenta un mayor porcentaje de oleajes con alturas significativas menores a 1 metro.

Si se analiza ahora la misma información agrupada por los meses de mayo, junio, julio, agosto y septiembre:





Si se agrupa dicha información en una tabla se obtiene:

Histograma de altura significativa para oleaje. SIMAR 8234026					
	0.0-0.5	0.5-1	1.0-1.5	1.5-2.0	2.0-2.5
mayo	48,66%	36,01%	11,02%	3,85%	0,46%
junio	57,89%	31,58%	8,94%	1,24%	0,35%
julio	62,03%	30,08%	7,09%	0,81%	
agosto	59,48%	32,86%	7,06%	0,60%	
septiembre	49,14%	32,19%	12,84%	4,77%	1,06%

Esta información muestra que el periodo más adecuado para llevar a cabo la botadura de la tubería y su introducción en el interior de la perforación sería entre los meses de mayo, junio, julio y agosto. En concreto el mes de julio es el que estadísticamente presenta mejores registros de oleaje. No obstante, para minimizar las posibles interferencias con el gran número de embarcaciones existentes en la zona en los meses de julio y agosto, y tras conversaciones con los responsables del Port de Maó, se concluye que la época óptima para realizar la operativa sería entre los meses de mayo y junio.

4.9 AFECTACIÓN AMBIENTAL

Las posibles afectaciones que pueden derivarse de la intervención propuesta son:

- Deposición de bentonita y detritus en el fondo marino en el ámbito de la salida de la PHD
- Turbidez motivada por la perforación de la salida de la PHD al fondo marino y por la deposición de bentonita en el entorno de salida de la PHD
- Afección sobre de praderas de *Posidonia oceanica*.

Según se observa en la siguiente imagen, suponiendo la salida de la PHD y la disposición de la tubería sobre el lecho marino a partir del PK 1+800 se salvarían las praderas de *Posidonia oceanica* ubicadas sobre el trazado del emisario propuesto. En torno al PK 1+900 estaría el punto de mayor acercamiento a dichas praderas, que quedarían a unos 35 m de separación del emisario apoyado. No obstante, podría existir ligera afección muy localizada de *Posidonia oceanica* no detectados en las campañas realizadas por su baja densidad.

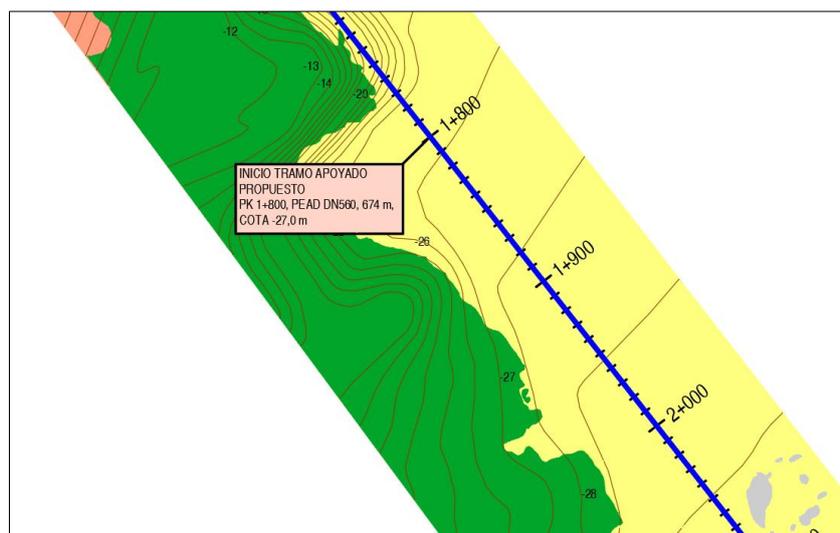


Imagen 40. Biocenosis en la zona de finalización propuesta de la PHD.

Por otro lado, en fase de proyecto deberán quedar definidas las campañas que deberán ejecutarse durante las obras:

- Campaña preoperacional
- Campañas de seguimiento
- Campaña postoperacional

La campaña preoperacional se realizará con anterioridad al inicio de los trabajos subacuáticos con objeto de marcar los valores de referencia de cada uno de los parámetros analizados. Debería estar formada por: cartografiado del fondo marino; identificación del medio natural marcando la existencia de claros de arena; inspección visual del trazado; disposición de trampas de arena; caracterización de las aguas marinas (con el objeto de realizar durante los trabajos de dragado un control sobre la calidad del agua en el entorno de trabajo se caracterizaría el agua estudiando diferentes parámetros como una analítica fisicoquímica de las muestras de agua marina y un perfil termohalino para controlar el seguimiento de la turbidez asociada a los trabajos.

Durante la ejecución de las obras debe llevarse a cabo un seguimiento periódico sobre las medidas de control ambiental dispuestas. El seguimiento ambiental permitirá evaluar posibles afectaciones a la biocenosis existente.

Uno de los parámetros clave a controlar es el de material en suspensión, turbidez y carbono orgánico total.

En los primeros metros de la columna de agua se absorbe la mayor parte de la energía de radiación solar, fenómeno de gran trascendencia si se tiene en cuenta que los ciclos de materia y energía del mar dependen en gran medida de los productores primarios que necesitan luz para realizar la fotosíntesis en la capa fótica.

También es muy importante el control de la cantidad de nutrientes inorgánicos (nitratos, nitritos, amonio, fosfatos, silicatos), que son un conjunto de sales inorgánicas necesarias para que los productores primarios marinos (algas y fanerógamas) puedan realizar la fotosíntesis. Su carencia o baja concentración constituye un factor claramente limitante de la producción.

Al finalizar los trabajos se deberá evaluar el estado final del entorno marino.

Por último, en fase de proyecto se deberán proponer distintas medidas correctoras a aplicar, como pueden ser las siguientes:

Terrestres:

- Retirada de la camisa (*casing*), si procede
- Reposición de pavimentación del ámbito de implantación de la maquinaria y del resto de equipos necesarios
- Reposición de especies arbustivas o arbóreas afectadas
- Tratamiento de aguas residuales en la EDAR para disminuir el riesgo de eutrofización del medio receptor

Marinas:

- Retirada de bentonita del fondo marino en el punto de salida de la PHD
- Plantación de plántulas de Posidonia oceanica en el entorno de la salida de la PHD
- Revegetación en condiciones similares y con las mismas especies vegetales existentes en caso de que se vean afectadas
- Disposición de barrera flotante perimetral de protección con cortina antiturbidez.
- Control de aguas receptoras
- Determinación analítica de SST (sólidos en suspensión totales) y SSV (sólidos en suspensión volátiles)

4.10 SERVICIOS AFECTADOS

Tras la campaña de georradar llevada a cabo, así como la detección de servicios existentes a través de la plataforma Inkolan y la petición de servicios a las empresas suministradoras y al Ajuntament des Castell, se concluye que en la Avinguda des Port existen los siguientes servicios:

- Red eléctrica soterrada de baja y media tensión
- Red soterrada de telecomunicaciones
- Red de saneamiento
- Red de abastecimiento de agua potable

Por otro lado, el Ajuntament des Castell ha redactado el proyecto, todavía sin ejecutar, para la incorporación de una red de pluviales que, en parte, discurre por la Avinguda des Port.

El diseño del tramo del emisario en zanja deberá considerar, por lo tanto, la existencia de dichos servicios y identificar las interferencias y prever el desvío de los servicios existentes.

Respecto al tramo en PHD, se deberá salvar únicamente los servicios existentes en el cruce del Carrer de Lepanto y la Avinguda des Port, punto de ubicación de la arqueta PHD, puesto que en la parcela de titularidad privada por la que discurre la PHD en el ámbito terrestre no existen servicios enterrados.

5. CONSIDERACIONES SOBRE LA VIABILIDAD DE LA PHD COMO TÉCNICA DE PERFORACIÓN PARA LA INSTALACIÓN DEL TRAMO DE TRANSICIÓN TERRESTRE – MARINO DEL EMISARIO

Tras la exposición de todos los estudios llevados a cabo para la elaboración del presente estudio de viabilidad de la técnica de la PHD, se hacen las siguientes consideraciones:

5.1 SOBRE EL ANÁLISIS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

Las campañas de campo llevadas a cabo en el ámbito de estudio han permitido determinar la tipología de materiales a travesar por la PHD.

Se ha identificado en prácticamente todo el recorrido la presencia de sustratos de calcarenita competente, que pueden ser clasificados como una roca blanda, muy apta para su perforación. Los niveles de la calcarenita que presentan una mayor competencia pueden perforarse sin riesgo de sufrir desmoronamientos.

No se ha identificado la presencia de materiales del carbonífero, hecho que hubiese complicado la viabilidad de ejecutar la perforación.

En la tomografía eléctrica se ha identificado un tramo (entre el metro 231,15 al 457 del perfil) que presenta valores de resistividades muy bajas, que pueden ser asociados a diferentes motivos:

- Sedimento no consolidado de grano medio a grueso saturado de compacidad media
- Calcarenitas fracturadas y saturadas

Este tramo del perfil tomográfico es coincidente con la línea de acantilado de la costa. Este hecho creemos que también tiene, en parte, influencia en los valores de resistividad obtenidos dado que las zonas más superficiales del macizo rocoso suelen presentar un menor grado de consistencia debido a su mayor exposición contra efectos externos.

Esta zona en la que se presentan menores valores de resistividad podrían ser equivalentes a los estratos del sondeo que no han podido recuperarse. Es decir, que fueran calcarenitas bioconstruidas con tramos porosos irregularmente cementadas. La homogeneidad geológica que presenta la mitad sur de la isla de Menorca, las inspecciones visuales realizadas en todo el ámbito de estudio hacen indicar que los tramos identificados en el perfil sismográfico con muy bajas resistividades pueden deberse a zonas de calcarenita poco cementada y porosa.

Esta calcarenita poco cementada y porosa es altamente disgregable clasificándose dentro del grupo de suelos o de transición entre una roca muy blanda y un suelo.

Por tanto, en este tramo el material existente es probable que se comporte como un suelo disgregable que durante el proceso de ejecución de la PHD pueden llevar a desmoronamientos localizados.

Dado que la calcarenita presenta una estructura isótropa, es de esperar que en aquellas zonas donde presente grado de cementación y porosidad similares, su comportamiento también lo sea, siendo esto una ventaja ante una perforación.

En el caso menos probable que el material identificado con bajas resistividades fuesen materiales no consolidados de granos medios a gruesos, podría esperarse un comportamiento bastante similar al de las calcarenitas fracturadas, porosas y poco cementadas. Por tanto, entendemos que la operativa en la ejecución de la PHD sería la misma en ambos casos.

La presencia del tramo que presenta bajas resistividades compromete la estabilidad de la perforación, y es por ello que en principio la perforación deberá realizarse con revestimiento o bien con doble varillaje de perforación que permita la introducción sincrónica de la tubería con la perforación que permita salvar los posibles puntos de desmoronamiento. La baja dureza y alta disgregación del material no debe suponer ningún problema para plantear esta técnica.

La ejecución de la perforación piloto de la PHD supondrá disponer de una testificación más realista del trazo de la PHD definitiva.

Este proceso conllevará que gran parte del detritus deba ser extraído por el lado mar, con la dificultad adicional que ello supone. Este proceso también puede dilatar el proceso de colocación de tubería ya que deberá instalarse al ritmo que avance el escariado.

Por tanto, desde un punto de vista geológico-geotécnico, es viable llevar a cabo la técnica de la PHD empleando un sistema de encamisado o de doble varillaje de manera que se permita la colocación sincrónica de la tubería con la perforación. Será necesario gestionar prácticamente la totalidad de la bentonita y el detritus por el lado mar.

5.2 SOBRE EL ANÁLISIS ARQUEOLÓGICO

Será necesario un seguimiento arqueológico sobre el tramo de emisario que se ejecuta por la técnica tradicional de apertura de zanja, colocación de tubo y posterior relleno y tapado. El tramo a ejecutar en PHD no tendrá afectación arqueológica.

Por tanto, desde un punto de vista patrimonial, es viable llevar a cabo la técnica de la PHD en el ámbito indicado.

5.3 SOBRE EL ANÁLISIS DE AFECTACIÓN PORTUARIA

El trazado en planta y el punto de salida de la PHD al fondo marino deben tener en cuenta una serie de condicionantes que implica la existencia del Puerto de Maó. Desde la Autoridad Portuaria de Baleares se podrá autorizar la instalación del emisario siempre y cuando se dé cumplimiento a dichos condicionantes.

Por tanto, desde un punto de explotación portuaria, es viable llevar a cabo la técnica de la PHD y disponer el tramo apoyado del emisario siempre y cuando se cumplan los condicionantes impuestos. Se debe cumplir:

- Trazado en planta coincidente con la alineación que separa el canal de navegación con la zona de espera de buques sur.
- Salida de la PHD fuera de la bocana del puerto.
- Que durante el proceso de colocación de la tubería en el interior de la PHD quede un paso libre de unos 175 metros (equivalente a 5 mangas de 35 metros) para las embarcaciones que accedan o salgan del puerto.
- Que la botadura de la tubería, así como su introducción en la perforación, se lleven a cabo entre los meses de mayo y junio.

5.4 SOBRE LA AFECTACIÓN AMBIENTAL

Se ha prospectado un total de 0.322 Km² de fondo marino. El rango batimétrico en la zona de estudio a variado entre 0 y 37 metros de profundidad. La tipología de fondo presente en la zona de estudio es principalmente de carácter arenoso, siendo la biocenosis de las arenas finas bien calibradas la biocenosis predominante. En las zonas más someras próximas a costa se ha detectado sustrato rocoso recubierto o no por *Posidonia oceanica*. La segunda biocenosis más abundante en la zona de estudio han sido las praderas de *Posidonea oceanica*, las cuales están presentes sobre sustratos blandos y duros. También se han detectado las biocenosis de roca infralitoral inferior en las zonas más someras próximas a costa y la biocenosis de fondos de Maërl en las zonas más profundas.

A partir de la cota -26 metros no se identifican praderas de *Posidonia oceanica*. Por tanto, sería adecuado que la salida de la PHD estuviese a partir de esta profundidad, una vez salvadas las praderas de *Posidonia oceanica* identificadas a menores profundidades.

A nivel ambiental, se considera viable llevar a cabo la técnica de la PHD ya que genera muchísimo menor impacto que la ejecución de zanjas a cielo abierto convencionales. El ámbito donde se prevé que tenga salida la PHD en el fondo marino es un fondo arenoso sin presencia de praderas de *Posidonea oceanica*.

5.5 SOBRE LA IMPLANTACIÓN DEL EQUIPO NECESARIO PARA EJECUTAR LA PHD

El inicio de la PHD se ejecuta desde el Carrer Lepanto. En dicha zona existe espacio suficiente para poder albergar la totalidad de equipos necesarios para realizar la PHD. La implantación de estos equipos tendrá afección sobre viales urbanos residenciales y se generarán interferencias vecinales.

El tramo de tubería a fondear deberá soldarse en tierra. Ello implica que se debe disponer de un recorrido de distancia igual al necesario para poder ir albergando la tubería hasta llegado el momento de la botadura. Al respecto se pueden proponer diferentes escenarios:

- Escenario 1: la totalidad de la tubería (1408 m) se suelda en zona terrestre y se deja acopiada hasta el momento de su botadura.
- Escenario 2: la tubería se ejecuta en dos tramos de (704 m cada uno) se suelda en zona terrestre y se deja acopiada hasta el momento de su botadura.
- Escenario 3: la totalidad de la tubería (1408 m) se suelda y se reserva en lámina de agua protegida (interior del puerto)
- Escenario 4: la tubería se ejecuta en dos tramos de (704 m cada uno) se suelda y se reserva en lámina de agua protegida (interior del puerto).
- Escenario 5: la totalidad de la tubería (1408 m) se suelda en otra instalación portuaria y se transporta hasta el punto de hundimiento.

La decisión del escenario más adecuado no condiciona la viabilidad de la ejecución de la PHD. Por tanto, se evaluará con mayor grado de detalle en el estudio de definición constructiva de la PHD.

Tras este análisis, desde el punto de vista de la logística, es viable llevar a cabo la técnica de la PHD.

Estas consideraciones permiten pensar en la viabilidad de la técnica de la PHD en el presente proyecto y, por ende, se propone como proceso constructivo para ejecutar el tramo de transición entre la zona terrestre y la marina del futuro emisario de la EDAR de Maó-es Castell.

En un segundo informe se diseñará el alcance de dicha técnica, estudiando con más detalle los siguientes puntos:

- Emplazamiento y zonas auxiliares de obra
- Punto de salida al fondo marino
- Trazado en planta y perfil longitudinal
- Diámetro de la perforación
- Tipo de tubería a instalar
- Equipo de perforación a emplear

6. PROPUESTA DE TRAZADO EN PLANTA Y ALZADO

El trazado propuesto en planta y alzado para la PHD es el presentado en los planos que acompañan al presente informe.

Las características de la PHD se han determinado a partir de los siguientes datos aportados por ABAQUA:

- Caudal de cálculo: 1200 m³/h
- Caudal de cálculo incorporando el aliviadero: 1700 m³/h

Ello supone que el diámetro de la tubería a introducir en la perforación será:

- Diámetro de la tubería a instalar: 450 mm (560 mm incorporando el caudal del aliviadero)

El resto de características de la PHD serán:

- Longitud estimada de la PHD: 1.408 metros
- Cota de inicio de la PHD: + 14,5
- Cota de salida de la PHD en el fondo marino: entre la -26 y -30.

7. RESUMEN Y CONCLUSIONES

Tras el análisis completo de las campañas de campo realizadas se considera que existe viabilidad para llevar a cabo la técnica de la PHD siempre y cuando se cumplan y garanticen una serie de requisitos que deberán quedar reflejados en el proyecto constructivo correspondiente, que son:

- Que se encamise la perforación o se ejecute la perforación mediante el sistema de doble varillaje que permita la sincronía entre la introducción de la tubería y el escariado final de la perforación.
- Que la gestión de residuos de la perforación se lleve a cabo desde el lado mar.
- Que se lleven a cabo campañas de vigilancia ambiental adecuadas.
- Que la salida de la PHD en el fondo marino no quede dentro de la bocana del puerto.
- Que la disposición de la tubería fondeada durante el proceso de colocación de la tubería en el interior de la perforación deje un paso libre de al menos 175 metros para que las embarcaciones puedan acceder y salir del puerto.
- Que el trazado del tramo apoyado en el fondo marino discurra en la línea que separa el canal de navegación de entrada-salida al puerto y la zona sur de espera de embarcaciones.
- Que la PHD discurra en ámbito terrestre al menos a 5 metros de profundidad en la parcela privada de manera que se garantice que no hay afectación arqueológica.
- Que se cierre al fondeo de embarcaciones una zona localizada de la zona II de espera sur del Puerto de Maó-es Castell durante los trabajos de botadura y colocación de la tubería.
- Que la botadura y colocación de la tubería en el interior de la PHD se lleve a cabo entre los meses de mayo y junio por ser estadísticamente meses de bajos valores de oleajes registrados y, además tener el puerto un menor tráfico de embarcaciones que en los meses de julio y agosto.
- Que la botadura de la tubería a introducir en la perforación se realice en 2 tramos, de manera que ambos tramos puedan quedar fondeadas en aguas portuarias abrigadas y que la unión entre ambos tramos se



lleve a cabo sobre una plataforma flotante o embarcación adecuada para tal fin en el momento de transportar la tubería hasta el punto de hundimiento de la misma.

8. DOCUMENTOS QUE FORMAN EL ESTUDIO DE VIABILIDAD

El estudio de viabilidad objeto del estudio está formado por el presente INFORME FINAL DEL ESTUDIO PREVIO DE LA PHD, así como por los siguientes Anejos:

Anejo nº 1.- Levantamiento topográfico

Anejo nº 2.- Estudio geofísico mediante tomografía eléctrica para caracterización del subsuelo terrestre y marino

Anejo nº 3.- Prospección de georradar

Anejo nº 4.- Informe geotécnico. Estratigrafía y caracterización geotécnica

Anejo nº 5.- Informe de resultados de prospección marina

Anejo nº 6.- Informe arqueológico

Anejo nº 7.- Planos



El equipo redactor:

Eivissa, en la fecha de la firma electrónica

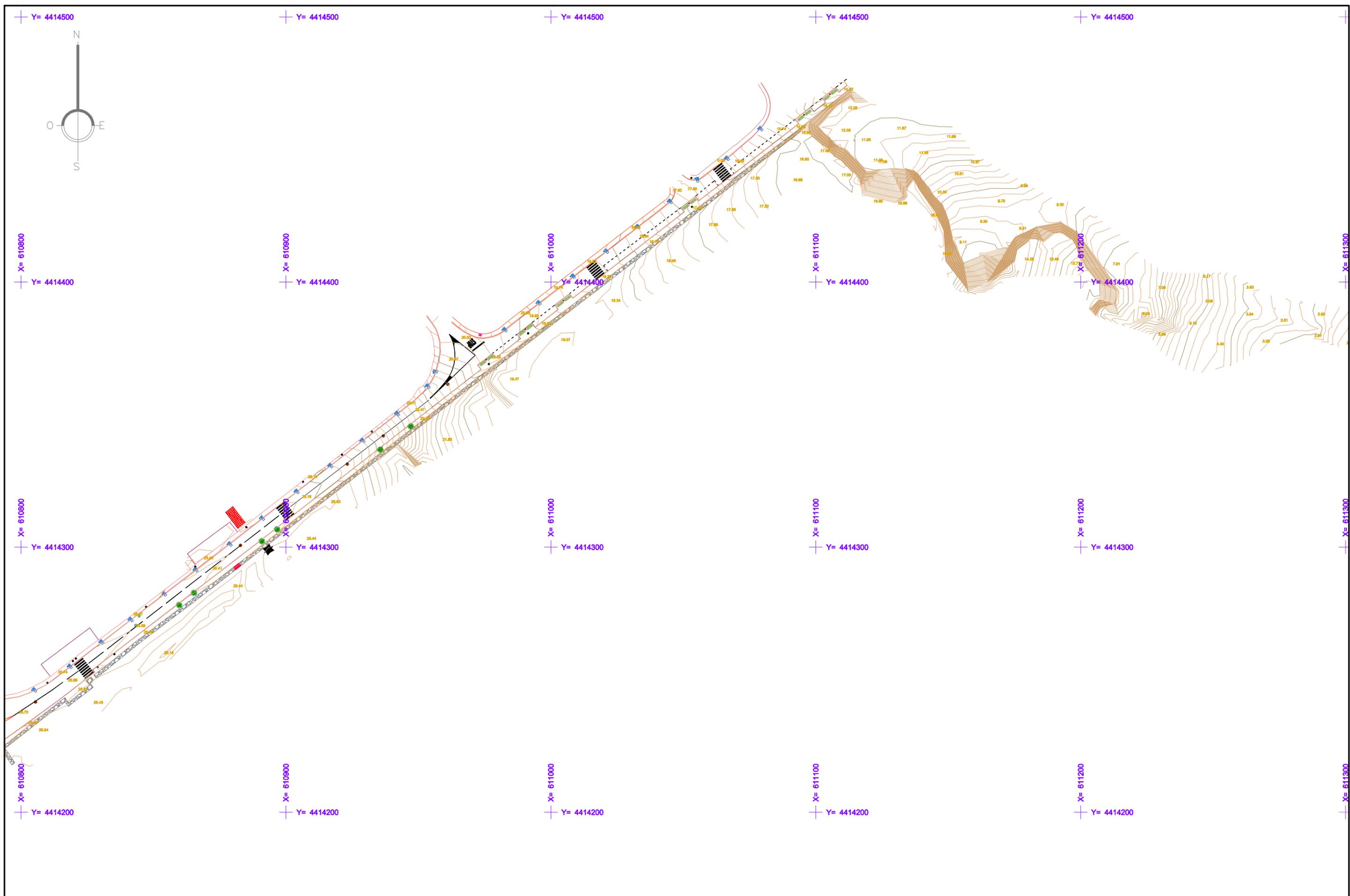
Roger Torregrosa Llorens

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Nº Colegiado: 32.091



ANEJO 1 – LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO



Y= 4414500 Y= 4414500 Y= 4414500 Y= 4414500 Y= 4414500

X= 610800 X= 610900 X= 611000 X= 611100 X= 611200

Y= 4414400 Y= 4414400 Y= 4414400 Y= 4414400 Y= 4414400

X= 610800 X= 611000 X= 611100 X= 611200

Y= 4414300 Y= 4414300 Y= 4414300 Y= 4414300

X= 610800 X= 610900 X= 611000 X= 611100 X= 611200

Y= 4414200 Y= 4414200 Y= 4414200 Y= 4414200 Y= 4414200

	Autor: Yolanda Cabanillas Trejo Ingeniero Técnico en Topografía Colegiado nº 3.934 Telf: +34 670 265 777 - ycabanillas@ictsurvey.eu	Firma:	Ciente: GRADUAL INGENIEROS S.L.	Proyecto: TOPOGRÁFICO TRAZADO EMISARIO DE MAHÓN	Sistema de Coordenadas: Proyección: UTM - 31N Datum: ETRS89 + EGM08-REDNAP	Escala: 1/1.250 <small>Original DIN A-3</small>	Fecha: 20-01-2023 Revisión: 1	Título del Plano: ESTADO ACTUAL	Plano nº: 1 <hr/> Hoja 1 de 1

**ANEJO 2 – ESTUDIO GEOFÍSICO MEDIANTE TOMOGRAFÍA
ELÉCTRICA PARA CARACTERIZACIÓN DEL SUBSUELO
TERRESTRE Y MARINO**

ESTUDIO GEOFÍSICO MEDIANTE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA 2D Y TOMOGRAFÍA MARINA 2D (ERT2D), PARA CARACTERIZACIÓN RESISTIVA DEL SUBSUELO A LO LARGO DE TRAZADO DE PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA PARA EMISARIO SUBMARINO EN MENORCA (ILLES BALEARS).

Peticionario: GRADUAL INGENIEROS

Geozone Asesores, S.L.

Inscrita en el Reg. Merc. De Valencia,

Tomo 8777, Libro 6063, Hoja

V-125194, Inscrip. 1ª del 12-11-07.

C.I.F. B-97.95.11.98

INDICE

1.	Antecedentes y objeto de estudio	1
2.	Fundamento del método empleado	2
2.1.	Método eléctrico	2
2.1.1.	Método general de cuatro electrodos.....	2
2.1.2.	Configuraciones especiales	3
2.1.3.	Tomografías Eléctricas	5
3.	Campaña de campo	7
3.1.	Equipos empleados	7
3.1.1.	Resistivímetro SYSCAL IRIS PRO SWITCH 48 canales.	7
4.	Resultados e interpretación	11
4.1.	Resultados e interpretación tomografía eléctrica terrestre (ERT2D-T).....	12
4.2.	Resultados e interpretación tomografía eléctrica marina (ERT2D-M)	13
5.	Conclusiones	14
6.	Bibliografía	17
7.	Anexo I: Plano de ubicación de ensayos.....	18
8.	Anexo II: Resultados Tomografía Eléctrica.	19
9.	Anexo III: Plano de anomalías en planta.	20
10.	Anexo V: Reportaje Fotográfico.....	21

1. Antecedentes y objeto de estudio

En Enero de 2023 la empresa GRADUAL INGENIEROS S.L. solicita a GEOZONE ASESORES S.L., la realización de un estudio geofísico, aplicando la técnica de tomografía eléctrica 2D en trazado de perforación horizontal dirigida (PDH) para emisario submarino.

El trazado proyectado en PDH para emisario submarino, consta de una parte en ámbito terrestre, y una segunda parte correspondiente al ámbito marino. El emisario submarino proyectado se encuentra en su inicio en el municipio de Villacarlos, al norte de la Pedrera de marés en Sol del Este, iniciando el tramo marino en Es Pouet, y extendiéndose paralelo a costa en dirección sureste, llegando el tramo final de estudio a las proximidades del Faro de Mahón.

El presente estudio tiene como objeto la caracterización resistiva del subsuelo, obteniendo la distribución y extensión de las capas resistivas, asociando estas a materiales en función del patrón, disposición resistiva e información geológica de la zona, permitiendo el estudio en la traza del emisario proyectado en la ejecución de la perforación horizontal dirigida, diferenciando aquellos materiales de mejor compacidad, así como la existencia de posibles oquedades.

La zona de estudio se ubica en la zona de costa paralelo al municipio de Villacarlos, perteneciente a la isla de Menorca (Illes Balears).

Situación de la zona de estudio:

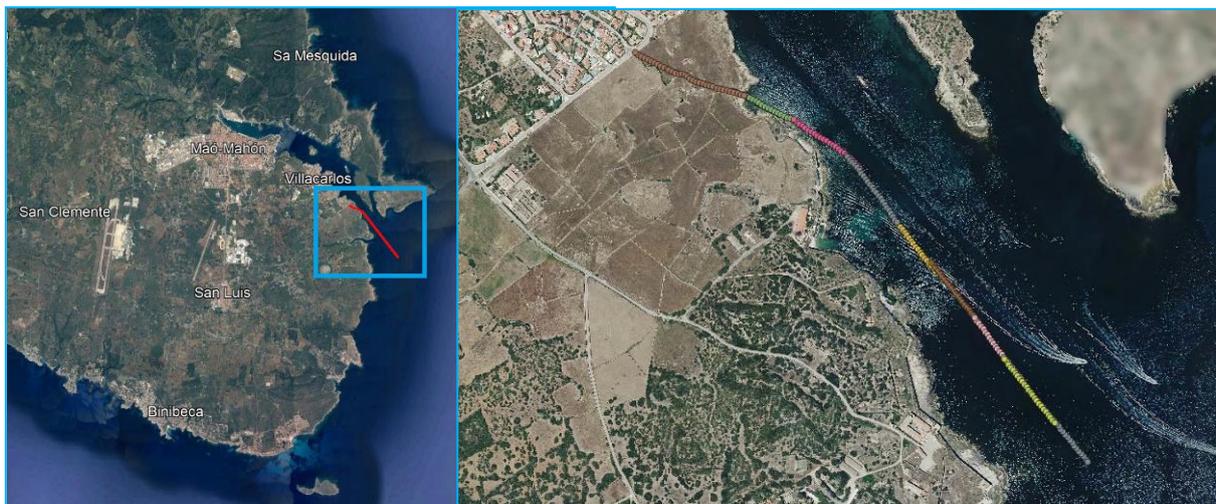


Figura 1: Imagen satelital ubicación y emplazamiento zona de estudio (Google Earth).

2. Fundamento del método empleado

2.1. Método eléctrico

La distribución de la corriente eléctrica en el subsuelo se distribuye de manera que la corriente fluye desde el electrodo fuente (A), el cual inyecta la electricidad al terreno, hacia el electrodo que actúa como un sumidero (B), en el cual la corriente fluye fuera del terreno. Las líneas de corriente (líneas en color azul en el esquema inferior) fluyen radialmente desde ambos electrodos, con sentido de A a B (ver figura inferior).

La línea equipotencial (líneas en rojo) hace referencia a la fracción de corriente que pasa por encima de cada línea.

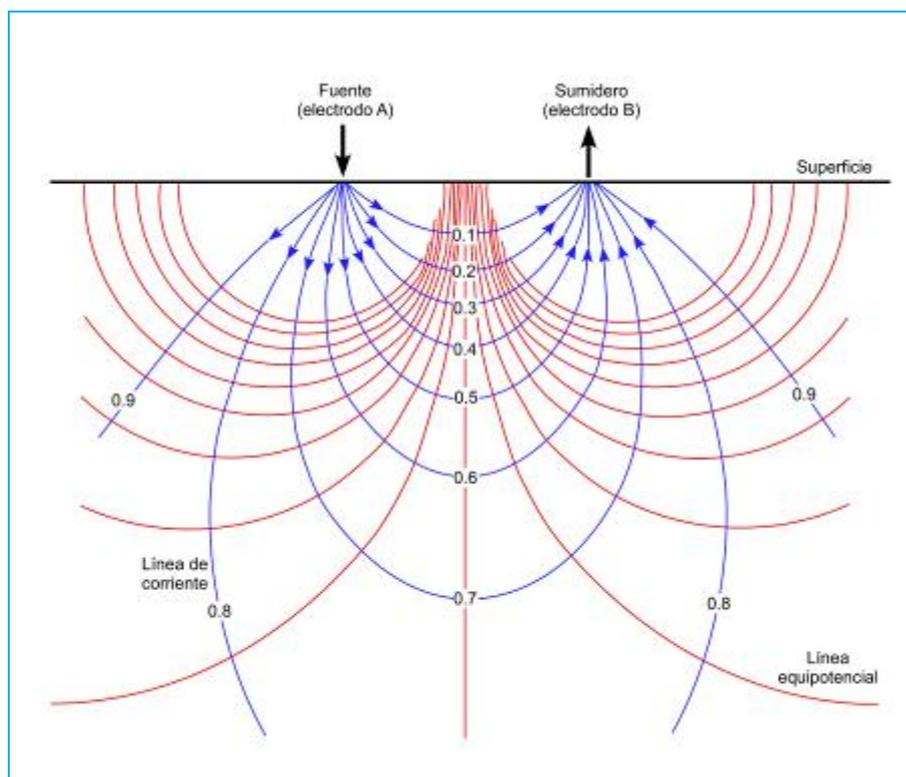


Figura 2: Esquema general de superficies equipotenciales y líneas de corriente (modificado de Lowrie, 1997).

2.1.1. Método general de cuatro electrodos

Se considera una distribución de cuatro electrodos, dos de corriente (A y B) y dos de potencial (C y D) (ver Figura 2). Los electrodos de corriente actúan como electrodo fuente A y electrodo de sumidero B, como hemos visto en el apartado 2.1.

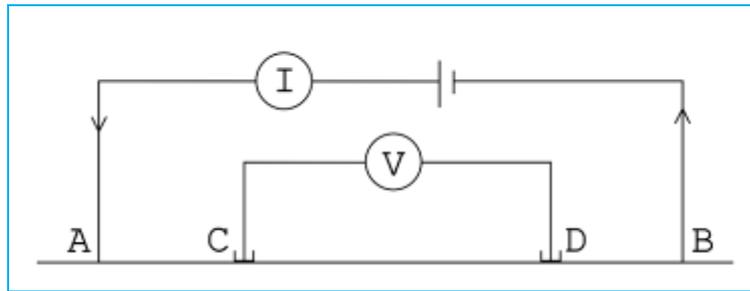


Figura 3: Esquema que muestra una disposición tetraelectrónica básica.

En el electrodo detector de corriente C el potencial debido a la fuente A es: $+ \rho I / (2\pi r_{AC})$, mientras que el potencial debido al sumidero B es: $- \rho I / (2\pi r_{BC})$. Siendo ρ la resistividad, I la intensidad de corriente, r_{AC} la distancia entre electrodos AC y r_{CB} la distancia entre electrodos CB. El potencial (U) combinado en C es:

$$U_c = \rho I / 2\pi (1/r_{AC} - 1/r_{CB})$$

De manera similar en el caso del potencial (U) en D es:

$$U_c = \rho I / 2\pi (1/r_{AD} - 1/r_{DB})$$

Por tanto, la diferencia de potencial V medida por un voltímetro conectado entre C y D es:

$$V = \rho I / 2\pi [1/(1/r_{AC} - 1/r_{CB}) - (1/r_{AD} - 1/r_{DB})]$$

2.1.2. Configuraciones especiales

Las tres configuraciones más comunes son la Wenner, Schlumberger y dipolo-dipolo. En estas tres configuraciones los electrodos se disponen de manera colineal, pero sus espaciados y geometrías son diferentes.

2.1.2.1. Wenner

Los pares de electrodos de corriente y de potencial tienen un punto medio común. Las distancias entre los electrodos adyacentes son iguales, siendo $r_{AC} = r_{DB} = a$; $r_{CB} = r_{AD} = 2a$.

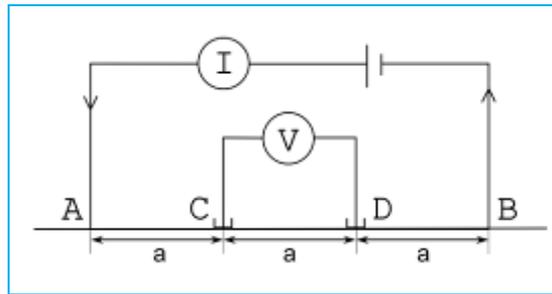


Figura 4: Esquema que muestra una disposición de los electrodos en una configuración Wenner

La fórmula de la resistividad para este tipo de arreglo es:

$$\rho = 2\pi a V/I$$

Esta configuración se adapta mejor a investigaciones orientadas a determinar variaciones horizontales de resistividad. Ejemplos de uso: para localizar contactos entre capas con buzamientos de gran ángulo y buenos conductores, tales como diques mineralizados, que podrían ser menas metálicas.

2.1.2.2. Schlumberger

En esta configuración los pares de electrodos de corriente y de potencial también tienen un punto medio común, pero las distancias entre los electrodos adyacentes difieren. Si la distancia entre electrodos de corriente es L, y entre los electrodos de potencial es a :

$$r_{AC} = r_{DB} = (L - a)/2 ; \quad r_{AD} = r_{CB} = (L + a)/2$$

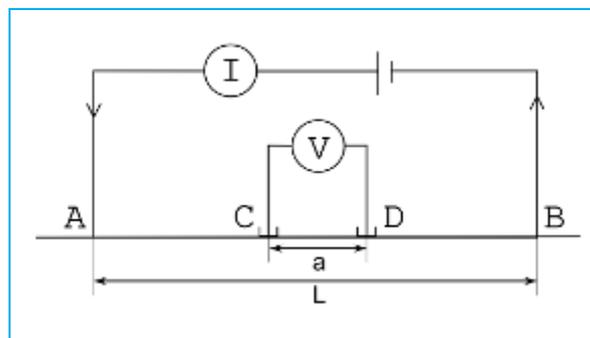


Figura 5: Esquema que muestra una disposición de los electrodos en una configuración Schlumberger

La fórmula de la resistividad para esta configuración es:

$$\rho = \pi/4 V/I (L^2 - a^2/a)$$

Esta configuración se utiliza para determinar la variación de la resistividad con la profundidad, estando mejor adaptada a la determinación de capas horizontales, como capas sedimentarias; o a la localización del nivel freático.

2.1.2.3. Dipolo-dipolo

El espaciado de los electrodos en cada par es a , mientras que la distancia de su punto medio es L . En este caso $r_{AC} = r_{DB} = L$; $r_{CB} = L - a$; $r_{AD} = L + a$.

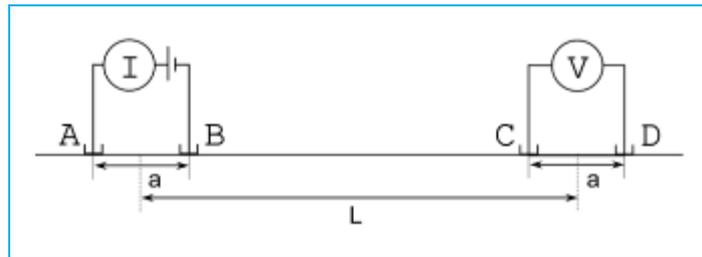


Figura 6: Esquema que muestra una disposición de los electrodos en una configuración Dipolo-Dipolo.

