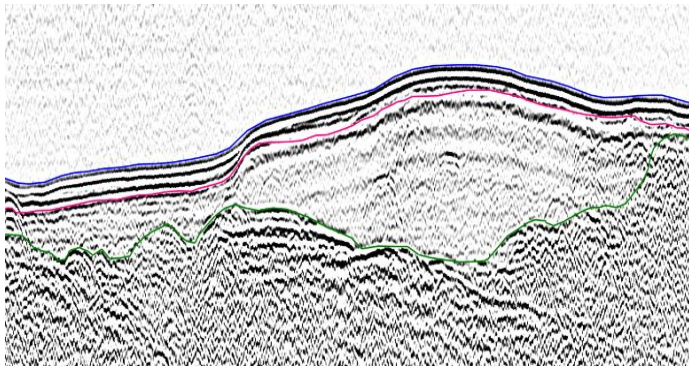
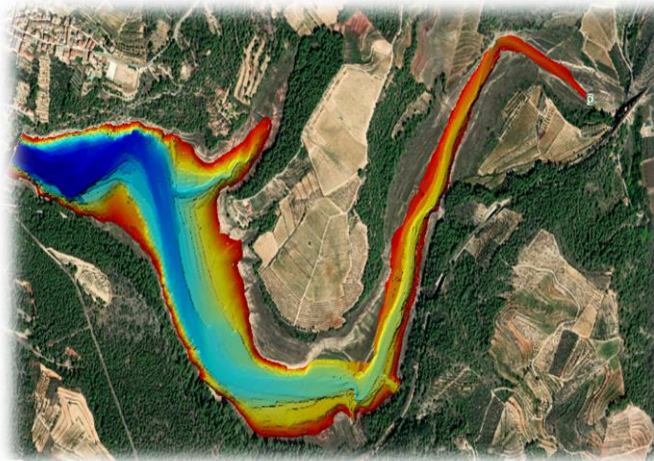




LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO MULTIHAZ, GEOFISICO Y TOMA DE MUESTRAS EMBALSE GUIAMETS



MEMORIA Y PLANOS

Empresa Consultora:

UTE EBRO

JULIO 2021



INDICE

INDICE	3
1. INTRODUCCIÓN	6
2. ÁREA DE ESTUDIO.....	7
3. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE	8
3.1 FICHA DE LA PRESA MITECO	9
3.2 CARTOGRAFÍA ANTIGUA DE LA PRESA	10
3.3 PLANO DEL DOCUMENTO XYZT DE LA DEL ESTUDIO DE 2003	10
4. MARCO GEOLÓGICO DE LA ZONA DE ESTUDIO	14
5. EQUIPO TÉCNICO.....	17
6. METODOLOGÍA.....	18
6.1 POSICIONAMIENTO.....	18
6.2 CORRECCIÓN DE MOVIMIENTOS Y RUMBO	20
6.3 BATIMETRÍA MULTHAZ	22
6.4 LEVANTAMIENTO LIDAR	24
6.5 SÍSMICA DE REFLEXIÓN DE ALTA RESOLUCIÓN	24
6.6 TOMA DE MUESTRAS DEL FONDO	27
7. EQUIPOS UTILIZADOS	28
7.1 POSICIONAMIENTO.....	28
<i>Estación Base</i>	<i>29</i>
<i>GPS Móvil (Rover)</i>	<i>29</i>
<i>Sensor de movimiento y rumbo</i>	<i>31</i>
<i>Sistema de navegación y adquisición</i>	<i>33</i>
7.2 BATIMETRÍA.....	36
<i>Ecosonda Multihaz</i>	<i>36</i>
<i>Velocidad de propagación del sonido.</i>	<i>38</i>
7.3 SISTEMA LIDAR/LASER SCANNER 3D.....	40
7.4 SÍSMICA	42
<i>Geopulse</i>	<i>42</i>
<i>Receptor de 3.5Khz adaptado al Boomer</i>	<i>45</i>
7.5 DRAGA VANVEEN Y CORER.....	48

7.6	EMBARCACIÓN EMPLEADA	49
8.	TRABAJO DE CAMPO	51
8.1	PLANIFICACIÓN Y PREPARACIÓN	51
8.2	REFERENCIA UTILIZADA Y COMPROBACIONES	51
	<i>Control de altura de la lámina de agua</i>	<i>52</i>
8.3	LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO Y TOPOGRÁFICO	53
8.4	LEVANTAMIENTO SÍSMICO	58
8.5	TOMA DE MUESTRAS	60
9.	PROCESADO DE DATOS	63
9.1	PROCESADO DE LOS DATOS BATIMÉTRICOS	63
	<i>Aplicación de los Perfiles de Velocidad</i>	<i>64</i>
	<i>Calibración del Sistema Multihaz</i>	<i>65</i>
	<i>Filtrado de los Datos</i>	<i>66</i>
	<i>Representación de los datos</i>	<i>67</i>
9.2	PROCESADO E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS SÍSMICOS	68
	<i>Introducción</i>	<i>68</i>
	<i>Procesado</i>	<i>72</i>
	<i>Interpretación y resultados de los perfiles sísmicos</i>	<i>76</i>
9.3	ANÁLISIS EN LABORATORIO DE LAS MUESTRAS	82
	<i>Recepción y preparación de las muestras</i>	<i>82</i>
	<i>Principio del método</i>	<i>83</i>
	<i>La norma de referencia</i>	<i>83</i>
	<i>Granulometría por Tamizado según el procedimiento interno PE/MUNLAB/06 255</i>	<i>84</i>
	<i>Granulometría por sedimentación según el procedimiento interno PE/MUNLAB/06 250 ..</i>	<i>85</i>
	<i>RESUMEN GRANULOMETRÍAS</i>	<i>88</i>
9.4	CÁLCULO DE VOLÚMENES Y SUPERFICIES	98
	<i>Capacidad máxima actual del embalse</i>	<i>99</i>
	<i>Volumen de sedimentos acumulados</i>	<i>99</i>
	<i>Tablas y gráficas del embalse de Guiamets</i>	<i>100</i>
	<i>TABLA COTA- AREA-VOLUMEN</i>	<i>101</i>
	<i>GRAFICAS AREA VOLUMEN</i>	<i>102</i>
10.	CLASIFICACIÓN DEL FONDO	103
10.1	DESCRIPCIÓN DEL FENÓMENO DE SEDIMENTACIÓN DE UN EMBALSE	103
10.2	PROCESO DE CLASIFICACIÓN DE FONDOS	104
11.	CONCLUSIONES	110

12.	ÍNDICE DE FIGURAS	113
13.	ANEXOS	118
13.1	ESPECIFICACIONES DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS (<i>PULSAR ENCIMA</i>)	118
13.2	FICHAS DE CAMPO DE LAS MUESTRAS TOMADAS	119
13.3	ANÁLISIS DE LABORATORIO DE LAS MUESTRAS	137
14.	PLANOS.....	138
14.1	PLANO DE NAVEGACIÓN	138
14.2	PLANO BATIMÉTRICO Y TOPOGRÁFICO.....	138
14.3	PLANO ISOPACAS DE LOS SEDIMENTOS NO CONSOLIDADOS	138
14.4	PLANO ISOPACAS DEL SUSTRATO.....	138
14.5	PLANO ISOPACAS TOTAL DE LOS SEDIMENTOS	138
14.6	PLANO ISOPACAS DE LOS FANGOS, LIMOS Y LODOS	138
14.7	PLANO DE CLASIFICACIÓN AUTOMÁTICA DEL BACKSCATTER	138

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 corresponde al embalse de Guiamets.

2. Área de Estudio

La zona de estudio se localiza en el embalse de Guiamets, dentro de la comarca de El Priorato en la provincia de Tarragona, y más concretamente entre las localidades de Guiamets y Capsanes, embalsando las aguas del río Asmat.

El embalse de Guiamets pertenece a la Cuenca Hidrográfica del Ebro, ocupa una superficie aproximada de 72 Has, una capacidad de unos 12 Hm³ y se terminó de construir en el año 1983 con la finalización de la presa de gravedad que corona el embalse.

El estudio abarca toda el área que cubre la lámina de agua a fecha de 16-19 de Junio de 2021, días en que se hicieron las mediciones topo-batimétricas y geofísicas.

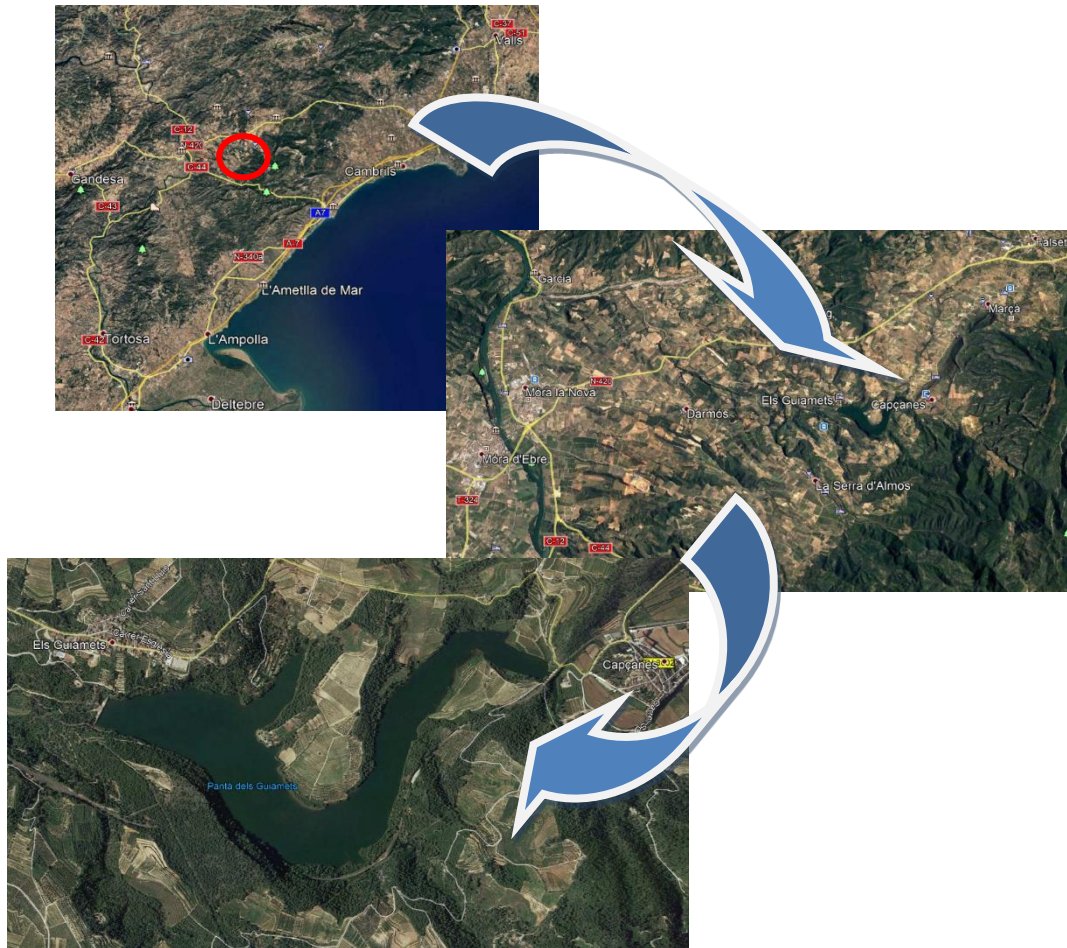


Figura 1 Plano de Situación

3. Recopilación y análisis de la información existente

Durante la fase inicial del proyecto se realizó una recopilación de todos los datos 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).

