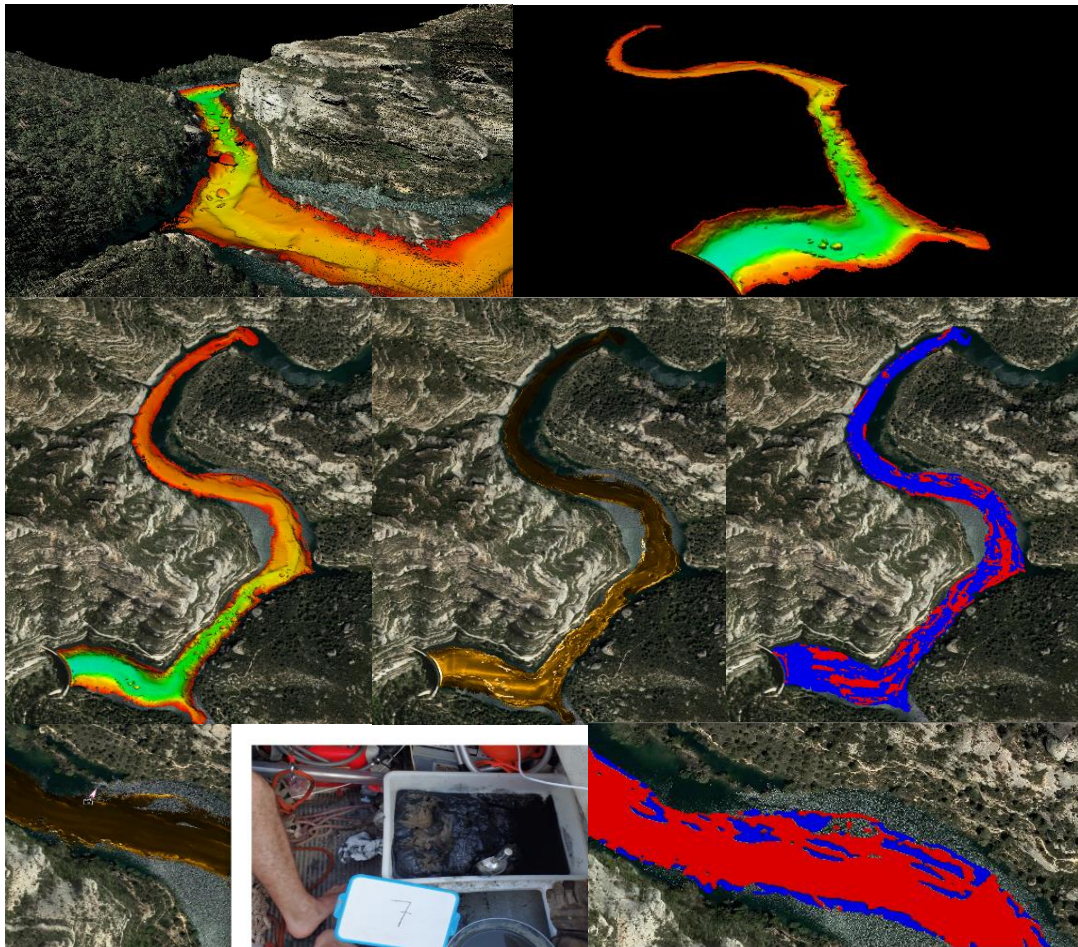




# LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO MULTIHAZ, GEOFISICO Y TOMA DE MUESTRAS EMBALSE MARGALEF



## MEMORIA Y PLANOS

Empresa Consultora:

UTE EBRO

SEPTIEMBRE 2021





# INDICE

<b>INDICE .....</b>	<b>3</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>6</b>
<b>2. ÁREA DE ESTUDIO.....</b>	<b>7</b>
2.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO .....	7
<b>3. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE .....</b>	<b>8</b>
3.1 FICHA DE LA PRESA MITECO .....	10
<b>4. MARCO GEOLÓGICO DE LA ZONA DE ESTUDIO. ....</b>	<b>12</b>
<b>5. EQUIPO TÉCNICO.....</b>	<b>15</b>
<b>6. METODOLOGÍA.....</b>	<b>16</b>
6.1 POSICIONAMIENTO.....	16
6.2 CORRECCIÓN DE MOVIMIENTOS Y RUMBO .....	18
6.3 BATIMETRÍA MULTHAZ .....	20
6.4 LEVANTAMIENTO LIDAR .....	22
6.5 SÍSMICA DE REFLEXIÓN DE ALTA RESOLUCIÓN .....	22
6.6 TOMA DE MUESTRAS DEL FONDO .....	25
<b>7. EQUIPOS UTILIZADOS .....</b>	<b>26</b>
7.1 POSICIONAMIENTO.....	26
<i>Estación Base .....</i>	<i>27</i>
<i>GPS Móvil (Rover) .....</i>	<i>27</i>
<i>Sensor de movimiento y rumbo .....</i>	<i>29</i>
<i>Sistema de navegación y adquisición .....</i>	<i>31</i>
7.2 BATIMETRÍA.....	34
<i>Ecosonda Multihaz .....</i>	<i>34</i>
<i>Velocidad de propagación del sonido .....</i>	<i>36</i>
7.3 SISTEMA LIDAR/LASER SCANNER 3D.....	38
7.4 SÍSMICA .....	40
<i>Geopulse .....</i>	<i>40</i>
<i>Receptor de 3.5Khz adaptado al Boomer .....</i>	<i>43</i>
7.1 DRAGA VANVEEN .....	46
7.2 EMBARCACIÓN EMPLEADA .....	47
<b>8. TRABAJO DE CAMPO.....</b>	<b>49</b>
8.1 PLANIFICACIÓN Y PREPARACIÓN .....	49

8.2	REFERENCIA UTILIZADA Y COMPROBACIONES .....	49
	<i>Control de altura de la lámina de agua .....</i>	<i>50</i>
8.3	LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO Y TOPOGRÁFICO .....	50
8.4	LEVANTAMIENTO GEOFÍSICO .....	55
8.5	TOMA DE MUESTRAS .....	58
<b>9.</b>	<b>PROCESADO DE DATOS .....</b>	<b>60</b>
9.1	PROCESADO DE LOS DATOS BATIMÉTRICOS .....	60
9.2	PROCESADO E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS GEOFÍSICOS.....	64
	<i>Procesado. ....</i>	<i>64</i>
	<i>Interpretación y resultados de los perfiles geofísicos. ....</i>	<i>68</i>
9.3	ANÁLISIS EN LABORATORIO DE LAS MUESTRAS.....	74
	<i>Recepción y preparación de las muestras.....</i>	<i>74</i>
	<i>Principio del método.....</i>	<i>75</i>
	<i>La norma de referencia.....</i>	<i>75</i>
	<i>Granulometría por Tamizado según el procedimiento interno PE/MUNLAB/06 255 .....</i>	<i>76</i>
	<i>Granulometría por sedimentación según el procedimiento interno PE/MUNLAB/06 250 ..</i>	<i>78</i>
	<i>RESUMEN GRANULOMETRÍAS.....</i>	<i>81</i>
9.4	INFORME DE CÁLCULO DE VOLUMEN DEL EMBALSE.....	86
	<i>Capacidad máxima actual del embalse .....</i>	<i>87</i>
	<i>Cubicación del volumen de sedimentos acumulados.....</i>	<i>87</i>
	<i>Tablas y gráficas del embalse de Margalef .....</i>	<i>88</i>
	<i>TABLA COTA- AREA-VOLUMEN.....</i>	<i>89</i>
	<i>GRAFICAS AREA VOLUMEN.....</i>	<i>90</i>
<b>10.</b>	<b>CLASIFICACIÓN DEL FONDO .....</b>	<b>91</b>
10.1	DESCRIPCIÓN DEL FENÓMENO DE SEDIMENTACIÓN DE UN EMBALSE .....	91
10.2	PROCESO DE CLASIFICACIÓN DE FONDOS .....	92
<b>11.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>100</b>
<b>12.</b>	<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>102</b>
<b>13.</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>106</b>
	<b>13.1</b> ESPECIFICACIONES DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS ( <b>PULSAR ENCIMA</b> ) .....	106
	13.2 FICHAS DE MUESTRAS TOMADAS EN CAMPO .....	107
	13.3 ANÁLISIS DE LABORATORIO DE LAS MUESTRAS.....	117
<b>14.</b>	<b>PLANOS.....</b>	<b>118</b>
	14.1 PLANO DE NAVEGACIÓN .....	118



14.2	PLANO BATIMÉTRICO Y TOPOGRÁFICO.....	118
14.3	PLANO ISOPACAS DE LOS SEDIMENTOS NO CONSOLIDADOS .....	118
14.4	PLANO DE CLASIFICACIÓN AUTOMÁTICA DEL BACKSCATTER .....	118

## 1. INTRODUCCIÓN

Como resultado del proceso de licitación “Contratación del Servicio para la Elaboración del Estudio de Sedimentos en diversas localizaciones en el Tramo del Río Ebro comprendido entre el Embalse de Flix y La desembocadura” se adjudicó el Lote 1 a la UTE Tecmarin-OCSA. Los trabajos consisten en la realización de un estudio batimétrico multihaz del fondo de los embalses, un estudio topográfico de las orillas y una toma de muestras para realizar una cubicación de los sedimentos del embalse. Este informe incluye todos los trabajos realizados en el embalse de Margalef.

## 2. Área de Estudio

### 2.1 Localización geográfica del estudio

La zona de estudio se localiza en el embalse de Margalef, dentro del municipio de Margalef de Montsant, en la provincia de Tarragona, que embalsa las aguas del río Montsant y los barrancos de Taverna, l'Auferí y Lbroment, los cuales drenan las aguas del Parque Natural de la Sierra de Montsant.

El embalse de Margalef pertenece a la Cuenca Hidrográfica del Ebro, ocupa una superficie aproximada de 32 Ha y se terminó de construir en el año 1995 con la presa de arco gravedad que corona el embalse de 3 hm<sup>3</sup> de capacidad.

El estudio abarca toda el área que cubre la lámina de agua a fecha de 2 de septiembre de 2021, día en que se hicieron las mediciones.



Figura 1 Plano de Situación

### 3. Recopilación y análisis de la información existente

Durante la fase inicial del proyecto se realizó una recopilación de todos los datos disponibles que pudieran estar disponibles. Para ello se contactó a través de Tragsatec con la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE), con la Agència Catalana de l'Aigua (ACA) y con el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX).

Para este embalse se pudo obtener a través del ACA un plano de construcción de la presa de 1991 escaneado en el cual se indica que existen diferencias de 25 metros entre el plano y los de topografía de detalle, estableciendo el MNNE en 409.00 m para los planos de detalle. En este plano se indica una MNNE de 443.50m, lo cual difiere más de esos 25m que indica el plano. No disponemos de información de las referencias empleadas o de por qué ese dato no es coherente en el propio plano.



Figura 2 Datos de cotas incluidos en el plano.

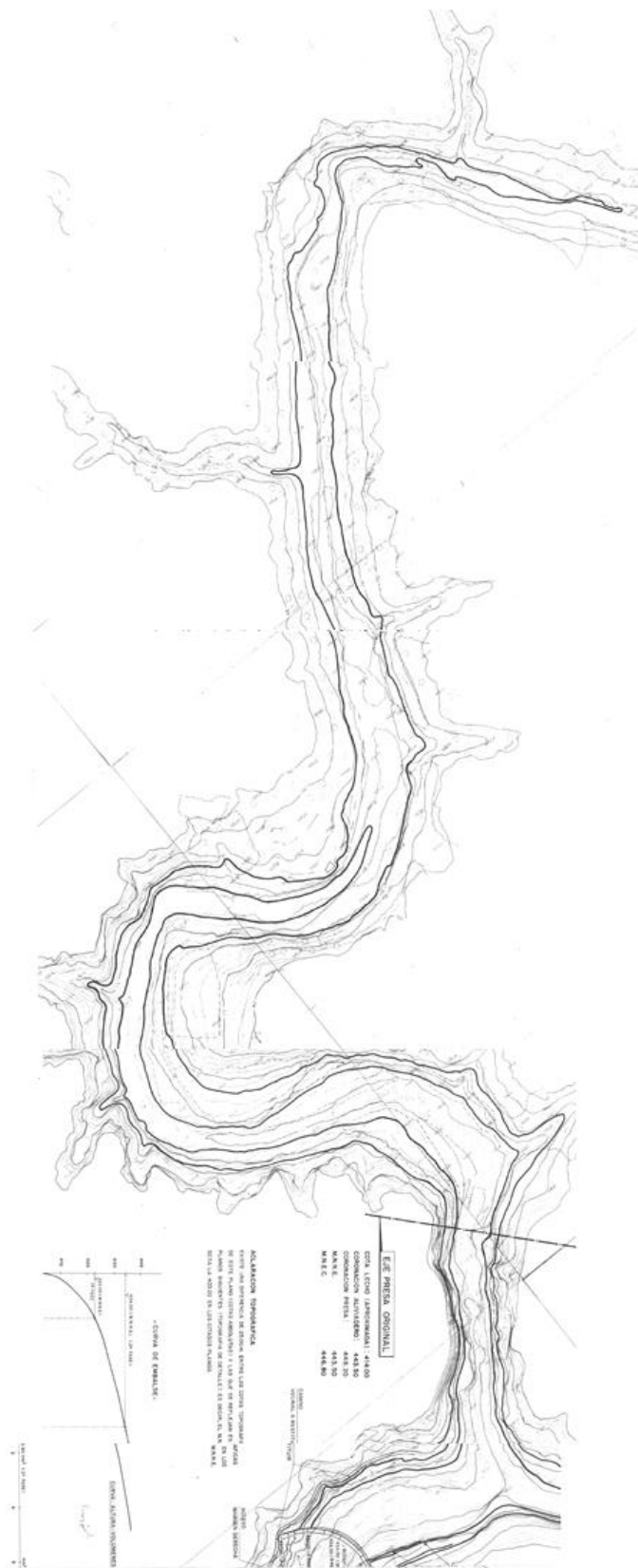



Figura 3 Plano facilitado por ACA.

### 3.1 Ficha de la presa MITECO

GOBIERNO DE ESPAÑA  
MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO



#### Ficha técnica de la Presa: MARGALEF

1. DATOS ADMINISTRATIVOS

Nombre de la presa:	MARGALEF
Otro Nombre:	---
Fase vida presa:	Explotación
Titular de la presa:	GENERALITAT DE CATALUÑA. DG DE ESTRUCTURAS AGRARIAS
Proyectista:	A. LLOBET LLAMBRICH
Categoría en función del riesgo potencial:	A
Aprobación de las normas de explotación:	---
Aprobación del plan de emergencia:	---
Fecha de finalización de las obras:	31-12-1993

3. USOS DEL EMBALSE

Usuarios:	Zona local., Generalitat de Catalunya, ---
Tipos:	Abastecimiento, Riego, ---



5. DATOS DEL EMBALSE

Superficie del embalse a NMN (ha):	31,370
Capacidad a NMN (hm <sup>3</sup> ):	2,980
Cota del NMN (m):	434,000


7. DATOS DEL ALIVIADERO

Número total de aliviaderos en la presa:	1
Regulación:	No, Labio fijo.
Capacidad (m <sup>3</sup> /s):	570,000

9. FOTOGRAFÍAS

2. DATOS GEOGRÁFICOS



Río en el que se encuentra la presa:	MONTSANT
Municipio:	MARGALEF
Cuenca hidrográfica:	EBRO
Provincia:	TARRAGONA
Coordenadas UTM 30 - ED 50:	817034 - 4578917

4. DATOS HIDROLÓGICOS

Superficie de la cuenca hidrográfica (km <sup>2</sup> ):	97,020
Aportación media anual (hm <sup>3</sup> ):	7,560
Precipitación media anual (mm):	430,000
Caudal punta avenida de proyecto (m <sup>3</sup> /s):	439,260



4. DATOS DE LA PRESA

Tipo de presa:	Bóveda
Cota coronación (m):	434
Altura desde cimientos (m):	34,000
Longitud de coronación (m):	96
Cota cimentación (m):	400,000
Cota del cauce en la presa (m):	402,800
Volumen del cuerpo presa (1000 m <sup>3</sup> ):	22,870

8. DATOS DEL DESAGÜE

Número total de desagües en la presa:	1
Capacidad (m <sup>3</sup> /s):	9,700

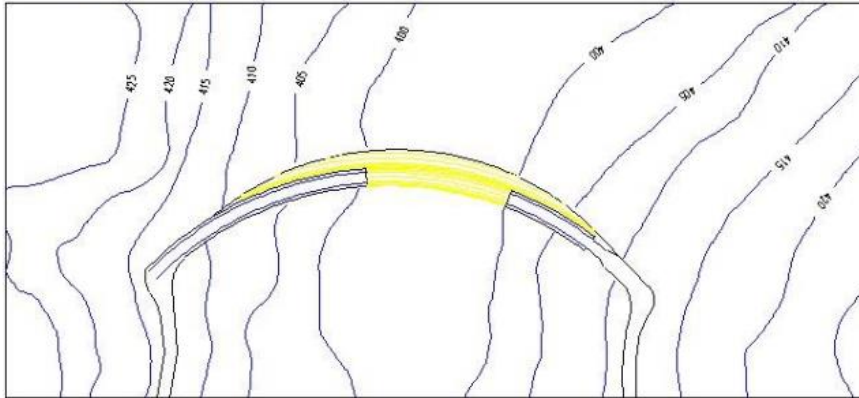
10. PLANOS



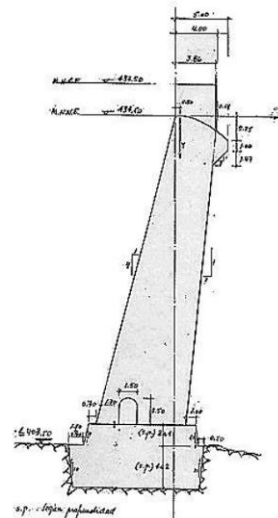
## Datos generales

Tipo de presa: [Bóveda](#)  
 Fase vida presa: [Explotación](#)  
 Titular: GENERALITAT DE CATALUÑA. DG DE ESTRUCTURAS AGRARIAS  
 Proyectista: A. LLOBET LLAMBRICH  
 Categoría riesgo potencial: A  
 Fecha finalización obras: 31/12/1995  
 Usos infraestructura: [Abastecimiento Riego](#)  
 Usuarios infraestructura: Zona local., Generalitat de Catalunya, ---  
 Planos:



## Datos técnicos

Superficie de la cuenca hidrográfica (km<sup>2</sup>): 97 km<sup>2</sup>  
 Aportación media anual (hm<sup>3</sup>): 8 hm<sup>3</sup>  
 Precipitación media anual (mm): 430 mm  
 Caudal punta avenida de proyecto (m<sup>3</sup>/s): 439 m<sup>3</sup>/s  
**Cota coronación (m): 434 m**  
 Altura desde cimientos (m): 34 m  
 Longitud de coronación (m): 96 m  
 Cota cimentación (m): 400 m  
 Cota del cauce en la presa (m): 403 m  
 Volumen del cuerpo presa (1000 m<sup>3</sup>): 22,87 1000 m<sup>3</sup>  
 Superficie del embalse a NMN (ha): 32 ha  
 Capacidad a NMN (hm<sup>3</sup>): 3 hm<sup>3</sup>  
**Cota del NMN (m): 434 m**  
 Número total de aliviaderos en la presa: 1  
 Regulación aliviaderos: No, Labio fijo.  
 Capacidad aliviaderos (m<sup>3</sup>/s): 570 m<sup>3</sup>/s  
 Número total de desagües en la presa: 1  
 Capacidad desagües (m<sup>3</sup>/s): 10 m<sup>3</sup>/s



PRESA MODIFICADA DE  
 MARGALEF  
 - SECCION TIPO -  
 6.1/200

#### 4. MARCO GEOLÓGICO DE LA ZONA DE ESTUDIO.

La zona de estudio se sitúa, geológicamente, en la Depresión del Ebro, al noreste del Macizo del Priorato, que forma parte de la Cadena Costero Catalana.

El enclave donde se sitúa este embalse es muy particular. El río Montsant ha erosionado durante milenios la roca formando meandros muy encajados entre las paredes de conglomerado cubiertas parcialmente por bosques de pino.

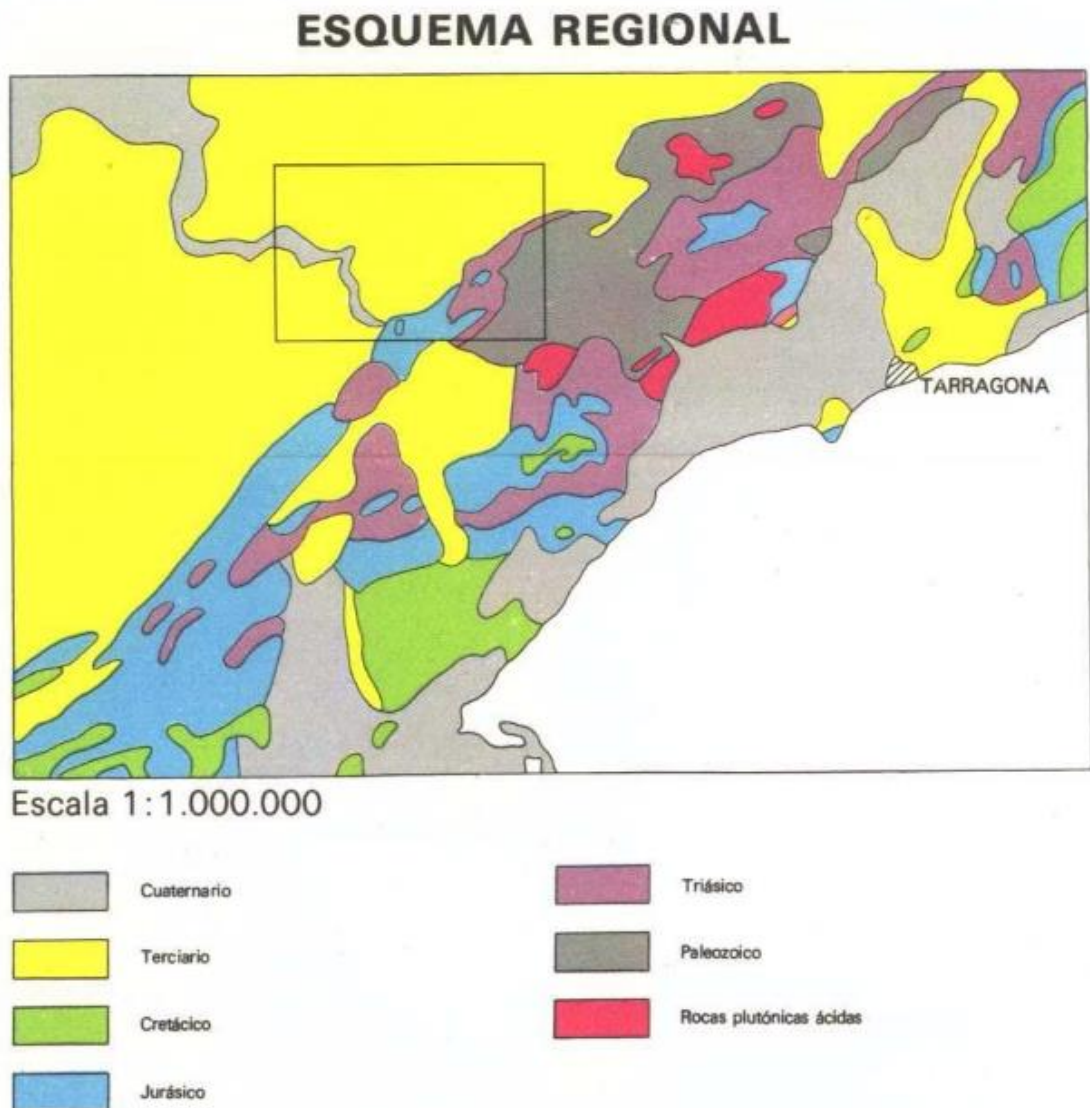


Figura 4 Mapa regional de unidades geológicas donde se aprecia la orientación NE-SO de la Cordillera y la Depresión formada por materiales terciarios.

El embalse de Margalef está a una altura de unos 430 metros sobre el nivel del mar. Se emplaza sobre conglomerados consolidados, fuertemente erosionados, que son la causa de que los laterales del embalse presenten unas fuertes pendientes, llegando en ocasiones a ser paredes verticales.

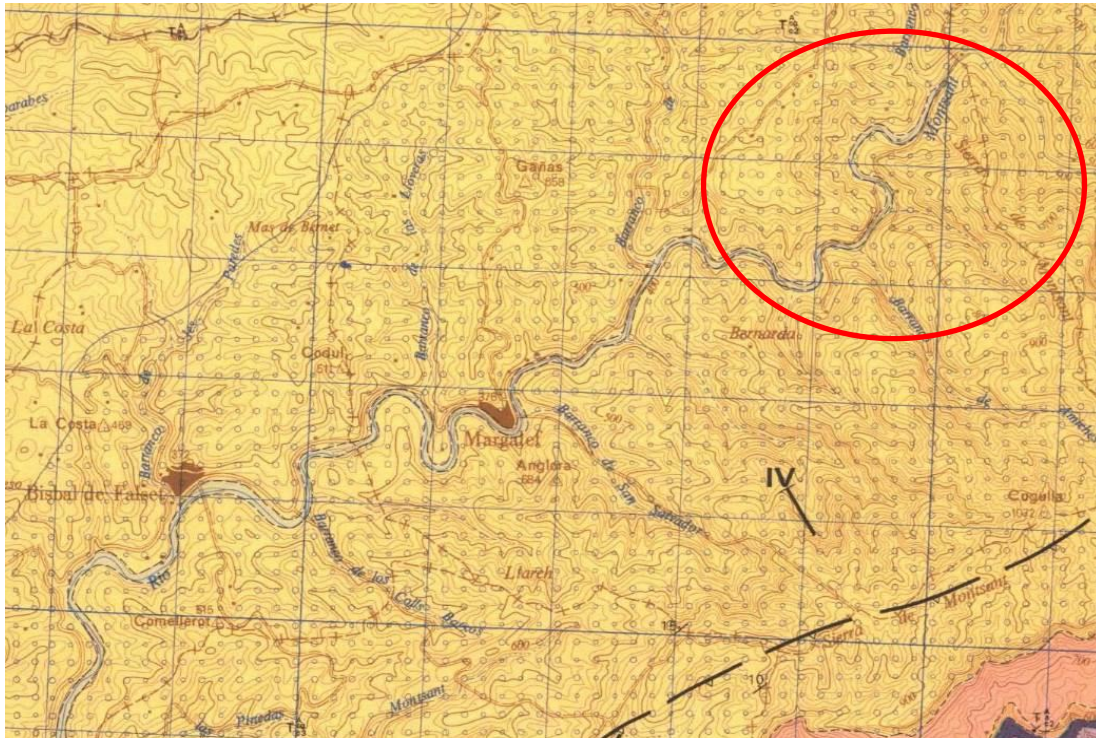


Figura 5. Sección del Mapa geológico 44 (FLIX) a escala 1:50000, 2ª serie MAGNA. Cartografía IGME.

El embalse de Margalef se sitúa sobre materiales de época Oligoceno de la era Cenozoica, depósitos terciarios bien consolidados, formados principalmente por conglomerados que se apoyan de forma discordante en materiales cenozoicos más antiguos y sobre rocas mesozoicas.

En algunos puntos los conglomerados llegan a alcanzar 250 metros de potencia. Principalmente los cantos que los forman son calizos y dolomíticos, pero también hay cantos de cuarzo, pizarra y rocas magmáticas. Poseen delgadas intercalaciones de areniscas arcillosas rosadas-amarillas, arcillas y nódulos de sílex. La matriz es arenosa con un cemento calcáreo que consolida todos los materiales descritos.

Estos conglomerados descritos, son el resultado de la sedimentación proximal, asociada a la erosión de la Cadena Costera Catalana durante la orogenia Alpina. La sedimentación de la Depresión de Ebro en la zona donde se asientan estos materiales, estuvo controlada por una falla inversa con una orientación NE-SO y que durante el oligoceno elevó la Cadena costera formando una estructura de horst y graben.

En las zonas donde el cauce se ensancha o en el interior de los meandros hay depósitos cuaternarios, terrazas aluviales o derrubios de ladera, que se apoyan sobre los conglomerados descritos anteriormente y que han sido utilizados por las personas que habitaban la zona antes de la construcción del embalse para el cultivo. Todavía se puede apreciar los muros de contención para bancales y restos de pequeñas



edificaciones, cubiertos parcialmente por los sedimentos finos como resultado de la retención de las aguas del Monserrat.

El estudio de los sedimentos derivados de la construcción de la presa constituye el objeto del presente informe.



**Figura 6.** Imagen con los materiales representativos de la zona.

## 5. Equipo técnico

Los trabajos de campo han sido realizados por

- D. Eduardo González Mellídez, Ingeniero experto en Oceanografía.
- D. Francisco González Sánchez, Ingeniero experto en Oceanografía.
- D. Javier López Cilla, Lcdo. en Geología.

El procesado de datos batimétricos y sísmicos junto con la interpretación e informe lo han realizado:

- D. Francisco Merchán Álvarez, Lcdo. en C. Físicas.
- D. Manuel Blanco Rodríguez, Lcdo. en C. Geológicas.
- D. Javier López Cilla, Lcdo. en Geología.
- D. Eduardo González Mellídez, Ingeniero experto en Oceanografía.
- D. Francisco González Sánchez, Ingeniero experto en Oceanografía.

El análisis de muestras ha sido realizado por los Laboratorios Munuera y su equipo técnico de laboratorio.

## 6. Metodología

A continuación se describen brevemente los conceptos básicos asociados a las técnicas empleadas para obtener los datos batimétricos, los sísmicos y las muestras de sedimentos en este trabajo.

### 6.1 Posicionamiento

El GPS (Global Positioning System), como su nombre indica es un sistema con cobertura casi mundial, siendo un sistema aceptado ampliamente en multitud de aplicaciones.

Actualmente hay cinco constelaciones operativas, Navstar, Glonass, Beidu, Galileo y el sistema Quasi-Zenith (QZSS). Dependiendo del receptor se puede tomar datos de una de ellas o de varias a la vez. Los más usados en la actualidad son los sistemas Navstar y Glonass, ya que el sistema Beidu tiene cobertura solamente en territorios próximos a China, el sistema QZSS está centrado en dar cobertura a Japón y el sistema Galileo europeo se encuentra actualmente todavía en expansión (está operativo desde 2016 con media constelación pero se espera que esté completado en 2020).

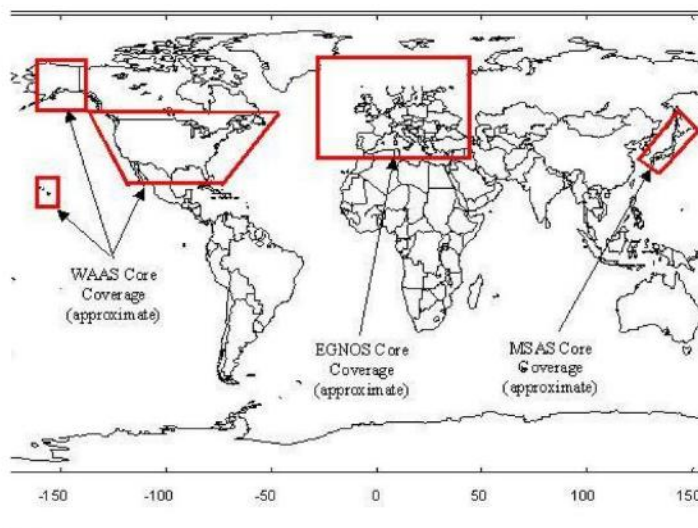


Figura 7 Cobertura de distintos sistemas diferenciales satelitales

En términos generales se compone de tres denominados segmentos. El espacial, o constelación de satélites, el de control formado por las estaciones de seguimiento y control del sistema, y el de usuario, en el que se engloban todos los receptores.



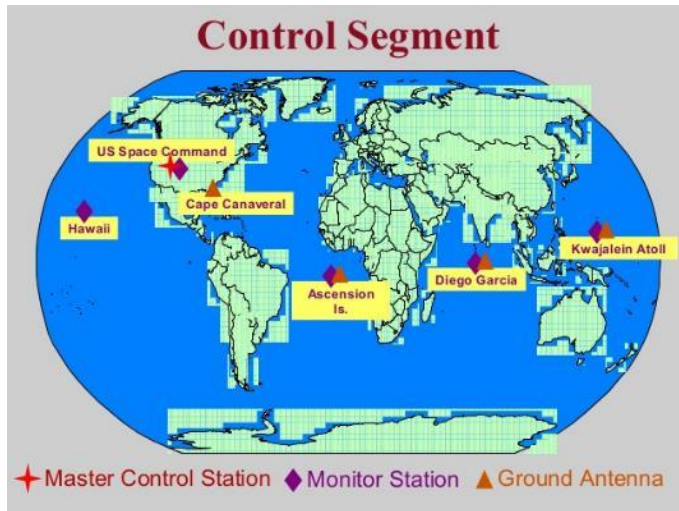


Figura 8 Segmento de control sistema Navstar

La posición se calcula realizando medidas doppler a un mínimo de 4 satélites de una constelación operativa de al menos 24 (6 planos orbitales con 4 satélites cada uno) situados en órbitas conocidas. Con esas medidas, denominadas pseudodistancias, se puede determinar con precisión las coordenadas de la antena. El sistema se basa en una medida extremadamente precisa del tiempo.