La fórmula de la resistividad para esta configuración es:

$$\rho = \pi V/I (L(L^2 - a^2)/a^2)$$

Esta configuración está mejor adaptada a la localización de cavidades en el terreno.

2.1.2.4. Wenner-Schlumberger

Es una configuración combinada entre las configuraciones Wenner y Schlumberger. Es la configuración más utilizada para investigaciones del subsuelo, para determinación y localización de contactos entre capas con diferente resistividad.

2.1.3. Tomografías Eléctricas

La tomografía eléctrica es una técnica comúnmente utilizada en Europa y Estados Unidos para la caracterización, detección y delimitación de cavidades. A su vez, permite la caracterización de recursos mineros midiendo las diferencias entre las resistividades de los materiales atravesados. Las resistividades obtenidas nos indican qué tipo de materiales se han ensayado, pudiendo formular un modelo aproximado del sustrato.

Se trata de un método de prospección eléctrico, es decir, basado en la medición de resistividades aparentes de los materiales del subsuelo. Se emplea un número de electrodos que permiten hacer mediciones simultáneas a lo largo de un perfil, aumentando la eficiencia y rendimiento del proceso de medida.

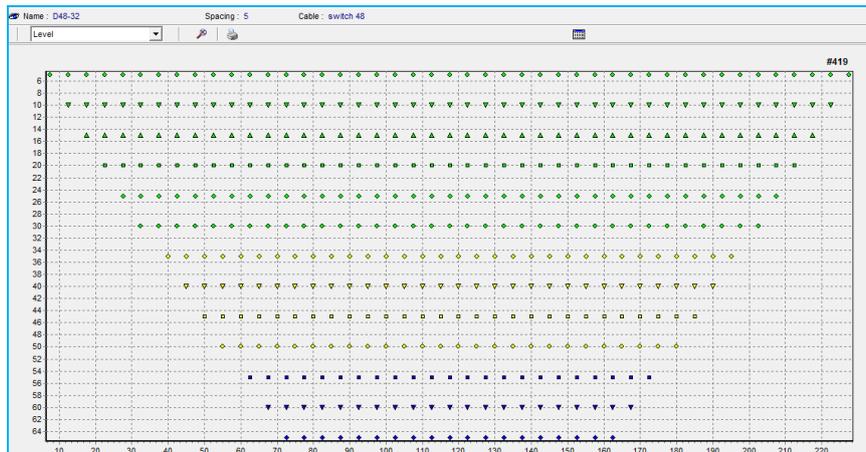


Figura 7: Ejemplo de configuración utilizada para la creación de una pseudo-sección eléctrica.

El aumento progresivo de la separación de los electrodos conlleva una medición de resistividad aparente a mayor profundidad. La realización de mediciones con distintas separaciones de los electrodos permite obtener una pseudo-sección, reflejando la calidad de la variación espacial de la resistividad aparente de un perfil.

3. Campaña de campo

La adquisición de los datos en campo fue llevada a cabo los días 11, 12 y 13 de Enero de 2023.

El trabajo de campo consistió en la realización de un tramo de Tomografía Eléctrica Terrestre, este tramo del trazado ha sido cubierto por 2 perfiles solapados, empleando una configuración Wenner – Schlumberger y Dipolo-dipolo de alta resolución con 24 electrodos y una separación entre electrodos de 7 metros, conformando una longitud total de 234,50 metros.

El tramo de Tomografía Eléctrica Marina, ha sido cubierto mediante 8 perfiles, el primero de ellos se superpone con el tramo de tomografía terrestre, solapándose a su vez entre ellos para no obtener discontinuidades resistivas a lo largo de todo el perfil.

El tramo marino tiene una longitud de 1030,45 metros.

La configuración Wenner - Schlumberger es adecuada para caracterizar zonas de contacto litológico y cambios laterales, además de presentar estabilidad en la adquisición de medidas, siendo la Dipolo – dipolo, adecuada para la caracterización de cambios laterales y verticales en medios estables.

3.1. Equipos empleados

3.1.1. Resistímetro SYSCAL IRIS PRO SWITCH 48 canales.

El equipo utilizado para los ensayos eléctricos mediante perfiles de tomografía eléctrica es el resistímetro SYSCAL IRIS PRO SWITCH de 48 canales, con número de serie 10513-3837281673-230. Los resistímetros funcionan emitiendo electricidad por los electrodos de corriente, y reciben el paso de la misma por otros electrodos denominados de potencial. La diferencia del paso de corriente y la distancia entre los electrodos determinan la resistividad aparente del terreno, realizando tomas de datos a diferentes profundidades.



Figura 8: Resistivímetro SYSCAL IRIS PRO SWITCH 48.

En el procesado de la tomografía marina es necesario el conocimiento de la lámina de agua sobre el cable marino sumergido mediante la batimetría, además de la conductividad de dicha lámina de agua para considerarla en el procesado.

La conductividad en un fluido está condicionada por diversos factores, a remarcar entre estos la temperatura y el contenido en minerales de un volumen acuoso (ppm). La cantidad de electrolitos facilita el paso de la corriente por un medio fluido, aumentando la conductividad, y por tanto reduciendo la resistencia al paso de los iones. El equipo realiza una compensación de la conductividad por la temperatura. El equipo empleado es un medidor PCE-PHD 1.



Tabla 1: Resistividad agua salina.

Conductividad zona B	55.4	mSm/cm
Temperatura °C	17.7	°C
Resistividad agua marina (inversa de conductividad)	0.18	Ohms.m

La resistividad considerada en la lámina de agua salina y tenida en cuenta para el procesado de los ensayos eléctricos ha sido de 0,18 Ohm.m.

Las coordenadas de los electrodos del cable marino se obtuvieron con un GPS de mano marca Garmin, con resolución +/- 3 metros y sistema de coordenadas ETRS89 y Huso 31.

Posición de los perfiles de tomografía terrestre y marina en UTM ETRS89 tomado en campo:

Tabla 2: Coordenada inicial y final perfiles tomografía eléctrica.

Perfil	Xini	Yini	Zini	Xfinal	Yfinal	Zfinal
Tomografía Terrestre	611101.1	4414462.5	12.9	611242.3	4414398.6	5.9
	611166.1	4414428.4	9.6	611312.8	4414378.9	1.1
Tomografía Marina	611290.4	4414386.6	3.0	611431.3	4414313.5	-2.6
	611409.4	4414331.7	-2.0	611537.0	4414237.0	-5.2
	611513.2	4414258.5	-4.8	611609.7	4414130.8	-11.6
	611599.4	4414144.2	-10.9	611699.8	4414018.8	-16.4
	611677.6	4414052.5	-14.2	611775.6	4413927.1	-15.9
	611761.0	4413943.8	-11.8	611856.6	4413818.1	-21.1
	611819.7	4413862.6	-17.4	611917.6	4413738.3	-11.6
	611879.5	4413785.3	-13.3	611981.8	4413662.8	-18.2

La localización de los perfiles se puede consultar en el Anexo I: Plano de ubicación de ensayos.

En el Anexo I: Plano de ubicación de ensayos, adjunto a este informe, se muestra gráficamente la posición de la tomografía eléctrica marina realizada, teniendo en cuenta la disposición de esta y la batimetría correspondiente en el procesado de la tomografía. La batimetría a lo largo de los perfiles se ha realizado mediante la interpolación de las curvas de nivel con un incremento de cota de 1 metro, así como el modelo digital del terreno mdt02 de la zona terrestre.

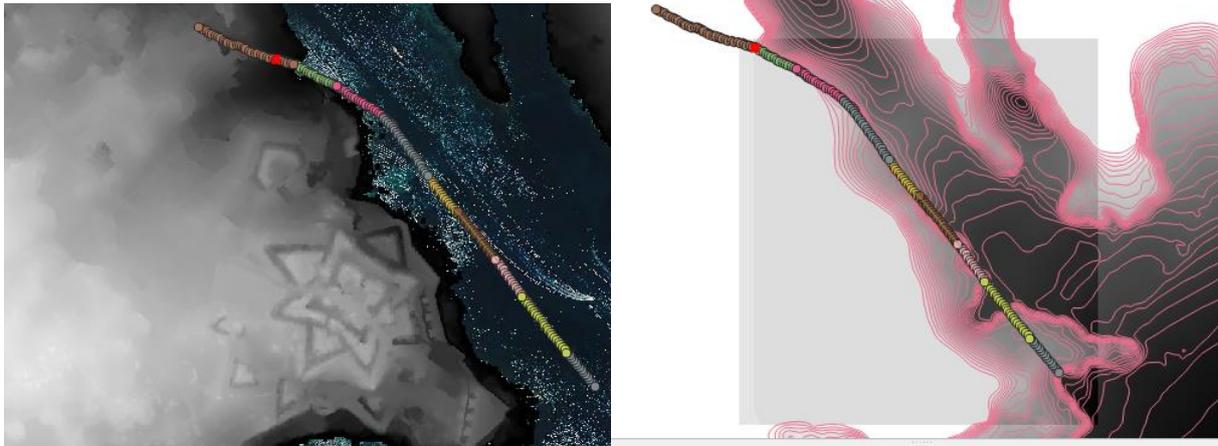


Figura 9: Obtención batimetría y topografía perfiles ert.

En lo que respecta a la disposición de los perfiles, estos se encuentran con orientación noroeste (inicio) – sureste (final), extendido a lo largo del trazado proyectado para el emisario.

La temperatura atmosférica fue de 12 °C, la cual se tuvo en cuenta para el procesado de los datos. Los datos de campo de la tomografía han sido corregidos mediante el software específico Prosys III. El postproceso de datos se realizó mediante el software RES2Dinvx64, que permite el procesado de perfiles terrestres y tomografía marina mediante la definición de la lámina de agua y las resistividades medias medidas del agua marina.

- La ubicación del perfil se muestra en el Anexo I: Plano de ubicación de ensayos.
- Los modelos de inversión de las tomografías marinas se presentan en el Anexo II: Resultados Tomografía Eléctrica.
- Las anomalías se presentan en planta en el Anexo III: Plano de anomalías en planta.

4. Resultados e interpretación

Atendiendo al Mapa geológico del IGME, correspondiente a la hoja nº 647 III, Maó, a escala 1:25.000, así como el sondeo facilitado por el cliente próximo a la zona de estudio, se tienen las siguientes unidades geológicas en la zona de estudio:

Materiales pertenecientes al Mioceno:

- 10. Conglomerados.
- 11. Calcarenitas, biocontrucciones y taludes arrecifales.

Dado que las resistividades de los materiales existentes se han obtenido en medios diferentes (terrestre y marino), la asociación de materiales no puede ser definida únicamente mediante el patrón resistivo propio de un material, por lo que ha de realizarse una descripción a partir de los valores resistivos con la consideración de la continuidad, disposición y extensión de las resistividades obtenidas.

Dicho lo anterior, se han definido los siguientes rangos asociados a materiales:

- Resistividades muy bajas inferiores a 0,5 Ohm.m (color azul oscuro), pueden corresponderse con sedimento no consolidado de grano fino a medio de baja compacidad saturado.
- Resistividades muy bajas comprendidas entre 0,5 – 2.5 Ohm.m (color azul), puede corresponderse con sedimento no consolidado de grano medio a grueso saturado de compacidad media.
- Resistividades bajas comprendidas entre 2.5 – 10 Ohm.m, (color azul verdoso, verde lima y verde oscuro), pueden corresponderse con sedimento no consolidado de grano grueso saturado, calcarenitas fracturadas y/o fondos de sedimento compacto.
- Resistividades medias comprendidas entre 10 – 1.500 Ohm.m (color verde claro, amarillo, marrón y rojo), pueden corresponderse con calcarenitas competentes.
- Resistividades altas superiores a 1.500 Ohm.m (color morado), pueden corresponderse con zonas oquerosas de menor compacidad.

Para la descripción del perfil de tomografía eléctrica ERT2D, tanto en ámbito terrestre como marino, se han procesado tanto de forma conjunta como disociada, generando un modelo para el perfil terrestre, y otro para el perfil marino. Lo anterior permite la obtención de mayor detalle en los perfiles obtenidos, así como una

disminución del contraste resistivo, que podría suavizar zonas de alta resistividad en la zona terrestre. Estos modelos se presentan en el Anexo II: Resultados Tomografía Eléctrica.

4.1. Resultados e interpretación tomografía eléctrica terrestre (**ERT2D-T**)

En el perfil de tomografía eléctrica emplazado en el ámbito terrestre, se han diferenciado las siguientes capas resistivas:

- Se tiene una capa extendida a lo largo de todo el perfil con resistividades comprendidas entre 10 – 1.500 Ohm.m, (color verde claro, amarillo, marrón y rojo), que pueden corresponderse con calcarenitas competentes. Esta capa resistiva se presenta a lo largo de todo el perfil y llegando a profundidad máxima de investigación. Dentro de este rango resistivo, se tiene una capa superficial con valores superiores a los 50 Ohm.m (color marrón y rojo), con un espesor superior a los 22 metros en el margen noroeste del perfil, disminuyendo en el avance del perfil a 2,80 metros en el metro 225 del perfil. Y un segundo rango resistivo bajo este, con valores comprendidos entre 10 – 50 Ohm.m (color verde y amarillo), que podrían corresponderse con calcarenitas con la influencia del nivel freático.
- Inmersa en esta primera capa resistiva, se han determinado dos nódulos de alta resistividad con valores superiores a los 1.500 Ohm.m (color morado), que podrían corresponderse con zonas oquerosas y/o cavidades. 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.
- Finalmente, se tiene un tercer rango resistivo diferenciado con valores de resistividad bajos comprendidos entre 2,5 – 10 Ohm.m, (color azul verdoso, verde lima y verde oscuro), que pueden corresponderse con sedimento no consolidado de grano grueso saturado y/o calcarenitas fracturadas, pudiendo corresponderse a la intrusión marina en medios con mayor porosidad. Este rango se tiene a partir del metro 149, presentándose se forma más somera conforme se acerca a línea de costa.
- Se ha alcanzado una profundidad máxima de investigación de 36 metros.

4.2. Resultados e interpretación tomografía eléctrica marina (ERT2D-M)

En el perfil de tomografía eléctrica ubicado en ámbito marino, se han determinado las siguientes capas resistivas asociadas a materiales:

- De forma general, se tiene una primera capa definida, la cual se presenta en mayor extensión, con resistividades comprendidas entre 10 – 1.500 Ohm.m, (color verde claro, amarillo, marrón y rojo), y que pueden corresponderse con calcarenitas competentes. Estas se presentan desde el metro 466,75 a longitud máxima del perfil, de forma continua sin presentarse la inmersión de nódulos de baja resistividad. Se tiene aflorante en el lecho marino en gran parte del perfil, alcanzando profundidades máximas de investigación.
- Se ha diferenciado una segunda capa de resistividades bajas, con valores inferiores a los 10 Ohm.m (colores azules y verdes), este rango resistivo puede estar asociado con sedimento no consolidado de grano fino, medio a grueso, incrementándose los valores resistivos en función del tamaño de grano y la compacidad existente. Estas zonas resistivas se presentan sobre la capa anterior aflorando en superficie. Presentando una primera zona entre el metro 587,45 al 684,65 con un espesor máximo de 6,15 metros, una segunda zona entre el metro 852 al 897,50 con un espesor máximo de 5,40 metros, una tercera zona entre el metro 945 al 1022 con un espesor de 9,30 metros, una cuarta zona entre el metro 1050 al 1122,50 con un espesor de 17 metros y finalmente, una quinta zona a partir del metro 1197,50 con un espesor de 6,80 metros.
- Este rango resistivo se presenta en el inicio del perfil, en la interfaz terrestre-marina, correspondiente entre el metro 231,15 al 457 del perfil, con valores resistivos inferiores a los 10 Ohm.m (colores azules y verdes), caracterizando estas resistivas como sedimentos de grano fino saturado para el caso de resistividades inferiores a 0,5 Ohm.m (color azul oscuro), aflorantes en superficie con espesores comprendidos entre 4-11 metros. Bajo esta se tiene un incremento resistivo a valores comprendidos entre 0,5 – 2,5 Ohm.m (color azul claro), que podría ser indicativo de un aumento de grano o compacidad, pudiendo corresponderse con sedimento no consolidado de grano medio a grueso con compacidad media. Este se tiene con un espesor variable de 12 – 20 metros.
- Finalmente, se presenta un incremento resistivo relativo bajo la anterior capa, con valores comprendidos entre 2,5 – 10 Ohm.m (color azul verdoso, verde lima y verde oscuro), que podrían corresponderse con sedimento no consolidado de grano grueso saturado, calcarenitas fracturadas y/o fondos de sedimento compacto. Esta capa resistiva presenta un gradiente resistivo alto

respecto a la primera capa de resistividades más elevadas asociables con las calcarenitas. Este cambio resistivo, atendiendo a la disposición y gradiente, podría estar asociado con la presencia de una zona fracturada, presentando una discontinuidad resistiva. Atendiendo al plano resistivo generado, se ha obtenido un buzamiento aparente de 32,43° en dirección noroeste, sin ser definible de forma fidedigna con los ensayos realizados.

- Se ha alcanzado una profundidad máxima de investigación de 33 metros.
-

5. Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos en los perfiles de tomografía eléctrica terrestre y marina cabe resaltar las siguientes conclusiones:

- La asociación de resistividades a materiales ha sido realizada considerando la información geológica de la zona, así como la información geotécnica facilitada por el cliente, la continuidad, extensión y disposición resistiva, así como el gradiente resistivo existente, diferenciando los siguientes rangos resistivos:
 - Resistividades muy bajas inferiores a 0,5 Ohm.m (color azul oscuro), asociadas con sedimento no consolidado de grano fino a medio de baja compacidad, saturado.
 - Resistividades muy bajas comprendidas entre 0,5 – 2.5 Ohm.m (color azul), asociado con sedimento no consolidado de grano medio a grueso saturado de compacidad media.
 - Resistividades bajas comprendidas entre 2.5 – 10 Ohm.m, (color azul verdoso, verde lima y verde oscuro), asociadas con sedimento no consolidado de grano grueso saturado, calcarenitas fracturadas y/o fondos de sedimento compacto.
 - Resistividades medias comprendidas entre 10 – 1.500 Ohm.m (color verde claro, amarillo, marrón y rojo), asociadas con calcarenitas competentes.
 - Resistividades altas superiores a 1.500 Ohm.m (color morado), pueden asociarse con zonas oquerosas de menor compacidad.
- Las resistividades asociadas a materiales presentan un rango de resistividades amplio al encontrarse una interfaz terrestre/ marina, en las que

materiales con mayor porosidad, presentan un mayor grado de saturación, y por tanto una disminución en el rango resistivo.

- En lo que respecta a la tomografía ubicada en la zona terrestre, se tiene una capa de resistividades continua con valores superiores a los 50 Ohm.m (color marrón y rojo), asociado con calcarenitas con un menor grado de saturación, presentándose con un espesor variable, siendo superior en el inicio del perfil, y disminuyendo con el avance de este, estando influenciado por el nivel freático, con espesores variables de 22 en el inicio del perfil y 2,80 en el final de este. Bajo esta, se presenta una disminución resistiva a valores comprendidos entre 10 – 50 Ohm.m (color verde y amarillo), este descenso resistivo esta condicionado por la influencia del nivel freático. Finalmente se han determinado dos zonas de alta resistividad con valores superiores a los 1.500 Ohm.m (color morado), que pueden corresponderse con zonas oquerosas y/o cavidades, siendo la primera de menor entidad, con profundidades de afección comprendidas entre el metro 4,80 al 6,65 y una segunda zona de mayor entidad, a una profundidad comprendida entre el metro 4,75 al 9.
- En lo que respecta a la tomografía eléctrica en ámbito marino, se presenta de forma generalizada, resistividades comprendidas entre 10 – 1.500 Ohm.m, asociado con calcarenitas compactas, con disposición masiva, no se identifica la intercalación de nódulos de baja resistividad indicativos de posibles cavidades con un alto grado de saturación, para el caso de cavidades embebidas, o nódulos de alta resistividad, indicativos de zonas oquerosas o cavidades rellenas de aire. Sobre este rango resistivo se tienen zonas de muy baja resistividad ubicadas de forma puntual, aflorantes en superficie, estas bajas resistividades no se caracterizan por condicionar la perforación horizontal dada la profundidad de afección.
- Se tiene entre el metro 231,15 al 457 del perfil, una reducción resistiva a valores inferiores de 10 Ohm.m, pudiendo corresponderse a materiales con mayor porosidad, tales como sedimento no consolidado y/o calcarenitas con mayor grado de fracturación, siendo inferiores los valores resistivos en función del tamaño y compacidad. Este rango resistivo se extiende en profundidad entre el metro 283,50 al 410, generando un alto gradiente y formando un plano resistivo que podría corresponderse con una zona de fractura.
- En lo que respecta a la perforación horizontal dirigida, no se presentan anomalías de muy baja resistividad inmersas en rangos resistivos de alta resistividad, implicando la presencia de cavidades saturadas, ocasionando un

riesgo en la ejecución de la perforación. Esta tipología de anomalía de baja resistividad no se presenta a lo largo de la traza del emisario proyectada.

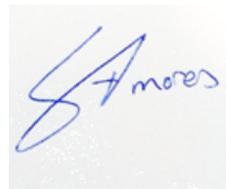
- Se debe considerar la zona de baja resistividad ubicada entre el metro 231,15 al 457 del perfil, dado que este podría estar asociado con la presencia de materiales conglomerados y/o calcarenitas con un mayor grado de fracturación.
- Los métodos geofísicos son métodos no intrusivos y por tanto indirectos. Son una herramienta de apoyo que permite dar una orientación de la estructuración del subsuelo. Dichos métodos se rigen aplicando leyes físicas empíricas a entornos complejos. De dicha aplicación se obtienen modelos aproximados de la realidad, en los cuales siempre existe un error, imponderable, de aproximación. La experiencia en aplicaciones geofísicas a nivel mundial señala que dicho error es bajo a muy bajo, aunque variable en función de multitud de parámetros, entre ellos, la densidad de datos tomados, tal y como sucede en cualquier modelización matemática.

Bétera, 23 de Enero de 2023.



JOSÉ ANTONIO ÁLVAREZ MUÑOZ

Licenciado en Geografía Física
Especialista en Geofísica.
Col. Nº 3022



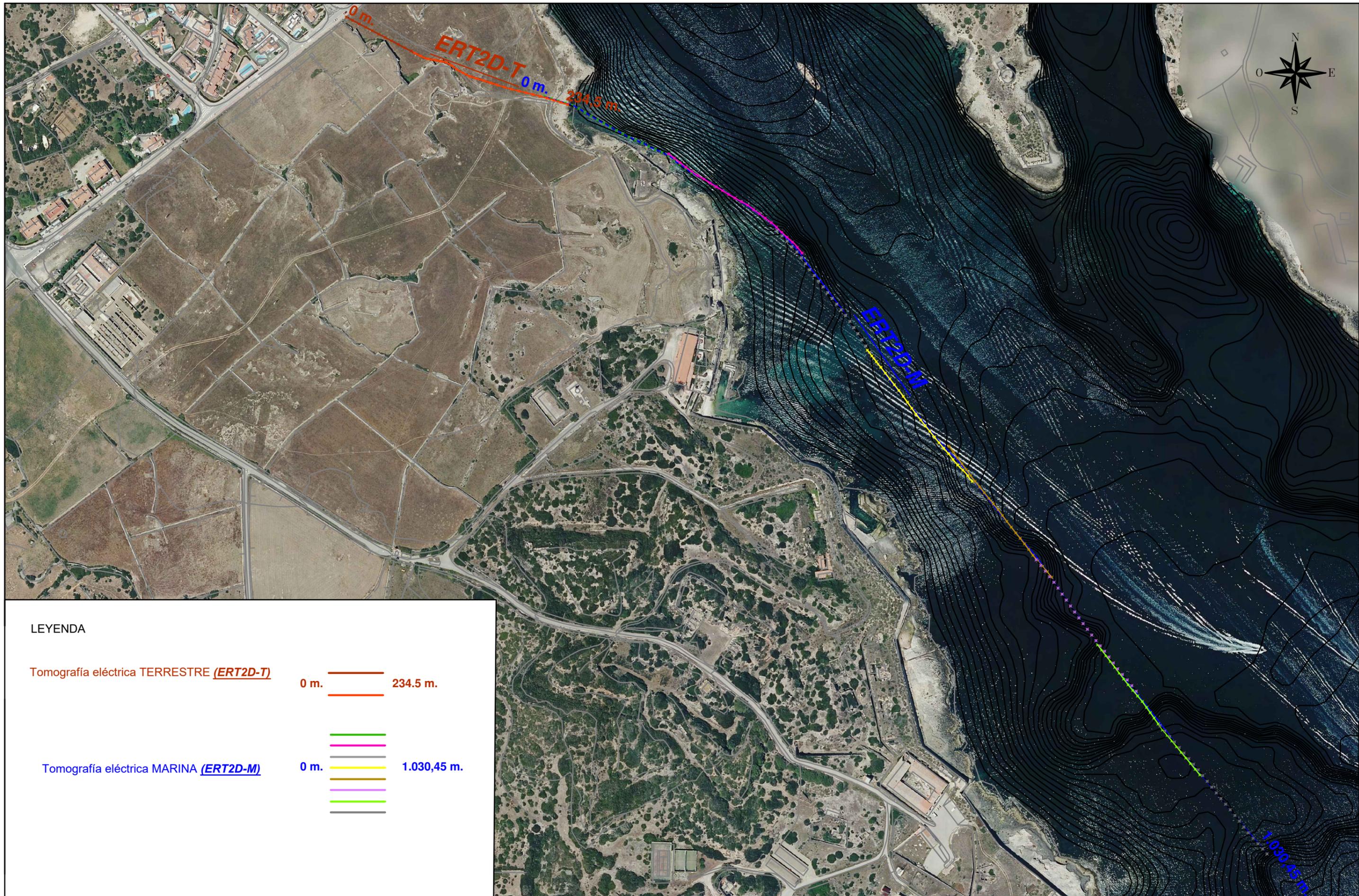
SERGIO AMORES SANCHEZ

Ing. Geólogo
Especialista en Geofísica.

6. Bibliografía

- Telford, W.N, L.P. Geldart, R.E. Sheriff. “Applied Geophysics”. Second Edition. Cambridge University Press.
- D6429 Guide for Selection Surface Geophysical Methods.
- G57 Test Method for Field Measurement of Soil Resistivity Using the Wenner Four-Electrode Method.
- ASTM D6431-99 Standard Guide for using the direct current resistivity method for Subsurface Investigation.
- ASTM D7128-05 Standard Guide for Using the Seismic-Reflection Method for Shallow Surface Investigation.
- ASTM D577-00 Standard Guide for Using the Seismic Refraction Method for Surface Investigation.
- Pazdirek, O. and Blaha, V., 1996. Examples of resistivity imaging using ME-100 resistivity field acquisition system. EAGE 58th Conference and Technical Exhibition Extended Abstracts. Amsterdam.
- EAGE Publications, 2014. Application Manual of Geophysical Methods to Engineering and Environmental Problems.

7. Anexo I: Plano de ubicación de ensayos



LEYENDA

Tomografía eléctrica TERRESTRE (ERT2D-T)

0 m. ——— 234.5 m.

Tomografía eléctrica MARINA (ERT2D-M)

0 m. ——— 1.030,45 m.

COMPANÍA CONSULTORA:



C/2 Nova 32-9 Pol. Horto Vella
46117 BÉTERA, VALENCIA, Tel. 961 82 16 16 - www.geozone.es

COMPANÍA PETICIONARIA:

GRADUAL INGENIEROS

AUTORES DEL PROYECTO:

TÉCNICOS GEOFÍSICA:

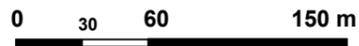
JOSÉ ANTONIO ÁLVAREZ
(Lic. Geografía)
SERGIO AMORES SÁNCHEZ
(Ing. geólogo)

DELINEANTE:

SERGIO AMORES SÁNCHEZ
(Ing. geólogo)

ESCALA:

Escala 1:3.200 (A3)



TÍTULO DEL PROYECTO:

ESTUDIO GEOFÍSICO MEDIANTE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA 2D Y TOMOGRAFÍA MARINA (ERT2D)
PARA CARACTERIZACIÓN RESISTIVA DEL SUBSUELO A LO LARGO DE TRAZADO DE PERFORACIÓN
HORIZONTAL DIRIGIDA PARA EMISARIO SUBMARINO EN MENORCA (ILLES BALEARS).

TÍTULO DEL PLANO:

UBICACIÓN DE ENSAYOS

Nº PLANO:

1

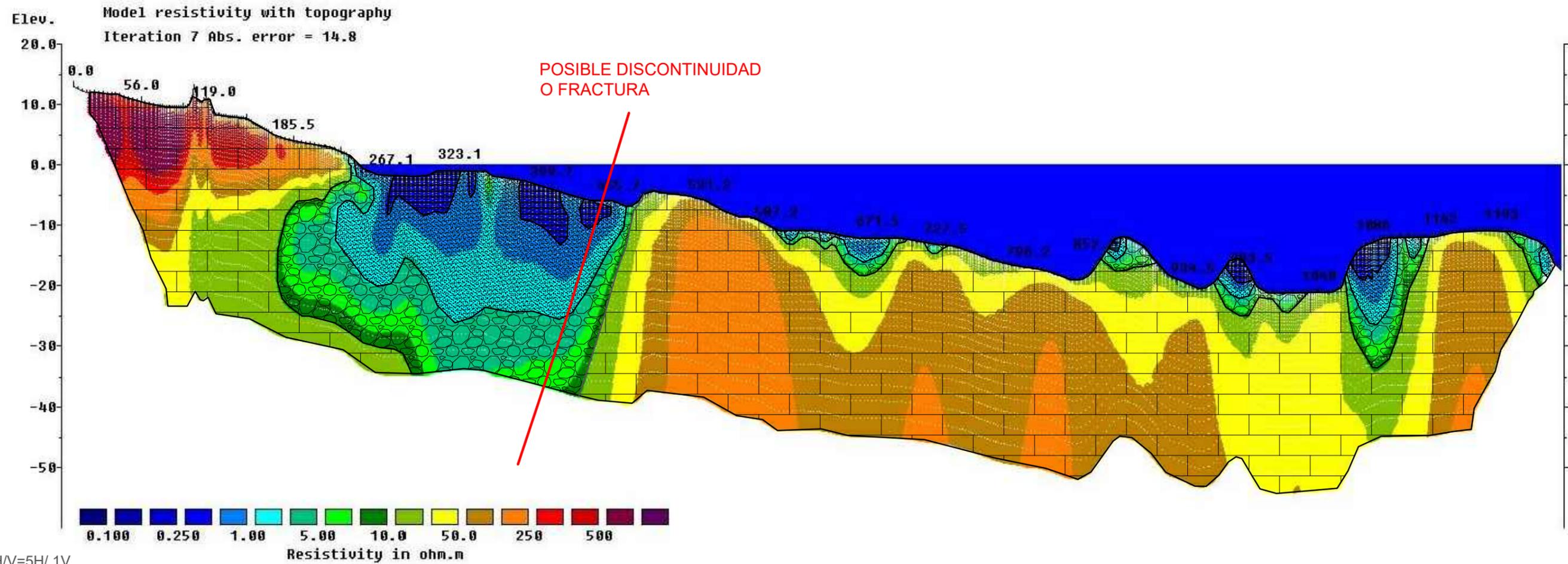
FECHA:

01/2023

8. Anexo II: Resultados Tomografía Eléctrica.

Tomografía eléctrica TERRESTRE (ERT2D-T)

Tomografía eléctrica MARINA (ERT2D-M)



Escala H/V=5H/ 1V

Horizontal scale is 0.34 pixels per unit spacing

Vertical exaggregation in model section display = 5.00

First electrode is located at 0.0 m.

Last electrode is located at 1242.0 m. Unit Electrode Spacing = 0.310 m.

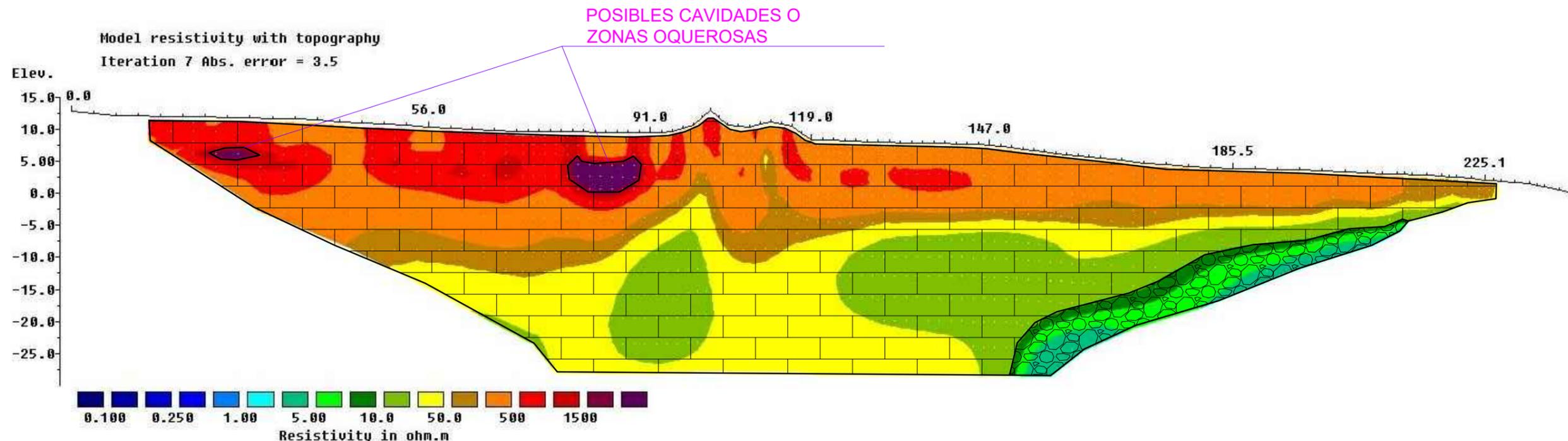
Water surface elevation is 0.00 meters.

Water resistivity is 0.18 ohm.m

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 

Tomografía eléctrica TERRESTRE (ERT2D-T)



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

COMPANÍA CONSULTORA:



COMPANÍA PETICIONARIA:

GRADUAL INGENIEROS

AUTORES DEL PROYECTO:

TÉCNICOS GEOFÍSICA:
JOSÉ ANTONIO ÁLVAREZ
(Lic. Geografía)
SERGIO AMORES SÁNCHEZ
(Ing. geólogo)

DELINEANTE:

SERGIO AMORES SÁNCHEZ
(Ing. geólogo)

ESCALA:

Escala 1:700 (A3) Vertical

TÍTULO DEL PROYECTO:

ESTUDIO GEOFÍSICO MEDIANTE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA 2D Y TOMOGRAFÍA MARINA (ERT2D)
PARA CARACTERIZACIÓN RESISTIVA DEL SUBSUELO A LO LARGO DE TRAZADO DE PERFORACIÓN
HORIZONTAL DIRIGIDA PARA EMISARIO SUBMARINO EN MENORCA (ILLES BALEARS).