De este embalse se consiguió obtener un plano topográfico previo a la construcción de la presa de 1962, y posteriormente se nos hizo llegar parte de un estudio realizado en 2003 por la UTE Inclam-Surge que no incluye batimetría, aunque sí las tablas y curvas del embalse.

En este último se menciona un estudio batimétrico del CEDEX de 2001 que no se nos ha proporcionado.

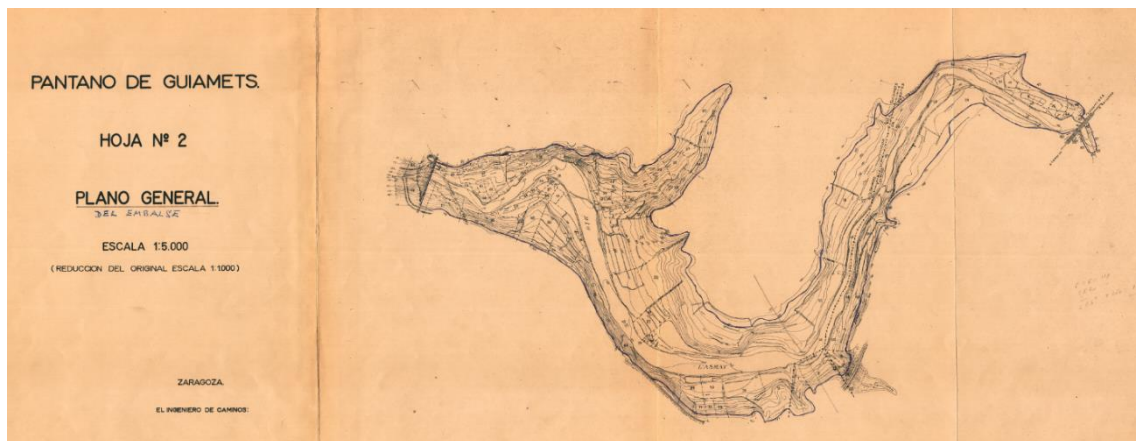


Figura 2 Plano realizado a mano en el proyecto original de 1962.

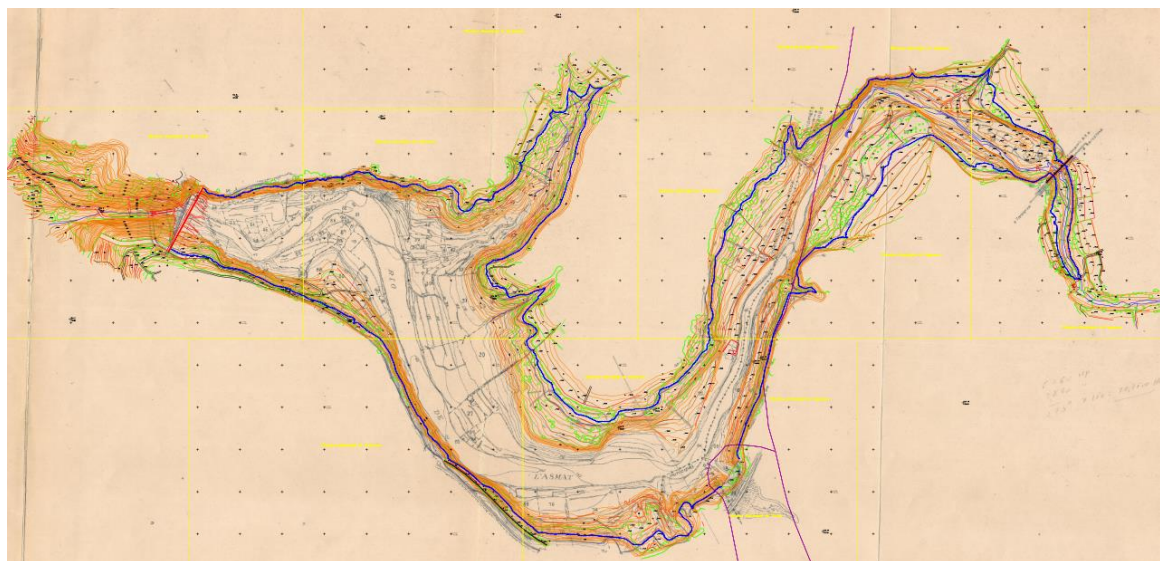



Figura 3 Cruce de datos entre el proyecto 2003 y el proyecto original 1962.

3.1 Ficha de la presa MITECO

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



Ficha técnica de la Presa: GUIAMETS

1. DATOS ADMINISTRATIVOS

Nombre de la presa:	GUIAMETS
Otro Nombre:	---
Fase vida presa:	Explotación
Titular de la presa:	ESTADO
Proyectista:	S-GOSSEO
Categoría en función del riesgo potencial:	A
Aprobación de las normas de explotación:	23-10-2009
Aprobación del plan de emergencia:	---
Fecha de finalización de las obras:	31-12-1983

3. USOS DEL EMBALSE

Usuarios:	CANAL DE DARMOS Y RAMAL CANAL DE MASROIG, ---, ---
Tipos:	riego, ---, ---



5. DATOS DEL EMBALSE

Superficie del embalse a NMN (ha):	71,778
Capacidad a NMN (hm ³):	11,195
Cota del NMN (m):	176,000


7. DATOS DEL ALIVIADERO

Número total de aliviaderos en la presa:	1
Regulación:	No, Labio fijo.
Capacidad (m ³ /s):	84,620

9. FOTOGRAFÍAS

2. DATOS GEOGRÁFICOS



Río en el que se encuentra la presa:	ASMAT
Municipio:	GUIAMETS, ELS
Cuenca hidrográfica:	EBRO
Provincia:	TARRAGONA
Coordenadas UTM 30 - ED 50:	815503 - 4556697

4. DATOS HIDROLÓGICOS

Superficie de la cuenca hidrográfica (km ²):	75,000
Aportación media anual (hm ³):	100,000
Precipitación media anual (mm):	630,000
Caudal punta avenida de proyecto (m ³ /s):	283,000

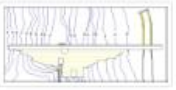

4. DATOS DE LA PRESA

Tipo de presa:	Gravedad
Cota coronación (m):	178
Altura desde cimientos (m):	50,000
Longitud de coronación (m):	189
Cota cimentación (m):	128,000
Cota del cauce en la presa (m):	132,000
Volumen del cuerpo presa (1000 m ³):	62,000

8. DATOS DEL DESAGÜE

Número total de desagües en la presa:	1
Capacidad (m ³ /s):	30,000

10. PLANOS

3.2 Cartografía antigua de la presa

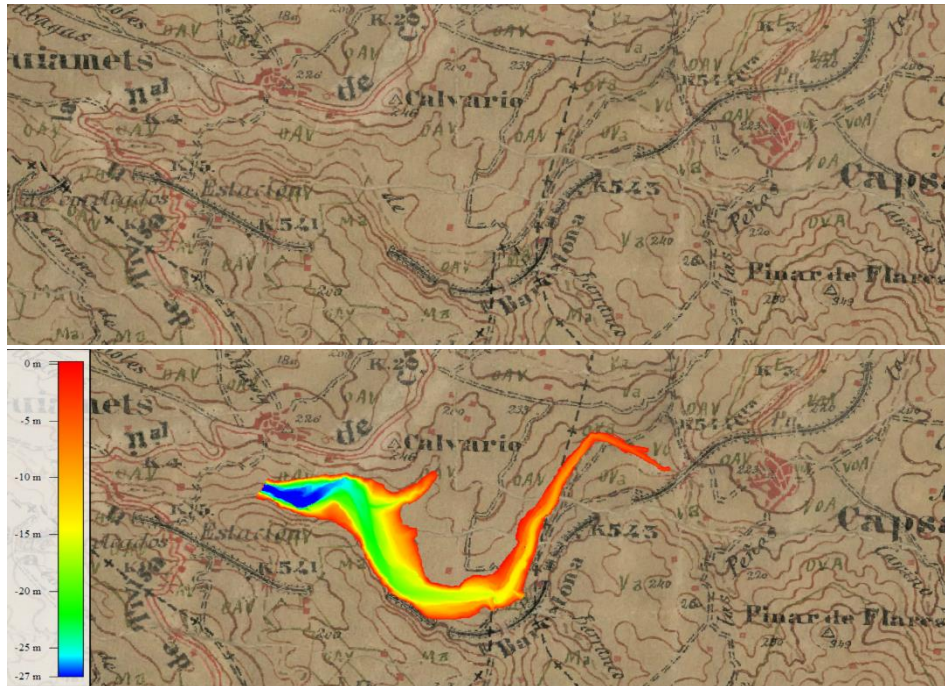


Figura 4 Batimetría actual superpuesta en cartografía Minuta MTN50 (IGN).

3.3 Plano del documento XYZT de la del estudio de 2003

Se han cruzado los datos de la cartografía original de proyecto de 1962 de la presa con el estudio realizado en 2003. En el plano que se ha conseguido de proyecto no se indica la referencia altimétrica en el que está realizado y presenta unas grandes diferencias de más de 10 metros, sumado a la escasa resolución del plano de origen realizado a mano.

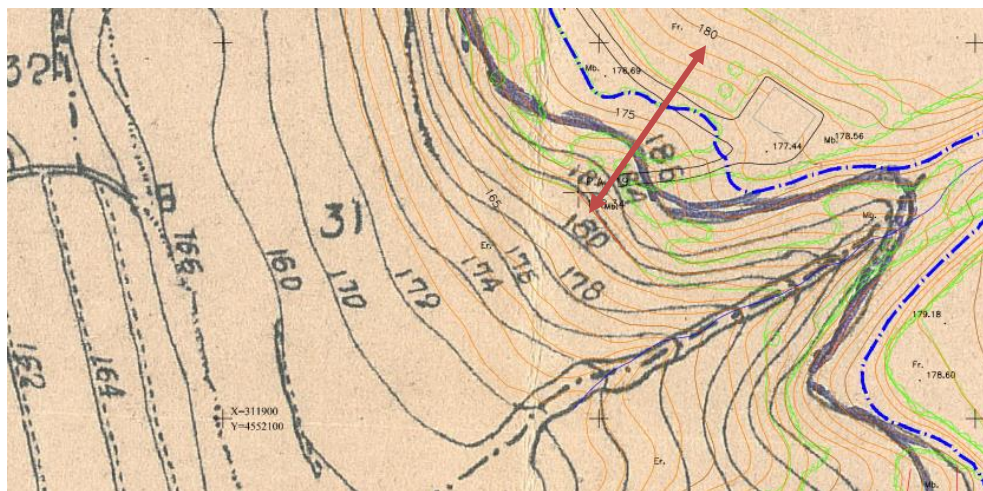


Figura 5 Diferencia de separación de curvas en el proyecto original.