En los sistemas profesionales se puede medir en varias frecuencias, lo que permite corregir los efectos de la ionosfera, y utilizar códigos precisos y señales de varias constelaciones. Cada uno aporta una precisión mayor, pero la forma de mejorar la precisión hasta niveles milimétricos es utilizando sistemas diferenciales.

Se llaman así porque un equipo calcula los errores instantáneos en las medidas por conocer sus coordenadas precisas y las transmite al resto para que corrijan su posición en los errores medidos.

Hay diversos modos de generar y enviar las correcciones. Unos son de cobertura muy amplia y transmiten sus correcciones por satélite (SBAS), por radios de gran alcance (Beacons) o por Internet (GSM), y en casos concretos se utilizan radioenlaces de corto alcance.

Los últimos constan de un GPS que se coloca en un punto de coordenadas conocidas y transmite por radio las correcciones a los equipos situados a una distancia de pocos kilómetros. Utilizando los equipos adecuados esta configuración es la que mayor precisión aporta alcanzando rangos milimétricos y es obligada si no se dispone de otras fuentes de correcciones.

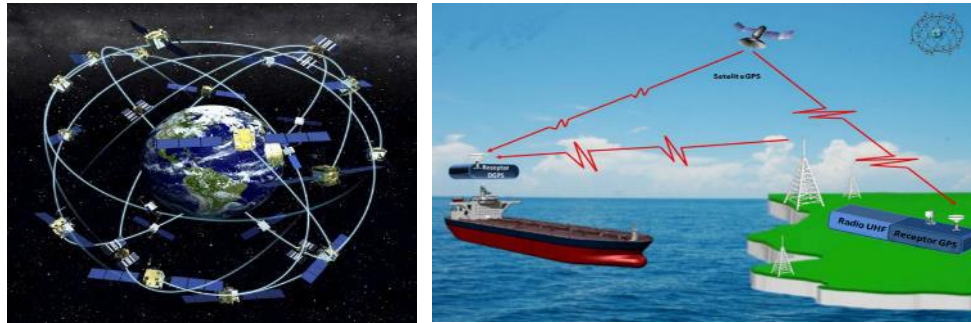


Figura 9. Imágenes con la constelación Navstar y un esquema de los tres segmentos que la componen.

## 6.2 Corrección de movimientos y rumbo

Al ir todos los sistemas montados sobre una plataforma móvil no basta con conocer la posición precisa de la antena del GPS, sino la de todos los sensores implicados en la toma de datos.

Para ello se ha de partir de una instalación fija y estable en el barco de forma que se mantengan las posiciones relativas entre ellos al moverse y definir un sistema de coordenadas local preciso que los posicione entre sí.

Para conocer las coordenadas instantáneas de cada sistema es necesario tener medidas continuas y precisas de los ángulos respecto a la vertical (Pitch, Roll), los cambios en altura (Heave) y la orientación en el plano horizontal (Heading) de la plataforma (barco), y aplicar bien sincronizadas estas medidas a las coordenadas del GPS RTK y a todos los datos de los diferentes sistemas considerando su posición precisa dentro del conjunto.

Esto se hace integrando un sensor de movimiento y rumbo muy preciso que realiza de forma continua muchas medidas instantáneas por segundo.

En nuestro caso se ha utilizado un sistema que mide todos los parámetros indicados y que se ha instalado en el mismo soporte que la ecosonda multihaz y el GPS RTK, para garantizar la estabilidad del conjunto.

Esto es importante, pues al ser un sistema que se utiliza en diferentes barcos no se pueden integrar los sensores en el casco, y se ha optado por montarlos en una única estructura que se ha colocado en la banda de estribor, formando un conjunto estable.

Se ha empleado un sistema de Advanced Navigation Certus EVO (Figura 10). Es un sistema compacto que en un periodo muy corto alcanza la precisión necesaria, que está en el orden de  $0.02^{\circ}$  de grado para el rumbo (heading) para la separación de

antenas usada, de  $0.03^\circ$  para las inclinaciones (pitch y roll), y de unos 5cm para la altura de ola (heave) (Figura 11).



Figura 10. Sensor de movimiento y GPS integrado en el soporte de la ecosonda multihaz.

Además utiliza la información del GPS para mejorar la calidad de los datos y obtener mayor precisión en giros y cambios de velocidad, aunque funciona correctamente de forma autónoma.

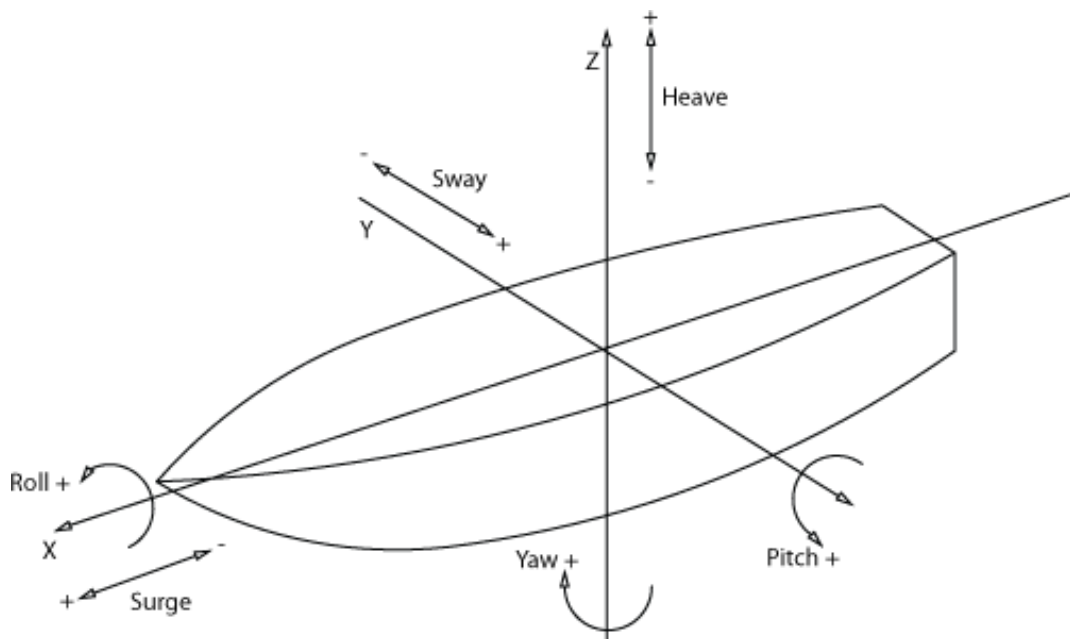


Figura 11. Esquema de las medidas que toma el sensor de movimiento

Aplicando adecuadamente sus medidas instantáneas al conjunto se obtienen las coordenadas absolutas de cada equipo o elemento que lo compone. Eso permite, considerando todos los factores que afectan a las medidas, tener posiciones absolutas de gran precisión en la medida aportada por cada haz de la ecosonda multihaz. Esos factores son muchos y todos inciden en la calidad final. Incluyen parámetros del medio,

especificaciones de los equipos, calidad de la instalación mecánica y eléctrica, integración de la información, etc.

### 6.3 Batimetría multihaz

El término batimetría proviene del griego βάθος (profundo) y μέτρον (medida) y es el equivalente en profundidad a la altimetría en topografía.

Aparte de otras técnicas obsoletas, la profundidad se mide con ecosondas (Figura 12). El sistema básico consta de un equipo electrónico que envía pulsos eléctricos a un transductor electroacústico que va en el agua y transforma las señales eléctricas de los ecos recibidos en distancia al fondo o profundidad.

Según la complejidad del equipo electrónico y del transductor, la ecosonda permite realizar medidas en diferentes rangos, precisiones y cadencias. Puede ser monohaz cuando mide solo en la vertical (nadir), generando un perfil sobre la ruta navegada, o multihaz cuando realiza múltiples medidas simultáneas a ambos lados de la misma.

Aunque comenzaron como sistemas que agrupaban varias ecosondas para realizar múltiples medidas simultáneas en la transversal a la ruta seguida, la evolución de la electrónica ha permitido tener ecosondas multihaz de medidas más reducidas y capacidades mucho mayores.

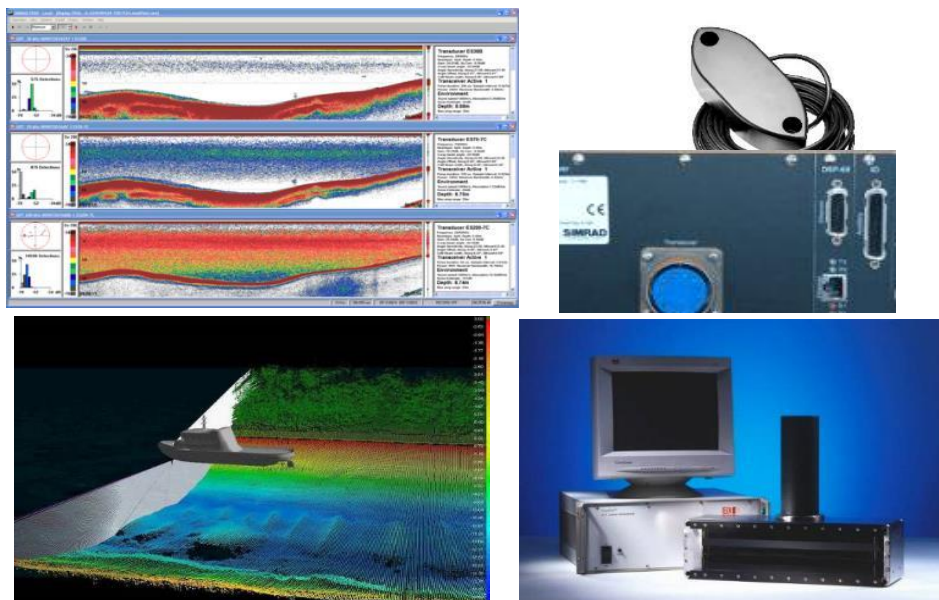


Figura 12. Ecosondas: Monohaz (Parte Superior) y Multihaz (Parte Inferior)

Una ecosonda Multihaz utiliza un transductor para emitir un haz muy estrecho en el sentido de avance y amplio en el transversal, y otro para generar muchos haces

estrechos en un plano perpendicular al sentido de avance que cortan al emitido. El eco recibido por cada haz corresponde a la zona común de ambos y es lo que permite hacer las múltiples medidas simultáneas en un plano transversal al avance. Si la profundidad es somera el proceso se puede repetir hasta más de 40 veces por segundo generando miles de medidas.

Estas ecosondas presentan una gran variedad según el número y forma de sus haces, el modo de generarlos, el método de detección del fondo, su frecuencia y alcance, etc. Ello se traduce en la calidad, cantidad y precisión de los datos que obtiene.

Estos datos son relativos a los transductores y con ello a su posición espacial en el momento de la emisión y recepción de las señales, pues funciona soportada en una plataforma móvil.

Para que esas medidas representen profundidades en puntos concretos es necesario integrarlas con otros sensores y elementos que las referencien a coordenadas absolutas y midan continuamente la posición y orientación de los transductores al procesar las señales y las condiciones del medio.

Esta integración se hace con un programa de adquisición que registra todos los datos a la par que proporciona otras funciones importantes y de control, y permite realizar una calibración final de todo el conjunto con datos de campo para alcanzar las precisiones previstas.

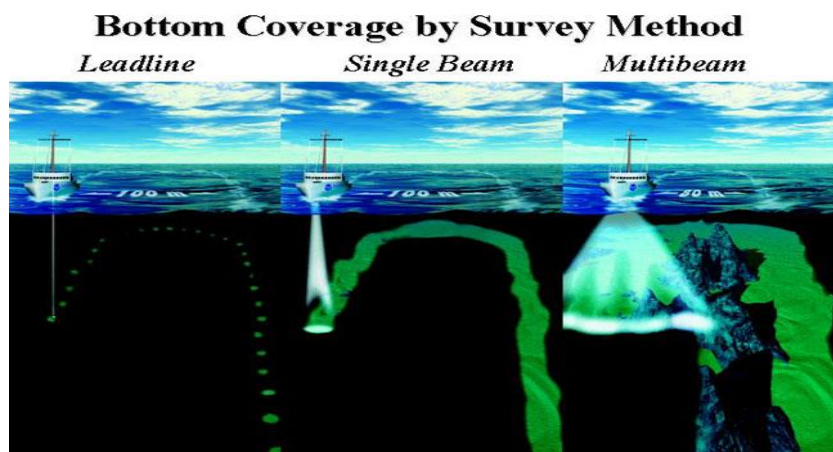


Figura 13. Tipos de medidas batimétricas y su cobertura (NOAA).

Los resultados que se obtienen de este sistema son nubes de puntos xyz que permiten una representación continua del fondo como Modelos Digitales de Terreno (MDT) o de Superficie (MDS). Dependiendo del sistema también se pueden tener otros datos que permiten diferenciar calidades de fondo.



## 6.4 Levantamiento LIDAR

Para completar la parte emergida de las orillas se ha empleado un sistema LIDAR en modo Mobile Mapping instalado en la embarcación para la toma de datos desde el interior al embalse.

Gracias al empleo de este sistema en modo mobile mapping, se ha obtenido una nube de puntos de muy alta densidad que proporcionan la topografía de parte emergida de alta resolución y precisión. Estos datos se han empleado para el cálculo de volúmenes hasta la cota de llenado del embalse.

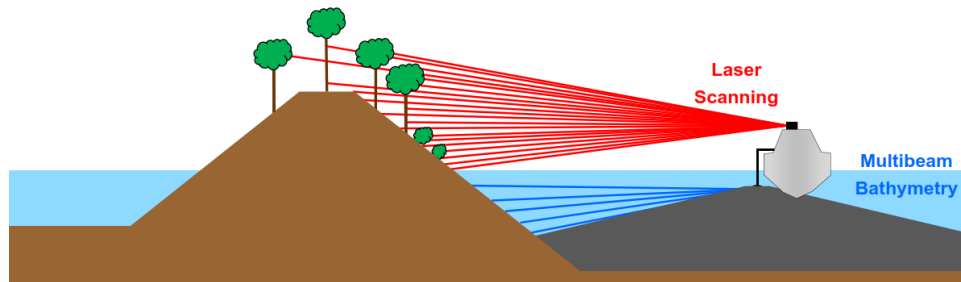


Figura 14 Esquema de levantamiento Batimétrico + LIDAR desde embarcación

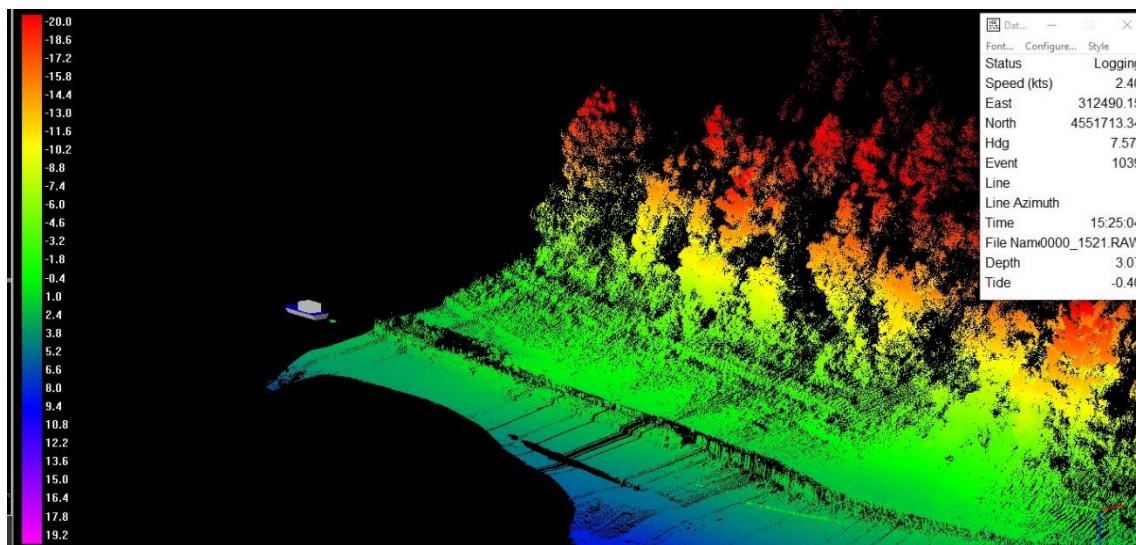


Figura 15 Levantamiento LIDAR desde embarcación

## 6.5 Sísmica de reflexión de alta resolución

La sísmica de reflexión en el agua emplea como elemento de medida las ondas acústicas (Trabant, 1984). Esta técnica se basa 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 y a las distintas



capas que componen el subsuelo. Posteriormente los ecos de retorno son recogidos y registrados. Sabiendo el tiempo transcurrido entre la emisión y la recepción, y la velocidad de propagación de las ondas sísmicas por el medio acuático y dichas capas, podemos calcular la profundidad a la que se encuentran los diferentes substratos geológicos. Como el buque se mueve en la horizontal, los distintos ecos van quedando reflejados de forma que se va produciendo una traza local del subsuelo. En sentido longitudinal del soporte, y a una distancia tal que no se superponga la traza, pero que tampoco quede separada, se repite el proceso de emisión de otro impulso. Con la consiguiente recogida de otros ecos, y así sucesivamente se va generando el perfil sísmico, gráfico donde queda representada la disposición geométrica del fondo y los reflectores del subsuelo, en forma continua siguiendo un perfil, asimilable a lo que sería un corte geológico (Trabant, 1984; Ayala et al., 1985; Díaz-del-Río, 1989; Rey, 1990; Abarzuza, 1991; Hernández Molina, 1993; Lobo, 1995).

Los sistemas sísmicos operan según el principio por el cual la energía sismo-acústica transmitida incide en una interfase acústica, reflejándose parcialmente por esta superficie. Una interfase 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 interfase.

Las interfases 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. Estos reflectores no tienen por qué coincidir con los conceptos de "estratos", "capas", "niveles" usados en geología, aunque de hecho pueden corresponder a interfases físicas como planos de estratificación, discontinuidades, fallas, superficies de erosión, zonas con gas, etc. (Bouyé, 1983; Trabant, 1984; Hernández-Molina, 1993).

Existen dos propiedades que caracterizan a todo sistema sísmico. Por una parte el grado de penetración, y por otro lado la capacidad de diferenciar, conocida como la resolución; ambas propiedades se relacionan inversamente:

- a) *Penetración*: es la profundidad máxima a la que puede detectarse un reflector. Depende básicamente 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 interfase 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).

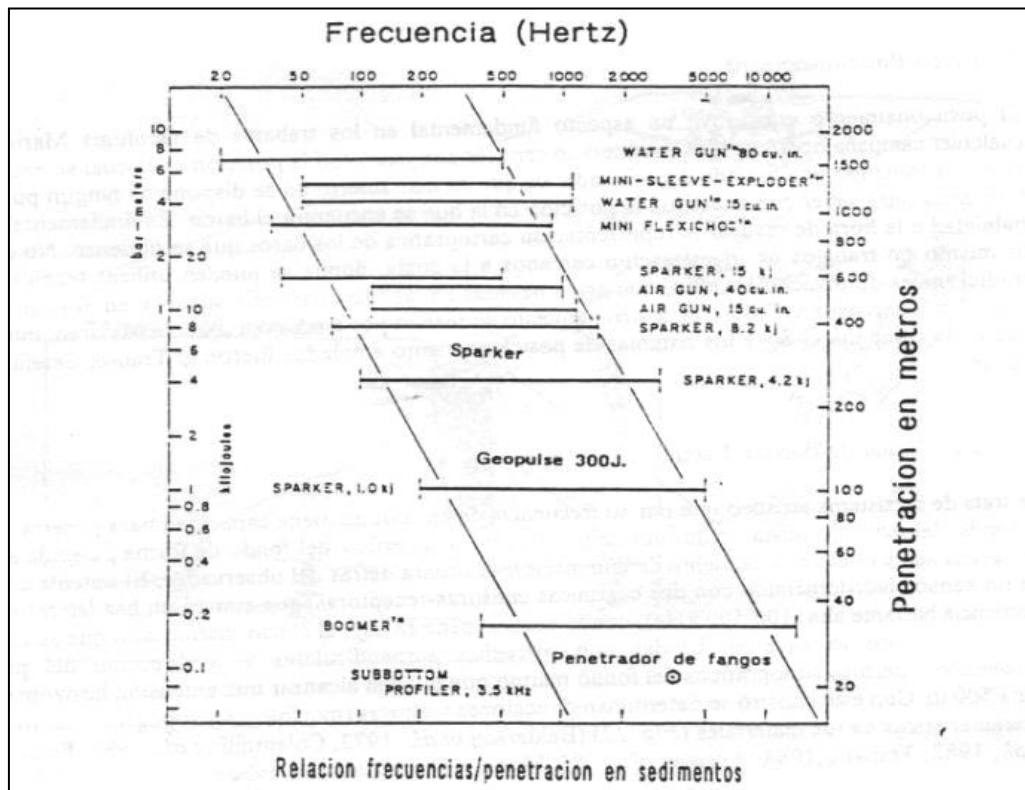


Figura 16 Esquema gráfico donde se establece la relación entre frecuencia y penetración en sedimentos (Trabant, 1984).

- 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).

## 6.6 Toma de muestras del fondo

En este trabajo se ha empleado una draga VanVeen de gran capacidad para la toma de sedimentos superficiales.



Figura 17 Draga VanVeen

La draga se baja mediante un cable, donde al tocar fondo se dispara un sistema que permite su cierre mordiendo los sedimentos superficiales, cerrando y dejándolos atrapados, incluso los finos, en su interior y dejando salir el agua por las válvulas de su parte superior. Para facilitar la maniobra de subida se emplea un pescante eléctrico que se instaló sobre la pontona.

Una vez la muestra está en cubierta se deposita en una bandeja limpia de donde se selecciona la cantidad a envasar para su conservación y análisis, y se etiqueta para una correcta trazabilidad.

## 7. Equipos Utilizados

Uno de los fines del presente estudio es una batimetría de precisión con una cobertura total, así como un estudio topográfico de las orillas que se ha realizado mediante LIDAR embarcado.

Para ello se ha empleado una Ecosonda Multihaz posicionada con un GPSD RTK (GPS Diferencial- Real Time Kinematic), medición de movimientos totales del barco, corrección de la velocidad de propagación del sonido en el agua y de la altura de agua.

### 7.1 Posicionamiento

La posición de los diferentes sistemas en la embarcación se ha obtenido a partir de un GPS Diferencial RTK funcionando en modo ROVER+Ntrip desde el sistema IGN con conexión a las redes de las comunidades autónomas.

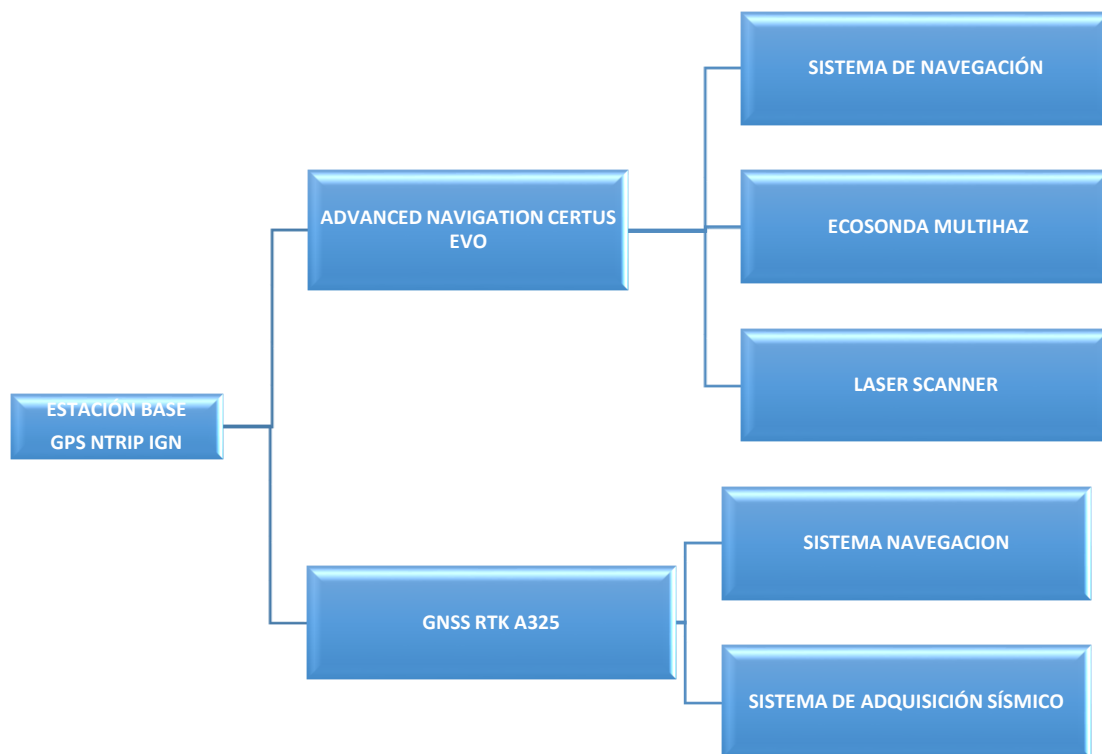


Figura 18 Esquema de integración de datos GPS para batimetría + LIDAR y levantamiento sísmico

### Estación Base

Se han empleado dos formas de trabajo, dependiendo de las necesidades en cada caso. Por un lado se ha empleado una base propia para formar un sistema Base+Rover, en los casos en los que la cobertura de telefonía fallaba.

Por otro lado se ha empleado un sistema Rover+NTRIP, recibiendo correcciones diferenciales a través de internet de las redes del IGN y del ICGC, conectando en modo base virtual.

Las comprobaciones realizadas mediante ambos sistemas han proporcionado medidas con errores propios del sistema GPS RTK (2-4 cm).

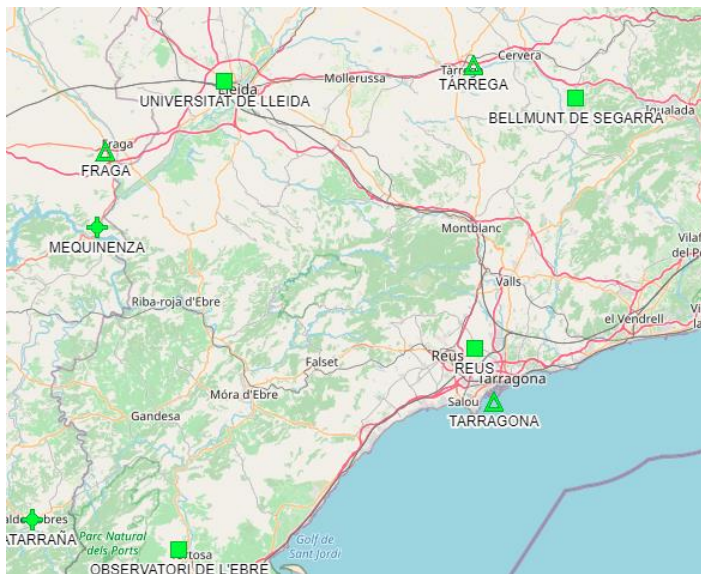


Figura 19 Bases de IGN e ICGC próximas a la zona

### GPS Móvil (Rover)

Se han empleado varios sistemas Rover distintos durante los trabajos.

Uno de los sistemas que se han empleado para la comprobación de los puntos en tierra ha sido un sistema Rover de la marca Emlid modelo Reach RS2. Este sistema también dispone de radio interna, conexión a internet mediante modem 3.5G, programa de adquisición, etc. Se trata de un sistema GNSS multi-constelación (GPS, GLONASS, GALILEO y BEIDU) y multifrecuencia L1/L2/L5.

## REACH RS2

### Technical specifications



#### POSITIONING

<b>Precision</b>	Static	H: 4 mm+0.5 ppm V: 8mm+1 ppm
	PPK	H: 5 mm+0.5 ppm V: 10mm+1 ppm
	RTK	H: 7 mm+1 ppm V: 14 mm+1 ppm
<b>Convergence time</b>	~5s typically	
<b>Signal tracked</b>	GPS/QZSS L1C/A, L2C, GLONASS L1OF, L2OF, BeiDou B1I, B2I, Galileo E1-B/C, E5b	
<b>Number of channels</b>	184	
<b>Update rates</b>	10Hz GPS / 5Hz GNSS	
<b>IMU</b>	9DOF	

#### CONNECTIVITY

<b>UHF LoRa radio</b>	Frequency range	868/915MHz
	Power	0.1 W
	Distance	Up to 8km
<b>3.5G modem</b>	Regions	Global
	Bands	Quad-band, 850/1900, 900/1800MHz
	SIM card	Nano-SIM
<b>Wi-Fi</b>	802.11 b/g/n	
<b>Bluetooth</b>	4.0/2.1 EDR	
<b>Ports</b>	RS-232, USB Type-C	
<b>Data Protocols</b>	NTRIP, VRS, RTCM3, position output in NMEA, LLH/XYZ	
<b>Data logging</b>	RINEX at update rate up to 10Hz	

Figura 20 Sistema GNSS Emlid Reach RS2 y sus características

Como equipo móvil o Rover principal se ha utilizado tanto en el barco como en tierra un sistema Hemisphere A325 RTK, que dispone de libreta de configuración, con opciones de radio externa Pacific Crest ADL y opción conexión GSM. Este es un sistema GPS + GLONASS bifrecuencia, que proporciona precisión centimétrica al sistema.



## A325 GNSS Smart Antenna

#### GNSS Receiver Specifications

Receiver Type:	GNSS L1 & L2 RTK with carrier phase	
Signals Received:	GPS and GLONASS	
Channels:	114	
GPS Sensitivity:	-142 dBm	
SBAS Tracking:	3-channel, parallel tracking	
Update Rate:	10 Hz standard, 20 Hz optional	
Timing (1PPS) Accuracy:	20 ns	
Cold Start:	< 60 s typical (no almanac or RTC)	
Warm Start:	< 20 s typical (almanac and RTC)	
Hot Start:	< 5 s typical (almanac, RTC and position)	
Maximum Speed:	1,850 kph (999 kts)	
Maximum Altitude:	18,288 m (60,000 ft)	

#### Positioning Accuracy

	RMS (67%)	2DRMS (95%)
RTK: <sup>3</sup> 3	10 mm + 1 ppm	20 mm + 2 ppm
SBAS (WAAS): <sup>2</sup> 2	0.3 m	0.6 m
Autonomous, no SA: <sup>2</sup> 2	1.2 m	2.5 m

#### Communications

Serial Ports:	2 full-duplex RS-232, Bluetooth, CAN	
Baud Rates:	4800 - 115200	
Correction I/O Protocol:	Hemisphere GNSS proprietary, RTCM v2.3 (DGPS), RTCM v3 (RTK), CMR, CMR+	
Data I/O Protocol:	NMEA 0183, NMEA 2000, Hemisphere GPS binary, Bluetooth 2.0 (Class 2) 1PPS, CMOS, active high, falling edge sync, 10 kΩ, 10 pF load	
Timing Output:		
Event Marker Input:	CMOS, active low, falling edge sync, 10 kΩ, 10 pF load	

#### Power

Input Voltage: operation	7-36 VDC with reverse polarity
Power Consumption:	< 4.6 W nominal GPS (L1/L2), GLONASS (L1/L2)
Current Consumption:	0.34 mA nominal GPS (L1/L2), GLONASS (L1/L2)
Power Isolation:	No
Reverse Polarity Protection:	Yes
Antenna Voltage:	Internal antenna

#### Environmental

Operating Temperature:	-40°C to +70°C (-40°F to +158°F)
Storage Temperature:	-40°C to +85°C (-40°F to +185°F)
Humidity:	95% non-condensing
Shock and Vibration:	Vibration: EP455 Section 5.15.1 Random Mechanical Shock: EP455 Section 5.14.1 Operational CE (ISO 14982 Emissions and Immunity) FCC Part 15, Subpart B CISPR 22 IP67
EMC:	
Enclosure:	

#### Mechanical

Dimensions:	10.4 H x 14.5 D cm (4.1 H x 5.7 D in)
Weight:	< 0.56 kg (< 1.23 lbs)
Status Indications (LED):	Power, GNSS lock, Bluetooth
Serial Port Extension:	Bluetooth communication
Power/Data Connector:	12-pin male (metal)
Antenna Mounting:	1-14 UNS-2A female, 5/8-11 UNC-2B adapter and mag-mount available

Figura 21 Hemisphere A325 GNSS y sus características



Este sistema se colocó en la parte superior de la estructura sobre la que se montó tanto la ecosonda multihaz como el sensor de movimiento, formando todo ello un conjunto estable.