TÍTULO DEL PLANO:

PERFIL TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA (TERRESTRE)

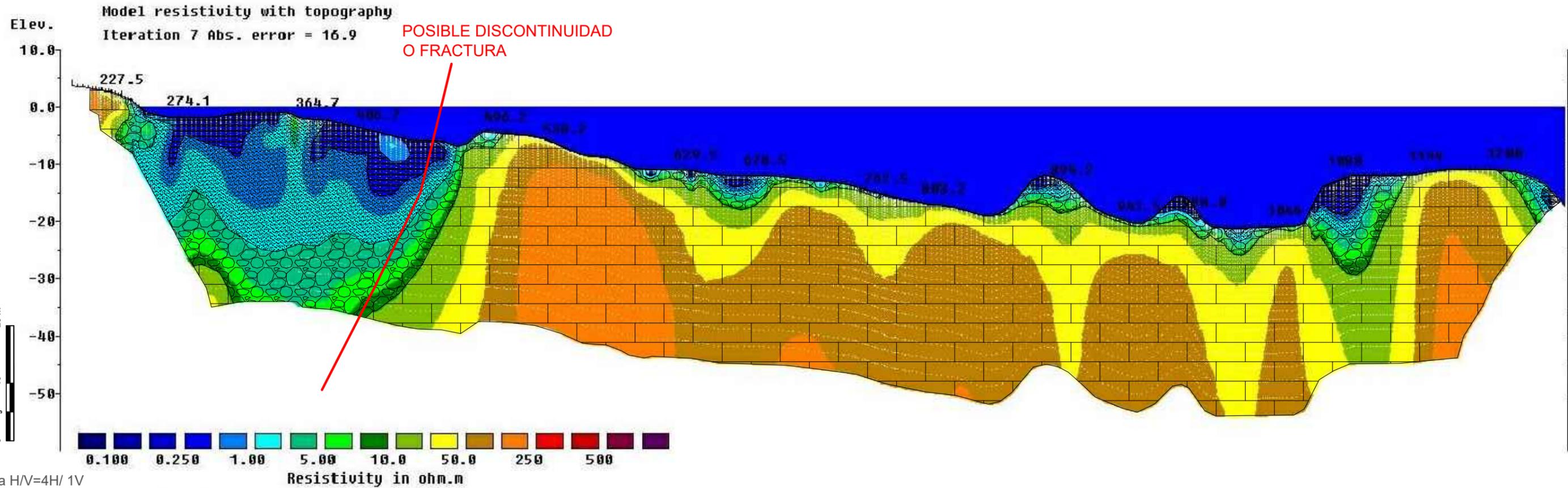
Nº PLANO:

2.1

FECHA:

01/2023

Tomografía eléctrica MARINA (ERT2D-M)



Escala H/V=4H/ 1V

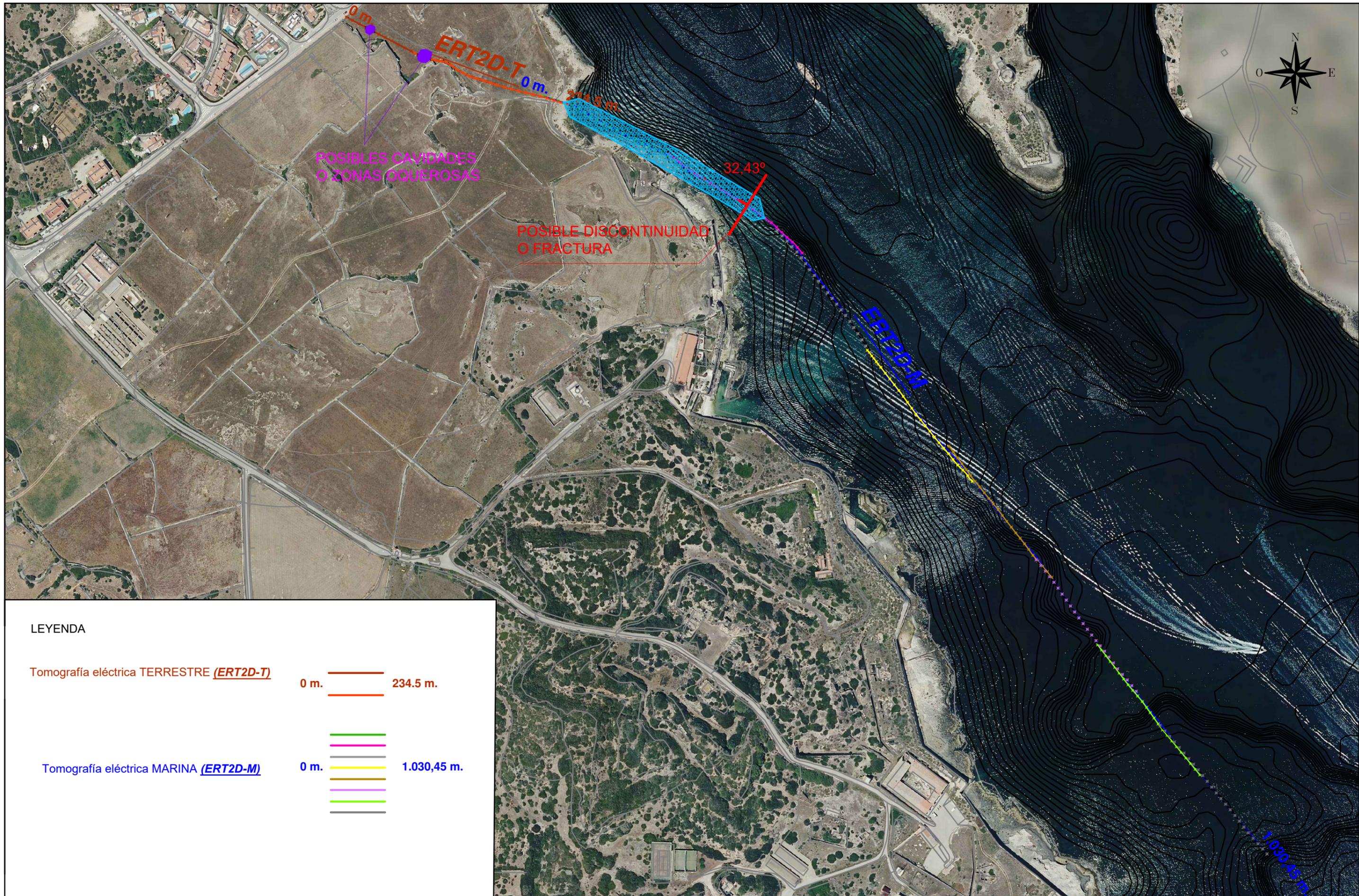
Horizontal scale is 0.40 pixels per unit spacing
 Vertical exaggeration in model section display = 4.00
 First electrode is located at 192.5 m.
 Last electrode is located at 1242.0 m. Unit Electrode Spacing = 0.310 m.
 Water surface elevation is 0.00 meters.
 Water resistivity is 0.18 ohm.m

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

COMPañIA CONSULTORA: <small>C/2 Nova 22-9 Pol. Horta Vella 46117 BÉTERA, VALENCIA. Tel. 961 82 16 16 - www.geozone.es</small>	COMPañIA PETICIONARIA: <h2 style="text-align: center;">GRADUAL INGENIEROS</h2>	AUTORES DEL PROYECTO: TÉCNICOS GEOFÍSICA: JOSÉ ANTONIO ÁLVAREZ (Lic. Geografía) SERGIO AMORES SÁNCHEZ (Ing. geólogo)	DELINEANTE: SERGIO AMORES SÁNCHEZ (Ing. geólogo)	ESCALA: Escala 1:700 (A3) Vertical	TÍTULO DEL PROYECTO: ESTUDIO GEOFÍSICO MEDIANTE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA 2D Y TOMOGRAFÍA MARINA (ERT2D) PARA CARACTERIZACIÓN RESISTIVA DEL SUBSUELO A LO LARGO DE TRAZADO DE PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA PARA EMISARIO SUBMARINO EN MENORCA (ILLES BALEARS).	TÍTULO DEL PLANO: PERFIL TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA (MARINE)	Nº PLANO: <h1 style="text-align: center;">2.2</h1> FECHA: 01/2023
--	---	--	--	---------------------------------------	---	---	---

9. Anexo III: Plano de anomalías en planta.



LEYENDA

Tomografía eléctrica TERRESTRE (ERT2D-T)

0 m. ——— 234.5 m.

Tomografía eléctrica MARINA (ERT2D-M)

0 m. ——— 1.030,45 m.

10. Anexo V: Reportaje Fotográfico

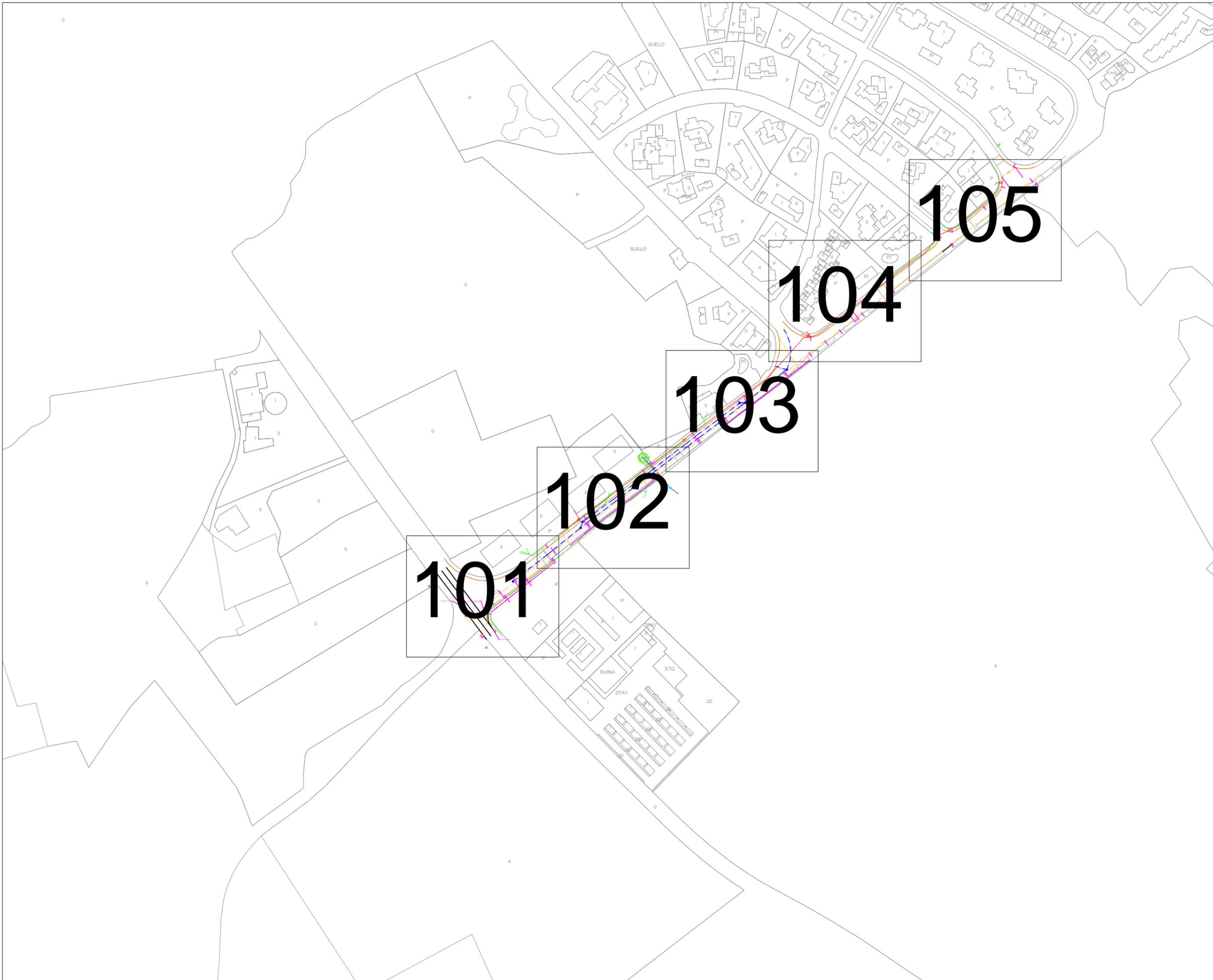
Tomografía eléctrica (tramo terrestre)



Tomografía eléctrica (tramo marino)



ANEJO 3 – PROSPECCIÓN DE GEORRADAR



LEYENDA

- PLU — Red de pluviales
- AP — Red de agua potable
- ALC — Red de alcantarillado
- BT — Red de baja tensión
- MT — Red de media tensión
- AT — Red de alta tensión
- TEL — Red de telefónica
- TC — Red de telecomunicaciones
- GAS — Red de gas
- DES — Red desconocida de tubos
- ALU — Red de alumbrado público
- CAB — Red desconocida de cableado
- ZAN — Zanja existente
- — Traza Georadar



Rambla Catalunya 18, 6a planta,
08007, Barcelona
Tel: 934.241.629 info@geotopsa.com

proyecto
ESTUDIO GEORADAR EN LA AVENIDA D'ES PORT DE ES CASTELL.

codigo 22-2881

fecha ENERO 2023

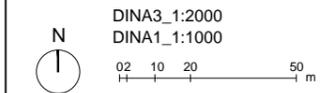
peticionari GRADUAL INGENIEROS

municipio ES CASTELL (MENORCA)

fichero

titulo del plano PLANTA GENERAL

norte escala

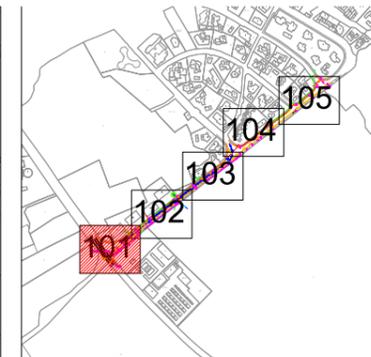
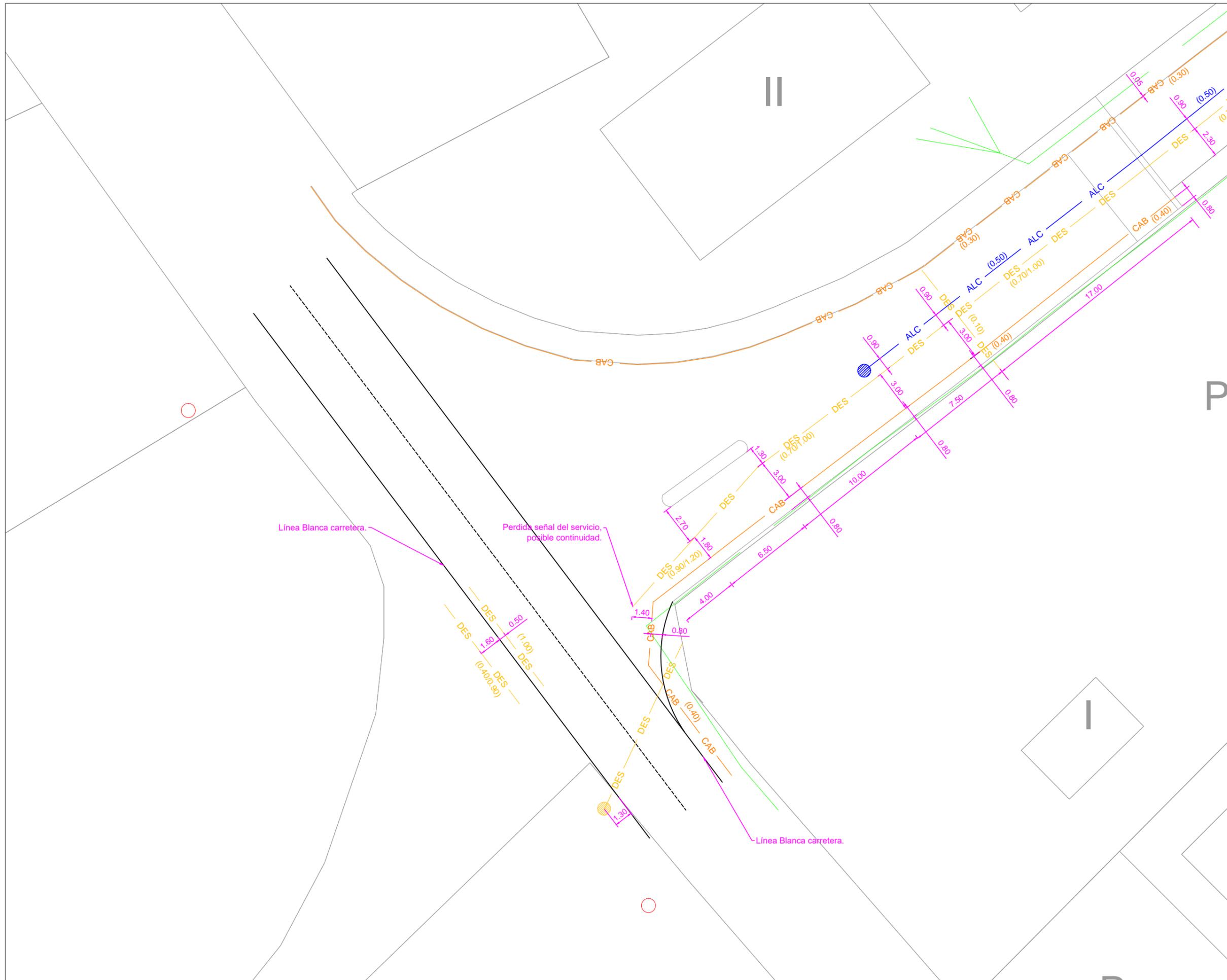


plano numero

01/06

La planimetría presentada como fondo de proyecto pertenece a la constructora, por tanto GEOTOPSA no se hace responsable de las impresiones que en ella pueda haber.

El croquis presentado es el resultado de la aplicación de los ensayos geofísicos de georadar e inducción activa y pasiva. Dichos ensayos son interpretativos y, por tanto, no se puede garantizar una fiabilidad del 100%.



LEYENDA

PLU	Red de pluviales
AP	Red de agua potable
ALC	Red de alcantarillado
BT	Red de baja tensión
MT	Red de media tensión
AT	Red de alta tensión
TEL	Red de telefónica
TC	Red de telecomunicaciones
GAS	Red de gas
DES	Red desconocida de tubos
ALU	Red de alumbrado público
CAB	Red desconocida de cableado
ZAN	Zanja existente
—	Traza Georadar



Rambra Catalunya 18, 6a planta,
08007, Barcelona
Tel: 934.241.629 info@geotopsa.com

proyecto
ESTUDIO GEORADAR EN LA AVENIDA D'ES PORT DE ES CASTELL.

codigo
22-2881

fecha
ENERO 2023

peticionari
GRADUAL INGENIEROS

municipio
ES CASTELL (MENORCA)

fichero

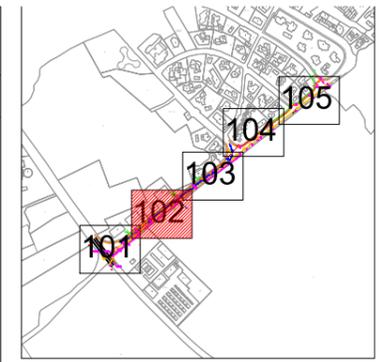
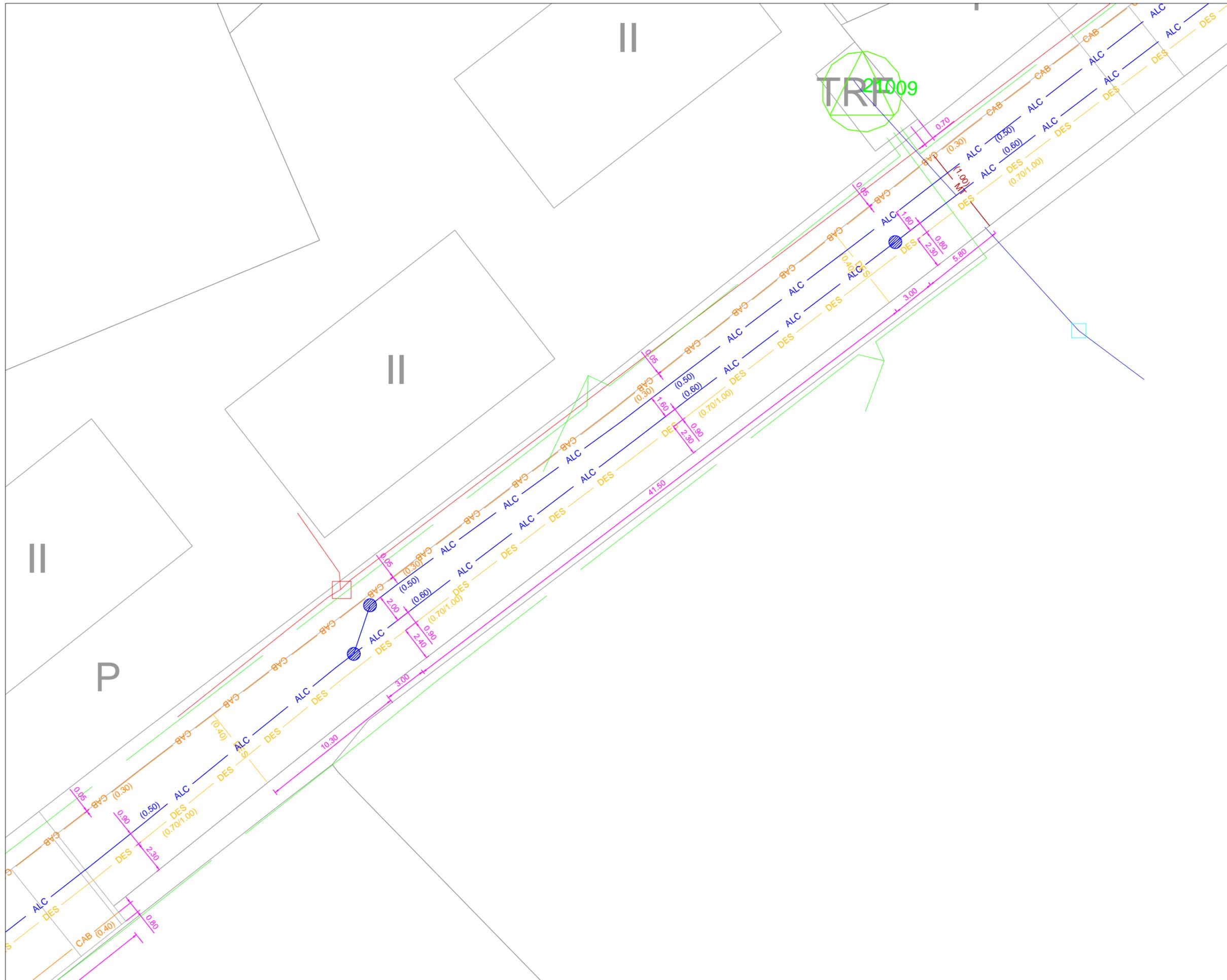
titulo del plano
101

norte
escala
DINA3_1:250
DINA1_1:125
0 1 2 5 m

plano numero
02/06

La planimetría presentada como fondo de proyecto pertenece a la constructora, por tanto GEOTOPSA no se hace responsable de las impresiones que en ella pueda haber.

El croquis presentado es el resultado de la aplicación de los ensayos geofísicos de georadar e inducción activa y pasiva. Dichos ensayos son interpretativos y, por tanto, no se puede garantizar una fiabilidad del 100%.



- LEYENDA
- PLU Red de pluviales
 - AP Red de agua potable
 - ALC Red de alcantarillado
 - BT Red de baja tensión
 - MT Red de media tensión
 - AT Red de alta tensión
 - TEL Red de telefónica
 - TC Red de telecomunicaciones
 - GAS Red de gas
 - DES Red desconocida de tubos
 - ALU Red de alumbrado público
 - CAB Red desconocida de cableado
 - ZAN Zanja existente
 - Traza Georadar



Rambla Catalunya 18, 6a planta,
08007, Barcelona
Tel: 934.241.629 info@geotopsa.com

proyecto
ESTUDIO GEORADAR EN LA AVENIDA D'ES PORT DE ES CASTELL.

codigo
22-2881

fecha
ENERO 2023

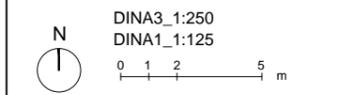
peticionari
GRADUAL INGENIEROS

municipio
ES CASTELL (MENORCA)

archivo

titulo del plano
102

norte
escala

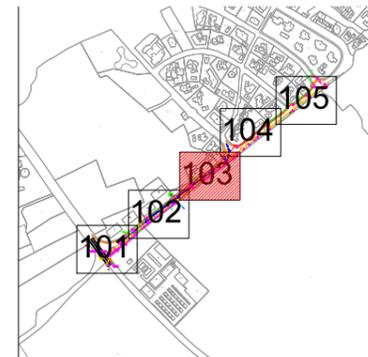
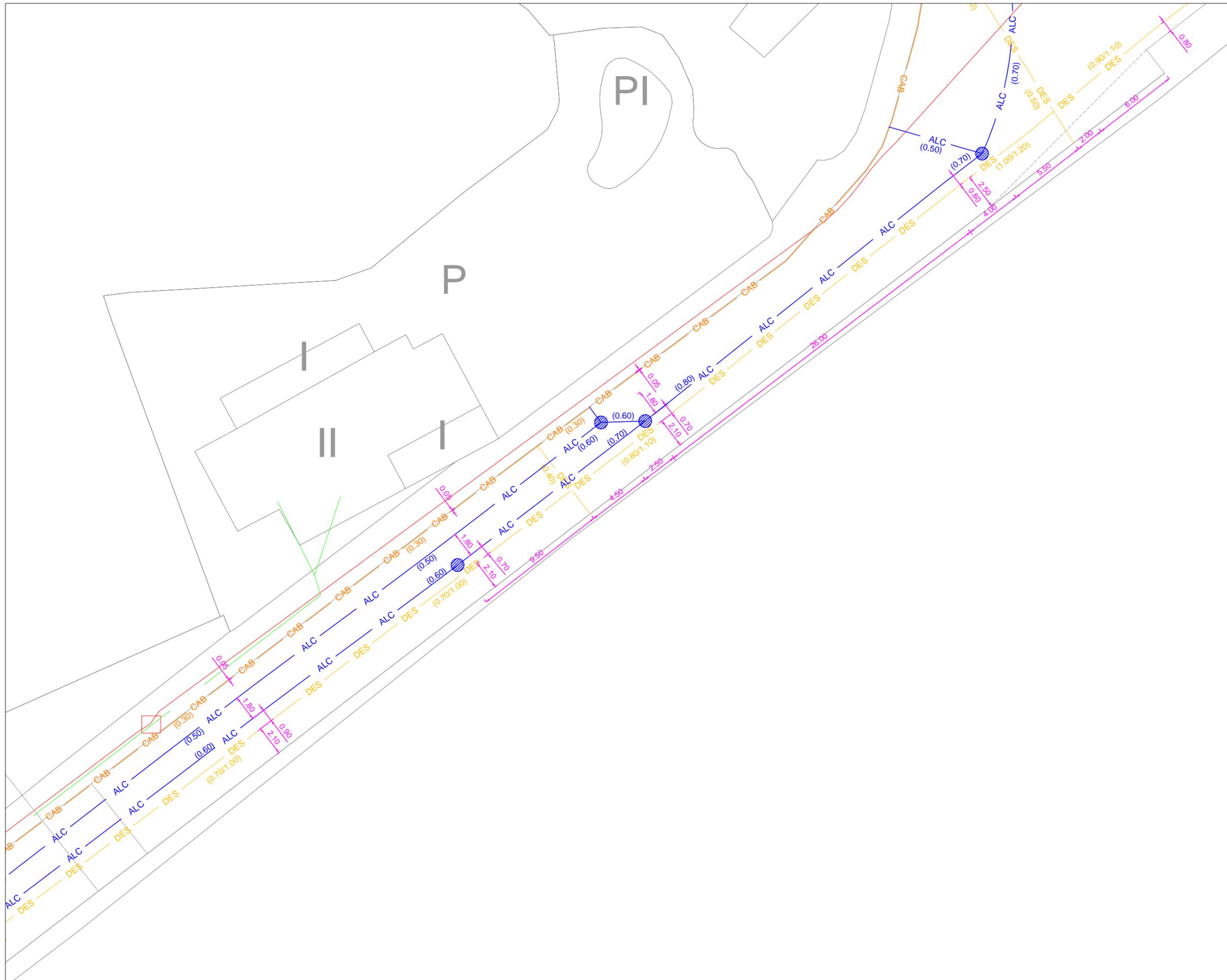


plano numero

03/06

La planimetría presentada como fondo de proyecto pertenece a la constructora, por tanto GEOTOPSA no se hace responsable de las impresiones que en ella pueda haber.

El croquis presentado es el resultado de la aplicación de los ensayos geofísicos de georadar e inducción activa y pasiva. Dichos ensayos son interpretativos y, por tanto, no se puede garantizar una fiabilidad del 100%.



LEYENDA

- PLU Red de pluviales
- AP Red de agua potable
- ALC Red de alcantarillado
- BT Red de baja tensión
- MT Red de media tensión
- AT Red de alta tensión
- TEL Red de telefónica
- TC Red de telecomunicaciones
- GAS Red de gas
- DES Red desconocida de tubos
- ALU Red de alumbrado público
- CAB Red desconocida de cableado
- ZAN Zanja existente
- Traza Georadar



Rambla Catalunya 18, 6a planta,
08007, Barcelona
Tel: 934.241.629 info@geotopsa.com

proyecto

**ESTUDIO GEORADAR EN LA
AVENIDA D'ES PORT DE ES
CASTELL.**

codigo

22-2881

fecha

ENERO 2023

peticionari

GRADUAL INGENIEROS

municipio

ES CASTELL (MENORCA)

fichero

titulo del plano

103

norte

escala

DINA3_1:250
DINA1_1:125



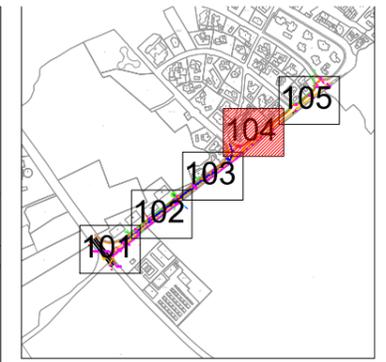
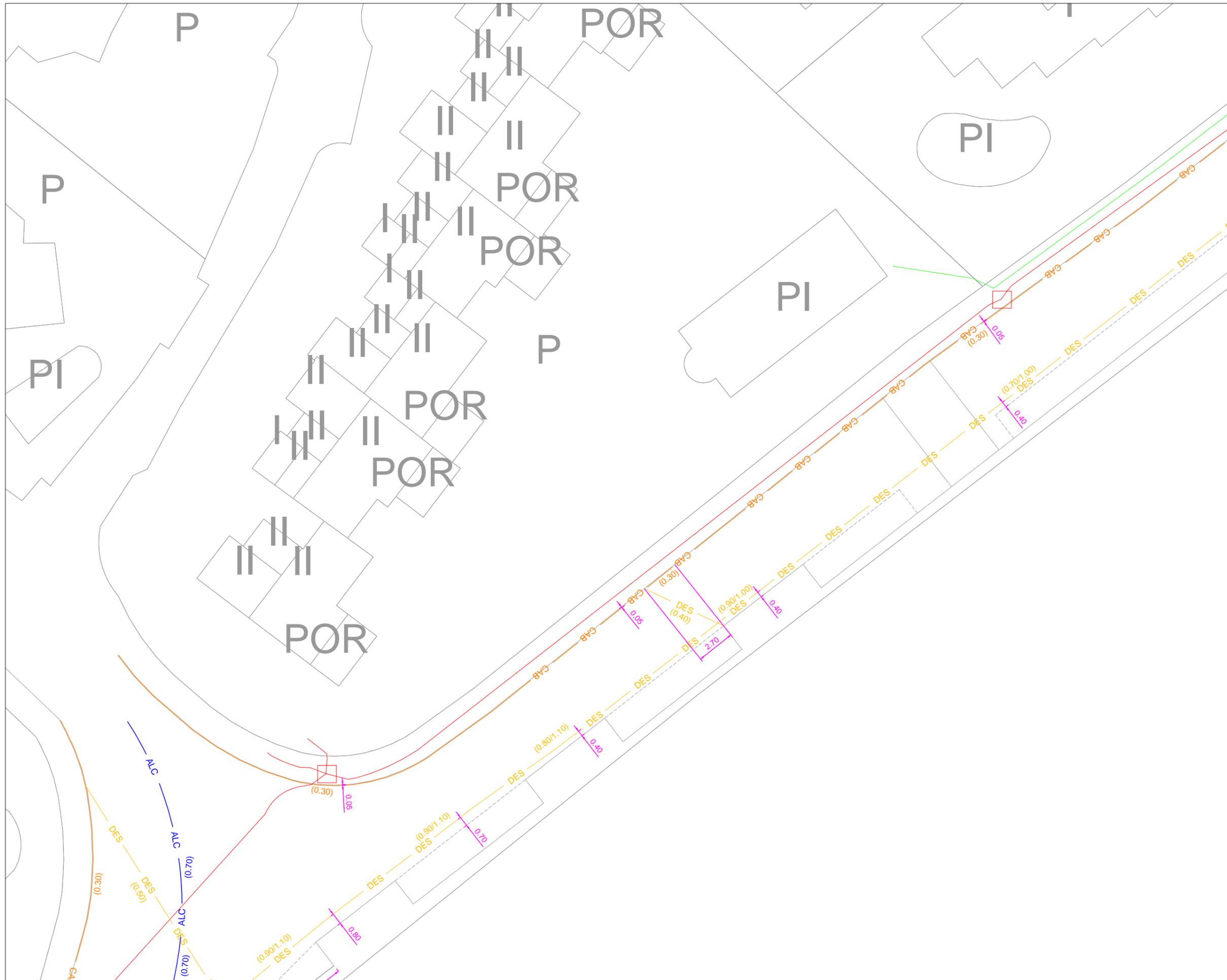
0 1 2 5 m

plano numero

04/06

La planimetría presentada como fondo de proyecto pertenece a la constructora, por tanto GEOTOPSA no se hace responsable de las impresiones que en ella pueda haber.

El croquis presentado es el resultado de la aplicación de los ensayos geofísicos de georadar e inducción activa y pasiva. Dichos ensayos son interpretativos y, por tanto, no se puede garantizar una fiabilidad del 100%.



- LEYENDA**
- PLU Red de pluviales
 - AP Red de agua potable
 - ALC Red de alcantarillado
 - BT Red de baja tensión
 - MT Red de media tensión
 - AT Red de alta tensión
 - TEL Red de telefónica
 - TC Red de telecomunicaciones
 - GAS Red de gas
 - DES Red desconocida de tubos
 - ALU Red de alumbrado público
 - CAB Red desconocida de cableado
 - ZAN Zanja existente
 - Traza Georadar



Rambra Catalunya 18, 6a planta,
08007, Barcelona
Tel: 934.241.629 info@geotopsa.com

proyecto
ESTUDIO GEORADAR EN LA AVENIDA D'ES PORT DE ES CASTELL.

codigo
22-2881

fecha
ENERO 2023

peticionari
GRADUAL INGENIEROS

municipio
ES CASTELL (MENORCA)

fichero

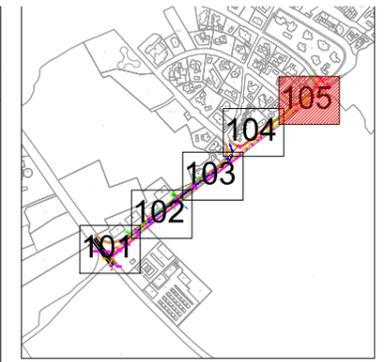
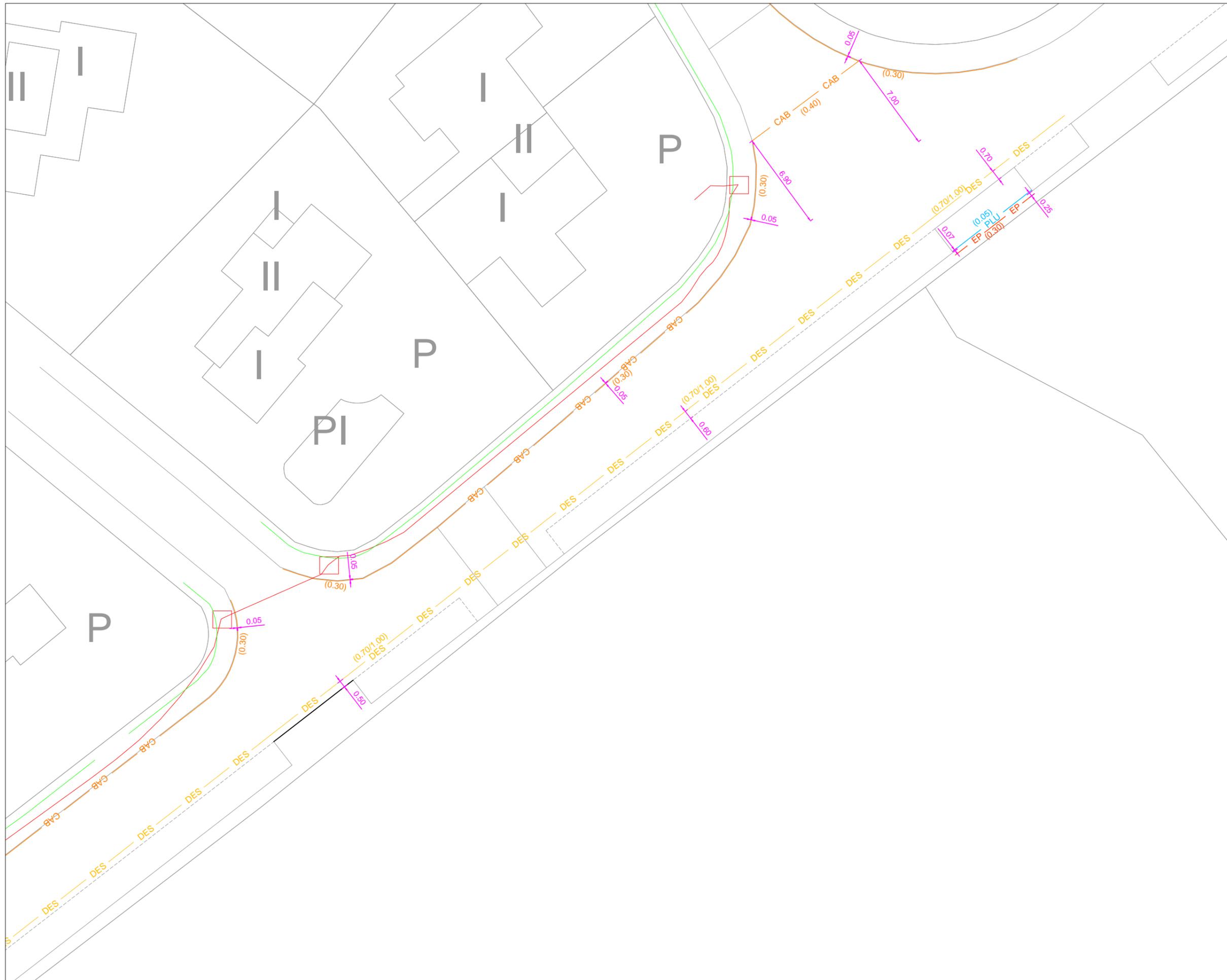
titulo del plano
104

norte
escala
DINA3_1:250
DINA1_1:125
0 1 2 5 m

plano numero
05/06

La planimetría presentada como fondo de proyecto pertenece a la constructora, por tanto GEOTOPSA no se hace responsable de las impresiones que en ella pueda haber.

El croquis presentado es el resultado de la aplicación de los ensayos geofísicos de georadar e inducción activa y pasiva. Dichos ensayos son interpretativos y, por tanto, no se puede garantizar una fiabilidad del 100%.



- LEYENDA**
- PLU Red de pluviales
 - AP Red de agua potable
 - ALC Red de alcantarillado
 - BT Red de baja tensión
 - MT Red de media tensión
 - AT Red de alta tensión
 - TEL Red de telefónica
 - TC Red de telecomunicaciones
 - GAS Red de gas
 - - - DES Red desconocida de tubos
 - ALU Red de alumbrado público
 - CAB Red desconocida de cableado
 - ZAN Zanja existente
 - - - Traza Georadar



Rambla Catalunya 18, 6a planta,
08007, Barcelona
Tel: 934.241.629 info@geotopsa.com

proyecto
ESTUDIO GEORADAR EN LA AVENIDA D'ES PORT DE ES CASTELL.

codigo
22-2881

fecha
ENERO 2023

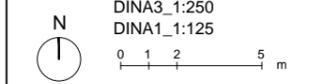
peticionari
GRADUAL INGENIEROS

municipio
ES CASTELL (MENORCA)

fichero

titulo del plano
105

norte
escala
DINA3_1:250
DINA1_1:125



plano numero
06/06

La planimetría presentada como fondo de proyecto pertenece a la constructora, por tanto GEOTOPSA no se hace responsable de las impresiones que en ella pueda haber.

El croquis presentado es el resultado de la aplicación de los ensayos geofísicos de georadar e inducción activa y pasiva. Dichos ensayos son interpretativos y, por tanto, no se puede garantizar una fiabilidad del 100%.