Como ejemplo en la Figura 6 se puede apreciar que junto a la curva del estudio de 2003 que marca la cota 161m, la curva más próxima asociable, con las respectivas diferencias entre estudios, en el proyecto de origen de 1962 es la cota 170m. Estas diferencias y la falta de referencias propiamente dichas, hace que la comparación del estudio realizado con estos datos no se pueda realizar con coherencia.

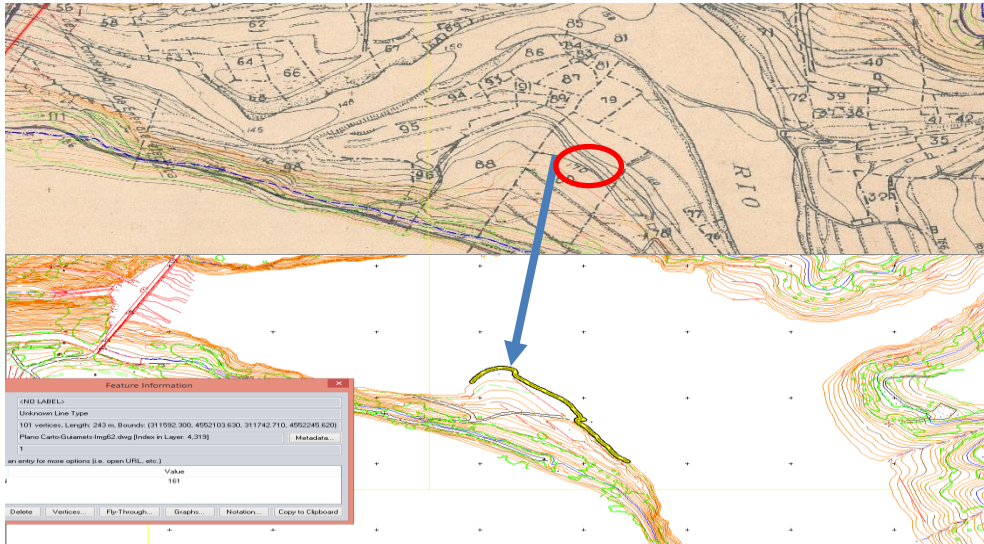


Figura 6 Diferencia de cotas entre el proyecto inicial 1962 y el estudio realizado en 2003

De los datos del estudio denominado como XYZT realizado por la UTE Inclam-Surge se aprecia que no están incluidas curvas batimétricas del fondo del embalse en la información proporcionada por la CHE, por lo que estos datos no pueden ser usados para realizar una cubicación.



Figura 7 Datos facilitados por la CHE.

Por otro lado se ha realizado a su vez un análisis comparativo de las cotas del estudio de 2003 con los datos LIDAR del PNOA, proporcionados por el IGN. En esta comparativa se han observado diferencias de más de un metro, cuando ambos datos deberían de estar referidos al cero IGN.

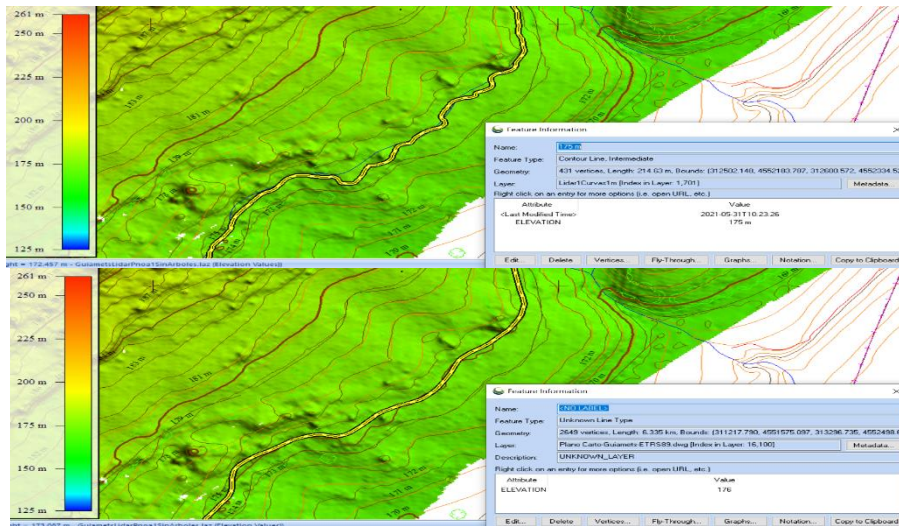


Figura 8 Comparativa con diferencias de más de 1m entre curvas entre el LIDAR PNOA actual (arriba) y los datos del estudio realizado en 2003 (abajo).

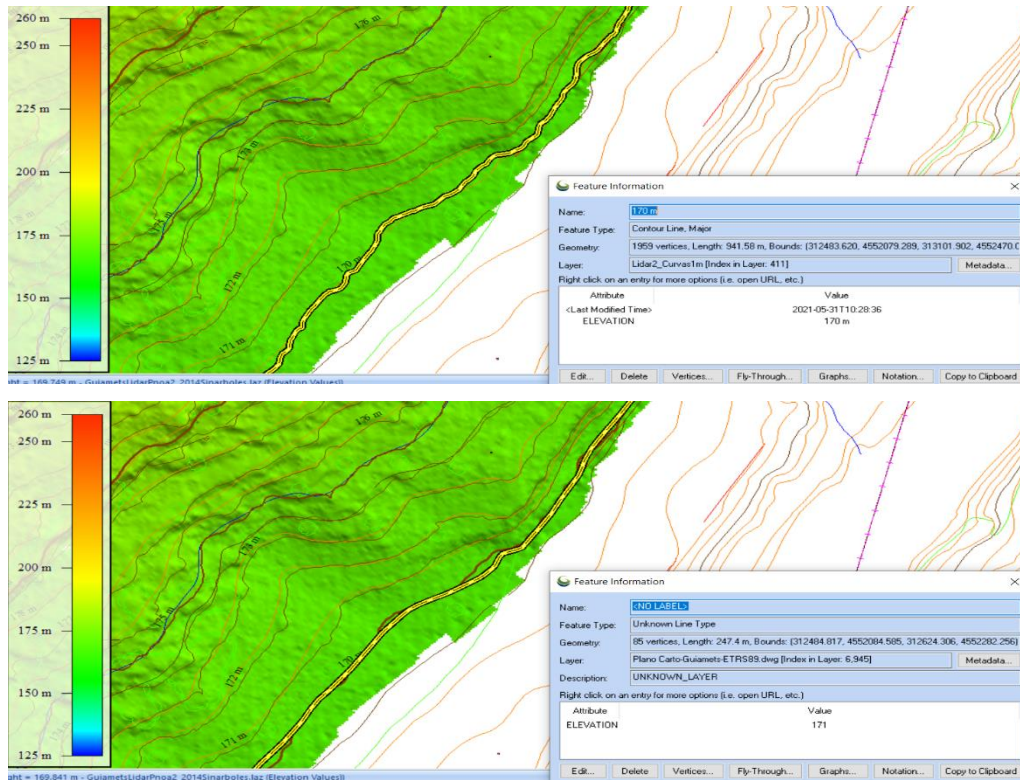


Figura 9 Comparativa con diferencias de más de 1m entre curvas entre el LIDAR PNOA actual (arriba) y los datos del estudio realizado en 2003 (abajo).

Las diferencias encontradas en los datos proporcionados, hacen que la realización de una cubicación por comparación de la batimetría multihaz de alta precisión + LIDAR con el histórico de datos previos no tenga sentido, debido a que esas diferencias en cotas y en resoluciones darían como resultado unas cubicaciones falsas

del sedimento acumulado. Una diferencia de 1m en cota en los datos puede llegar a más de 70.000 m³ o 0.070 Hm³

4. MARCO GEOLÓGICO DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio se sitúa, a grandes rasgos, al suroeste de la llamada Cordillera Costero Catalana, hacia la cuenca del Ebro.

La morfología en la zona, muestra un relieve abrupto hacia el este alcanzando algunas altitudes considerables en cortos intervalos de terreno, llegando a cotas de 800m, que corresponden con alguna cima de la anteriormente mencionada, Cordillera Costero Catalana (NE-SO).

