



## **ANEJO 3. ESTUDIOS DE CAMPO ASOCIADOS A LA GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA DEL ENTORNO PARA EL ESTUDIO DE VIABILIDAD DE LA PHD**

### **ÍNDICE**

1. INTRODUCCIÓN.....	2
----------------------	---

APÉNDICE Nº 1. ESTUDIO GEOTÉCNICO DEL TRAMO TERRESTRE DEL EMISARIO

APÉNDICE Nº 2. ESTUDIO GEOFÍSICO Y BATIMÉTRICO DEL TRAMO MARINO DEL EMISARIO

## **ANEJO 3. ESTUDIOS DE CAMPO ASOCIADOS A LA GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA DEL ENTORNO PARA EL ESTUDIO DE VIABILIDAD DE LA PHD**

### **1. INTRODUCCIÓN**

En el presente anejo se muestran los distintos estudios de campo asociados a la geología y la geomorfología del ámbito de estudio realizados con el principal objetivo de estudiar la viabilidad de la técnica de PHD (Perforación Horizontal Dirigida) para la ejecución de parte de la tubería enterrada.

La técnica de perforación PHD presenta una serie de ventajas medio ambientales indiscutibles frente a las técnicas de excavación convencionales a cielo abierto. Permite la implantación de emisarios marinos en el fondo marino con una mínima afección al mismo, evitando así la afección de zonas muy extensas de biocenosis.

Para estudiar su viabilidad, se han llevado a cabo las siguientes campañas:

- Campaña geotécnica terrestre
- Campaña geofísica y batimétrica marina
- Levantamiento topográfico de detalle
- Estudio de servicios existentes

Gradual Ingenieros ha solicitado los servicios de la empresa Geotechnical Solutions para elaborar el estudio geotécnico vinculado al presente proyecto, con el objetivo de establecer la caracterización geotécnica del tramo terrestre. Dicho estudio geotécnico se centra en los siguientes puntos:

- 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 en la playa des Geperut
- Caracterización de la dureza del subsuelo frente a su excavabilidad.
- Recomendación sobre revestimiento de perforaciones horizontales.

Se adjunta en el *Apéndice nº 1. Estudio Geotécnico Tramo Terrestre Emisario* el estudio geotécnico.

En relación a la campaña marina, se ha encargado a la empresa Tecnoambiente un estudio geofísico y batimétrico para el proyecto de referencia. El principal objetivo de los trabajos es la caracterización geomorfológica y geofísica de la zona de estudio, así como la identificación y localización de las distintas infraestructuras y/o anomalías presentes en la zona.

Se adjunta en el *Apéndice nº 2. Estudio geofísico y batimétrico del tramo marino del emisario* el citado estudio.

En relación al levantamiento topográfico de detalle, se ha llevado a cabo sobre una extensión mayor que la estrictamente necesaria para implantar un colector con el objeto de estudiar la viabilidad física de implantación del equipo completo de la PHD.

Se ha presentado en el *Anejo 2. Cartografía, topografía y batimetría* del presente proyecto el alcance de dicho estudio topográfico.

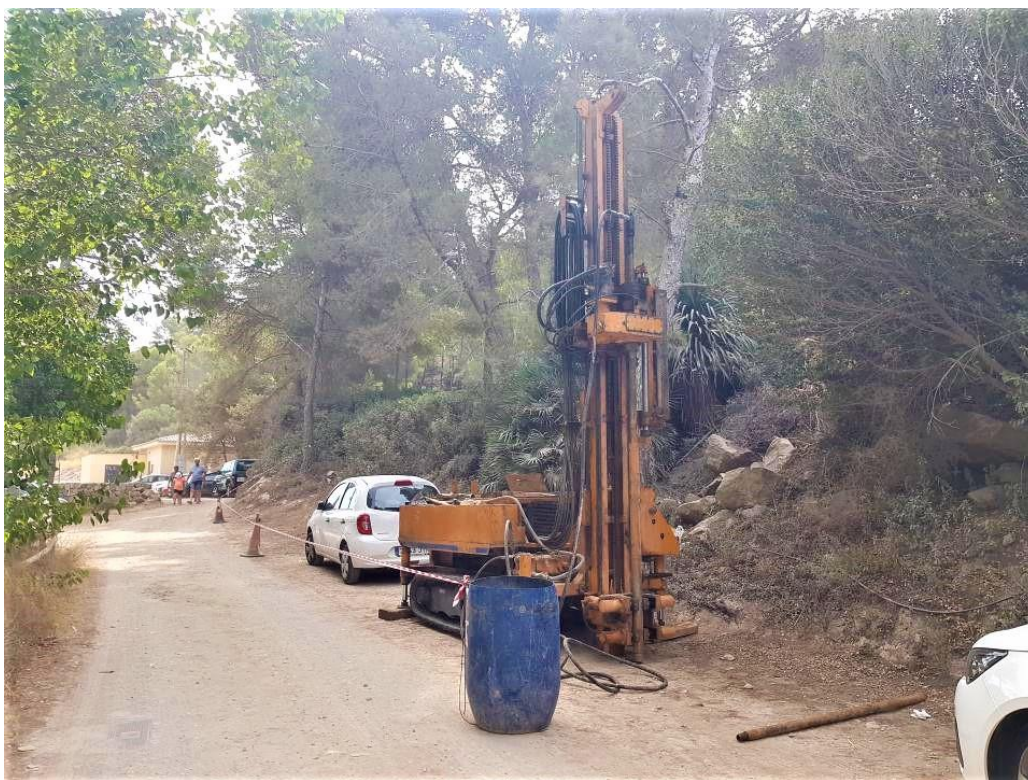
Los análisis y conclusiones que se extraen tanto del informe elaborado por Geotech como por Tecnoambiente son recogidos y evaluados por el técnico redactor del presente proyecto en el *Anejo 21. Procedimiento constructivo*. En dicho anejo, además de definir los procedimientos constructivos más representativos que se recomienda llevar a cabo en fase de obra, se evalúa la viabilidad de ejecución de la PHD.

Se han identificado los servicios existentes en la zona mediante la descarga de información de la plataforma digital INKOLAN y a través de la petición de servicios existentes a las siguientes administraciones y compañías de gestión de servicios:

- Ayuntamiento de Andratx: alumbrado público
- Endesa: energía eléctrica
- Facsa: red de saneamiento y abastecimiento municipal
- Acciona: red general de saneamiento

Toda la información recopilada en los diferentes estudios presentados en el presente anejo ha sido analizada de forma específica en el *Anejo 21. Procedimiento constructivo*.

**APÉNDICE 1 – ESTUDIO GEOTÉCNICO DEL TRAMO TERRESTRE  
DEL EMISARIO.**



Expediente:

41.07.20

Cliente:

GRADUAL INGENIEROS, S.L.

Proyecto de referencia:

Emisario de Sant Elm

Junto a Carretera Sant Elm a Sa Racó - Sant Elm – T.M. Andratx

### **INFORME GEOTÉCNICO.**

OBJETO: Estratigrafía y caracterización geotécnica  
Doc. 1. Rev.0

Son Serra de Marina, noviembre de 2020

## Contenido

---

- **PARTE 1ª. Memoria**

1. INTRODUCCIÓN .....	3
2. OBJETO.....	3
3. DOCUMENTACIÓN DE ANTECEDENTES .....	4
4. CONTEXTO GEOLÓGICO .....	4
5. PROGRAMA DE RECONOCIMIENTO GEOTÉCNICO .....	5
5.1. Trabajos de campo .....	5
5.2. Ensayos de laboratorio .....	6
6. AREA DE SONDEO S1. ESTRATIGRAFÍA y PARAMETRIZACIÓN GEOTÉCNICA. ....	6
7. AFLORAMIENTO ROCOSO DE LA PLAYA. CARACTERIZACIÓN GEOMECAÁNICA .....	7
8. EXCAVABILIDAD .....	10
9. SOBRE EL REVESTIMIENTO DE PERFORACIONES HORIZONTALES .....	12
10. CONSLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	13

- **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)

---

### 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:	<b>Estudio Geotécnico para Tramo Terrestre de Emisario</b>
Cliente:	GRADUAL INGENIEROS, S.L.
Proyecto de referencia:	Emisario de Sant Elm
Emplazamiento:	Junto a Carretera Sant Elm a Sa Racó - Sant Elm T.M. Andratx
Expediente:	<b>41.07.20</b>

### 1. INTRODUCCIÓN

---

Hemos sido solicitados por GRADUAL INGENIEROS, S.L., para realizar el estudio geotécnico vinculado al proyecto del emisario Sant Elm (Mallorca), para 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 12m (con recuperación y ensayo de muestras en laboratorio de mecánica de suelos), así como un reconocimiento directo de los afloramientos rocosos presentes en la playa des Geperut (punto de conexión con el tramo marino).

El sondeo de reconocimiento se emplaza a unos 112m de la línea de costa, en el camino que queda por debajo de la carretera de Sant Elm a Sa Racó, en la vaguada del Torrent de Son Berriol, según emplazamiento de detalle reflejado en el Plano 1. Dicho sondeo se aborda con cota de arranque entorno los 3.40m sobre el espejo de agua marina.

De hecho, se ha asumido una cota absoluta de su boca equivalente a la profundidad en la que se estabiliza el nivel del agua en el sondeo, la cual estimamos equivalente al nivel del mar.

### 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.
- Verificación del nivel freático en el sondeo.
- Caracterización geomecánica de los afloramientos rocosos en la playa des Geperut
- Caracterización de la dureza del subsuelo frentes a su excavabilidad.
- Recomendación sobre revestimiento de perforaciones horizontales.

### 3. DOCUMENTACIÓN DE ANTECEDENTES

---

Se dispone de 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.
- Cartografía geológica digital del IGME, escala 1:25.000, 1:50.000 y en formato papel 1:50.000 (año 1991).

### 4. CONTEXTO GEOLÓGICO<sup>1</sup>

---

El dominio estudiado se enmarca principalmente en las siguientes unidades geológicas (de techo a base) según la cartografía del IGME:

**Burdigaliense - Langhiense (Mioceno). Margas y areniscas, conglomerados y calizas en la base (clave 10 mapa geológico):**

Se destaca en esta formación el tercio superior de la serie se sitúan dos bancos de caliza de 8,5 y 10m de potencia. Separados por un nivel de margas nodulosas con niveles de sílex. Estos dos bancos presentan una estratificación muy difusa. Son biopelmicritas algo limolíticas con textura brechoide y muy recristalizadas en algunos puntos, siendo frecuente la presencia de glauconita, de fragmentos de rocas volcánicas y de feldespatos que llegan hasta un 5 por ciento. A techo de la formación aumenta el número de niveles de sílex, con un 80 por ciento de sílice, 10 por ciento de micrita y 10 por ciento de dolomicrita.

Estos materiales se atribuyen a la unidad CAL detectada en el sondeo S1 a partir de los 3.60m de profundidad.

**Dogger – Malm (Jurásico – Cretácico inferior). Margas y calizas, Calizas con sílex y calizas nodulosas “falsas brechas” (clave 6 mapa geológico):**

Esta unidad afloraría en las cotas más elevadas de la vaguada del Torrent Berriol, sin que tuviese representatividad en el área de estudio-intervención que ocupa el presente trabajo. Pese a ello, se referencia dado que en diversos tramos de la formación son presentes los nódulos de sílex que confieren a la roca una elevada dureza, factor que ha sido contrastado durante la ejecución del sondeo S1, aunque la naturaleza de la roca detectada en el sondeo (nivel CAL, ver apartado 6) se atribuye preferentemente a la formación anterior del Burdigaliense - Langhiense.

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

---

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



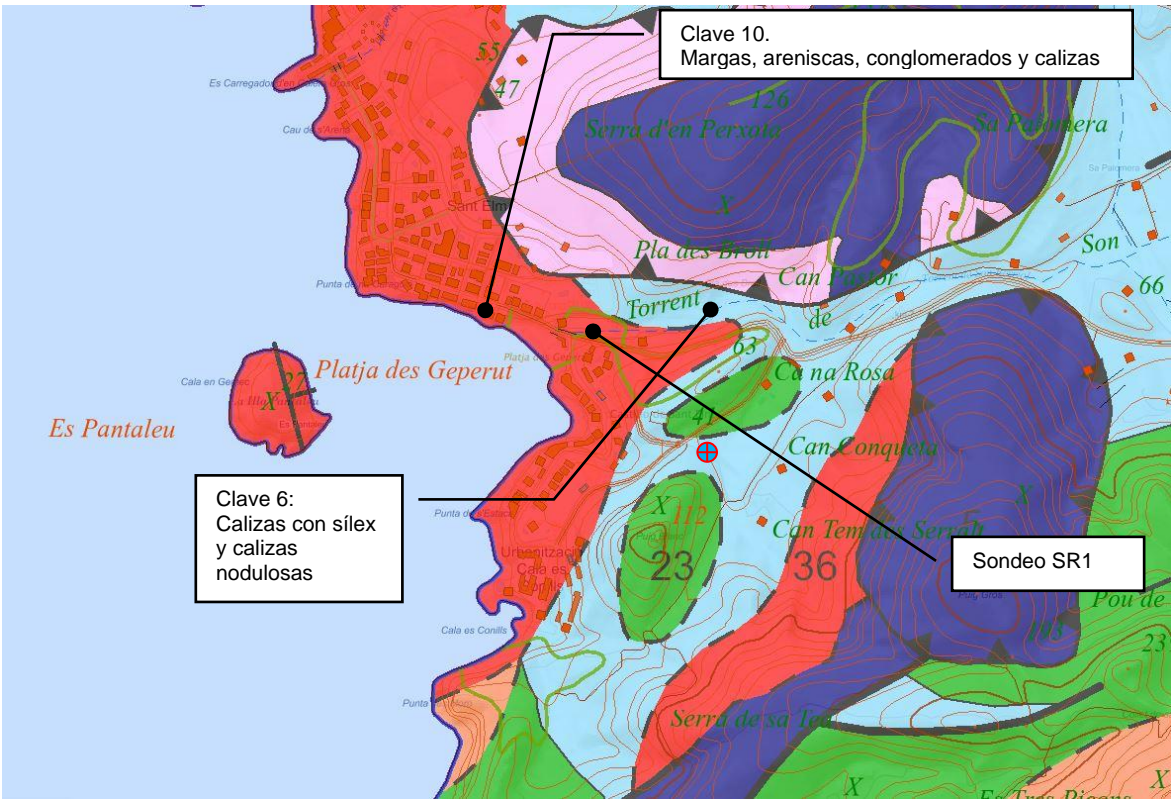


Figura 1. Contexto geológico según cartografía digital del IGME. E 1:50.000

## 5. PROGRAMA DE RECONOCIMIENTO GEOTÉCNICO

### 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 <sup>2</sup> (m)	SPT UNE 103800:92 (nº de ensayos)
S1	15	3.40	5 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.

<sup>2</sup> 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)

## 5.2. Ensayos de laboratorio

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

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

PUNTO DE ESTUDIO	S1	
MUESTRAS (prof.. m.)	TR1 (7.80 – 8.00)	NF1 (3.45)
Tipo Muestra s/CTE	A	C
Compresión simple en roca <b>22950-1/90</b>	•	
Sulfatos solubles en suelos <b>UNE103202/95 - UNE83963/08</b>	•	
Análisis de agua freática <b>EHE-08</b>		•

Resumen de los ensayos de laboratorio:

ENSAYOS		12870	12871
IDENTIFICADORES DE ENSAYO	Identificador tipo	SI/NFI	SI/TRI
	Cota (m)	3,45	7,80-8,00
	Sulfatos (ppm)		Neg.
	C.Simple.R. (MPa)		42,48
	EHE Ph	7,15	
	EHE SO <sub>4</sub> (mg/l)	691,81	

## 6. AREA DE SONDEO S1. ESTRATIGRAFÍA y PARAMETRIZACIÓN GEOTÉCNICA.

Se ha diferenciado los siguientes niveles estratigráficos:

**Tabla 3:** Niveles geotécnicos/estratigráficos

NIVEL	DESCRIPCIÓN
<b>COB</b>	Cobertura de tierras varias parcialmente edafitizadas, incorporando limo arenoso con cantos de caliza y calcarenita
<b>ARM</b>	Arcilla margosa, algo arenosa, de tonalidad marrón y ocre, con pequeños cantos angulosos de calcarenita
<b>CAL</b>	Caliza tipo grainstone de tonalidad gris-oscuro, con abundante presencia de máficos. Grado de alteración II s/ISRM. El testigo rocoso se presenta de forma casi continua. RQD >25%. Muy abrasiva ante la perforación del sondeo → probable presencia de cuarzo/sílice

**Nota.-** El nivel de agua en sondeo se estabiliza a la profundidad de 3.40m; se interpreta como nivel freático local, aproximadamente coincidente con el espejo de agua marina.

Para acotaciones en la vertical se remite a la columna litológica del plano 2. Se procede a la siguiente parametrización de los niveles geotécnicos/estratigráficos referenciados en la tabla anterior:

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

NIVEL GEOTÉCNICO	PARÁMETROS GEOTÉCNICOS (Modelo constitutivo: Mohr Coulomb)								
	$\gamma_{nat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi'$ (°)	$c'$ (kPa)	$c_u$ (kPa)	$E'$ (kPa)	$\nu$ (-)	$k_{30}$ (kp/cm <sup>3</sup> )	$N_{SPT}$
<b>COB</b>	16,00	18,00	28,00	2,50	-	3,8E+03	0,20	0,20	-
<b>ARM</b>	18,00	20,00	25,00	20,00	150,00	3,8E+04	0,40	4,00	R
<b>CAL</b>	26,00	27,00	31,00	260,00	-	5,6E+06	0,21	30,00	R

#### Notas

- $\gamma_{nat}$ : Peso específico natural
- $\gamma_{sat}$ : Peso específico saturado
- $\phi'$ : Ángulo de fricción efectivo (en CAL correlacionado a partir de RMR=52)
- $c'$ : Cohesión efectiva
- $c_u$ : Resistencia al corte sin drenaje
- $E'$ : Módulo de deformación efectivo (en CAL correlacionado a partir de RMR=52)
- $\nu'$ : Coeficiente de Poisson
- $k_{30}$ : Coeficiente de balasto para placa de 30x30cm
- $N_{SPT}$ : Parámetro de golpeo característico  $N_{30}$  del ensayo SPT

## 7. AFLORAMIENTO ROCOSO DE LA PLAYA. CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA

Se ha procedido a realizar una inspección ocular de los afloramientos rocosos de la playa des Geperut (punto de conexión del tramo terrestre con el tramo marino).

En el sector noroeste de la playa aflora una formación de caliza arenosa/calcarenitas con betas de calcita (nivel CAC) que difiere de las calizas (nivel CAL) detectadas en el sondeo S1 (ver apartado 6). Los afloramientos de la playa presentan una estratificación laminada en bancos de unos 5/10cm de espesor, que contrastan con el carácter masivo de la unidad caliza CAL detectada en el sondeo S1. Probablemente ambas litologías correspondan a la misma unidad geológica del Burgigaliense-Langiense, si bien responden a tramos distintos de la serie con un comportamiento geomecánico distinto, al tratarse en el caso de las calcarenitas de la playa (CAC), de una roca relativamente más blanda, con menor RQD (<25%), y por ende un valor del RMR más bajo. Las calcarenitas del nivel CAC pueden considerarse de grado de alteración III s/ISRM.

Se destaca también la presencia de un nivel de conglomerados marinos (edad estimada Cuaternario) en el tramo central de la playa, aunque dichos conglomerados tendrían una escasa potencia del orden de 0.5 a 1.50m, reposando sobre las calcarenitas descritas en el párrafo anterior.



Las calcarenitas (CAC) presentan estratificación laminada con buzamiento aproximado 137/30 SO (rumbo de plano de capa 137; buzamiento de 30° hacia el suroeste)



**Foto 1.** Afloramiento de calcarenitas en el sector NO de la playa des Geperut.



**Foto 2.** Vista ampliada de foto 1





**Foto 3.** Conglomerados marinos de cantos redondeados de caliza. Sector central de la playa des Geperut



**Foto 4.** Textura de la formación conglomerática a escala de afloramiento. (playa des Geperut)



**Foto 5.** Detalle textural de las calcarenitas (CAC) a escala de afloramiento. (playa des Geperut)



Se procede a realizar una caracterización geomecánica de las unidades CAL y CAC en base las observaciones de campo de los afloramientos de la Playa (nivel CAC) y del registro sondeado en S1 (nivel CAL), valorando el índice RMR de Bieniawsky (1989).