**ANEJO 4 – INFORME GEOTÉCNICO. ESTRATIGRAFÍA Y
CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA**



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.	CONCLUSIONES 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
Cliente:	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 frente 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 bioconstruída, alineada de E a W, que se extiende desde Es Rafalet hacia el aeroclub y aeropuerto, formado predominantemente por algas rodofíceas. Estas facies bioconstruídas, 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 bioconstruídas 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

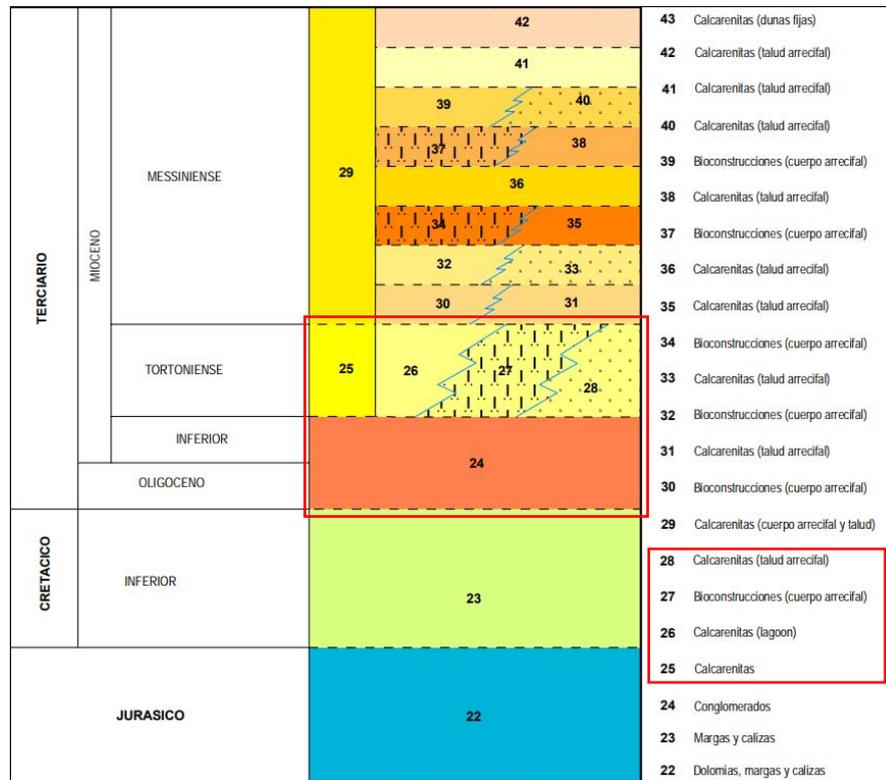


Figura 2. Leyenda de la cartografía digital del IGME. E 1:50.000

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:

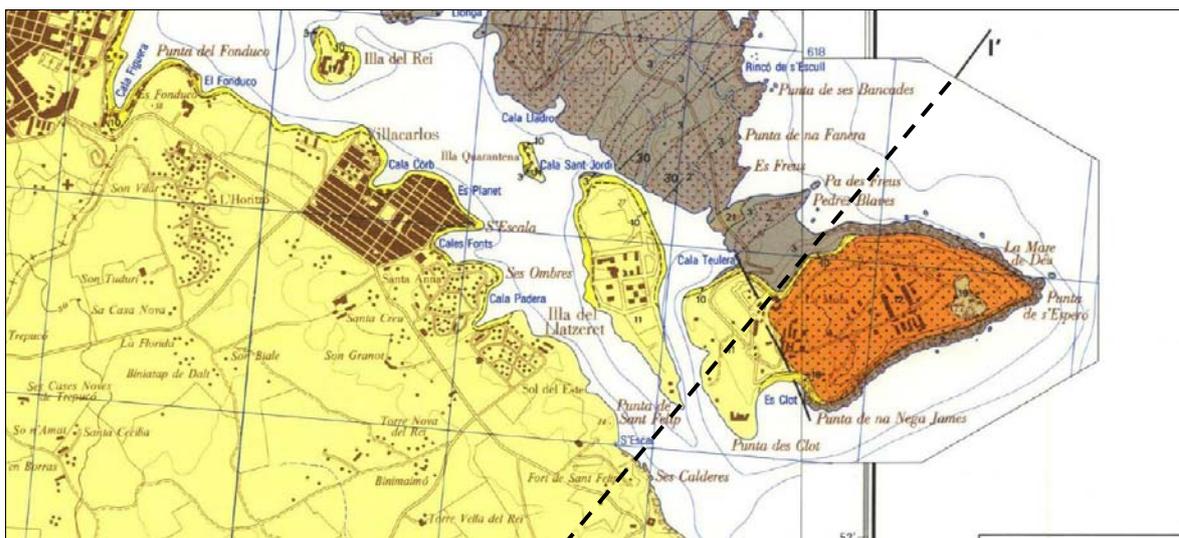


Figura 3. Parte de la cartografía del sector de Mahón/Es Castell (Hoja 657 III) E 1:25.000. Definición corte I-I'

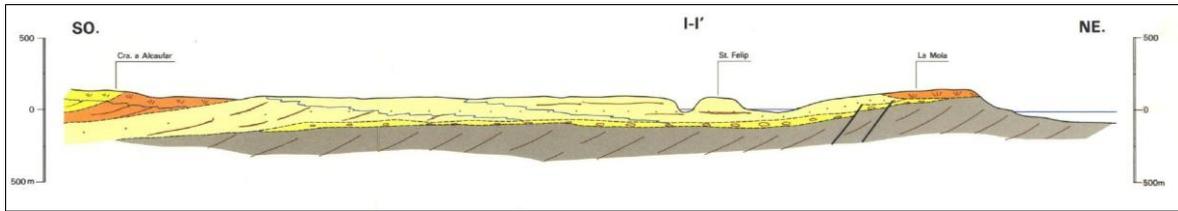


Figura 4. Corte I-I' del sector de Mahón/Es Castell (Hoja 657 III) E 1:25.000.

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)
MUESTRAS (prof.. m.)		
Tipo Muestra s/CTE	A	A
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 bioconstruída regularmente cementada. Tonalidad gris-blanquecina en matriz rocosa.
CBP	Calcarenita bioconstruída 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	Indice 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. Borde blando	Espejos de falla o con relleno < 5mm o abiertas 2-5 mm. Diad. continuas	Relleno blando > 5mm ó abertura > 5mm. Diaclasas 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 Bioconstruída	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

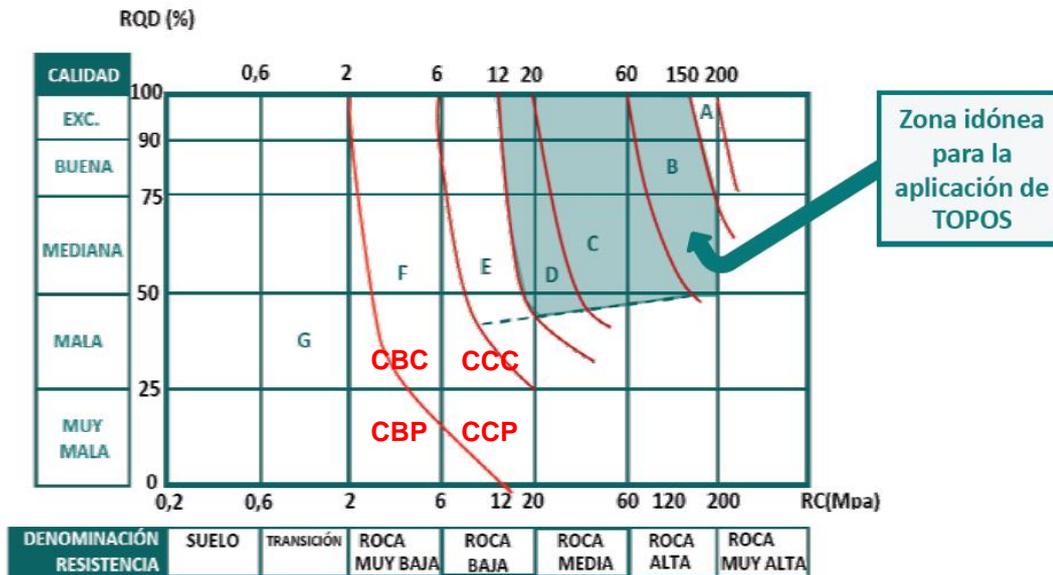
Se recurre a la clasificación propuesta por Manuel Romana (1981 – 1983), de carácter simplificado y basada en los parámetros resistencia a compresión simple RC y el RQD. La versión actualizada de 1983, considera además la abrasividad. Hace una consideración de la excavabilidad de los terrenos mediante 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	Inviable económicamente
20 - 60	Roca	Media	90 - 100	Muy buena		
60 - 200	Roca	Alta				
> 200	Roca	Muy alta				

CBC/CBP
CCC/CCP

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

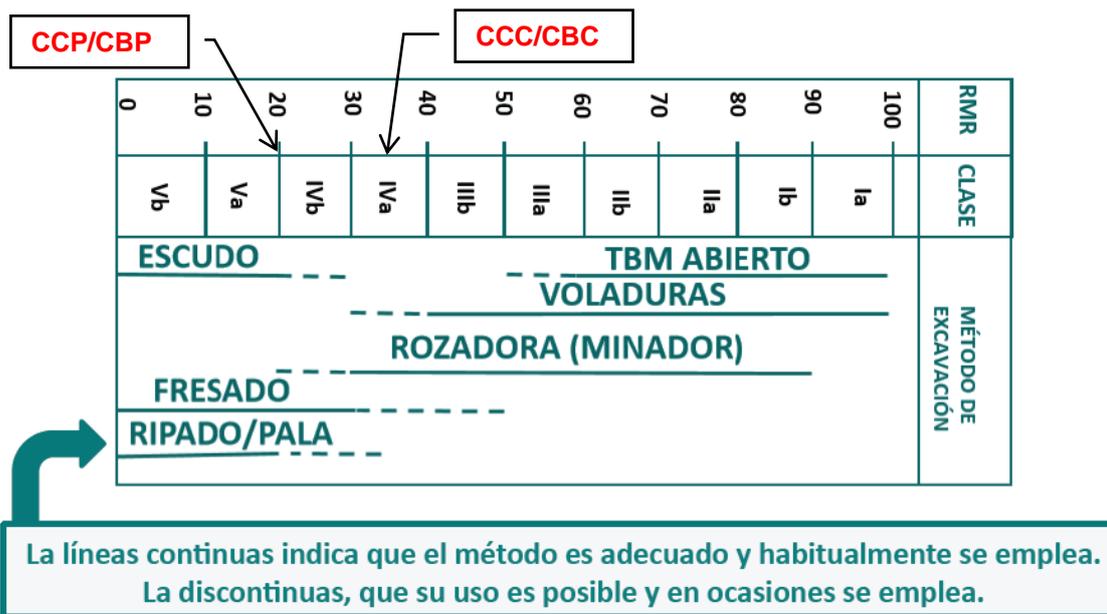
La figura y tabla siguientes establecen una clasificación de la excavabilidad, que el autor recomienda para anteproyectos o estudios previos:



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 fracturación 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. CONCLUSIONES 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)

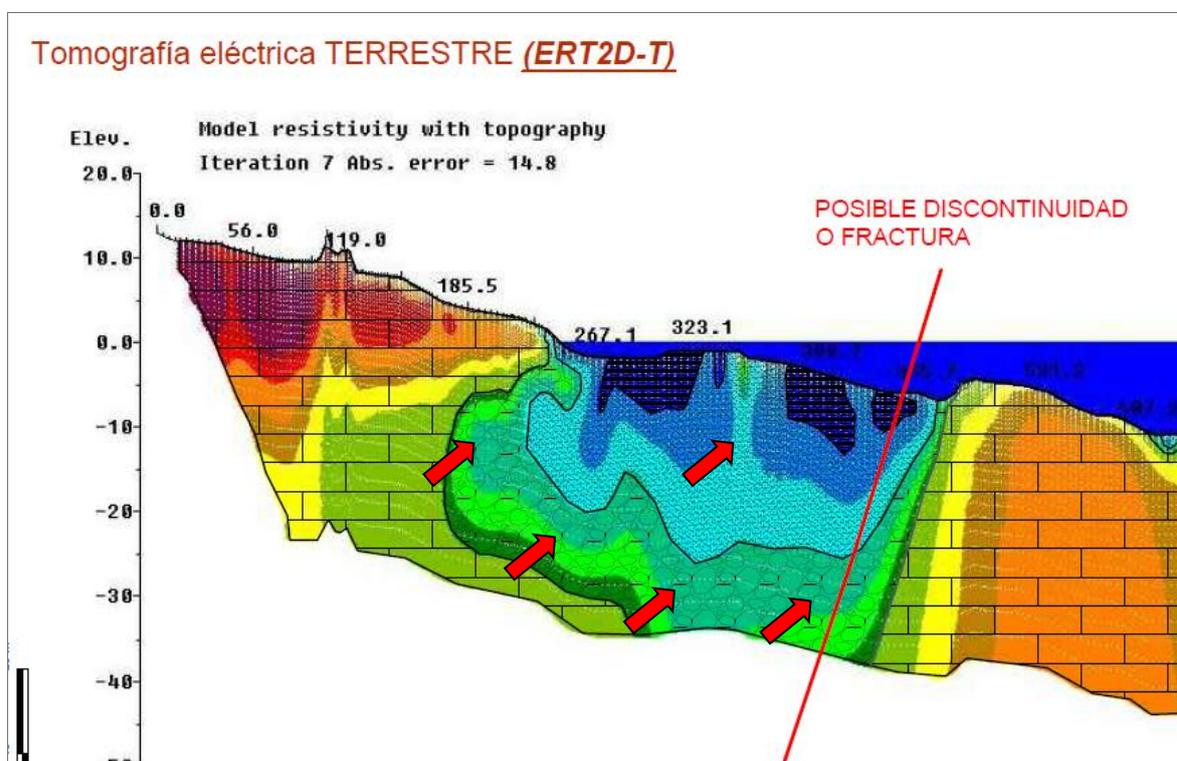


Figura 5. Zona de bajas resistividades en el tránsito tramo terrestre-tramo marino.

- 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



Análisis de aguas y alimentos
Ensayos de materiales de construcción
Estudios geotécnicos
APPCC, Calidad, Medio Ambiente
Formación

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

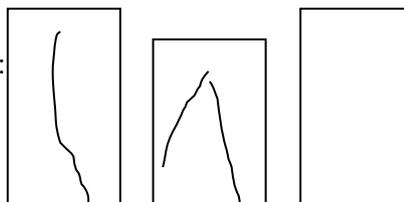
Testigo 3.

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

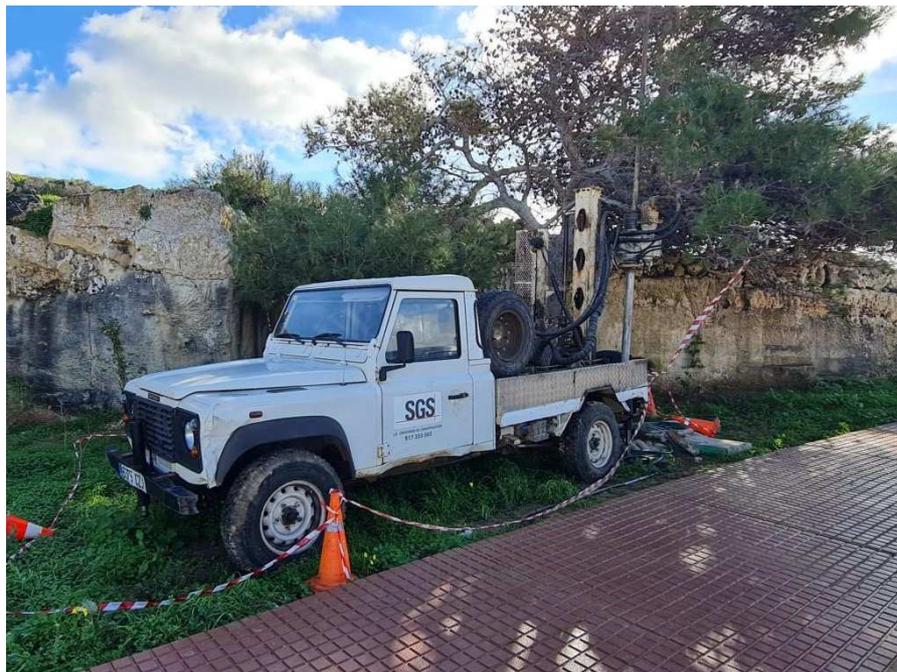


Foto 1: Emplazamiento de sonda en punto S1



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			
	13.00	0.00	0.40			COB: Cobertura edáfico-arcillosa (Tierra vegetal)								
1	12.60	0.40	0.60			CCP: Calcarenita con tramos porosos por disolución (irregularmente cementada). Tonalidad gris-blanquecina en matriz rocosa.								
2	12.00	1.00	2.00											
3	10.00	3.00	1.23			CCC: Calcarenita regularmente cementada. Tonalidad gris-blanquecina en matriz rocosa.								
4	8.77	4.23	4.07			CCP	4.00		R					
5							4.23							
6														
7														
8														
9	4.70	8.30	1.70			CCP							8.40	7.18
10	3.00	10.00	1.50			CCC							TR1	
11	1.50	11.50	1.65			CBP: Calcarenita bioconstruida con tramos porosos (irregularmente cementada). Tonalidad gris-blanquecina en matriz rocosa.								
12	-1.15	13.15	1.15				13.15		R					
13	-1.30	14.30	1.70			CBP	13.18							
14	-3.00	16.00	1.00			CBC: Calcarenita bioconstruida regularmente cementada. Tonalidad gris-blanquecina en matriz rocosa.								
15	-4.00	17.00	2.00			CBP: Calcarenita bioconstruida con tramos porosos (irregularmente cementada). Tonalidad gris-blanquecina en matriz rocosa.								
16	-6.00	19.00	1.00			CBC: Calcarenita bioconstruida regularmente cementada. Tonalidad gris-blanquecina en matriz rocosa.							19.00	3.26
17	-7.00	20.00					19.30						TR2	



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 4 (15.0-20.0m)

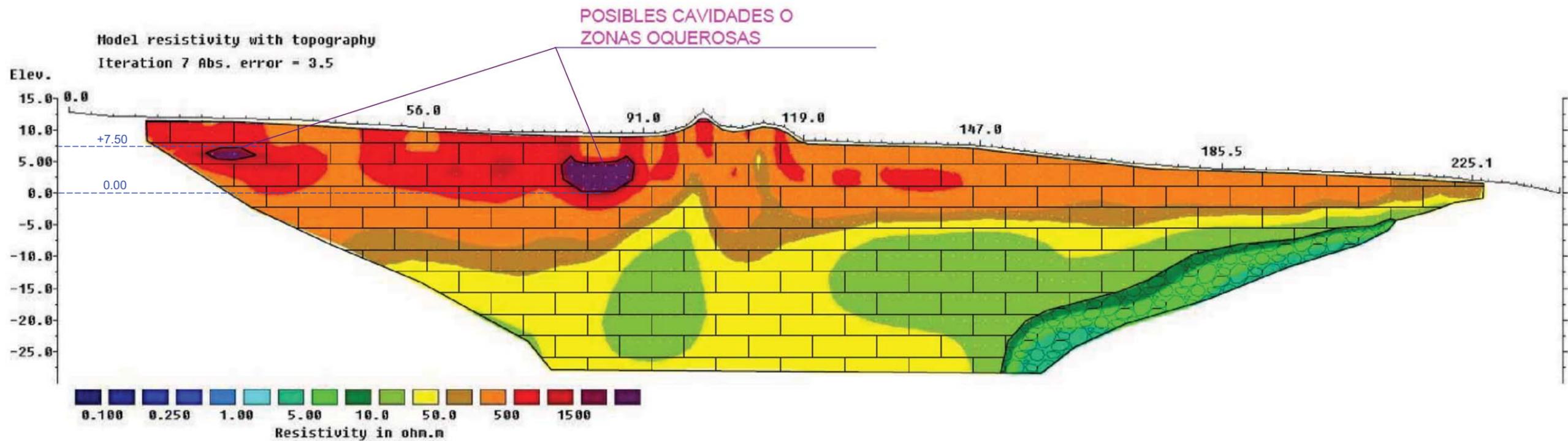


FOTO 3. Caja Portatestigos SONDEO 1 CAJA 2 (5.0-10.0m)

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 HV=1H/ 1V

Horizontal scale is 14.40 pixels per unit spacing
 Vertical exaggeration in model section display = 1.00
 First electrode is located at 0.0 m.
 Last electrode is located at 239.1 m. Unit Electrode Spacing = 2.40 m.

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

LEYENDA

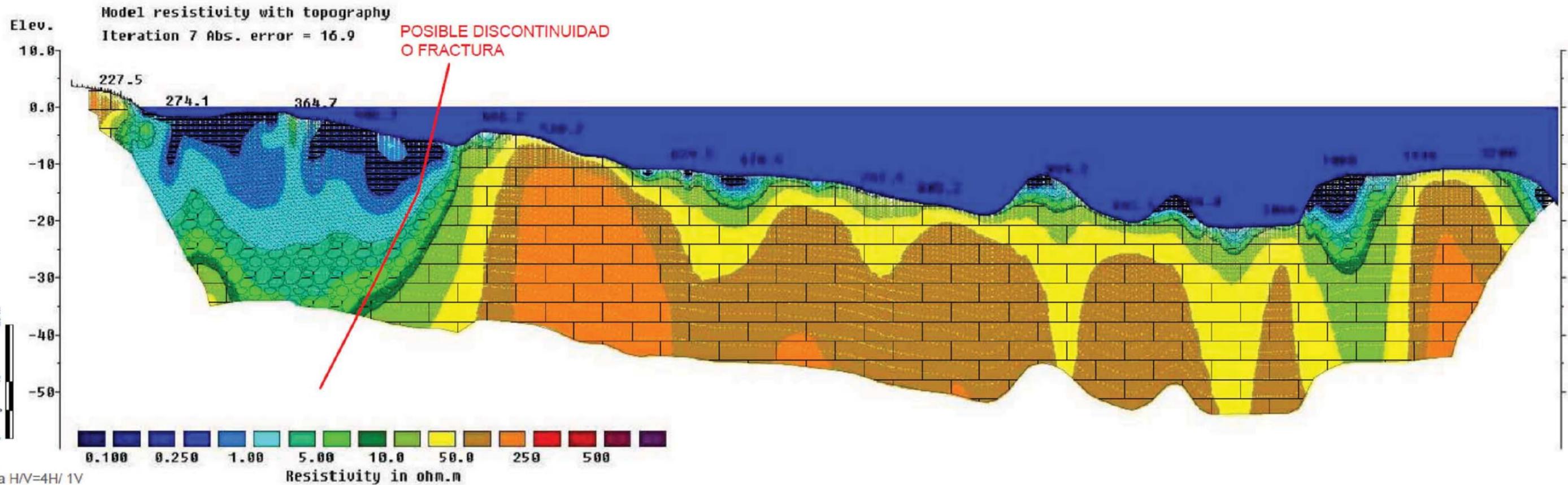
- Sedimento no consolidado de grano fino a medio saturado de baja compacidad.
- Sedimento no consolidado de grano medio a grueso saturado de compacidad media.
- Sedimento no consolidado de grano grueso saturado, calcarenitas fracturadas y/o sedimento compacto.
- Calcarenitas competentes
- Posibles zonas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



CORRESPONDENCIA CON EL SONDEO

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

Tomografía eléctrica MARINA (ERT2D-M)



Escala HV=4H/ 1V

Horizontal scale is 0.40 pixels per unit spacing
 Vertical exaggeration in model section display = 4.00
 First electrode is located at 192.5 m.
 Last electrode is located at 1242.0 m. Unit Electrode Spacing = 0.310 m.
 Water surface elevation is 0.00 meters.
 Water resistivity is 0.18 ohm.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-blanquecina en matriz rocosa.
	CBC: Calcarenita bioconstruida regularmente cementada. Tonalidad gris-blanquecina en matriz rocosa.
	CCP: Calcarenita con tramos porosos por disolución (irregularmente cementada). Tonalidad gris-blanquecina en matriz rocosa.
	CBP: Calcarenita bioconstruida con tramos porosos (irregularmente cementada). Tonalidad gris-blanquecina en matriz rocosa.

ANEJO 5 – INFORME DE RESULTADOS DE PROSPECCIÓN MARINA



Fecha Informe:		Ciente:	
23/02/2023			
Proyecto:			
«ESTUDI PREVI DE VIABILITAT PER A L'EXECUCIÓ DE L'EMISSARI MARÍTIMO-TERRESTRE DE L'EDAR DE MAÓ-ES CASTELL MITJANÇANT LA TÈCNICA DE PERFORACIÓ HORIZONTAL DIRIGIDA»			
Título del Informe:		Cód. Documento:	
INFORME DE RESULTADOS PROSPECCIÓN MARINA		P23001 Ed. 1	
Autor:			
OCEANSNELL Consultoría Ambiental Marinac/ Aitana, nº 1 Polígono el Aeropuerto 46940 Manises (Valencia) ESPAÑA			

	«ESTUDI PREVI DE VIABILITAT PER A L'EXECUCIÓ DE L'EMISSARI MARÍTIMO-TERRESTRE DE L'EDAR DE MAÒ-ES CASTELL MITJANÇANT LA TÈCNICA DE PERFORACIÓ HORIZONTAL DIRIGIDA»	P23001 Ed. 1
		Pág. 2 de 36

Informe realizado por:



OCEANSNELL, S.L.
B-97886055
c/ Aitana, nº 1
Polígono el Aeropuerto
46940 Manises (Valencia)
ESPAÑA

Proyecto nº:	P23001 Ed. 1	
Título del Proyecto:	ESTUDI PREVI DE VIABILITAT PER A L'EXECUCIÓ DE L'EMISSARI MARÍTIMO-TERRESTRE DE L'EDAR DE MAÒ-ES CASTELL MITJANÇANT LA TÈCNICA DE PERFORACIÓ HORIZONTAL DIRIGIDA	
Fecha última revisión:	23/02/2023	
Estudio realizado por:	<ul style="list-style-type: none"> • Vicente Tasso Bermell (<i>MSc en Biología. Programa de Doctorado de Biología Animal y Biología Marina</i>) • Vicente Crespo López (<i>Licenciado en Biología</i>) • Josep Antoni Gilabert Carmona (<i>Licenciado en Biología</i>) 	
Informe revisado por:	Vicente Tasso Bermell <i>Director Técnico de OCEANSNELL</i>	<i>Biólogo Colegiado nº 02478-CV</i>

Elaborado para:



ÍNDICE

1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO	4
2. OBJETIVOS Y ALCANCE DE LOS TRABAJOS	4
3. ÁREA DE ESTUDIO	4
4. MATERIAL Y MÉTODOS	5
4.1 <i>LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO</i>	<i>5</i>
4.2 <i>PROSPECCIÓN CON SONAR DE BARRIDO LATERAL (SBL)</i>	<i>7</i>
4.3 <i>GEODESIA Y NIVEL DE REFERENCIA ALTIMÉTRICO</i>	<i>10</i>
4.4 <i>SOFTWARE HIDROGRÁFICO Y ADQUISICIÓN DE DATOS</i>	<i>11</i>
5. RESULTADOS	13
5.1 <i>LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO: SISTEMA MONOHAZ</i>	<i>13</i>
5.2 <i>CARTOGRAFÍA BIONÓMICA</i>	<i>15</i>
5.3 <i>PROSPECCIÓN CON TV SUBMARINA</i>	<i>25</i>
6. CONCLUSIONES	32
7. REFERENCIAS	33
ANEXO CARTOGRAFICO	34

	«ESTUDI PREVI DE VIABILITAT PER A L'EXECUCIÓ DE L'EMISSARI MARÍTIMO-TERRESTRE DE L'EDAR DE MAÓ-ES CASTELL MITJANÇANT LA TÈCNICA DE PERFORACIÓ HORIZONTAL DIRIGIDA»	P23001 Ed. 1
		Pág. 4 de 36

1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

A petición de la empresa Gradual Ingenieros se ha realizado la asistencia técnica para la prospección marina enmarcado dentro del “ESTUDI PREVI DE VIABILITAT PER A L'EXECUCIÓ DE L'EMISSARI MARÍTIMO-TERRESTRE DE L'EDAR DE MAÓ-ES CASTELL MITJANÇANT LA TÈCNICA DE PERFORACIÓ HORIZONATAL DIRIGDA”.

Los trabajos en el mar tuvieron lugar el 13 de febrero de 2023 por parte del personal técnico de OCEANSNELL, S.L.

2. OBJETIVOS Y ALCANCE DE LOS TRABAJOS

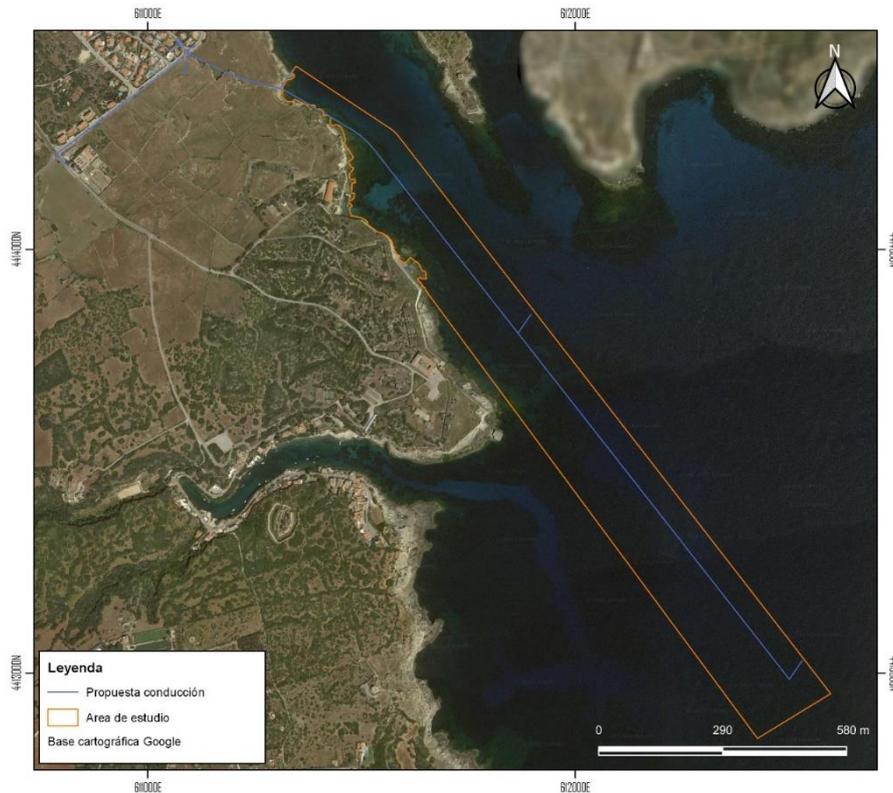
El principal objetivo de las prospecciones geofísicas realizadas en la zona de estudio ha consistido en realizar un levantamiento batimétrico, obtener una cartografía biónómica y realizar una filmación submarina del trazado del emisario y de su entorno próximo inmediato.

Para cumplir con el objetivo propuesto se han realizado los siguientes trabajos:

- Levantamiento batimétrico con ecosonda monohaz.
- Prospección geofísica con Sonar de Barrido Lateral (SBL de lata frecuencia).
- Filmación submarina a lo largo del trazado lineal del emisario.

3. ÁREA DE ESTUDIO

La delimitación de la zona de estudio fue facilitada por el cliente y se ubica en el tramo de costa de Maó – El castell (Menorca). Su extensión es de aproximadamente 0,322 km² y siendo su límite batimétrico de 37 m de profundidad (Mapa 1):



Mapa 1. Ubicación del área de estudio (UTM ETRS89 H30). **Fuente.** © OCEANSNELL, S.L.

4. MATERIAL Y MÉTODOS

4.1 Levantamiento batimétrico

Para la realización del levantamiento batimétrico, se ha utilizado un sistema monohaz ultracompacto de doble frecuencia (30/200 kHz) *Echolotger EU D032*.

Este sistema combina las señales de una ecosonda monohaz de doble frecuencia, que pueden usarse de manera simultánea o separada.

Las principales características del equipo monohaz se detallan a continuación:

- Frecuencias seleccionables: 30 kHz – 200 kHz (elección de modos de ping: simple o doble).
- Ping rate: hasta 100 Hz.
- Anchura de haz: 26° / 5° Cónico.
- Rango mínimo medible: 50 cm. Rango máximo: 200 m.

- Rango de resolución de altitud: 1 mm
- Dimensiones: 96 mm de diámetro x 90 mm de largo. Peso: 740 gr.
- Sensor de inclinación incorporado: balanceo y cabeceo en resolución de 0.1º



Imagen 1: Ecosonda monohaz *Echologger EU D032*

(Fuente: <https://www.echologger.com>)

Para el posicionamiento y la corrección de marea se empleó un sistema de posicionamiento RTK Altus NR3 de Septentrio, asegurando un flujo de datos rápido, preciso y de gran calidad para todo tipo de levantamiento batimétrico con una precisión subcentimétrica. El Altus NR3 de Septentrio es una smart antena robusta, ligera y muy compacta con receptor GNSS integrado. Este sistema es la solución Rover perfecta para levantamientos topográficos y batimétricos con ecosonda monohaz. La tecnología AIM+ de Septentrio es la más avanzada del mercado y permite suprimir la más amplia variedad de interferencias, desde simples señales continuas de banda estrecha hasta las señales más complejas de banda ancha debidas a equipamiento eléctrico, antenas de radio, líneas de alta tensión, etc. El espectro de radiofrecuencias que puedan interferir en la recepción GNSS se puede visualizar en tiempo real.



Imagen 2: Receptor RTK Altus NR3 ©OCEANSNELL

Sus características principales son:

- Multi-constelación (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, IRNSS, QZSS, SBAS y L-Band)
- Multi-frecuencia
- Real Time Kinematic NTRIP (RTK)
- Precise Point Positioning SECORX (PPP)
- Advanced Interference Monitoring & Mitigation (AIM+/ anti-jamming & anti-spoofing)
- Base + Rover
- Conectividad integrada: RS232, 4G, WiFi, BT y USB

4.2 Prospección con Sonar de Barrido Lateral (SBL)

Se han efectuado transectos paralelos a la costa mediante SBL de alta frecuencia modelo *Pulsar* de la marca *Kongsberg Geoacustics LTD*. El sonar permite prospectar la zona con un rango de frecuencias de entre 550 kHz a 1.000 kHz. Mediante el empleo del mismo se ha obtenido la información necesaria sobre la tipología y naturaleza de los fondos del área de estudio con el fin de poder elaborar una cartografía biónómica de detalle.

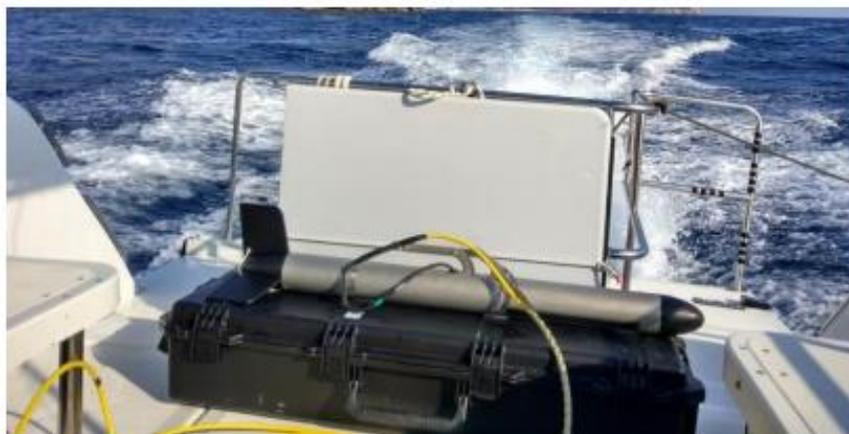


Imagen 3. Sonar de barrido lateral *PULSAR* (*Kongsberg Geoacustics*).
Fuente. © OCEANSNELL, S.L.

Las características técnicas del equipo empleado se detallan en la ficha siguiente:



SONAR DE BARRIDO LATERAL

PuISAR (KONGSBERG)

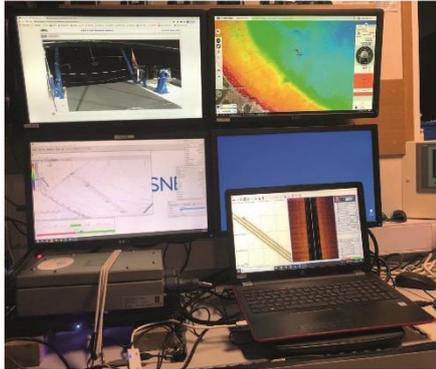
Sonar de barrido lateral de alta frecuencia.

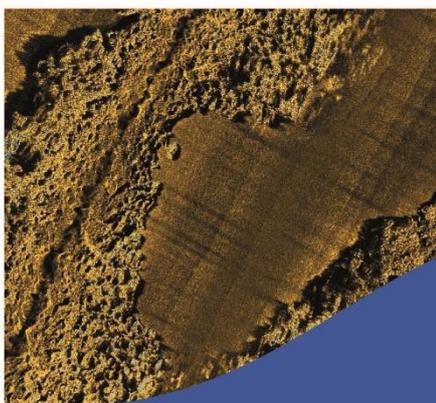
PRINCIPALES APLICACIONES:

- Elaboración de cartografías bionómicas.
- Clasificación de fondos y tipología de sustratos.
- Detección de infraestructuras submarinas (emisarios, arrecifes artificiales, pecios, etc.).

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:

Frecuencia:	550 kHz-1000 kHz		
Rango máximo:	Frecuencia	Rango (m)	Tipo pulso
	550 kHz	100	Continuo
	550 kHz	150	Frecuencia modulada
Amplitud del haz:	50° x 0.5° vertical, 0.4° horizontal		
Tasa de repetición de pulsos:	Rango (m)	Pulsos	
	30	25	
	300	5	
Resolución máxima:	Rango (m)	Res. máx (m)	
	10	0.07	
	50	0.35	
	100	0.69	
Transmisor:	Módulo GPS integrado / GPS diferencial		
Software de adquisición y procesado:	- Hypack Max		
	- SonarWiz		
Longitud del cable:	100 metros (opcional hasta 300 m)		





Estudios Ambientales Marinos y Consultoría Ambiental
C/ Aitana, nº1 - P.I. Aeropuerto
46940 Manises (Valencia) / España

Telf.: (+34) 96 154 69 09
Fax: (+34) 96 096 64 61

www.oceansnell.com
info@oceansnell.com

En total se han prospectado aproximadamente 0,322 km² de superficie de fondo marino. Para mejorar la resolución del sonar de barrido lateral, la cobertura para cada uno de los canales fue de 75 m de rango, realizando un solapamiento del 20%. El posicionamiento en el mar se llevó a cabo mediante un equipo GPS diferencial (*DGPS Hemisphere*) con correcciones por radiofaro, que nos proporcionó una precisión submétrica. El sistema se completa con un ordenador y un *software* de adquisición de datos y control de los parámetros de navegación (*Software Hypack Max*), mediante el cual se realizó un control de las derrotas del barco en tiempo real sobre los itinerarios y los transectos planificados previamente.



Imagen 4. GPS Diferencial y equipos para la obtención, visualización y grabación en tiempo real de los sonogramas en campo. **Fuente.** © OCEANSNELL, S.L.

La grabación de los sonogramas en el mar se realizó en soporte digital. Una vez obtenidos los sonogramas fueron procesados mediante el software especializado *Hypack Max*, obteniendo un mosaico georreferenciado de los sonogramas en la zona de estudio (sonoplano).

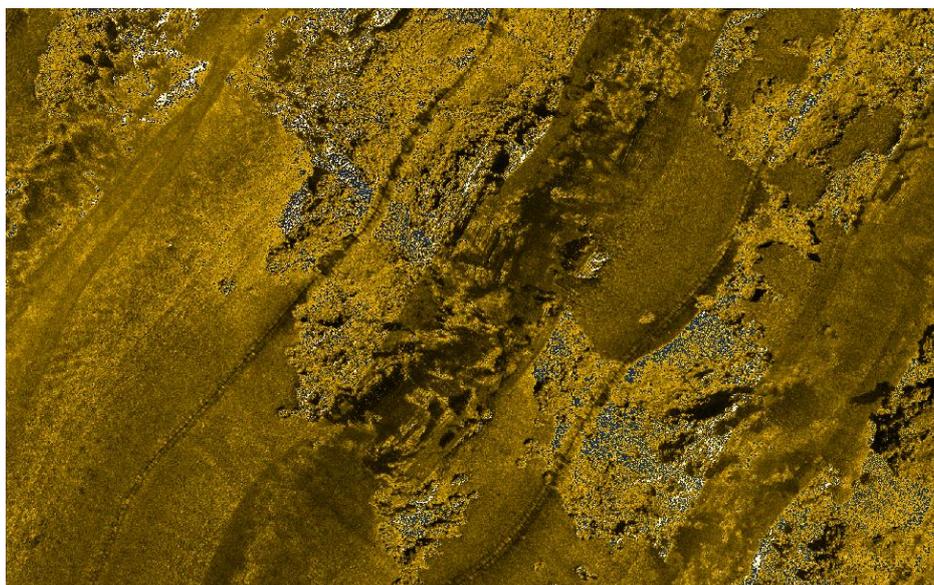


Imagen 5. Sonoplano de ejemplo. **Fuente.** © OCEANSNELL, S.L.