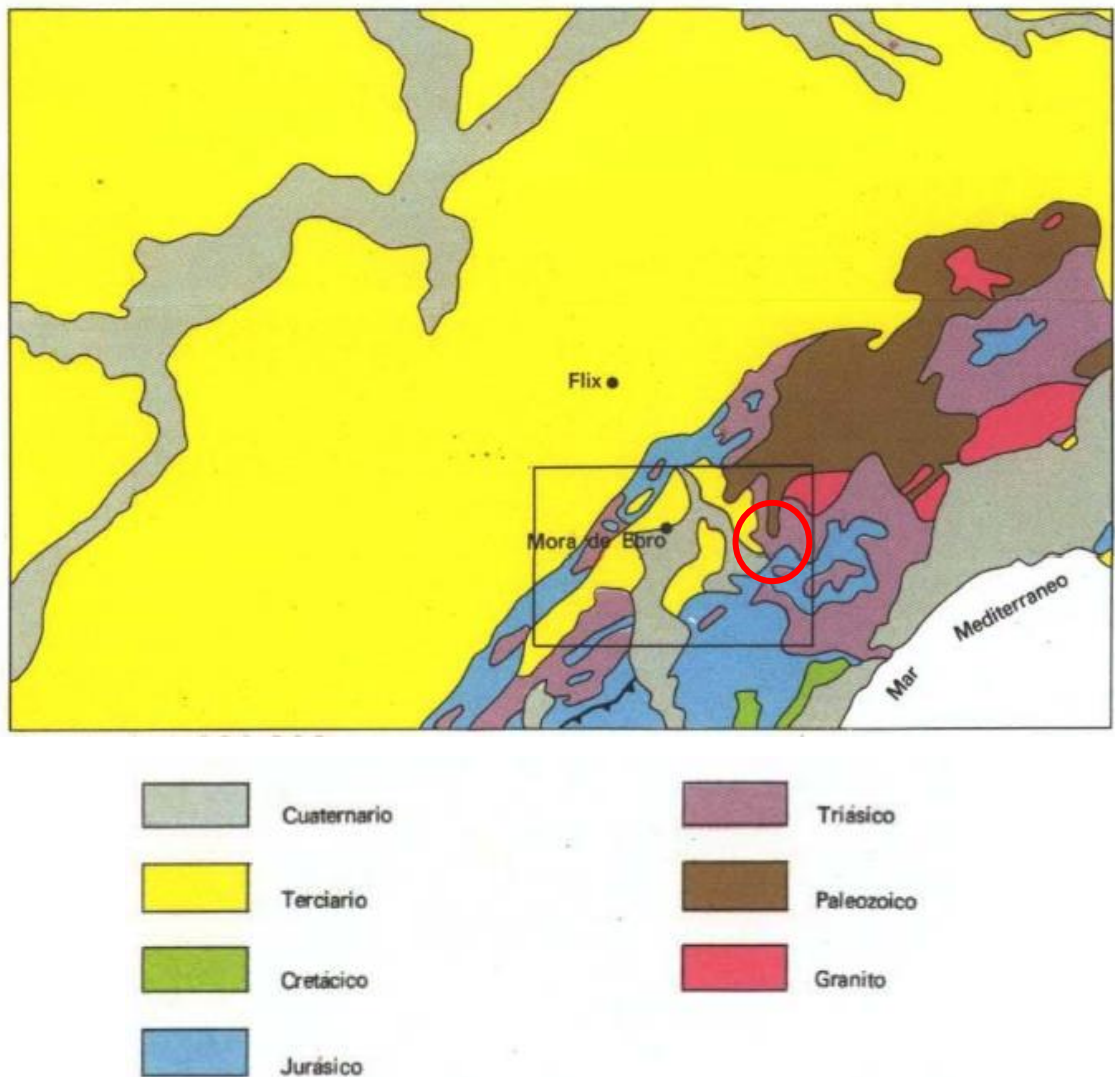


Figura 10 Mapa regional de unidades geológicas donde se aprecia la orientación NE-SO de la Cordillera.

Los cauces y barrancos que desaguan al noroeste crearon grandes abanicos aluviales terciarios, que colmataron las depresiones de Mora, apoyados en esta zona sobre materiales triásicos y jurásicos.

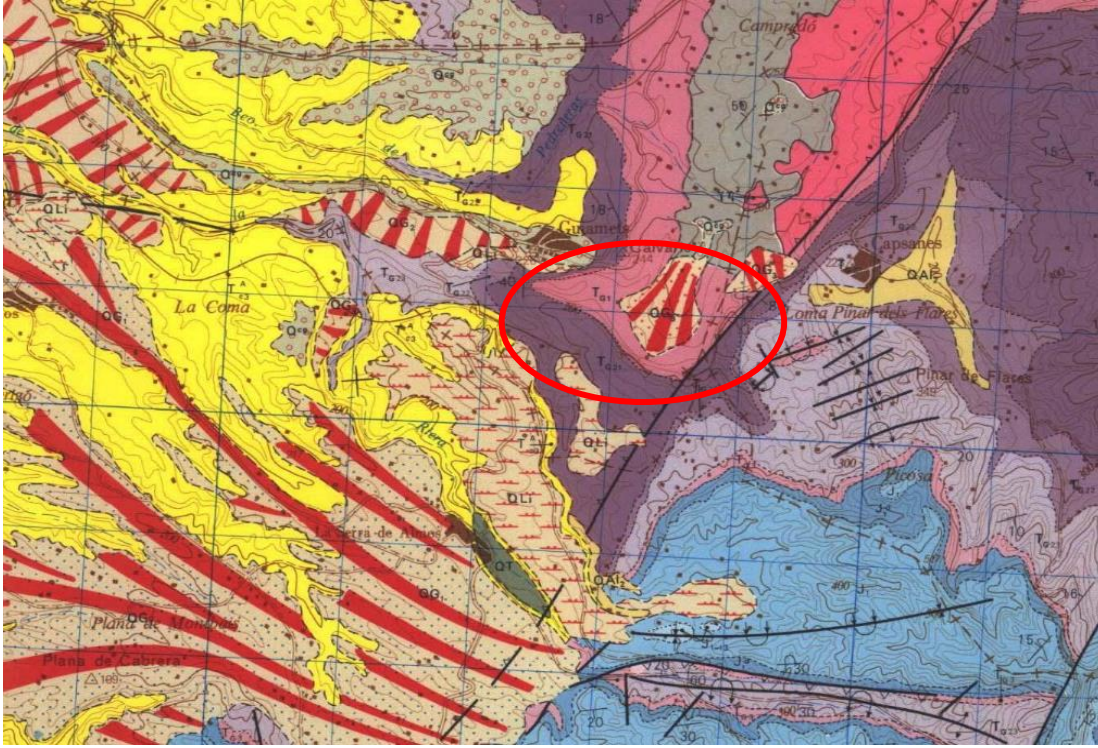


Figura 11. Sección del Mapa geológico 471 (Mora de Ebro) a escala 1:50000, 2ª serie MAGNA. Cartografía IGME.

La zona donde se localiza el embalse de Guiamets (elipse roja) es un área donde predominan los materiales triásicos con las facies germánicas. Se observa el Buntsandstein, compuesto principalmente por areniscas, conglomerados y margas, y el Muschelkalk, que se puede dividir en depósitos inferiores formados por dolomías y depósitos medios, formado por arcillas y yesos.

Los materiales triásicos descritos se sitúan por encima de las rocas carboníferas, principalmente formadas por pizarras y areniscas, con cierto grado de metamorfismo regional debido a la intrusión de granodioritas. Estas rocas intrusivas junto con las del periodo Carbonífero son las que forman el zócalo Hercínico. El contacto con los materiales triásicos es discordante ya que, en 50 millones de años, correspondiente al periodo Pérmico, no hay registro sedimentario y las rocas carboníferas y las granodioritas asociadas fueron erosionadas, creando paleorrelieves, que fueron cubiertos parcialmente por los sedimentos triásicos.

La tectónica de la zona está marcada por una alineación NE-SO que corresponde a la dirección de la Cordillera de la Costa. Varias fallas son de edad hercínica que se

reactivaron durante la orogenia alpina. Esto ocurre con la falla de Marsá que es la mas próxima al embalse de Guiamets, que discurre al oeste de Capsanes, próxima al puente ferroviario y al extremo sureste del embalse.

Los depósitos terciarios y cuaternarios que se sitúan sobre los materiales triásicos y paleozoicos pueden llegar a tener varios metros de potencia. Son conglomerados mixtos con gran tamaño de bloques y barras de arena, todo ello con una matriz de finos. Parecen ser antiguas terrazas fluviales y depósitos de ladera que fueron aprovechados por el ser humano para cultivo, creando bancales con las rocas de mayor tamaño por amplias zonas del valle que hoy forman el cuerpo del embalse.



Figura 12. Depósitos terciarios ubicados en la cola del embalse.

Sobre los depósitos terciarios y cuaternarios descritos anteriormente se asientan los materiales más recientes, que son el resultado de la retención del curso del agua del río por el embalse, y su estudio constituye el objeto del presente informe.

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).

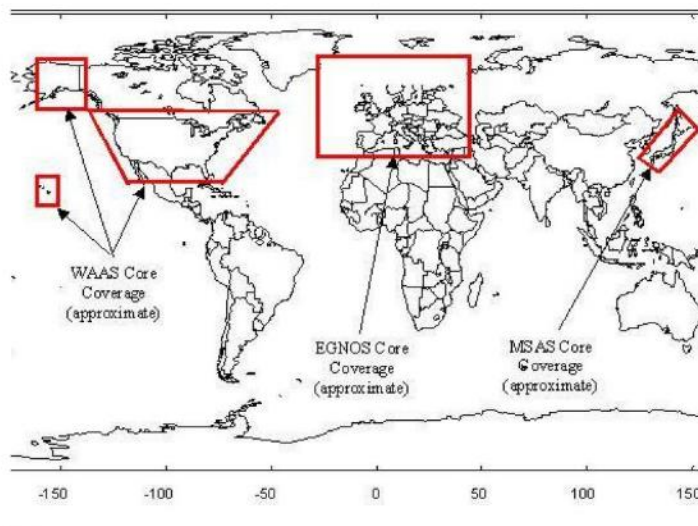


Figura 13 Cobertura de distintos sistemas diferenciales satelitales

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.

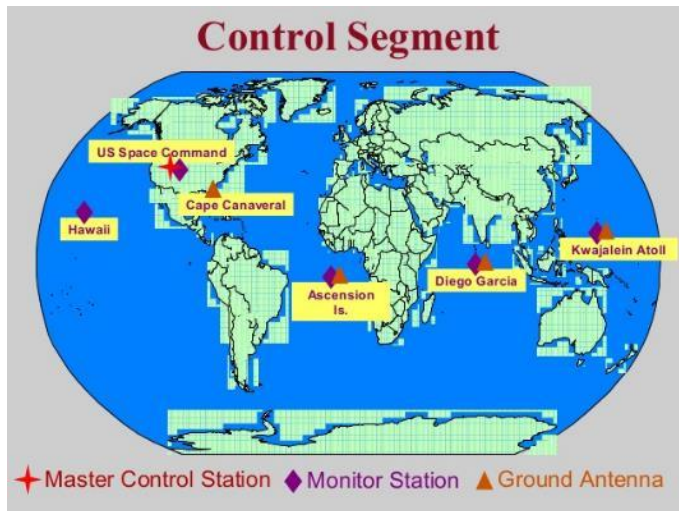


Figura 14 Segmento de control sistema Navstar

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.

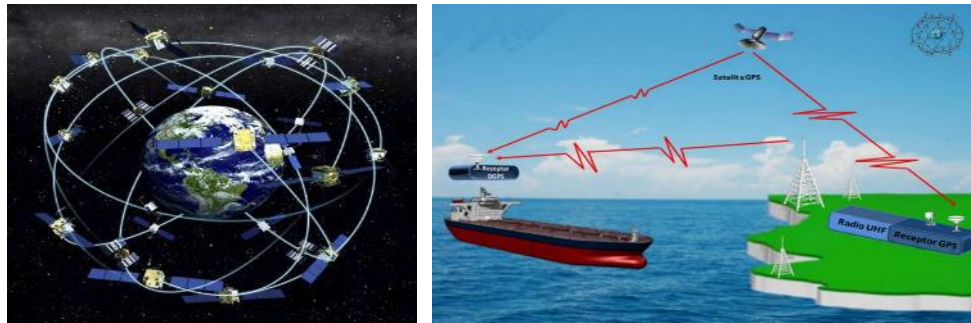


Figura 15. Imágenes con la constelación Navstar y un esquema de los tres segmentos que la componen.

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 16). Es un sistema compacto que en un periodo muy corto alcanza la precisión necesaria, que está en el orden de 0.02° de grado para el rumbo (heading) para la separación de

antenas usada, de 0.03° para las inclinaciones (pitch y roll), y de unos 5cm para la altura de ola (heave) (Figura 17).



Figura 16. 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.