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA

RMR Bieniawsky (1989)

Parámetros de clasificación

1	Resistencia a la compresión Kp/cm <sup>2</sup>	>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. 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

CAL	CAA
4	4
13	3
15	8
20	10
0	0

RMR=

52	25
----	----

## 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:

CAL / CAC

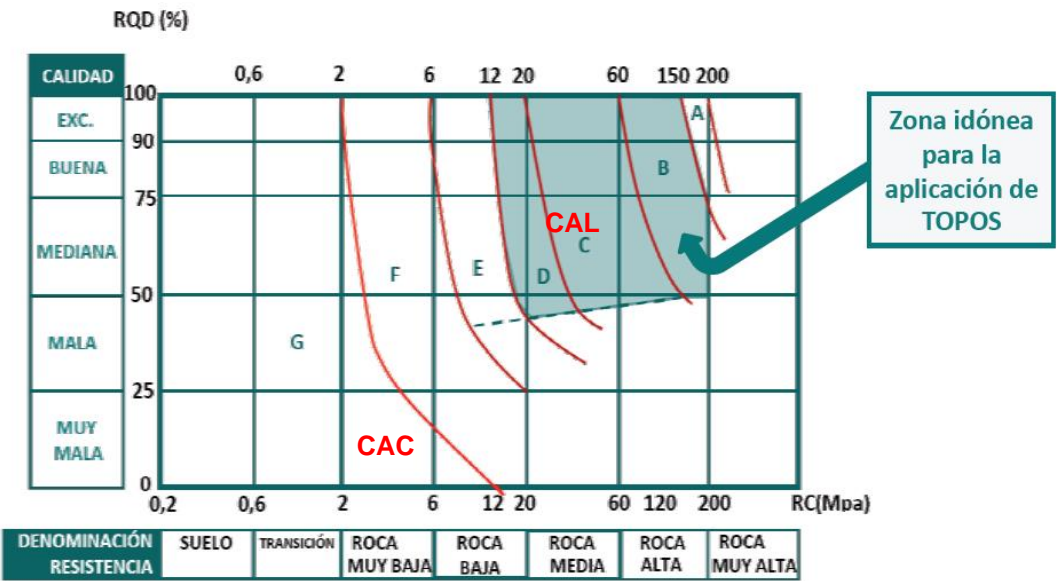
RESISTENCIA DE LA MATRIZ ROCOSA		
RC (MPa)	MATERIAL	RESISTENCIA
< 0,6	Suelo	–
0,6 - 0,2	Transición	–
2 - 6	Roca	Muy baja
6 - 20	Roca	Baja
20 - 60	Roca	Media
60 - 200	Roca	Alta
> 200	Roca	Muy alta

CALIDAD DEL MACIZO	
RQD (%)	CALIDAD DEL MACIZO
0 - 25	Muy mala
25 - 50	CAC Mala
50 - 75	CAL Mediana
75 - 90	Buena
90 - 100	Muy buena

ABRASIVIDAD	
CUARZO EQUIVALENTE (%)	VIABILIDAD DE LA EXCAVACIÓN MECÁNICA
< 40 CAC	Viable económicamente
40 - 60 CAL	Posible. Los costes crecen con el contenido en cuarzo equivalente
60 - 80	Posible. Costes altos, rendimientos bajos
> 80	Inviabile económicamente

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

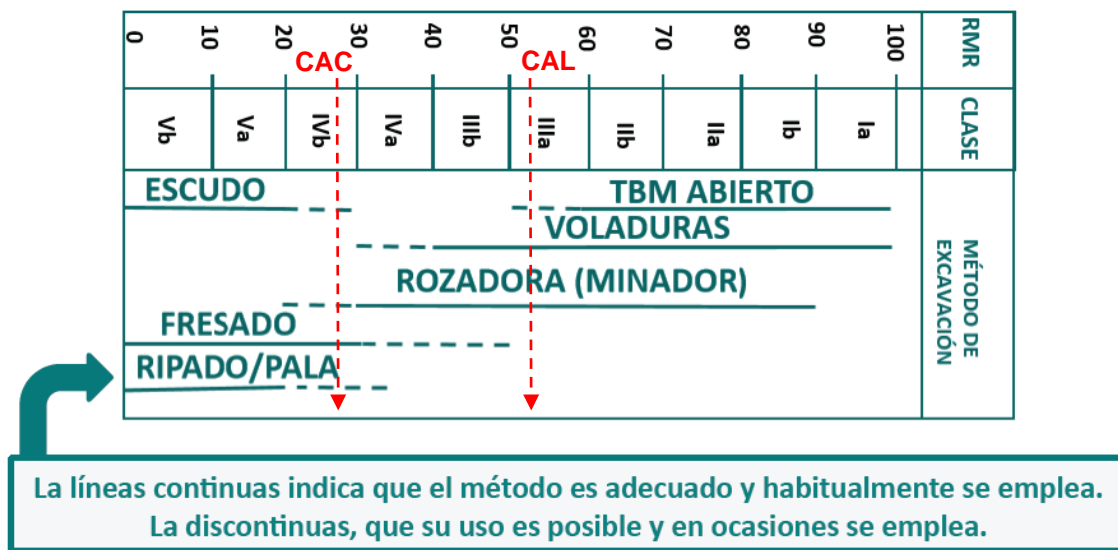
La figura y tabla siguientes establecen una clasificación de la excavabilidad, que el autor recomienda para anteproyectos o estudios previos:



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 CAC y CAL, considerando valores respectivos del RQD de 0% y 62%, y una resistencia característica de la roca matriz intacta de Rc=42 MPa para CAL y Rc=30 MPa para nivel CAC.

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 CAC y CAL, con valores RMR respectivos de 25 y 52.



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

## 9. SOBRE EL REVESTIMIENTO DE PERFORACIONES HORIZONTALES

Nos consta que la perforación del tramo terrestre del emisario se realizará con 200mm.

Se cuestiona la necesidad de entubar mediante revestimiento la perforación del emisario. Al respecto cabe considerar que en los 2 puntos de observación del presente estudio: área sondeo S1 y área de la playa, se presenta un substrato rocoso de grado de alteración II a III s/ ISRM que bien podría soportar la integridad de la perforación sin revestimiento.

Sin embargo, cabe considerar también los siguientes aspectos:

- Por le momento se desconoce si el trazo de la perforación del emisario en profundidad interceptará niveles de sedimento superficiales (tales como los niveles COB o ARM) que sí precisarían de revestimiento.
- Aún transcurriendo la perforación del emisario del emisario en medio rocoso por los niveles CAL y CAC, cabe tener en cuenta que los 2 puntos de observación se hallan separados unos 112m, por lo que se desconoce si existen zonas intermedias cuyo grado de alteración pudiese comprometer la estabilidad del taladro.

Se recomienda al respecto, consultar las empresas especializadas en la perforación dirigida, en base a la información contenida en el presente documento.



## 10. CONSLUSIONES Y RECOMENDACIONES

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

### Plan de trabajos y modelo estratigráfico

- Se ha abordado la ejecución de un sondeo mecánico de reconocimiento con recuperación continua de testigo hasta la profundidad de 12m (ver emplazamiento en plano 1), así como una caracterización geomecánica de los afloramientos rocosos presentes en la playa des Geperut.
- El material detectado en el sondeo responde a materiales blandos de cobertura (nivel COB) y de naturaleza arcillo-margosa (nivel ARM) que se detectan hasta la profundidad de 3.60m. A profundidades inferiores y hasta los 12m se detecta una unidad de caliza continua tipo grainstone con abundantes máficos, de elevada resistencia a la perforación en sondeo y estratificación masiva o de orden métrico (nivel CAL). Se considera que dicha unidad debe tener niveles considerables de sílice o cuarzo (caliza silícica) que dificulta su perforación.
- Los afloramientos rocosos en el sector noroeste de la playa des Geperut presentan una textura composicional distinta la detectada en el nivel CAL del sondeo S1, y corresponden a calcarenitas con estratificación laminada en bancos de espesor centimétrico, con buzamiento aproximado 137/30NO (nivel CAC), las cuales incorporan betas de calcita. En el sector central de la playa se presenta el afloramiento de conglomerados marinos cuya potencia se interpreta de espesor métrico (0.50 – 1.50m) y que reposarían sobre la unidad calcarenítica CAC.

### Excavabilidad y ripabilidad

- Las unidades geotécnicas CAL y CAC pueden clasificarse como rocas de calidad Media a Mala (RMRs respectivos de 52 y 25), con RQDs del 62% para el nivel CAL y del 0% para el nivel CAC.
- 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

- La perforación exenta de revestimiento en el seno de las unidades CAL y CAD es una posibilidad, sin embargo, se recomienda al respecto considerar las observaciones expuestas en el apartado 9.

### Expansividad, nivel freático y agresión química

- No se detecta materiales compatibles con el comportamiento expansivo.
- La prueba de reconocimiento cualitativo de sulfatos solubles en suelos realizado sobre las muestras ensayadas concluye en negativo, considerándose improbable la agresividad del terreno por presencia de sulfatos.

- El nivel de agua en el sondeo S1 se estabiliza a la profundidad de 3.40m, a una cota muy cercana o igual al nivel del mar. Se interpreta como nivel freático local.
- Se ha analizado una muestra de agua freática procedente del sondeo S1, la cual concluye con una concentración de sulfatos de 691.8 mg/l, clasificándose dicha muestra como de **agresividad débil** por presencia de sulfatos, según valoración de la EHE-08.

### Cavidades

- No se detecta presencia de cavidades huecas en la ejecución del sondeo, ni en la inspección de los afloramientos rocosos de la playa.

---

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, noviembre de 2020

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)

## **Anejo 1. ENSAYOS DE LABORATORIO**

## CUADRO RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO

<b>Localización</b>	<b>T.M. Andratx</b>
<b>Ref. Expediente</b>	<b>41.07.20</b>

### MUESTRAS

ENSAYOS		I2870	I2871								
IDENTIFICADORES DE ENSAYO	Identificador tipo	SI/NFI	SI/TRI								
	Cota (m)	3,45	7,80-8,00								
	Sulfatos (ppm)		Neg.								
	C.Simple.R. (MPa)		42,48								
	EHE Ph	7,15									
	EHE SO <sub>4</sub> (mg/l)	691,81									

Director Técnico  
  
Sergi Cruz i Rovira  
Enginyer Geòleg

Director Económico  
  
Carles Cruz i Rovira

## LIBRO DE ACTAS DE LABORATORIO DE GEOTECNIA **/ol.1287I**

<b>Cliente</b>	<b>EXPEDIENTE :</b>	1287I	<b>FECHA :</b>	26-08-2020
	<b>CLIENTE :</b>	G.E.T. SL.	<b>EXP.CLIENTE :</b>	41.07.20
	<b>DIRECCIÓN :</b>	c/Joan Frontera Riera, 95A 074590 (Son Serra de Marina)		
	<b>C.I.F.:</b>	B-5737688I		

<b>Muestra (1)</b>	<b>LOCALIZACIÓN :</b>	T.M. Andratx
	<b>TIPO DE MUESTRA :</b>	SI/TRI
	<b>SEGMENTOS :</b>	I
	<b>PROFUNDIDAD (m) :</b>	7,80-8,00
	<b>DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA :</b>	Documento de apertura

<b>Expediente</b>	<b>ENSAYOS REALIZADOS :</b>	Sulfatos solubles, Compresión simple en roca
	<b>NÚMERO DE PÁGINAS :</b>	3
	<b>REVISIÓN DE EXPEDIENTE :</b>	0

<b>Acreditación y normativa</b>	<b>NÚMERO DE ACREDITACIÓN :</b>	L0600132, L0600258
	<b>FECHA DE ACREDITACIÓN :</b>	1 de marzo de 2006

**Land laboraori d'assaigs i geotècnia SL.** ha realizado los ensayos descritos utilizando métodos normalizados y de reconocimiento nacional.

La Dirección de LAND, se compromete con el cumplimiento de los requisitos establecidos en la norma UNE EN ISO/IEC 17025:2005, el Decreto 149/2017, de 17 d'octubre (Acreditació de laboratoris d'assaig de la construcció), y con el Real Decreto 410/2010, de 31 de marzo.

UNE-EN ISO/IEC 17025-2005

Norma de calidad relativa a laboratorios de ensayo y calibración.

### NOTAS

(1) Datos facilitados por el cliente

Canet d'Adri a 31 de agosto de 2020

Director Técnico  
  
 Sergi Cruz i Rovira  
 Enginyer Geòleg

Director Económico  
  
 Carles Cruz i Rovira

## Apertura y descripción de la muestra

### Tipología

Identificadores	R1	Tipo de muestra	Testigo de roca
	R2	Procedencia	Sondeo
	R3	Número procedencia - número muestra	I - I
	R4	Profundidad muestreo (m)	7,80-8,00
	R5	Segmento estudiado (m)	7,80-8,00

### Descripción litológica

Características físicas	L1	Origen	Roca
	L2	Tipo de muestra (USCS)	-
	L3	Color	Gris con trazas blancas
	L4	Olor	-
	L5	Presencia de carbonatos	Positiva
<b>Niveles diferenciados</b>			
	N	Cota	Observaciones
		7,80-8,00	

Director Técnico  
  
Sergi Cruz i Rovira  
Enginyer Geòleg

Director Económico  
  
Carles Cruz i Rovira



**Equipos de Resistencia de Land**

Prensa de clase "1.0" según UNE 7-474/2 de 200 kN y lectura automatizada  
Equipo de corte directo de 3 kN con célula de carga y lectura automatizada.  
LVDT horizontal de 25 cm y vertical de 12,5 cm. Anillo de 5 cm de Ø

<b>Expediente</b>	001
<b>Cliente</b>	G.E.T. SL.
<b>Referencia</b>	12871
<b>Ref.Muestra</b>	T.M. Andratx, SI/TRI (7,80-8,00m)
<b>Fecha entrada</b>	26-08-20
<b>Fecha salida</b>	31-08-20

## ENSAYO COMPRESIÓN SIMPLE EN ROCA. UNE 22950-1/90

Carga en Rotura (KN)	Tens. Rotura (MPa)	DEFORMACIÓN EN ROTURA (%)
172,36	42,480	2,24

### CURVA DE ROTURA

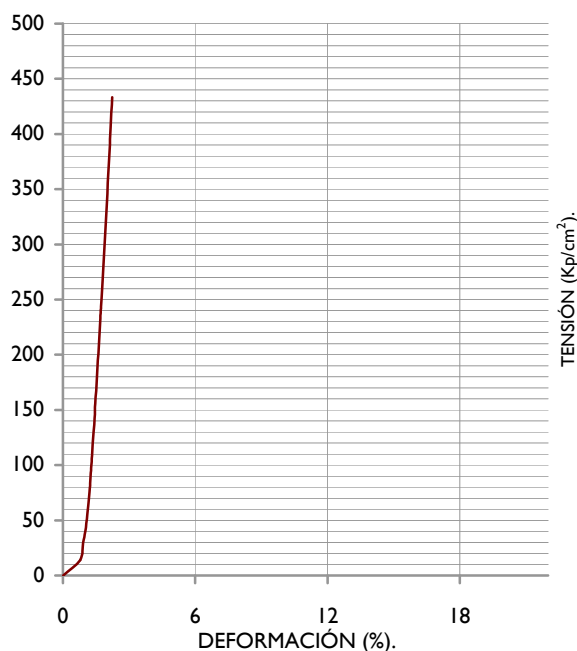
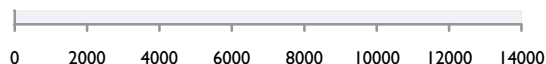


Imagen de la muestra

### TIPO DE MUESTRA: Testigo de roca

Diámetro (cm)	7,19
Ángulo de rotura (°)	---
-	---
Altura (cm)	18,76
Sección (cm²)	40,57
Volumen (cm³)	761,16
Humedad en rotura (%)	0,02
Humedad inicial probeta (%)	0,29
Densidad seca (g/cm³)	2,69
Densidad aparente (g/cm³)	2,70

### Valor agresividad sulfatos EHE-08



### SULFATOS SOLUBLES. UNE103202/95 - UNE83963/08

Test cualitativo	negativo
Test cuantitativo (mg/kg)	-
Clasificación agresividad (EHE-08 tabla 8.2.3.b)	-

Director Técnico  
  
Sergi Cruz i Rovira  
Enginyer Geòleg

Director Económico  
  
Carles Cruz i Rovira



## LIBRO DE ACTAS DE LABORATORIO DE GEOTECNIA /ol.12870

Cliente	<b>EXPEDIENTE :</b>	I2870	<b>FECHA :</b>	26-08-2020
	<b>CLIENTE :</b>	G.E.T. SL.	<b>EXP.CLIENTE :</b>	41.07.20
	<b>DIRECCIÓN :</b>	c/Joan Frontera Riera, 95A 074590 (Son Serra de Marina)		
	<b>C.I.F.:</b>	B-57376881		

Muestra (1)	<b>LOCALIZACIÓN :</b>	T.M. Andratx
	<b>TIPO DE MUESTRA :</b>	SI/NFI
	<b>SEGMENTOS :</b>	I
	<b>PROFUNDIDAD (m) :</b>	3,45
	<b>DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA :</b>	Documento de apertura

Expediente	<b>ENSAYOS REALIZADOS :</b>	Ensayo agua EHE básico
	<b>NÚMERO DE PÁGINAS :</b>	3
	<b>REVISIÓN DE EXPEDIENTE :</b>	0

Acreditación y normativa	<b>NÚMERO DE ACREDITACIÓN :</b>	L0600132, L0600258
	<b>FECHA DE ACREDITACIÓN :</b>	1 de marzo de 2006

**Land laboraori d'assaigs i geotècnia SL.** ha realizado los ensayos descritos utilizando métodos normalizados y de reconocimiento nacional.

La Dirección de LAND, se compromete con el cumplimiento de los requisitos establecidos en la norma UNE EN ISO/IEC 17025:2005, el Decreto 149/2017, de 17 d'octubre (Acreditació de laboratoris d'assaig de la construcció), y con el Real Decreto 410/2010, de 31 de marzo.

UNE-EN ISO/IEC 17025-2005

Norma de calidad relativa a laboratorios de ensayo y calibración.

### NOTAS

(1) Datos facilitados por el cliente

Canet d'Adri a 31 de agosto de 2020

Director Técnico  
  
 Sergi Cruz i Rovira  
 Enginyer Geòleg

Director Económico  
  
 Carles Cruz i Rovira

## Apertura y descripción de la muestra

### Tipología

Identificadores	R1	Tipo de muestra	Nivel freático
	R2	Procedencia	Sondeo
	R3	Número procedencia - número muestra	I - I
	R4	Profundidad muestreo (m)	3,45
	R5	Segmento estudiado (m)	3,45

### Descripción litológica

Características físicas	L1	Origen	Agua
	L2	Tipo de muestra (USCS)	-
	L3	Color	Turbio marrón claro
	L4	Olor	-
	L5	Presencia de carbonatos	Negativa
<b>Niveles diferenciados</b>			
	N	Cota	Descripción
			Observaciones

Director Técnico  
  
Sergi Cruz i Rovira  
Enginyer Geòleg

Director Económico  
  
Carles Cruz i Rovira

**Expediente** 001  
**Cliente** G.E.T. SL.  
**Referencia** 12870  
**Ref.Muestra** T.M. Andratx, SI/NFI (3,45m)  
**Fecha entrada** 26-08-20  
**Fecha salida** 31-08-20

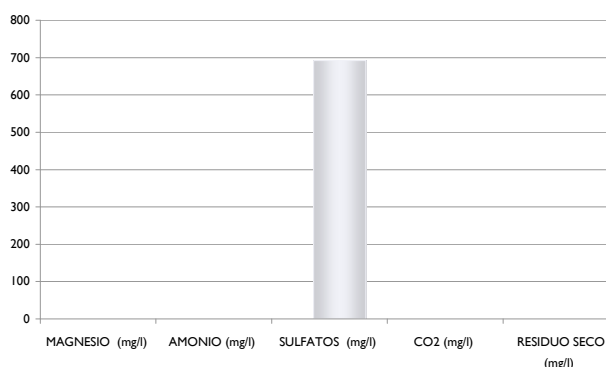


**Equipos generales de laboratorio químico**  
Espectrofotómetro de UV-visible de 660 nm y lámpara de sodio  
Balanza analítica de 0,0001 de precisión y 200g de capacidad  
Balanza analítica de 0,001 de precisión y 500g de capacidad y material general de laboratorio

## AGRESIVIDAD DEL AGUA AL HORMIGÓN / E.H.E.-08)



Imagen de la muestra



### INFORMACIÓN GENERAL

TIPO DE AGUA :	Agua del nivell freàtic
TEMPERATURA (°C) :	18,0
PROFUNDIDAD DEL MUESTREO	3,45m
NIVEL AGUA FREÁTICA :	3,45m
DESCRIPCIÓN CONDICIONES LOCALES :	-
LUGAR Y FECHA DEL MUESTREO :	T.M. Andratx, SI/NFI (3,45m)
TOMA MUESTRAS :	Manual

### DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DE VALORES / E.H.E.-08

ANÁLISIS	RESULTADO	AGRESIVIDAD
VALOR DE PH	7,2	NULA
MAGNESIO (mg/l)	-	-
AMONIO (mg/l)	-	-
SULFATOS (mg/l)	691,808	MEDIO
CO <sub>2</sub> (mg/l)	-	-
RESIDUO SECO (mg/l)	-	-

### DETERMINACIÓN DE CLORUROS EN AGUA U.N.E. 7178 - 60

ANÁLISIS	RESULTADO	AGRESIVIDAD
IÓN CLORURO (mg/l)	-	-

Director Técnico  
  
Sergi Cruz i Rovira  
Enginyer Geòleg

Director Económico  
  
Carles Cruz i Rovira

## **Anejo 2. ENSAYOS DE CAMPO (Sondeos/DPSH)**

Expediente: 41.07.20

Obra: Junto a Ctra. Sant Elm a Sa Racó. Sant Elm - T.M. Andratx

Ciente: GRADUAL INGENIEROS, S.L.