Figura 22 Embarcación con el mástil dónde se instala la antena GPS Rover

Los datos de posición se sacaron en formato NMEA 183 por una de las interfaces serie y se aplicaron como se indica en el diagrama de la Figura 18 para su correcta integración con los datos de los diferentes sistemas. Para el sincronismo de los datos se ha utilizado el mensaje NMEA ZDA que se ha configurado para esta función.

Además se empleó un tercer sistema GNSS RTK Multi-constelación y multifrecuencia asociado al sensor de movimientos y rumbo. El sistema Advanced Certus Evo incorpora un sistema de posicionamiento RTK de doble antena, cuyas características se describen en el siguiente apartado.

### *Sensor de movimiento y rumbo*

En los trabajos se ha empleado el sensor de movimiento + rumbo de la marca Advanced Navigation modelo Certus Evo. Se trata de un sensor de movimientos de mucha precisión y un reducido tamaño, que permite ser montado incluso en vehículos remotos USV. Proporciona una precisión en tiempo real de  $0.03^\circ$  Roll/pitch y en rumbo mejor que  $0.05^\circ$  con 1m de separación entre antenas. Este sistema además permite el uso de Postprocesado llegando a precisiones angulares de  $0.01^\circ$  Roll/Pitch y  $0.01^\circ$  en rumbo. Incorpora un GPSD RTK de doble antena que proporciona por un lado información de posición centimétrica precisa y por otro lado información del rumbo de la embarcación.

En este caso se ha colocado en un soporte especial en la parte superior del mástil de la misma ecosonda. Las antenas se han instalado con una separación de 2m, lo que proporciona una precisión de un rumbo de 0.02°.



#### NAVIGATION

Horizontal Position Accuracy	1.2 m
Vertical Position Accuracy	2.0 m
Horizontal Position Accuracy (with SBAS)	0.5 m
Vertical Position Accuracy (with SBAS)	0.8 m
Horizontal Position Accuracy (with RTK or Kinematic PPK)	0.01 m
Vertical Position Accuracy (with RTK or Kinematic PPK)	0.015 m
Velocity Accuracy	0.05 m/s
Roll & Pitch Accuracy	0.03 °
Heading Accuracy (1m Antenna Separation)	0.05 °
Roll & Pitch Accuracy (Kinematic post processing)	0.01 °
Heading Accuracy (Kinematic post processing)	0.01 °
Slip Accuracy	0.1 °
Heave Accuracy (whichever is greater)	5 % or 0.05 m

Figura 23 Sensor de movimientos y rumbo Certus EVO.

Este sistema dispone de múltiples salidas configurables así como de sincronismo preciso para todos los sistemas. Las conexiones disponibles incluyen múltiples puertos serie así como una conexión directa por red LAN. Todo el sistema es totalmente configurable desde su propio software, desde el que se provee al sistema de correcciones diferenciales para obtener una precisión del GPS centimétrica. El sistema GNSS que incluye en multi-constelación (GPS, GLONASS, GALILEO y BEIDU).

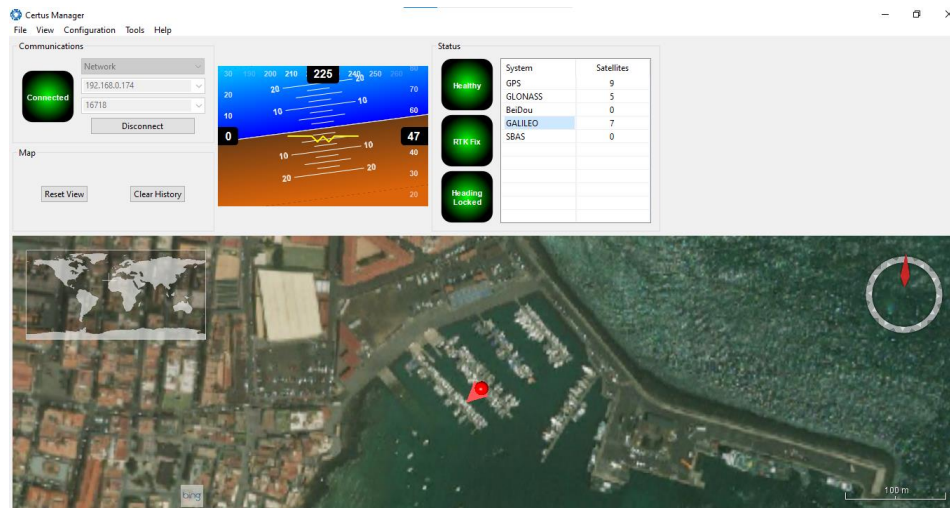


Figura 24 Pantalla de control y configuración Advanced Navigation Certus EVO.

### *Sistema de navegación y adquisición*

El sistema empleado ha sido un programa Hypack Max/HySweep 2021, que permite integrar perfectamente todos los sistemas. Su función es múltiple y dispone de todo lo necesario para una correcta planificación del trabajo, el control, e integración de datos y su registro durante el mismo, así como el procesado y filtrado de datos posterior.

A la par que integra y registra los datos presenta suficientes pantallas gráficas y numéricas de control con las que operador y piloto visualizan el desarrollo del trabajo (Figura 25 y Figura 26) y alarmas configurables.

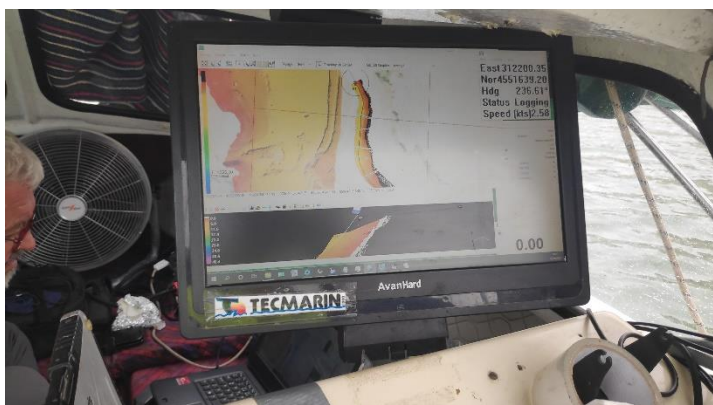


Figura 25 Pantalla de navegación del piloto.

Se comunica por red con la unidad de cubierta de la ecosonda, a través de la cual envía comandos de control y recoge toda la información proporcionada por ésta para guardarla en su forma original junto con la del resto de sistemas.



Figura 26 Ordenador de control de navegación con pantalla del operador instalado a bordo. Batimetría + LIDAR (izda) y sísmica (dcha).

También dispone de múltiples conexiones con las que incorpora toda la información de posición y movimiento, registra los perfiles de velocidad de propagación del sonido y los datos de otros sensores. Además puede enviar información a otros sistemas y proporciona marcas de sincronismo a los registros sísmicos.

El sistema se puede configurar para trabajar en diversos sistemas de coordenadas en tiempo real, así como realizar transformaciones en procesado. En nuestro caso se ha configurado para trabajar en GRS1890 (ETRS89) y proyección UTM en huso 31N, correspondiente a la zona estudiada. Desde la dirección del proyecto, se solicitó que la entrega de los datos se realizara en UTM HUSO 30N para unificar los datos con el resto de la cuenca. Esto hace que se incrementen las deformaciones al usar un Huso que no le corresponde a la zona de trabajo, por eso siempre trabajamos en el Huso correcto y luego se ha aplicado una transformación de HUSO 31N a 30N.

Toda la información gráfica y numérica de las pantallas asociadas es configurable, ajustándose ésta según las necesidades específicas del operador por un lado y del piloto por otro en forma independiente.

La del operador por lo general se configura para tener información suficiente sobre la calidad de los datos obtenidos y del correcto funcionamiento de todos los elementos, así como controles para activar o desactivar la grabación de datos y posibilidad de modificar la configuración de todo el sistema, pues ha de disponer de un control completo sobre todo el proceso.

La del piloto se configura de forma que aporte el máximo detalle sobre las líneas a seguir o la zona a cubrir y como elemento de seguridad en la navegación. El operador, a petición de éste, puede ajustar tanto el contenido de las ventanas como la escala y orientación del mapa.

Los datos se pueden grabar a simultáneo en varios formatos, lo cual implica una gran cantidad de información en algunos sistemas. Por ello la grabación se hace directamente sobre discos duros de alta capacidad y periódicamente se sacan copias de seguridad para evitar la pérdida de los datos ya recogidos.

Este mismo programa sirve para realizar a posteriori el procesado y filtrado de los datos y su integración con los niveles de altura de lámina de agua medidos y aplicar o modificar las diferentes correcciones necesarias. También cambios de formato para utilizarse en otros programas.



## 7.2 Batimetría

### *Ecosonda Multihaz*

La ecosonda propuesta es una de las más precisas del mercado marca Norbit WBMS, que genera 512 haces por disparo hasta 60 veces por segundo (>30.000pts/seg). Estos haces son físicos y en función de su posición angular y de la señal recibida el sistema determina la mejor forma de detectar el centro del haz con un método de enfoque especial, añadiendo también un control de calidad a cada uno de los puntos tomados.

La resolución en la medida del sistema Norbit WBMS con la opción Narrow integrada propuesto es de < 6 mm con un ancho de haz de hasta 0.5° x 0.5° (Across/Along-track) a 700 kHz y excede las más altas especificaciones del IHO (International Hydrography Organization Special Order) y de la USACE (U.S. Army Corps of Engineers Special Order).

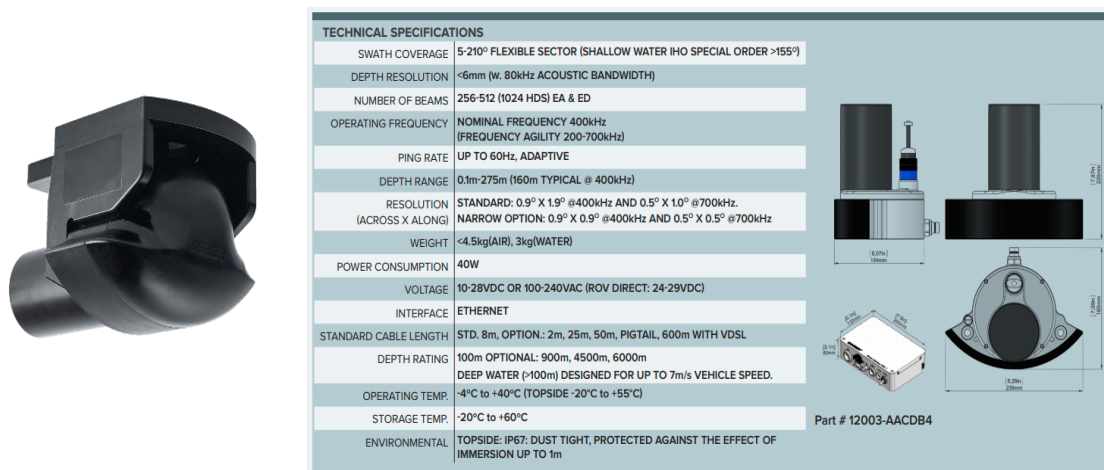


Figura 27 Ecosonda Norbit WBMS

Para garantizar la precisión de los datos obtenidos es necesario por un lado que la instalación tenga la necesaria estabilidad y se configure todo el sistema adecuadamente. Por otro, al funcionar sobre una plataforma móvil (barco), medir de forma continua y muy precisa todos los movimientos de ésta, su rumbo y su posición. Además, como las medidas se hacen con sonido en un medio no uniforme, es necesario conocer con la máxima precisión la velocidad de propagación de éste en toda la columna de agua y aplicar las correcciones necesarias.

El transductor tiene dos conjuntos de transductores, uno de forma cilíndrica que es el emisor y otro en semicircunferencia que es el receptor. El primero se caracteriza por tener un haz muy estrecho en el sentido de avance y muy amplio en el transversal, mientras que el segundo genera 512 haces amplios en el sentido de avance y estrechos en el transversal.

La zona cubierta por cada haz corresponde a la zona común de la insonificada por emisor y la detectada por cada receptor, el centro de la cruz formada por el haz emitido y los recibidos. Al tratarse de un sistema Multihaz la electrónica alojada en la caja que soporta los transductores genera 512 haces independientes y a simultáneo con separación equiangular o equidistante, detectando el fondo en número igual dentro de la zona cubierta por el haz emitido.

Para que la generación de esos haces sea correcta en este sistema es necesario conocer con la máxima precisión la velocidad de propagación del sonido en el agua que rodea al transductor, por ello se mide en continuo con un sensor instalado en el mismo transductor. También se toman perfiles en la columna de agua para corregir las medidas y trayectorias de cada haz, mejorando la precisión.

La transmisión de los datos y las señales de control desde la unidad de cubierta se realiza con un cable especial que transporta la gran cantidad de datos que se producen, pues aparte de los datos numéricos genera datos de reflectividad para cada punto medido. Nuestro sistema también se puede configurar para tener sonografías del fondo (Sonar de Barrido Lateral y Snippets).



Figura 28 Pantalla de control del sistema Norbit.

A la unidad de cubierta se le aportan todas las señales de los sensores del barco para integrarlos con las medidas realizadas, así como la información de tiempo preciso proporcionada por el GPS y el sistema de navegación.



Figura 29 Unidad de cubierta SIU (Sonar Interface Unit)

Para su control dispone de una pantalla para su configuración y control de los datos en forma gráfica y numérica. También permite realizar test del sistema y verificar la calidad de los datos obtenidos. En la pantalla se pueden representar en forma gráfica diversos parámetros y visualiza continuamente el perfil transversal del fondo medido, así como otros datos de configuración y funcionamiento.

Aparte de una correcta configuración de todo el sistema, y como ya se ha indicado, la calidad final de los datos obtenidos depende directamente de la solidez de la instalación realizada. Para ello es imprescindible que tanto los transductores de la ecosonda como el sensor de movimiento y la antena del GPS formen un conjunto estable y no se produzcan movimientos relativos entre ellos.

El montaje hecho en este caso, dada la temporalidad de la instalación, ha consistido en fijar sólidamente en una única estructura tanto la ecosonda como el sensor de movimiento y el GPS RTK. Esta estructura se ha fijado sólidamente al costado de babor de la embarcación.

Tras una configuración previa del montaje (offsets) se procede a hacer sobre el terreno una calibración detallada, siguiendo un protocolo específico y recogiendo datos sobre unas líneas con una distribución y características adecuadas.

Antes de iniciar el protocolo indicado se ha obtenido un perfil de velocidad de propagación de sonido en la zona, para aplicarlo a los datos tomados.

Con esta calibración se corrigen los errores de tiempo (latencia) entre la toma de datos real y su integración con el resto de sistemas, y se determinan con precisión los ángulos de montaje (pitch, roll y yaw). Como se utilizan datos reales de la zona de trabajo, se asegura la calidad final.

Como todos los datos que se graban son brutos y estas correcciones se pueden revisar y aplicar de nuevo si se detectan desviaciones asociadas a ellas en el procesado final de los datos.

#### *Velocidad de propagación del sonido.*

Como se ha indicado este parámetro es fundamental para por un lado permitir a la ecosonda Multihaz una correcta generación de los haces acústicos, por lo que se mide en forma continua junto al transductor, y por otro para corregir las medidas realizadas con los cambios en la columna de agua, mediante la toma de perfiles puntuales.

Lo primero se hace con un sensor que se instala junto al transductor y cuyos datos se aplican directamente al Sonar Processor de la ecosonda Figura 29.

Lo segundo con un equipo independiente dotado de sensor de profundidad, que se baja en diferentes puntos de la zona para tener el perfil completo de los cambios de velocidad en la columna de agua Figura 30 (abajo).



Figura 30 Sensor de la velocidad del sonido en superficie (arriba). Sensor de velocidad del sonido en la columna de agua (abajo.).

Las parejas de datos profundidad-velocidad de propagación del sonido se almacenan en una memoria interna, y luego se descargan directamente al sistema. La recogida es configurable tanto por intervalo de profundidad como por cambio en el dato de velocidad medido.

Los ficheros generados se aplican directamente importándolos con el programa de control de la ecosonda para su utilización inmediata, y también se almacenan junto con otros datos para tenerlos disponibles en el procesado.

### 7.3 Sistema LIDAR/Laser Scanner 3D

El sistema Velodyne VLP16 empleado consiste en un sensor LIDAR de 16 canales que emite haces láser en 360 grados con un alcance de hasta 100m, recogiendo hasta 300.000 ptos/seg. Este sistema debe de ir acompañado al igual que la ecosonda multihaz, de un sistema inercial + GPS completo, que corrija cualquier movimiento del móvil en el que va instalado.

El sistema empleado es un sistema Velodyne VLP16 que gracias a su pequeño tamaño permite ser instalado incluso en drones. Sus principales características son:



Specifications:	
<b>Sensor:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 16 Channels</li> <li>• Measurement Range: 100 m</li> <li>• Range Accuracy: Up to ±3 cm (Typical)<sup>1</sup></li> <li>• Field of View (Vertical): +15.0° to -15.0° (30°)</li> <li>• Angular Resolution (Vertical): 2.0°</li> <li>• Field of View (Horizontal): 360°</li> <li>• Angular Resolution (Horizontal/Azimuth): 0.1° – 0.4°</li> <li>• Rotation Rate: 5 Hz – 20 Hz</li> <li>• Integrated Web Server for Easy Monitoring and Configuration</li> </ul>
<b>Laser:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Laser Product Classification: Class 1 Eye-safe per IEC 60825-1:2007 &amp; 2014</li> <li>• Wavelength: 903 nm</li> </ul>
<b>Mechanical/ Electrical/ Operational</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Power Consumption: 8 W (Typical)<sup>2</sup></li> <li>• Operating Voltage: 9 V – 18 V (with Interface Box and Regulated Power Supply)</li> <li>• Weight: ~830 g (without Cabling and Interface Box)</li> <li>• Dimensions: See diagram on previous page</li> <li>• Environmental Protection: IP67</li> <li>• Operating Temperature: -10°C to +60°C<sup>3</sup></li> <li>• Storage Temperature: -40°C to +105°C</li> </ul>
<b>Output:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3D LIDAR Data Points Generated: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Single Return Mode: ~300,000 points per second</li> <li>- Dual Return Mode: ~600,000 points per second</li> </ul> </li> <li>• 100 Mbps Ethernet Connection</li> <li>• UDP Packets Contain: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Time of Flight Distance Measurement</li> <li>- Calibrated Reflectivity Measurement</li> <li>- Rotation Angles</li> <li>- Synchronized Time Stamps (µs resolution)</li> </ul> </li> <li>• GPS: \$GPRMC and \$GPGGA NMEA Sentences from GPS Receiver (GPS not included)</li> </ul>

63-9229 Rev-H

Figura 31 Especificaciones Velodyne VLP16





**Figura 32** Velodyne VLP16 integrado en el mástil junto a la ecosonda y al sistema MRU+GPS RTK.

## 7.4 Sísmica

### Geopulse

Es un sistema sísmico de media-alta resolución y media penetración, que emite un pulso acústico de gran potencia y corta duración (0,1mseg.), mediante un Boomer de diseño avanzado. Las señales acústicas se reciben mediante un grupo de hidrófonos ("streamer") que se remolca paralelo al emisor (Figura 33), y una vez amplificadas se registran digitalmente en formato "raw" para su procesado posterior. También se puede realizar un preprocesado en tiempo real para imprimirlo en un registrador y obtener perfiles del fondo. El sistema puede alcanzar penetraciones entre 75 y 100 m y una gran resolución, del orden de 50cm, lo que depende de la composición sedimentaria y del grado de apantallamiento que se produzca.

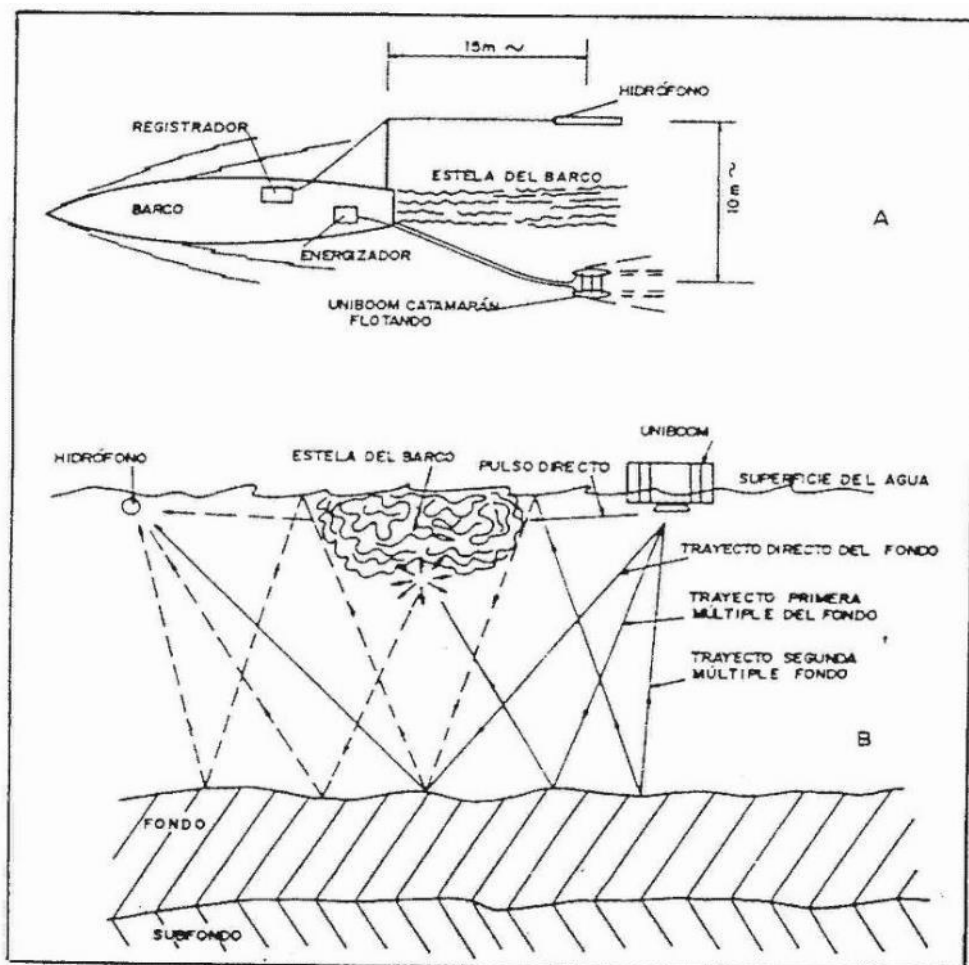


Figura 33. A. Esquema gráfico con la disposición de los subsistemas de un equipo sísmico de alta resolución y media penetración (Uniboom o Geopulse); B. Efecto pantalla producido por la estela de un buque (Rev. 1990)

El sistema que se ha utilizado en este estudio consta de:

- Fuente de energía (Modelo CSP300), que proporciona un corto impulso eléctrico de gran energía al emisor acústico (Figura 36).



Figura 34. Fuente de alimentación del emisor sísmico.

- Catamarán (Modelo CAT200) con emisor acústico Geoacoustics 5813B



Figura 35. Catamarán con emisor acústico

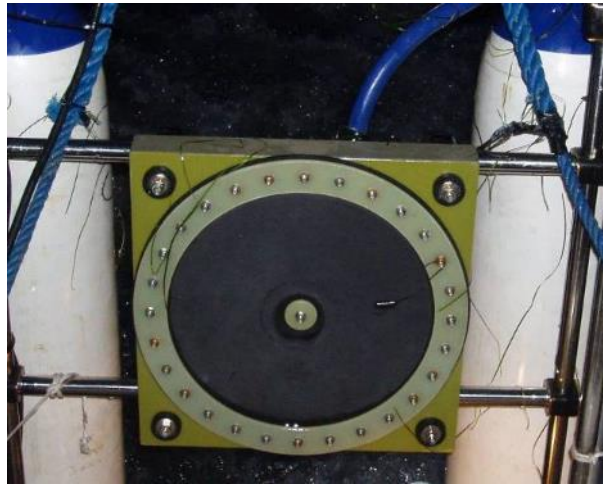


Figura 36. Boomer emisor acústico

- Hidrófono receptor (Modelo AAE-8) o “Streamer” (Figura 37). Subsistema compuesto por varios elementos pasivos denominados hidrófonos y un amplificador o previo, alojados en un elemento flexible de PVC y relleno de un líquido oleaginoso. La finalidad de este líquido es dotar a los hidrófonos de una flotabilidad positiva y crear un medio con una impedancia acústica similar a la del agua salada. La recepción de las ondas reflejadas en las distintas interfases del subsuelo se realiza por medio de los hidrófonos, que son unos elementos piezoeléctricos sensibles a las variaciones de presión en el agua. La señal recibida es filtrada por medio de un filtro de paso-banda, para seleccionar el intervalo de frecuencias con el que se desea trabajar.



Figura 37. Hidrófono receptor acústico o Streamer

- Procesador digital de señal (Octopus 360) con compensador electrónico de oleaje (Figura 38). Tiene las siguientes funciones; 1) Recibir la señal eléctrica del hidrófono, filtrarla y amplificarla y registrarla digitalmente en un disco duro; 2) Procesar la señal recibida para obtener un perfil sísmico a la escala de tiempo considerada en pantalla o en un registrador gráfico sobre papel térmico especial.



Figura 38 Procesadores de señal Octopus

Antes de iniciar los trabajos, se procede a revisar cuidadosamente el emisor, con el fin de obtener un pulso lo más estrecho posible y así mejorar la resolución de los registros.

#### *Receptor de 3.5Khz adaptado al Boomer*

Para mejorar la resolución vertical en los perfiles del sistema Geopulse se utiliza, aparte del hidrófono, un receptor especial centrado en la frecuencia de 3.5Khz, colocado sobre el propio catamarán que soporta el emisor acústico (Figura 39) y un segundo procesador digital Octopus 360, con las mismas características que el primero.





Figura 39. Receptor de 3.5KHz asociado al Geopulse

Esto mejora en gran medida la capacidad del sistema al aportar un mayor detalle de las estructuras sedimentarias, pues la emisión-recepción de la señal acústica se hace en vertical, en contraste con la recepción por streamer que es oblicua por colocarse emisor y receptor separados por la estela del barco. Al utilizar una frecuencia superior, para mejorar la resolución, la penetración con este sistema es inferior, pero al disponer simultáneamente de la doble recepción no hay pérdida de información, y, en conjunto, se obtiene una información sedimentológica muy superior.

Este conjunto se puede definir como un perfilador ORE de 3.5Khz al que se le han mejorado las características de penetración manteniendo la máxima resolución del sistema, debido a que se emite un solo pulso, y no un tren de ellos como se necesitaría en el sistema mencionado para alcanzar la misma penetración.



**Figura 40 Sistema remolcado trabajando en la zona**

## 7.1 Draga VanVeen

La draga VanVeen que se ha utilizado para la toma de muestras superficiales es un diseño propio de Tecmarin, de tamaño grande, construida completamente en acero inoxidable y con lastre con plomo.

Sus medidas y capacidad de recogida de muestra hacen que sea muy difícil manejarla a mano por una persona, por lo que se colocó un pescante eléctrico especial con adecuada capacidad de tracción y longitud de cable de acero anti-torsión para facilitar la maniobra sin riesgo para los técnicos.

Esta draga tiene una adecuada retención de finos por su sistema de cierre y permite la evacuación del agua que queda sobre el sedimento al clavar y cerrar con sendas válvulas que mantienen el interior aislado durante la subida.

Los sedimentos recogidos se vuelcan en una bandeja limpia de plástico desde la cual se seleccionan los sedimentos a envasar buscando la mayor representatividad. Los envases han etiquetado y numerado conforme al punto correspondiente a cada muestra para su identificación clara por el laboratorio.

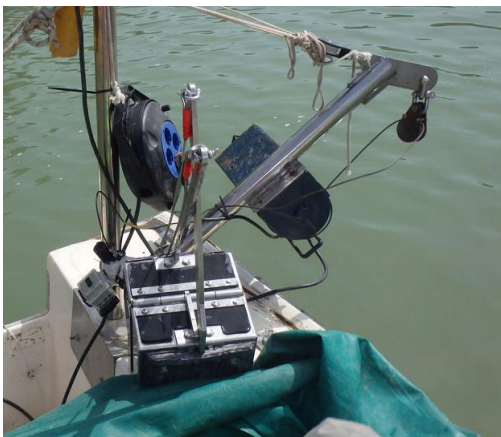


Figura 41 Draga VanVeen de gran capacidad

## 7.2 Embarcación empleada

Para la realización de este trabajo, se empleó una embarcación ligera que se transporta en remolque por carretera. Esta embarcación está preparada para la realización de este tipo de trabajos y cuenta con un soporte en el costado para el montaje rápido de la ecosonda multihaz.

Con el fin de evitar la propagación de especies invasoras y respetar la normativa fluvial de la CHE, la embarcación fue desinfectada en todas las ocasiones en centros homologados mediante el proceso establecido por la propia CHE. Los centros de desinfección que se usaron durante todos los trabajos fueron el de Mora la Nova y Servikayak en Guiamets, ambas estaciones de limpieza habilitadas por la CHE para estos trabajos.



Figure 1 Embarcación empleada en la zona de trabajo.

A bordo cuenta con espacio suficiente para la instalación de todos los equipos y para que puedan trabajar cómodamente tanto el patrón como el técnico encargado de los trabajos de adquisición.

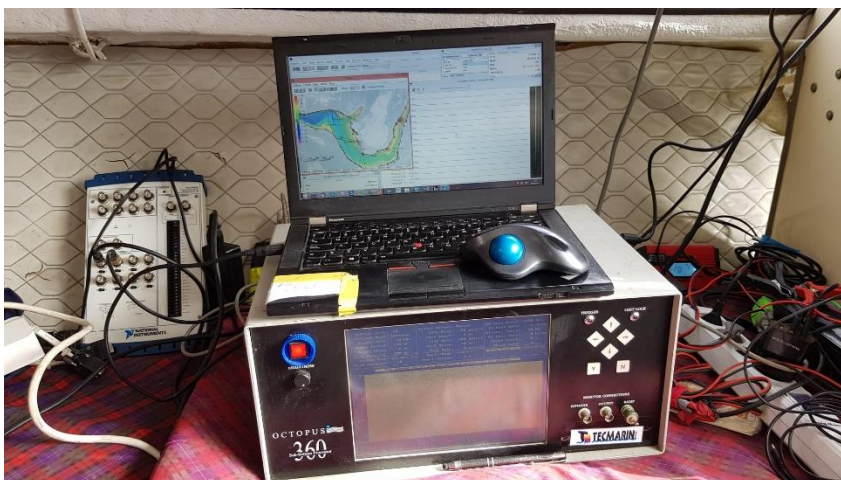


Figura 42 Instalación de equipos a bordo.

El patrón dispone de su pantalla independiente, con la que poder seguir las líneas planificadas y donde se incluyen datos importantes, como la profundidad bajo el nadir de la embarcación, velocidad de trabajo, cobertura, etc.

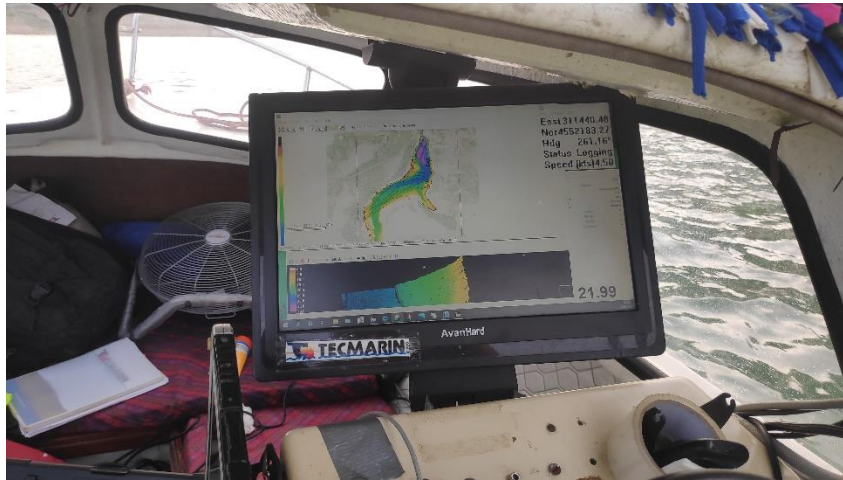


Figura 43 Pantalla del patrón

Esta misma embarcación es la que se ha empleado para el levantamiento batimétrico, sísmico y la toma de muestras.



## 8. Trabajo de Campo

El trabajo de campo para la toma de batimétricos y topográficos han sido realizado durante el día 31 de agosto de 2021, los trabajos geofísicos el 2 de septiembre y la toma de muestras el 2 y el 3 de septiembre.

En todo el estudio se han considerado horas UTC en todos los sistemas para tener una coordinación adecuada de todos los datos recogidos. Para ello se utiliza la hora precisa suministrada por el GPS para sincronizar el software de navegación y control de equipos.