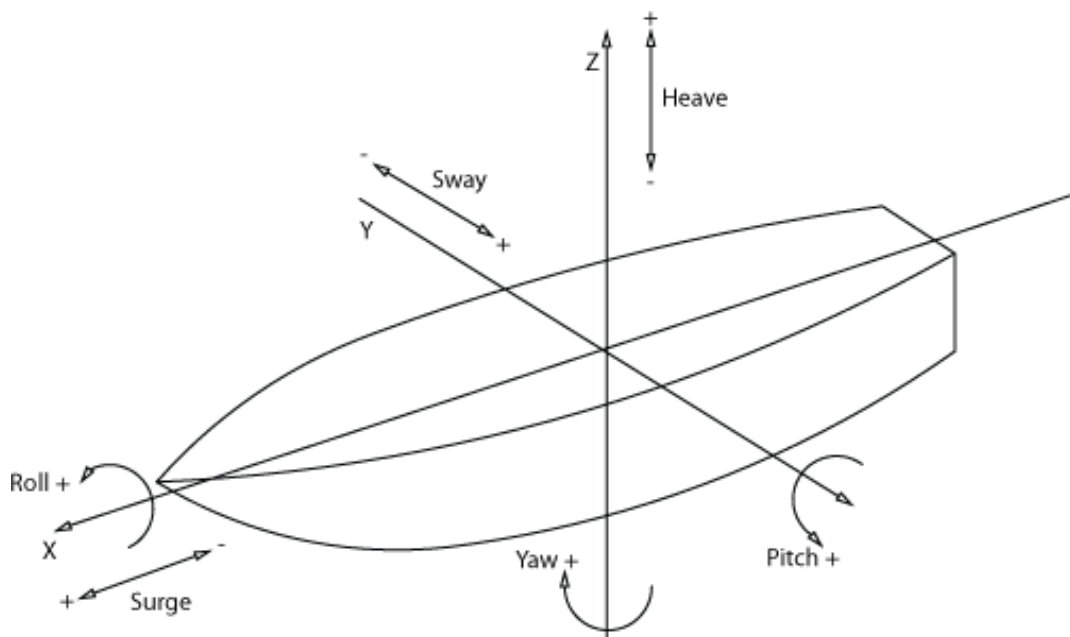


Figura 17. Esquema de las medidas que toma el sensor de movimiento

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 βαθυσ (profundo) y μετρον (medida) y es el equivalente en profundidad a la altimetría en topografía.

Aparte de otras técnicas obsoletas, la profundidad se mide con ecosondas (Figura 18). 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.

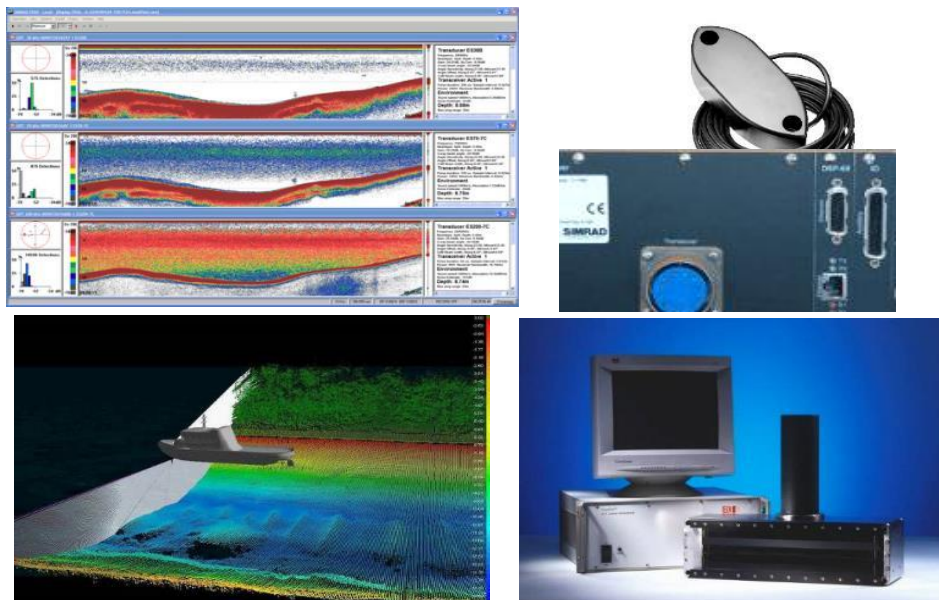


Figura 18. Ecosondas: Monohaz (Parte Superior) y Multihaz (Parte Inferior)

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.

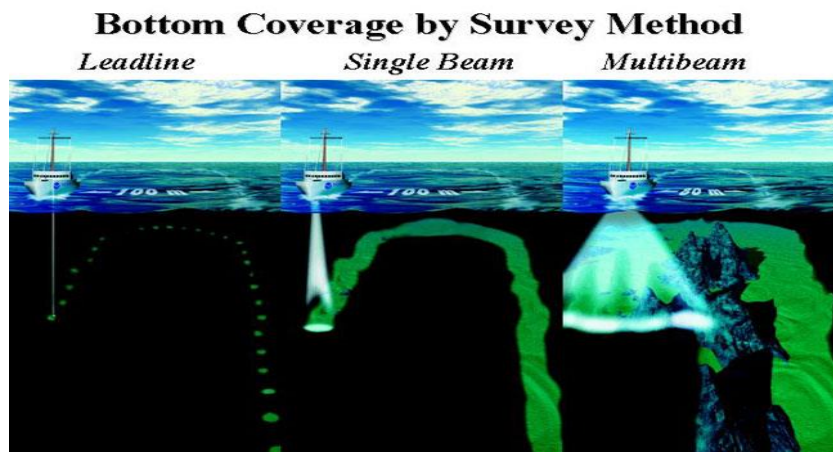


Figura 19. Tipos de medidas batimétricas y su cobertura (NOAA).

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.

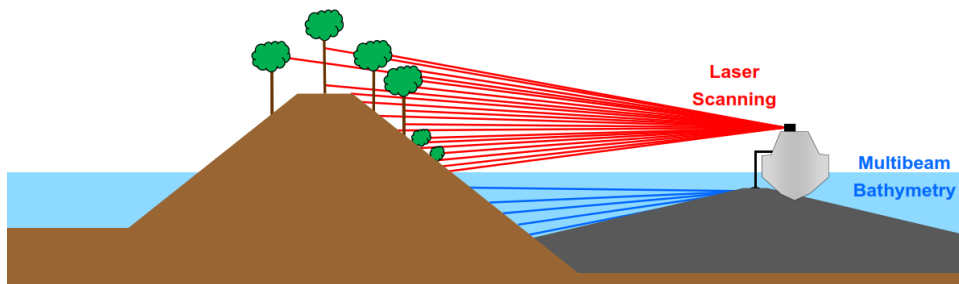


Figura 20 Esquema de levantamiento Batimétrico + LIDAR desde embarcación

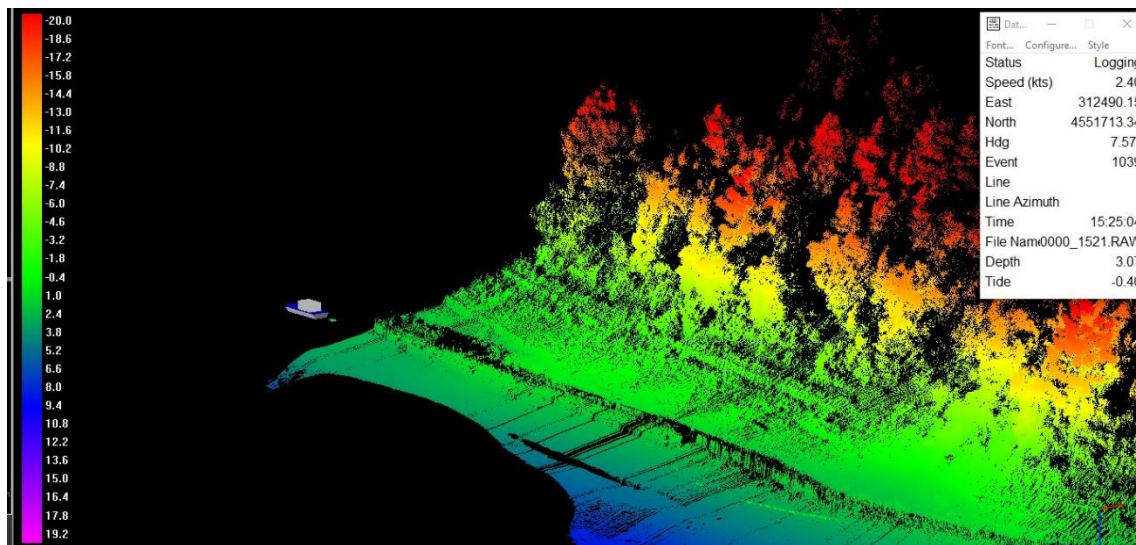


Figura 21 Levantamiento LIDAR desde embarcación

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).

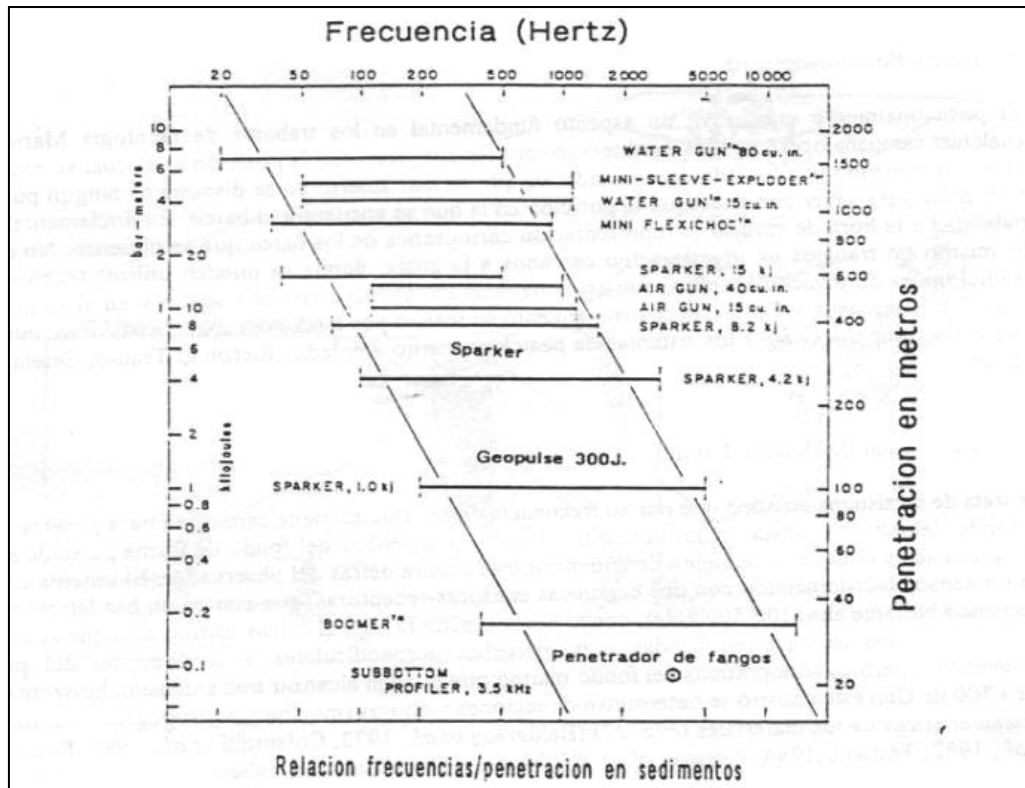


Figura 22 Esquema gráfico donde se establece la relación entre frecuencia y penetración en sedimentos (Trabant, 1984).