	«ESTUDI PREVI DE VIABILITAT PER A L'EXECUCIÓ DE L'EMISSARI MARÍTIMO-TERRESTRE DE L'EDAR DE MAÓ-ES CASTELL MITJANÇANT LA TÈCNICA DE PERFORACIÓ HORIZONTAL DIRIGIDA»	P23001 Ed. 1
		Pág. 10 de 36

La cartografía biónmica generada se realizó mediante el solapamiento de la información acústica y videográfica obtenida utilizando software GIS (QGIS).

4.3 Geodesia y nivel de referencia altimétrico

El sistema de referencia utilizado en el presente trabajo es ETRS89 (*European Terrestrial Reference System*, 1989), definido del modo siguiente:

- Elipsoide GRS80:
 - o Semieje mayor $a = 6.378,137$ km.
 - o Semieje menor $b = 6.356,752$ km.
 - o $f = 1/298,257223563$.
- Origen, centro de masas de la Tierra, incluyendo océanos y atmósfera.
- Eje Z paralelo a la dirección del polo CIO o polo medio definido por el BIH, época 1989.0 con una precisión de 0,005" (15 cm).
- Eje X, intersección del meridiano origen, Greenwich, y el plano que pasa por el origen y es perpendicular al eje Z.
- Eje Y ortogonal a los anteriores.

La proyección utilizada en el presente trabajo es Universal Transverse Mercator en el huso 31 (UTM Zona 31N).

El datum altimétrico considerado es el NMMA (Nivel medio del mar en Alicante).

Tanto el enlace planimétrico como el altimétrico se han basado en el enlace a la Red de Estaciones de Referencia GNSS (ERGNSS) perteneciente al Instituto Geográfico Nacional y vinculada originariamente a la Red Geodésica Española por Técnicas Espaciales (REGENTE).

La transformación de las altitudes elipsoidales, medidas con los receptores GNSS, a altitudes ortométricas, es realizada automáticamente por el *software* hidrográfico Hypack durante la toma de datos en campo mediante el uso de la rejilla NTV2 para la Península, publicada por el IGN, que emplea el modelo EGM2008 – REDNAP. Este modelo es una adaptación del modelo de geoide mundial EGM2008 de la *National Geospatial Intelligence Agency* (<http://www.nga.mil>) al sistema de referencia vertical RedNAP (NMMA) (Imagen 6), que constituye el modelo altimétrico oficial en España.

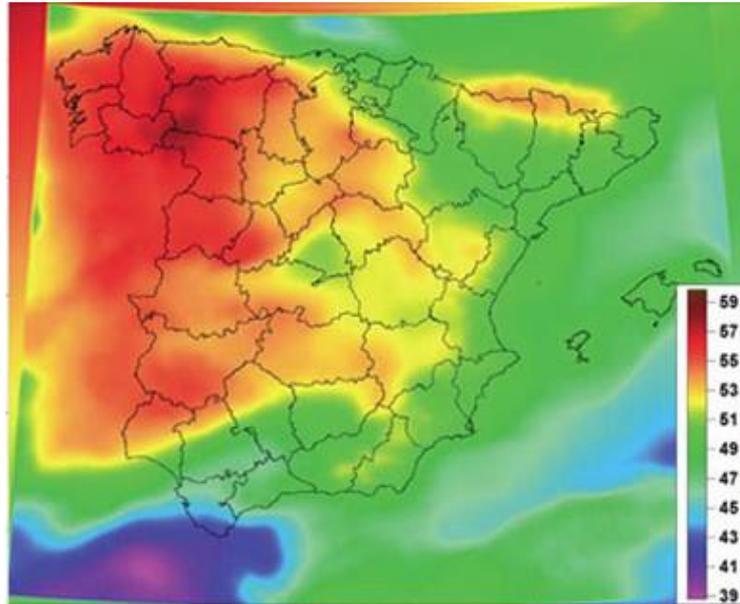


Imagen 6. Modelo geoidal de la Península Ibérica como adaptación del modelo global EGM08 a la Red NAP.

4.4 Software hidrográfico y adquisición de datos

Para la planificación, adquisición y procesado de datos se ha utilizado el *software* hidrográfico *Hypack/Hysweep*. Dicho programa permite el diseño sobre una cartografía de referencia de las líneas de navegación a seguir durante el desarrollo de los trabajos. Se realizaron líneas de survey perpendiculares a costa y separadas 35 m unas de otras, a modo de control y cierre se realizarán varias líneas paralelas.

En campo, *Hypack* adquiere y procesa las señales de todos los elementos del sistema monohaz: ecosonda, posición, rumbo, y movimiento. Finalmente, en gabinete, tiene lugar el post-proceso y la edición de los datos obtenidos.

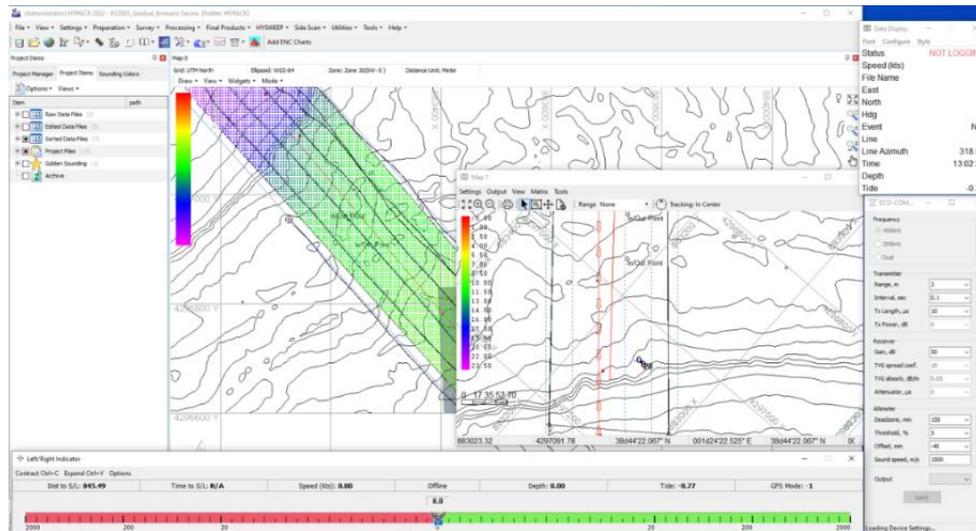


Imagen 7. Captura de pantalla del software utilizado. Fuente. © OCEANSNELL, S.L.

La correcció de la onda de marea i oleaje se realitzà en temps real a partir de les dades de altura elipsoidal registrades per el GNSS en mode RTK amb diferencial NTRIP del IGN. La correcció de la velocitat del so es realitzà a partir de les dades de velocitat del so obtinguts mitjançant un perfilador CTD en camp. Aquest equip permetí caracteritzar la temperatura i salinitat de la massa d'aigua en tota la columna d'aigua.

Una vegada instal·lats i estaberts tots els equips, se han comprovat totes les connexions i la qualitat de les dades rebudes des del sistema integrat de la ecosonda.

La calibració se ha dut a terme per detectar els errors dels angles de muntatge (balanceo "roll", cabeceo "pitch" i rumbo "heading") del transductor de la ecosonda monohaz.

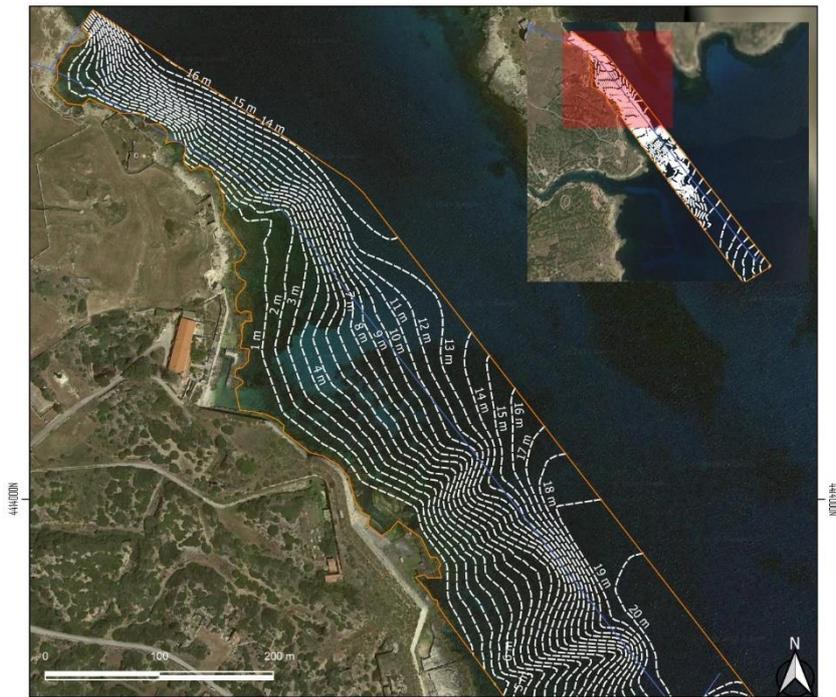
Durante el levantamiento batimétrico, todos los equipos han enviado información en continuo a una estación de trabajo Lenovo ThinkPad P50, de forma que el software hidrográfico Hypack/Hysweep ha registrado y almacenado la información en bruto, para ser procesada posteriormente en gabinete. La grabación de los sonogramas en el mar se realizó en soporte digital. Una vez obtenidos los sonogramas fueron procesados mediante el software especializado (software Hypack), obteniendo un mosaico georreferenciado de los sonogramas en la zona de estudio (sonoplano).

La cartografía bionómica generada se realizó mediante el solapamiento de la información videográfica obtenida utilizando software GIS (QGIS), llevando a cabo un proceso de digitalización de las áreas ocupadas por las biocenosis de interés.

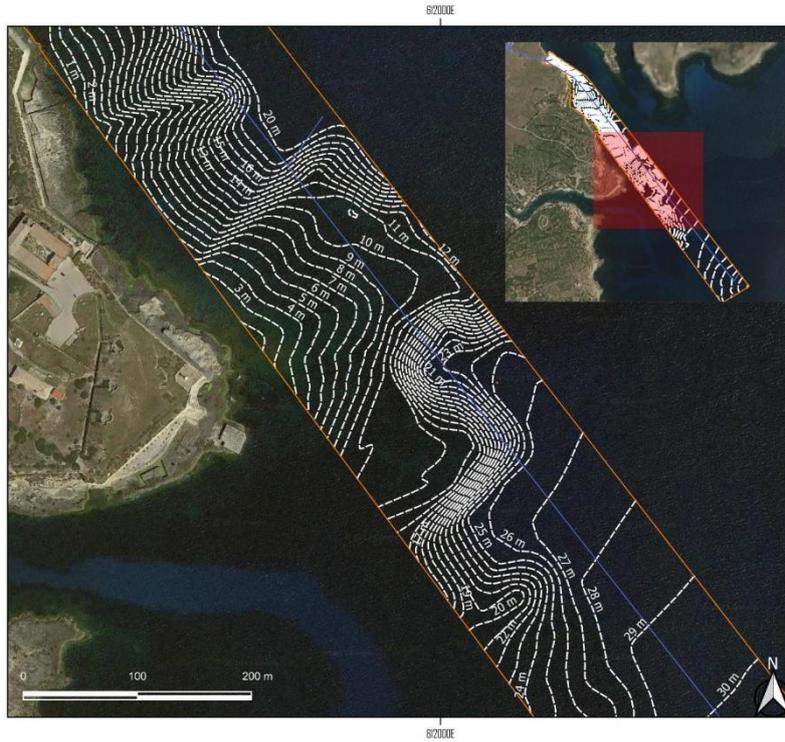
5. RESULTADOS

5.1 Levantamiento batimétrico: Sistema monohaz

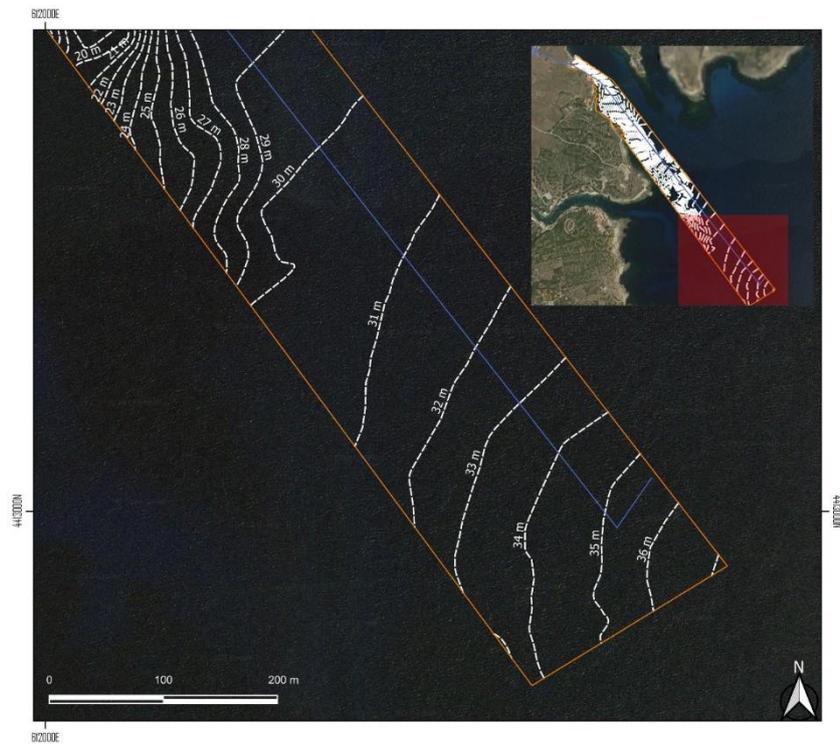
Tras la adquisición, procesado y modelizado de los datos obtenidos durante el levantamiento batimétrico monohaz, se ha obtenido una batimetría de precisión de la zona de estudio. El rango batimétrico varía entre 0 y 37 metros de profundidad. Los datos de isobatas obtenidas se representan en los mapas a continuación.



Mapa 2. Mapa de isobátas 1 de 3 (UTM ETRS89 H31). **Fuente.** © OCEANSNELL, S.L.



Mapa 3. Mapa de isobatas 2 de 3 (UTM ETRS89 H31). **Fuente.** © OCEANSNELL, S.L.



Mapa 4. Mapa 3 de 3 de isobatas (UTM ETRS89 H31). **Fuente.** © OCEANSNELL, S.L.

5.2 Cartografía bionómica

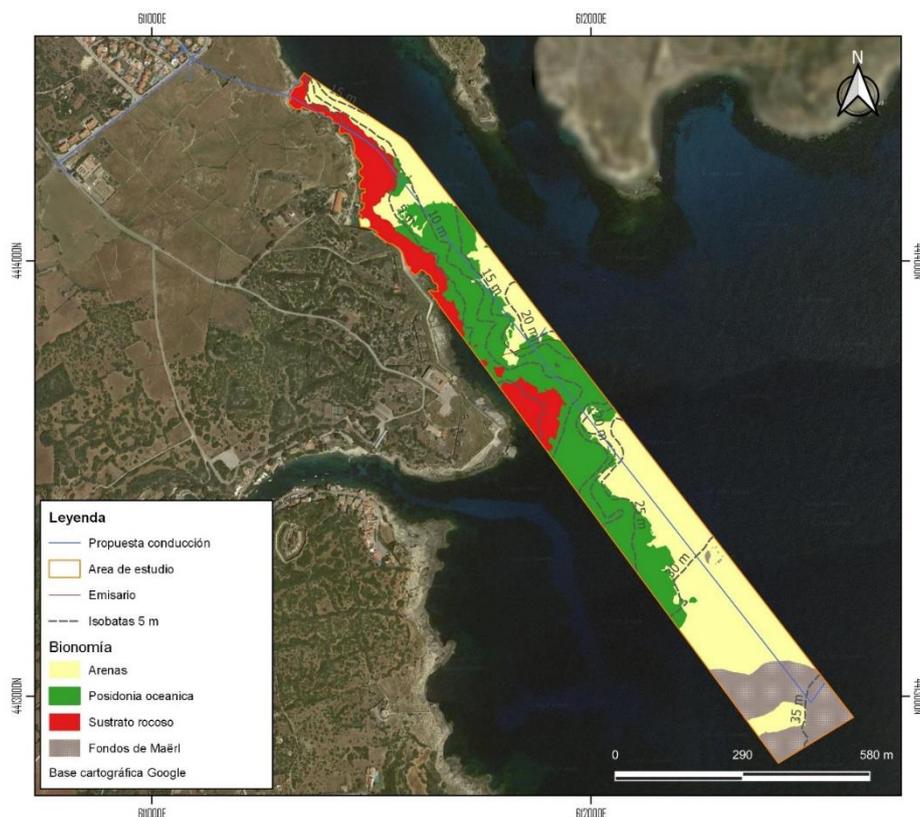
El análisis y procesado de los datos sonográficos obtenidos mediante SBL y las diferentes prospecciones realizadas con TV submarina georeferenciada, han permitido elaborar una cartografía bionómica de detalle de las biocenosis marinas presentes en la zona de estudio.

En la Tabla 1, se citan las diferentes biocenosis identificadas teniendo en cuenta la Resolución de 22 de marzo de 2013, de la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar, por la que se establecen los dos primeros elementos del Inventario Español de Hábitats Marinos (IEHEM): la lista patrón de los tipos de hábitats marinos presentes en España y su clasificación (Templado *et al.*, 2012).

Tabla 1. Biocenosis marinas en el área de estudio.

Código	Denominación	Extensión (Km ²)	%
03040220	Arenas finas infralitorales bien calibradas	0,137	42,55
030512	Praderas de <i>Posidonia oceanica</i>	0,106	32,92
030104	Roca infralitoral inferior	0,043	13,35
03040504	Fondos de Maërl	0,036	11,18

La distribución y localización de las diferentes biocenosis y/o tipología de fondos se muestran de forma esquemática en el siguiente mapa (para más detalle, ver anexos cartográficos).



Mapa 5. Cartografía bionómica de la zona de estudio. Fuente. © OCEANSNELL, S.L.

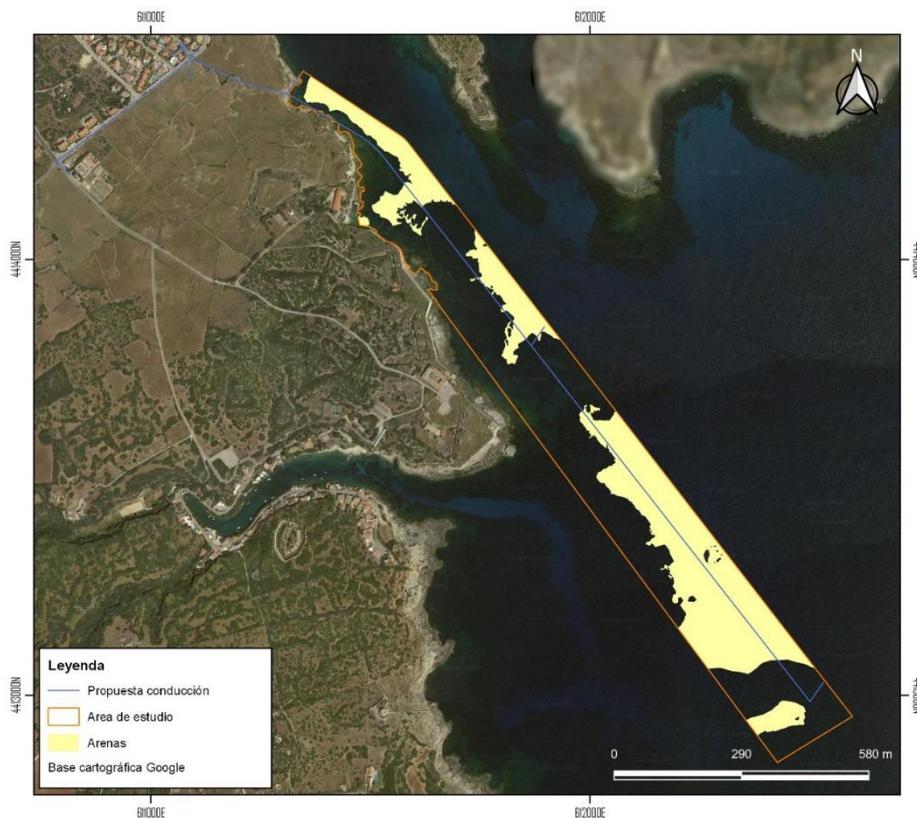
A continuació, se describen las diferentes biocenosis marinas identificadas en la zona de estudio teniendo en cuenta la clasificación del Inventario Español de Hábitats y Especies Marinos (IEHEM):

- **03040220 - Arenas finas infralitorales bien calibradas**

Esta biocenosis, con una extensión de 0,137 km², representa el 42,55% de la superficie total prospectada. La localización detallada de esta biocenosis se incluye en el anexo cartográfico.

Se caracteriza por la presencia de arenas finas y homogéneas de origen terrígeno poco enfangadas, característica de zonas con hidrodinamismo moderado. Su contenido en fango aumenta con la profundidad.

Se ha observado mediante televisión submarina haces dispersos de *Cymodocea nodosa* que no se han podido detectar mediante la utilización del sonar. No se descarta la presencia de esta fanerógama, con densidades muy bajas, de forma puntual en algunas zonas asiladas de esta biocenosis.



Mapa 6. Localización del hábitat 03040220 – Arenas infralitorales bien calibradas (UTM ETRS89 H30).

Fuente. © OCEANSNELL, S.L.

A continuación, se adjuntan algunas imágenes de esta biocenosis en la zona de estudio:



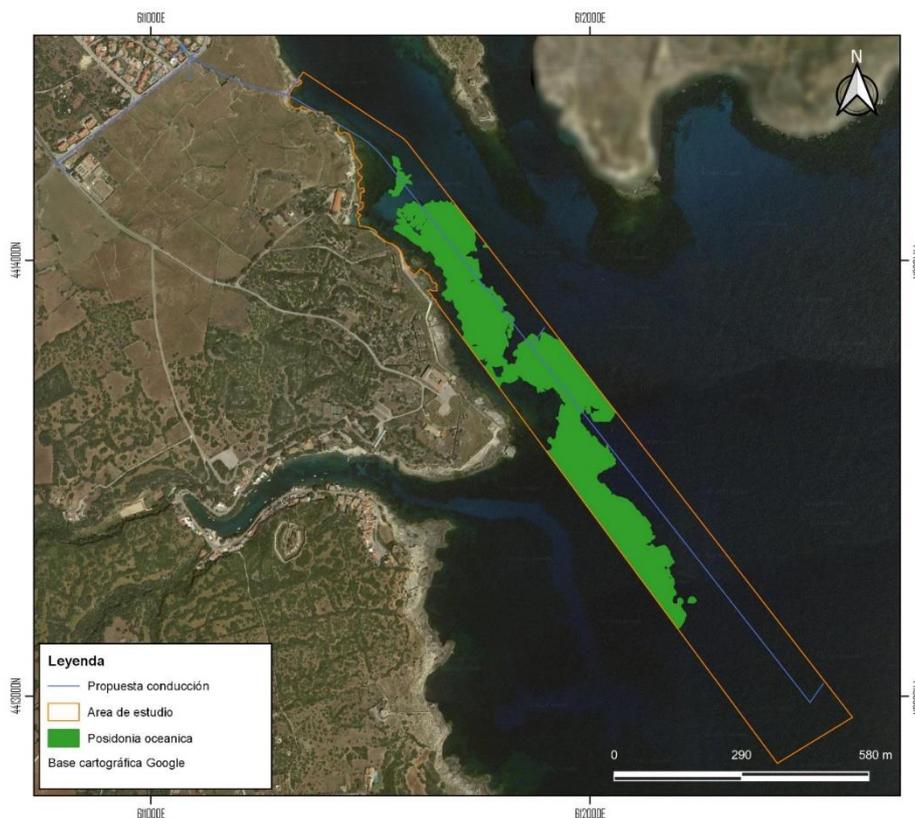
Imagen 8. Biocenosis de Arenas Finas Infralitorales Bien Calibradas en la zona de estudio. En la fotografía superior se observan haces dispersos de *Cymodocea nodosa*. **Fuente.** © OCEANSNELL, S.L.

- **Praderas de *Posidonia oceanica* (030512)**

Esta biocenosis se ha localizado a lo largo de toda el área de estudio, ocupando una superficie de 0,106 km², representando el 32,92% de la superficie total prospectada. La localización detallada de esta biocenosis se incluye en el siguiente mapa y, con mayor detalle, en el anexo cartográfico.

Las praderas de *Posidonia oceanica* se encuentran únicamente en el Mediterráneo, ya que se trata de una planta endémica de este mar. Las densas praderas que forma pueden encontrarse desde la superficie hasta una profundidad variable de hasta 40 m de profundidad, dependiendo de la transparencia del agua. En las áreas insulares mediterráneas con aguas muy claras (como en las islas Baleares), puede encontrarse hasta unos 40 m de profundidad. Sin embargo, en las costas de la Península Ibérica no suele sobrepasar los 30 m, debido a la menor transparencia de las aguas. Puede crecer tanto sobre sustratos sedimentarios como rocosos, si bien, por lo general se instala sobre fondos duros en las aguas más someras y en zonas abiertas sometidas a un hidrodinamismo intenso; mientras que en las grandes ensenadas o a mayor profundidad, donde el hidrodinamismo es menor, se instala preferentemente sobre sustratos arenosos (Templado et al., 2012).

Esta biocenosis se localiza de forma paralela a la línea de costa, desde los 2 m hasta una profundidad máxima de unos 30 m en la zona de estudio, y se encuentra tanto sobre sustrato arenoso como sobre sustrato rocoso. No se han detectado marcas de garreo, zonas de mata muerta y/o signos de regresión evidente que pongan de manifiesto un mal estado de conservación de la pradera en la zona.



A continuación, se adjuntan algunas imágenes de esta biocenosis en la zona de estudio:



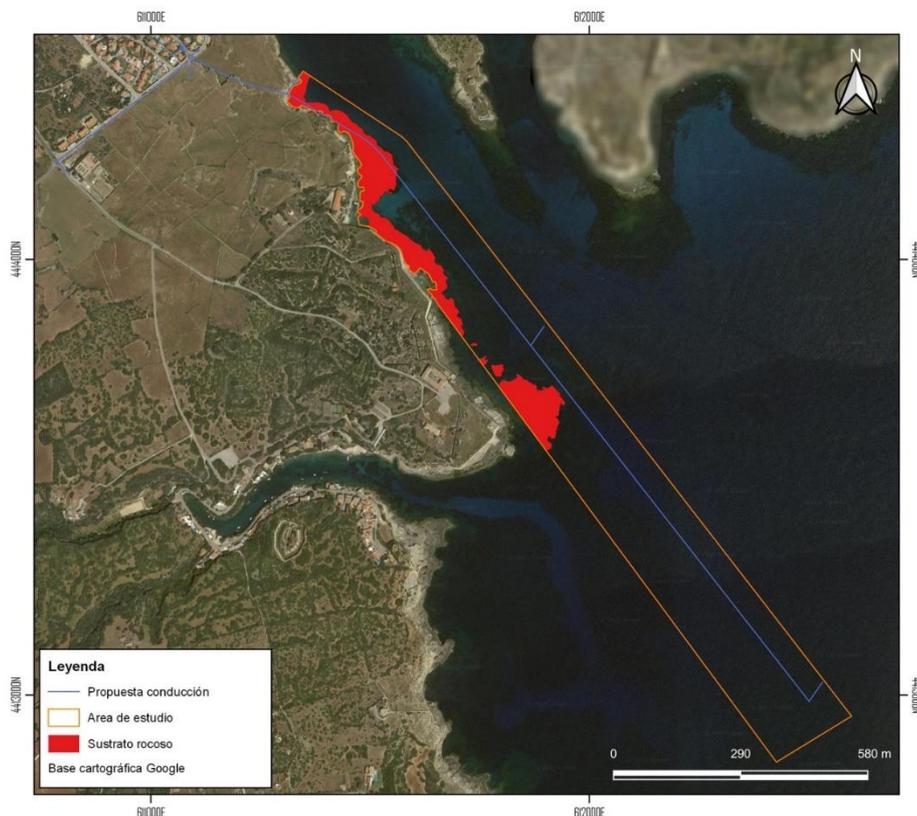
Imagen 9. Praderas de *Posidonia oceanica* sobre arena en el ámbito de estudio. **Fuente.** © OCEANSNELL, S.L.

- **Roca infralitoral inferior (030104)**

Esta biocenosis se ha localizado a lo largo de toda el área de estudio, ocupando una superficie de 0,043 km², representando el 13,35% de la superficie total prospectada. La localización detallada de esta biocenosis se incluye en el siguiente mapa y, en mayor detalle, en el anexo de cartografía.

En la zona de estudio esta comunidad se localiza en zonas someras. El recubrimiento macroalgal que presenta esta biocenosis puede ser muy variable siendo la composición florística dependiente de la cota batimétrica a la que se localice. De forma general, en este hábitat, las algas fotófilas presentes están dominadas por algas pardas y rojas de pequeño y mediano porte.

Respecto a la fauna sésil, está representada por algunas esponjas propias de lugares bien iluminados que resisten bien a la competencia con las algas. También la fauna móvil de las comunidades de algas fotófilas es muy rica. Los equinodermos están bien representados por los erizos *Paracentrotus lividus* y *Arbacia lixula*, que son los herbívoros más importantes, por la estrella de mar (*Echinaster sepositus*), por las ofiuras (*Ophiotrix fragilis*) y por el holoturioideo (*Holoturia tubulosa*).



Mapa 8. Localización del hábitat 030512 Praderas de *Posidonia oceanica* (UTM ETRS89 H31).

Fuente. © OCEANSNELL, S.L.

A continuació, se adjuntan algunes imàgenes de esta biocenosis en la zona de estudio:



Imagen 10. Roca Infralitoral inferior en el ámbito de estudio. **Fuente.** © OCEANSNELL, S.L.

- **Fondos de Maërl (03040504)**

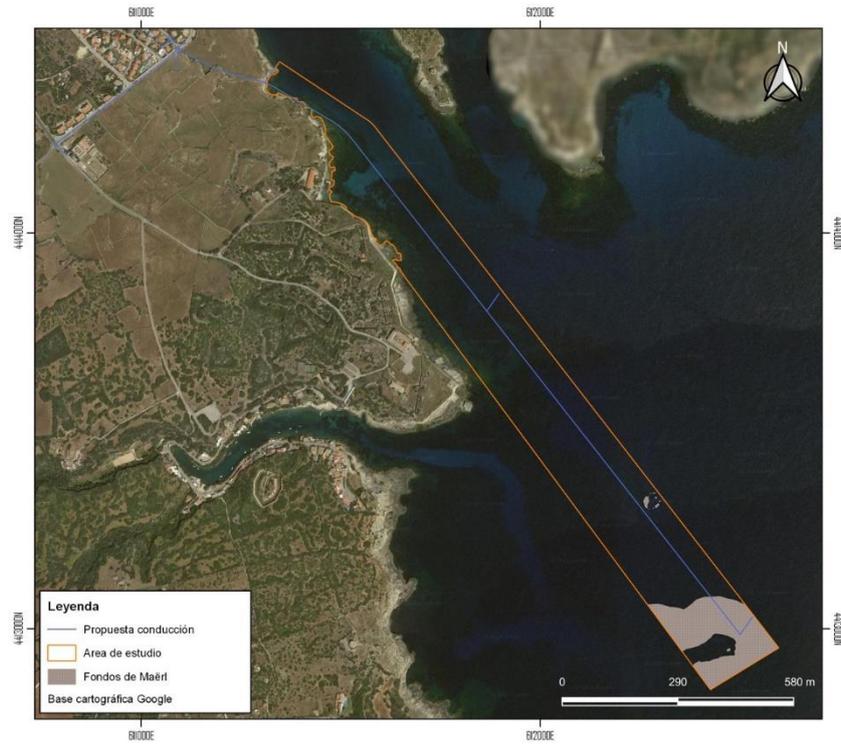
Esta biocenosis se ha localizado en la zona más profunda del área de estudio, ocupando una superficie de 0,036 km², representando el 11,18% de la superficie total prospectada. La localización detallada de esta biocenosis se incluye en el siguiente mapa y, en mayor detalle, en el anexo cartográfico.

En algunas zonas de la plataforma continental se produce una gran acumulación de algas coralinas sueltas, de forma y tamaño variable, que dan lugar a lo que se conoce como fondos “maërl”. A cada una de las algas individuales o elementos que constituyen estos fondos se le denomina “rodolito”, cuya forma puede variar desde muy ramificada a más o menos esférica, dependiendo de las condiciones hidrodinámicas (su tamaño oscila normalmente entre 1 y 6- 7 cm). Su distribución batimétrica depende directamente de la transparencia del agua y suelen hallarse en zonas de corrientes intensas. En el Mediterráneo se encuentran a profundidades comprendidas entre 30 y 150 m (Templado et al., 2012).

La importancia ecológica del maërl viene dada por la elevada diversidad de fauna y flora que alberga y al gran número de nichos ecológicos que genera su estructura tridimensional (Bosence 1983, Birkett et al. 1998).

El maërl se encuentra en fondos caracterizados por la presencia de intensas corrientes y en casos particularmente favorables estas formaciones calcáreas predominan sobre la fracción detrítica. La macrofauna bentónica asociada está representada principalmente por los poliquetos y crustáceos, sobre todo decápodos y anfípodos. Entre los poliquetos son muy importantes especies de tamaño relativamente grande como *Eunice vittata*, *Marphisa belli*, *Nematonereis unicornis* (Eunicidae), *Neanthes rubicunda* (Nereidae), *Syllis* spp. (Syllidae), *Sigalion mathildae* (Sigalionidae), *Pista cristata* (Terebellidae) y *Onuphis eremita* y *Halynoecia bilineata* (Onuphidae).

En general, los fondos de maërl suelen tener una mayor heterogeneidad, comparado con las arenas gruesas, cosa que se traduce en una mayor biodiversidad. Esta heterogeneidad se traduce también en una mayor rugosidad, que determina un incremento de la turbulencia en proximidad del fondo, favoreciendo aún más la presencia de animales que pertenecen al grupo trófico de los suspensívoros. Estos encuentran aquí un hábitat favorable, debido además a una mayor cantidad de refugios como consecuencia de la irregularidad del fondo.



Mapa 9. Localización de los fondos de Maerl en la zona de estudio (UTM ETRS89 H31).

Fuente. © OCEANSNELL, S.L.

A continuació, se adjuntan algunes imatges de esta biocenosis en la zona de estudi:

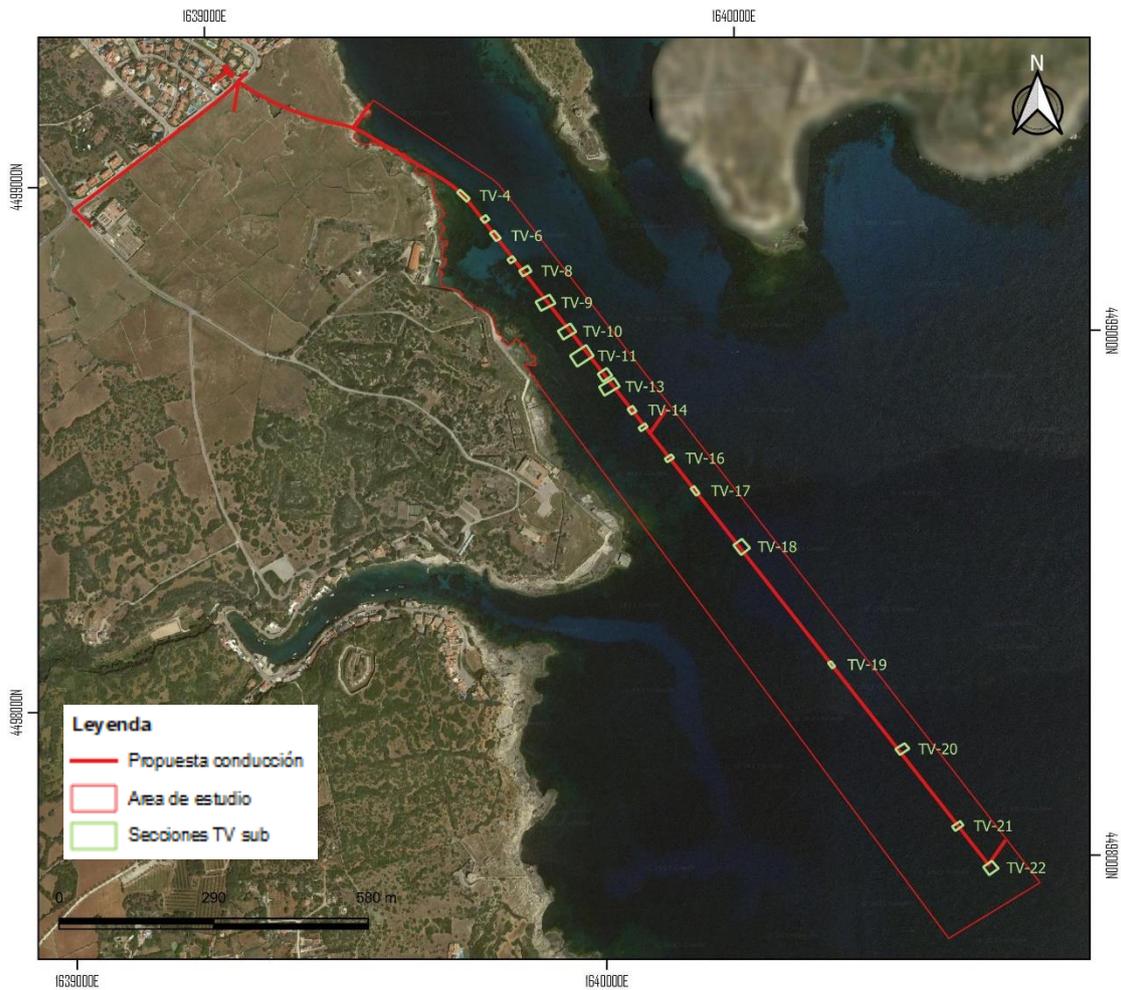




Imagen 11. Fondos de Maërl en el ámbito de estudio. **Fuente.** © OCEANSNELL, S.L.

5.3 Prospección con TV submarina

A continuación, se presentan los resultados de la filmación submarina a lo largo del trazado del futuro emisario (ver anexo vídeo).



Mapa 10. Localización secciones de TV submarina (UTM ETRS89 H31).