### 8.1 Planificación y preparación

En los días previos se realizaron test de control y de mantenimiento de todos los equipos para asegurar al máximo la total operatividad de todos los sistemas. Además, se revisó la climatología observando las previsiones de la zona.

### 8.2 Referencia utilizada y comprobaciones

“En 1857, el IGN inicia la elaboración del Mapa Topográfico Nacional. La representación planimétrica del territorio nacional necesitaba de un sistema de referencia altimétrico, con un origen materializado con una altitud establecida sobre el que se apoyaría todas las altitudes nacionales.

Las condiciones del mar Mediterráneo en la bahía alicantina, la meteorología y la línea de ferrocarril Madrid-Alicante, en funcionamiento desde 1858 (las líneas férreas eran útiles para los itinerarios de nivelación), se ubicó en Alicante el origen de referencia fundamental de altitud.

NP1 es un disco de bronce que está situado en el primer peldaño de la entrada principal del Ayuntamiento de Alicante, que materializa este origen de altitudes.

El plano de referencia (altitud) quedará definido por el **Nivel Medio del Mar en Alicante (NMMA).**” Fuente IGN

**La referencia altimétrica empleada ha sido el NMMA** (Nivel Medio del Mar de Alicante) o cero IGN, que representa la referencia altimétrica

Desde julio de 1870 a febrero de 1874, se hicieron observaciones sobre una regla de mareas, situada sobre una señal metálica "Z", recibida en la berma de los cimientos y siempre por debajo del nivel del agua, en una escalera del muelle de Levante

del puerto Alicante. El promedio de dichas observaciones estableció el NMM respecto al cero del puerto.

Mediante nivelación de precisión se calculó el desnivel existente entre la señal Z y la NP1, cuya altitud se establecería en 3,4095 m.

Durante los trabajos se han realizado comprobaciones con los sistemas Hemisphere A325 y Emlid Reach RS2 funcionando en RTK con correcciones desde NTRIP (IGN y Catnet), tomando datos de la lámina de agua para referenciar el mareógrafo instalado, así como un control diario de las variaciones de la lámina de agua. Además se ha aplicado en el procesado un RTK Tide, que corrige las variaciones de la lámina de agua durante los trabajos basándose en la altura de la antena GPS. Se han realizado también distintas medidas en la coronación de la presa como ajuste y comprobación de los datos.

#### *Control de altura de la lámina de agua*

Dado que el nivel del agua varía, se ha registrado la altura y variaciones de la lámina de agua durante los trabajos. Por un lado se ha empleado un mareógrafo de presión, que consta de dos sensores. Uno de estos sensores mide la presión atmosférica en la zona y el otro se sumerge en el agua de modo que registra las variaciones de presión debido a la variación de la cota del agua. Estas medidas que se toman durante el periodo completo de trabajo, se traducen dando cota a la lámina de agua en diferentes momentos y con ello obteniendo las tablas de variación que se aplican a los datos batimétricos y LIDAR medidos en el software hidrográfico.

Además, mediante el software hidrográfico Hysweep se registra de modo continuo y con precisión centimétrica la posición de la antena GPS RTK situada en la parte superior del mástil. Al haber medido todos los offsets y ser la distancia Base Antena GPS – Lámina de agua un dato registrado, se ha aplicado el proceso denominado RTK Tide, mediante el cual la variación de altura de la lámina de agua es calculada y corregida en movimientos con el MRU, aplicando los resultados a los datos medidos.

Mediante el empleo de estas dos técnicas, se comprueba y se tiene redundancia de las variaciones de cota de la lámina de agua.

### 8.3 Levantamiento batimétrico y topográfico

Antes de comenzar con la toma de datos con una ecosonda multihaz, es necesario realizar una calibración del sistema completo con la que se determinan con

gran precisión pequeños giros y desplazamientos en el montaje de los equipos. Durante la toma de datos se aplican estas correcciones como control, pero es al procesar los datos cuando se evalúa todo con más detalle.

Con todo el sistema montado y estable en las condiciones normales de trabajo, y aplicada a cada equipo su posición relativa en el sistema (offsets) se realiza una calibración utilizando datos reales. Para ello se sigue un protocolo específico en el que **primero se toma un perfil de velocidad del sonido** que se aplica en los datos, y con recorridos sobre una zona que cumple las condiciones necesarias.

La zona elegida para la calibración ha sido una próxima a presa que presenta cambios bruscos de pendiente, zonas planas así como diferentes objetos en el fondo que permiten calibrar el sistema de forma adecuada.

Se han realizado diversos recorridos con las direcciones y velocidades adecuadas para la calibración de un sistema de este tipo.

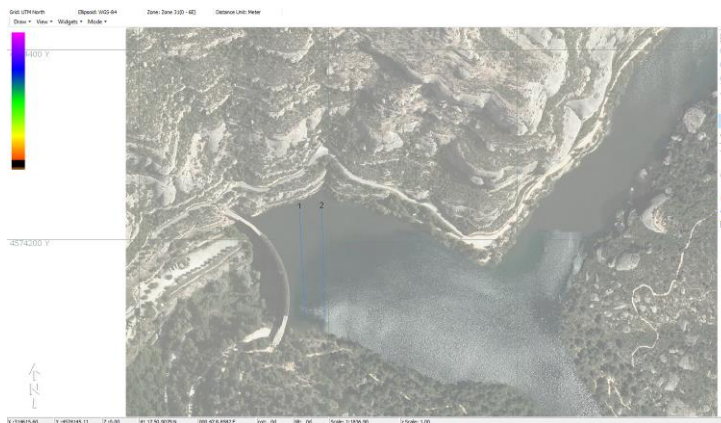


Figura 44 Líneas de calibración

Los datos obtenidos han permitido obtener los ajustes finales para los parámetros que se describen a continuación.

- **Latency (latencia):** Es el retardo que existe entre la posición actual del barco y el tiempo de recepción de los datos. En el caso de que exista y no se corrija provoca errores de posición de los datos. Se realiza la misma línea a diferentes velocidades.

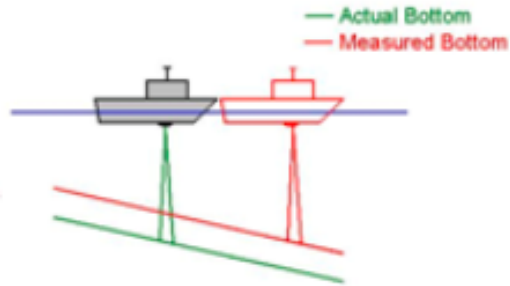


Figura 45 Representación del error de latencia.

- **Pitch (Cabeceo):** determina el error angular de montaje respecto a un eje transversal al barco. Se obtiene con una línea sobre una zona de fuerte pendiente y recorridos opuestos.

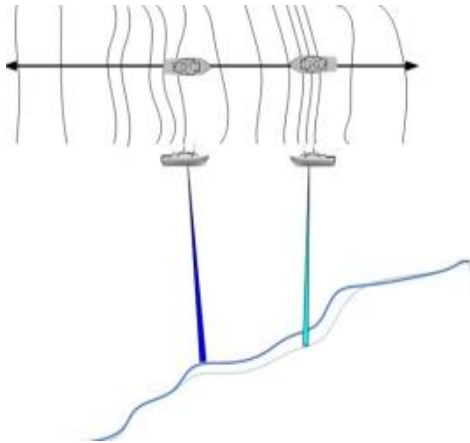


Figura 46 Imagen descriptiva del error de Pitch

- **Roll (Balanceo):** determina el error angular de montaje respecto a un eje en el sentido de avance del barco. Es un parámetro muy importante en toda la calibración. Previamente se aplica el ángulo aproximado. Se obtiene con una línea sobre zona plana y recorridos opuestos.

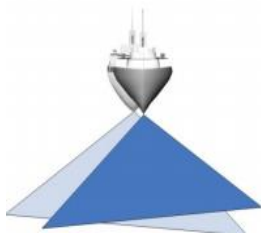


Figura 47 Imagen descriptiva del error de Roll.

- **Yaw (Orientación o Guiñada):** determina el error angular de montaje respecto al eje vertical. Se obtiene con recorridos por dos líneas paralelas con la separación necesaria para un solape adecuado y con un objeto definido entre ellas o fuerte pendiente.

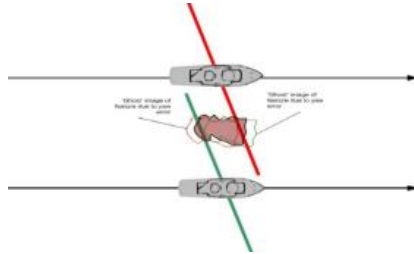


Figura 48. Imagen descriptiva del error de Yaw.

El proceso de obtención de estos parámetros se denomina “Patch Test”. Los valores obtenidos se aplican a todo el proyecto, mientras no haya cambios en el montaje, para corregir todos y cada uno de los datos registrados.

Los datos que se obtienen sin procesar, como resultado de la navegación de estas líneas, antes de la calibración realizada, no se correlacionan al no tener una instalación “ideal” en la que no existan pequeñas diferencias de ángulos entre los distintos equipos.

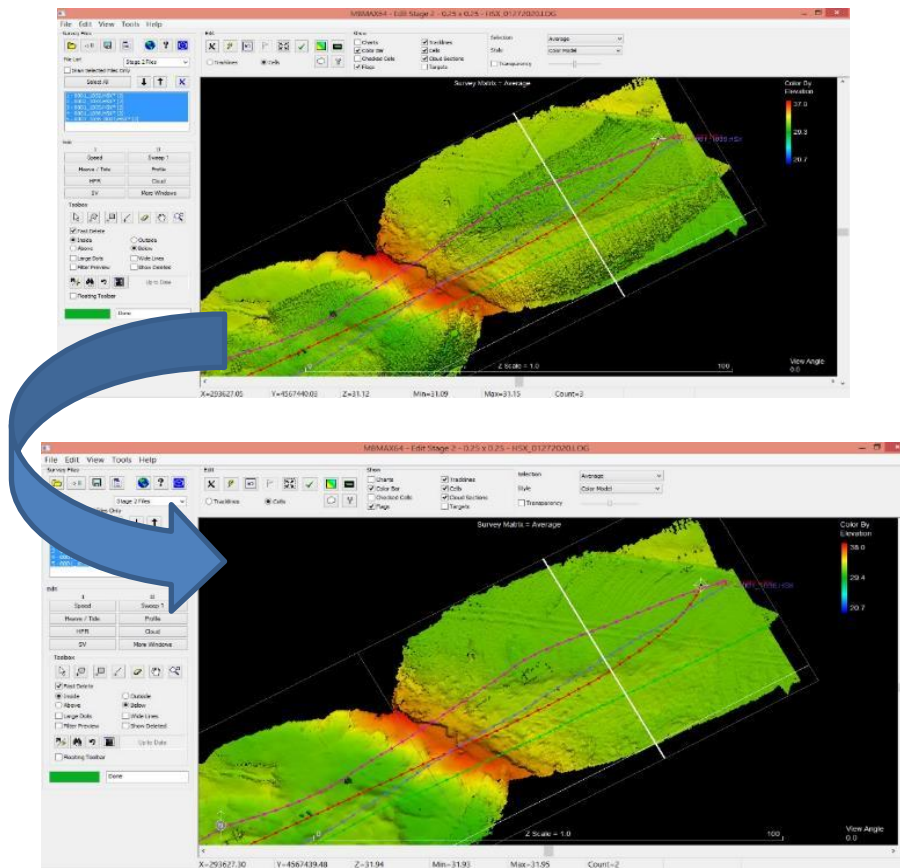


Figura 49 Comparativo antes de una calibración (arriba) y después de la calibración (debajo)



Dentro del proceso de calibración, se deben de filtrar los datos y realizar distintos cortes mediante el software hidrográfico.

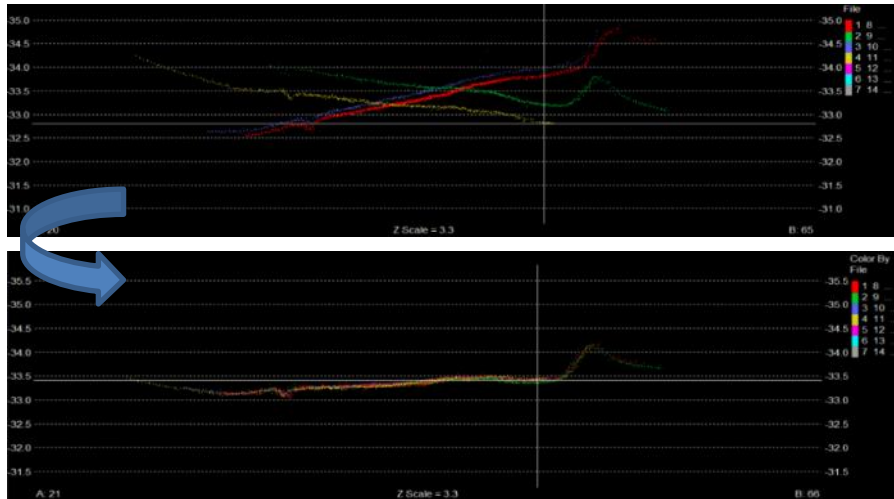


Figura 50 Resultante de corrección de Roll.

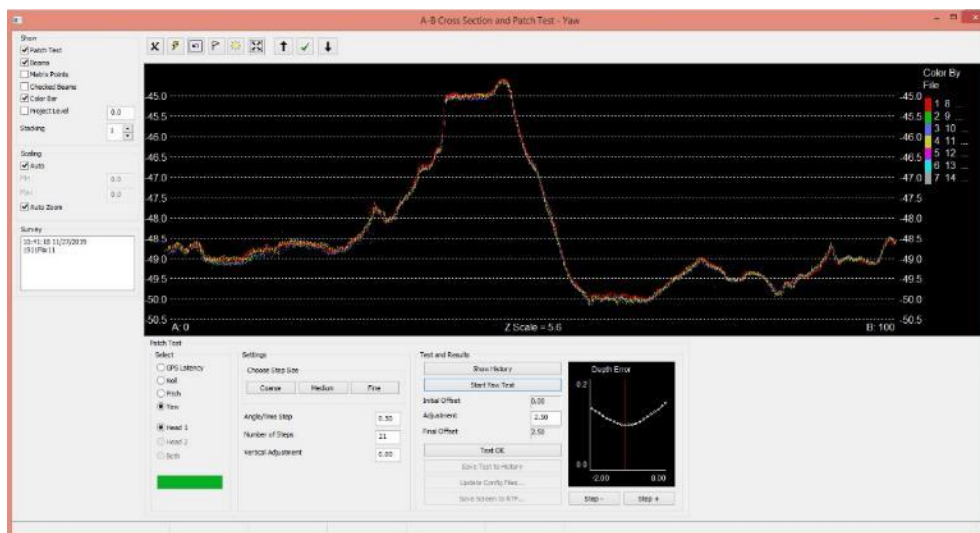


Figura 51 Resultante de corrección de Yaw y latencia.

Los parámetros de calibración obtenidos se introducen en la configuración y se comienza el levantamiento.

La calibración del escáner láser se realiza de una forma similar tomando datos sobre elementos con diferentes topologías de las orillas para integrarlo dentro del conjunto de sensores.



**Figura 52** Navegación realizada para el levantamiento batimétrico y topográfico

El primer paso que se realiza una vez instalados los equipos es comprobar las posiciones relativas de cada equipo (offsets) midiendo las distancias al punto de referencia. Estas medidas son introducidas y anotadas en el software de adquisición.

Los parámetros de calibración obtenidos se introducen en la configuración y se comienza el levantamiento.

## 8.4 Levantamiento geofísico

El levantamiento geofísico se realizó al día siguiente, 2 de septiembre, montando y preparando todos los equipos a bordo a primera hora y comenzando a trabajar con todo montado y una vez comprobadas las conexiones y la calidad de las señales recibidas.



**Figura 53 Sistema de adquisición y navegación durante el levantamiento sísmico.**

Antes de comenzar el trabajo, se ajustan todos los equipos para adecuar la señal y evitar interferencias tanto eléctricas como acústicas (filtrados para ruido de motor, etc). También se navega en la zona para buscar la configuración más adecuada de los diferentes sistemas para que aporten la mejor información de los niveles sedimentarios del fondo.



**Figura 54 Navegación realizada para el levantamiento geofísico.**

Se realizó una navegación siguiendo líneas planificadas previamente en función del estado de la situación del embalse en el momento de realización de los trabajos. En



este caso, debido a lo estrecho del embalse, se realizó una serie de líneas siguiendo el centro eje y luego se completó realizando líneas transversales a las primeras.



Figura 55 Equipo geofísico instalado en el barco

En total se han recorrido unos 10.72 km de perfiles sísmicos durante los trabajos de adquisición de datos geofísicos, que fueron obtenidos de forma simultánea con los dos equipos sísmicos anteriormente descritos.

La disposición del proyecto de líneas de exploración se plantearon conformando una malla en lo posible, donde los perfiles sísmicos se proyectaron de forma paralela y perpendicular entre sí, cubriendo un área total de unas 9.48 Has. En el Figura 54 se muestran las líneas de navegación realizadas así como los fixes que conforman cada una de las líneas de navegación. En este sentido, indicar que se trata de los datos reales de navegación, sobre los que se les realiza un filtrado para subsanar posibles datos erróneos a causa de saltos puntuales de la posición GPS durante la adquisición de los datos.

El sistema emisor se ha colocado a estribor, en el mismo catamarán que soporta el receptor de 3.5Khz., con un offset de 8 metros a popa de la antena de GPS y a unos 1.5 metros del centro del barco para que navegara en aguas no afectadas por la estela del barco. El hidrófono (streamer) receptor de la señal de banda ancha se ha remolcado con un offset a popa de la antena de GPSD también de 8 metros y apartado unos 2 metros del centro del barco para evitar también los ruidos y reducción de señal que pudiera introducir la estela del barco.

La cadencia de disparo ha sido de 2.5pps (400mseg) y la potencia de 200J, para garantizar al máximo la penetración del sistema recogiendo la mayor cantidad de información posible. Para ello se ha navegado a una velocidad inferior a 3 nudos.

La recogida de los datos sísmicos se ha hecho de forma simultánea en dos procesadores digitales que en tiempo real almacenan la señal en formato bruto, uno dedicado a la señal de banda ancha del Geopulse y otro, asociado al programa de

navegación, que ha registrado la del receptor de 3.5kHz. Ambos sistemas permiten en tiempo real visualizar las señales procesadas.

Tanto con la señal bruta como con la procesada se ha llevado a cabo en todo momento un control de calidad de los datos, y el ajuste de los sistemas se ha controlado para tener una señal equilibrada y libre de ruido que facilite la interpretación.

Al ser un equipo remolcado se ha generado en el sistema de navegación un mensaje NMEA específico para determinar las coordenadas del sistema en función del cable largado. Este mensaje se ha aplicado continuamente a todos los datos grabados por los procesadores digitales para su correcta georreferenciación y para su posterior interpretación digital.



Figura 56 Toma de datos sísmicos en la zona.

## 8.5 Toma de muestras

Para el análisis de estos materiales sedimentarios más modernos se utilizó una draga Van Veen transportada en una embarcación. Las muestras se obtuvieron de diferentes puntos del embalse para tener un registro general y significativo de cada zona.



Figura 5. Draga Van Veen





Figura 6. Batimetría del embalse con los puntos de muestreo de fondo.

Se trata principalmente de sedimentos finos que transporta el río en suspensión, y arenas y gravas que son movilizadas como carga de fondo y que necesitan una mayor energía.

Las muestras recuperadas con contenido en arenas y gravas se localizan en la parte superior del embalse, aumentando el tamaño de grano cuanto más nos acercamos a la cola del embalse.

Predominan los limos y arcillas con alto contenido en materia orgánica en descomposición, principalmente restos de plantas. En algunas de las muestras obtenidas se aprecia una alternancia en estos materiales, que puede ser debido a ciclos anuales o eventos puntuales como tormentas o episodios de sequía. También se observa en alguna muestra gusanos y otros organismos que viven en el sedimento.

Las fichas de campo se adjuntan en el Anejo 13.2 Fichas de muestras tomadas en campo.

## 9. Procesado de datos

A continuación pasamos a describir de forma sistemática, los pasos que se han llevado a cabo para el procesado de los datos batimétricos.

### 9.1 Procesado de los datos batimétricos

Tras ser recogidos en campo y realizadas las correspondientes copias de seguridad de todo el material obtenido, se procesan los datos de los distintos equipos siempre manteniendo una copia íntegra de los datos originales.

En gabinete se realizan distintas tareas como son:

- Análisis de los datos. Detección y solución de los posibles problemas.
- Re-calibración del sistema con todos los datos tomados en el levantamiento.
- Limpieza y procesado de los datos de la ecosonda Multihaz.
- Preparación de productos finales.
- Creación de planos y recopilación de datos
- Elaboración de informe

El procesado de los datos recogidos con la ecosonda Multihaz consta de varias partes, como son la aplicación de altura de lámina de agua (o marea en el caso de que la hubiese), los perfiles de velocidad, la re-calibración del sistema, filtrado automático, filtrado manual y generación de productos finales. Esos productos pueden ser ficheros de puntos XYZ filtrados y corregidos, MDT (Modelo Digital de Terreno), curvados, etc.

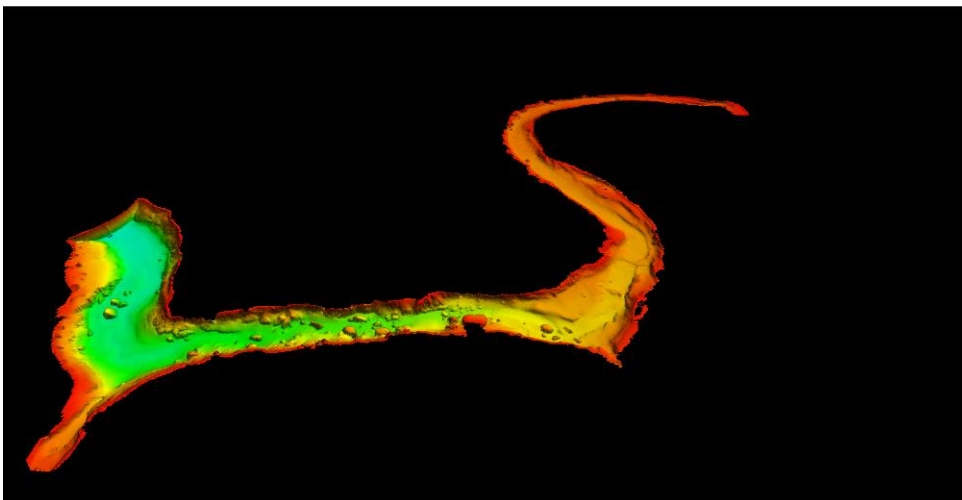


Figura 57 Datos batimétricos XYZ en vista 3D GRID

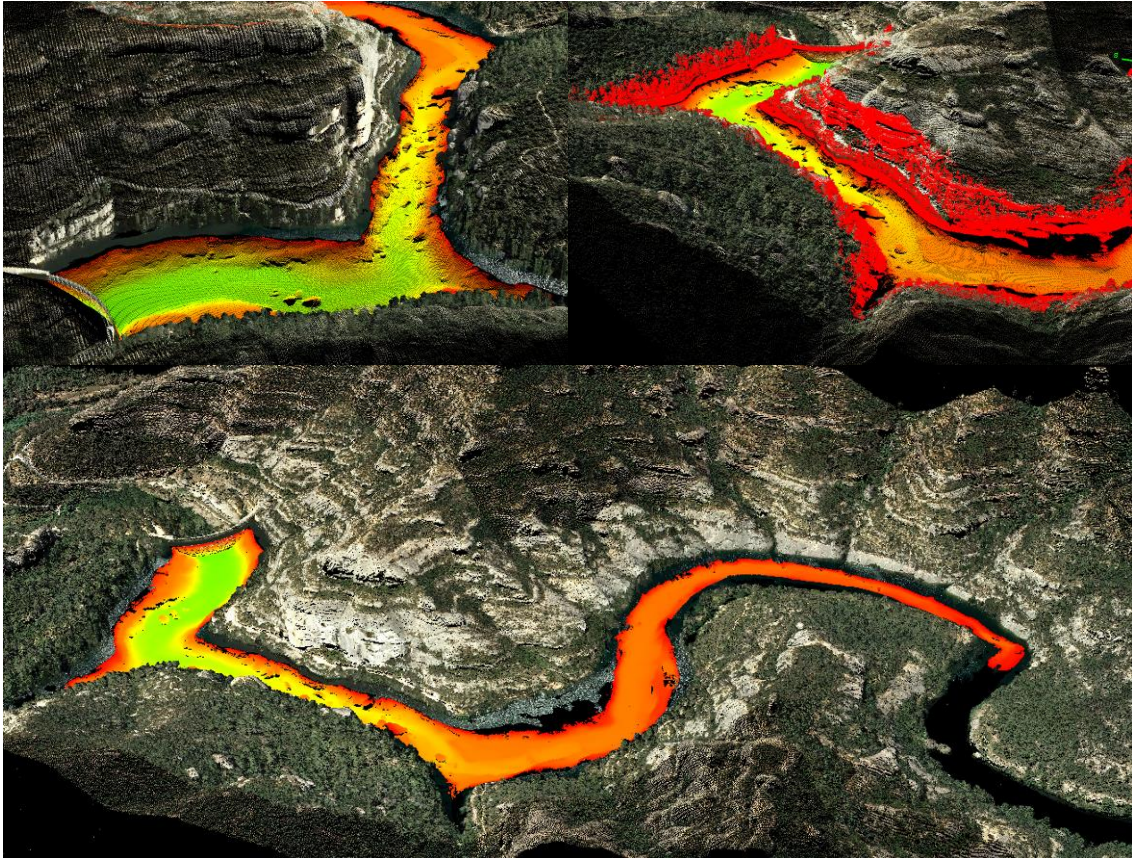


Figura 58 Detalles de la zona estudiada en formato de nube de puntos

### ***Aplicación de los Perfiles de Velocidad***

Durante el levantamiento se han tomado varios perfiles de velocidad del sonido en la columna de agua, en diferentes puntos antes de hacer la calibración y durante la toma de datos.

Para ello con la embarcación parada se baja un sensor especial que mide y registra la velocidad instantánea de propagación del sonido en el agua de forma directa y la asocia al dato de profundidad en el punto donde se toma la medida con una cadencia que se establece por tiempo o distancia.

Al subirlo se chequean los datos recogidos con un terminal propio para comprobar que son válidos, tras lo cual se transfieren a un ordenador para su registro. El fichero generado se transforma a un formato compatible con el programa de adquisición y navegación y se aplica a los datos.

Las variaciones más superficiales son producidas principalmente por cambios en la radiación solar, viento y oleaje, se miden y corrigen en continuo con el sensor adosado al transductor. Estos datos se aplican al perfil de sonido aplicado y se utilizan para generar los haces acústicos en las direcciones correctas.



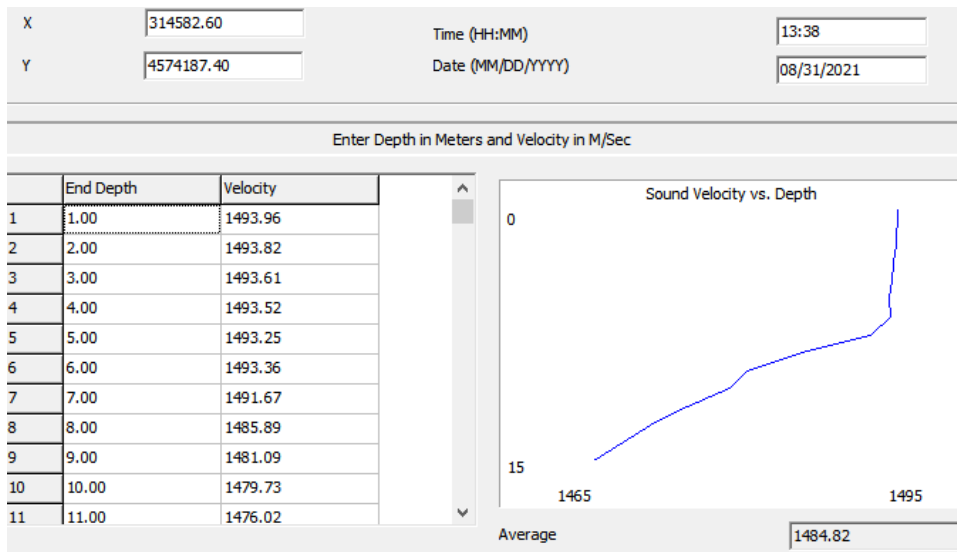


Figura 59. Perfiles de velocidad del sonido en la columna de agua tomados en la campaña

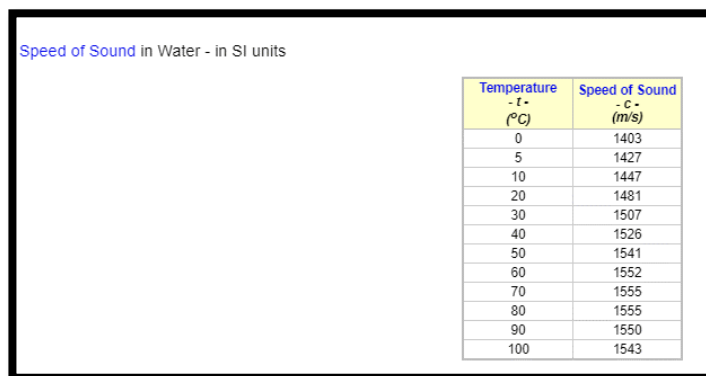


Figura 60 Variaciones estimadas de la velocidad del sonido en el agua, según las variaciones de la temperatura.

### Calibración del Sistema Multihaz

La primera calibración del sistema se realiza en campo y tras aplicar la configuración espacial de todo el sistema (offsets), tomando datos en la zona y siguiendo un protocolo específico. Esos datos se procesan completos y con un programa asociado al de adquisición, denominado Patch Test, se obtienen las diferencias angulares de montaje.

Durante el procesado de los datos se revisa con mayor cuidado esta calibración por tener la corrección de altura de lámina de agua y mucha más información y cruces de líneas para comprobar y corregir los resultados obtenidos en campo.

Si el sistema se mantiene estable manteniendo las posiciones relativas entre cada elemento, como es el caso de montar todo sobre una estructura sólida, lo normal es que estos valores se apliquen a todos los datos obtenidos.

En caso de que se aprecie alguna falta de corrección se ha de analizar primero la causa, pues puede ser debido a aplicar un perfil de velocidad de propagación del sonido inadecuado, algún error en la tabla de alturas de lámina de agua, en algún cambio geométrico del conjunto no detectado en campo o un cambio en el sincronismo de los datos.

Detectada la causa se aplica la solución adecuada comprobando en zonas con solape los resultados, ya que el software de procesado permite realizar una calibración usando todos los datos tomados durante los trabajos.

### ***Filtrado de los Datos***

En el procesado de datos batimétricos existen otros factores que influyen en la calidad de los datos, y la necesidad de aplicar filtrado, como pueden ser:

- La presencia de cardúmenes de peces, que presentan ecos que aparecen en la columna de agua a una distancia variable del fondo y diferentes formas.
- La presencia obstáculos, cabos de boyas, etc.
- La vegetación u otros elementos antrópicos que pueden estar sobre el fondo.
- La presencia de emanaciones de gas o sedimentos en suspensión.

Hechas las consideraciones anteriores primero se realiza un filtrado de datos automático a bajo nivel para quitar parte del ruido y haces perdidos. Ejemplo de este tipo de filtros son los de calidad de la medida de la ecosonda o límites de profundidad adecuados a la zona. También se pueden aplicar filtros para eliminar picos, pero con una alta tolerancia para evitar la eliminación de datos buenos.

Tras el filtrado automático se realiza un filtrado manual con más detalle aplicándolo a puntos sueltos u otros elementos pegados al fondo que distorsionan los datos.

El programa en ningún caso elimina datos, sino que los marca y oculta como descartados, pudiendo ser recuperados en cualquier momento si se reconsidera su validez.

### ***Representación de los datos***

Tras los distintos pasos de procesado de batimetría multihaz se obtiene uno o varios ficheros en formatos propios del programa y se exportan también en formato



estándar XYZ en los que las coordenadas son absolutas y las profundidades son corregidas con los diferentes parámetros tomados en la zona.

Con el fichero XYZ completo y otro software específico de procesado de datos tridimensionales se revisa con detalle todo el conjunto y se exporta en formato GRID con la resolución que necesitemos.

En estos ficheros GRID los datos están equidistantes y el valor en cada nodo se determina por los datos próximos según el método de cálculo utilizado, que en este caso ha sido por promediado (average). Luego se utilizan para generar los planos de isobatas y otros productos. La resolución de datos se ajusta según los fines a que se apliquen y las capacidades de procesado de los programas.