- 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 23 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.

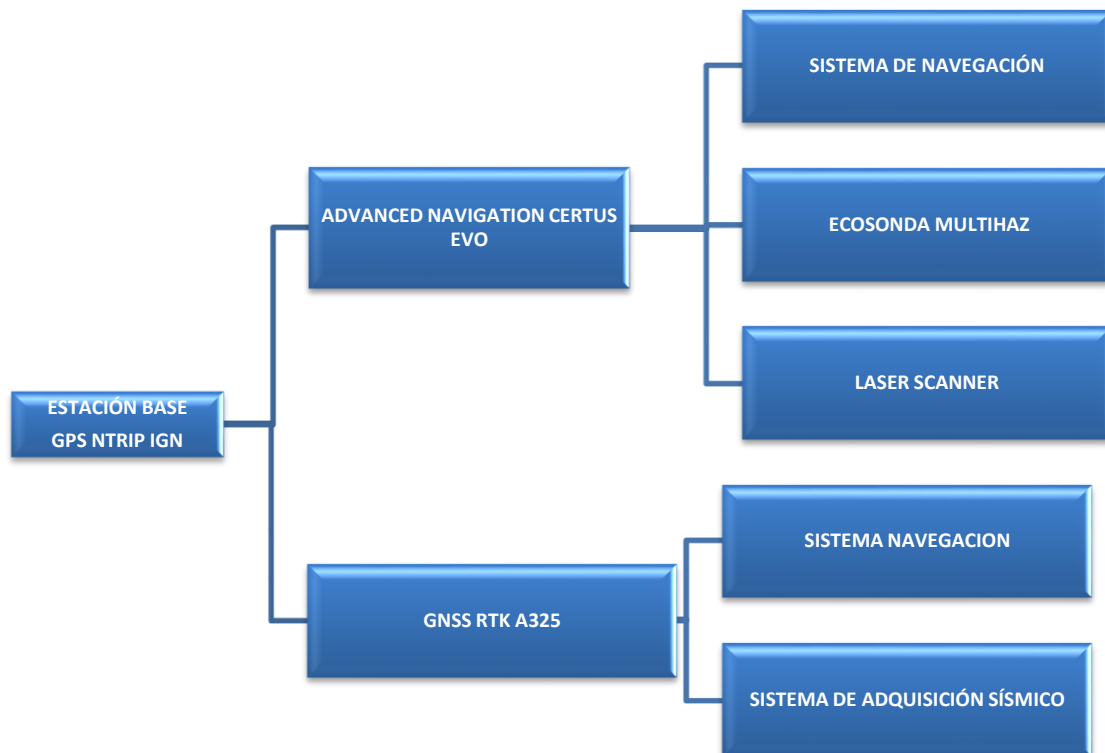


Figura 24 Esquema de integración de datos GPS para batimetría + LIDAR y levantamiento sísmico

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).

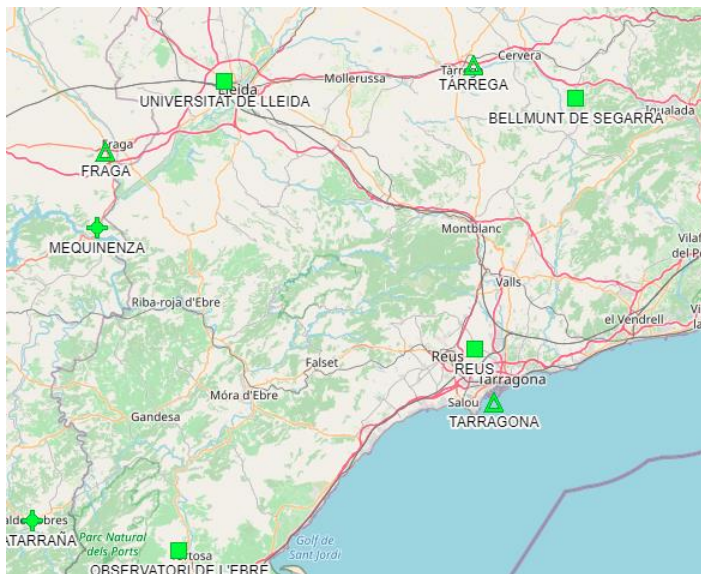


Figura 25 Bases de IGN e ICGC próximas a la zona

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

Precision	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
Convergence time	~5 s typically	
Signal tracked	GPS/QZSS L1C/A, L2C, GLONASS L1OF, L2OF, BeiDou B1I, B2I, Galileo E1-B/C, E5b	
Number of channels	184	
Update rates	10Hz GPS / 5Hz GNSS	
IMU	9DOF	

CONNECTIVITY

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

Figura 26 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: ³ 3	10 mm + 1 ppm	20 mm + 2 ppm
SBAS (WAAS): ² 2	0.3 m	0.6 m
Autonomous, no SA: ² 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 27 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 28 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 24 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° Roll/pitch y en rumbo mejor que 0.05° con 1m de separación entre antenas. Este sistema además permite el uso de Postprocesado llegando a precisiones angulares de 0.01° Roll/Pitch y 0.01° 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 29 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).

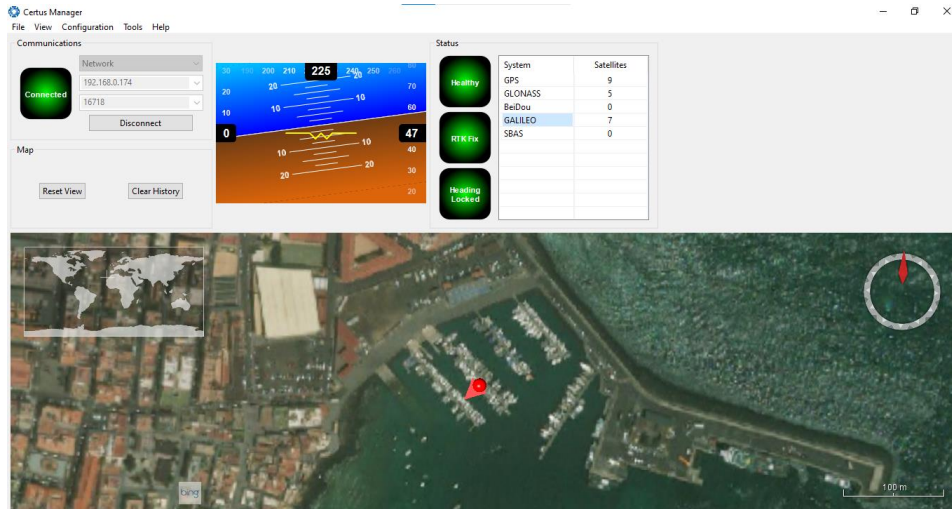


Figura 30 Pantalla de control y configuración Advanced Navigation Certus EVO.

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 31 y Figura 32) y alarmas configurables.



Figura 31 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 32 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 (>30.000ptos/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).

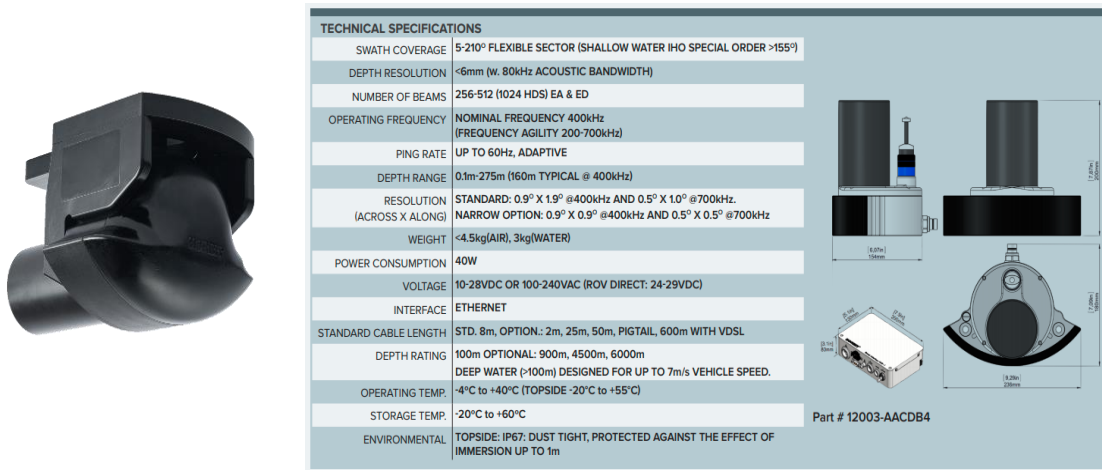


Figura 33 Ecosonda Norbit WBMS

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).

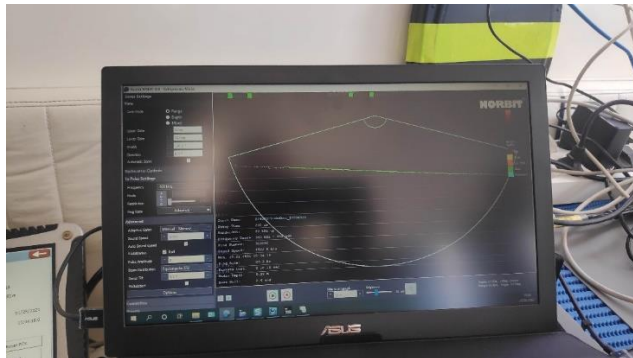


Figura 34 Pantalla de control del sistema Norbit.

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 35 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 35.

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 36 (abajo).



Figura 36 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:	
Sensor:	<ul style="list-style-type: none"> • 16 Channels • Measurement Range: 100 m • Range Accuracy: Up to ± 3 cm (Typical)¹ • Field of View (Vertical): +15.0° to -15.0° (30°) • Angular Resolution (Vertical): 2.0° • Field of View (Horizontal): 360° • Angular Resolution (Horizontal/Azimuth): 0.1° - 0.4° • Rotation Rate: 5 Hz - 20 Hz • Integrated Web Server for Easy Monitoring and Configuration
Laser:	<ul style="list-style-type: none"> • Laser Product Classification: Class 1 Eye-safe per IEC 60825-1:2007 & 2014 • Wavelength: 903 nm
Mechanical/ Electrical/ Operational	<ul style="list-style-type: none"> • Power Consumption: 8 W (Typical)² • Operating Voltage: 9 V - 18 V (with Interface Box and Regulated Power Supply) • Weight: ~830 g (without Cabling and Interface Box) • Dimensions: See diagram on previous page • Environmental Protection: IP67 • Operating Temperature: -10°C to +60°C³ • Storage Temperature: -40°C to +105°C
Output:	<ul style="list-style-type: none"> • 3D LIDAR Data Points Generated: <ul style="list-style-type: none"> - Single Return Mode: ~300,000 points per second - Dual Return Mode: ~600,000 points per second • 100 Mbps Ethernet Connection • UDP Packets Contain: <ul style="list-style-type: none"> - Time of Flight Distance Measurement - Calibrated Reflectivity Measurement - Rotation Angles - Synchronized Time Stamps (μs resolution) • GPS: \$GPRMC and \$GPGGA NMEA Sentences from GPS Receiver (GPS not included)

63-9229 Rev-H

Figura 37 Especificaciones Velodyne VLP16



Figura 38 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 39), 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.