Fuente. © OCEANSNELL, S.L

TV-4

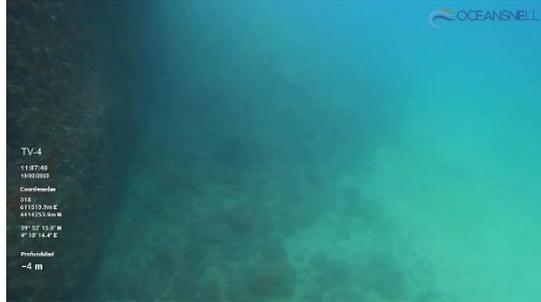


Imagen 12. Roca infralitoral con algas fotófilas y Arenas finas bien calibradas en el ámbito de estudio. **Fuente.** © OCEANSNELL, S.L.

TV-5



Imagen 13. Arenas finas bien calibradas en el ámbito de estudio. **Fuente.** © OCEANSNELL, S.L.

TV-6



Imagen 14. *Posidonia oceanica* (izquierda) y *Posidonia oceanica* sobre roca (derecha) en el ámbito de estudio. **Fuente.** © OCEANSNELL, S.L.

TV-7



Imagen 15. Praderas de *Posidonia oceanica* en el ámbito de estudio. Fuente. © OCEANSNELL, S.L.

TV-8



Imagen 16. Praderas de *Posidonia oceanica* en el ámbito de estudio. Fuente. © OCEANSNELL, S.L.

TV-9



Imagen 17. Praderas de *Posidonia oceanica* en el ámbito de estudio. Fuente. © OCEANSNELL, S.L.

TV-10



Imagen 18. Praderas de *Posidonia oceanica* en el ámbito de estudio. **Fuente.** © OCEANSNELL, S.L.

TV-11



Imagen 19. Praderas de *Posidonia oceanica* en el ámbito de estudio. **Fuente.** © OCEANSNELL, S.L.

TV-12



Imagen 20. Praderas de *Posidonia oceanica* sobre roca en el ámbito de estudio. **Fuente.** © OCEANSNELL, S.L.

TV-13



Imagen 21. Praderas de *Posidonia oceanica* sobre roca en el ámbito de estudio. Fuente. © OCEANSNELL, S.L.

TV-14

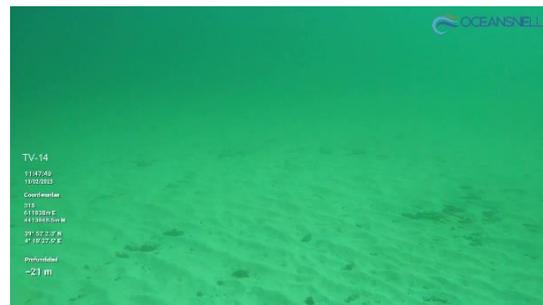


Imagen 22. Arenas finas bien calibradas en el ámbito de estudio. Fuente. © OCEANSNELL, S.L.

TV-15



Imagen 23. Praderas de *Posidonia oceanica* sobre arena en el ámbito de estudio. Fuente. © OCEANSNELL, S.L.

TV-16



Imagen 24. Praderas de *Posidonia oceanica* sobre roca en el ámbito de estudio. **Fuente.** © OCEANSNELL, S.L.

TV-17



Imagen 25. Praderas de *Posidonia oceanica* sobre roca en el ámbito de estudio. **Fuente.** © OCEANSNELL, S.L.

TV-18

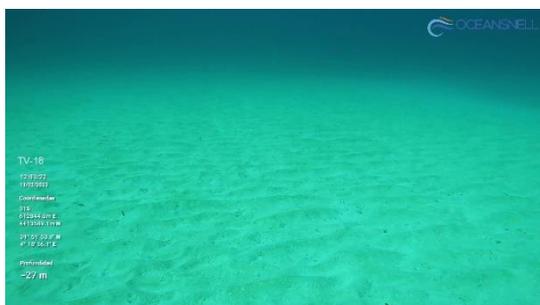


Imagen 26. Arenas finas bien calibradas en el ámbito de estudio. **Fuente.** © OCEANSNELL, S.L.

TV-19



Imagen 27. Arenas finas bien calibradas en el ámbito de estudio. **Fuente.** © OCEANSNELL, S.L.

TV-20



Imagen 28. Arenas finas bien calibradas en el ámbito de estudio. **Fuente.** © OCEANSNELL, S.L.

TV-21



Imagen 29. Detrítico costero con enclave de Maërl en el ámbito de estudio. **Fuente.** © OCEANSNELL, S.L.

TV-22



Imagen 30. Fondos de Maërl en el ámbito de estudio. Fuente. © OCEANSNELL, S.L.

6. CONCLUSIONES

Los trabajos diferentes trabajos de prospección geofísica realizados en la zona de estudio han tenido como principal objetivo llevar a cabo la asistencia técnica para la toma de datos del estado inicial previo a la ejecución de la perforación horizontal dirigida.

Se ha prospectado un total de 0,322 Km² de fondo marino. El rango batimétrico en la zona de estudio a variado entre 0 y 37 metros de profundidad. La tipología de fondo presente en la zona de estudio es principalmente de carácter arenoso, siendo la biocenosis de las arenas finas bien calibradas la biocenosis predominante. En las zonas más someras próximas a costa se ha detectado sustrato rocoso recubierto o no por *Posidonia oceanica*. La segunda biocenosis más abundante en la zona de estudio han sido las praderas de *Posidonia oceanica*, las cuales están presentes sobre sustratos blandos y duros. También se han detectado las biocenosis de roca infralitoral inferior en las zonas más someras próximas a costa y la biocenosis de fondos de Maërl en las zonas más profundas.

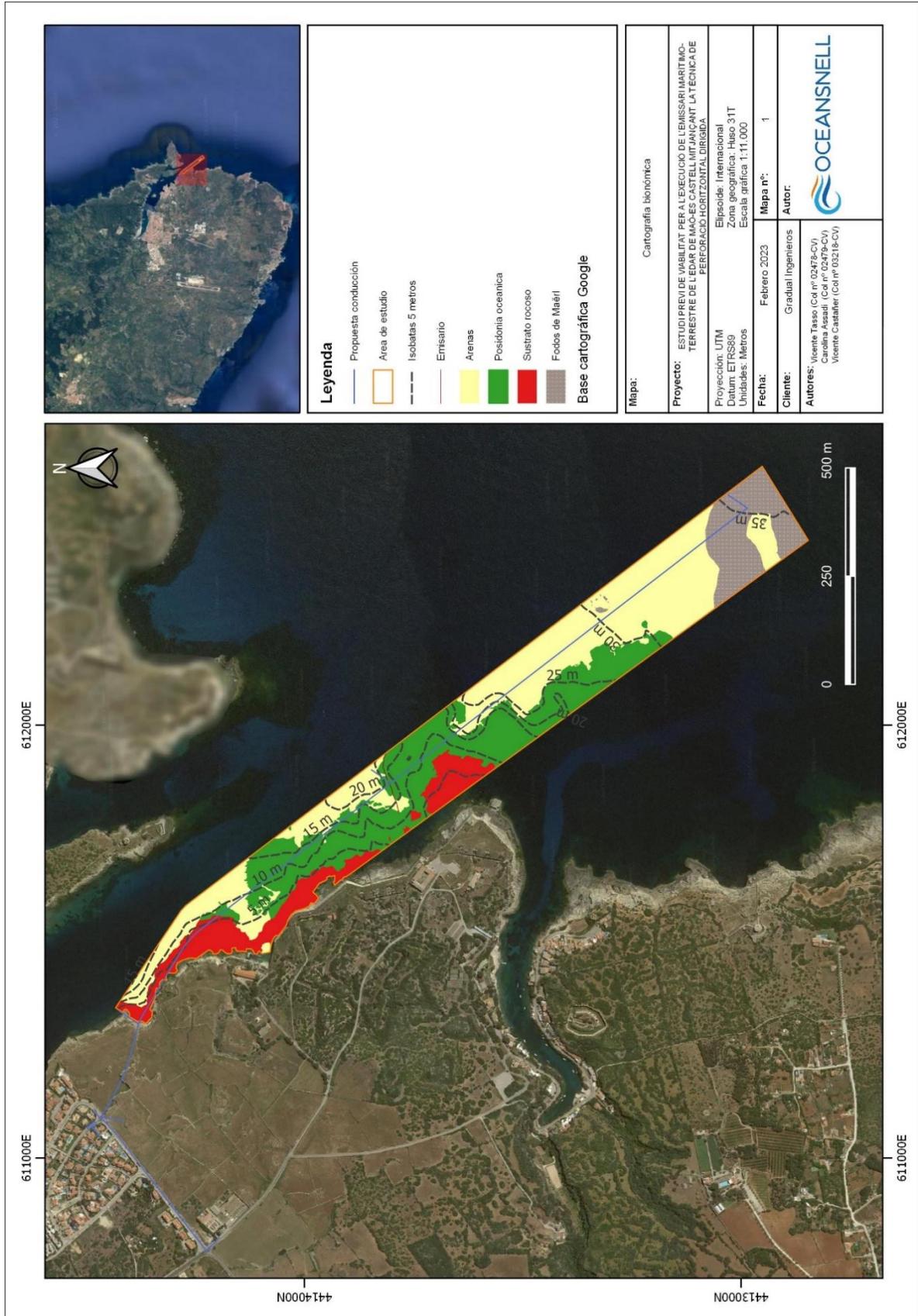
	«ESTUDI PREVI DE VIABILITAT PER A L'EXECUCIÓ DE L'EMISSARI MARÍTIMO-TERRESTRE DE L'EDAR DE MAÓ-ES CASTELL MITJANÇANT LA TÈCNICA DE PERFORACIÓ HORIZONTAL DIRIGIDA»	P23001 Ed. 1
		Pág. 33 de 36

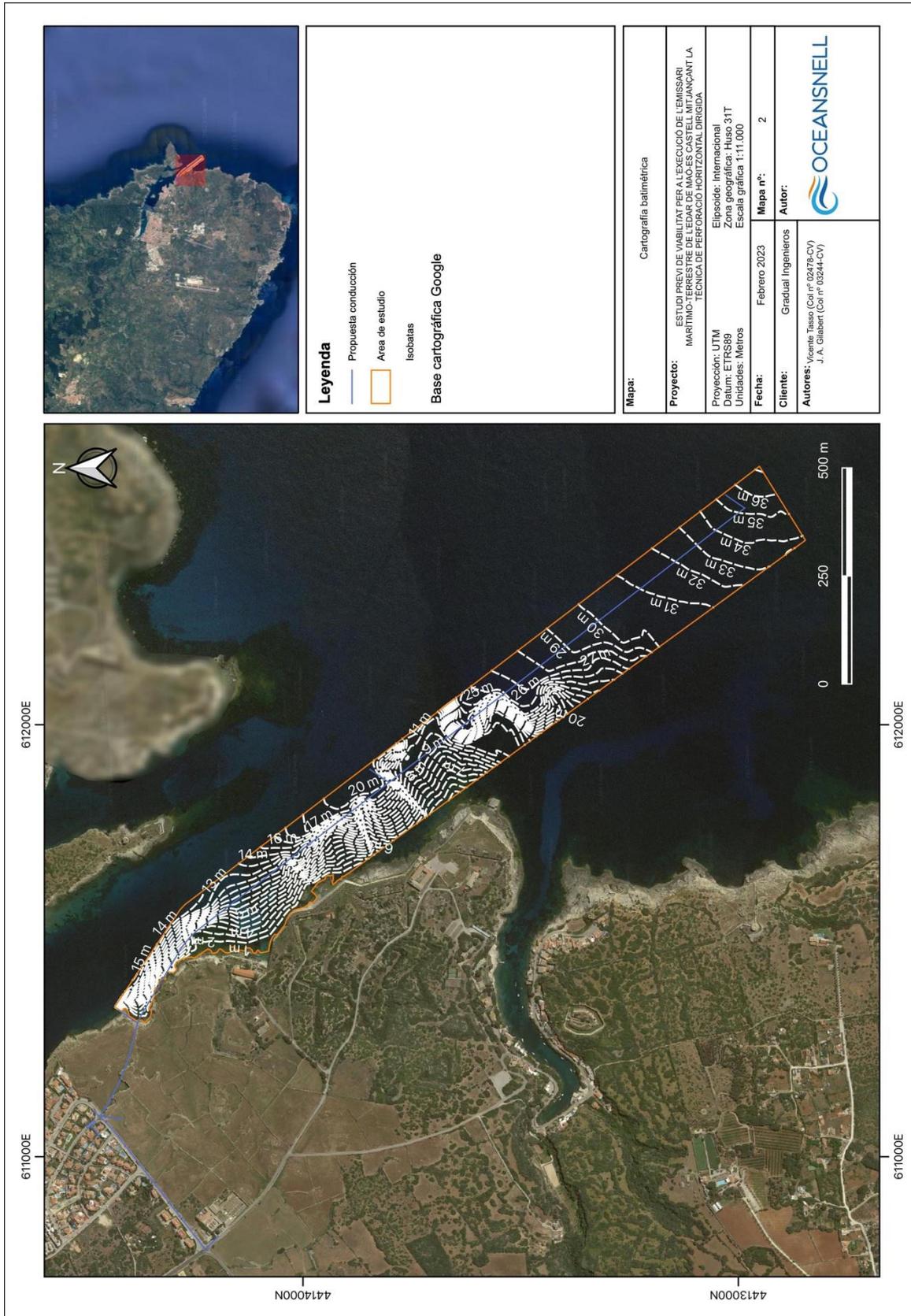
7. REFERENCIAS

- Bosence, D.W.J. (1983). Description and classification of Rhodoliths (Rhodoids, Rhodolites). In: Coated Grains. (Perry, T.M. Eds) Berlin: Springer Verlag.
- D.A.Birkett, C.A.Maggs, M.J.Dring. 1998. Maerl (volume V). An overview of dynamic and sensitivity characteristics for conservation management of marine SACs. Scottish Association for Marine Science. (UK Marine SACs Project). 116 pages
- Davies C.E., Moss D., O Hill M. (2004). Eunis Habitat Classification. European Environmental Agency. European Topic Centre on Nature Protection and Biodiversity.
- IHO (International Hydrographic Organization) (2008), Normas de la IHO para los levantamientos hidrográficos, Publicación Especial nº 44, 5ª Edición, Bureau Hidrográfico Internacional, Mónaco.
- IHO (International Hydrographic Organization) (2005), Manual de Hidrografía, Publicación M13, 1ª Edición, Bureau Hidrográfico Internacional, Mónaco.
- Templado, J., Ballesteros, E., Galparsoro, I., Borja, A., Serrano, A., Martín, L. y Brito, A. (2012). Guía Interpretativa: Inventario Español de Hábitats Marinos. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

	«ESTUDI PREVI DE VIABILITAT PER A L'EXECUCIÓ DE L'EMISSARI MARÍTIMO-TERRESTRE DE L'EDAR DE MAÓ-ES CASTELL MITJANÇANT LA TÈCNICA DE PERFORACIÓ HORIZONTAL DIRIGIDA»	P23001 Ed. 1 Pág. 34 de 36
--	--	-------------------------------

ANEXO CARTOGRAFICO





ANEJO 6 – INFORME ARQUEOLÓGICO

Informe arqueológico

ESTUDIO PREVIO DE VIABILIDAD PARA LA EJECUCIÓN DEL EMISARIO MARÍTIMO-TERRESTRE DE LA EDAR DE MAHÓN-ES CASTELL MEDIANTE LA TÉCNICA DE PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA



PROMOTOR: GRADUAL INGENIEROS

UBICACIÓN: T.M. ES CASTELL

BIEN AFECTADO: ARRAVAL DE SANT FELIP (TNR05, TNR08)

CAUSA INTERVENCIÓN: ESTUDIO DE VIABILIDAD EMISARIO MARÍTIMO-TERRESTRE MEDIANTE PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA (PHD)

TIPO DE INTERVENCIÓN: ESTUDIO DE VIABILIDAD

FECHA REDACCIÓN: 08/01/2023

Carlos de Salort Giménez
Arqueólogo colegiado núm. 3344

CONTENIDO

1.- MARCO LEGAL	3
2.- ANTECEDENTES	3
3.- DESCRIPCIÓN DEL BIEN AFECTADO	4
3.1.- RAVAL DE SANT FELIP (TVR, TNR, CSE)	4
4.- INTERVENCIÓN PROPUESTA	10
5.- ANÁLISIS AFECTACIÓN DE LA PHD AL RAVAL DE SANT FELIP (TNR)	11
6.- PROBLEMÁTICA ARQUEOLÓGICA	16
7.- PROPUESTA DE INTERVENCIÓN ARQUEOLÓGICA	18
8.- REFERENCIAS	20

A1.- PLANTA Y SECCIÓN TRAZADO EMISARIO MARÍTIMO-TERRESTRE
A2.- PLANTA Y SECCIÓN TRAZADO DE LA PHD

1.- MARCO LEGAL

-Ley 16/1985 de 25 de junio del Patrimonio Histórico Español.

-Ley 12/1998 de 21 de diciembre del Patrimonio Histórico de les Illes Balears

-Decreto 14/2011, “Reglament d’Intervencions Arqueològiques i Paleontològiques de les Illes Balears”.

-BOIB núm. 51, 24/04/1999, “Pla Especial de Protecció del Conjunt Històric Artístic de Ciutadella de Menorca” aprobado inicialmente (22/02/1999) por la Comissió Insular d’Urbanisme de Menorca y el Ajuntament de Ciutadella (11/03/1999).

-“Catàleg de Patrimoni Històric del municipi des Castell” aprobado provisionalmente en Pleno del Ajuntamento de data 18/07/17.

2.- ANTECEDENTES

Los antecedentes se exponen en orden de recepción de quien suscribe este informe previo:

1.- En diciembre de 2022, la empresa GRADUAL INGENIEROS S.L. solicita la redacción de un estudio de viabilidad de ejecución de un emisario marítimo-terrestre de la EDAR de Mahón-Es Castell mediante la técnica de perforación horizontal dirigida. Se adjunta a la solicitud, un plano ortofotográfico, escala 1/1500, con el trazado terrestre del emisario, el cual se ejecutaría, una primera parte, en AV. DES PORT, mediante una zanja tradicional y, una segunda, en la parcela 07064A00500003 del paraje conocido como SANT FELIP dentro de la finca Sa Torre Nova del Rei, mediante perforación horizontal dirigida.

2.- En enero de 2022, GRADUAL facilita la siguiente documentación:

-Plano 1/1500 con el trazado terrestre del emisario y perfil longitudinal de todo el trazado del emisario.

-“ESTUDIO GEORADAR EN LA AV/DES PORT DES CASTELL” a cargo de GEOTOPSA SL. fechado en enero 2023.

-“ESTUDIO GEOFÍSICO MEDIANTE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA 2D Y TOMOGRAFÍA MARINA 2D PARA LA CARACTERIZACIÓN RESISTIVA DEL SUBSUELO A LO LARGO DE TRAZADO DE PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA PARA EMISARIO SUBMARINO EN MENORCA (ILLES BALEARS)” a cargo de GEOZONE ASESORES S.L.

-“ESTUDIO GEOTÉCNICO PARA PERFORACIONES HORIZONTALES DIRIGIDAS” a cargo de GEOTECHNICAL SOLUTIONS S.L. fechado en enero de 2023.

3.- DESCRIPCIÓN DEL BIEN AFECTADO

3.1.- RAVAL DE SANT FELIP (TVR, TNR, CSE)

Zona arqueológica comprendida entre los restos del castillo de Sant Felip al E, la Av/Des Port des Castell, límite meridional de la urbanización Sol del Este, la costa y las casas prediales de Torrenova del Rei. Se trata de la extensión de terreno que aproximadamente ocupó, entre 1554 y 1771, la población del Raval de Sant Felip. Si bien, en toda la zona se observan trazas y restos materiales de este asentamiento —como són elementos arquitectónicos desplazados, excavaciones en la roca, materiales cerámicos, etc—; los bienes subscritos al Raval y registrados en el Registre de Patrimoni Immoble del CIM son una docena bajo las siglas Torrenova del Rei (TNR) , Torrevella del Rei (TVR) y Cala Sant Esteve (CSE).

La construcción del castillo de Sant Felip en la bocana del puerto de Maó, ordenada por Felipe II en 1555, para prevenir ataques de los turcos —como el de Barbarroja en Septiembre de 1535 a Maó— movilizó a personal militar y civil el cual se asentó en torno al castillo. Esta población se dedicará a proveer la guarnición militar con el privilegio de exclusividad y será jurídica y fiscalmente independiente de las autoridades civiles de la isla, dependiendo de las órdenes del alcaide del castillo.



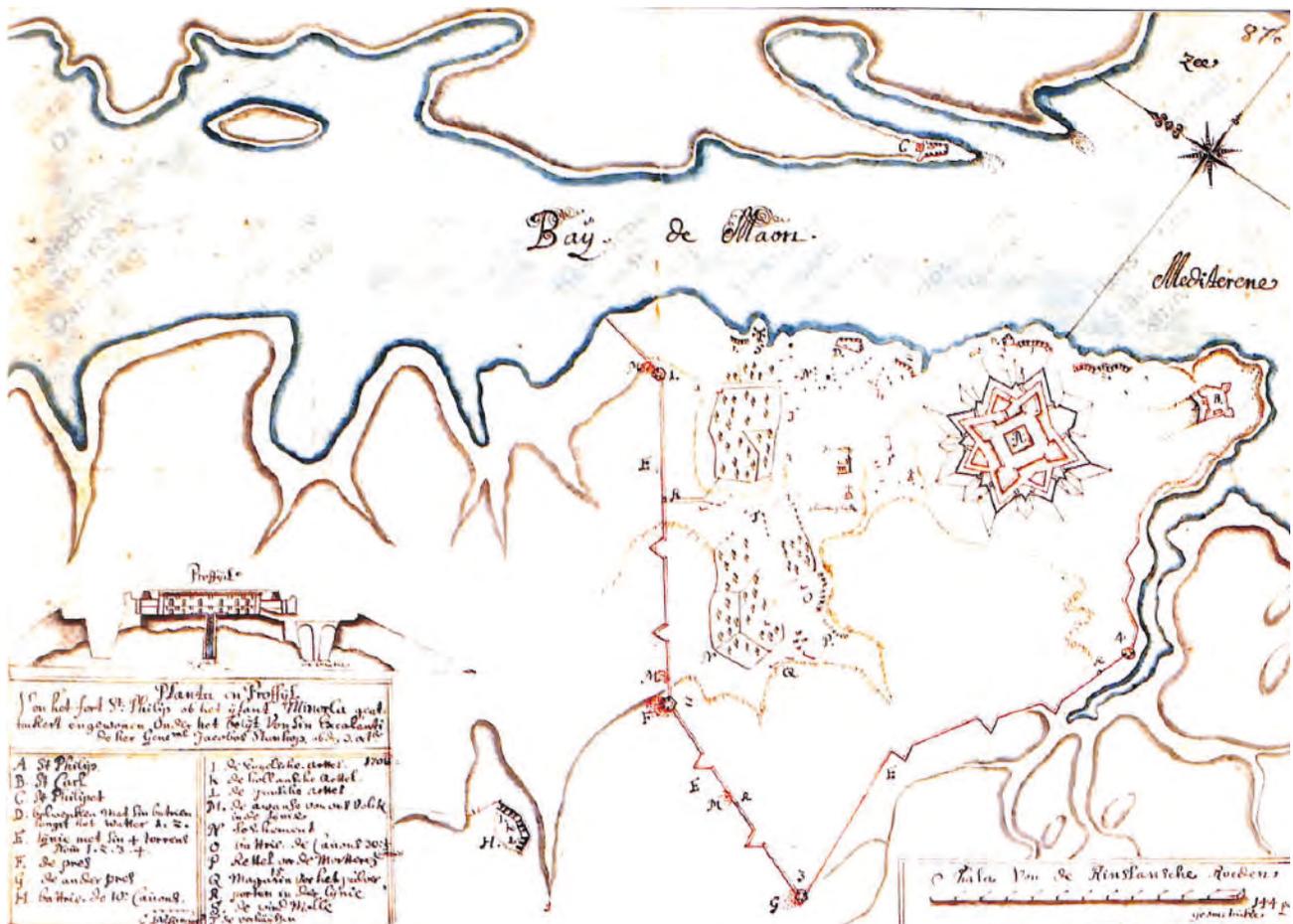
Figura 1. Plano del castillo de Sant Felip y el viejo Raval según J.B. Leiva (siglo XVII). El Raval se conforma en dos zonas: una una *Villa Vieja* y, en el interior, una *Villa Nueva*.



2. Sant Felip con todos los elementos descritos en el texto.

Pronto se advirtió el potencial riesgo que suponía para el castillo la presencia del pueblo a pocos pasos de sus muros. Las edificaciones podían servir de parapeto de cualquier ejército atacante y su posición intermedia entre el castillo y el puerto, dificultaría el fuego cruzado hacia las aguas interiores del puerto. Pedro Riudavets, da a entender que tal imprevisión fue por “[...] la condescendencia de sus primeros alcaldes o gobernadores [...]” quienes permitieron “[...] a algunos soldados casados de la guarnición levantar casuchas dentro del recinto de sus muros, extendiéndose estas sencillas construcciones a mayor distancia [...]” (Riudavets, III, IV, 2274). La cartografía disponible, en especial “Planta de la fortificación del Cast^o de San Felipe en Mahón” de Juan Bautista Leiva, ofrece una imagen aproximada de la situación del Raval respecto al castillo (figura 1). En este plano, se observa como durante el siglo XVI se había edificado en las inmediaciones del castillo una *Villa Viexa* cerca de la costa y una *Villa Nueva* en el interior. Entre la *Villa Nueva* y el castillo, se había levantado el *Rosario*, una capilla subsidiaria a la iglesia del interior del castillo.

A poco de la llegada de los británicos, en el marco de la Guerra de Sucesión, en 1707, el gobernador Dávila hizo levantar un muro de piedra en seco con banquetas, tres torres de planta hexagonal —del Príncipe, de la Reina, San Diego— y una de planta cuadrada —la del Rey. Tanto el muro de piedra como las torres, las cuales fueron rebautizadas por los británicos *New Road Tower*, *Garden Tower*, *Water Tower* y *Stanhope Tower*, se mantuvieron en pie hasta la demolición y traslado del Raval (fig. 3). Según Vilardell,



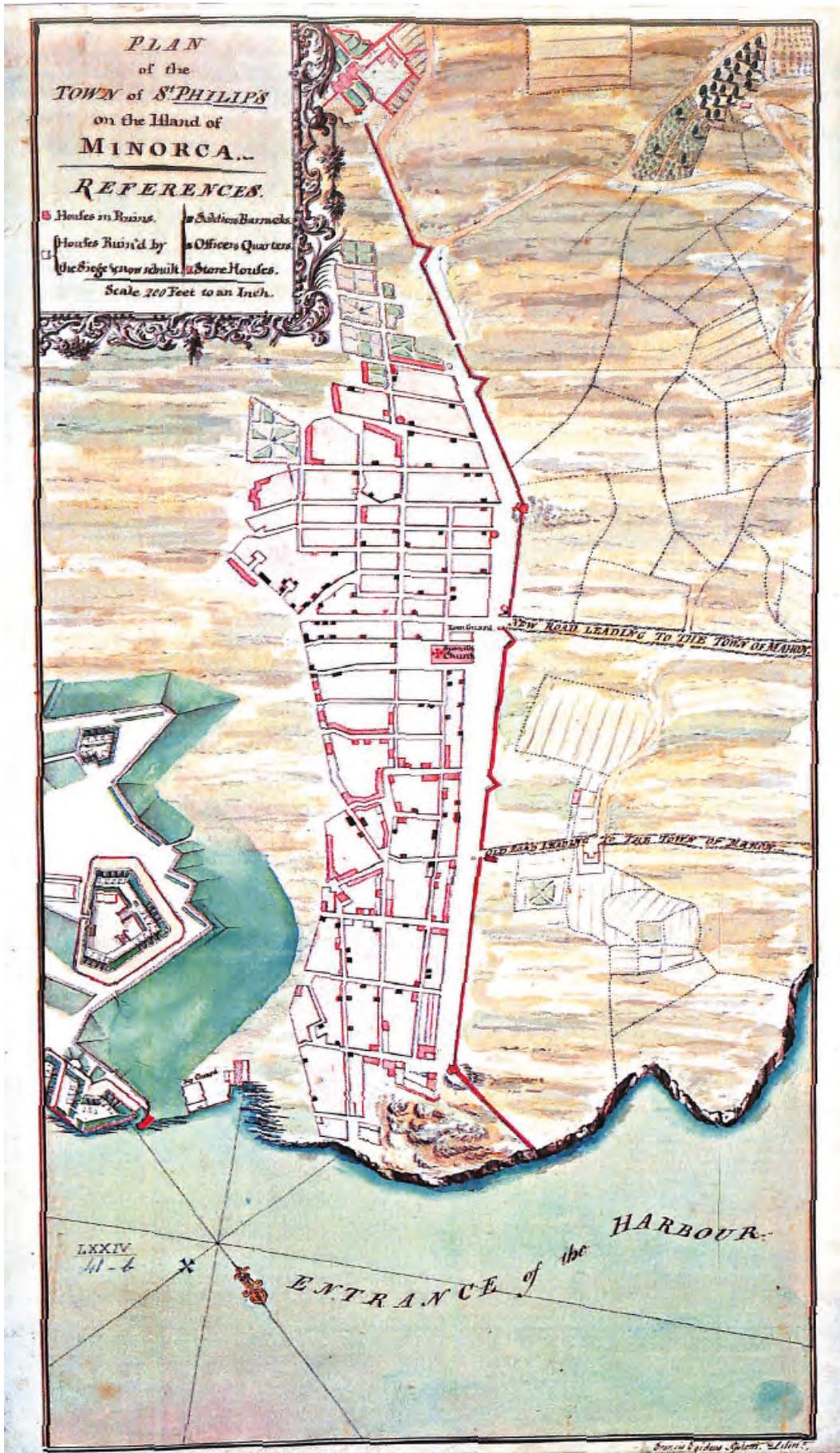
3. Plano del castillo de Sant Felip y el viejo Raval según L. V. Ringer (1708). El Raval está delimitado por un muro de piedra y cuatro torres cuyos cimientos todavía son visibles.

(2006, 13) y siguiendo a John Amstrong (1740), este muro nunca tuvo valor defensivo sino puramente jurisdiccional y de control de entrada y salida de mercancías. Parte del muro de piedra de 1707 se conserva en el muro que limita la urbanización Sol del Este en la Av/ Des Port des Castell. También es posible observar de forma parcial los cimientos de la torre del Príncipe —CSE17—, del Rei —TNR06—, de San Diego —TNR05— y del Rei dentro del caserío de Torrenova del Rei (TNR07)(Terrón 2015, 47).

Tras la consolidación política de la presencia británica en Menorca, mediante el tratado de Utrecht de 1713, la defensa de Menorca y el puerto de Maó como plaza estratégica fue prioridad y comportó el desarrollo del castillo de Sant Felip hasta convertirse en una de las fortalezas más importantes de su tiempo. Este contexto político colocó el puerto de Maó, con mucha frecuencia, en los medios de comunicación del momento y se produjeron en Europa centenares de mapas que hoy permiten disponer de una buena imagen de la evolución de Sant Felip y su Raval.

Los británicos realizaron numerosas obras en el castillo, entre 1712 y 1738, de acuerdo con los preceptos de Sébastien le Preste, señor de Vauban. Añadiendo revellines, contraguarnidas y lunetas conectadas mediante galerías subterráneas, conformaron un conjunto estrellado de construcciones que escalonaban la defensa en profundidad (Fornals 1996, 49-79). La construcción del llamado Reducto de la Reina obligó a derribar numerosos edificios del Raval, entre los cuales la capilla del *Rosario*. A falta de un plan realista de traslado del Raval a una localización idónea para el funcionamiento de la fortaleza, las edificaciones derribadas fueron reconstruidas unos 200 m al oeste de la fortaleza, pero todavía dentro de la valla de pared seca. En 1719, se levantó una nueva iglesia del *Rosario* en el punto de encuentro entre la valla y el camino a Maó, donde actualmente el cementerio des Castell. De hecho, durante las obras de ampliación de dicho cementerio, entre 2000-2001, se documentó y recuperó parte de esta iglesia —TNR02— y cimentaciones, cisternas y sótanos de otras edificaciones que delimitaban parte de la explanada y la vía principal de acceso a la población —TNR03— (Pons en Andreu 2006, 36-49). La cartografía permite constatar como durante la primera mitad del siglo XVIII el Raval, gracias al impulso y amparo de la guarnición militar, se hiperdesarrolló a ambos lados del eje principal del camino a Maó, la actual Ctra. de Sant Felip. En perpendicular al camino se observan dos o tres vías que van de la costa a las proximidades del caserío de Torrenova del Rei. Según A. Ramis i Ramis (1828, 28), en 1749, alojaba 3033 vecinos y, en 1754, 3160. Por la documentación existente y las descripciones de sus coetáneos, se conoce que en el Raval se localizaban cuarteles para la tropa, alojamientos para oficiales y numerosos civiles, la mayoría dedicados al avituallamiento de la guarnición —cultivando en centenares de huertos y viñedos ubicados en torno el camino de Maó— o a la construcción —canteros y carpinteros dedicados a las infinitas obras de fortificación. Además, esta población tenía una intensa relación con el mar, dedicándose también a la pesca y a la navegación comercial (Marí en Andreu 2006, 30-31).

La Guerra de los Siete Años (1756-1763) desencadenó la invasión de la isla por parte de los franceses en abril y junio de 1756, quienes, como era de esperar, aprovecharon las calles del Raval para emplazar sus cañones, morteros y municiones así como observatorios en las terrazas de los edificios (Fornals 1996, 85). Según Riudavets, respecto al Raval “[...] Lo único que hicieron los ingleses antes de abandonar aquel pueblo, fué derribar la casa del ingeniero jefe, y cuatro molinos de viento, que por su altura y solidez, les fueron de gran utilidad a los sitiadores. [...]” (Riudavets, 1888, II,



4. Plano del Raval después del sitio francés de 1756 según Patrick Mackellar (1764). Es el levantamiento planimétrico que mejor detalla los edificios existentes.

1324). Los restos de la casa del ingeniero jefe, Patrick Mackellar, están registrados en la localización TVR-07 y TVR08 (Terrón 2015, 48). Después de la rendición inglesa y durante los ocho años de dominio francés, se planteó nuevamente la demolición y traslado del Raval a otro lugar; sin embargo, esto no llegó suceder y los *Felipets* —que así es como se llamaba a los habitantes del Raval— empezaron a reconstruir sus casas.

En 1763, mediante la Paz de París, los británicos recuperaron la isla y, definitivamente, llegó el inicio del fin del Raval. Desde el primer momento, el coronel ingeniero, Patrick Mackellar, se centró en el traslado de la población, acabando por planificar su traslado a la ubicación que ocupa el actual Es Castell. Paradojicamente, el levantamiento planimétrico de 1764 de la población ha demoler, en el que se detalla el estado de los edificios existentes tras el asedio francés de 1756, es el mejor para disponer de una imagen precisa y ajustada de la población (fig. 4). Según Vilardell (2005, 240-241): “La precisión del dibujo de Mackellar nos permite conocer las características formales de esta población de 942 viviendas que albergaba a más de tres mil personas, en una extensión de dieciocho hectáreas, es decir, similar a la de su vecina Mahón. Una población de más de sesenta piezas urbanas con diferentes tamaños y medidas —en correspondencia con las diferentes fases de crecimiento— de manera que, los trazados a cordel, regulares y homogéneos, sugieren su pertenencia a períodos más recientes.”

El proceso de traslado del Raval arrancó en febrero de 1771 con la denominada “Proclamación de Moystin”, señalada acta fundacional de la nueva población que se llamó *Georgetown*. Los *Felipets*, que en la nueva ubicación contarán con las mismas prebendas fiscales y jurisdiccionales que siempre, contarán con parcelas de la misma dimensión a las que poseían en el Raval y emplearán el material de sus viejas casas para construir las nuevas (Vilardell 2005, 244-249). De hecho, los trabajos arqueológicos en el cementerio ubicado sobre el viejo Raval, sirvieron, en gran medida, para constatar que todas las edificaciones estaban demolidas hasta sus cimientos, el piso nivelado y la mayoría de



5. Plano esquemático del asedio de las tropas del duque de Crillon. Se observan una serie de reductos para artillería montados en el territorio que antes ocupaba el Raval. En 1782, ya se había realizado el traslado del Raval a la ubicación que ocupa actualmente Es Castell.

materiales trasladados en un proceso que se acostumbra a dar por culminado en el año 1777 (Pons en Andreu 2006).

En 1781 y 1782, las tropas del duque de Crillon invadieron para la corona española la isla, acabando con el asedio y posterior rendición de la fortaleza de Sant Felip en febrero del 82. Para llevar a cabo el sitio, se montaron en las inmediaciones de la fortaleza una serie de baterías para bombardear la fortaleza. Los vestigios de una de estas se conserva muy cierta de la zona llamada Es Pouet, la del coronel Caro —TNR08. Diez días después de la capitulación del castillo, Carlos III disponía la demolición de la fortaleza de Sant Felip y fuertes inmediatos, dejando, unicamente, las torres y baterías precisas para responder a posibles ataques de corsarios berberiscos (Fornals 1996). La justificación dada por la corona española fue que la voladura del castillo era dejar a los enemigos sin fortificación en la que parapetarse. Según José L. Terrón Ponce (1988, 141-155) está acción pretendía restar valor a Menorca ante una próxima negociación con los británicos.