CIF: B57928038



Sondista: José María Talavera Iglesias - Maquinaria: FRASTE Terra-In / Rolathec RL-148

Id. Sondeo: S 1

Ref. Emplazamiento Ver plano 1

Fecha Muestreo: 13-ago.-2020

Condiciones ambientales: Soleado

Profundidad asumida (m): 12,00

Cota (m) 3,40

Nivel Freático(m): 3,40

Nº Cajas 3

Hoja 1/1

PROFUNDIDAD DE:	A:	MANIOBRAS	BATERIA	AGUA (Color)	RQD %	TESTIGO (m)	S.P.T. / Inalt.				N <sub>SPT</sub>	DESCRIPCIÓN DEL TERRENO
							15	30	45	60		
0,00	1,20	SECO	B86			1,20						Arenas, gravas y algo de margas beige
1,20	1,80	SECO	B86			0,60						Gravas y bolos de calizas con margas ocre arenas
1,80	2,40	AGUA Y SECO	B86	BEIGE		0,60						Margas ocre algo húmedas con gravas
2,40	2,62	SPT 1	C50				19	50			R	Margas ocre algo húmedas con gravas
2,62	3,00	AGUA Y SECO	B86			0,60						Margas ocre algo húmedas con gravas y calizas muy fuertes
3,00	4,40	AGUA Y SECO	B86	BEIGE	44	1,40						Calizas muy fuertes con margas beige/ocres
4,40	4,42	SPT 2	C50				50				R	Calizas muy fuertes con margas beige/ocres
4,42	6,00	AGUA	D86	BEIGE	63	1,60						Calizas muy fuertes
6,00	6,01	SPT 3	C50				50				R	Calizas muy fuertes
6,01	7,20	AGUA	D86	GRIS	70	1,20						Calizas muy fuertes
7,20	8,00	AGUA	D86	GRIS	99	0,80						Calizas muy fuertes
8,00	8,01	SPT 4	C50				50				R	Calizas muy fuertes
8,01	9,00	AGUA	D86	GRIS	34	0,80						Calizas muy fuertes
9,00	10,00	TRICONO	T65	GRIS/BEIGE		0,00						Calizas muy fuertes
10,00	10,02	SPT 5	C50				50				R	Calizas muy fuertes
10,02	11,00	TRICONO	T65	BEIGE/GRIS		0,00						Calizas muy fuertes
11,00	12,00	TRICONO	T65	BEIGE/GRIS		0,00						Calizas fuertes con alguna fractura rellenas de margas beige/ocres

Nomenclatura: SPT: Standard Penetration Test (UNE 103 800/92) C50: Zapata ciega 50mm; A50: Zapata abierta 50mm / NF: Toma de muestra de agua (UNE 7236)

M.I.: Muestra Inalterada (XP P94-202 / ASTM-D2113-99) S75: Tomamuestras tipo Shelby 75mm

#### OBSERVACIONES:

Se perdió el agua a 1,90 m y se recuperó a 3,10m. Dos cubas suministradas.

Fdo: Sergi Cruz i Rovira

Director técnico.

Ingeniero Geólogo, colegiado 5107

GEOTECHNICAL SOLUTIONS, S.L.

C/. Joan Frontera Riera 95A - 07459 Son Serra de Marina

T. 971 87 06 98 | M. 657 95 14 54 info@geotech.cat | www.geotech.cat

Son Serra de Marina, 18/11/2020

## **Anejo 3. REPORTAJE FOTOGRÁFICO**



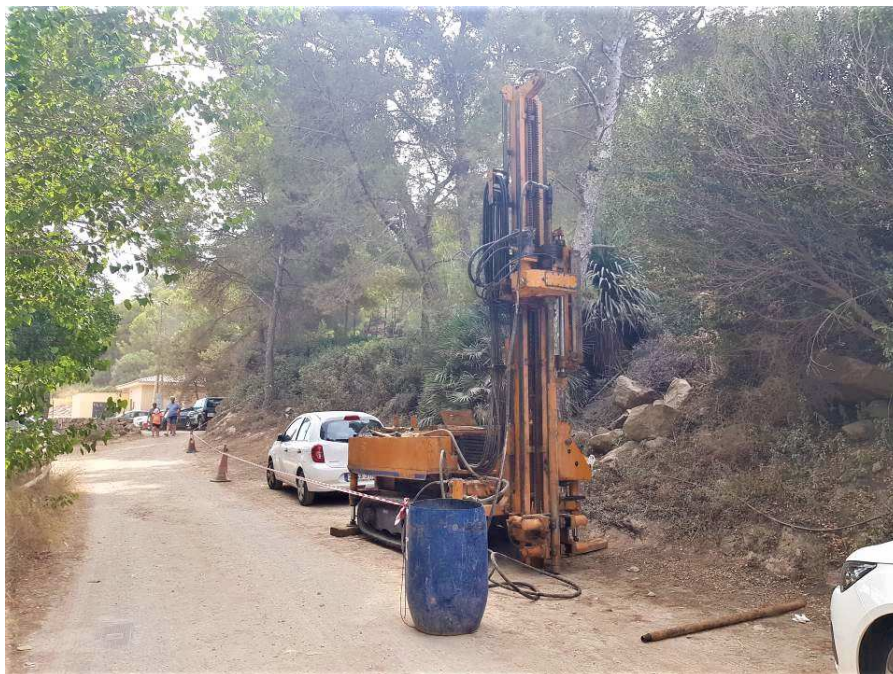


Foto 1: Emplazamiento de sonda en punto P 1



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



## **Anejo 4. PLANOS SONDEOS (Emplazamiento/Litología)**





I. MALLORCA

I. CONEJERA

I. CABRERA

PUNTOS DE ESTUDIO		
Punto	Cota (m)	Prof. (m)
SR1	3,40	12,00

NOTAS

- Cota de arranque del sondeo corresponde a la altura con respecto al nivel freático
- Planta de fondo corresponde a ortofoto procedente de:  
<http://sigpac.mapama.gob.es/fega/visor/>

--- Trazo aproximado del emisario

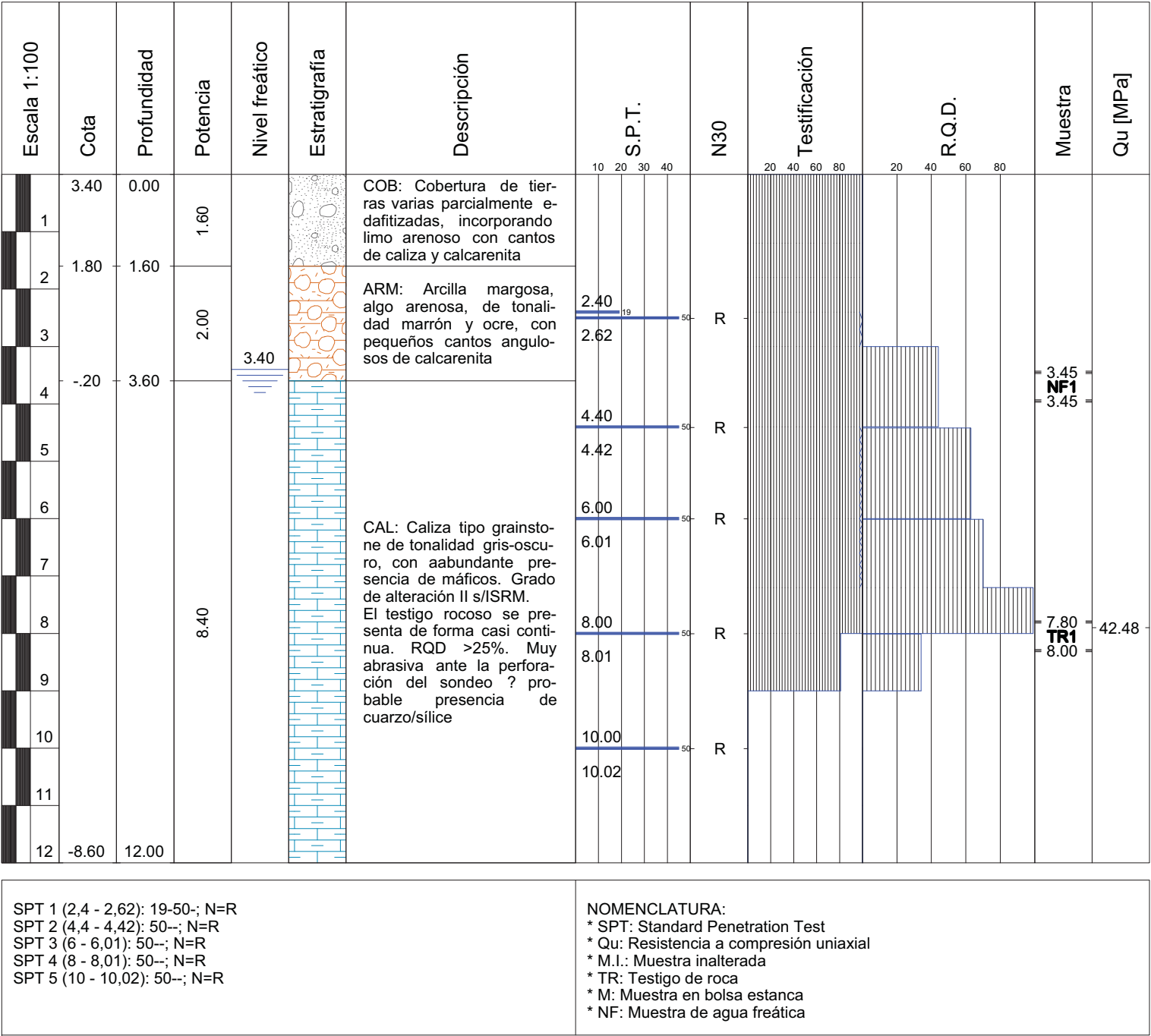
SR: Sondeo mecánico de reconocimiento. Perforación a rotación con recuperación continua de testigo (batería tipo T-86), según norma XP P94-202



COLUMNAS LITOLÓGICAS  
E 1:100

SONDEO

S 1



**APÉNDICE 2 – ESTUDIO GEOFÍSICO Y BATIMÉTRICO DEL TRAMO  
MARINO DEL EMISARIO**

**ESTUDIO GEOFÍSICO Y BATIMÉTRICO PARA EL PROYECTO DE EMISARIOS EN  
SANT ELM, MALLORCA, ISLAS BALEARES, JULIO 2020**



<b>Referencia Proyecto</b>	113401196	<b>Revisión</b>	1
<b>Departamento</b>	Marine Survey		
<b>Autores</b>	Younes Edamoune Alfonso Marchante Toledo Juan Carlos García Tejero		
<b>Fecha de realización</b>	22 a 28 de julio de 2020		
<b>Fecha de revisión</b>	07 de septiembre de 2020		

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	5
2. OBJETIVOS .....	5
3. ÁREA DEL PROYECTO .....	5
4. EQUIPOS EMPLEADOS .....	6
4.1. Posicionamiento .....	6
4.2. Batimetría multihaz.....	7
4.3. Prospección con sonar de barrido lateral.....	9
4.4. Perfilador de fondos con sísmica de reflexión .....	10
5. SISTEMA GEODÉSICO.....	10
5.1. Sistema de referencia planimétrico .....	10
5.2. Sistema de referencia altimétrico .....	12
6. METODOLOGÍA .....	12
6.1. Levantamiento batimétrico .....	12
6.1.1. Proyecto de líneas.....	12
6.1.2. Equipos e instalación.....	13
6.1.3. Perfil de velocidad del sonido en la columna de agua. ....	15
6.1.4. Calibración de la Unidad de referencia de movimiento.....	15
6.1.5. Calibración de la ecosonda multihaz.....	15
6.1.6. Adquisición de datos. ....	17
6.1.7. Edición de los datos batimétricos .....	18
6.2. Geomorfología con Sonar de Barrido Lateral .....	20
6.3. Sísmica de reflexión con perfilador de fondo. ....	22
6.3.1. Metodología Perfilador de fondo .....	23
6.3.2. Instalación y calibración de los equipos. ....	24
6.3.3. Edición de los datos geofísicos .....	25

7. RESULTADOS OBTENIDOS.....	26
7.1. Levantamiento batimétrico .....	26
7.2. Resultados geomorfológicos obtenidos .....	32
7.3. Resultados de la sísmica de reflexión.....	36
7.3.1. Plano de isópacas de espesor de sedimento no consolidado .....	36
7.3.2. Descripción del perfil sísmico representativo del área de estudiada .....	37
8. BIBLIOGRAFÍA .....	39
ANEXO I. CARTOGRAFÍA.....	39



## **1. INTRODUCCIÓN**

El presente informe describe los estudios geofísicos realizados en Sant Elm, para asistir o completar el proyecto y la tramitación ambiental del emisario de Sant Elm.

## **2. OBJETIVOS**

El principal objetivo de los trabajos es la caracterización geomorfológica y geofísica de la zona de estudio, así como la identificación y localización de las distintas infraestructuras y/o anomalías presentes en la zona. Para dicha identificación y localización se han realizado las siguientes prospecciones y levantamientos:

- Levantamiento batimétrico mediante sonda multihaz.
- Identificación de la composición litológica superficial del fondo (roca, arenas, fangos) a partir del análisis de las reflectividades; caracterización geomorfológica mediante prospección específica con Sónar de Barrido Lateral (equipo arrastrado)
- Definición mediante sísmica de reflexión del espesor (grosor) de los sedimentos no consolidados presentes en el fondo marino (fangos, arenas, gravas) hasta el muro rocoso, o en su defecto, hasta la atenuación total de la señal sísmica. Dependiendo del tipo de material esta técnica permite la detección de espesores de sedimentos no consolidados con potencias que dependerán siempre de las características geofísicas de los materiales prospectados.

## **3. ÁREA DEL PROYECTO**

Los trabajos en campo se han llevado a cabo en Sant Elm (Andratx), entre el 26 y 28 de Julio de 2020. La zona de estudio se encuentra situada en la costa Suroeste de la isla de Mallorca, Islas Baleares.

La influencia de la naturaleza del roquedo en la configuración de la costa de Mallorca debe entenderse desde una doble perspectiva. Por un lado los materiales que afloran casi en su totalidad en la costa de Mallorca son calcáreos lo cual implica que el modelado kárstico tendrá una componente importante en la formación del relieve litoral, tanto en su componente de formación y colapso de cavidades que se traducirá en la formación de puentes, estacas o en la configuración de las calas (Ginés, 2000), o bien en relación al micromodelado que se superpondrá al perfil de los acantilados y costas bajas (GómezPujol y Fornós, 2001). Por otro lado, la naturaleza del roquedo debe considerarse desde una perspectiva de resistencia mecánica, ya que las facies lutíticas del Keuper que aparecen en la base de los acantilados del sector central de la Serra de Tramuntana, facilitan los procesos de deslizamientos y desprendimientos acompañados de las precipitaciones y temporales de mar intensos (Mateos, 2000), y acaban configurando acantilados de perfil cóncavo; a las resistentes brechas calcáreas y dolomíticas del Lías les corresponde perfiles verticales. En la misma línea, el comportamiento diferencial de los estratos tabulares de las series y ambientes sedimentarios de la Unidad

Arrecifal y del Complejo Terminal –donde se alternan calcarenitas y calcilutitas– explicará la presencia de perfiles escalonados, superficies de erosión o entalladuras (notchs) en los acantilados de las Marinas de Migjorn y Llevant. A la par, que facilitará los procesos de movimientos de masas (desprendimientos, colapsos,...) a raíz de la erosión diferencial (Balaguer et al., 2002).(( EL LITORAL DE MALLORCA:SÍNTESIS GEOMÓRFICA/ Lluís GÓMEZ-PUJOL1, Pau BALAGUER1 y Joan J. FORNÓS2))



**Figura 1. Ámbito de estudio.**

## **4. EQUIPOS EMPLEADOS**

En este apartado se detallan los equipos empleados en los trabajos de posicionamiento, levantamiento hidrográfico y geofísico.

### **4.1. Posicionamiento**

Los trabajos batimétricos se han realizado con un equipo GPS RTK Geomax Zenith, receptor GNSS compatible con GPS, Glonass, Galileo y los sistemas SBA. Este equipo puede ser configurado como base y rover, así como para la recepción de señales vía GPRS.

*Especificaciones y precisión del receptor:*

- *Velocidad de posicionamiento 20 Hz y 5hz*
- *Precisión estática horizontal: 5mm  $\pm$  0.5 ppm*
- *Precisión estática vertical: 10 mm  $\pm$  0.5 ppm*
- *Estático largo horizontal: 3 mm  $\pm$  0.1 ppm*
- *Estático largo vertical: 5 mm  $\pm$  0.4 ppm*
- *Cinemático horizontal: 10 mm  $\pm$  1 ppm*
- *Cinemático vertical: 20 mm  $\pm$  1 ppm*

Los programas de navegación (Hypack) y adquisición de datos (PDS2000, Coda) permiten controlar los errores de posicionamiento del GPS.

Para los trabajos de geofísica, se ha usado un DGPS marca Hemisphere modelo R330. Se trata de un receptor de posicionamiento diferencial óptimo para levantamientos batimétricos y geofísicos, gracias a su alta actualización de la posición de 20 kHz. Los LEDs y el menú de pantalla hacen muy fácil su configuración. Este receptor se sostiene bajo las correcciones diferenciales de SBAS, BEACON y OMNISTAR. Puede a su vez recibir correcciones RTK hasta 50 Km.

- *Punto autónomo: 1.2 m en horizontal y 2.5 m en la vertical.*
- *Con recepción de diferencial: 0.3 m en la horizontal y 0.6 en la vertical.*
- *RTK: 10 mm + 1ppm en la horizontal y 20 + 2ppm en*

La navegación para el trazado de líneas se ha realizado con software Hypack 2020.

#### **4.2. Batimetría multihaz**

En la siguiente tabla se incluye la relación de equipos empleados en el levantamiento batimétrico con sonda multihaz R2Sonic 2020.

**Tabla 1. Relación de equipos empleados.**

Parámetro	Equipo	Modelo
<b>Profundidad</b>	Ecosonda multihaz	R2Sonic 2020
<b>Posición</b>	GPS RTK	Geomax Zenith 25
<b>Marea</b>	GPS RTK	Geomax Zenith 25
<b>Roll – Pitch – Heave (oleaje)</b>	Compensador de oleaje	I2NS
<b>Heading (rumbo)</b>	Giroscópica	
<b>Perfil de velocidad del sonido en continuo</b>	Sensor de velocidad de sonido	Mini SVP Valeport
<b>Perfil de velocidad en la columna de agua</b>	Perfilador de velocidad del sonido	Midas SVP Valeport

#### **Ecosonda R2Sonic**

- Frecuencia seleccionable de 200kHz a 400KHz
- Nº de haces: 256
- Selección del ángulo de barrido de 10 a 130º
- Ancho de pulso seleccionable entre 15 a 1000 µsec
- Ancho de haz transversal enfocado de 2º para 400 KHz y 4º para 200 KHz
- Ancho de haz longitudinal de 2º para 400KHz y 4º para 200 KHz
- Tasa de repetición 60 KHz en función de la profundidad

#### **I2NS**

- Precisión de posicionamiento:
  - SBAS: 0.6 m
  - DGPS: 0.4 m
  - RTK: >1 cm
- Autónomo: 1.5
- Velocidad: <0.014 m/s
- Balanceo y cabeceo: <0.025º
- Rumbo verdadero con una separación entre antenas de 1 m es de 0.1º
- Oleaje: 5% de la amplitud de oleaje o 5 cm

#### **Valeport Midas SVP**

- Alcance: 1375-1900 m/seg.
- Resolución: 0.001 m/seg.
- Precisión de la velocidad: +/-0.002 m/seg.
- Presión: +/- 0.05%
- Temperatura: +/- 0.01 ° C

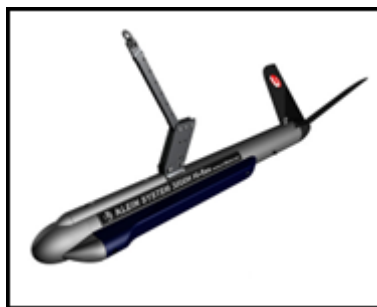


**Figura 2. Transductor de ecosonda R2Sonic 2020 y módulo de conexiones**

La adquisición y procesamiento de datos batimétricos se ha realizado con el software PDS2000.