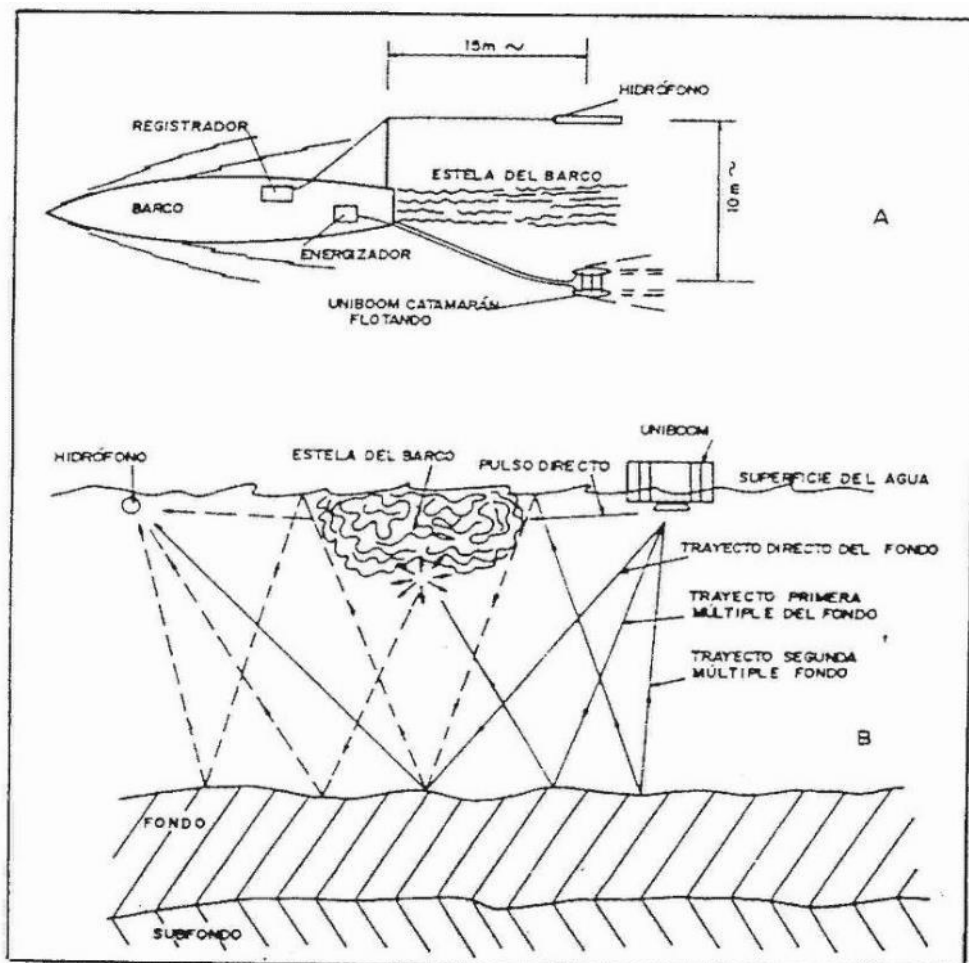


Figura 39. A. Esquema gráfico con la disposición de los subsistemas de un equipo sísmico de alta resolución y media penetración (Uniboom o Geopulse); B. Efecto pantalla producido por la estela de un buque (Rev. 1990)

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 42).



Figura 40. Fuente de alimentación del emisor sísmico.

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



Figura 41. Catamarán con emisor acústico

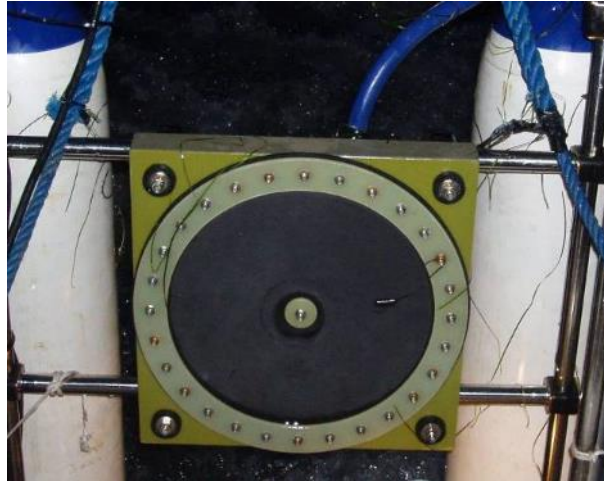


Figura 42. Boomer emisor acústico

- Hidrófono receptor (Modelo AAE-8) o “Streamer” (Figura 43). 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 43. Hidrófono receptor acústico o Streamer

- Procesador digital de señal (Octopus 360) con compensador electrónico de oleaje (Figura 44). 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 44 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 45) y un segundo procesador digital Octopus 360, con las mismas características que el primero.



Figura 45. 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 46 Sistema remolcado trabajando en la zona

7.5 Draga VanVeen y Corer

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.

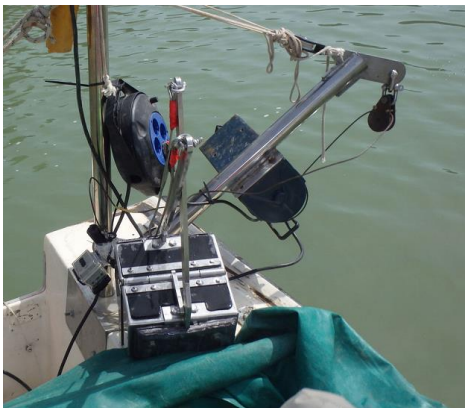


Figura 47 Draga VanVeen de gran capacidad

Además se ha empleado un corer de pequeño tamaño para intentar tomar muestras de la estructura de los primeros metros.

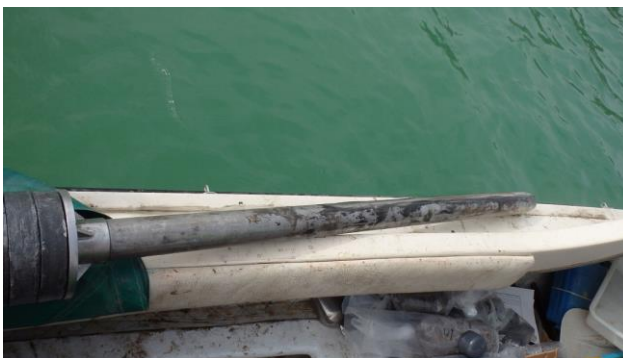


Figura 48 Corer empleado

7.6 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.



Figura 49 Embarcación empleada durante una de las limpiezas en centros homologados.

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 50 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.

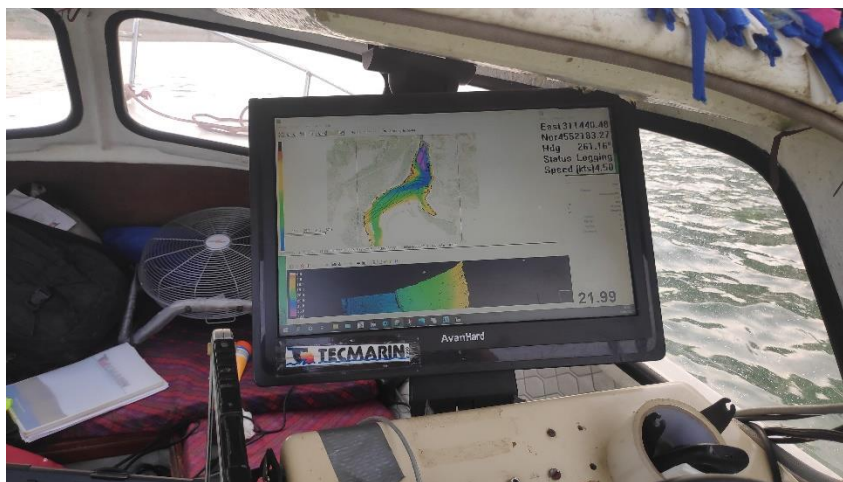


Figura 51 Pantalla del patrón

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 15 y 16 de junio 2021, los trabajos de sísmica de reflexión el 18 y 19 de Junio y la toma de muestras 23 de Julio.

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.

Por ello el día 17 de Junio se paró la toma de datos por la climatología adversa por grandes borrascas.

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 la 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, se configura un sistema de coordenadas local con el que se referencian cada uno de los sensores respecto a un origen que se hace coincidir con el punto donde el mástil que soporta el conjunto toca la superficie del agua. Luego se aplican a cada sensor las coordenadas xyz en dicho sistema (Offsets) y se toma en la zona de calibración un **perfil de velocidad de sonido**.

Tras ello y siguiendo un protocolo específico recorriendo unas líneas que se han definido en una zona con un fondo de las características necesarias, se registran unos datos que al procesarlos y compararlos permiten realizar la calibración del sistema completo.

El protocolo está definido para resaltar pequeñas diferencias en el montaje y configuración de cada equipo para que al aplicarlas los datos no arrastren errores debidos a su posición espacial y configuración.

La zona elegida para la calibración ha sido una próxima a la 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.

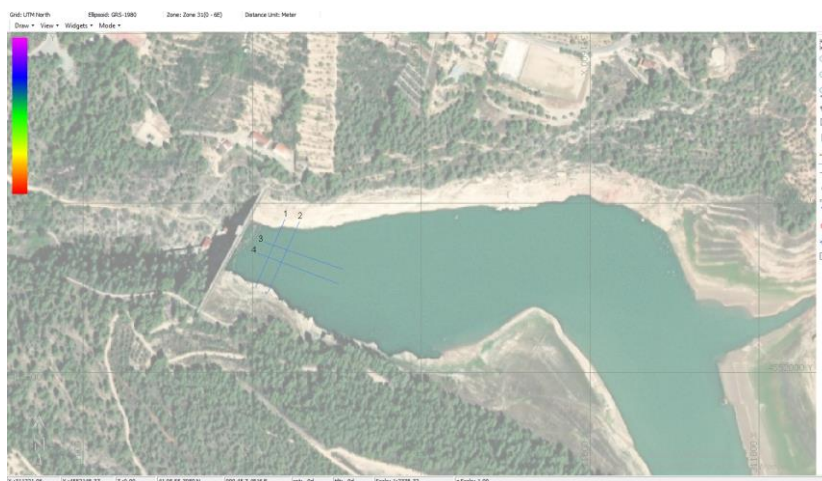


Figura 52 Líneas de calibración

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 el momento en que el GPS RTK mide la posición y el de las medidas de profundidad de la ecosonda. 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.