4.- INTERVENCIÓN PROPUESTA

“ESTUDIO PREVIO DE VIABILIDAD PARA LA EJECUCIÓN DEL EMISARIO MARÍTIMO-TERRESTRE...” propone la ejecución de un nuevo emisario submarino-terrestre, cuyo trazado terrestre se ejecutaría una primera parte, mediante la técnica tradicional, y una segunda mediante PHD (Perforación Horizontal Dirigida). El trazado y la técnica de ejecución són los siguientes:

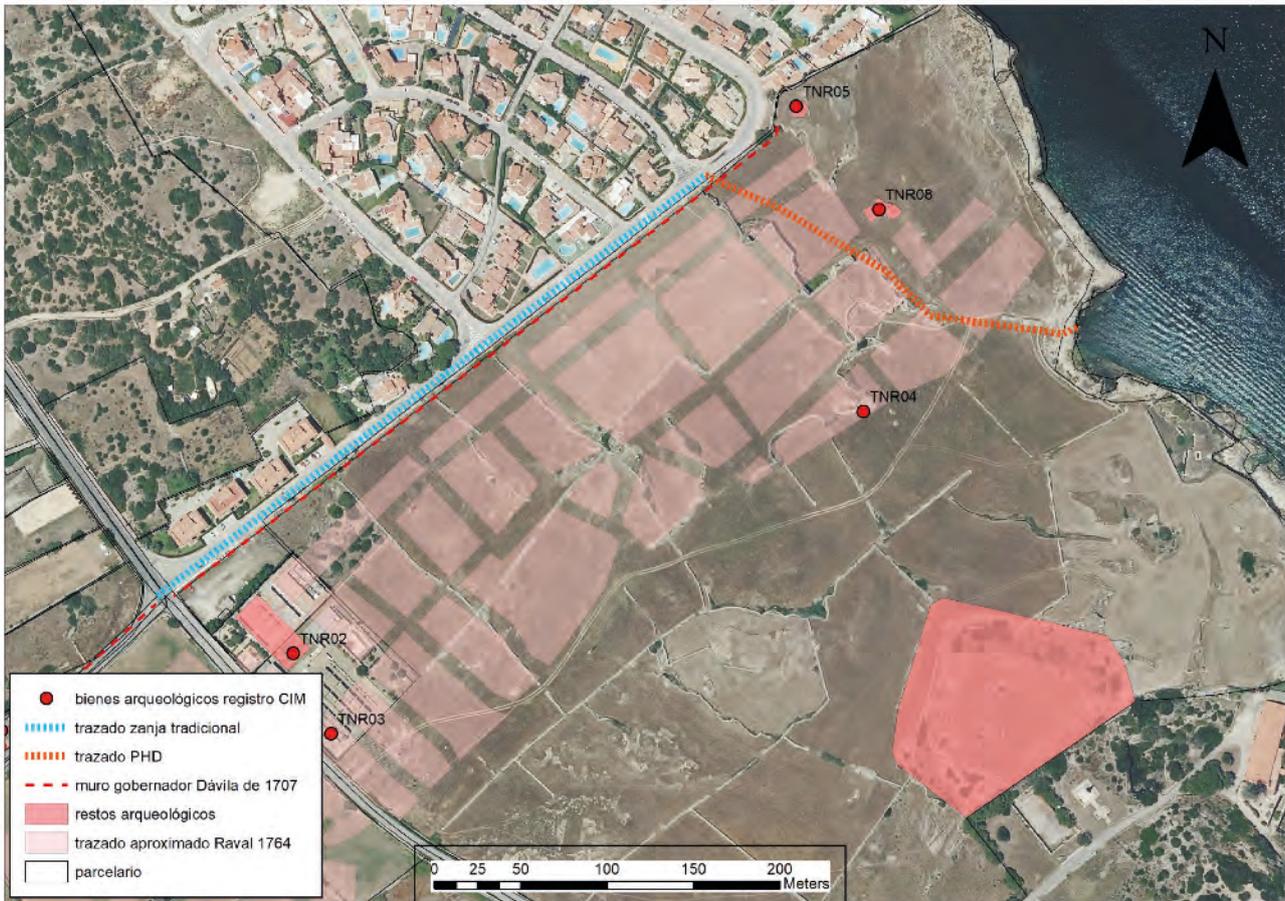
1.- Inicio del tramo proyectado en el cruce entre la Ctra. de Sant Felip, la des Castell a Sant Lluís y la AV/DES PORT DES CASTELL. El emisario discurriría unos 390 m por la AV/DES PORT DES CASTELL hasta aproximadamente la altura del C/Lepanto. La instalación del emisario se llevaría a cabo MEDIANTE LA TÉCNICA TRADICIONAL.

2.- Continúa el emisario desde la AV/DES PORT DES CASTELL, por la parcela en rústico de 07064A00500003 (SANT FELIP) unos 240 m hasta alcanzar la costa por el punto conocido como ES POUET. La instalación del emisario se llevaría a cabo MEDIANTE LA TÉCNICA DE LA PHD (Perforación Horizontal Dirigida).

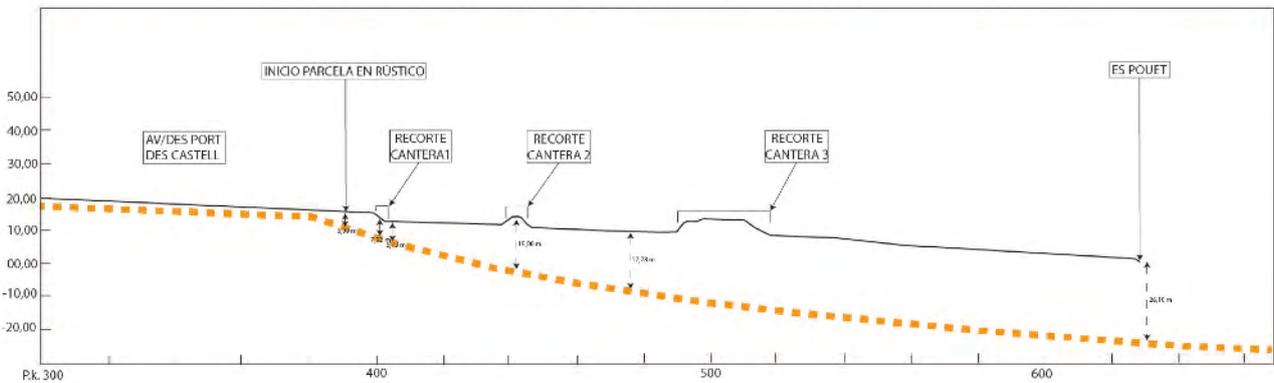
La técnica PHD consistiría en perforar, de forma remota desde la superficie los estratos inferiores del terreno. De esta manera, se substituye a la zanja tradicional, evitando afectar a posibles restos soterrados en el tramo terrestre y especies protegidas en el tramo marino.

En el plano 1/1500 con el trazado terrestre del emisario y perfil longitudinal de todo el trazado del emisario (fig. 6 y anejo 1.A), se plantea es colocar la perforadora en C/ LEPANTO, para iniciar la perforación en la AV/DES PORT DES CASTELL soterrándose a 16º alcanzando la PARCELA EN RÚSTICO a 5 m de profundidad aprox. respecto a la cota sobre el nivel del mar.

Ya dentro de la PARCELA EN RÚSTICO, la perforadora se soterraría de los 5,00 m a los 10,00 m aprox. respecto a la cota s. n. del m. durante los primeros 20 m. Alcanzaría los 17,78 m de profundidad s. n. del m. a los 80 m de recorrido y finalizaría el tramo terrestre en ES POUET a una profundidad de 26,10 m.



SECCIÓN EMISARIO DESDE AV/PORT DES CASTELL - ES POUET MEDIANTE PHD



6. Planta del trazado del emisario y sección del tramo que se plantea ejecutar mediante PHD.

5.- ANÁLISIS AFECTACIÓN DE LA PHD AL RAVAL DE SANT FELIP (TNR)

El objeto de “ESTUDIO PREVIO DE VIABILIDAD PARA LA EJECUCIÓN DEL EMISARIO MARÍTIMO-TERRESTRE...” es evaluar la entidad de los restos arqueológicos presentes en la traza del emisario para poder validar la profundidad debe ir la perforadora.

Básicamente, la metodología empleada para la elaboración del presente estudio a consistido en:

Finalizada la invasión francesa y el sitio del castillo, entre abril y junio de 1756, el Raval quedará parcialmente destruido. Además, según Riudavets (1888, II, 1324) los molinos de viento fueron demolidos por los mismos sitiados antes de la llegada de los franceses. En consecuencia, el plano de P. MacKellar, de 1764, informativo el estado del Raval después del sitio, ya no ilustra ningún molino de viento, por contra, se observan los diferentes elementos:

-En perpendicular a la torre de San Diego o *Waters Tower* —TNR05— hacia el S había un conjunto de edificios que posiblemente servían de almacén (A), configurando la vertiente E de una calle (B) la cual era cruzada por tres calles.

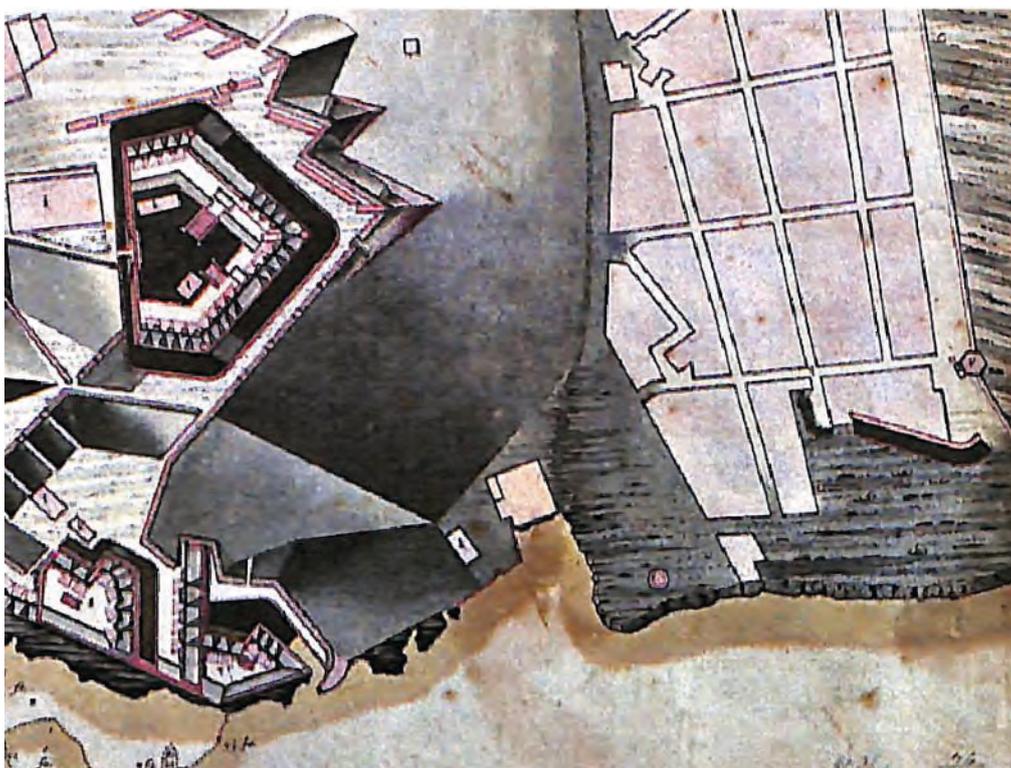
-En la vertiente O de la calle B habría más edificaciones, algunas de las cuales también servirían de almacén, así como alojamiento para soldados u oficiales (C).

-En en Es Pouet había un almacén (D) y una garita o una casa de guardia (E).

A partir de 1771, comienza la demolición, remoción y anivelamiento del sector. Trasladada la población a *Georgetown*, se producirá en 1781 y 1782, el asedio del castillo del duque de Crillon para la corona española. En el sector del trazado del PHD se emplazará una batería o reducto para artillería del cual tenemos constancia por el trabajo de Terrón Ponce (2015) y por el plano de De la Tour de Auvergne de 1782 que ilustra los diferentes reductos y baterías para el sitio de la fortaleza. En el plano aparece como *Reducto de Caro* (B) (fig. 11).



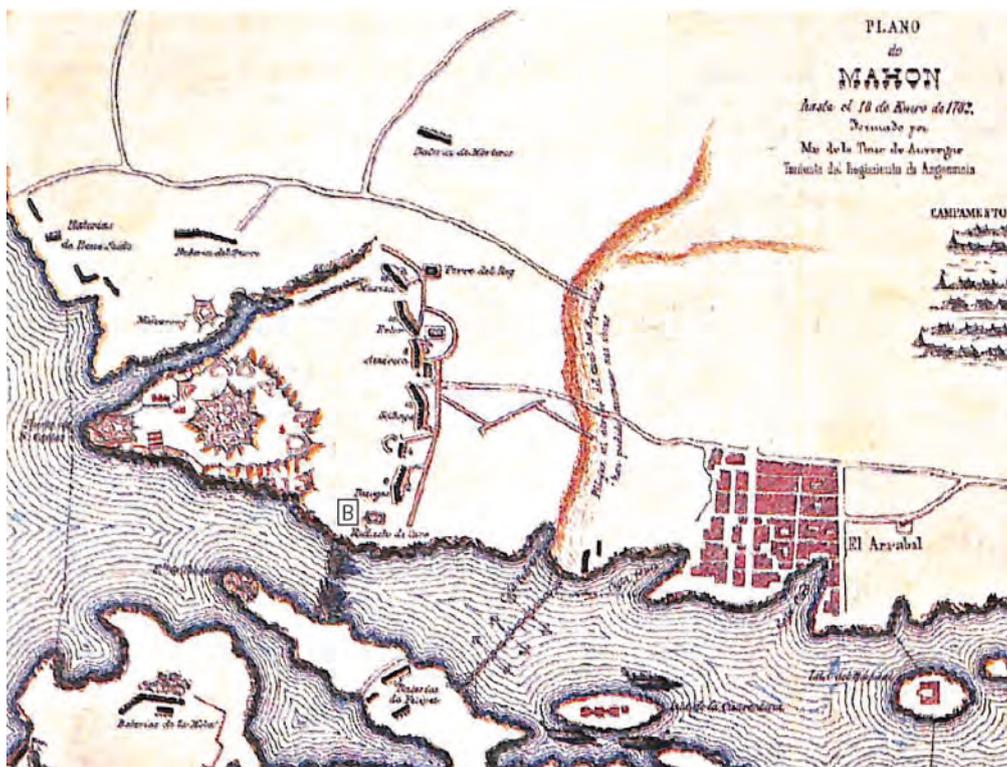
8. Detalle del plano del castillo de Sant Felip y el Raval según L.V. Ringler (1708) reflejando el episodio de la toma del castillo en 1708. En el sector por donde se plantea trazar el emisario se observa, además de la *Vila Viexa*, la torre de San Diego (TNR05), un molino y un posible emplazamiento artillero.



9. Detalle del plano del castillo de Sant Felip y el Raval según H. Herbert (1735).



10. Detalle del plano de P. MacKellar de 1764 en el sector del trazado del emisario. Se observan diversas estructuras a la altura de la torre de San Diego o *Waters Tower*.



11. Detalle del sitio del duque de Crillon según De la Tour Auvergne (1782). En el punto marcado con la letra B se sitúa el *Reducto de Caro*.

La **PROSPECCIÓN ARQUEOLÓGICA**, realizada el día 10 de Enero de 2023, ha permitido reconocer sobre el terreno la existencia o no de evidencias materiales de las estructuras documentadas en la cartografía histórica así como valorar la afectación a las mismas de la intervención planteada en el “ESTUDIO PREVIO DE VIABILIDAD PARA LA EJECUCIÓN DEL EMISARIO MARÍTIMO-TERRESTRE...”.

1.- En primer lugar, se observa, de forma aproximada, como los 100 primeros metros de PHD discurren bajo el negativo de una cantera realizada en un momento posterior a la demolición del Raval (figs. 12, 13 y 14). A pocos metros del linde entre AV/CAP DES PORT y la PARCELA EN RÚSTICO, hay un rebaje de entre 2 y 3 m respecto al nivel original del terreno, es decir, el nivel en el que se asentarían las estructuras del Raval documentado en el plano de Mackellar de 1764. Se observa el recorte de esta cantera hasta la cara S del fuerte de Caro (TNR-08). En consecuencia, se infiere que los cimientos y el nivel original de estructuras del Raval de 1764 fueron destruidos por la cantera.

2.- Cabría la posibilidad que la afectación producida por la cantera afectara solo parcialmente a algún negativo vinculado a las estructuras del Raval (depósitos, sótanos, etc.). Sin embargo, un análisis más detallado permite dar cuenta de que los 20 m iniciales de PHD se producen a una cota inferior a 10 m respecto el nivel actual —a los cuales hay que sumar el negativo de la cantera.

La documentación cartográfica nos permite disponer de una idea de lo que había en los 20 m contiguos al S del muro de piedra de 1707. Siguiendo el plano de P. MacKellar de

1764, habría una calle o pasillo de mínimo 5 m entre el muro y las primeras estructuras del Raval. Más allá de estos 5 m, las estructuras del Raval podrían contener cisternas, depósitos o sótanos excavados. Sin embargo, estos no se hallarían a más de 5-10 m de profundidad respecto al piso original. Por lo tanto, el riesgo de afectación es mínimo o nulo.

A partir de los 80-100 m, la PHD se produciría siempre a profundidades superiores a los 20 m, con lo cual el riesgo de afectación a restos arqueológicos del Raval es nulo.

6.- PROBLEMÁTICA ARQUEOLÓGICA

A partir de los datos históricos y arqueológicos recabados en los apartados anteriores, se concluye lo siguiente:

1.- El tramo de zanja mediante técnica tradicional proyectado entre la CTRA. SANT FELIP y la AV/DES PORT DES CASTELL y la AV/DES PORT DES CASTELL hasta aproximadamente la altura del C/Lepanto, debería contar con control arqueológico dada su proximidad a la entrada del antiguo Raval des Castell y por ser susceptible a contener niveles estratigráficos con materiales arqueológicos muebles.

2.- El tramo de emisario realizado mediante PHD, desde la AV/DES PORT DES CASTELL, unos 240 m hasta alcanzar ES POUET, no supone afectación arqueológica.

Los 20 m iniciales de PHD (los únicos que se realizan a una cota inferior a 10 m respecto al nivel actual) se realizan en un sector sin estructuras en la cartografía histórica (entre el muro de 1707 del gobernador Dávila y el pasillo o calle inmediato) y donde una cantera,



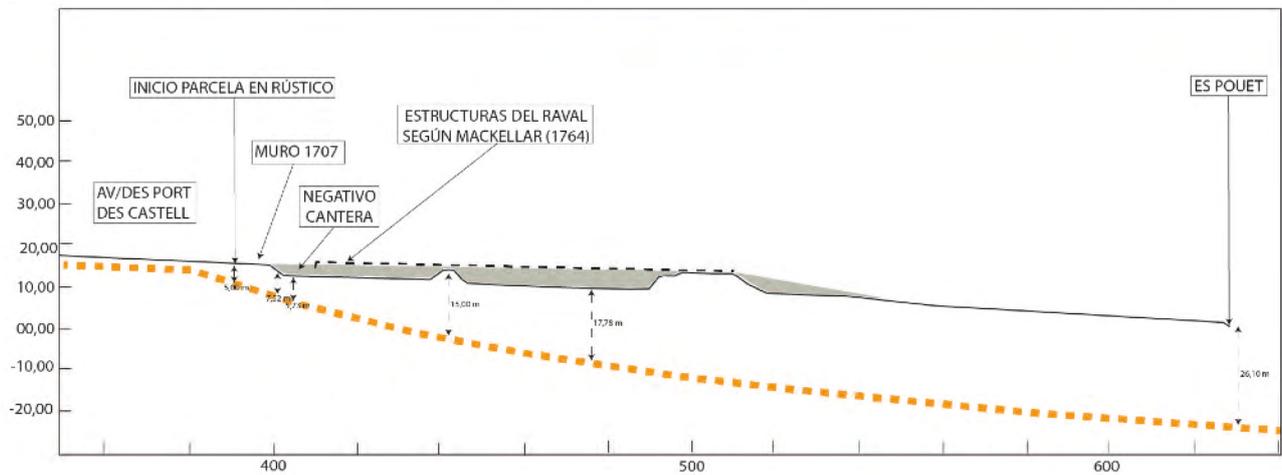
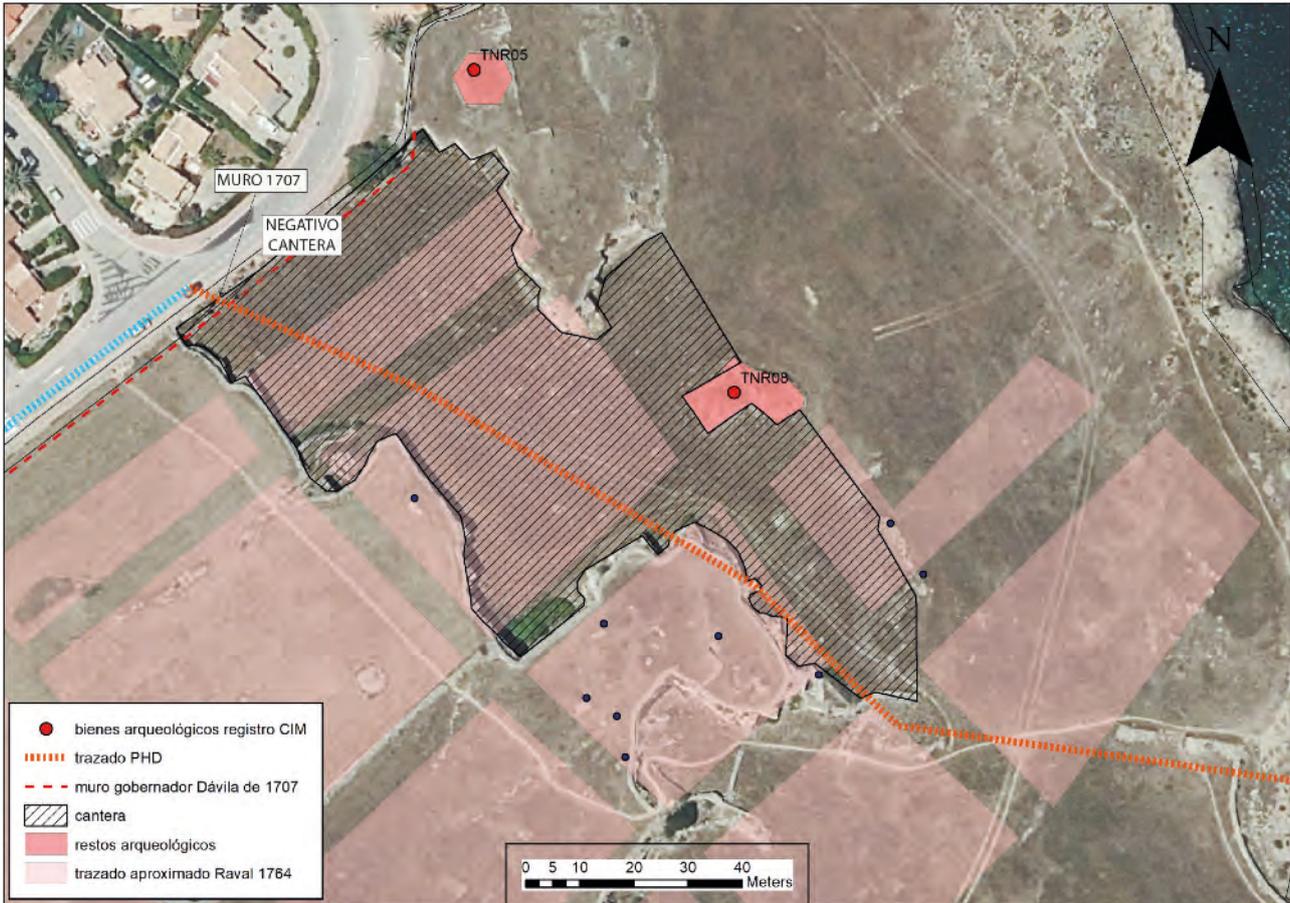
12. Los primeros cien metros de PHD discurren bajo el negativo de una cantera realizada en un momento posterior a la demolición del Raval.



13. Trazado aproximado de la PHD dentro de la cantera.



14. Trazado aproximado de la PHD entre el fuerte de Caro y el extremo S de la zona de cantera. En este sector, la PHD se produce a más de 20 m de profundidad.



15. Estudio en planta y sección de la PHD respecto a la cantera y al piso original de estructuras del Raval.

posterior a la demolición del Raval, recortó entre 2 y 3 m el nivel topográfico original donde se asentaba la población.

7.- PROPUESTA DE INTERVENCIÓN ARQUEOLÓGICA

Se establecen una serie de medidas de supervisión, prevención y control de calidad de los trabajos que se van a ejecutar. Estas medidas tienen con objetivo velar por la correcta ejecución del proyecto ante el Servei de Patrimoni Històric del CIM:

1.- Se pactarán los tiempos de ejecución de la obra y un protocolo de comunicación con los responsables de la ejecución del proyecto con la finalidad de estar al corriente de todos los detalles y noticias de interés que puedan surgir durante la ejecución del proyecto.

2.- Se planificarán y coordinarán con la DO las visitas de dirección y control de la obra para estar al corriente de la evolución de los trabajos de control arqueológico y documentación. Se recogerán en un diario de intervención todos aquellos hallazgos, incidencias y otros detalles que puedan afectar el bien.

3.- Las actuaciones detalladas en el punto 2 del apartado PROBLEMÁTICA ARQUEOLÓGICA serán objeto de control arqueológico y documentación, previa obtención de autorización por parte del Servicio de PH del CIM.

5.- Las actuaciones descritas anteriormente, contrastadas con los datos arquitectónicos, arqueológicos e históricos informados en el presente documento, serán revisadas durante la obra. Se examinarán, describirán y documentarán las relaciones estratigráficas entre hechos arquitectónicos (unidades estratigráficas) que serán reflejadas sobre las plantas y secciones del bien preexistentes.

6.- Recogida de bienes materiales muebles que puedan aparecer durante la obra se documentarán adecuadamente, se catalogarán e inventariarán. Si se considera conveniente, se realizará un descarte de materiales, priorizando criterios de contexto o histórico y reiteración documental, valor del bien y/o estado de conservación.

Finalmente serán depositados en el Museo de Menorca o donde sea resuelto por la administración competente, el SPH del CIM.

7.- En caso de un hallazgo de interés patrimonial, los arqueólogos directores del control arqueológico preventivo serán los responsables de comunicarlo a la DO y al SPH del CIM.

8.- Se redactará una memoria que contemplará la evolución de la obra, recogiendo toda la información relativa a las actuaciones previstas (unidades estratigráficas, documentación gráfica y planimétrica, inventario de materiales recuperados, etc.).

*En el caso de la descubierta de nuevos elementos del bien o bienes patrimoniales que puedan resultar afectados por la obra y que sean desconocidos hasta el momento, no se actuará sobre ellos hasta que la DO y el SPH del CIM determinen un protocolo de intervención.

**En el caso de que se requiera una ampliación de la intervención arqueológica, excavación arqueológica preventiva, control arqueológico sobre un nuevo elemento del bien o nuevo bien patrimonial, esta será solicitada de acuerdo con el procedimiento establecido en el Decreto 14/2011 de "Intervencions arqueològiques i paleontològiques de

les Illes Balears” y se tratará de una nueva intervención arqueológica no prevista en este informe técnico.

8.- REFERENCIAS

AMSTRONG J. 1756 (ed. 1978). *Historia de la Isla de Menorca*. Ed. Nura Menorca, Palma de Mallorca.

ANDREU C. (Coord.) 2006. *Sa Raval des Castell. La història d'un poble a través del material arqueològic*. Museu de Menorca, GOIB, CIME, Maó.

FORNALS F. 1996. *Castillo de San Felipe del Puerto de Mahón*, Museo Militar Regional de Menorca, Ed. Menorca S.A. Maó.

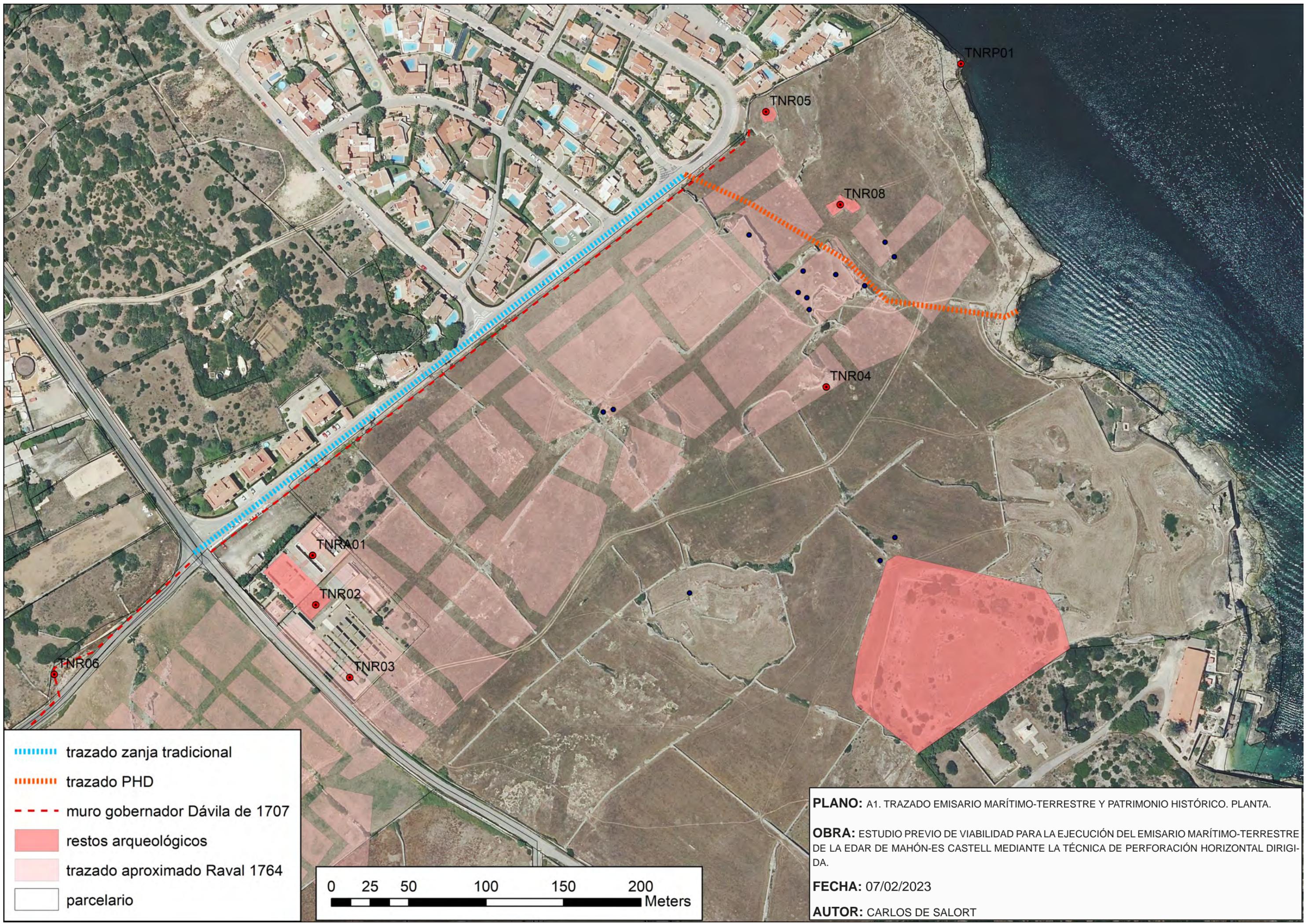
LAGARDA F. 2020. *Mapes i plànols antics del Port de Maó i el Castell de Sant Felip. Vol. 1: 1575-1756*. Ed. Ferran Lagarda Mata, Alfajarín.

LAGARDA F. 2020. *Mapes i plànols antics del Port de Maó i el Castell de Sant Felip. Vol. 2: 1757-1803*. Ed. Ferran Lagarda Mata, Alfajarín.

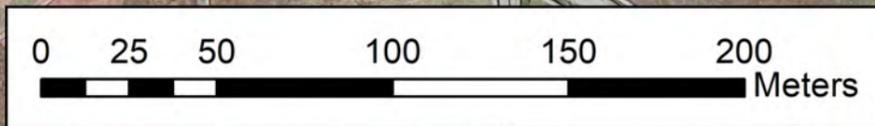
RIUDAUVETS I TUDURÍ P. 1888 (ed. 1983). *Historia de la Isla de Menorca*. Editorial Al Thor, Maó.

TERRÓN J.L. 1988. “Menorca en el contexto de la política internacional española durante la guerra contra Inglaterra de 1779 a 1783”, *Meloussa*, 1, IME, Maó.

VILARDELL J.E. 2005. *La Fundación de Georgetown, Menorca. 1771. Patrick Mackellar y el urbanismo militar británico*. COAIB.



- trazado zanja tradicional
- trazado PHD
- muro gobernador Dávila de 1707
- restos arqueológicos
- trazado aproximado Raval 1764
- parcelario

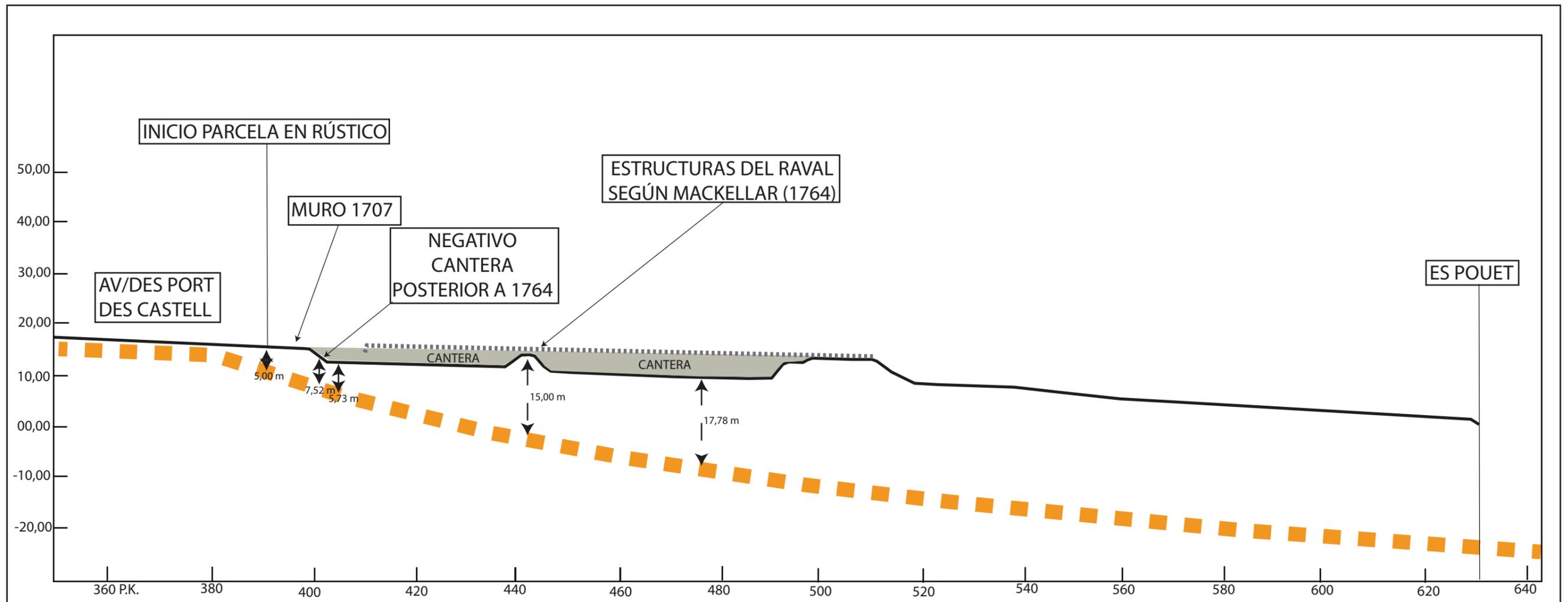
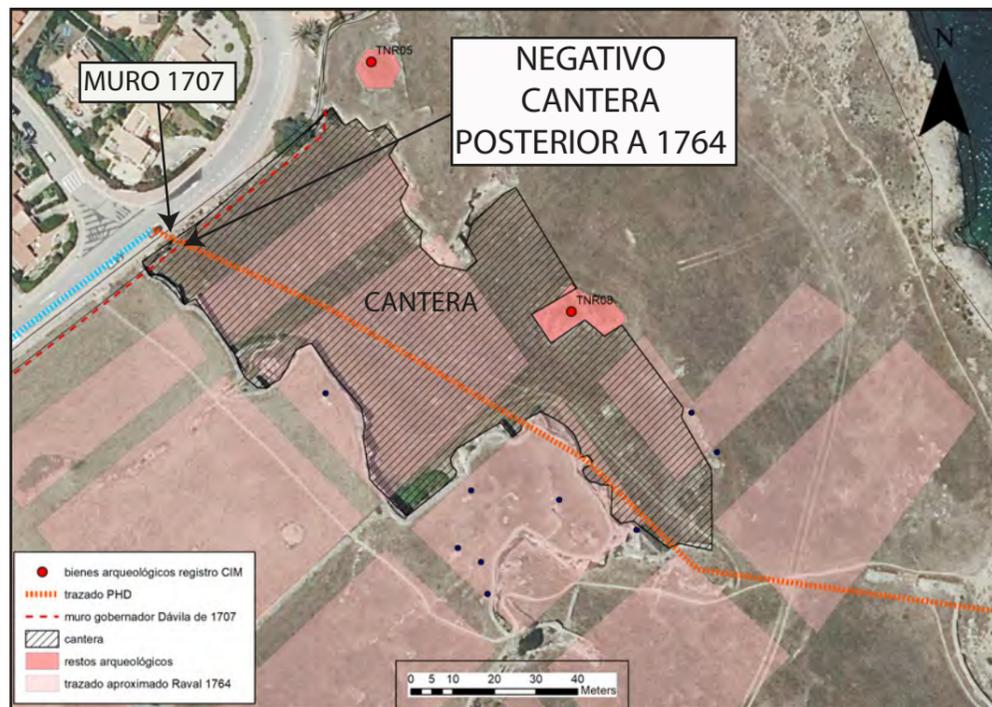


PLANO: A1. TRAZADO EMISARIO MARÍTIMO-TERRESTRE Y PATRIMONIO HISTÓRICO. PLANTA.

OBRA: ESTUDIO PREVIO DE VIABILIDAD PARA LA EJECUCIÓN DEL EMISARIO MARÍTIMO-TERRESTRE DE LA EDAR DE MAHÓN-ES CASTELL MEDIANTE LA TÉCNICA DE PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA.

FECHA: 07/02/2023

AUTOR: CARLOS DE SALORT



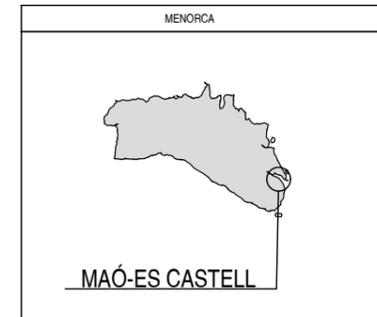
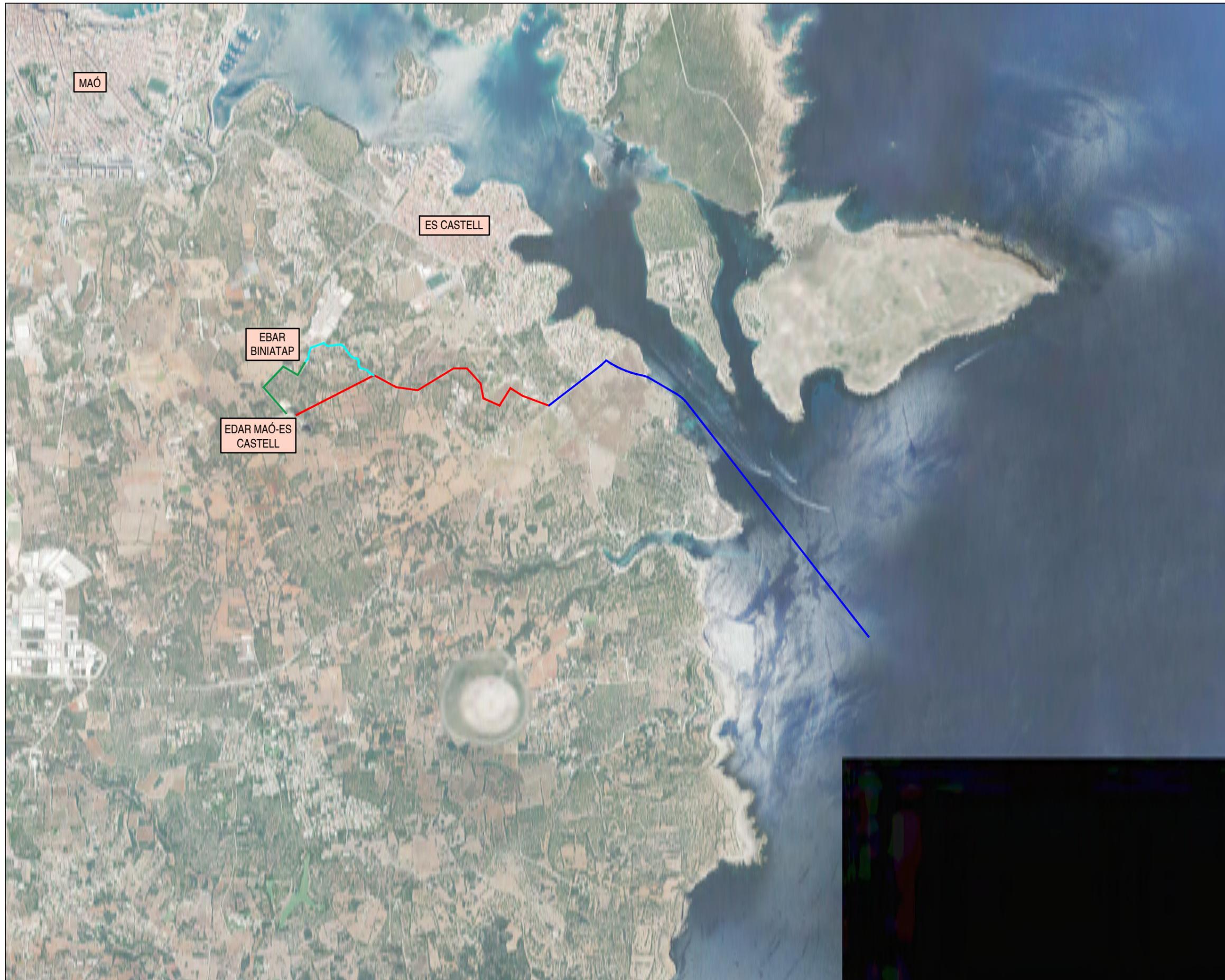
PLANO: A2. TRAZADO EMISARIO MARÍTIMO-TERRESTRE. PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA EN SANT FELIP.