#### **4.3. Prospección con sonar de barrido lateral**

El levantamiento geomorfológico superficial se realizará con un sónar de barrido lateral Klein 3000H.



**Figura 3. Sónar Klein 3000H.**

La adquisición de datos y el procesamiento de los mismos se han realizado con el software SonarWiz7.



#### 4.4. Perfilador de fondos con sismica de reflexión

La prospección sísmica de sedimentos no consolidados se ha realizado con el perfilador de fondos Innomar SES 2000 compact con las siguientes especificaciones principales.

Water depth range	0.5 – 400m
Sediment penetration	up to 40m (depending on sediment type and noise)
Range / Layer resolution	approx. 1cm / up to 5cm
Transmit beam width (-3dB)	approx. $\pm 2^\circ$ / footprint <7% of water depth
Primary frequencies (PF)	approx. 100kHz (frequency band 85 – 115 kHz)
Primary source level	>238dB/ $\mu$ Pa re 1m
Secondary low frequency (SLF)	centre freq. user selectable: 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15 kHz (total frequency band 2 – 22 kHz)
Pulse width	user selectable 0.07 – 1.0ms
Pulse type	Ricker, CW
Ping rate	up to 40 pings/s
Data acquisition	digital 24bit @ ~70kHz sample rate



Figura 4. Innomar SES 2000 Compact.

El rango de penetración de este sistema es de 5 a 40 metros con una resolución operacional de hasta 5cm dependiendo de las condiciones del subsuelo. De esta manera, se pueden detectar con suficiente detalle; espesores de sedimentos no consolidados, paleocanales, arrecifes sepultados, fallas geológicas someras, o elementos antrópicos.

## 5. SISTEMA GEODÉSICO

### 5.1. Sistema de referencia planimétrico

Mediante el *Real Decreto 1071/2007, de 27 de julio, por el que se regula el sistema geodésico de referencia oficial en España*, se dispone, a través de su capítulo 1, artículo 3:

*“Sistema de referencia geodésica:*

*Se adopta el sistema ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989) como sistema de referencia geodésico oficial en España para la referenciación geográfica y cartográfica en el ámbito de la Península Ibérica y las Islas Baleares. En el caso de las Islas Canarias, se adopta el sistema REGCAN95. Ambos sistemas tienen asociado el elipsoide GRS80 y están materializados por el marco que define la Red Geodésica Nacional por Técnicas Espaciales, REGENTE, y sus densificaciones.”*

El ETRS89, sistema de referencia geodésico, toma el Elipsoide GRS 80 (Geodetic Reference System 1980). Un elipsoide es la superficie de aproximación a la forma de la Tierra empleada por los diferentes sistemas cartográficos. Se trata de la mejor forma posible de describir el geoide en términos matemáticos. Dada la complejidad de la forma de la Tierra, es imposible tratarla tal como es en realidad con matemáticas, por lo que es necesario reducir su forma principal a una forma geométrica susceptible de ser descrita con números. El elipsoide es precisamente esa figura de aproximación que permite aplicar los diferentes sistemas de proyección cartográficos.

Las características del elipsoide son las siguientes:

Achatamiento: 1/298.257 222 101
Semieje mayor: 6 378 137 m
Semieje menor: 6 356 752.314 140 347 m

Por otro lado, las coordenadas geográficas son difíciles de representar en un plano; es por ello que es necesario realizar una proyección del elipsoide al plano. Para ello y mediante el mismo Real Decreto enunciado anteriormente, se dispone en el capítulo II, artículo 5:

*“Representación planimétrica de cartografía oficial.*

- 1. Para cartografía terrestre, básica y derivada, a escala igual o menor de 1:500.000, se adopta el sistema de referencia de coordenadas ETRS-Cónica Conforme de Lambert.*
- 2. Para cartografía terrestre, básica y derivada, a escalas mayores de 1:500.000, se adopta el sistema de referencia de coordenadas ETRS-Transversa de Mercator.*
- 3. Para cartografía náutica se adopta la proyección Mercator.”*

Por ello, se emplea en el presente informe la proyección UTM (Universal Transversal Mercator). Este sistema de proyección cartográfica parte del desarrollo cilíndrico de Gauss, que se basa en la colocación de un cilindro imaginario transversal y tangente al elipsoide a lo largo del meridiano central de cada uno, por lo que este es automecoico (se dibuja como una línea recta). Así, el sistema está basado en coordenadas planas (cartesianas) que divide a la Tierra en 60 husos, cada uno con 6º de ancho y numerados del 1 al 60 con origen en 180º con respecto al meridiano de Greenwich. Sobre estos husos el origen de coordenadas está en el meridiano central del propio huso en el eje de las X, con un retranqueo de 500.000 metros, llamado el Falso Este, para no hacer cálculos con posiciones negativas; y el eje Y se encuentra en el Ecuador. Para la zona de estudio, el Huso correspondiente es el Huso 31, cuyos parámetros de definición son los siguientes:

Meridiano oriental: 6°
Meridiano central: 3°
Meridiano occidental: 0°
Falso Este: 500 000 metros
Falso Norte: 0 metros

## 5.2. Sistema de referencia altimétrico

En los levantamientos hidrográficos es necesario conocer la altura de la marea mientras se realiza la adquisición de datos, puesto que las sondas obtenidas deben referirse a una referencia vertical fija. Es por ello que también mediante el REAL DECRETO 1071/2007, de 27 de julio, por el que se regula el sistema geodésico de referencia oficial en España, dispone en el capítulo 1, artículo 4:

1. Se tomará como referencia de altitudes los registros del nivel medio del mar en Alicante para la Península y las referencias mareográficas locales para cada una de las islas. Los orígenes de las referencias altimétricas serán definidos y publicados por la Dirección General del Instituto Geográfico Nacional.
2. El sistema está materializado por las líneas de la Red de Nivelación de Alta Precisión.
3. El datum hidrográfico al que están referidas las sondas, cero hidrográfico, será definido y publicado por el Instituto Hidrográfico de la Marina y representará la referencia altimétrica para la cartografía náutica básica.”

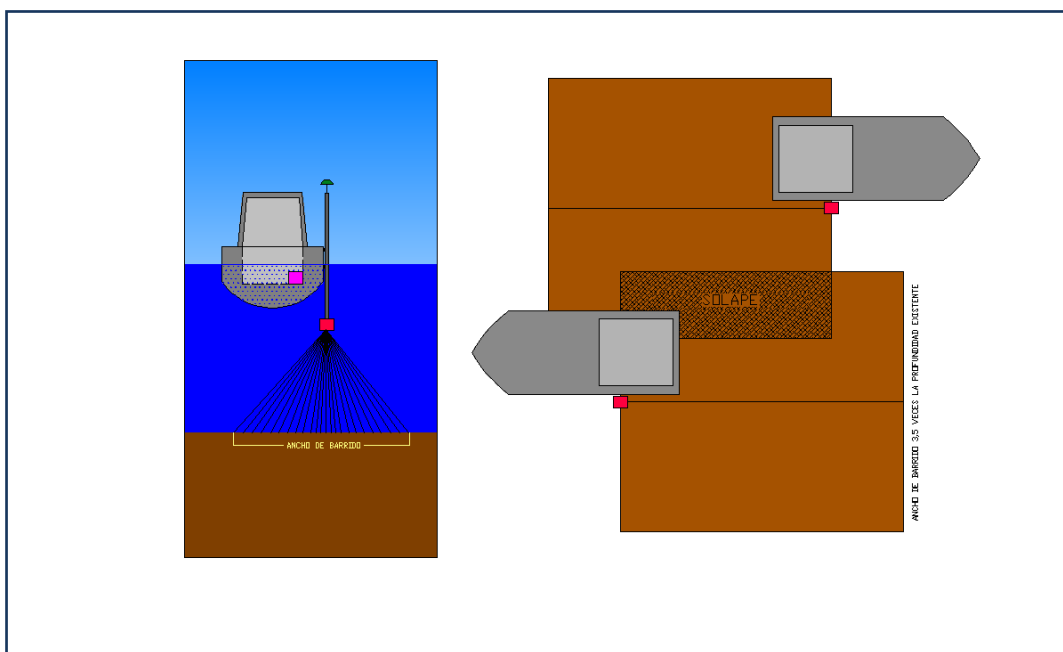
Por tanto, para el presente proyecto la referencia altimétrica es el Nivel del Medio del Mar en Alicante (en adelante NMMA).

## 6. METODOLOGÍA

### 6.1. Levantamiento batimétrico

#### 6.1.1. Proyecto de líneas.

Todas las campañas de batimetría se basan en un proyecto de líneas. En este caso, el proyecto de líneas de este levantamiento ha sido elaborado por TECNOAMBIENTE. Está compuesto por líneas paralelas, separadas por una distancia determinada a partir de la profundidad a prospectar, abarcando toda la superficie solicitada. Esta separación entre líneas depende de la altura de la columna de agua y el ángulo de haz escogido. El criterio que se aplica es aproximadamente un ancho de barrido de 3 veces la profundidad de la zona de estudio.

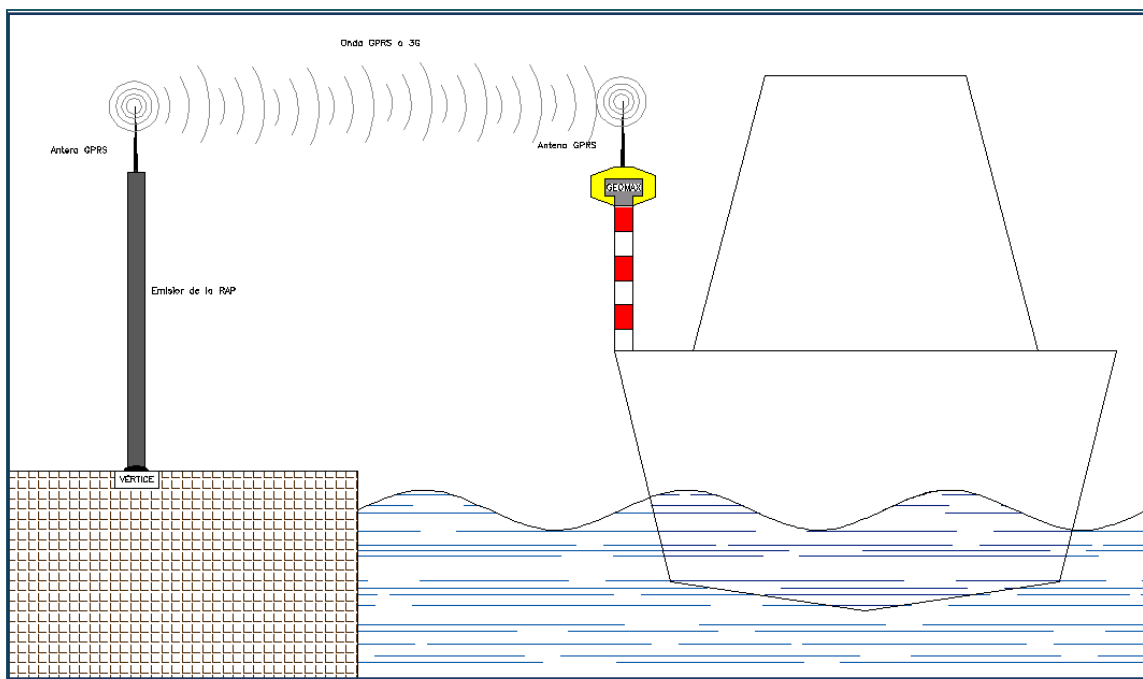


**Figura 5. Esquema del barrido de ecosonda multihaz para levantamiento batimétrico. (Fuente: Elaboración propia).**

#### 6.1.2. Equipos e instalación.

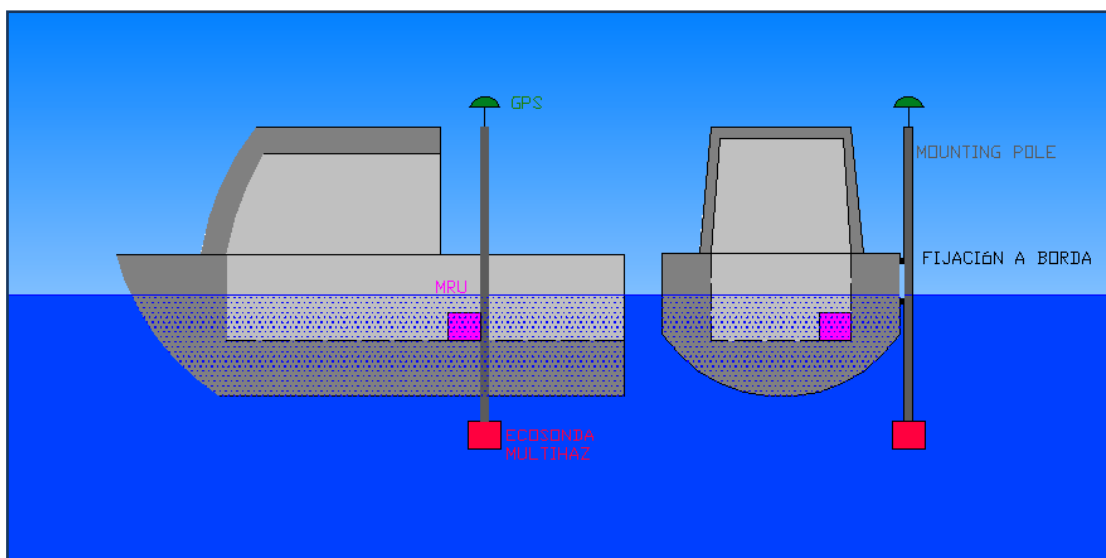
La sonda multihaz utilizada ha sido el modelo 2024 de R2Sonic. Es el sondador más avanzado existente hoy en día en el mercado, pudiendo transmitir hasta 256 haces con un rango de frecuencia a escoger entre 200 y 400 KHz. Dependiendo de la profundidad, puede llegar a una frecuencia de repetición de pulsos de 60 transmisiones/segundo y obtener así la máxima resolución del mercado para la profundidad de estudio. En la presente campaña se ha escogido un conjunto de haces formando un ángulo de  $120^\circ$ , con una frecuencia de 400 KHz para la obtención de un registro de calidad, ya que la frecuencia de 400 KHz tiene un ángulo transversal a la navegación de  $0.5^\circ$  y longitudinal de  $1^\circ$ .

Para medir el rumbo de la embarcación, la altura de ola y los ángulos de balanceo y cabeceo, imprescindibles para la correcta utilización del sondador multihaz, se utiliza el equipo Coda Octopus F185. La posición la provee el GPS RTK, con una corrección diferencial de carácter subcentimétrico, proporcionada por la red RAP a partir de la señal GPRS.



**Figura 6. Esquema de transmisión de la corrección RTK vía GPRS al Rover GEOMAX.**

La sonda multihaz se ha instalado a una banda de la embarcación, en un punto cercano al centro de gravedad de la misma. La unidad de referencia del movimiento (MRU) se fijó a la cubierta del barco, cerca tanto del transductor como de las antenas y del centro de gravedad de la embarcación. El GPS se instaló sobre el tubo de soporte de montaje del transductor, de forma que el GPS y la ecosonda están en el mismo eje. El perfilador de velocidad del sonido mini SVP ha sido instalado en el mismo transductor, para actualizar dichos valores en tiempo real, y de esta forma, poder calcular con precisión la profundidad existente.



**Figura 7. Esquema de instalación de la ecosonda multihaz a bordo de la embarcación.**



Una vez realizada la instalación de los equipos, se procedió a medir las distancias pertinentes entre ellos (offset). Este procedimiento es de vital importancia, pues deben referirse posición, profundidad y movimientos al mismo punto de referencia.

#### 6.1.3. Perfil de velocidad del sonido en la columna de agua.

Antes de comenzar con la adquisición de datos es necesario realizar un perfil de velocidad del sonido en la columna. Este perfilado es empleado como apoyo al cálculo de la profundidad por parte de la ecosonda multihaz. Es importante realizar dicho perfil en la zona de máxima profundidad del área de estudio, así como en áreas donde se pueda prever variaciones debido a la influencia de aguas con características termohalinas diferentes.

La metodología para la obtención del perfil de velocidad del sonido en la columna de agua es sencilla. Para ello se sumerge el perfilador, en este caso el modelo SVP de Valeport, hasta el fondo y después de izarlo se introducen los datos, cada medio metro de la velocidad del sonido en el PDS2000, para que él interpole los datos recibidos con esta velocidad. También, se cuenta con el valor del MiniSVP instalado en la ecosonda multihaz, para proporcionar el dato de velocidad en el transductor de forma continua y online.

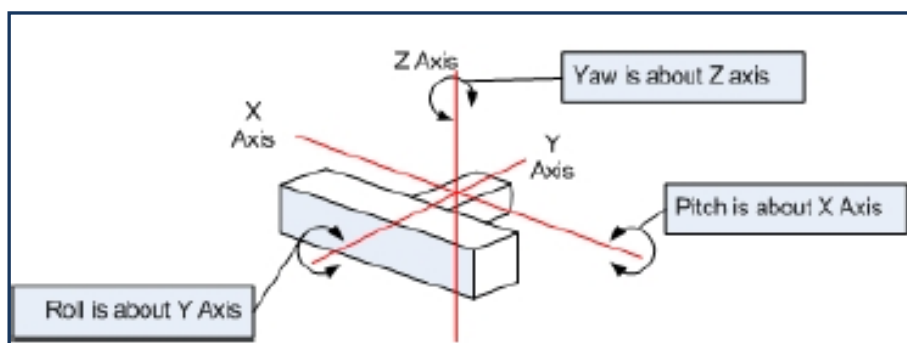
#### 6.1.4. Calibración de la Unidad de referencia de movimiento

También con anterioridad a la adquisición de datos es necesaria la calibración de la unidad de referencia del movimiento (en adelante, MRU “movement reference unit”), siguiendo las rutinas e indicaciones del manual del fabricante. Este procedimiento de calibración trata de concadenar las siguientes rutinas hasta alcanzar los valores de calibración deseados (0.1º grados de error para el rumbo y 0.03 para el oleaje, aproximadamente).

- *Navegación en forma de 8 en diferentes sentidos.*
- *Navegación en círculos en diferentes sentidos.*
- *Navegación en línea recta en aceleración.*
- *Navegación en línea recta en desaceleración.*

#### 6.1.5. Calibración de la ecosonda multihaz.

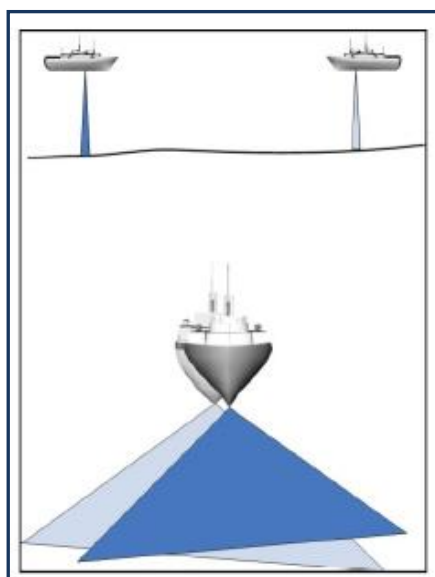
Por último, se calibran los ángulos de *roll*, *pitch* y *yaw*. Estos ángulos son aquellos que tiene la multihaz con respecto a la embarcación y a la unidad de referencia del movimiento. Estos parámetros deben calcularse con exactitud para una buena sincronización entre todos los datos. El ángulo de *roll* es aquel que se forma entre el plano de referencia y la multihaz en un sentido perpendicular a la embarcación, el *pitch* es el ángulo en la misma dirección que la trayectoria de la embarcación, y el *yaw* es el producido en planta por la orientación de la embarcación.