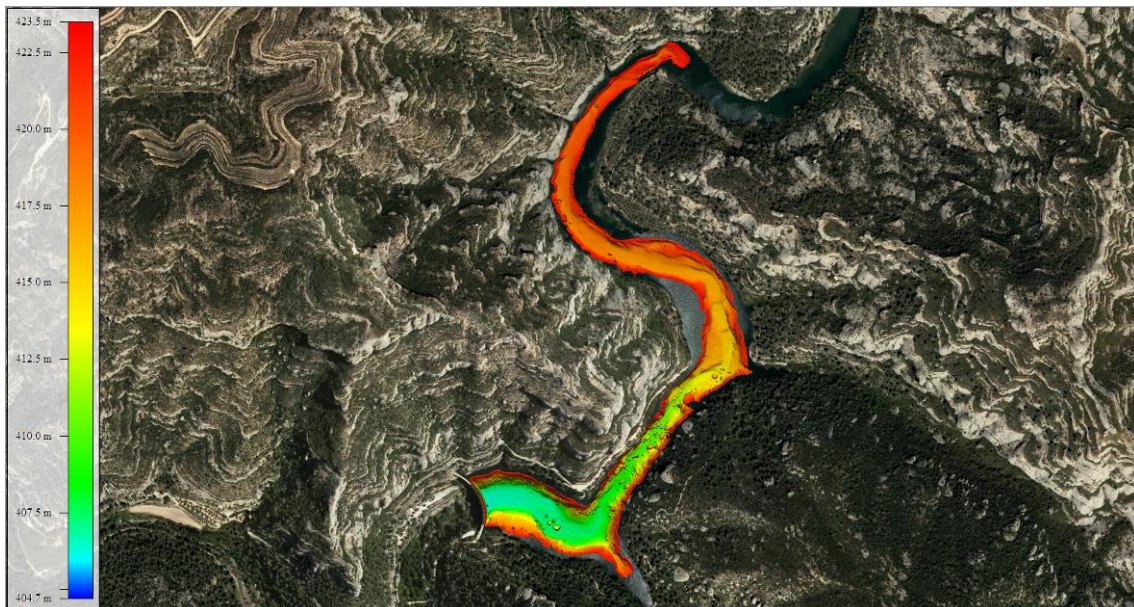


Figura 61 MDT completo del embalse de Margalef integrado en la ortofoto

## 9.2 Procesado e interpretación de los datos geofísicos

A continuación, pasamos a describir de forma sistemática los pasos que se han llevado a cabo para el procesado de los datos sísmicos.

### *Procesado.*

El procesado e interpretación de los registros de Geopulse y del receptor 3.5 kHz se ha realizado mediante el programa Geo-Suite Allworks, de la marca Geo-Marine Survey Systems. Aunque se han procesado todos los registros de Geopulse y de 3.5

kHz, la interpretación se ha basado principalmente en el 3.5 gHz, que ofreció una magnífica resolución en los metros más superficiales, apoyándose también en los registros de Geopulse.

El procesado aplicado a los registros brutos de campo ha sido el siguiente:

- a) Con objeto de eliminar en lo posible ruidos aleatorios, reverberaciones, etc, a los registros sísmicos se les ha aplicado un filtro Paso Banda con corte de frecuencias de 500/1000 y 3700 Hz.

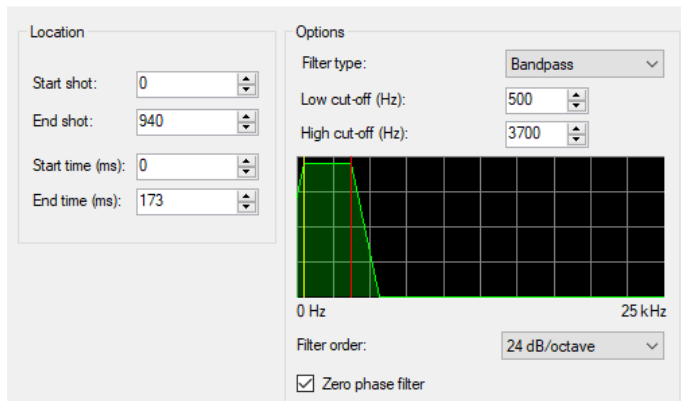


Figura 62. Filtro Paso Banda

- b) Con objeto de aumentar la calidad de la señal se ha aplicado a los registros una ganancia del tipo AGC (Automatic Gain Control) de tipo decremental, con una ventana de aplicación de 5 ms, un 20 % de incremento y un valor de recuperación de amplitudes por divergencia esférica del 8% con una aplicación de 4 dB.

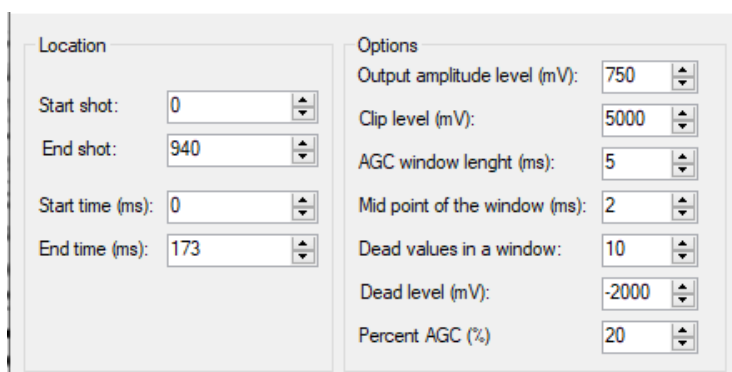


Figura 63. Filtro AGC (Auto Gain Control)

- c) Con objeto de aumentar el “carácter sísmico” de la señal se realizó una ecualización de la señal a lo largo el tiempo.



d) Con objeto de aumentar la calidad de la señal se ha aplicado a los registros una ganancia del tipo TVG con valores comprendidos entre 5 y 11 dB a lo largo de la longitud del registro. Este procesado ha permitido obtener registros como el que se muestran en la Figura 64 y la Figura 65, que corresponden a las líneas 0007\_1149 y 006\_1008 respectivamente. En ellas se pueden comparar las líneas registradas en bruto con esas mismas líneas una vez aplicado el procesado.

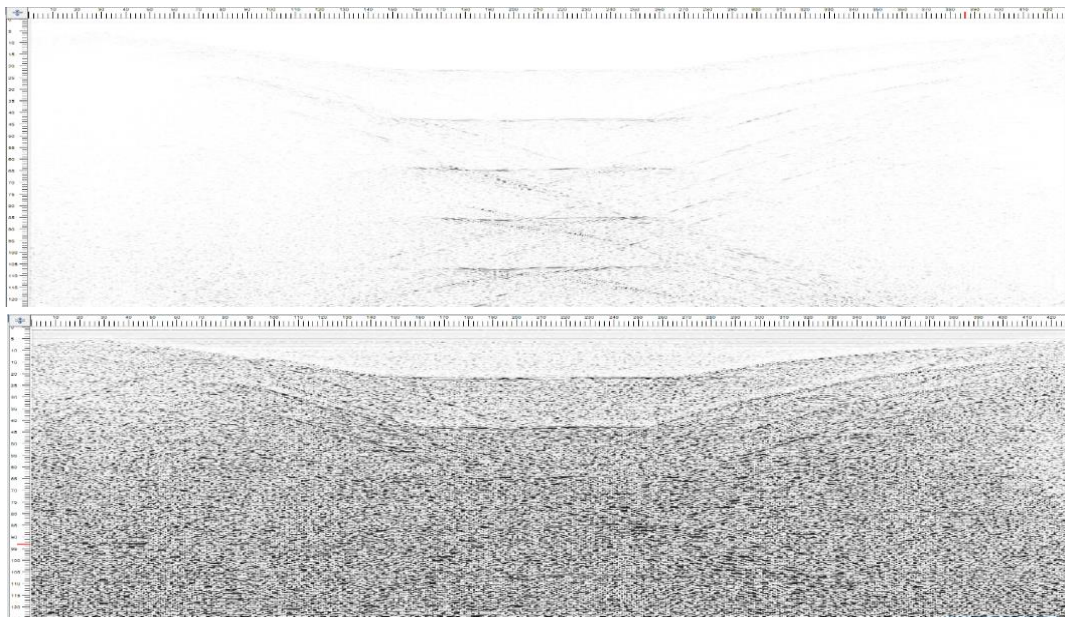


Figura 64. Registro de la línea 0007\_1149 en bruto (imagen superior) y procesado (imagen inferior).

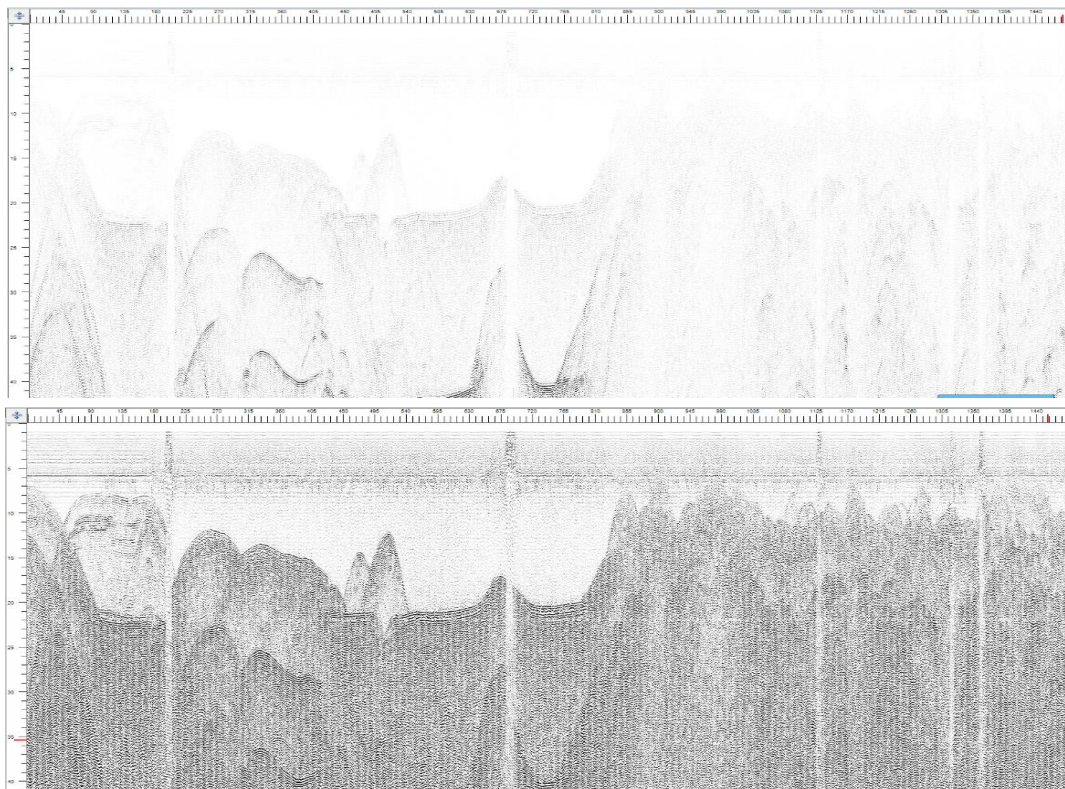


Figura 65. Registro de la línea 0006\_1008 en bruto (imagen superior) y procesado (imagen inferior).



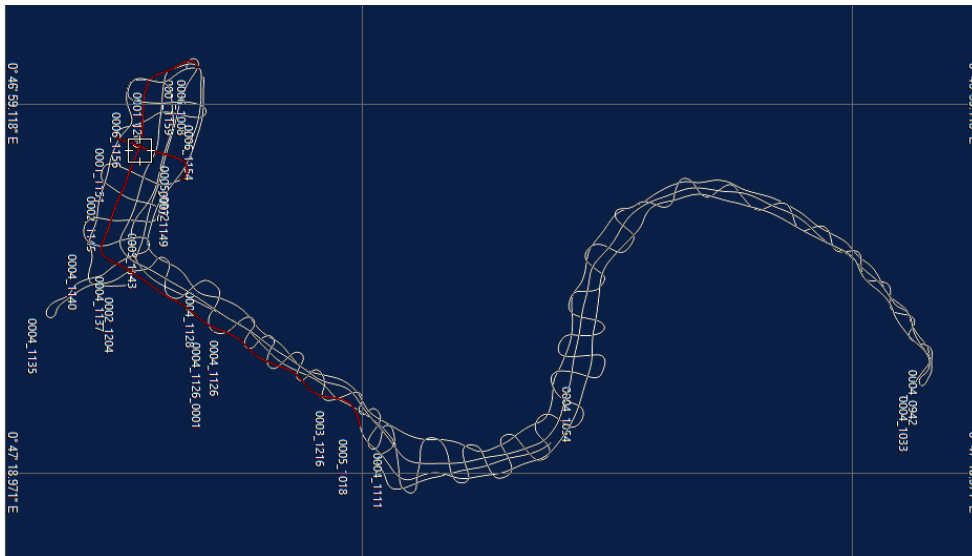


Figura 66. Situación de las líneas 0007\_1149 y 0006\_1008.

En la Figura 66 se aprecia la posición de las dos líneas puestas como ejemplo con respecto a la situación general del resto de líneas del proyecto.

En la Figura 67 se observa una misma línea registrada con el receptor 3.5 kHz y con el Geopulse. Los registros obtenidos con ambos sistemas se han utilizado en la interpretación para la definición de horizontes sísmicos de reflexión.

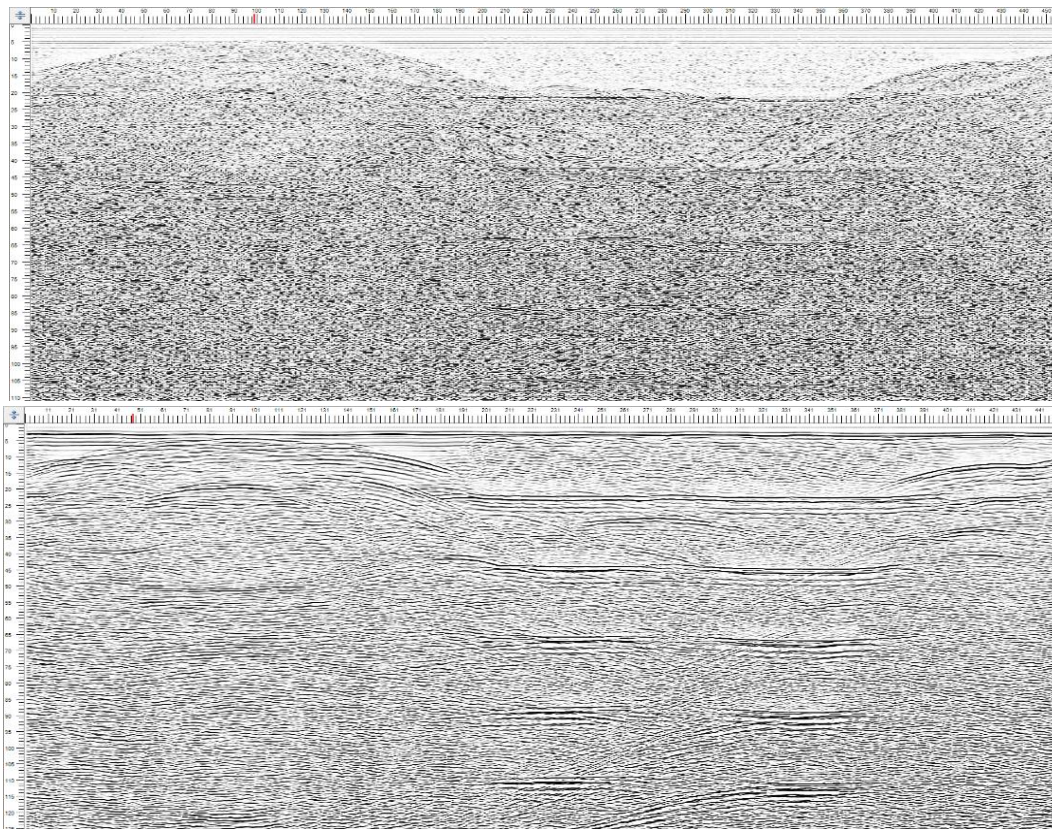


Figura 67. Registro de la línea 0002\_1 con el 3.5 kHz (imagen superior) y el Geopulse (imagen inferior).

## Interpretación y resultados de los perfiles geofísicos.

### Caracterización de fondos del área de estudio.

A partir de los perfiles obtenidos con el receptor 3.5 y con Geopulse se ha intentado caracterizar, de forma general, la superficie del fondo del embalse. Posteriormente se ha procedido a caracterizar los materiales que se han podido diferenciar. Para ello se ha utilizado, de forma especial, la intensidad de la respuesta acústica de las unidades sísmicas superficiales; dicha respuesta sísmica nos informa, indirectamente, de la naturaleza y textura del material que lo compone. Junto con esta propiedad, otros criterios que se utilizan en el proceso de interpretación son la configuración del reflector superficial, la presencia y disposición de reflectores internos identificados dentro de cada unidad diferenciada, etc.

A partir de estos criterios de actuación, del estudio de la geología de la zona, del análisis de las muestras obtenidas in situ y de la interpretación de los registros sísmicos obtenidos con el Geopulse y el receptor alternativo 3.5, se ha diferenciado una sismofacie sísmica y un basamento o zócalo acústico, como puede observarse en la Figura 68. En esta atribución de sismofacies sísmicas / capas geológicas se han utilizado criterios puramente geofísicos, asignando la naturaleza geológica de las sismofacies a partir del “carácter sísmico” que presentan las mismas en los registros obtenidos.

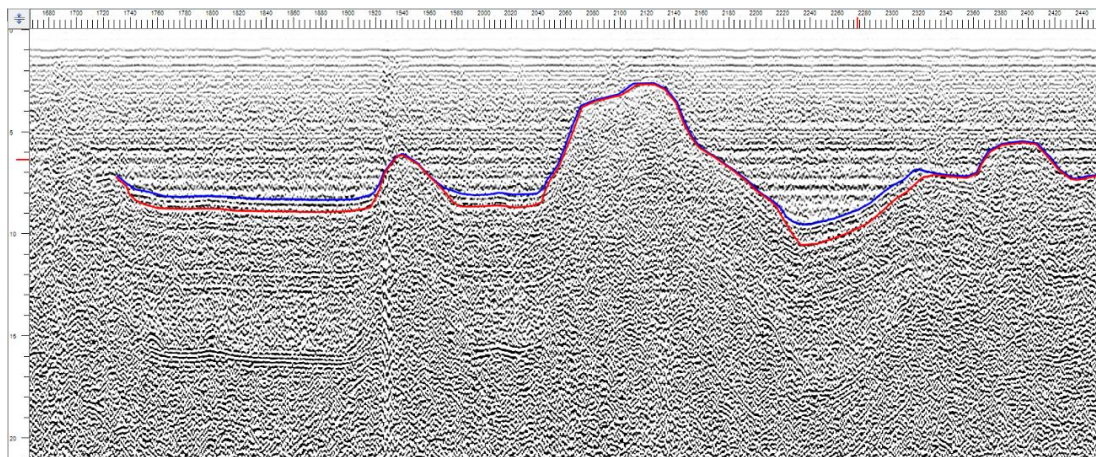


Figura 68. Registro de la línea 0004\_0942, obtenido con el 3.5kHz, donde se diferencian las distintas capas que se han definido.

Se estima que los materiales que conforman el fondo del embalse, bajo el área estudiada, podrían estar constituidos por:



A) Una *primera interfase sísmica* constituida por lo que denominaremos, en adelante, capa de sedimentos. El techo de esta primera capa de sedimentos (que constituye el fondo del embalse) se ha señalado con una línea de color azul, mientras que su base se ha representado con una línea de color roja.

En la Figura 69, correspondiente a la línea 0006\_1008, se muestra un ejemplo claro de un registro sísmico donde se observan las reflexiones que se han considerado que constituyen y definen esta primera capa.

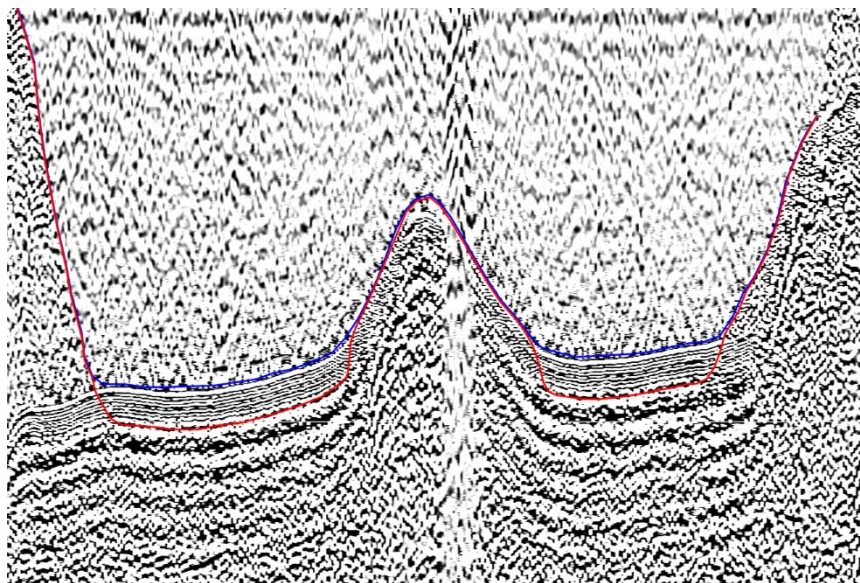


Figura 69. Ejemplo de la línea 000\_1008

Como podemos observar en el registro obtenido con el 3.5 kHz, la reflexión dibujada en azul oscuro define claramente la posición del fondo del embalse. La base de esta primera capa, señalada con una reflexión dibujada en color rojo, definiría el muro de la misma. Las reflexiones internas que conforman esta capa son claramente diferenciables y se caracterizan por su gran amplitud y continuidad, y por una geometría plano-paralela en la zona llana del fondo del embalse. En las zonas de ladera se mantiene la amplitud de la reflexión y se combinan las reflexiones plano-paralelas con otras que presentan una ligera disposición entrecruzada.

Este conjunto de reflexiones son las que se ha considerado que definen los sedimentos no consolidados del embalse y que deben coincidir con fangos de fondo (lodos, limos, arcillas y arenas de grano fino-medio). Dependiendo de la zona del embalse, esta primera capa también puede tener un mayor contenido

en gravas, derrubios de ladera, etc., en las zonas donde las reflexiones presentan una disposición entrecruzada.

- B) Finalmente se detecta un *basamento o zócalo acústico* que debe corresponder con los materiales de base descritos anteriormente en la geología de la zona (conglomerados cementados del triásico). El techo de este basamento, lógicamente, se ha coloreado en rojo ya que coincide con el muro de la capa de sedimentos.

Las reflexiones que constituyen este basamento están caracterizadas por una amplitud bastante intensa, son de aspecto caótico (propio de una roca), presenta un cierto grado de discontinuidad y alta frecuencia. Asimismo, se observan en ciertos tramos que las reflexiones internas del basamento en la parte superior de éste aparecen mejor definidas que en el resto del basamento. Esto indicaría que la roca en esta zona está más alterada en comparación con el resto donde el carácter sísmico es más caótico, dando una idea de roca más sana y homogénea. Estos aspectos se muestran en la Figura 70, que corresponde a la línea 0006\_1008.

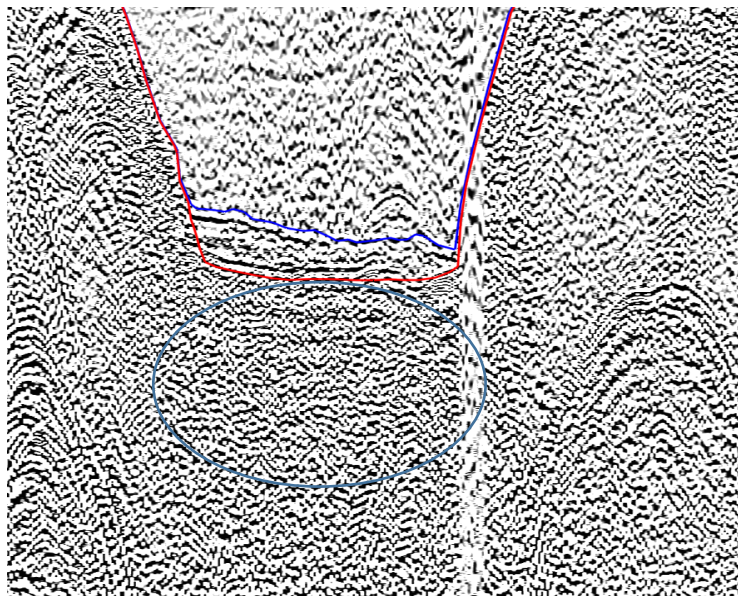


Figura 70 Línea 0006\_1008

### Descripción de los mapas de isopacas de sedimentos.

Para obtener el espesor de estos sedimentos no consolidados se ha utilizado, para realizar la transformación de las isocronas a isobatas, una velocidad de 1575 m/s para la capa de sedimentos. Bajo el área estudiada, el espesor de sedimentos no consolidados varía entre valores extremos de 0.1 y 1.3 metros, como puede observarse en la Figura 60.

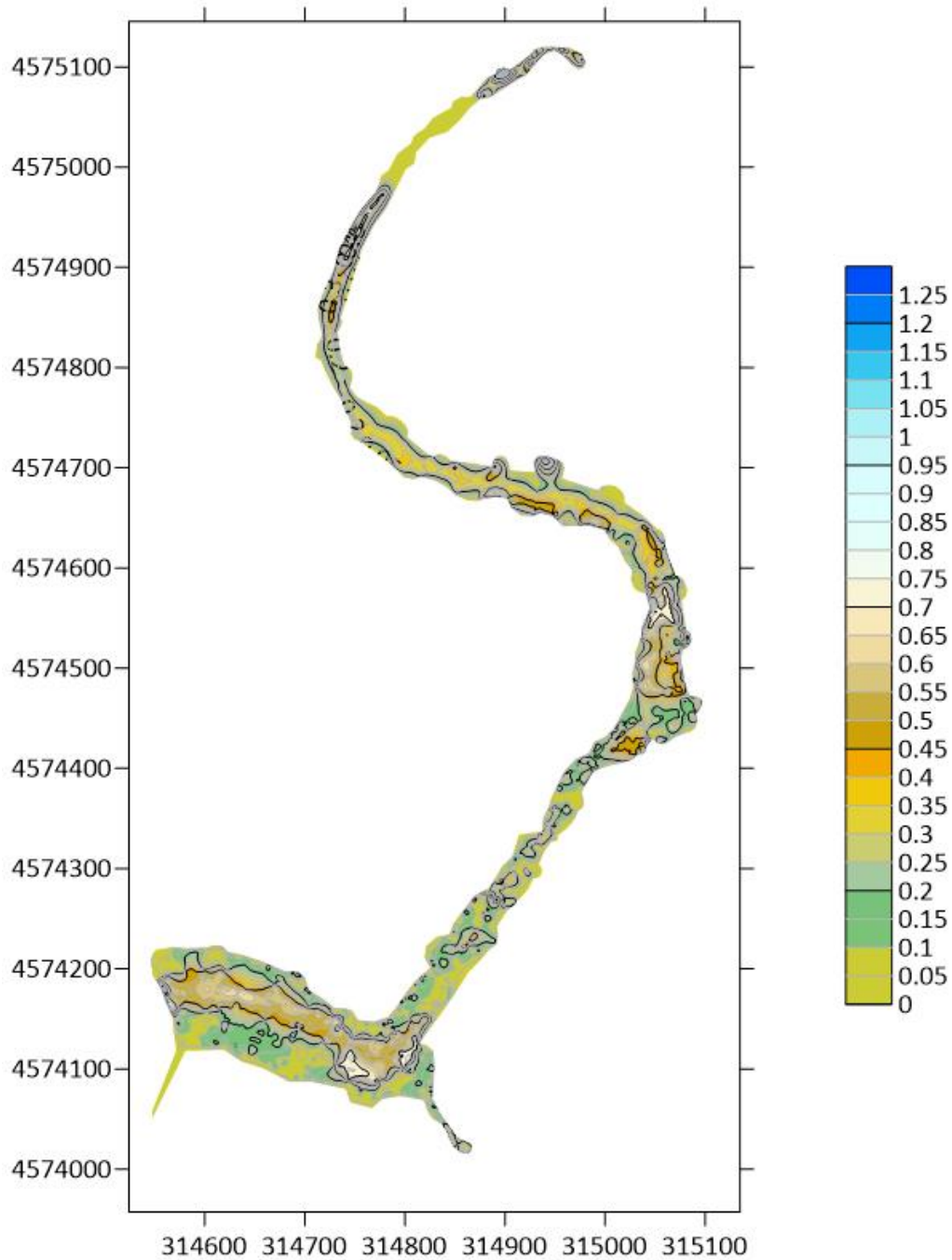
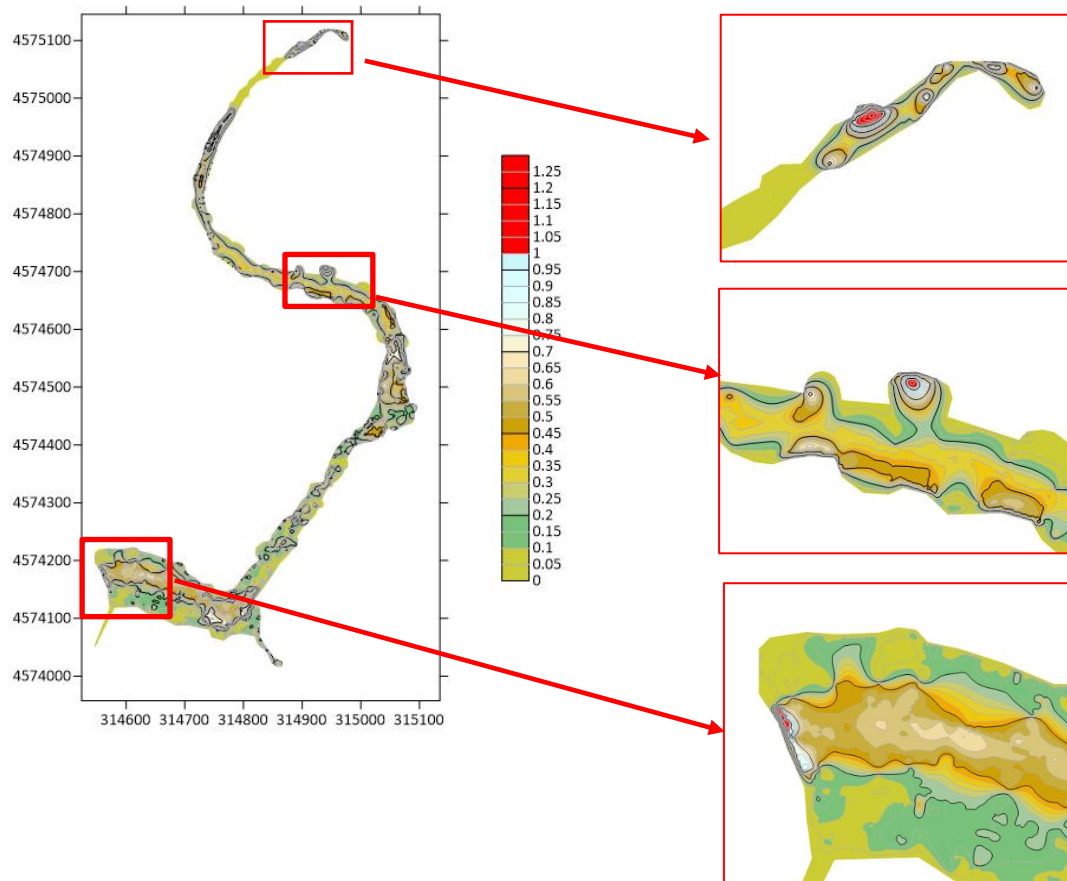


Figura 71. Mapa de isopacas obtenido con velocidades de 1575 m/s para la capa de sedimentos.

Como queda reflejado en la Figura 61, la mayor parte del embalse presenta un espesor de sedimentos inferior a 1 metro, estando muy localizadas las zonas con mayor espesor.



**Figura 72. Zonas con espesor de sedimento mayor de 1 metro**

Existen un par de zonas dentro del embalse que han sido identificadas con espesor de sedimentos igual a 0, donde la calidad de los registros ha sido insuficiente debido a las condiciones del entorno, ya que son zonas muy estrechas y encajadas, con muy poca lámina de agua y en las que los datos obtenidos en el entorno hacen presuponer espesores de sedimentos muy bajos o inexistentes. Estas zonas quedan identificadas en la Figura 62.