OBRA: ESTUDIO PREVIO DE VIABILIDAD PARA LA EJECUCIÓN DEL EMISARIO MARÍTIMO-TERRESTRE DE LA EDAR DE MAHÓN-ES CASTELL MEDIANTE LA TÉCNICA DE PERFORACIÓN HORIZONTAL DIRIGIDA.

FECHA: 07/02/2023

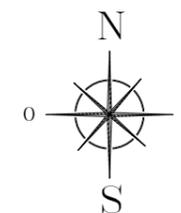
AUTOR: CARLOS DE SALORT

ANEJO 7 – PLANOS

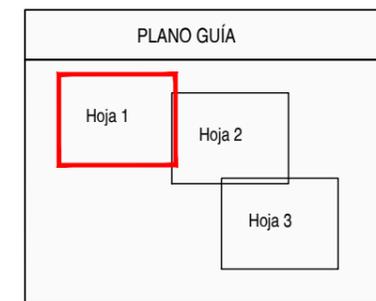
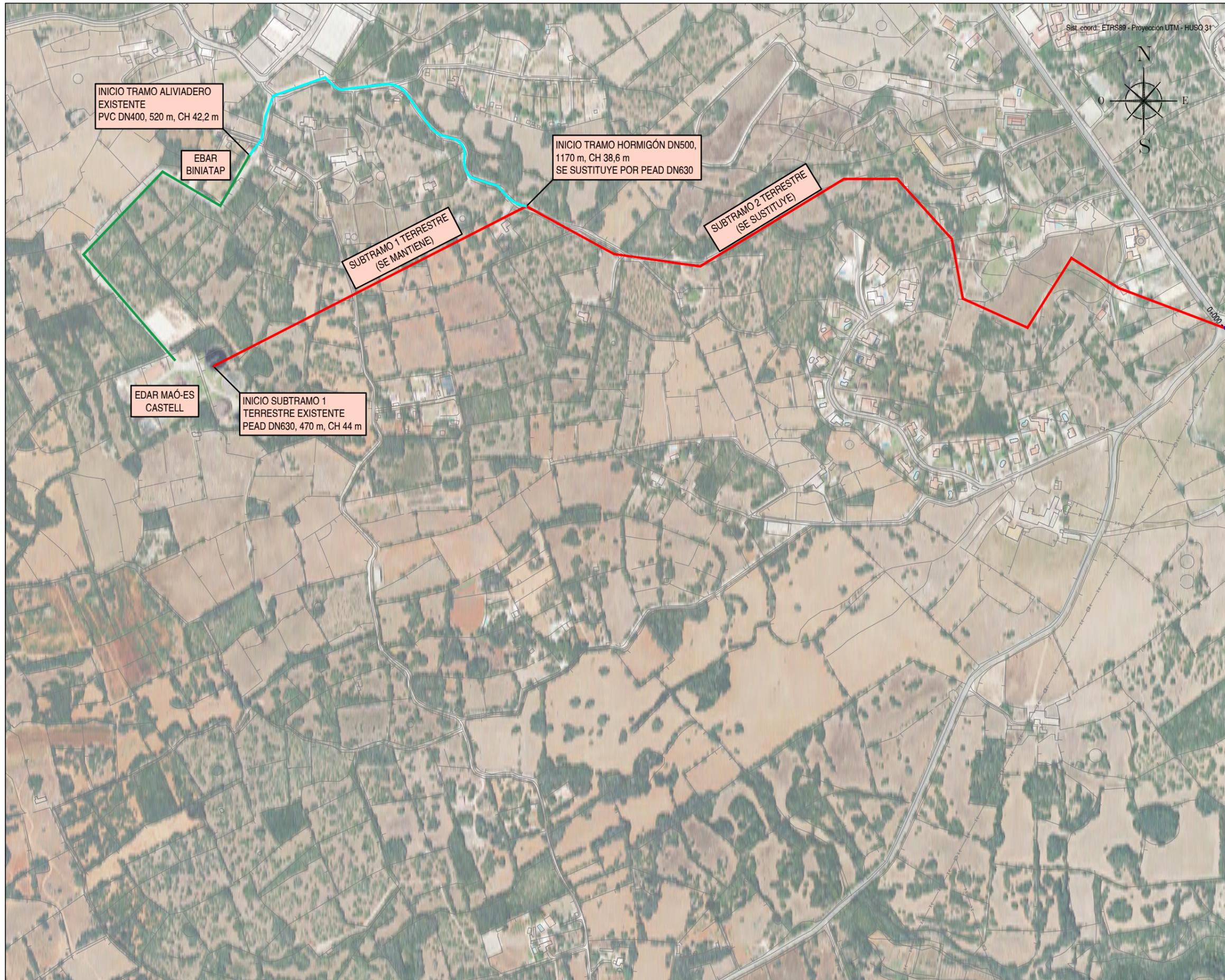


LEYENDA	
—	TRAZADO DEL EMISARIO EXISTENTE
—	TRAZADO PROPUESTO DEL EMISARIO
—	TRAMO ALIVIADERO
—	TUBERÍA DE IMPULSIÓN

Sist. coord.: ETRS89 - Proyección UTM - HUSO 31

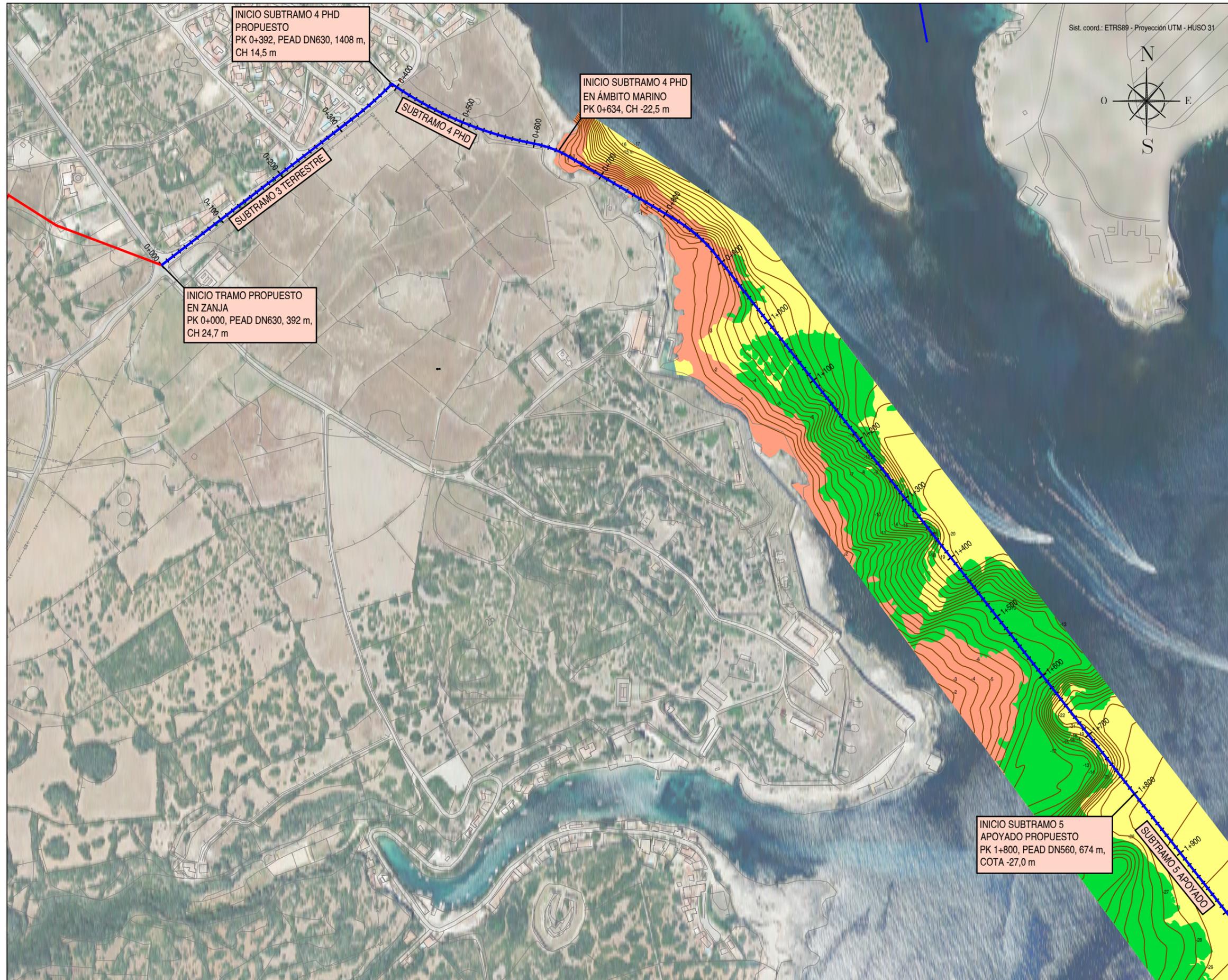


<p>Promotor: GOVERN DE LES ILLES BALEARS Agència Balear de l'Aigua i la Qualitat Ambiental (ABAQUA)</p>	<p>Responsable del Contrato: Antoni Bernat Homar</p>	<p>Autor del Proyecto: Roger Torregrosa Llorens, ICCP, nº 32.091</p>	<p>Situación: MAÓ-ES CASTELL, MENORCA</p>	<p>Título del Proyecto: REDACCIÓN DE ESTUDIO PREVIO DE VIABILIDAD PARA LA EJECUCIÓN DEL EMISARIO DE LA EDAR DE MAÓ-ES CASTELL MEDIANTE PHD</p>	<p>Título del Plano: SITUACIÓN</p>	<p>Escala: 1:20000</p>	<p>Clave: Informe 1. Estudio viabilidad</p>	<p>Núm. Plano: 01</p>
							<p>Fecha: MARZO 2023</p>	<p>Núm. Hoja: 1 DE 1</p>

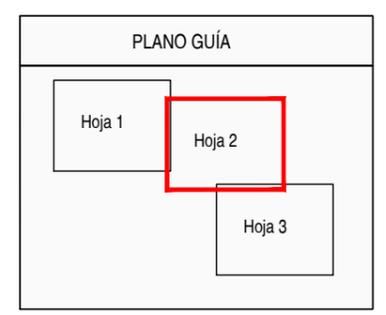


LEYENDA	
—	TRAZADO DEL EMISARIO EXISTENTE
—	TRAZADO PROPUESTO DEL EMISARIO
—	TRAMO ALIVIADERO
—	TUBERÍA DE IMPULSIÓN
■	ARENAS
■	SUSTRATO ROCOSO
■	FONDOS DE MAÉRL
■	POSIDONIA OCEANICA

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	
TRAMO EXISTENTE	
SUBTRAMO 1 TERRESTRE (SE MANTIENE)	
LONGITUD	470 m
MATERIAL	PEAD
DIÁMETRO	630 mm
COTA HIDRÁULICA	44,00 m
SUBTRAMO 2 TERRESTRE (SE SUSTITUYE)	
LONGITUD	1170 m
MATERIAL EXISTENTE	HORMIG.
DIÁMETRO EXISTENTE	500 mm
MATERIAL NUEVO	PEAD
DIÁMETRO NUEVO	560 mm
COTA HIDRÁULICA	38,60 m
TRAMO PROPUESTO	
SUBTRAMO 3 (TERRESTRE EN ZANJA)	
LONGITUD	392 m
PK INICIO	0+000
MATERIAL	PEAD
DIÁMETRO	630 mm
COTA HIDRÁULICA	24,70 m
SUBTRAMO 4 (PHD MARÍTIMO-TERRESTRE)	
LONGITUD	1408 m
PK INICIO	0+392
MATERIAL	PEAD
DIÁMETRO	630 mm
COTA HIDRÁULICA	14,50 m
SUBTRAMO 5 (MARINO APOYADO)	
LONGITUD	674 m
PK INICIO	1+800
MATERIAL	PEAD
DIÁMETRO	560 mm
COTA INICIAL	-27,00 m
LONGITUD TOTAL EXISTENTE	1640 m
LONGITUD TOTAL PROPUESTA	2474 m



Sist. coord.: ETRS89 - Proyección UTM - HUSO 31

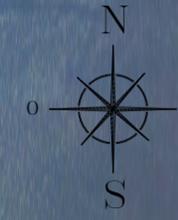


LEYENDA

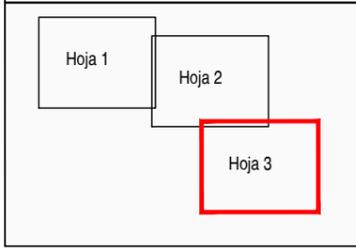
—	TRAZADO DEL EMISARIO EXISTENTE
—	TRAZADO PROPUESTO DEL EMISARIO
—	TRAMO ALIVIADERO
—	TUBERÍA DE IMPULSIÓN
 	ARENAS
 	SUSTRATO ROCOSO
 	FONDOS DE MAERL
 	POSIDONIA OCEANICA

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

TRAMO EXISTENTE	
SUBTRAMO 1 TERRESTRE (SE MANTIENE)	
LONGITUD	470 m
MATERIAL	PEAD
DIÁMETRO	630 mm
COTA HIDRÁULICA	44,00 m
SUBTRAMO 2 TERRESTRE (SE SUSTITUYE)	
LONGITUD	1170 m
MATERIAL EXISTENTE	HORMIG.
DIÁMETRO EXISTENTE	500 mm
MATERIAL NUEVO	PEAD
DIÁMETRO NUEVO	560 mm
COTA HIDRÁULICA	38,60 m
TRAMO PROPUESTO	
SUBTRAMO 3 (TERRESTRE EN ZANJA)	
LONGITUD	392 m
PK INICIO	0+000
MATERIAL	PEAD
DIÁMETRO	630 mm
COTA HIDRÁULICA	24,70 m
SUBTRAMO 4 (PHD MARÍTIMO-TERRESTRE)	
LONGITUD	1408 m
PK INICIO	0+392
MATERIAL	PEAD
DIÁMETRO	630 mm
COTA HIDRÁULICA	14,50 m
SUBTRAMO 5 (MARINO APOYADO)	
LONGITUD	674 m
PK INICIO	1+800
MATERIAL	PEAD
DIÁMETRO	560 mm
COTA INICIAL	-27,00 m
LONGITUD TOTAL EXISTENTE	1640 m
LONGITUD TOTAL PROPUESTA	2474 m



PLANO GUÍA



LEYENDA

	TRAZADO DEL EMISARIO EXISTENTE
	TRAZADO PROPUESTO DEL EMISARIO
	TRAMO ALIVIADERO
	TUBERÍA DE IMPULSIÓN
	ARENAS
	SUSTRATO ROCOSO
	FONDOS DE MAÉRL
	POSIDONIA OCEANICA

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

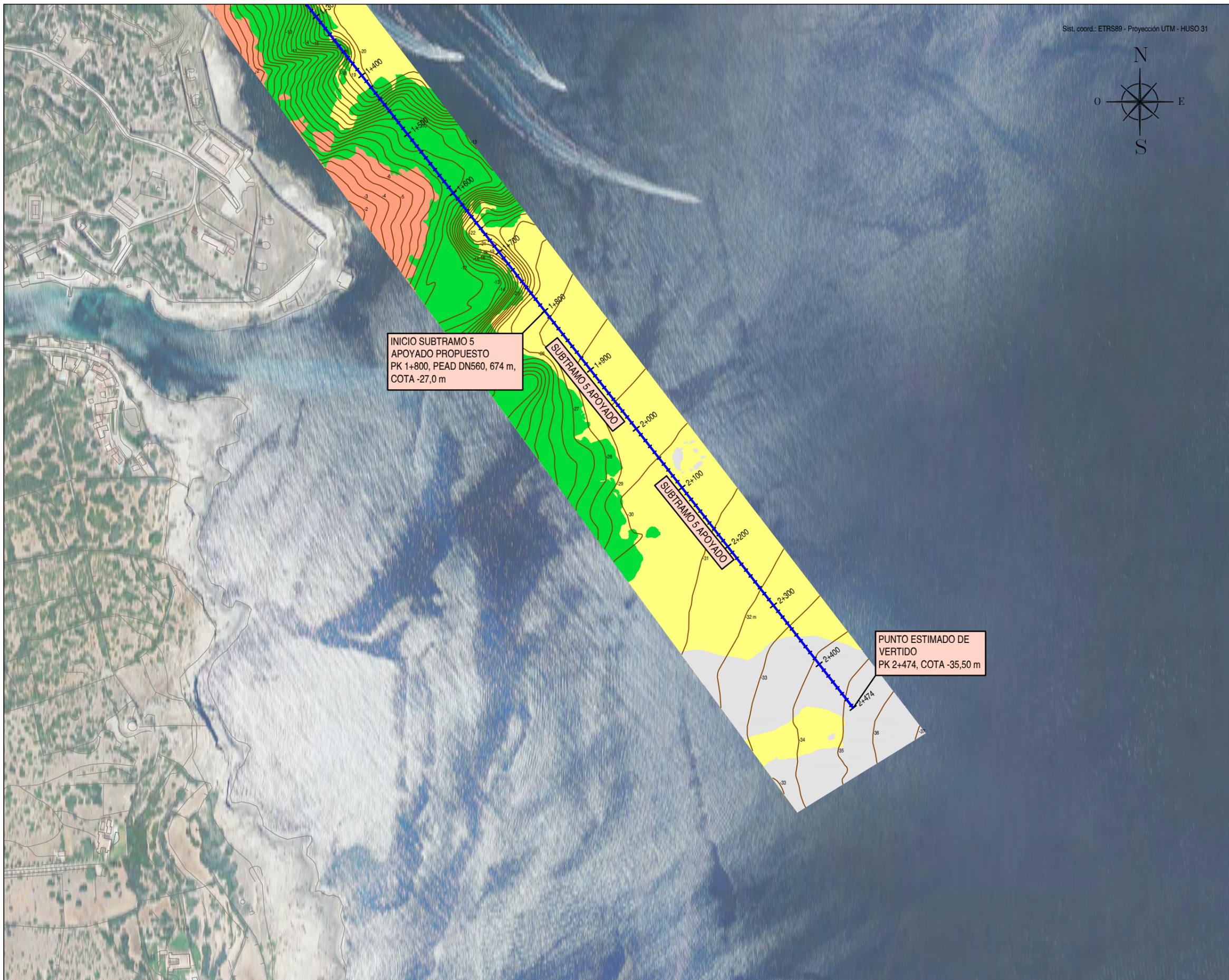
TRAMO EXISTENTE	
SUBTRAMO 1 TERRESTRE (SE MANTIENE)	
LONGITUD	470 m
MATERIAL	PEAD
DIÁMETRO	630 mm
COTA HIDRÁULICA	44,00 m
SUBTRAMO 2 TERRESTRE (SE SUSTITUYE)	
LONGITUD	1170 m
MATERIAL EXISTENTE	HORMIG.
DIÁMETRO EXISTENTE	500 mm
MATERIAL NUEVO	PEAD
DIÁMETRO NUEVO	560 mm
COTA HIDRÁULICA	38,60 m
TRAMO PROPUESTO	
SUBTRAMO 3 (TERRESTRE EN ZANJA)	
LONGITUD	392 m
PK INICIO	0+000
MATERIAL	PEAD
DIÁMETRO	630 mm
COTA HIDRÁULICA	24,70 m
SUBTRAMO 4 (PHD MARÍTIMO-TERRESTRE)	
LONGITUD	1408 m
PK INICIO	0+392
MATERIAL	PEAD
DIÁMETRO	630 mm
COTA HIDRÁULICA	14,50 m
SUBTRAMO 5 (MARINO APOYADO)	
LONGITUD	674 m
PK INICIO	1+800
MATERIAL	PEAD
DIÁMETRO	560 mm
COTA INICIAL	-27,00 m
LONGITUD TOTAL EXISTENTE	1640 m
LONGITUD TOTAL PROPUESTA	2474 m

INICIO SUBTRAMO 5
APOYADO PROPUESTO
PK 1+800, PEAD DN560, 674 m,
COTA -27,0 m

PUNTO ESTIMADO DE
VERTIDO
PK 2+474, COTA -35,50 m

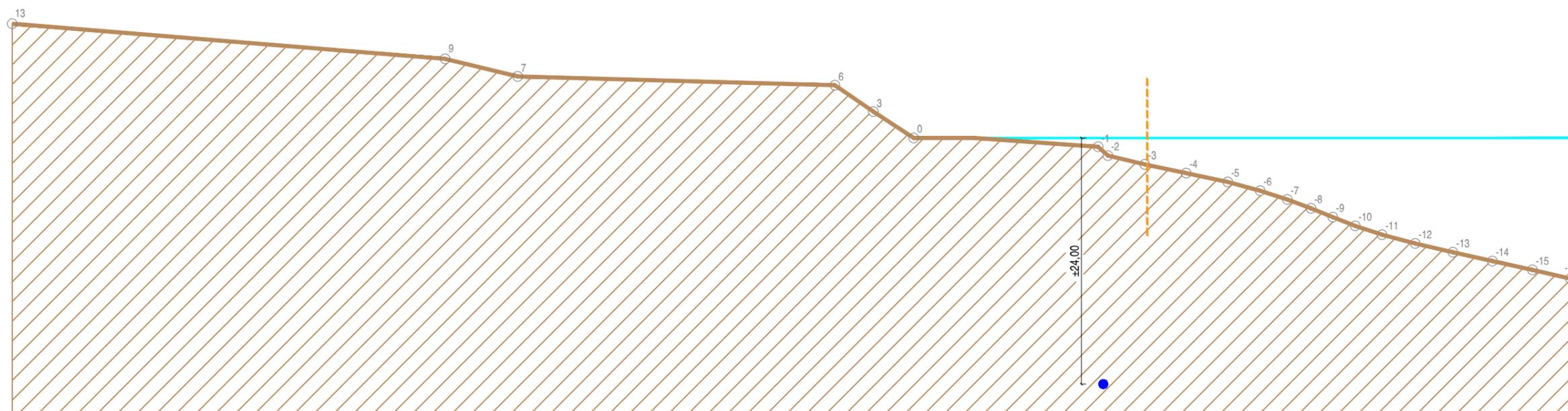
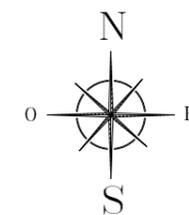
SUBTRAMO 5 APOYADO

SUBTRAMO 5 APOYADO

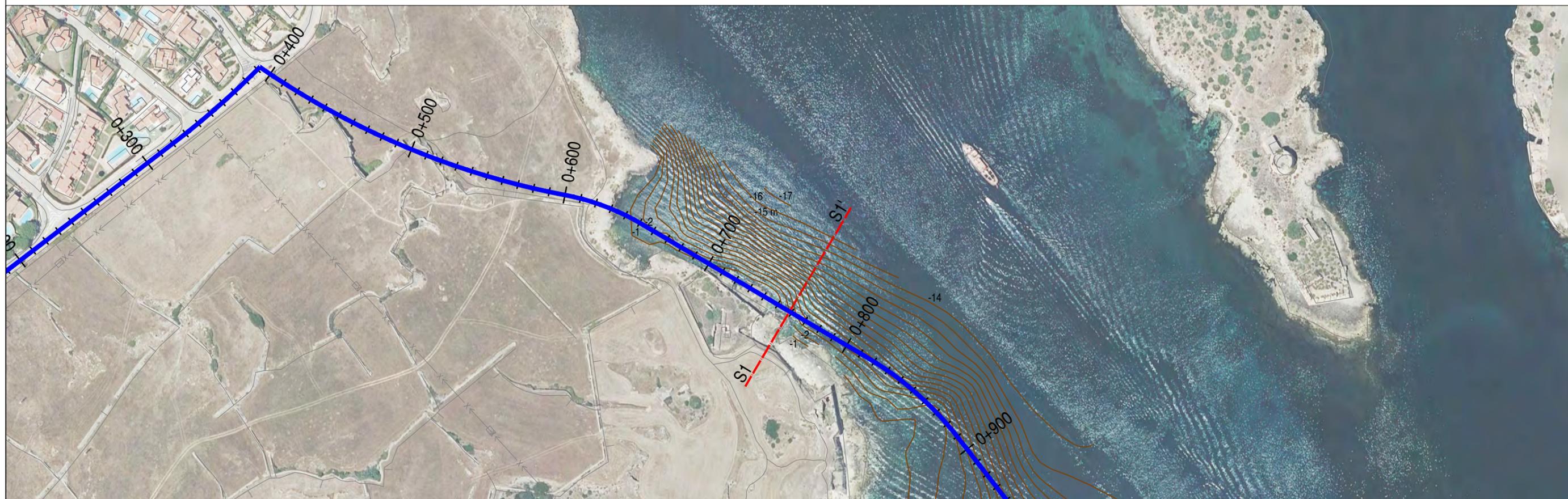


LEYENDA	
	TRAZADO PROPUESTO EMISARIO
	TRAZADO EMISARIO (SECCIÓN)
	NIVEL DEL MAR (0 m)
	PERFIL LONGITUDINAL
	TRAZADO TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA

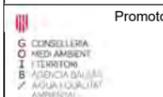
Sist. coord.: ETRS89 - Proyección UTM - HUSO 31



Perfil longitudinal de la sección S1-S1'. E: 1/500



Planta propuesta. E: 1/2500



Promotor:
GOVERN DE LES ILLES BALEARS
Agència Balear de l'Aigua i
la Qualitat Ambiental (ABAQUA)

Responsable del Contrato:
Antoni Bernat Homar



Autor del Proyecto:
Roger Torregrosa
Llorens, ICCP, nº 32.091

Situación:
MAÓ-ES CASTELL,
MENORCA

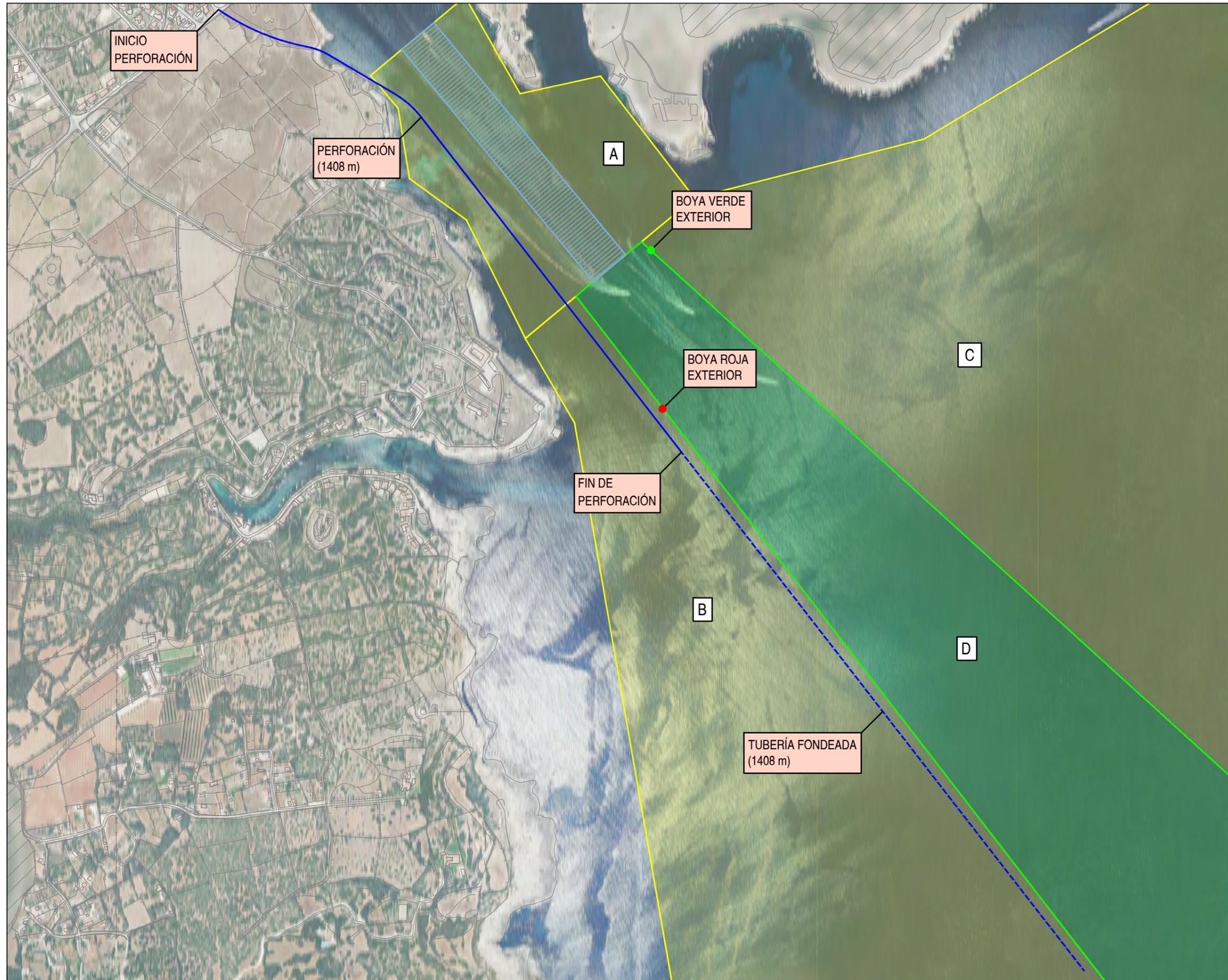
Título del Proyecto:
REDACCIÓN DE ESTUDIO PREVIO DE VIABILIDAD
PARA LA EJECUCIÓN DEL EMISARIO DE LA EDAR
DE MAÓ-ES CASTELL MEDIANTE PHD

Título del Plano:
SECCIÓN TRANSVERSAL

Escala:
Indicada

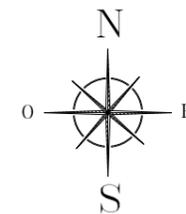
Clave:
Informe 1. Estudio viabilidad
Fecha:
MARZO 2023

Núm. Plano:
03
Núm. Hoja:
1 DE 1



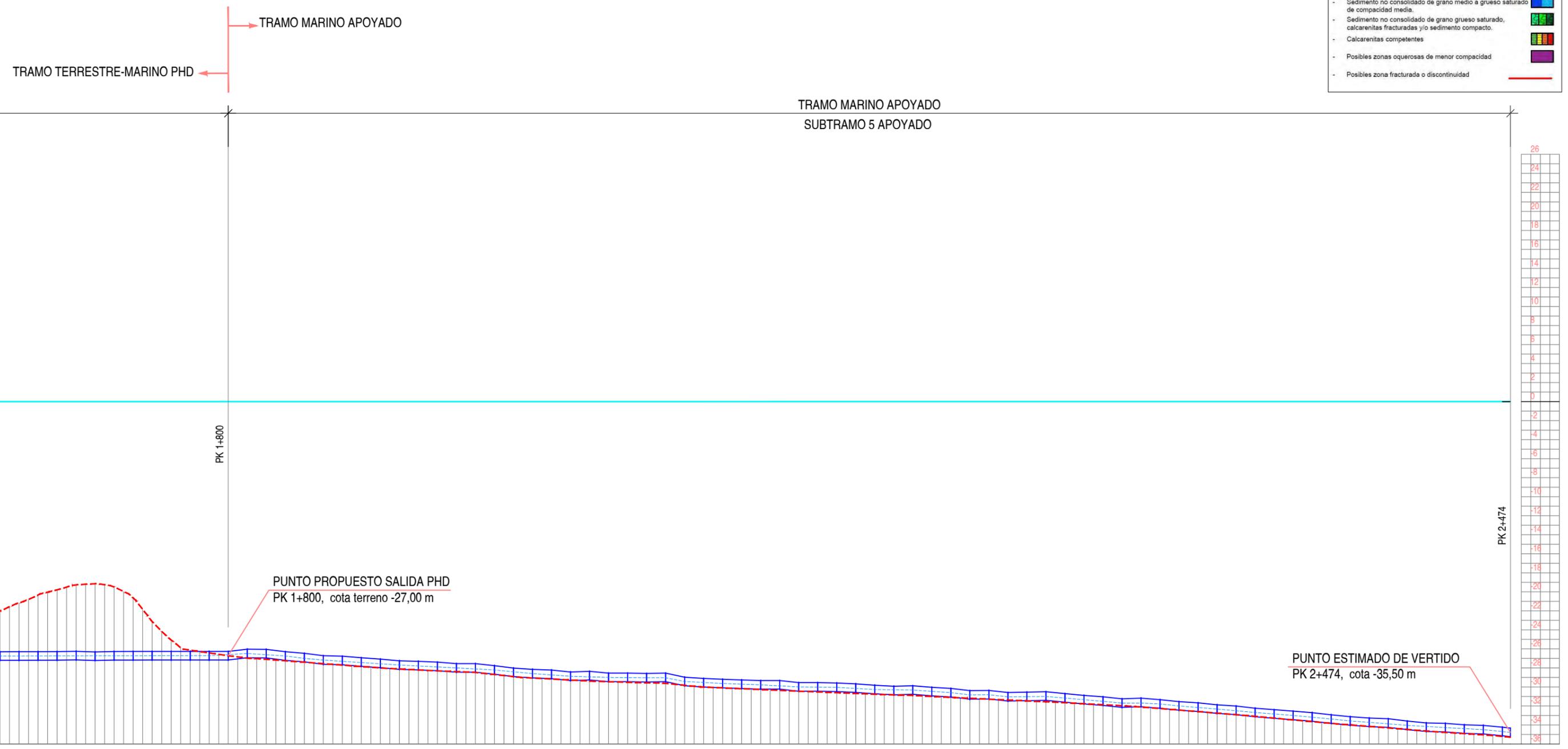
LEYENDA	
A	BOCANA NATURAL DEL PUERTO
B	ZONA II, AUTORIZADA PARA FONDEO DE BUQUES EN ESPERA PARA ENTRADA AL PUERTO. ZONA SUR
C	ZONA II, AUTORIZADA PARA FONDEO DE BUQUES EN ESPERA PARA ENTRADA AL PUERTO. ZONA NORTE
D	CANAL DE NAVEGACIÓN
	ZONA BAJA DEL VALLE (-22 m)
	ZONAS NO APTAS PARA LA SALIDA DE LA PHD
	ZONA APTA PARA LA SALIDA DE LA PHD

Sist. coord.: ETRS89 - Proyección UTM - HUSO 31



<p>Promotor: GOVERN DE LES ILLES BALEARS Agència Balear de l'Aigua i la Qualitat Ambiental (ABAQUA)</p>	<p>Responsable del Contrato: Antoni Bernat Homar</p>	<p>Autor del Proyecto: Roger Torregrosa Llorens, ICCP, nº 32.091</p>	<p>Situación: MAÓ-ES CASTELL, MENORCA</p>	<p>Título del Proyecto: REDACCIÓN DE ESTUDIO PREVIO DE VIABILIDAD PARA LA EJECUCIÓN DEL EMISARIO DE LA EDAR DE MAÓ-ES CASTELL MEDIANTE PHD</p>	<p>Título del Plano: AFECTACIÓN PORTUARIA</p>	<p>Escala: 1:7500</p>	<p>Clave: Informe 1. Estudio viabilidad</p>	<p>Núm. Plano: 04</p>
						<p>Fecha: MARZO 2023</p>	<p>Núm. Hoja: 1 DE 1</p>	

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	



-22.03	-22.09	-20.33	-20.32	-19.27	-18.273	-18.51	-18.498	-23.12	-23.123	-26.13	-26.130	-26.72	-26.719	-27.10	-27.095	-27.46	-27.461	-27.71	-27.708	-28.00	-28.005	-28.21	-28.210	-28.39	-28.389	-28.70	-28.697	-28.86	-28.864	-29.28	-29.277	-29.45	-29.452	-29.57	-29.567	-29.83	-29.829	-30.10	-30.101	-30.28	-30.277	-30.45	-30.452	-30.61	-30.606	-30.77	-30.770	-30.89	-30.889	-31.10	-31.099	-31.28	-31.287	-31.47	-31.473	-31.66	-31.663	-31.87	-31.871	-32.11	-32.113	-32.44	-32.435	-32.78	-32.758	-33.09	-33.094	-33.47	-33.473	-33.83	-33.831	-34.15	-34.152	-34.47	-34.475	-34.78	-34.778	-35.04	-35.041
1+680	1+700	1+720	1+740	1+760	1+780	1+800	1+820	1+840	1+860	1+880	1+900	1+920	1+940	1+960	1+980	2+000	2+020	2+040	2+060	2+080	2+100	2+120	2+140	2+160	2+180	2+200	2+220	2+240	2+260	2+280	2+300	2+320	2+340	2+360	2+380	2+400	2+420	2+440	2+460	2+480	2+500																																						

LEYENDA
 COB: Cobertura edáficoarcolosa (tierra vegetal)
 CCP: Calcarenita con tramos porosos por disolución (irregularmente cementada). Tonalidad gris-blanquecina en matriz rocosa.
 CCC: Calcarenita regularmente cementada. Tonalidad gris-blanquecina en matriz rocosa.
 CBP: Calcarenita bioconstruida con tramos porosos (irregularmente cementada). Tonalidad gris-blanquecina en matriz rocosa.
 CBC: Calcarenita bioconstruida regularmente cementada.