**Figura 8. Relación de ángulos de roll, pitch y yaw.**

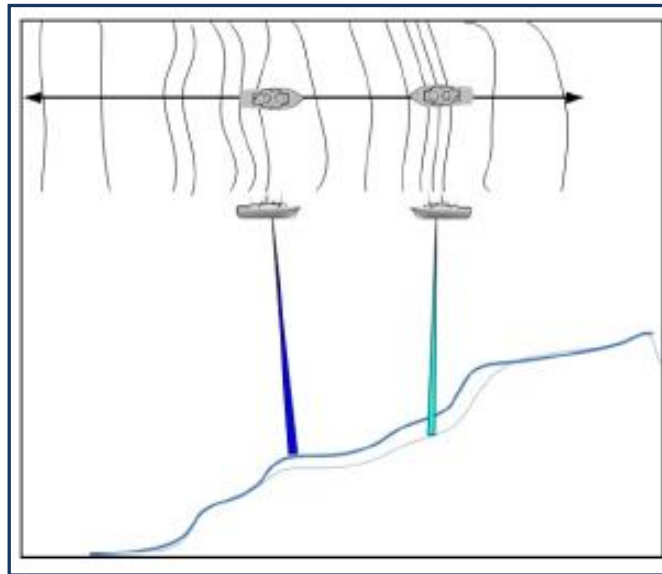
La calibración se realizó mediante la adquisición de datos batimétricos de unos modelos específicos de líneas de navegación, (a través del módulo de calibración del programa de adquisición de datos batimétricos PDS2000, desarrollado por Reson), que se describen a continuación.

- Ángulo de *roll*: dos líneas en sentido contrario sobre un fondo plano.



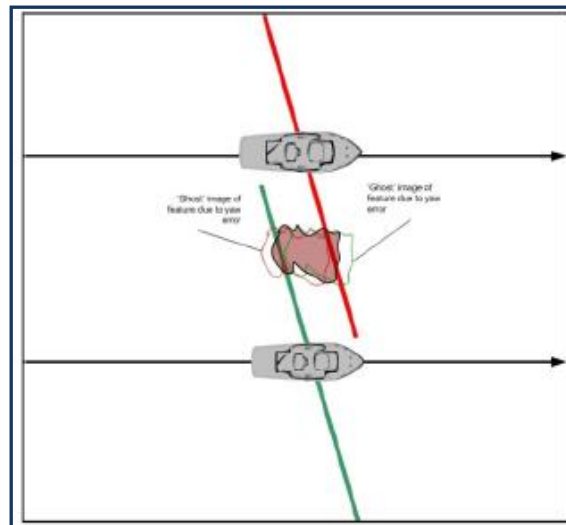
**Figura 9. Líneas para la calibración del ángulo de Roll .**

- Ángulo de *pitch*: dos líneas, en sentido contrario sobre un fondo que contenga una variación de profundidad brusca en ambas direcciones, es decir, una poza, duna, objeto, etc.



**Figura 10. Líneas para la calibración del ángulo Pitch.**

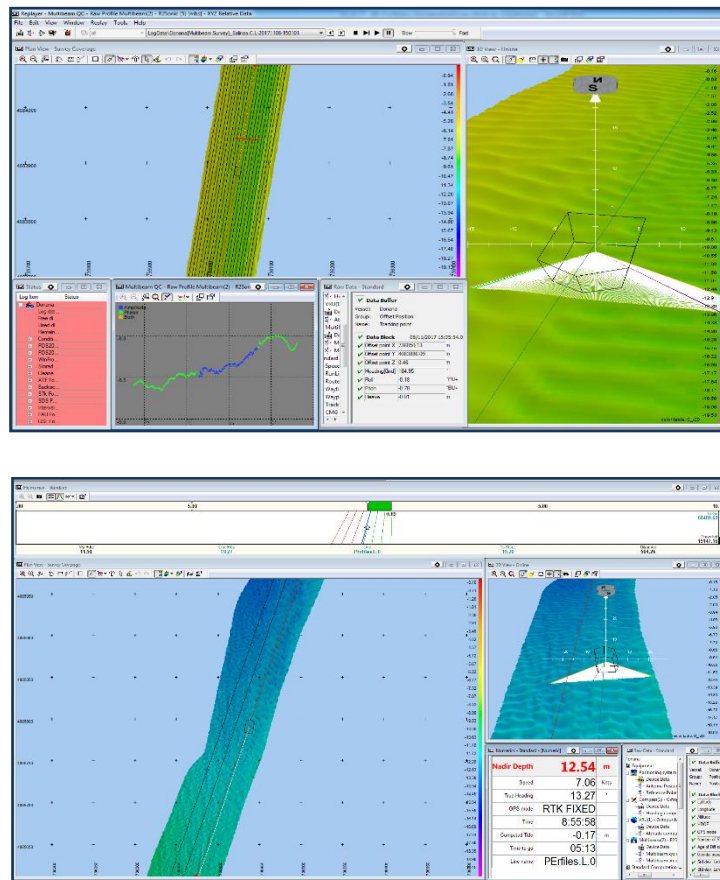
- Ángulo de yaw: dos líneas paralelas en el mismo sentido con un solape del 50%, sobre un fondo irregular como en la medición del ángulo de pitch.



**Figura 11. Líneas para la calibración del ángulo de Yaw.**

#### 6.1.6. Adquisición de datos.

Durante la adquisición de datos, el patrón de la embarcación sigue la derrota de las líneas del proyecto previamente programada, gobernado por las indicaciones que la pantalla del ordenador le va mostrando, y con un sistema de alarmas visuales y sonoras, que alertan de una posible desviación de la derrota y de posibles problemas con algún periférico, como podría ser la pérdida de correcciones diferenciales.



**Figura 12. Arriba, Módulo del PDS2000 para la adquisición de datos para el técnico. Abajo, Módulo del PDS2000 de ayuda a la navegación del patrón. En ella, se observan los datos de GPS, oleaje, velocidad del sonido y profundidad (modelos en 2D y 3D)**

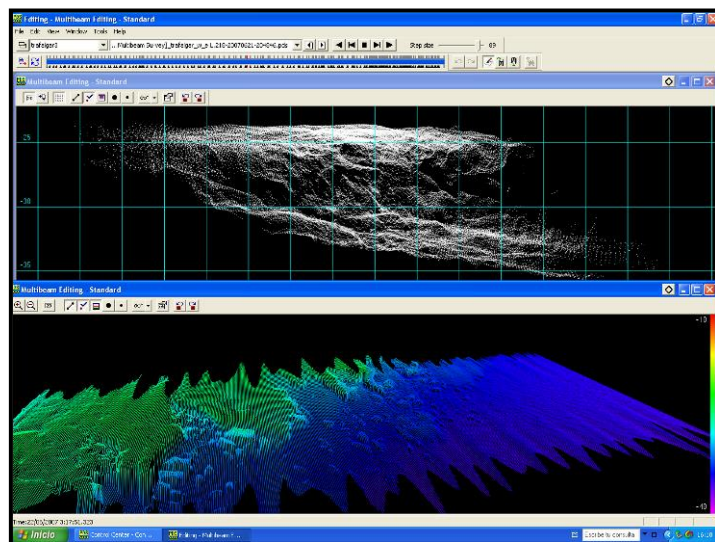
Mientras se siguen las líneas de navegación, el programa PDS2000 captura tanto los datos de posición que le envía el GPS, como los 256 haces que le envía el sondador multihaz por cada pulso de transmisión, así como los valores del rumbo, altura de ola y ángulos de balance y cabezada que le envía el compensador de olas.

Durante la adquisición de los datos, se realiza la sincronización de los datos adquiridos por los equipos y periféricos. Este proceso lo lleva a cabo el PDS2000, complementado por la entrada del tiempo y del pulso por segundo (pps) proporcionados por el DGPS F185, para que todos los datos tengan concordancia en el tiempo.

#### 6.1.7. Edición de los datos batimétricos.

Ya en la fase de procesado de los datos adquiridos, que también se realiza por el PDS2000, se editan las líneas en la pantalla con objeto de corregir manualmente el ruido que aparezca en el

registro digital, que puede ser producido por múltiples factores, como una multitrayectoria en la posición, burbujas de aire, interferencias del motor del barco, cardúmenes de peces, etc.



**Figura 13. Pantalla de edición de los datos batimétricos registrados por la ecosonda multihaz R2Sonic 2024**

Una vez eliminado el ruido de la señal, se realiza un modelo digital del terreno con un tamaño de celda mínimo para obtener la máxima resolución del fondo.

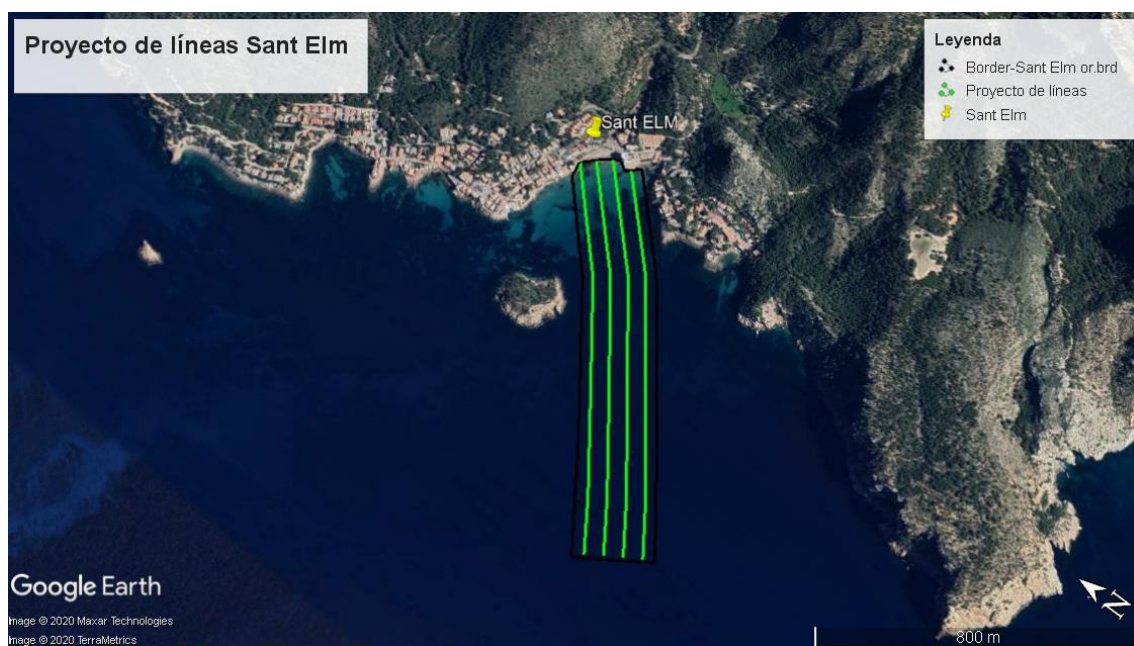
Con este modelo se trazan las curvas de nivel que se desean representar en el plano, y posteriormente se selecciona el tamaño de celda del modelo digital para representar las sondas en los planos. Este tamaño de celda se escoge dependiendo de la escala del plano, para evitar sobreescibir en las sondas próximas.

Se pueden escoger las sondas que se representan en los planos y que corresponden a cada una de las células del modelo digital, seleccionando la menor sonda dentro de la célula, la mayor dentro de ella o el promedio de todas las sondas existentes dentro de la célula seleccionada. Se ha escogido este último método para representar las sondas de los planos que se incluyen en esta memoria.



## 6.2. Geomorfología con Sonar de Barrido Lateral

Para la prospección geomorfológica en la zona de estudio se utilizó el sonar de barrido lateral. El proyecto de líneas proyectado para esta campaña geofísica se ha realizado teniendo en cuenta las exigencias de los objetivos planteados y las condiciones geomorfológicas de la zona (Figura 14).

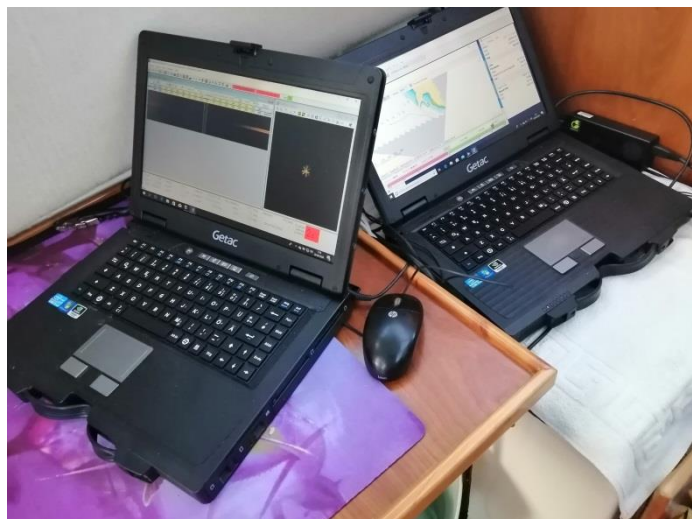


**Figura 14. Proyecto de líneas para la prospección geofísica mediante Sonar de Barrido lateral en Sant Elm, Mallorca, Islas Baleares.**

Una vez definido el proyecto de líneas, se continúa con la instalación de los equipos a bordo de la embarcación. Para la realización de una campaña geofísica es necesario un sistema de posicionamiento; en ésta se ha utilizado GPS diferencial, DGPS.

Estos receptores son capaces de calcular hasta 5 posiciones por segundo. Instalado a bordo de la embarcación hidrográfica con una periodicidad de tres segundos, proporciona posición tanto al software de adquisición de datos geofísicos (Sonar Pro), así como de navegación (Hypack).

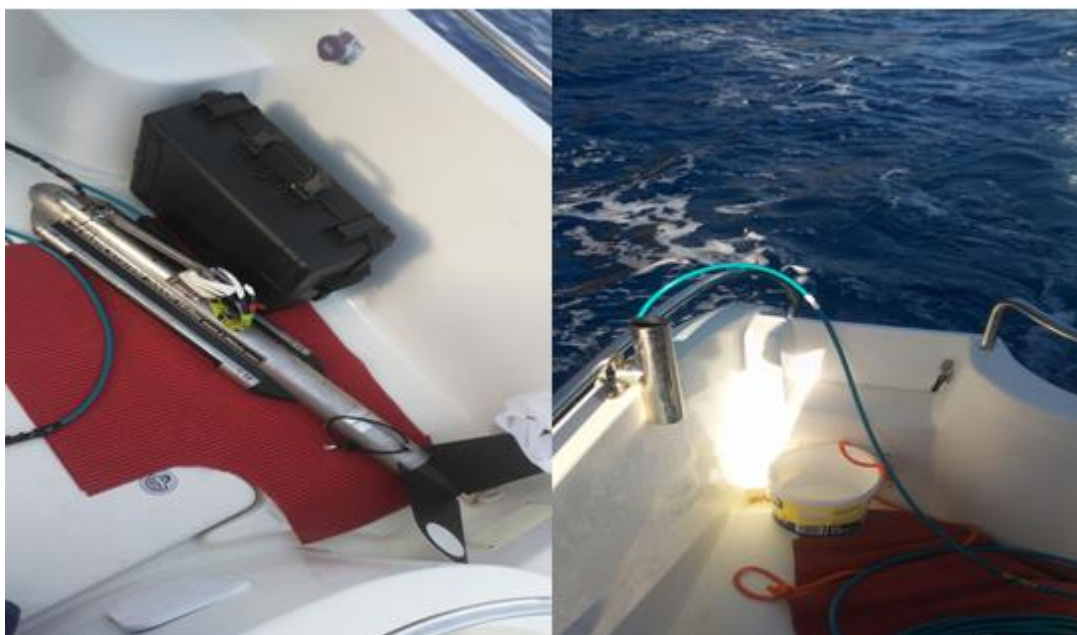
El patrón de la embarcación sigue el proyecto de líneas gobernado por las indicaciones de la pantalla del ordenador, que le va mostrando, por medio de alarmas visuales y sonoras, cuándo se separa de la línea más de una cantidad especificada, y también cuándo existe algún problema en algún periférico, como podría ser la pérdida de correcciones diferenciales, todo ello enmarcado dentro del módulo de navegación del programa Hypack.



**Figura 15. Vista de los software de adquisición de datos SonarPro y Hypack en la fase de adquisición de datos.**

La campaña del Sónar de Barrido Lateral (SBL) se planifica a partir de un proyecto de líneas. El método para el diseño del proyecto se basa en conocer la profundidad media de la zona, el grado de detalle y el solape requerido. Este dato nos permite elegir el rango adecuado para trabajar con el sónar de barrido lateral. De esta forma aseguramos un barrido total en toda el área de estudio. Asegurando el barrido múltiple de cada punto del área de trabajo con un solape suficiente para alcanzar las exigencias de los objetivos planteados.

Una vez determinados todos los parámetros, se proyectan líneas que cubren toda la zona de estudio. El sónar de barrido lateral Klein 3000H (High Frecuencia 900Khz) utilizado en este trabajo, recibe del receptor DGPS instalado a bordo tanto la posición como el rumbo y la velocidad de la embarcación.



**Figura 16. Sonar de barrido lateral utilizado en la presente campaña (Klein3000H)**

El operador le introduce la distancia horizontal entre la antena de DGPS y el pez remolcado, y con estos datos el sistema puede calcular la posición real de todos los ecos recibidos por el sónar.

Todos y cada uno de los datos recibidos por el sónar, además de los datos de posición, son almacenados en el disco duro del ordenador conectado a la TPU del Sonar. Y así, con posterioridad se pueden visualizar las pasadas del sónar todas las veces que sean necesarias, extrayendo la mayor información posible, facilitando de esta forma la caracterización de los fondos en cada una de las zonas analizadas.

La información obtenida se introduce en el programa de visualización de datos, identificándose a qué pasada del sónar corresponde, asignándole un color diferente. Finalmente, una vez introducidas las posiciones de todas las zonas con diferencias morfológicas o estructurales, se realiza una visualización general, obteniendo de esta manera el plano en planta de la zona, diferenciando las diferentes zonas y objetos en función de los ecos del registro del sónar.

#### **Adquisición y procesado de los datos**

La adquisición de datos ha sido llevada a cabo con el software específico SonarPro, con el que se han adquirido, a tiempo real, y registrado cada minuto los archivos de datos para su posterior post-procesado. Mientras se observa la pantalla del ordenador con la adquisición en tiempo real, podemos medir tanto longitudes como alturas de objetos con gran precisión, todo ello nos permite tomar decisiones in-situ respecto a ampliar zonas de interés o repasar con más detalle los contactos que hayan generado ciertas dudas en su identificación. Para la correcta localización y orientación geográfica, se ha realizado un procesado posterior de los registros. El post procesado se ha llevado a cabo con el software específico SonarWiz, con el que se ha aplicado la corrección del rango, corrección de la navegación, aplicación de filtros y finalmente la composición de los mosaicos (mapa de reflectividades en forma fotográfica del fondo).

### **6.3. Sísmica de reflexión con perfilador de fondo.**

Las técnicas utilizadas para el desarrollo de los trabajos geofísicos se basan en la sísmica de reflexión, que emplea como elemento de medidas las ondas acústicas (Trabant, 1984). Estas técnicas se basan en la emisión de breves impulsos elásticos en forma de pulsos sonoros desde un barco en movimiento, transmitiéndose por toda la columna de agua hasta que son reflejados al llegar al fondo marino y a las distintas capas que componen el subsuelo.

Los sistemas sísmicos operan según el principio por el cual la energía sismo-acústica transmitida incide en una interface acústica, reflejándose parcialmente por esta superficie. Una *interface acústica* es aquella zona del subsuelo a través de la cual existe algún contraste en la *impedancia acústica*, definida como el producto de la densidad del medio por la velocidad de propagación de las ondas sónicas compresionales (ondas P). La *reflexión* se obtiene por una variación de la impedancia acústica, que es una medida del contraste acústico de los materiales a cada lado de la interface.

Las interfaces acústicas quedan representadas gráficamente por cada uno de los sistemas sísmicos, y son llamados '*reflectores sísmicos*'. Estos últimos son superficies de contacto entre dos materiales que presentan distinta impedancia acústica y que se comportan frente a los pulsos acústicos como espejos, reflejando (y refractando) parte de la energía acústica emitida.

Existen dos propiedades que caracterizan a todo sistema sísmico: a) penetración y b) resolución. Estas dos propiedades tienen una relación inversa:

- a) *Penetración*: es la profundidad máxima a la que puede detectarse un reflector. Depende de la potencia y frecuencia de la señal emitida; a una menor frecuencia le corresponde una mayor longitud de onda y una mayor penetración. En cada interface la cantidad de energía que se transmite a la siguiente se ve disminuida en una cantidad igual a la que ha sido reflejada (Trabant, 1984).
- b) *Resolución*: es la distancia mínima a la que se pueden identificar dos reflectores consecutivos para una señal de frecuencia determinada. A mayor frecuencia obtenemos una mayor resolución. Se puede considerar una resolución horizontal al producirse cambios en la respuesta acústica en la horizontal (Bouyé, 1983).

En la interpretación de un perfil sísmico también es necesario tener en cuenta dos factores que intervienen en la realización de un registro.