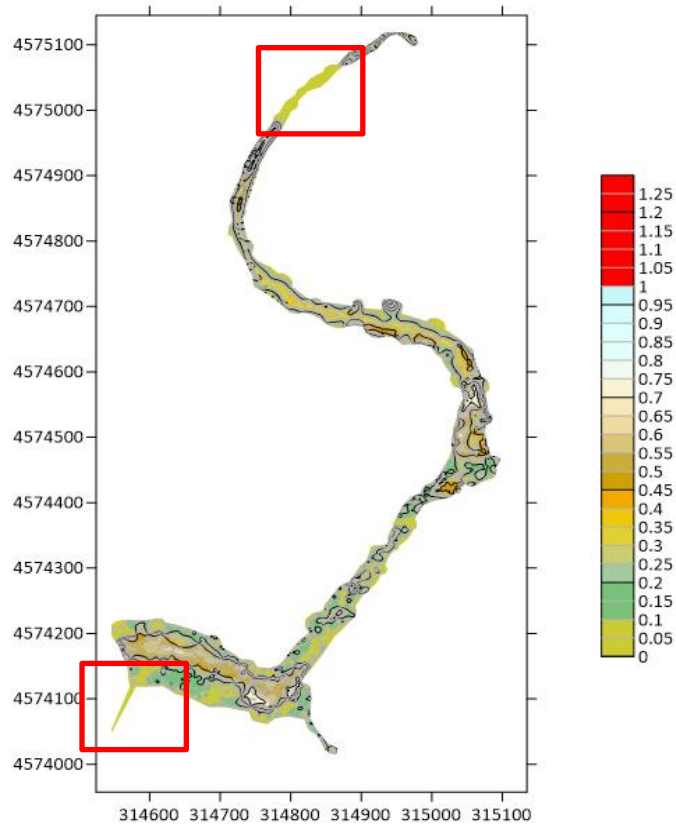


Figura 73. Zonas anómalas con espesor de sedimentos 0 metros.

Llama la atención la gran cantidad de bloques caídos de las laderas del pantano que han sido localizados en el fondo del embalse.



### 9.3 Análisis en laboratorio de las muestras

Una vez tomada cada muestra se etiqueta de forma unívoca para que tenga una cadena de custodia correcta tanto en su transporte al laboratorio como dentro del mismo y queden asociados los diferentes análisis a la muestra correspondiente.

Aunque sólo se planteaba un análisis granulométrico simple en la licitación, se han realizado dos tipos de análisis granulométricos por dos métodos distintos. El laboratorio que se ha encargado de realizar los ensayos ha sido Laboratorios Munuera SLU, el cual dispone de todas las certificaciones necesarias para la realización de este tipo de pruebas, además de ser una empresa “colaboradora de la administración hidráulica” por parte del propio MITECO.



Figura 74 Acreditaciones de Laboratorio Munuera SLU

Los ensayos realizados en este proyecto han sido:

- Granulometría por tamizado:
  - Según procedimiento interno PE/MUNLAB/06 255
- Granulometría por sedimentación:
  - Según procedimiento interno PE/MUNLAB/06 250

#### *Recepción y preparación de las muestras*

Una vez que las muestras son recibidas por el laboratorio, se comprueba el correcto etiquetado de nuevo y luego son traspasadas a bandejas de aluminio para su secado en hornos especiales a temperatura controlada no superior a 54 +/-1°C.



Figura 75 Proceso de recepción y secado.

Con la muestra seca se procede a la rotura de los agregados para poder proceder con los métodos granulométricos:

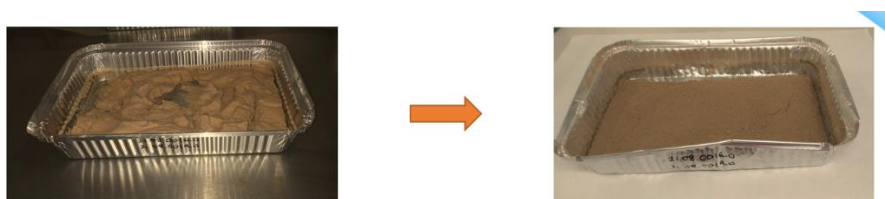


Figura 76 Rotura de los agregados

### *Principio del método*

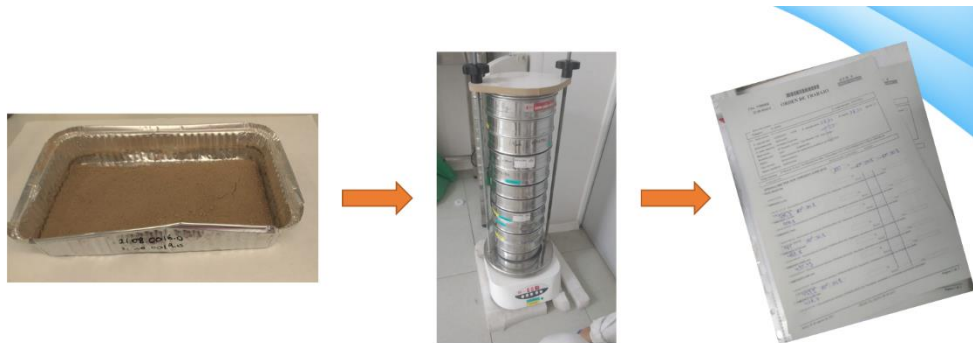
La distribución granulométrica de partículas aporta una descripción del sedimento basada en una subdivisión en clases discretas de tamaños de partículas. El tamaño de cada clase se puede determinar por tamizado y/o sedimentación. Los sedimentos gruesos se ensayan habitualmente por tamizado pero los sedimentos finos o mezclados se realizan normalmente con una combinación de tamizados y sedimentación, en función de la composición del sedimento.

### *La norma de referencia*

UNE-EN ISO 17892-4:2019- Investigación y ensayos geotécnicos. Ensayos de laboratorio de suelos. Parte 4: Determinación de la distribución granulométrica (ISO 17892-4:2016).

## Granulometría por Tamizado según el procedimiento interno PE/MUNLAB/06 255

Una fracción representativa de la muestra se prepara se tamiza por una serie de tamices de distinta luz de malla pre-pesados por medio de la utilización de una tamizadora, calculándose la fracción retenida de la muestra en cada uno de los mismos.



**Figura 77 Proceso de tamizado**

Los tamices utilizados son:

2 mm	0.6 mm	0.18 mm
1.4 mm	0.5 mm	0.125 mm
1 mm	0.355 mm	0.063 mm
0.710 mm	0.25 mm	

**Figura 78 Tamices empleados en los ensayos.**

El pesado de la muestra se realiza mediante una báscula de laboratorio y se traspasa a la torre de tamices, la cual se coloca sobre una tamizadora programada.



Figura 79 Tamizadora programada

Luego tras la tamización de la muestra, se realizan los pesajes de los distintos tamices:



Figura 80 Pesaje de los distintos tamices.

Con esto los datos se pasan a la orden de trabajo, se validan y se genera el boletín final de resultados y anexo de la granulometría por tamizado.

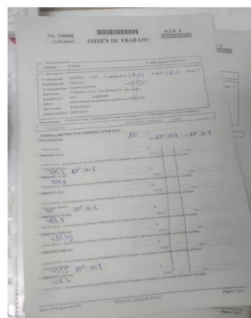
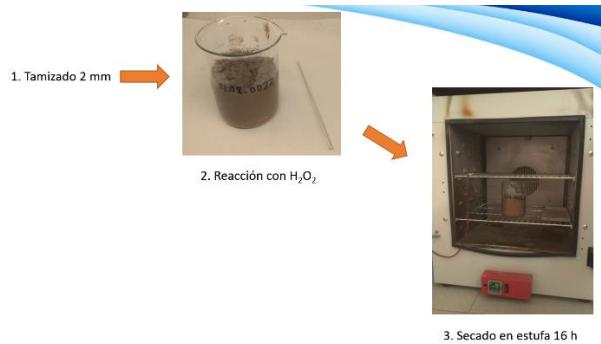


Figura 81 Validación y creación del boletín por tamizado.

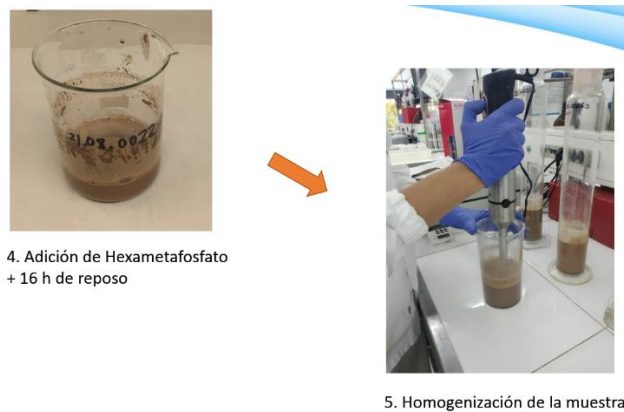
### Granulometría por sedimentación según el procedimiento interno PE/MUNLAB/06 250

Una fracción representativa de la muestra preparada se tamiza por un tamiz de luz de malla de 2mm pre-pesado. Luego una cantidad de la muestra tamizada se deja reaccionar con peróxido de hidrógeno durante 30 minutos, pasándola posteriormente a una estufa de 105°C hasta desecación (aprox. 16 horas).



**Figura 82 Fase 1, reacción con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y secado en estufa**

Transcurrido ese tiempo y dejando enfriar la muestra se añade a la muestra 125 ml de hexametáfosfato sódico y se deja reposar un periodo entre 16 y 72 horas a temperatura ambiente.



**Figura 83 Fase 2, hexametáfosfato y homogenización.**

EL contenido del vaso se homogeniza y se traspasa a una probeta de 1 litro enrasando con agua. Se agitará para realizar la homogenización y se realizará la medida de la densidad a los 2 min, 5 min, 10 min, 15 min, 30 min, 1 hora, 4 horas y 24 horas.



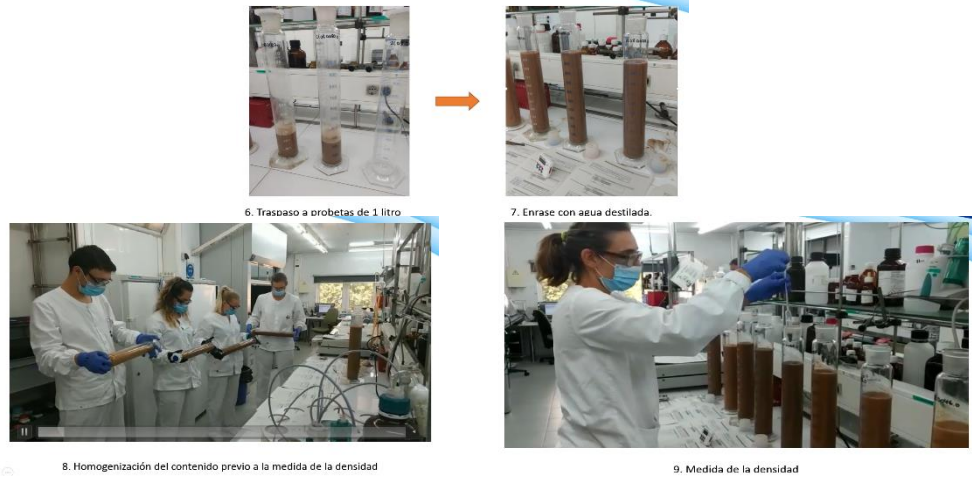


Figura 84 Fase 3, enrase homogenización y medida de la densidad.

Complementariamente se determinará el peso específico del material y el tamizado por 0.2 mm.

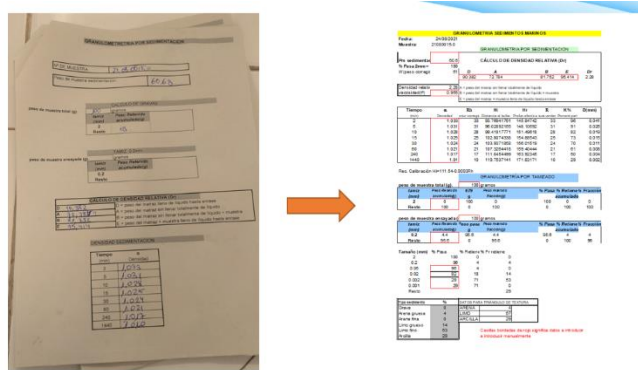


Figura 85 Fase 4, traspaso de datos al registro y cálculo de contenidos en gravas, arena, limo y arcilla.

Con todo lo anterior se realiza la clasificación de textura de Shepard, se validan los datos obtenidos y se genera el boletín final y anexo de granulometría por sedimentación.

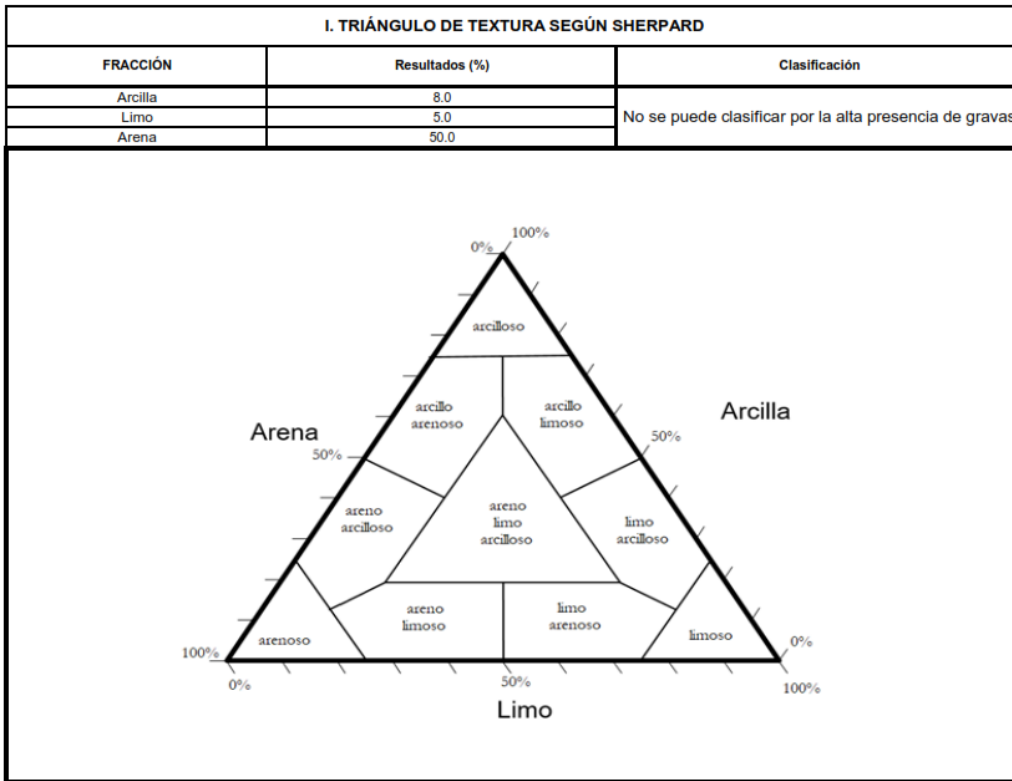


Figura 86 Clasificación de textura por el triángulo de Shepard, validación de datos y generación de boletín

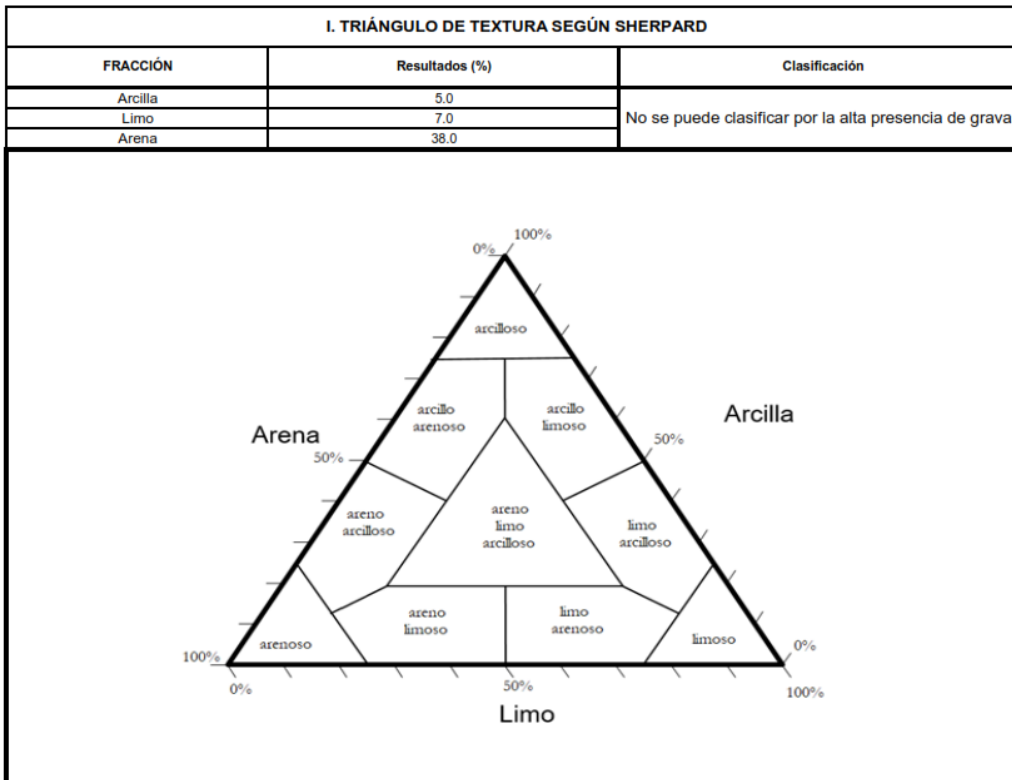
Los resultados de las granulometrías completos se incluyen en el Anexo 13.3. A modo de resumen se incluyen las clasificaciones según Shepard a modo de resumen en el apartado siguiente:

## RESUMEN GRANULOMETRÍAS

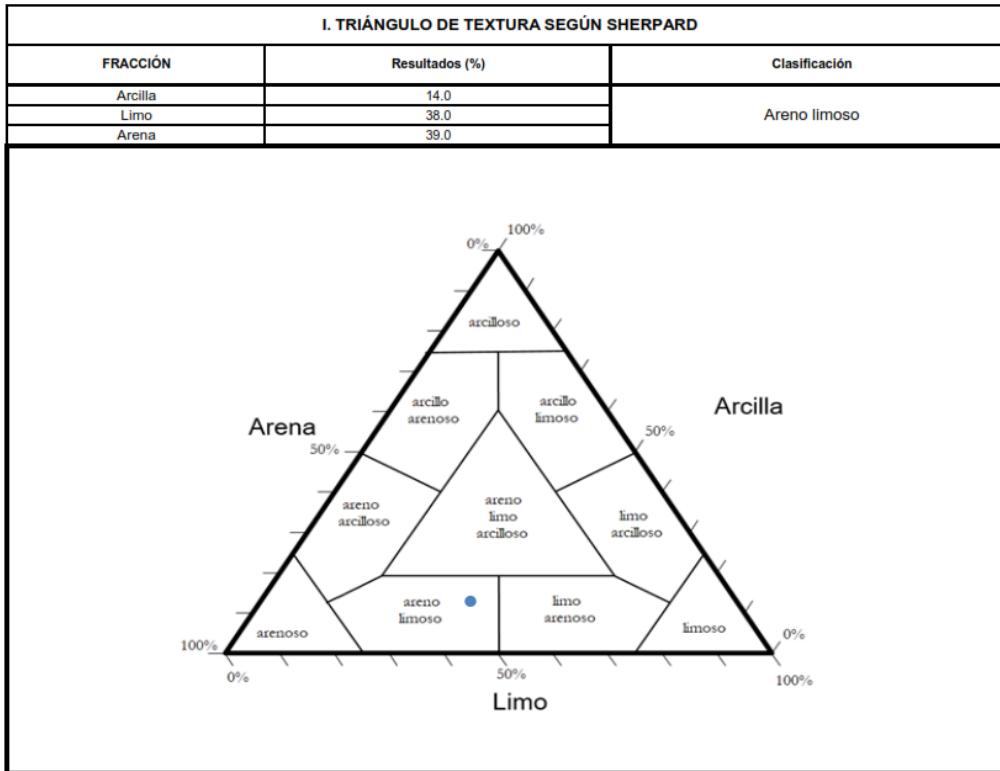
### Muestra 1



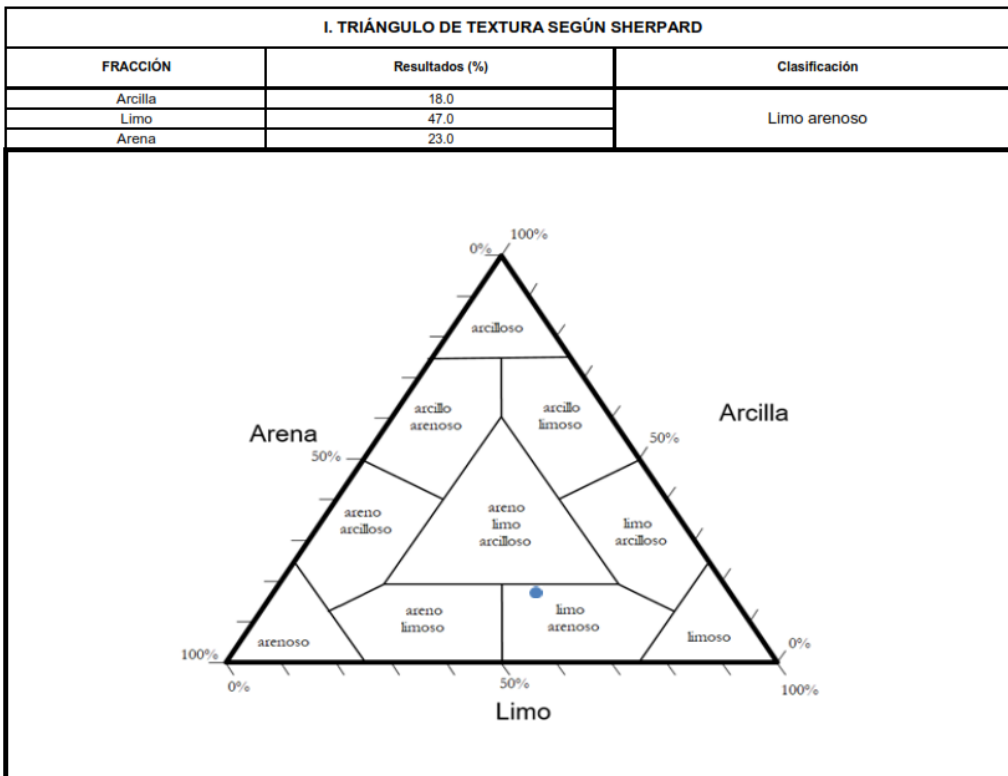
### Muestra 2



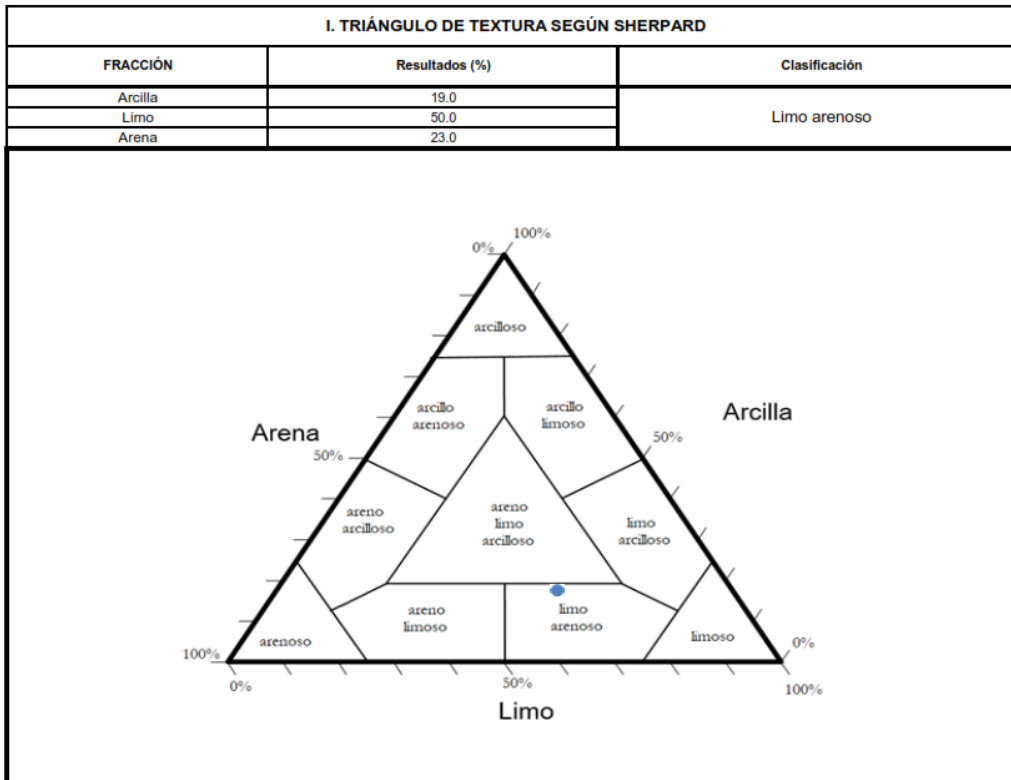
**Muestra 3**



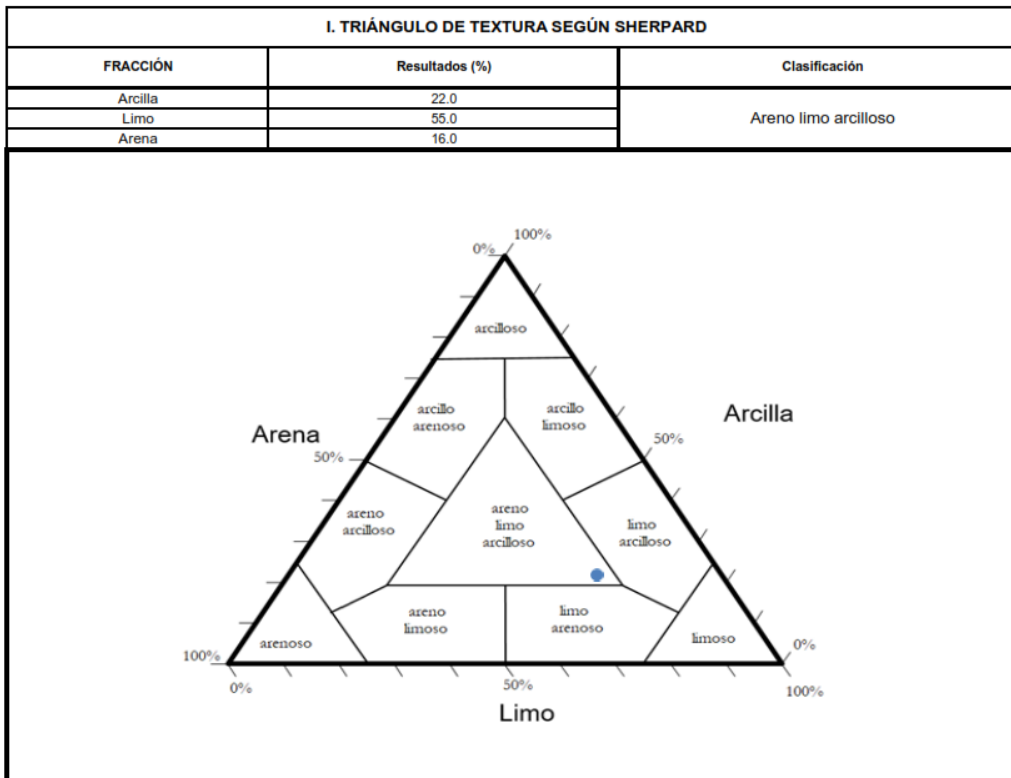
**Muestra 4**



### Muestra 5

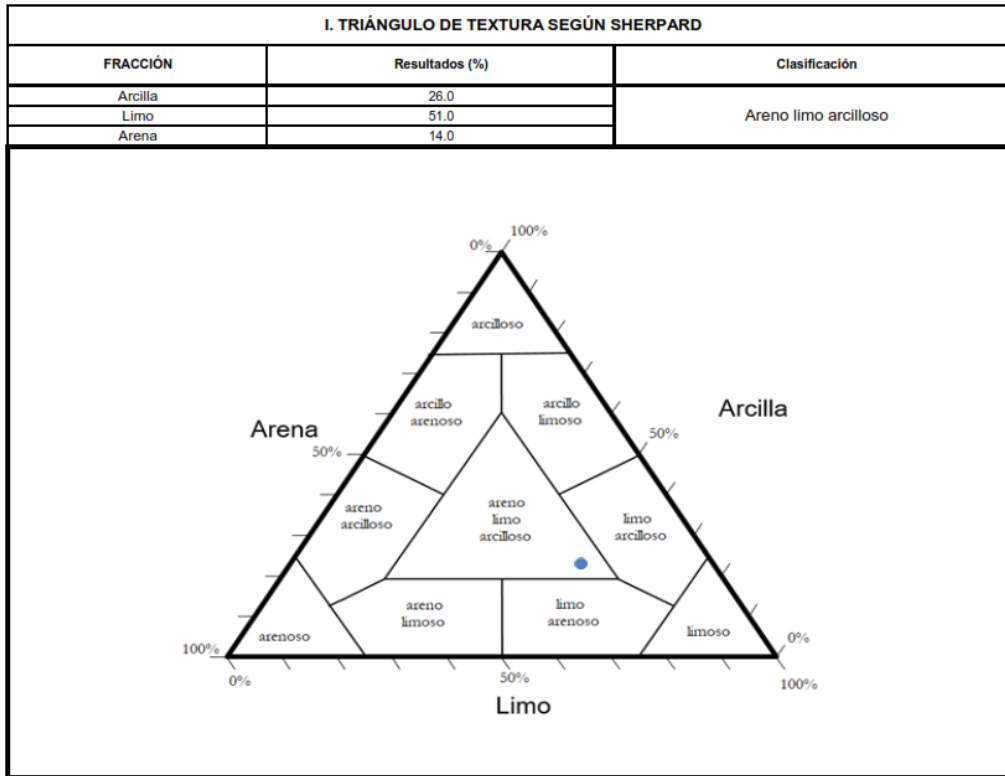


### Muestra 6

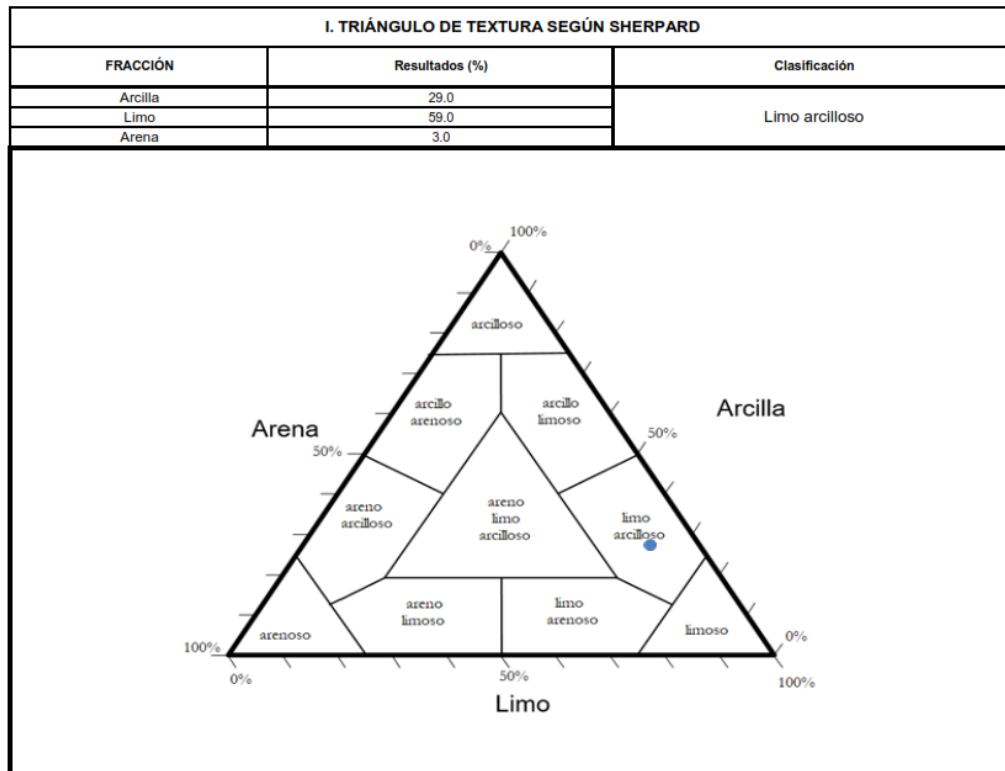




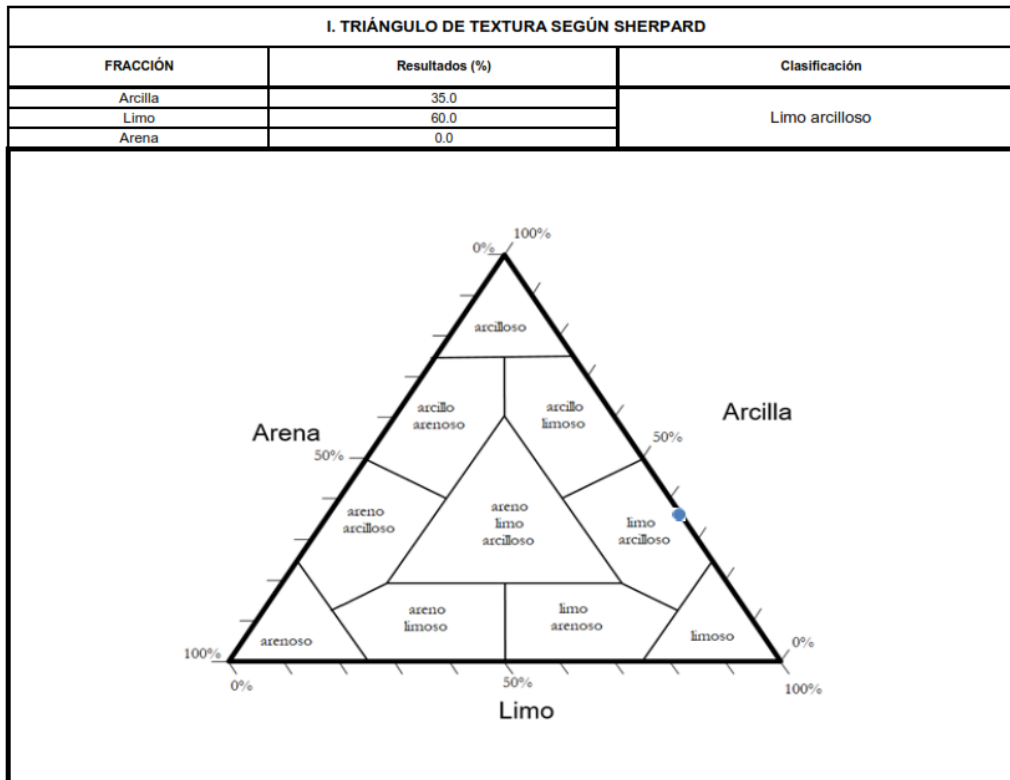
Muestra 7



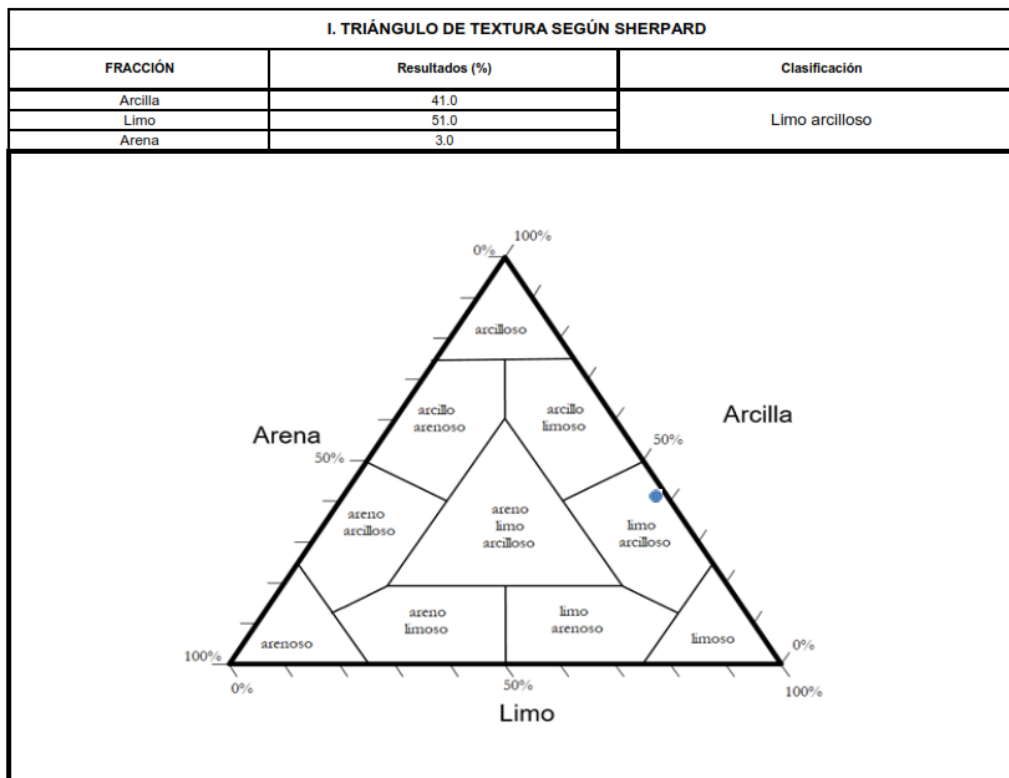
Muestra 8



**Muestra 9**



**Muestra 10**



## 9.4 Informe de cálculo de volumen del embalse

Con los datos batimétricos y de Lidar medidos desde la embarcación, complementados en lo posible con los datos Lidar del PNOA se ha obtenido una nube de puntos completa del embalse y sus orillas.