- a) *Difracción*: las reflexiones de mayor calidad tienen lugar sobre medios horizontales; cuando existe alguna irregularidad, por ejemplo una falla, al llegar la onda a la irregularidad, ésta se comporta como un emisor y produce unos frentes de onda esféricos; las reflexiones hiperbólicas que se forman reciben el nombre de difracciones (Bouyé, 1983; Trabant, 1984). La migración consiste en desplazar un punto perteneciente a un reflector inclinado a su posición real, y para ello se aplica la hipérbola de difracción.
- b) *Absorción*: Consiste en la transformación de la energía elástica en otras formas de energía, principalmente calor. Esta transformación depende del coeficiente de absorción. El coeficiente está relacionado con la frecuencia de emisión, de forma que las altas frecuencias favorecen la absorción en las capas más superficiales (Bouyé, 1983).

#### 6.3.1. Metodología Perfilador de fondo

Este equipo de geofísica pertenece al grupo de perfiladores, aunque su teoría de funcionamiento es completamente diferente a la de otros equipos de su clase. Utiliza la interacción en la columna de agua, de dos frecuencias muy próximas, de cuya diferencia se obtiene la señal que penetra en el subsuelo.



**Figura 17. Perfilador de fondos INNOMAR SES-2000 COMPACT; transductor y centralita electrónica del sondador, respectivamente.**

La frecuencia diferencia es seleccionable por el usuario (4, 5, 6, 8, 10 y 12 KHz ) y transmite pulsos tan estrechos como 66 usec. El haz del transductor es extremadamente estrecho ( $3,6^\circ$ ), y su frecuencia de repetición de pulsos puede alcanzar los 30 KHz, siendo su discriminación y resolución la mejor con diferencia en este tipo de equipos. Está especialmente diseñada para la determinación de estratos de fangos en los que se puede esperar una penetración de hasta 40 m. Sus pequeñas dimensiones y consumos lo hacen especialmente útil para su utilización en pequeñas embarcaciones.

#### 6.3.2. Instalación y calibración de los equipos.

Respecto a la instalación en la embarcación, el transductor va sujeto a una estructura metálica que permite sumergirlo a una profundidad adecuada. El calado del transductor tiene que ser siempre mayor que el calado de las líneas de agua del barco, de forma que se evite el ruido producido tanto por las burbujas de aire como por el motor del barco. El perfilador va ubicado al costado del barco junto con la antena receptora del DGPS con el fin de evitar *Offset o Layback*. Una vez iniciada la navegación hacia la zona de estudio, se comprueba que la disposición de los equipos en el agua no genere interferencias, así como que la señal emitida sea la adecuada para la recepción de los datos sísmicos.

Antes de iniciar la adquisición de datos, se realizan pruebas de calibración de los dos equipos a distintas frecuencias secundarias de transmisión, rangos y ganancias, todos ellos factores que determinan la calidad de los registros. El rango lo determina tanto la profundidad de la zona de trabajo, como el espesor del sedimento presente. La elección de la frecuencia de transmisión depende de las características físicas del sedimento, mientras que la ganancia depende de la repuesta en vertical que tienen los cambios en las propiedades de los sedimentos.

Durante la adquisición de datos, el patrón de la embarcación sigue la derrota de las líneas del proyecto previamente programada, gobernado por las indicaciones que la pantalla del ordenador le va mostrando, y con un sistema de alarmas visuales y sonoras, que alertan de una posible desviación de la derrota y de posibles problemas con algún periférico, como podría ser la pérdida de correcciones diferenciales.



Durante la adquisición, el programa SESWIN toma los datos de posicionamiento y del perfilador para ir proporcionando al técnico un perfil sísmico online.

### 6.3.3. Edición de los datos geofísicos

Como se ha comentado anteriormente, la transmisión de las ondas a través de los materiales depende de propiedades tales como densidad y composición. La señal es reflejada desde la superficie estratigráfica de los materiales con diferente impedancia acústica.

Los perfiles sísmicos son aproximadamente análogos a las secciones geológicas de los materiales en profundidad, debido a que las características acústicas son por lo general referenciadas a litologías. Las reflexiones pueden aparecer en un registro sísmico como resultado de cambios de impedancia acústica tenue que son asociados a diferentes materiales litológicos estratificados.

Los dos parámetros más importantes de los sistemas de reflexión sísmica son la resolución vertical y la profundidad de penetración. La frecuencia dominante de pulsos acústicos incrementa la atenuación de la señal y consecuentemente disminuye la penetración efectiva. La interpretación de los registros se realiza mediante el programa ISE 2.9, que permite probar todas las configuraciones posibles para obtener la mejor visualización, y una vez establecida, proceder a la digitalización en pantalla de las capas de sedimento detectadas.

Las acotaciones representan el espesor de los sedimentos no consolidados hasta el alcance de la onda. El datum referencial es el fondo marino. La profundidad de las diferentes capas se mide directamente de los datos geofísicos (en tiempo) y se convierte a profundidad (en metros) usando una velocidad asumida de 1540 m/seg para la columna de agua y 1600 m/seg. para el sedimento. La digitalización de cada capa de sedimento detectada se puede exportar *a posteriori* a un archivo de texto donde se tienen tanto las coordenadas horizontales (x, y), como la vertical (z), que corresponde a la profundidad. Con estos datos se determinan los espesores de los sedimentos y la localización de cuerpos extraños que puedan contener y su localización en el área de trabajo así como poder confeccionar los planos de isopacas.

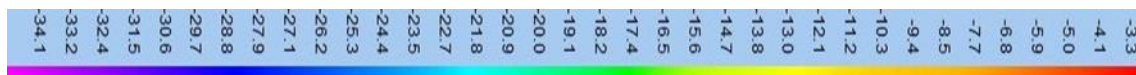
La digitalización de cada capa de sedimento u objeto detectado se exporta *a posteriori* a un archivo de texto donde se obtienen tanto las coordenadas horizontales (x, y), como la vertical (z), que corresponde a la profundidad. Con estos datos se determinan los espesores de los sedimentos y la localización de cuerpos extraños que puedan contener, y poder confeccionar los planos de isopacas.

## 7. RESULTADOS OBTENIDOS

A continuación, se describen los resultados obtenidos con el perfilador de fondo (SBP), el sónar de barrido lateral (SBL) y la batimetría (MBeam), correlacionando y cruzando los datos con el fin de una mejor caracterización geomorfológica y geofísica, así como ayudar a la interpretación y descripción de los mismos.

### 7.1. Levantamiento batimétrico

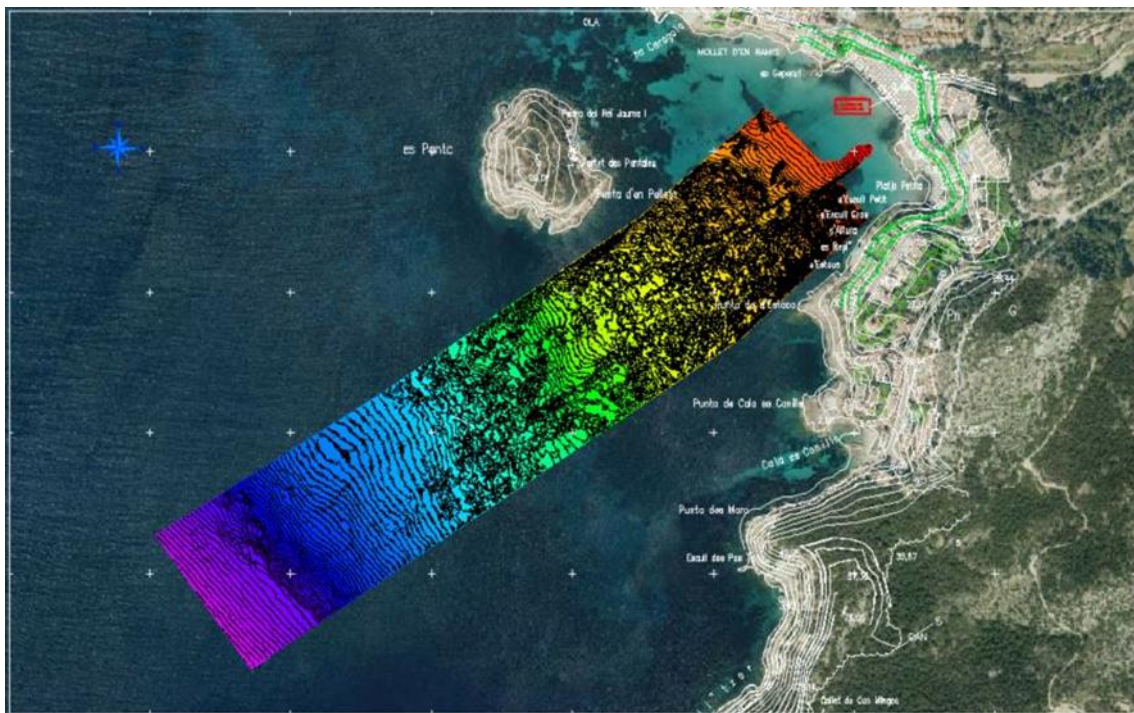
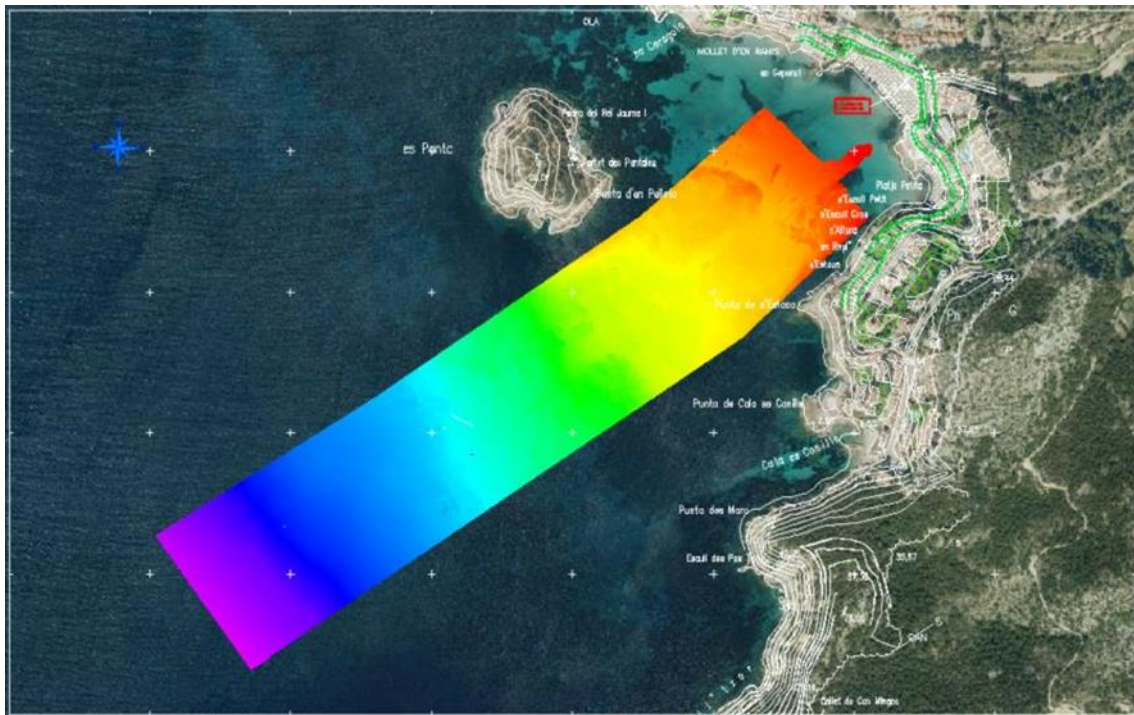
El levantamiento batimétrico comprende un área de 240412m<sup>2</sup>, en la zona de Sant'Elm (Andratx). Una vez editados los datos adquiridos, se ha realizado un modelo digital del terreno (en adelante, MDT) y unos planos batimétricos, que se adjuntan al presente documento. El MDT quedará definido por una serie de colores que variará en función de la profundidad. Para ello, en la se presenta la leyenda de colores empleada en la modelización. Esta leyenda degrada desde el rojo que representa el -3 hasta el magenta en la profundidad de -35 metros.



**Figura 18. Leyenda de colores en función de la profundidad para el modelo batimétrico.**

A continuación, se presenta un modelo digital del levantamiento batimétrico del área sondada. En él se observa que el calado del total del área de levantamiento se encuentra entre -1.91 y -34.41 metros. Para generar este modelo se han medido un total de 35454772 puntos.

En el Anexo II – Cartografía se muestran los resultados batimétricos con un mayor grado de detalle.



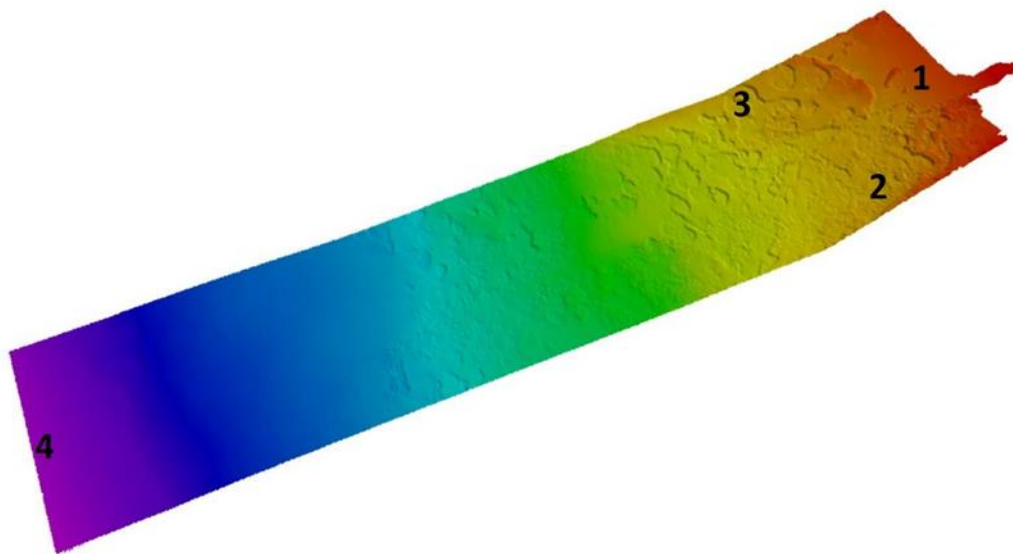


Figura 21. Vista en 3D de la zona de estudio, en ella se observan afloramientos rocosos (3y4), también se detecta una gran zona arenosa (1). Por último, se observa la zona más profunda (4).

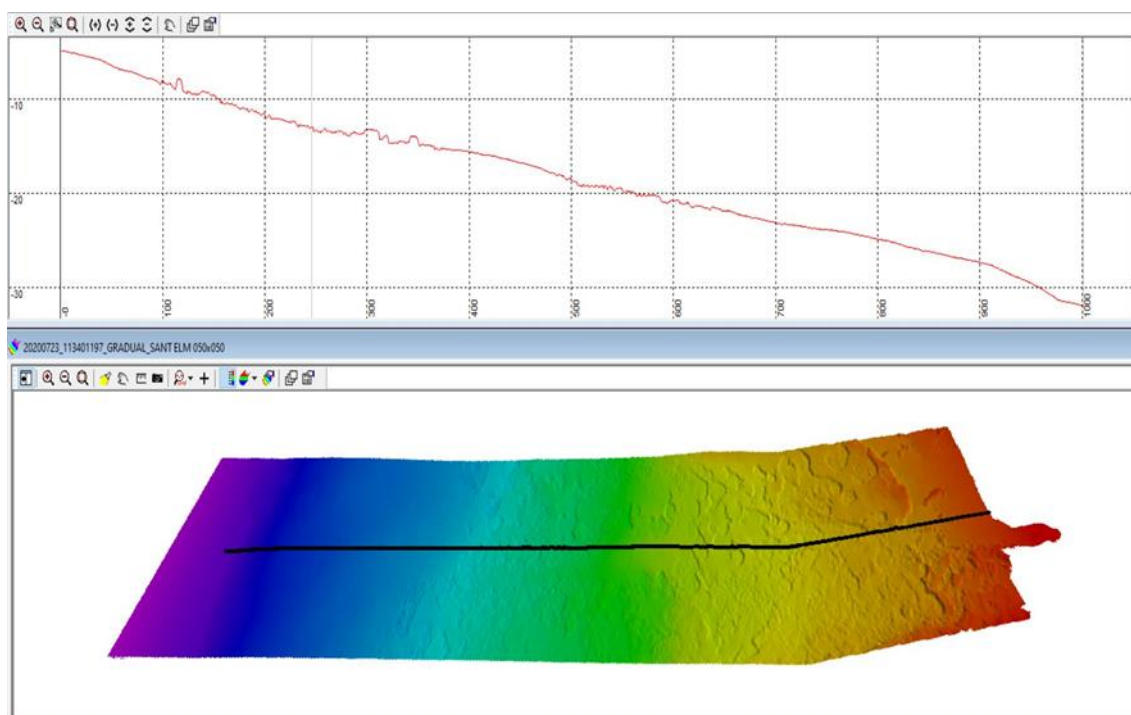
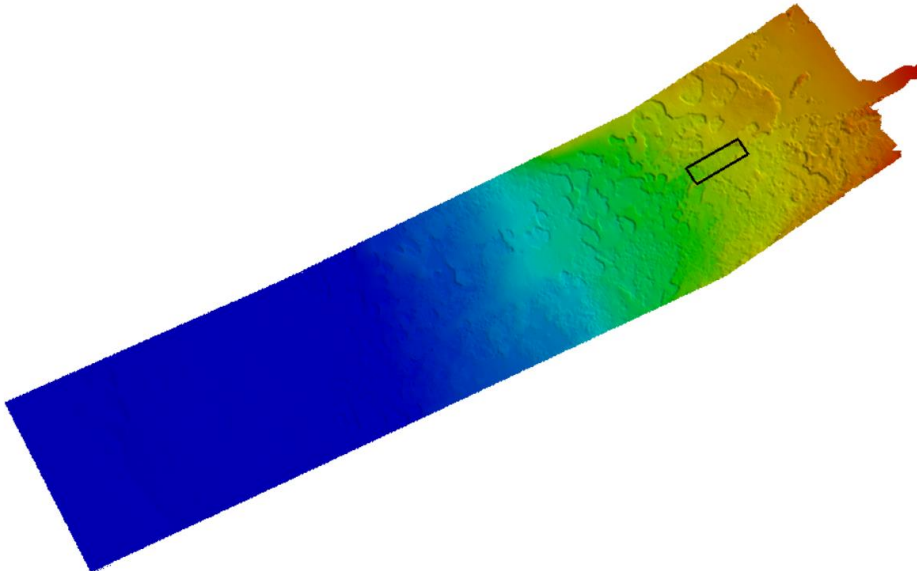


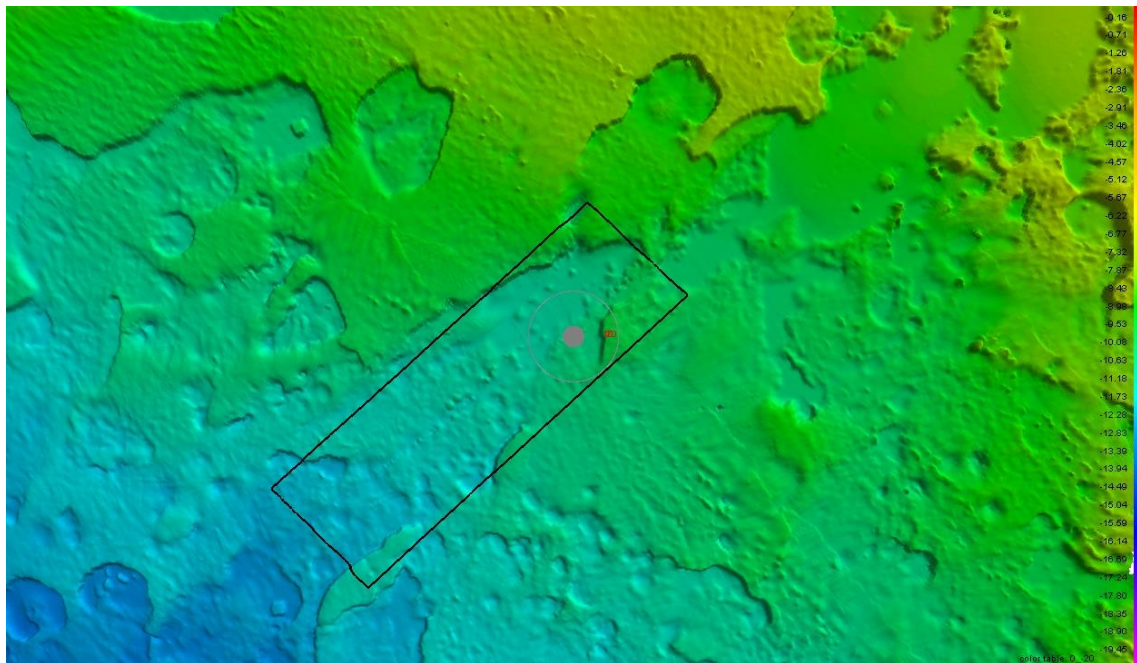
Figura 22. Vista en 3D del Levantamiento y perfil longitudinal sobre la traza teórica del emisario.