Eso ha permitido calcular el volumen de agua embalsada y la superficie correspondiente en función del nivel de agua hasta la Cota Máxima (NMN) del embalse y su cota de coronación.

Uno de los principales problemas que se han encontrado es la falta de uniformidad de las referencias establecidas por los distintos organismos.

Se han analizado los datos de las fichas del MITECO, datos históricos de los planos de presa, datos del Intituto Geográfico Nacional (IGN) como el LIDAR del PNOA, datos de la Confederación Hidrológica del Ebro (CHE), la Sociedad Española de Presas y Embalses (SEPREM) y datos tomados con sistemas GPS RTK durante la realización de los trabajos.

Embalse	Origen	Cota Cor. m NMMA	Cota NMN m NMMA	Cota cim m NMMA	Cota cauce m NMMA	Altura a cim m	Superf.NMN Ha	Capac.NMN Hm3
<b>Margalef</b>	lagua-Miteco	<b>434.00</b>	<b>434.00</b>	400.00	402.80	34.00	<b>31.57</b>	<b>2.98</b>
<b>31/12/1995</b>	Plano Presa	437.5	434.5	400	403.5	<b>37.50</b>		
	Lidar	<b>435.3</b>	<b>432.2</b>	<b>397.64</b>	<b>401.14</b>	<b>37.66</b>		
	SEPREM	434		400.00	402.80	34.00		
	Medido GPS RTK	<b>435.25</b>	<b>432.14</b>	<b>397.64</b>	<b>401.14</b>	<b>37.61</b>	<b>21.34</b>	<b>2.13</b>

Figura 87 Comparativa de datos extraídos de distintas fuentes.

Fuentes de los datos:

<a href="https://sig.mapama.gob.es/WebServices/clientews/snczi/default.aspx?nombre=PRE SA&amp;claves=CODPRESA&amp;valores=9430008&amp;origen=8">https://sig.mapama.gob.es/WebServices/clientews/snczi/default.aspx?nombre=PRE SA&amp;claves=CODPRESA&amp;valores=9430008&amp;origen=8</a>
<a href="https://sig.mapama.gob.es/WebServices/clientews/snczi/default.aspx?nombre=PRE SA&amp;claves=CODPRESA&amp;valores=9430008&amp;origen=8">https://sig.mapama.gob.es/WebServices/clientews/snczi/default.aspx?nombre=PRE SA&amp;claves=CODPRESA&amp;valores=9430008&amp;origen=8</a>
<a href="https://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp">https://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp</a>
<a href="http://www.sepreem.es/ficha.php?idpresa=653&amp;p=26">http://www.sepreem.es/ficha.php?idpresa=653&amp;p=26</a>

Figura 88 Fuentes consultadas para las cotas de embalse de Margalef

Por ello se ha optado por referir todo el estudio al Cero Geodésico definido por el IGN como Nivel Medio del Mar en Alicante (NMMA), por ser la referencia altimétrica adoptada para todo el país.

Aquí se resumen tanto la capacidad del embalse referida a la Cota de Nivel Máximo (NMN) con los datos batimétricos y topográficos, como el volumen ocupado por los sedimentos que se han determinado con el estudio sísmico.

*Capacidad máxima actual del embalse*

A partir de la nube de puntos xyz batimétricos y topográficos tomados en el embalse de Margalef se ha creado un Modelo Digital del Terreno (MDT) con el que se ha calculado el volumen de agua almacenada en el embalse y el área que ocupa respecto a la cota del nivel del agua.

Con ello para la cota NMN del embalse (432.14 m) el volumen es de 2.13 Hm<sup>3</sup> y el área correspondiente es de 21.34 Has.

*Cubicación del volumen de sedimentos acumulados*

Con el estudio sísmico y la interpretación de los registros obtenidos con el sistema de doble receptor, se han determinado los espesores de sedimentos que el embalse ha acumulado desde su construcción y determinar distribución y su volumen.

Este volumen se ha determinado entre el nivel del fondo, al que se ha dado el valor cero y el horizonte definido por los espesores de sedimentos no consolidados resultantes de la Interpretación sísmica:

<i>Embalse</i>	<i>Sedimentos (m<sup>3</sup>)</i>	<i>Sedimentos (Hm<sup>3</sup>)</i>
<b>Margalef</b>	<b>18.300</b>	<b>0,018</b>

Informe de resultados de la cubicación:

**Grid Volume Computations**

**MARGALEF. Volumen de sedimentos no consolidados**

**Upper Surface**

Level Surface defined by Z = 0

### Lower Surface

Grid File Name: Archivo para surferMC-B-NA.grd  
 Grid Size: 1000 rows x 500 columns

X Minimum: 314546.81  
 X Maximum: 315097.05  
 X Spacing: 1.1026853707415

Y Minimum: 4574015.82  
 Y Maximum: 4575119.99  
 Y Spacing: 1.1052752752752

Z Minimum: 0  
 Z Maximum: 1.2200228610566

### Polygon Boundary

File Name: BordeSIS-Ocsa.dxf  
 Number of Polygons: 1  
 Volume: Inside

### Volumes

Z Scale Factor: 1

### Total Volumes by:

Trapezoidal Rule: -18302.816866847  
 Simpson's Rule: -18303.389039047  
 Simpson's 3/8 Rule: -18305.909797927

### Cut & Fill Volumes

Positive Volume [Cut]: 0  
 Negative Volume [Fill]: 18302.816866847

<b>Net Volume [Cut-Fill]:</b>	<b>-18303</b>
-------------------------------	---------------

### *Tablas y gráficas del embalse de Margalef*

A partir de los datos batimétricos y topográficos obtenidos se han generado las tablas y gráficas con el volumen de agua embalsada y la superficie según la cota de llenado. Aunque se pueden hacer con otras resoluciones se ha utilizado un incremento de 25cm para generarlas.



TABLA COTA- AREA-VOLUMEN

Cota(m)	Área(Ha)	Volumen(Hm3)	Cota(m)	Área(Ha)	Volumen(Hm3)	Cota(m)	Área(Ha)	Volumen(Hm3)	Cota(m)	Área(Ha)	Volumen(Hm3)
400.00	0.0000	0.0000	409.00	1.6394	0.0241	418.00	5.9589	0.3206	427.00	14.0894	1.2378
400.25	0.0000	0.0000	409.25	1.7207	0.0283	418.25	6.2211	0.3358	427.25	14.3377	1.2733
400.50	0.0000	0.0000	409.50	1.8035	0.0327	418.50	6.5456	0.3518	427.50	14.5747	1.3095
400.75	0.0000	0.0000	409.75	1.8773	0.0373	418.75	6.8030	0.3685	427.75	14.7897	1.3462
401.00	0.0000	0.0000	410.00	1.9801	0.0421	419.00	7.0404	0.3858	428.00	14.9945	1.3834
<b>401.25</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	410.25	2.0684	0.0471	419.25	7.2781	0.4037	428.25	15.2036	1.4211
401.50	0.0000	0.0000	410.50	2.1579	0.0524	419.50	7.5508	0.4222	428.50	15.3978	1.4594
401.75	0.0000	0.0000	410.75	2.2338	0.0579	419.75	7.8138	0.4414	428.75	15.5791	1.4981
402.00	0.0000	0.0000	411.00	2.3063	0.0636	420.00	8.0513	0.4613	429.00	15.7490	1.5373
402.25	0.0000	0.0000	411.25	2.3917	0.0695	420.25	8.3075	0.4817	429.25	15.9170	1.5769
402.50	0.0000	0.0000	411.50	2.4680	0.0755	420.50	8.5376	0.5028	429.50	16.0824	1.6169
402.75	0.0000	0.0000	411.75	2.5427	0.0818	420.75	8.7823	0.5244	429.75	16.2501	1.6573
403.00	0.0000	0.0000	412.00	2.6174	0.0883	421.00	9.0412	0.5467	430.00	16.4513	1.6981
403.25	0.0000	0.0000	412.25	2.6925	0.0949	421.25	9.3075	0.5696	430.25	17.2967	1.7403
403.50	0.0000	0.0000	412.50	2.7653	0.1017	421.50	9.5531	0.5932	430.50	18.0709	1.7845
403.75	0.0000	0.0000	412.75	2.8345	0.1087	421.75	9.8081	0.6174	430.75	18.6950	1.8305
404.00	0.0000	0.0000	413.00	2.9043	0.1159	422.00	10.0662	0.6423	431.00	19.2957	1.8780
404.25	0.0000	0.0000	413.25	2.9805	0.1232	422.25	10.2941	0.6677	431.25	19.7952	1.9269
404.50	0.0000	0.0000	413.50	3.0713	0.1308	422.50	10.5306	0.6937	431.50	20.2194	1.9769
<b>404.75</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	413.75	3.1667	0.1386	422.75	10.7474	0.7203	431.75	20.6083	2.0279
405.00	0.0000	0.0000	414.00	3.2557	0.1466	423.00	10.8894	0.7474	432.00	20.9881	2.0799
405.25	0.0002	0.0000	414.25	3.3561	0.1549	423.25	10.9699	0.7747	<b>432.25</b>	<b>21.3415</b>	<b>2.1329</b>
405.50	0.0004	0.0000	414.50	3.4674	0.1634	423.50	11.0452	0.8023	432.50	21.6784	2.1867
405.75	0.0006	0.0000	414.75	3.5692	0.1722	423.75	11.1224	0.8300	432.75	21.9972	2.2413
406.00	0.0009	0.0000	415.00	3.6942	0.1813	424.00	11.2131	0.8579	433.00	22.3220	2.2967
406.25	0.0014	0.0000	415.25	3.7910	0.1907	424.25	11.3936	0.8861	433.25	22.6339	2.3529
406.50	0.0030	0.0000	415.50	3.9071	0.2003	424.50	11.6717	0.9149	433.50	22.9494	2.4099
406.75	0.1485	0.0001	415.75	4.0341	0.2102	424.75	11.9943	0.9445	433.75	23.2509	2.4677
407.00	0.3610	0.0008	416.00	4.1942	0.2205	425.00	12.2629	0.9749	434.00	23.5457	2.5262
407.25	0.6404	0.0021	416.25	4.3386	0.2312	425.25	12.4893	1.0058	434.25	23.8385	2.5854
407.50	0.8948	0.0040	416.50	4.5021	0.2422	425.50	12.7027	1.0373	434.50	24.1302	2.6454
407.75	1.1050	0.0065	416.75	4.7648	0.2537	425.75	12.9075	1.0693	434.75	24.4174	2.7061
408.00	1.2419	0.0094	417.00	4.9729	0.2659	426.00	13.1092	1.1018	435.00	24.6990	2.7675
408.25	1.3607	0.0127	417.25	5.1805	0.2786	426.25	13.3308	1.1349	<b>435.25</b>	<b>24.9896</b>	<b>2.8296</b>
408.50	1.4780	0.0162	417.50	5.4711	0.2919	426.50	13.5962	1.1685	435.50	25.2896	2.8925
408.75	1.5629	0.0201	417.75	5.7653	0.3060	426.75	13.8554	1.2028	435.75	25.6041	2.9561

Figura 89 Tabla Cota-Área-Volumen

GRAFICAS AREA VOLUMEN

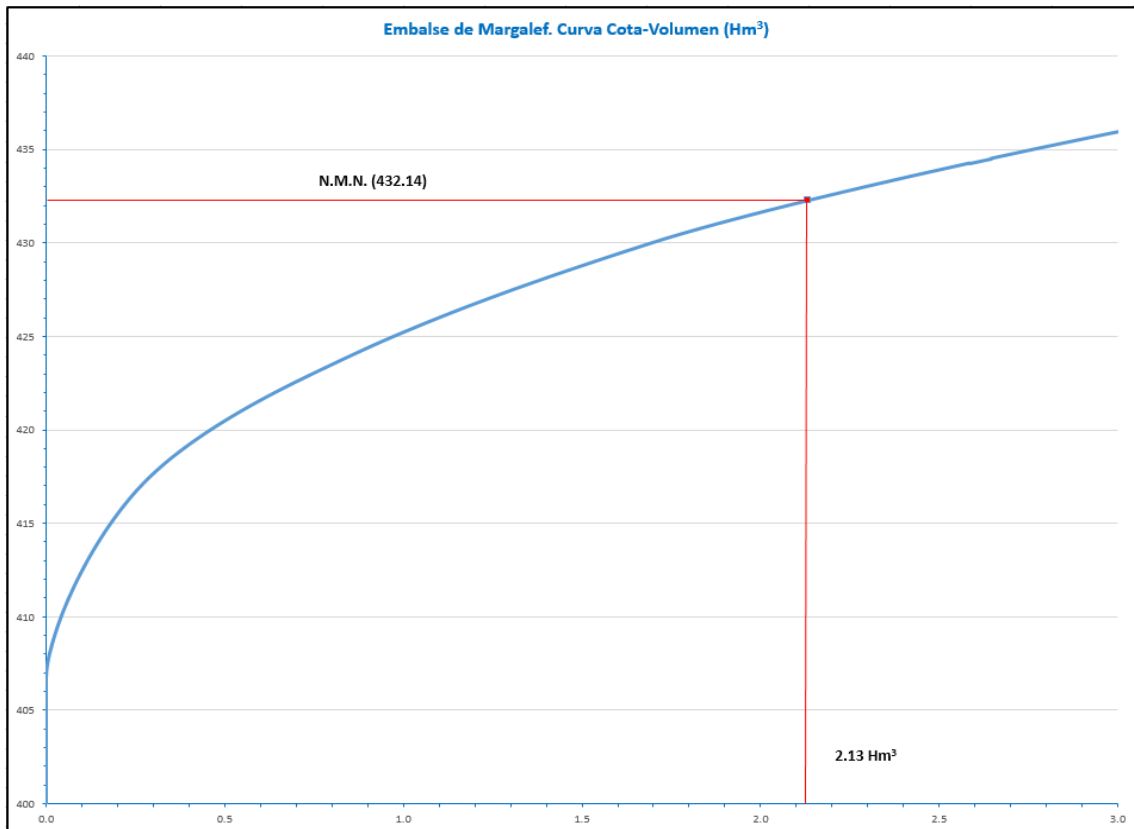


Figura 90 Curva de llenado Cota-Volumen

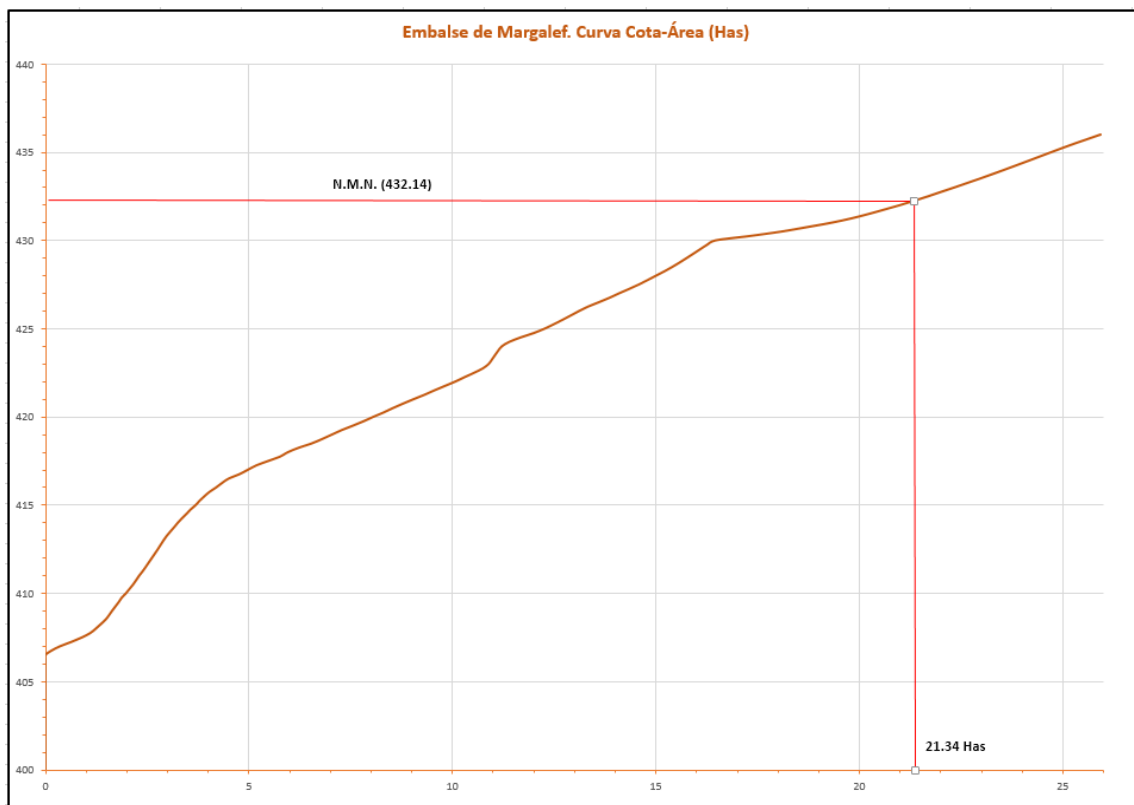


Figura 91 Curva Cota-Área

## 10. Clasificación del fondo

Dentro de este proyecto, conforme a lo solicitado, se ha realizado una clasificación de fondos a partir de las señales acústicas recogidas con la ecosonda Multihaz. Esta caracterización, en el caso de embalses presenta grandes diferencias respecto a la que se puede obtener en un ambiente marino donde la dinámica sedimentaria es completamente diferente.

Por lo general en un embalse la capa más superficial del fondo presenta una gran uniformidad y se compone principalmente de lodos con mayor o menor cantidad de materia orgánica.

La ecosonda multihaz, al utilizar frecuencias altas no tiene capacidad para penetrar esa capa superficial y con ello de llegar a otros materiales ocultos bajo esa capa. Con ello la diferenciación de materiales que se puede obtener de su señal es muy limitada y ajustada a las pequeñas variaciones de esa cobertura superficial.

### 10.1 Descripción del fenómeno de sedimentación de un embalse

Cuando a la corriente de un río se le interpone un obstáculo, como en este caso es una presa, se produce un estancamiento y una retención del transporte de sedimentos. En la parte superior del embalse, se acumularán los sedimentos de mayor granulometría con la entrada de corriente según la disminución de la velocidad del agua con la ampliación del cauce y el crecimiento del tirante. El sedimento más fino continuará a lo largo del embalse formando una corriente de densidad. (Jesús Gracia Sánchez, Manual de Ingeniería de Ríos UNAM).

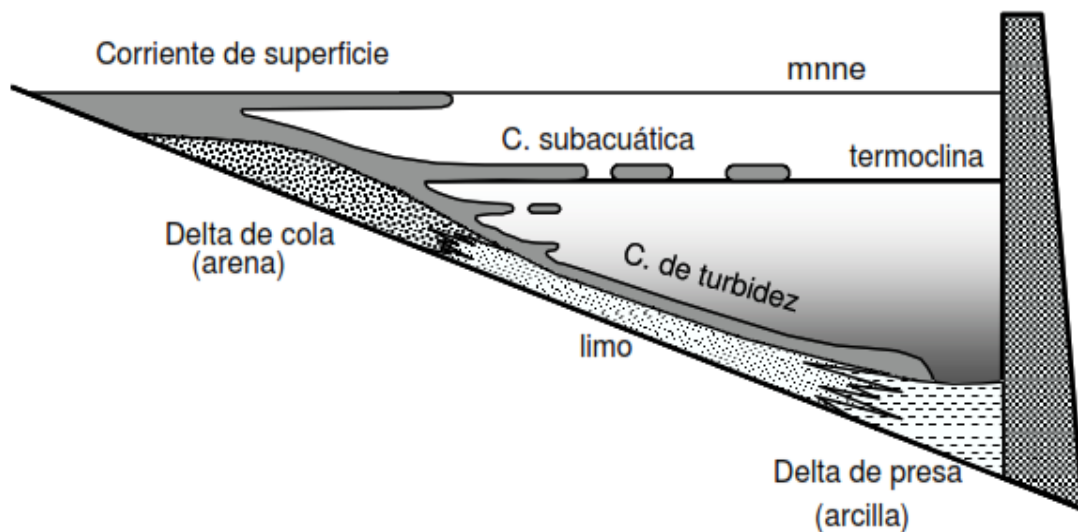


Figura 92 Comportamiento del sedimento en embalses (R.Cobo.CEDEX)

En el caso de los embalses estudiados se puede apreciar claramente como esta granulometría mayor aparece en la cola de los embalses. Este proceso de sedimentación se puede apreciar claramente en este embalse de Margalef. Debido al bajo nivel del embalse durante la realización de los trabajos se pudo visualizar claramente como en la cola del embalse se formaban pequeñas charcas comunicadas por un pequeño caudal de agua. Esa corriente era suficiente para limpiar el cauce por dónde discurría el agua de fangos y limos, dejando a la vista los sedimentos gruesos acumulados bajo esta capa.

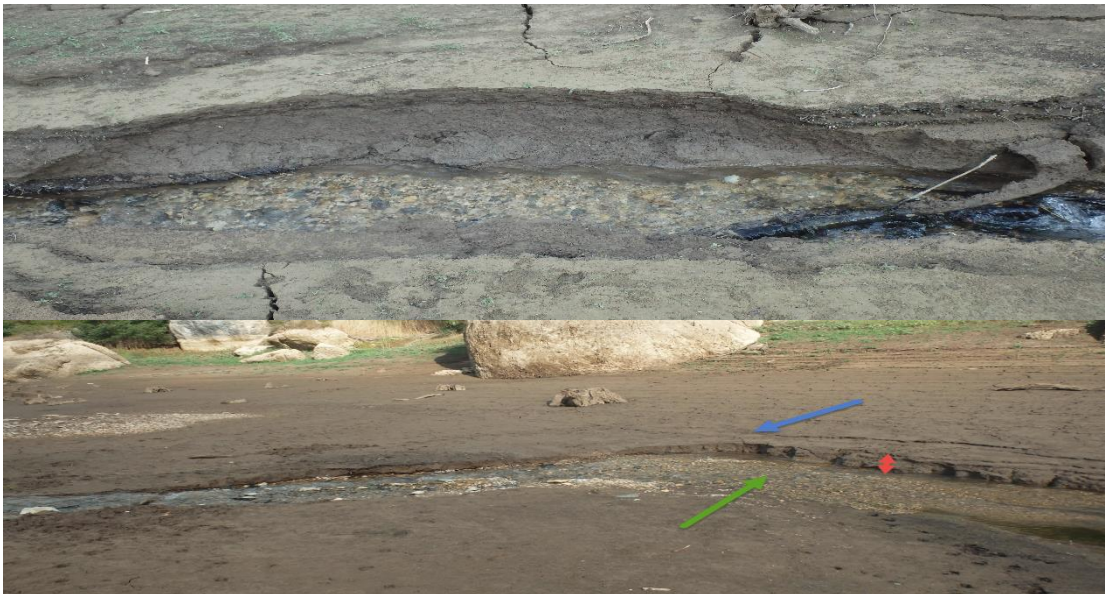


Figura 93 Ejemplos de la cola del Embalse Margalef.

En las fotografías tomadas se puede apreciar perfectamente una capa de cierto espesor de los sedimentos finos y bajo ella la presencia de materiales de mayor granulometría y peso que se depositan al disminuir la corriente por el aumento del ancho del cauce y disminución de la fuerza de la corriente de agua del río.

## 10.2 Proceso de clasificación de fondos

En un levantamiento batimétrico con ecosonda multihaz, además del dato xyz que representa el fondo de la masa de agua, se registra gran cantidad de información asociada a la señal acústica y la de los sensores asociados al sistema, como son intensidad de señal, ángulo de los haces, información de Sidescan y Snippets (en el caso de que el sistema disponga de esta opción), parámetros de configuración del

equipo (rangos, ángulos de giro,...), velocidad de propagación del sonido en el agua, datos de la columna de agua, etc.

Para la realización de una clasificación de fondo semiautomática, se emplean los datos de backscatter tomados por la ecosonda junto con los datos de sonar y Snippets y se aplica también la información de la toma de muestras.

Una vez que se han obtenido los ficheros de backscatter, sonar de barrido lateral y snippets, se realiza una clasificación semiatomática de los sedimentos con el software SonarWiz.

Una clasificación de fondos consiste en delinear tipos/clases de imágenes a datos vectoriales. A esta caracterización se pueden incorporar características no acústicas del fondo, como pendientes o rugosidad. Con esta clasificación se generan polígonos con las distintas clases de textura similar.

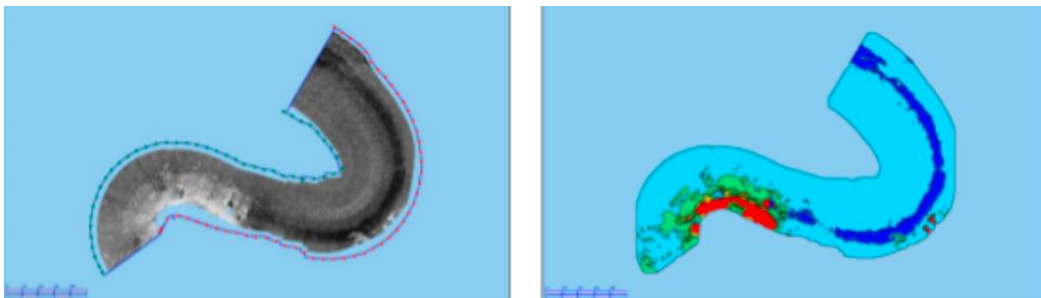


Figura 20 Ejemplo de clasificación de fondos.

Decimos que la clasificación de fondos es un proceso semiautomático, debido a que este tipo de procesado requiere de un training previo. Este software realiza la caracterización línea a línea y los resultados son fusionados en un mismo fichero, el cual puede ser filtrado para una mayor coherencia de los resultados de la caracterización.

Como resumen del proceso de clasificación de fondos tenemos:

- Seleccionar los ficheros para realizar el training.
- Establecer las estadísticas de textura para cálculo. Seleccionar las texturas a emplear.
- Entrenar al clasificador.
- Examinar los resultados de la clasificación
- Clasificar los sets de datos.
- Filtrado de datos para rellenar huecos, remover datos espurios, etc.
- Exportar los polígonos para su análisis en SIG.



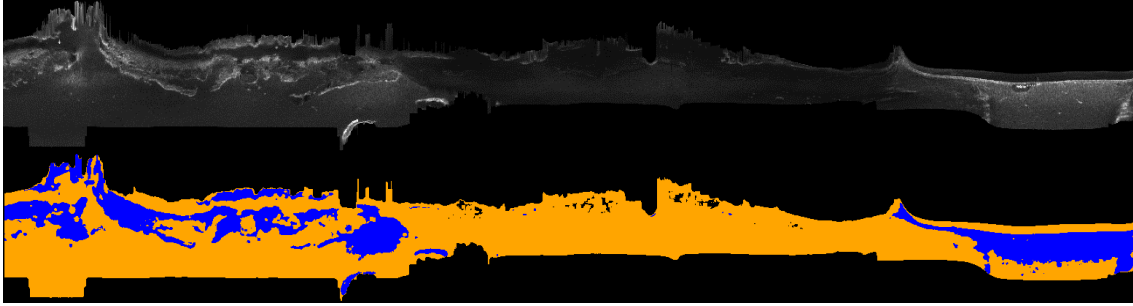


Figura 94 Ejemplo de clasificación realizada en el embalse.

La clasificación de fondos trabaja mejor cuánto más diferencia de reflectividad tengan los materiales a clasificar, ya que esto crea una imagen de mayor contraste que el programa discrimina mejor.

En el caso de los embalses analizados, la homogeneidad de la capa superficial hace complicado una discriminación de tipos de fondos con el backscatter de la ecosonda multihaz, pues debido a su alta frecuencia solo puede obtener información de la capa más superficial del fondo. Esa capa son fangos que recubren prácticamente la totalidad del embalse.

En la batimetría se ven claramente grandes rocas que deberían dar una alta reflectividad, pero se observa en el backscatter que es baja por estar cubiertas de esa capa de fangos y limos y el sistema no lo identifica como roca.

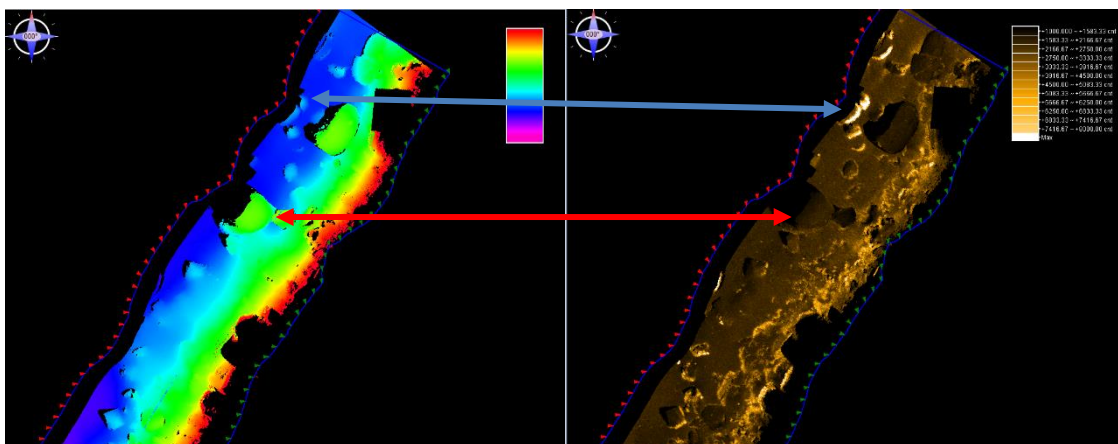


Figura 95 Batimetría y backscatter.

En la imagen anterior podemos observar como en una línea tomada en el este embalse, elementos que se identifican perfectamente por su forma y tamaño como rocas tienen una baja reflectividad en su parte superficial, que es la que detecta el backscatter de la ecosonda y por ello el sistema de clasificación lo identifica como fangos/limos y no como roca. La flecha azul muestra como en unas rocas los haces acústicos inciden de forma oblicua en el lateral de unas rocas dónde es más complicado que se acumule el

sedimento y con ello la reflectividad de la señal es mayor, mostrando una zona de mayor contraste.

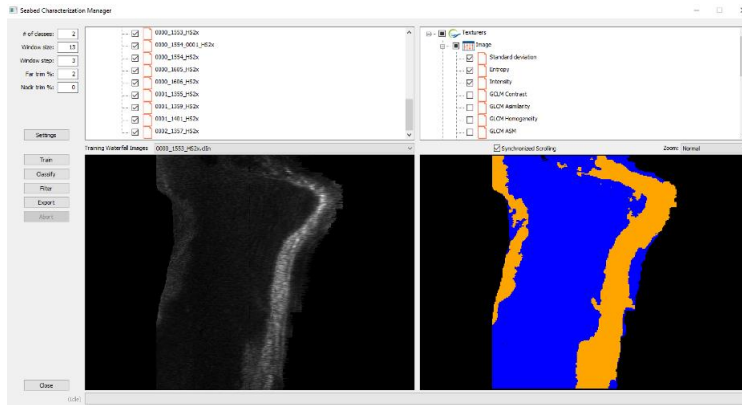


Figura 96 Clasificación de fondos

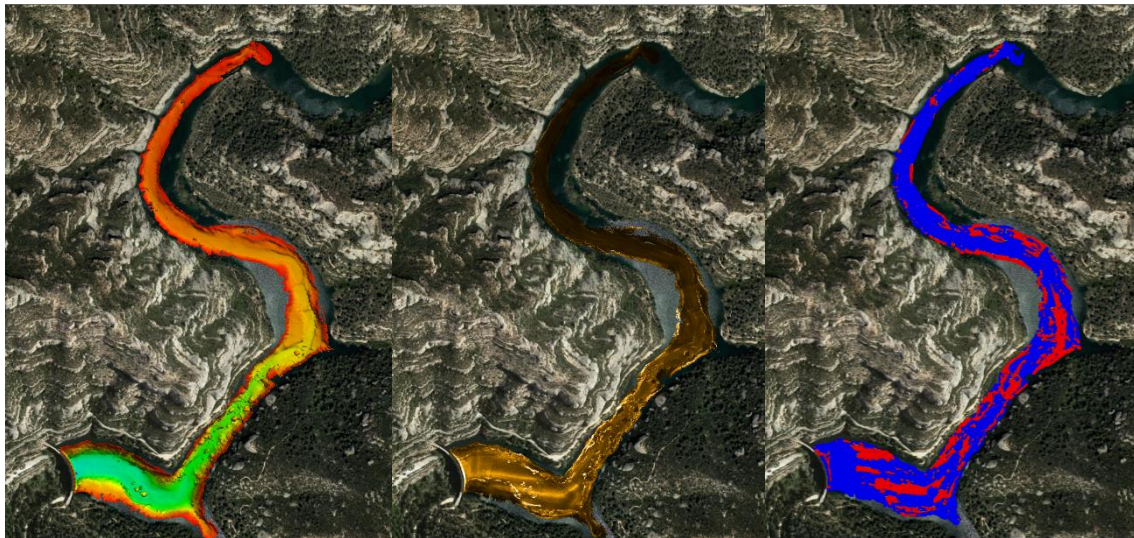


Figura 97 Batimetría, backscatter y clasificación de fondos.

En las siguientes imágenes se representan las posiciones de las muestras tomadas sobre la señal de backscatter de la ecosonda multihaz y las fotografías tomadas en la recogida de muestras. En ellas se observa como todas las muestras presentan una capa superficial oscura.



Figura 98 Muestra 4



Figura 99 Muestra 5



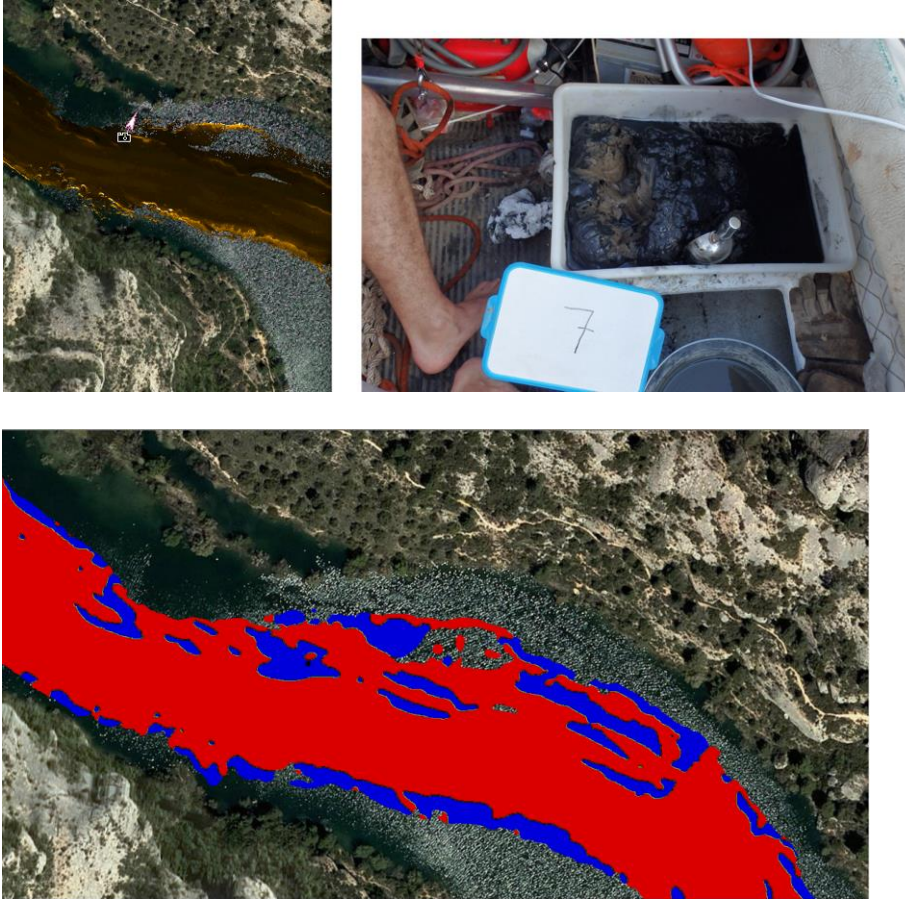


Figura 100 Muestra 7



**Figura 101 Muestra 8**

Los resultados de la clasificación de fondos se han representado en formato CAD distinguiendo las clases que el programa ha identificado. En este caso, debido a la uniformidad de la capa superficial de los sedimentos se han incluido solamente dos tipos/clases.



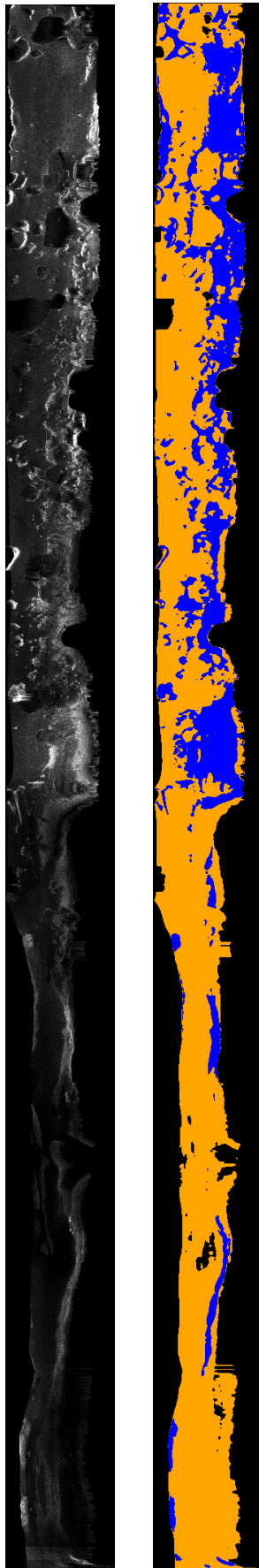


Figura 102 Ejemplo de clasificación realizada en el embalse. 2 clases.

## 11. Conclusiones

La finalidad principal del estudio se enfocó a un levantamiento batimétrico del fondo del embalse y una topografía de las orillas para realizar un análisis comparativo con datos históricos y cubicar la sedimentación de los embalses planteados.

Tras realizar una recopilación de datos de los distintos organismos relacionados con este embalse lo único que se ha conseguido es un plano topográfico previo a la construcción escaneado en hojas sueltas con un curvado topográfico general. Aparte de la falta de coincidencia de cotas las deformaciones observadas no han permitido realizar una comparación mínimamente válida para determinar espesores sedimentarios.

Esto ha hecho que se considerara necesario la realización de un estudio geofísico con sísmica de reflexión para determinar de una forma más directa los espesores reales de los sedimentos en el embalse.

El estudio batimétrico y topográfico realizado refleja con gran precisión y detalle toda la parte sumergida y emergida del embalse, donde se pueden distinguir con medidas precisas las distintas formas, terrazas, edificaciones, etc del fondo del embalse junto con la topografía en 3D de detalle de las orillas.

En la parte sumergida se aprecian grandes rocas que se pueden haber desprendido de las laderas antes o después de construir el embalse.

Las medidas y la coherencia del estudio realizado se ha comprobado con los distintos levantamientos LIDAR del IGN disponibles, con los que encajan perfectamente y proporcionan una base sólida y comparable con futuros estudios de cuenca, ya que todas las cotas están referidas al Cero Geodésico oficial establecido por el IGN (NMMA).

La cartografía se ha referido a ETRS89 UTM Huso 30 para unificar con otros datos de la cuenca, aunque se ha trabajado en el Huso 31 que corresponde a la zona.

En el apartado del estudio geofísico y en base a lo comentado en párrafos anteriores caben los siguientes comentarios.

1.- A partir de la investigación realizada se ha podido definir bajo toda el área estudiada el espesor de los sedimentos.

2.- A partir de la interpretación realizada de los perfiles sísmicos de Geopulse y de 3.5kHz, se han podido diferenciar los siguientes horizontes geosísmicos:

- Una primera *interfase sísmica* constituida por lo que denominaremos capa de sedimentos no consolidados. El techo de esta primera capa de sedimentos (que

constituye el fondo del embalse) se ha señalado con una línea de color azul, mientras que su base se ha representado con una línea de color rojo.

Esta primera capa se localiza bajo gran parte del área estudiada. Los materiales que la constituyen deben corresponder a unos lodos y fangos (limos, arcillas y arenas) y, localmente, podrían estar asociados con un mayor contenido de arenas finas-medias y en menor proporción, con gravas, derrubios de ladera, etc.

Los espesores máximos de esta capa de sedimentos superiores a 1 m se dan en zonas muy localizadas.

- Finalmente se detecta un *basamento o zócalo acústico* que debe corresponder con los materiales de base descritos geológicamente (conglomerados cementados triásicos). El techo de este basamento, lógicamente, se ha coloreado en rojo ya que coincide con el muro de la capa de sedimentos.

Por otro lado, como resultado del análisis de muestras y clasificación de fondos, se ha observado la existencia de una capa superficial de limos y materia orgánica de color oscuro, que limita la aplicación de una clasificación de fondos a partir del backscatter del levantamiento multihaz y su comparación con los resultados de las granulometrías realizadas en el laboratorio.

Esto es debido a que la ecosonda multihaz utiliza frecuencias altas necesarias para tener precisión en las medidas, pero sin capacidad de penetrar en los sedimentos. Con ello sus señales acústicas quedan ligadas a pocos centímetros de parte más superficial del fondo, mientras que los análisis granulométricos integran materiales que están bajo esa capa y que se han recogido con la draga utilizada. Con ello es normal que se dé el caso de que el backscatter solo detecte el fango que recubre rocas o zonas con arenas o gravas.

El estudio realizado, al tener datos detallados y precisos del embalse, aparte de aportar una relación clara entre la cota de la lámina de agua y el agua embalsada, sirve como base para futuros estudios donde sí se podrán hacer análisis comparativos.

Esos análisis permitirán definir claramente los aportes sedimentarios o el movimiento de los mismos con la ubicación submétrica precisa de los cambios y de su volumen en forma rápida, con solo comparar el MDT actual con el que nuevo que se obtenga.

## 12. Índice de Figuras

Figura 1 Plano de Situación .....	7
Figura 2 Datos de cotas incluidos en el plano. ....	8
Figura 3 Plano facilitado por ACA. ....	9
Figura 4 Mapa regional de unidades geológicas donde se aprecia la orientación NE-SO de la Cordillera y la Depresión formada por materiales terciarios. ....	12
Figura 5. Sección del Mapa geológico 44 (FLIX) a escala 1:50000, 2ª serie MAGNA. Cartografía IGME. ....	13
Figura 6. Imagen con los materiales representativos de la zona. ....	14
Figura 7 Cobertura de distintos sistemas diferenciales satelitales .....	16
Figura 8 Segmento de control sistema Navstar .....	17
Figura 9. Imágenes con la constelación Navstar y un esquema de los tres segmentos que la componen.....	18
Figura 10. Sensor de movimiento y GPS integrado en el soporte de la ecosonda multihaz. ....	19
Figura 11. Esquema de las medidas que toma el sensor de movimiento .....	19
Figura 12. Ecosondas: Monohaz (Parte Superior) y Multihaz (Parte Inferior) .....	20
Figura 13. Tipos de medidas batimétricas y su cobertura (NOAA). ....	21
Figura 14 Esquema de levantamiento Batimétrico + LIDAR desde embarcación .....	22
Figura 15 Levantamiento LIDAR desde embarcación.....	22
Figura 16 Esquema gráfico donde se establece la relación entre frecuencia y penetración en sedimentos (Trabant, 1984). ....	24
Figura 17 Draga VanVeen .....	25
Figura 18 Esquema de integración de datos GPS para batimetría + LIDAR y levantamiento sísmico.....	26
Figura 19 Bases de IGN e ICGC próximas a la zona .....	27
Figura 20 Sistema GNSS Emlid Reach RS2 y sus características .....	28
Figura 21 Hemisphere A325 GNSS y sus características.....	28
Figura 22 Embarcación con el mástil dónde se instala la antena GPS Rover .....	29
Figura 23 Sensor de movimientos y rumbo Certus EVO. ....	30
Figura 24 Pantalla de control y configuración Advanced Navigation Certus EVO. ....	31
Figura 25 Pantalla de navegación del piloto. ....	31

Figura 26 Ordenador de control de navegación con pantalla del operador instalado a bordo. Batimetría + LIDAR (izda) y sísmica (dcha). .....	32
Figura 27 Ecosonda Norbit WBMS .....	34
Figura 28 Pantalla de control del sistema Norbit .....	35
Figura 29 Unidad de cubierta SIU (Sonar Interface Unit) .....	35
Figura 30 Sensor de la velocidad del sonido en superficie (arriba). Sensor de velocidad del sonido en la columna de agua (abajo.) .....	37
Figura 31 Especificaciones Velodyne VLP16.....	38
Figura 32 Velodyne VLP16 integrado en el mástil junto a la ecosonda y al sistema MRU+GPS RTK. ....	39
Figura 33. A. Esquema gráfico con la disposición de los subsistemas de un equipo sísmico de alta resolución y media penetración (Uniboom o Geopulse); B. Efecto pantalla producido por la estela de un buque (Rey, 1990).....	40
Figura 34. Fuente de alimentación del emisor sísmico. ....	41
Figura 35. Catamarán con emisor acústico .....	41
Figura 36. Boomer emisor acústico .....	42
Figura 37. Hidrófono receptor acústico o Streamer.....	42
Figura 38 Procesadores de señal Octopus .....	43
Figura 39. Receptor de 3.5KHz asociado al Geopulse .....	44
Figura 40 Sistema remolcado trabajando en la zona .....	45
Figura 41 Draga VanVeen de gran capacidad.....	46
Figura 42 Instalación de equipos a bordo. ....	47
Figura 43 Pantalla del patrón .....	48
Figura 44 Líneas de calibración .....	51
Figura 45 Representación del error de latencia. ....	52
Figura 46 Imagen descriptiva del error de Pitch .....	52
Figura 47 Imagen descriptiva del error de Roll. ....	52
Figura 48. Imagen descriptiva del error de Yaw.....	53
Figura 49 Comparativo antes de una calibración (arriba) y después de la calibración (debajo) .....	53
Figura 50 Resultante de corrección de Roll.....	54
Figura 51 Resultante de corrección de Yaw y latencia.....	54
Figura 52 Navegación realizada para el levantamiento batimétrico y topográfico .....	55
Figura 53 Sistema de adquisición y navegación durante el levantamiento sísmico. ....	56



Figura 54 Navegación realizada para el levantamiento geofísico.....	56
Figura 55 Equipo geofísico instalado en el barco.....	57
Figura 56 Toma de datos sísmicos en la zona. ....	58
Figura 57 Datos batimétricos XYZ en vista 3D GRID.....	60
Figura 58 Detalles de la zona estudiada en formato de nube de puntos .....	61
Figura 59. Perfiles de velocidad del sonido en la columna de agua tomados en la campaña.....	62
Figura 60 Variaciones estimadas de la velocidad del sonido en el agua, según las variaciones de la temperatura. ....	62
Figura 61 MDT completo del embalse de Margalef integrado en la ortofoto .....	64
Figura 62. Filtro Paso Banda.....	65
Figura 63. Filtro AGC (Auto Gain Control) .....	65
Figura 64. Registro de la línea 0007_1149 en bruto (imagen superior) y procesado (imagen inferior). ....	66
Figura 65. Registro de la línea 0006_1008 en bruto (imagen superior) y procesado (imagen inferior). ....	66
Figura 66. Situación de las líneas 0007_1149 y 0006_1008.....	67
Figura 67. Registro de la línea 0002_1 con el 3.5 kHz (imagen superior) y el Geopulse (imagen inferior). ....	67
Figura 68. Registro de la línea 0004_0942, obtenido con el 3.5kHz, donde se diferencian las distintas capas que se han definido.....	68
Figura 69. Ejemplo de la línea 000_1008 .....	69
Figura 70 Línea 0006_1008 .....	70
Figura 71. Mapa de isopacas obtenido con velocidades de 1575 m/s para la capa de sedimentos.....	71
Figura 72. Zonas con espesor de sedimento mayor de 1 metro.....	72
Figura 73. Zonas anómalas con espesor de sedimentos 0 metros.....	73
Figura 74 Acreditaciones de Laboratorio Munuera SLU .....	74
Figura 75 Proceso de recepción y secado. ....	75
Figura 76 Rotura de los agregados.....	75
Figura 77 Proceso de tamizado .....	76
Figura 78 Tamices empleados en los ensayos.....	76
Figura 79 Tamizadora programada .....	77
Figura 80 Pesaje de los distintos tamices.....	77

Figura 81 Validación y creación del boletín por tamizado. ....	77
Figura 82 Fase 1, reacción con H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> y secado en estufa .....	78
Figura 83 Fase 2, hexametafosfato y homogenización. ....	78
Figura 84 Fase 3, enrase homogenización y medida de la densidad. ....	79
Figura 85 Fase 4, traspaso de datos al registro y cálculo de contenidos en gravas, arena, limo y arcilla. ....	79
Figura 86 Clasificación de textura por el triángulo de Shepard, validación de datos y generación de boletín .....	79
Figura 87 Comparativa de datos extraídos de distintas fuentes. ....	86
Figura 88 Fuentes consultadas para las cotas de embalse de Margalef .....	86
Figura 89 Tabla Cota-Área-Volumen .....	89
Figura 90 Curva de llenado Cota-Volumen .....	90
Figura 91 Curva Cota-Área.....	90
Figura 92 Comportamiento del sedimento en embalses (R.Cobo.CEDEX).....	91
Figura 93 Ejemplos de la cola del Embalse Margalef. ....	92
Figura 94 Ejemplo de clasificación realizada en el embalse.....	94
Figura 95 Batimetría y backscatter.....	94
Figura 96 Clasificación de fondos .....	95
Figura 97 Batimetría, backscatter y clasificación de fondos. ....	95
Figura 98 Muestra 4 .....	96
Figura 99 Muestra 5 .....	96
Figura 100 Muestra 7 .....	97
Figura 101 Muestra 8 .....	98
Figura 102 Ejemplo de clasificación realizada en el embalse. 2 clases. ....	99

## 13. Anexos


### **13.1** Especificaciones de los equipos utilizados (*pulsar encima*)




**TECMARIN 1990, S.L.**  
C/ Laredo, 500. Urb. Fado-Calipo  
45950-Casarrubios del Monte (Toledo)  
Tif/Fax: +34667335103/+34918139090  
e-mail: [fgonzalez@tecmarin.es](mailto:fgonzalez@tecmarin.es) -  
web: [www.tecmarin.com](http://www.tecmarin.com) -


**CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL SISTEMA INTEGRADO POR ECOSONDA MULTIHAZ DE HAZ ESTRECHO DE MUY ALTA PRECISIÓN Y RESOLUCIÓN Y ESCÁNER LASER , Y DEL SISTEMA DE SÍSMICA DE REFLEXIÓN GEOPULSE CON DOBLE RECEPTOR DIGITAL SIMULTÁNEO.**


### 13.2 Fichas de muestras tomadas en campo


<b>EMBALSE DE MARGALEF</b>	TESTIFICACIÓN SUELOS	Fecha 02/09/2021	
Nº Muestra 1	Coordenadas (Emplazamiento)	315444.23	4575413.07
Tipo de muestra Sup. Cuchara	Profundidad 0m	Fotografías	
Código USCS	SC	<p>Próximo a la cola del embalse. Las arenas son de grano grueso. Parece acumularse en bancos entre las arcillas predominantes.</p> 	
Granulometría mayoritaria >50%	Arenas		
Minoritaria - oso(50-35%), Bastante (35-20%), Algo (20-10%), Indicios (10-5%)	Arcillosas con bastante grava		
Color	Marrón claro – Negro		
Olor			
Consistencia /Compacidad	Rígido y firme		
Materia orgánica	Raíces, ramas en descomposición		
Carbonatos	En gravas		
Restos Antrópicos			
Humedad	Muy húmedo - Saturado		
Excavabilidad / Estabilidad			


<b>EMBALSE DE MARGALEF</b>	<b>TESTIFICACIÓN SUELOS</b>	Fecha 02/09/2021	
Nº Muestra 2	Coordenadas (Emplazamiento)	315322.921	4575125.885
Tipo de muestra Sup. Cuchara	Profundidad 0m	Fotografía s	
Código USCS	GC – OL	Lentejones de gravas en finos firmes y rígidos.	
Granulometría mayoritaria >50%	Gravas y Limos		
Minoritaria - oso(50-35%), Bastante (35-20%), Algo (20-10%), Indicios (10-5%)	Arenosos		
Color	Marrón oscuro – marrón claro		
Olor			
Consistencia /Compacidad	Limos rígidos – gravas sueltas		
Materia orgánica	En limos		
Carbonatos	En gravas		
Restos Antrópicos			
Humedad	Saturado		
Excavabilidad / Estabilidad			




<b>EMBALSE DE MARGALEF</b>	TESTIFICACIÓN SUELOS	Fecha 03/09/2021	
Nº Muestra 3	Coordenadas (Emplazamiento)	314977.374	4575103.887
Tipo de muestra Sup. Van Veen	Profundidad 2m	Fotografías	
Código USCS	OH – OL	<p>Capa de unos 3 cm de restos vegetales en descomposición, similar a turba.</p> 	
Granulometría mayoritaria >50%	Limos y Arcillas		
Minoritaria - oso(50-35%), Bastante (35-20%), Algo (20-10%), Indicios (10-5%)	Con algo de arena		
Color	Marrón, gris oscuro		
Olor	Fuerte		
Consistencia /Compacidad	Suelos blandos y cierta plasticidad		
Materia orgánica	Abundante, con trozos de unos 10cm		
Carbonatos			
Restos Antrópicos			
Humedad	Saturado		
Excavabilidad / Estabilidad			

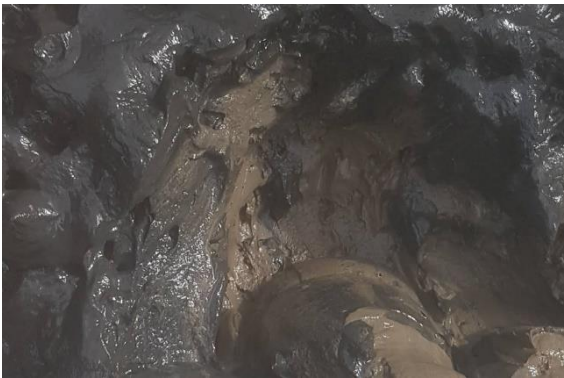
<b>EMBALSE DE MARGALEF</b>	<b>TESTIFICACIÓN SUELOS</b>	Fecha 03/09/2021	
Nº Muestra 4	Coordenadas (Emplazamiento)	314934.943	4575110.348
Tipo de muestra Sup. Van Veen	Profundidad 3.5m	Fotografías	
Código USCS	OH	<p>Una capa de color negro sin cohesión muy líquida. Mucha materia orgánica y restos de plantas en descomposición formando depósitos similar a turbera.</p> 	
Granulometría mayoritaria >50%	Arcillas		
Minoritaria - oso(50-35%), Bastante (35-20%), Algo (20-10%), Indicios (10-5%)	Limosas Con indicios de arenas		
Color	Gris oscuro – Marrón		
Olor	Ligero		
Consistencia /Compacidad	Muy blando, algo plástico		
Materia orgánica	Abundante		
Carbonatos			
Restos Antrópicos			
Humedad	saturado		
Excavabilidad / Estabilidad			


<b>EMBALSE DE MARGALEF</b>	<b>TESTIFICACIÓN SUELOS</b>	Fecha 03/09/2021	
Nº Muestra 5	Coordenadas (Emplazamiento)	314774.673	4574952.866
Tipo de muestra Sup. Van Veen	Profundidad 3m	Fotografías	
Código USCS	OL – OH	<p>Restos vegetales en proceso de descomposición, acumulados en capas de aspecto turbera.</p> 	
Granulometría mayoritaria >50%	Limos		
Minoritaria - oso(50-35%), Bastante (35-20%), Algo (20-10%), Indicios (10-5%)	Arcillosos		
Color	Marrón oscuro - gris		
Olor	Ligero		
Consistencia /Compacidad	Muy blando, algo plastico		
Materia orgánica	Ramas en descomposición, Gusanos		
Carbonatos			
Restos Antrópicos			
Humedad	Saturado		
Excavabilidad / Estabilidad			


<b>EMBALSE DE MARGALEF</b>	TESTIFICACIÓN SUELOS	Fecha 03/09/2021	
Nº Muestra 6	Coordenadas (Emplazamiento)	314732.18	4574831.9
Tipo de muestra Sup. Van Veen	Profundidad 4m	Fotografías	
Código USCS	OH	<p>Capa de unos 5 cm de M.O. en descomposición, por debajo arcillas marrones.</p> 	
Granulometría mayoritaria >50%	Arcillas		
Minoritaria - oso(50-35%), Bastante (35-20%), Algo (20-10%), Indicios (10-5%)	Limosas Con indicios de arena		
Color	Gris oscuro - Marrón		
Olor	Fuerte		
Consistencia /Compacidad	Capa marrón, cierta plasticidad		
Materia orgánica	Abundante		
Carbonatos			
Restos Antrópicos			
Humedad	Saturado		
Excavabilidad / Estabilidad			

<b>EMBALSE DE MARGALEF</b>	TESTIFICACIÓN SUELOS	Fecha 03/09/2021	
Nº Muestra 7	Coordenadas (Emplazamiento)	314888.24	45747000.64
Tipo de muestra Sup. Van Veen	Profundidad 5m	Fotografías	
Código USCS	OH	<p>Capa de unos 2 cm de M.O. negro sin cohesión.</p> 	
Granulometría mayoritaria >50%	Arcillas		
Minoritaria -oso(50-35%), Bastante (35-20%), Algo (20-10%), Indicios (10-5%)	Con abundante M.O.		
Color	Marrón – gris – negro		
Olor	Ligero		
Consistencia /Compacidad	Muy blando, algo plástico		
Materia orgánica	En capa superficial restos de ramas		
Carbonatos			
Restos Antrópicos			
Humedad	Saturado		
Excavabilidad / Estabilidad			



<b>EMBALSE DE MARGALEF</b>	<b>TESTIFICACIÓN SUELOS</b>	Fecha 03/09/2021	
Nº Muestra 8	Coordenadas (Emplazamiento)	315076.159	4574477.165
Tipo de muestra Sup. Van Veen	Profundidad 8.7m	Fotografías	
Código USCS	OH - CH	<p>Capa de unos 3 cm superficial con abundante M.O. Por debajo acillas marrones con algún resto de plantas.</p> 	
Granulometría mayoritaria >50%	Arcillas		
Minoritaria -oso(50-35%), Bastante (35-20%), Algo (20-10%), Indicios (10-5%)	Limosas		
Color	Marrón oscuro – gris – negro		
Olor	Intermedio		
Consistencia /Compacidad	Ligera plasticidad		
Materia orgánica	Abundante Resto de plantas		
Carbonatos			
Restos Antrópicos			
Humedad	Saturado		
Excavabilidad / Estabilidad			

<b>EMBALSE DE MARGALEF</b>	TESTIFICACIÓN SUELOS	Fecha 03/09/2021	
Nº Muestra 9	Coordenadas (Emplazamiento)	314804.906	4574113.133
Tipo de muestra Sup. Van Veen	Profundidad 15m	Fotografías	
Código USCS	OH	<p>Unos 2 cm de lodo negro sin cohesión M.O. en descomposición. Por debajo arcillas marrones con restos de ramas.</p> 	
Granulometría mayoritaria >50%	Arcillas		
Minoritaria - oso(50-35%), Bastante (35-20%), Algo (20-10%), Indicios (10-5%)	Limosas		
Color	Negro – Marrón claro grisáceo		
Olor	Ligero		
Consistencia /Compacidad	En capa arcillosa débil, algo plástico		
Materia orgánica	Abundante en sup		
Carbonatos			
Restos Antrópicos			
Humedad	Saturado		
Excavabilidad / Estabilidad			

<b>EMBALSE DE MARGALEF</b>	TESTIFICACIÓN SUELOS	Fecha 03/09/2021	
Nº Muestra 10	Coordenadas (Emplazamiento)	314561.47	4574175.14
Tipo de muestra Sup. Van Veen	Profundidad 17m	Fotografías	
Código USCS	OH	<p>Unos 2 cm más superficial de color negro sin cohesión. Sigüientes 7-10 cm suelo arcillosos con algún resto de ramas.</p> 	
Granulometría mayoritaria >50%	Arcillas		
Minoritaria - oso(50-35%), Bastante (35-20%), Algo (20-10%), Indicios (10-5%)	Con abundante M.O.		
Color	Marrón gris – Negro		
Olor	Fuerte		
Consistencia /Compacidad	Capas marrones algo plásticas		
Materia orgánica	Restos vegetales		
Carbonatos			
Restos Antrópicos			
Humedad	Saturado		
Excavabilidad / Estabilidad			

### 13.3 Análisis de laboratorio de las muestras

## 14. Planos

### 14.1 PLANO DE NAVEGACIÓN

### 14.2 PLANO BATIMÉTRICO Y TOPOGRÁFICO

### 14.3 PLANO ISOPACAS DE LOS SEDIMENTOS NO CONSOLIDADOS

### 14.4 PLANO DE CLASIFICACIÓN AUTOMÁTICA DEL BACKSCATTER