A continuación, se muestran imágenes en 3D de los resultados obtenidos:



Imagen	1	Coordenadas UTM	444257.89	4380891.49
Zona	Lastres emisario.			





<b>DESCRIPCIÓN:</b>
Tramo de emisario.



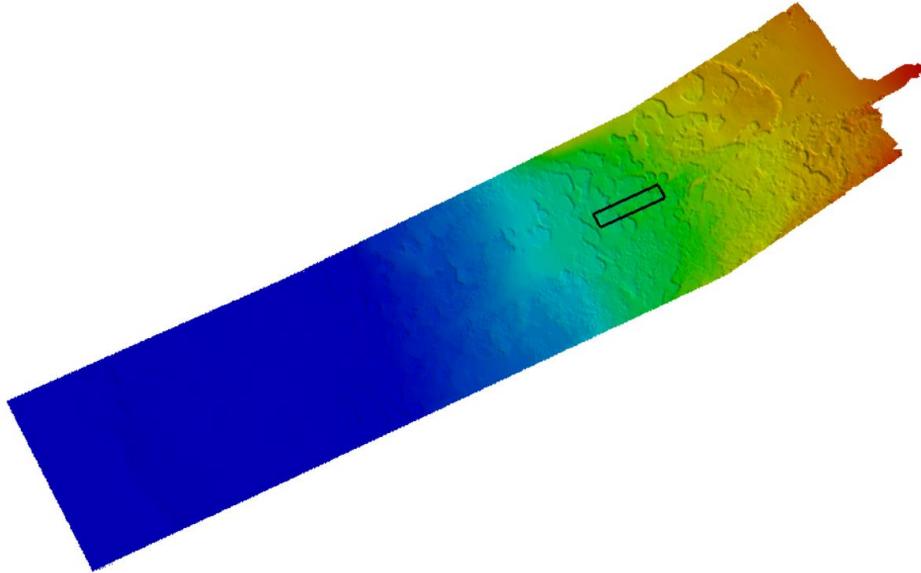
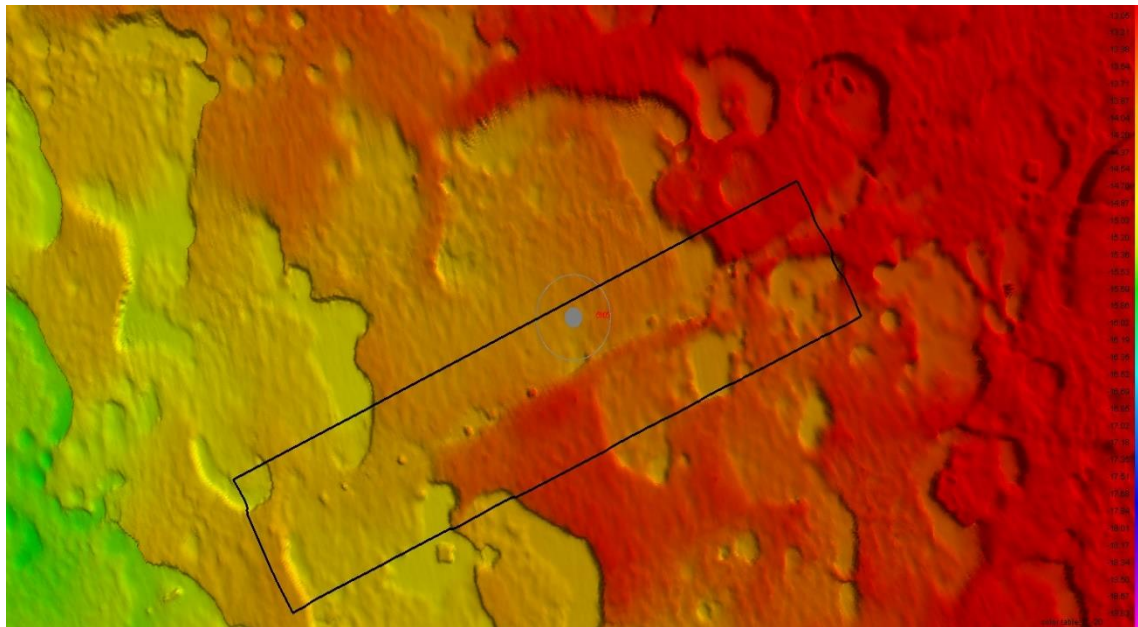
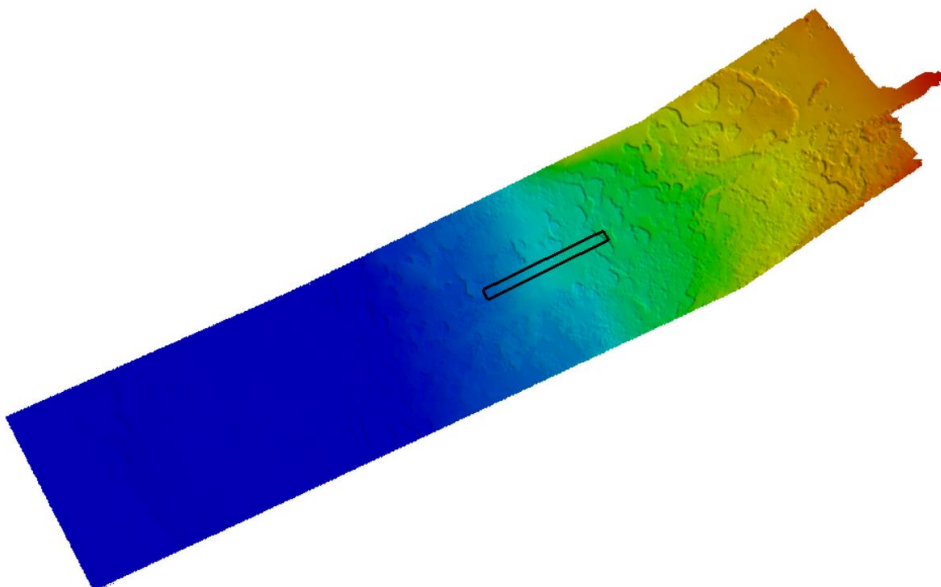
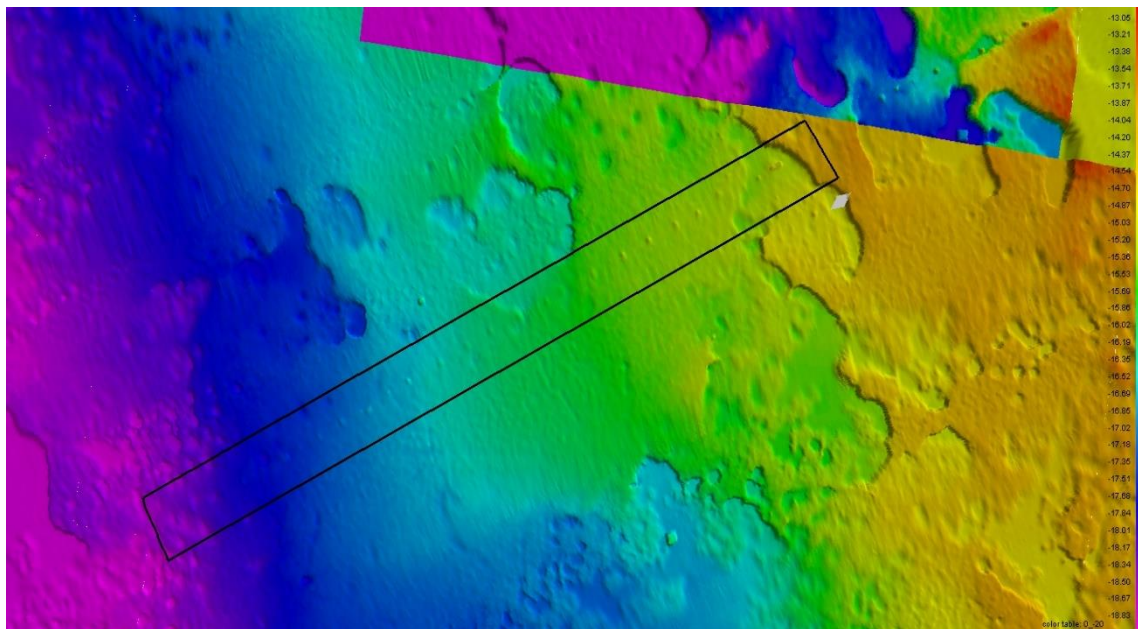
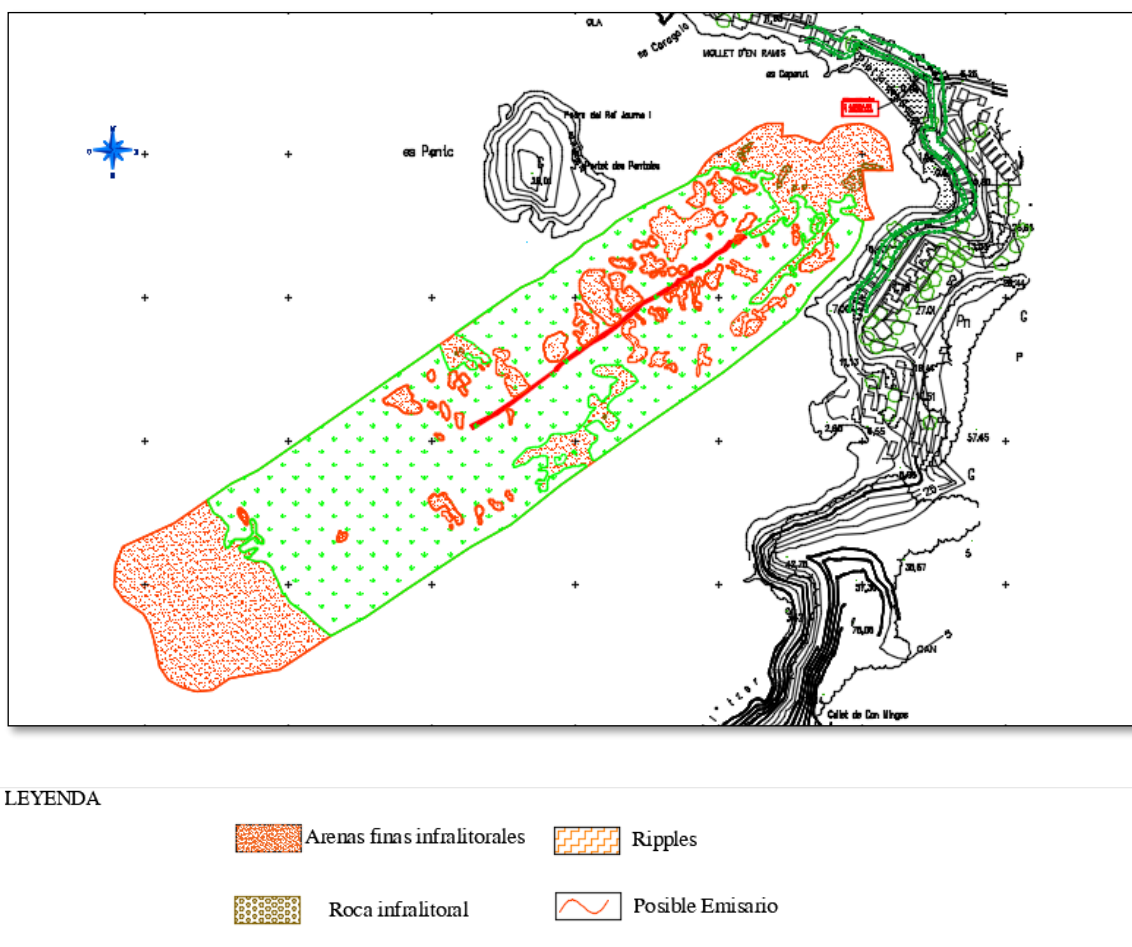
Imagen	2	Coordenadas UTM	444163.03	4380819.38
Zona	Lastres emisario.			
				
				
<p><b><u>DESCRIPCIÓN:</u></b></p> <p>Tramo de emisario.</p>				

Imagen	3	Coordenadas UTM	444057.94	4380745.44
Zona	Lastres emisario.			
				
				
<p><b><u>DESCRIPCIÓN:</u></b></p> <p>Tramo de emisario.</p>				

## 7.2. Resultados geomorfológicos obtenidos

A partir del procesado, se ha llevado a cabo la identificación y digitalización de los diferentes tipos de fondo del área de investigación. Este proceso identificativo se ha llevado a cabo con la observación de las diferentes respuestas acústicas que dan los diferentes tipos de fondo.

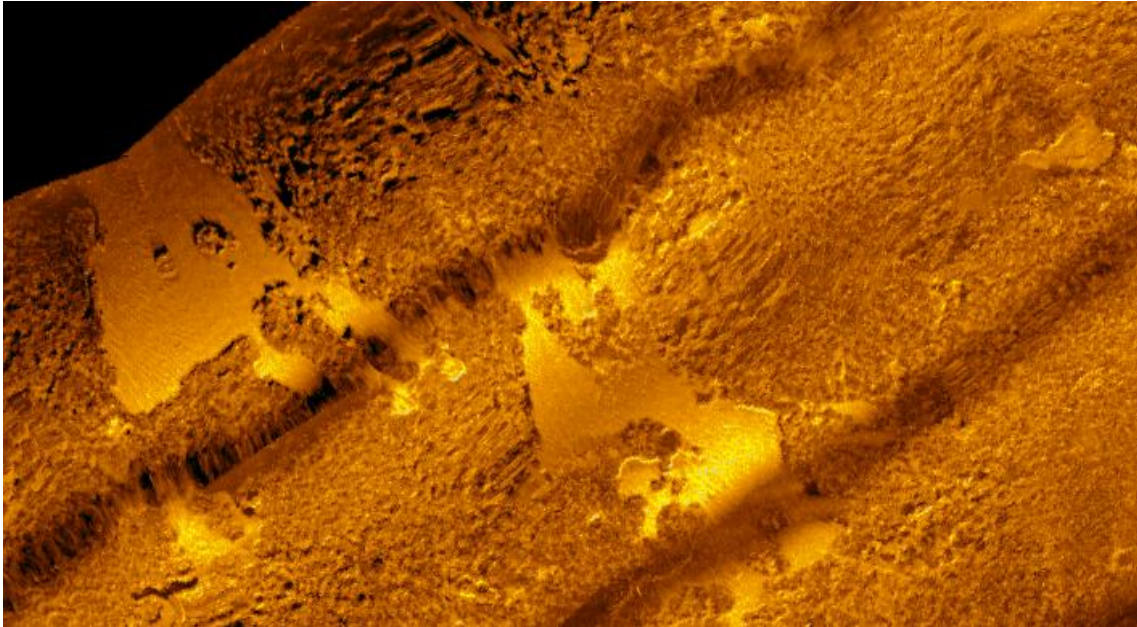
A partir de los datos obtenidos con el sonar de barrido lateral, su procesado y posterior interpretación, se han identificado los siguientes tipos de fondo (Figura 23).



**Figura 23. Plano geomorgológico de Sant Elm.**

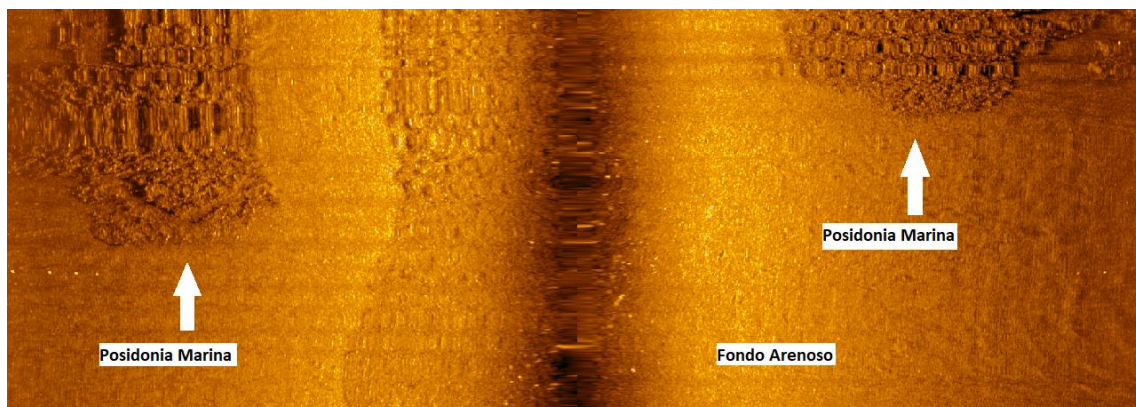
- ✓ Fondos arenosos, los cuales se observan en mayor grado a medida que se va alejando de la costa, hacia mar adentro.
- ✓ Afloramientos rocosos de tipo calcareníticos, apareciendo de forma reducida en la zona de estudio.
- ✓ Posidonia oceánica, apareciendo en gran medida y provistas de surcos o parches de arena (Figura 24).



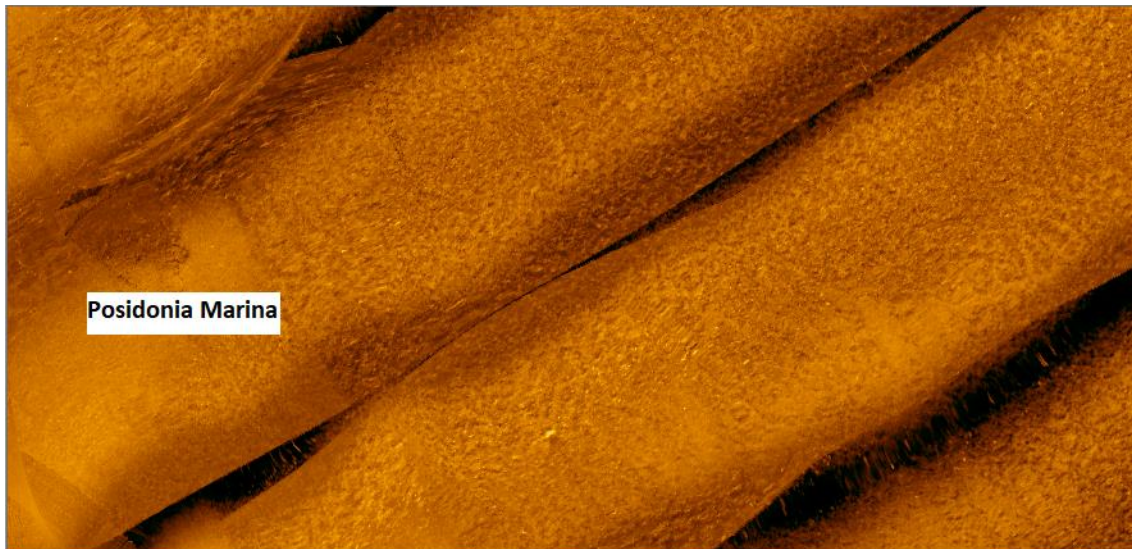


**Figura 24. Registro de SBL donde se observa posidonia marina con parches de arenas.**

Se puede destacar la presencia de masas arenosas con presencia de fondos vegetados. En este caso, como en la anterior figura, se trata de posidonia marina (Figura 25).

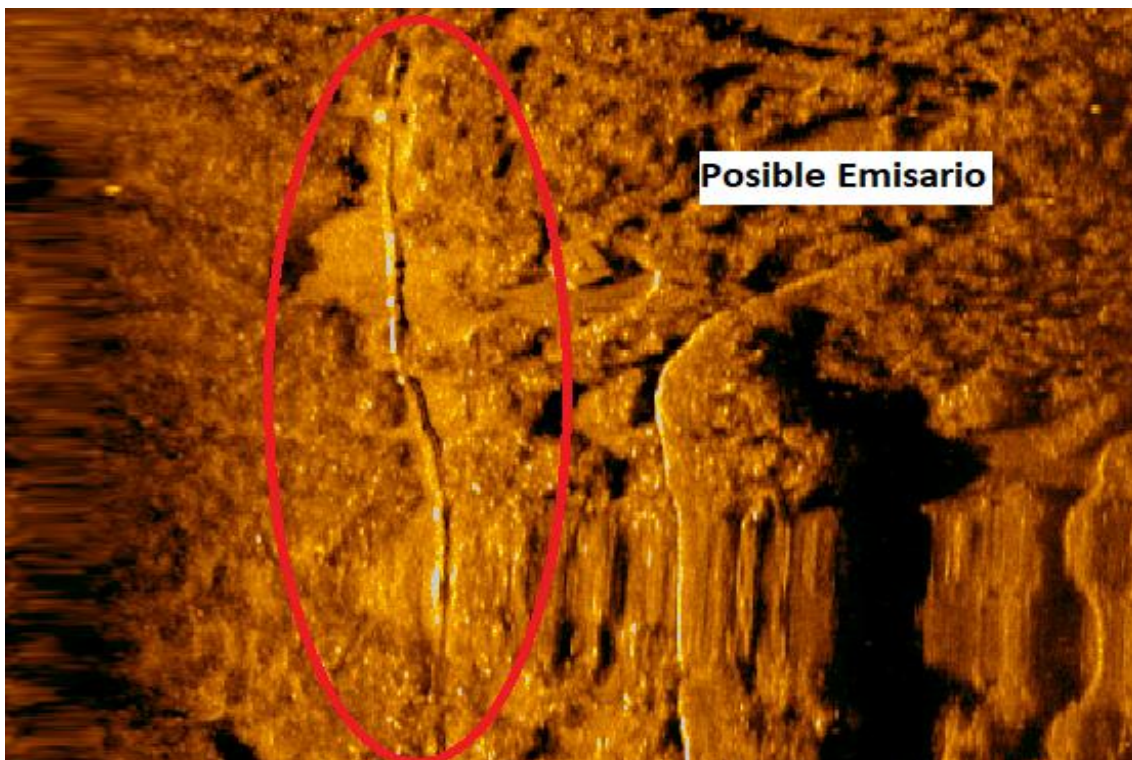


**Figura 25. Registro de SBL donde se observa la presencia de fondos arenosos con posidonia marina.**



**Figura 26. Registro de SBL donde se observa la presencia de posidonia marina.**

Cabe destacar que durante las sucesivas pasadas en la zona de estudio, se localizó la presencia de un posible emisario (Figura 27), observándose en sus inmediaciones la presencia de posibles muertos o bloques (Figura 28) (Figura 29).



**Figura 27. Registro de SBL donde se observa la presencia de un posible emisario.**



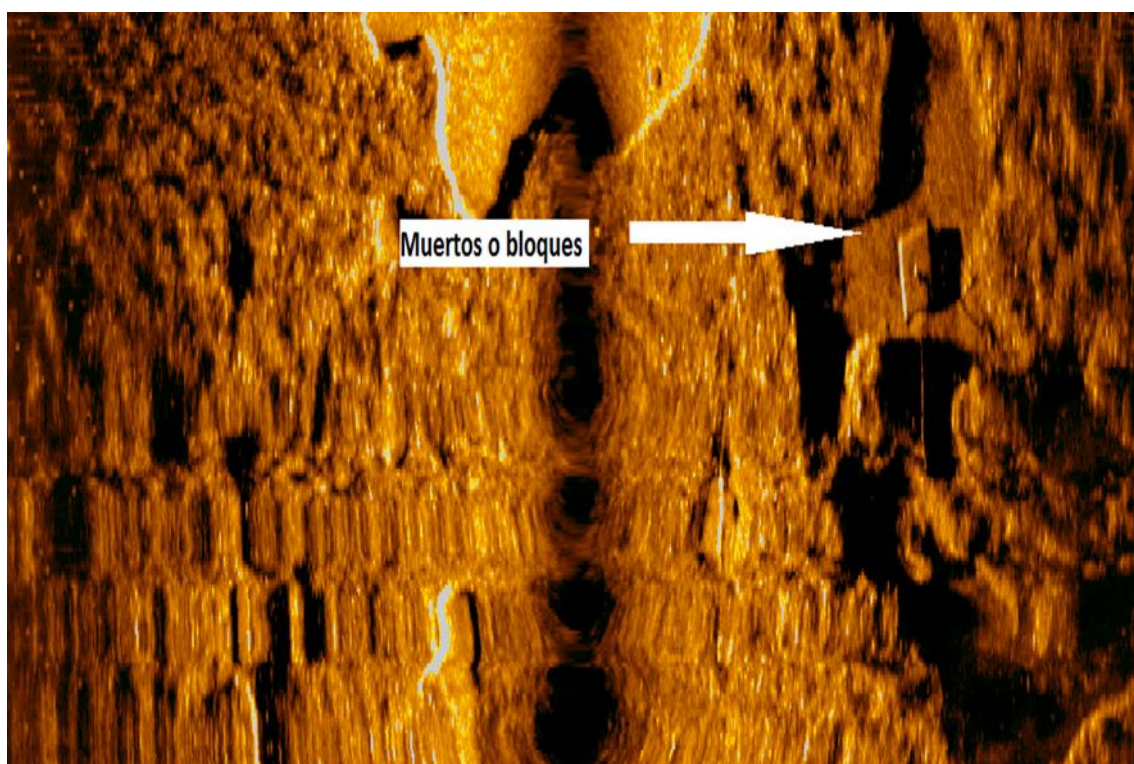


Figura 28. Registro de SBL donde se observa la presencia de muertos o bloques.

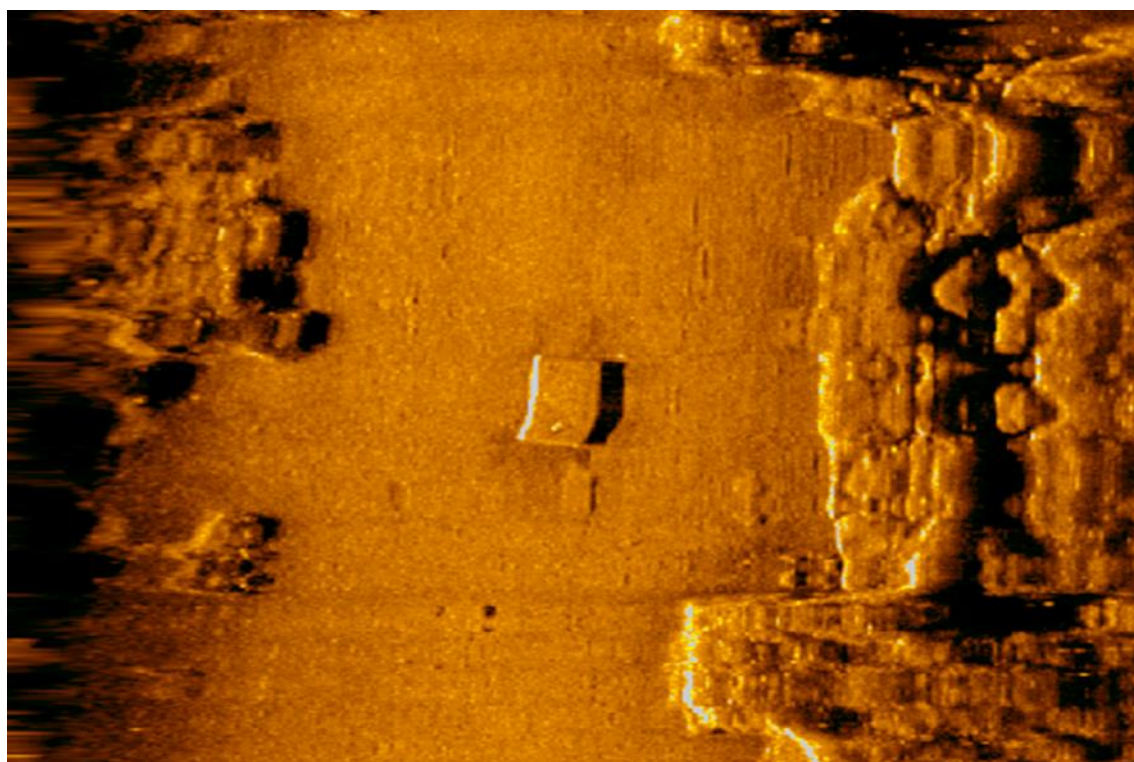


Figura 29. Registro de SBL donde se observa la presencia de muertos o bloques.

### 7.3. Resultados de la sísmica de reflexión

El objetivo inicial de la campaña, como se ha comentado anteriormente, es realizar una caracterización geofísica de los espesores de sedimentos detectados en la zona prospectada, para la cual fue necesario aplicar y ajustar la potencia necesaria para la ejecución del trabajo, así como la detección de cualquier anomalía en dichos paquetes sedimentarios detectados

Desde el punto de vista estratigráfico, todos los perfiles poseen unas características similares en forma de rellenos y de su origen deposicional. Una vez revisados los registros obtenidos por el perfilador, se procedió al análisis de los reflectores mediante el software ISE2000, para posteriormente caracterizarlos de forma litoestratigráfica y su posteriormente correlacionar los resultados con los obtenidos con el sonar de barrido lateral y Batimetria.

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.

#### 7.3.1. Plano de isópacas de espesor de sedimento no consolidado

Para la elaboración de los mapas de líneas de mismo espesor de sedimento (isopacas) Fig. 28, ha sido necesario identificar y localizar la profundidad en la que se encuentra el basamento acústico en cada uno de los registros obtenidos. En este sentido asumimos que corresponde a la unidad más antigua, que presenta un grado de consolidación suficiente para considerarlo como el nivel que alcanza el relleno del material no consolidado y a partir del cual se produce un apantallamiento de la señal acústica que impide la penetración de la misma o resultado de una atenuación continuada hasta la atenuación total.

El material sedimentario no consolidado queda limitado a muro por el reflector que se interpreta como basamento acústico y a techo por el reflector del actual lecho marino.

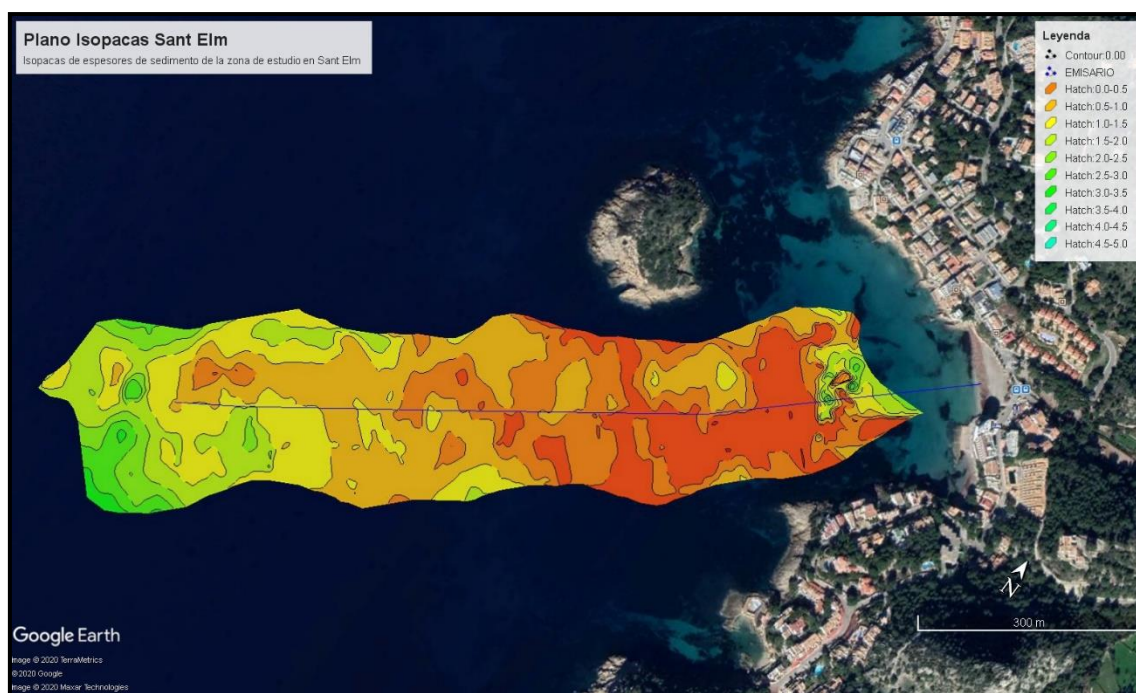
Por lo general el área estudiada presenta espesores de sedimentos no consolidado bastantes irregulares y heterogeneas dadas las condiciones sedimentarias e hidrodinámicas, así como la presencia de un sustrato rocoso muy irregular condicionado las formas de rellenos de la zona prospectada. La zona estudiada ha pertenecido a ambientes sedimentaria de tipo litoral e infra litoral con la presencia de algunas ramblas cercanas, todo ello hace que los paquetes sedimentarios sufran cambios drásticos en tipo y forma de deposición de los sedimentos en el plano vertical como horizontal, consecuencia de los cambios en el nivel del mar cambios en los niveles del sustrato rocoso y su irregularidad, dando lugar a rellenos sedimentarios bastantes heterogéneos.

También es de destacar la presencia de áreas rocosas de tipo **Calcarenítica** característica de toda la costa de las islas baleares y que se encuentran a distintas profundidades en la actualidad, así como con grandes áreas aflorantes por encima del nivel del mar.

De manera general, en la zona de estudio se observan espesores de sedimento no consolidado que alcanzan máximos de unos 4 metros sobre todo en el área cercana a la costa en forma de relleno, así como en la parte más profunda, habiendo áreas con afloramientos rocoso en la parte central como queda evidente el plano de isopacas.

Se puede distinguir una zona de espesores mínimos situados en los alrededores de los afloramientos o casi afloramiento o gravas, donde apenas se superan los 0.5 metros de potencia. consecuencia de la presencia de la roca Calcarenítica y/o gravas próximas al lecho marino, así como de la presencia de clastos y gravas resultantes de la misma de forma natural por la erosión.

Esta heterogeneidad en los espesores detectados es propia de las características del fondo marino y la naturaleza de la zona. La presencia de restos de clastos y afloramientos puntuales o en forma de terrazas de la roca Calcarenítica hace posible que las impedancias y la dispersión sean muy dispares de un punto a otro en un área relativamente pequeña.



**Figura 30. Plano de isopacas de espesor de sedimento para la zona de Sant Elm.**

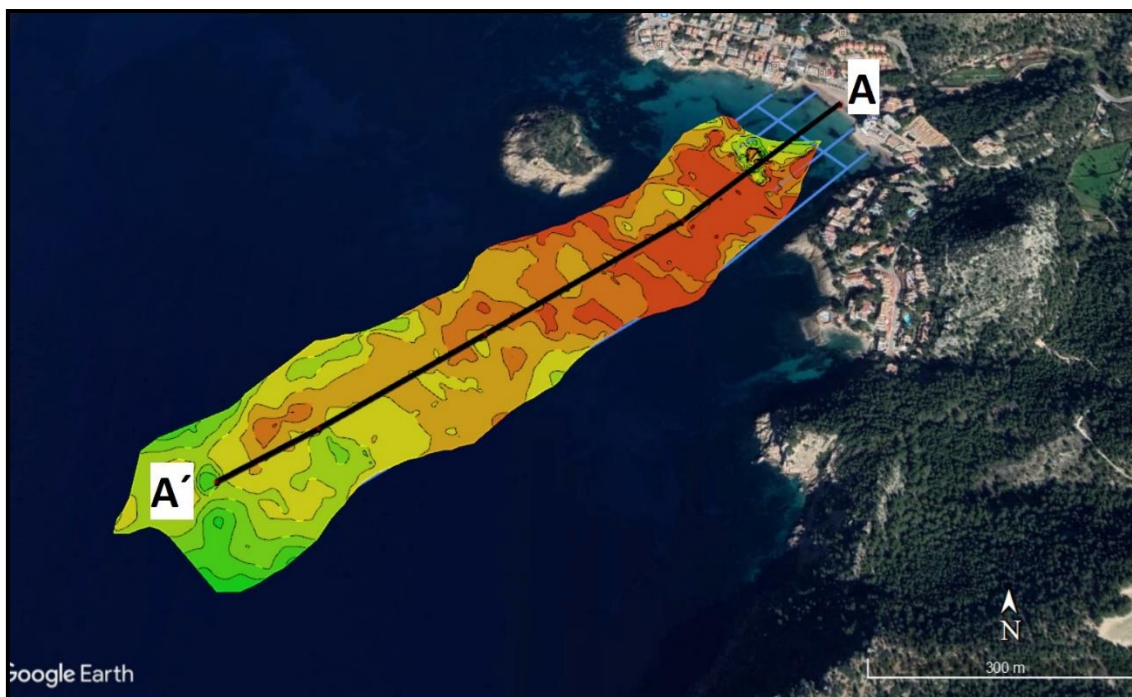
En la parte más profunda de la zona de estudio, hacia mar adentro los espesores detectados van aumentando en forma de cuña con un talud bastante suave, alcanzando valores máximos detectados de unos 4m, potencias compuestas esencialmente de materiales arenosos y finos.

A continuación de este apartado trataremos un perfil tipo y sus características litosísmicas propias de la zona estudiada.

### 7.3.2. Descripción del perfil sísmico representativo del área de estudiada

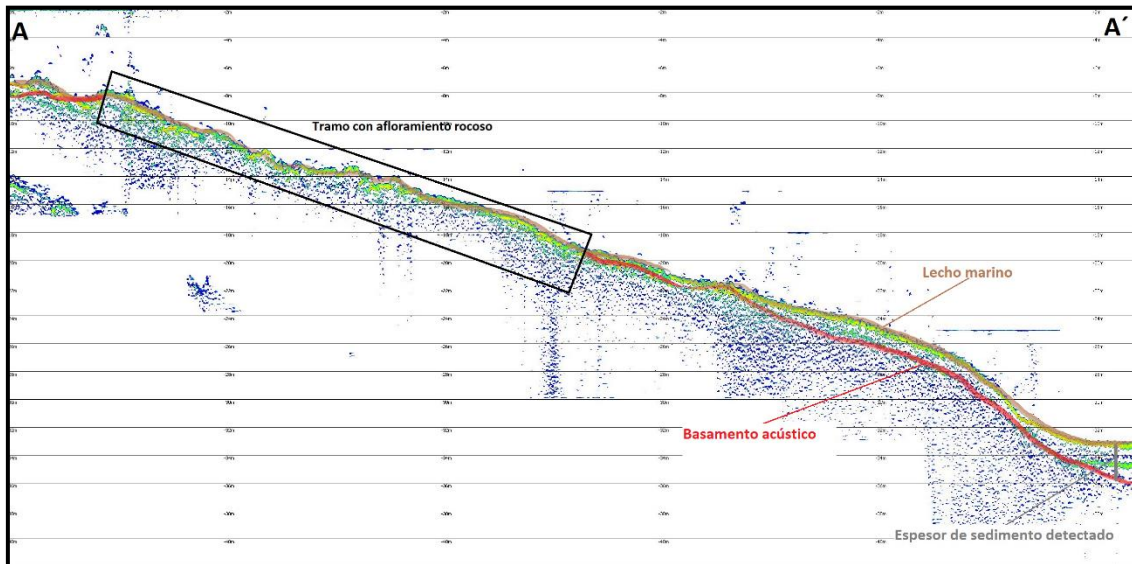
De manera general, en la zona de estudio se observan espesores de sedimento no consolidado que alcanzan máximos de unos 4 metros, habiendo áreas extensas con afloramientos rocoso en la parte central como queda evidente el plano de isopacas.





**Figura 31. Localización del perfil tipo A-A' sobre el mapa de isópacas de la zona de Sant Elm**

A continuación, se presenta el perfil sísmico A-A' con objeto de describir un registro representativo de la zona de estudio.



**Figura 32. Perfil sísmico tipo (A-A') de la zona prospectada en Sant Elm**

El perfil sísmico muestra valores máximos de potencia de sedimento no consolidado de hasta 4 metros, siendo mayor en el extremo SW (A') coincidiendo con la parte más profunda de la zona de estudio.

Se observan Afloramiento de la roca en la parte central del perfil y que a medida que nos alejamos de dicho afloramiento hacia mar adentro más potencia sedimentaria tenemos, formando una especie de cuña con presencia de reflectores secundarios internos, propios de alternancias de

materiales arenoso y/o finos, es también de destacar la ausencia de un basamento acústico claro a medida que nos alejamos de los afloramientos, donde este último empieza a representar el límite de la atenuación total de la señal acústica.

## **8. BIBLIOGRAFÍA**

EL LITORAL DE MALLORCA: SÍNTESIS GEOMÓRFICA/ Lluís GÓMEZ-PUJOL<sup>1</sup>, Pau BALAGUER<sup>1</sup> y Joan J. FORNÓS<sup>2</sup>

1) Institut Mediterrani d'Estudis Avançats, IMEDEA (CSIC-UIB), Esporles (Illes Balears).

2) Departament de Ciències de la Terra, Universitat de les Illes Balears, Palma de Mallorca

LA GEOMORFOLOGÍA LITORAL DE MALLORCA CUARENTA Y CINCO AÑOS DESPUÉS

May 2007

Conference: Geomorfología Litoral: Migjorn y Llevant de Mallorca

Volume: Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 15: 17-37. ISBN: 978-84-7632-995-5.

## **ANEXO I. CARTOGRAFÍA**

- ❖ Planos Batimétricos
- ❖ Plano Isópacas de espesores
- ❖ Plano Geomorfológico