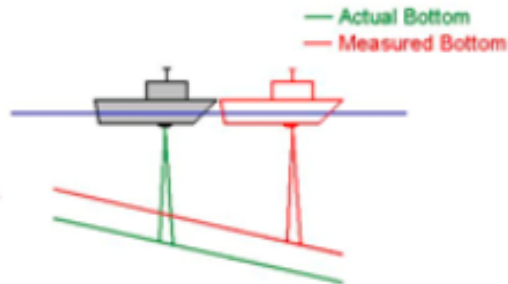


Figura 53 Representación del error de latencia.

- **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.

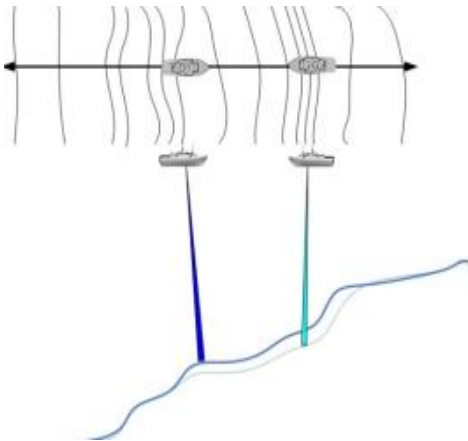


Figura 54 Imagen descriptiva del error de Pitch

- **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.

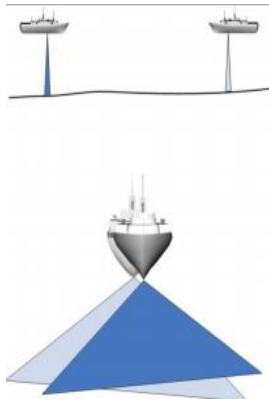


Figura 55 Imagen descriptiva del error de Roll.

- **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.

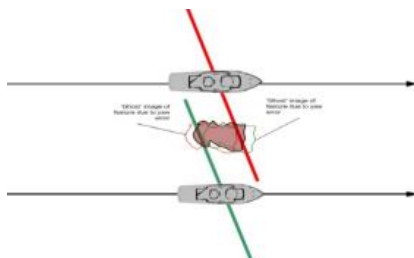


Figura 56. Imagen descriptiva del error de Yaw.

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.

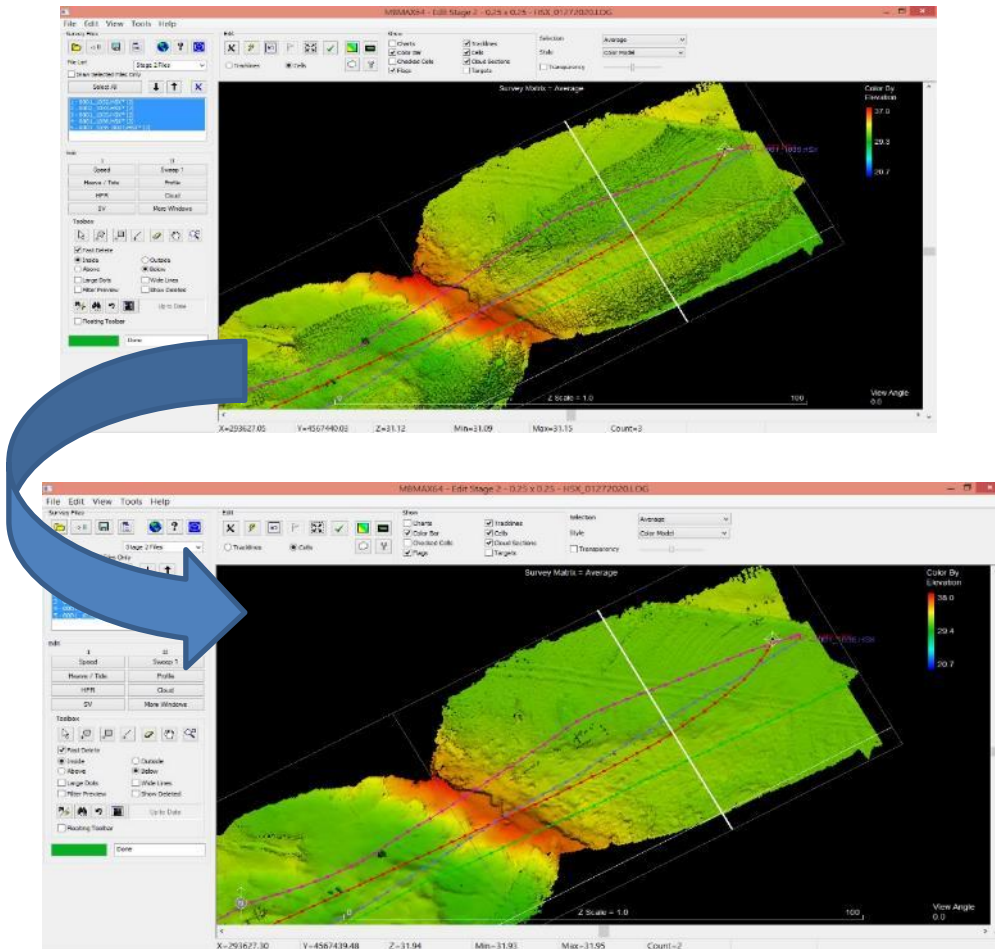


Figura 57 Comparativo antes de una calibración (arriba) y después de la calibración (debajo)

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

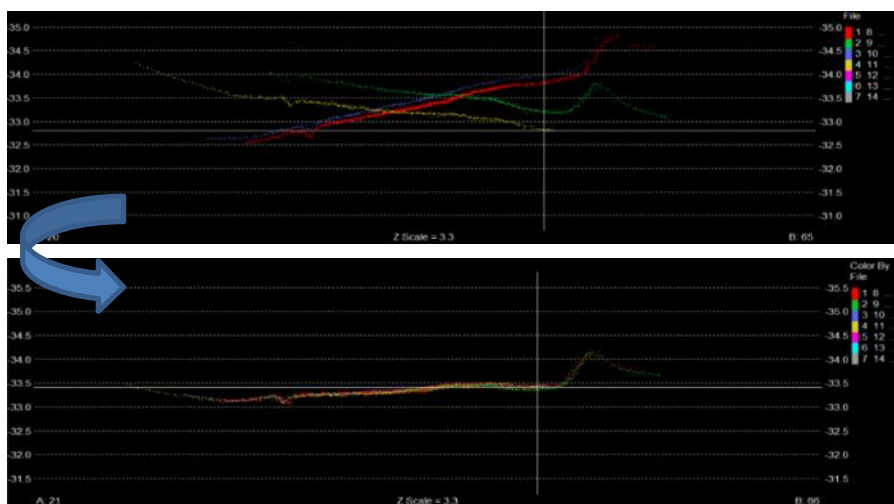


Figura 58 Resultante de corrección de Roll.

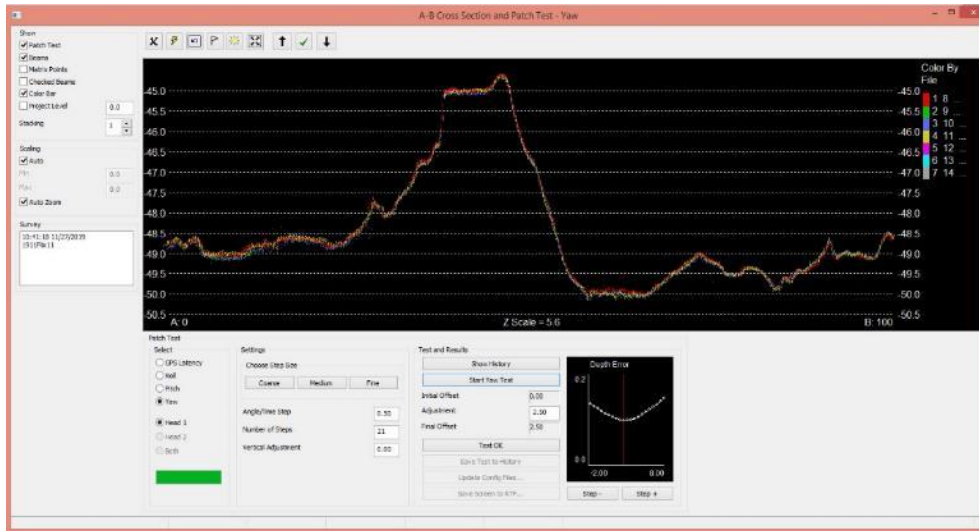


Figura 59 Resultante de corrección de Yaw y latencia.

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.

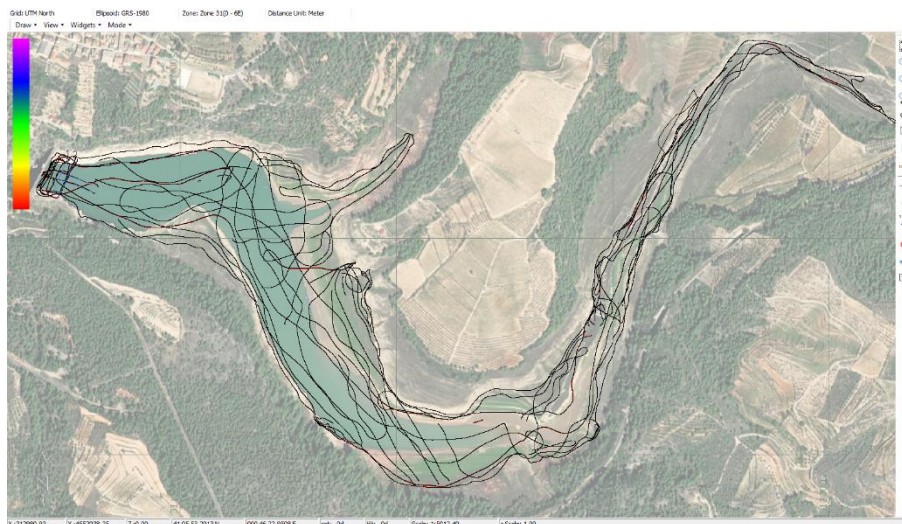


Figura 60 Navegación realizada para el levantamiento batimétrico y topográfico



Figura 61 Equipos topo-batimétricos instalados en la embarcación.

8.4 Levantamiento sísmico

El levantamiento sísmico se realizó tras acabar la parte batimétrica, durante los días 18 y 19 de Junio, montando y preparando todos los equipos a bordo y saliendo del a realizar el levantamiento con todo montado y una vez comprobadas las conexiones y recepción de la señal.



Figura 62 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.

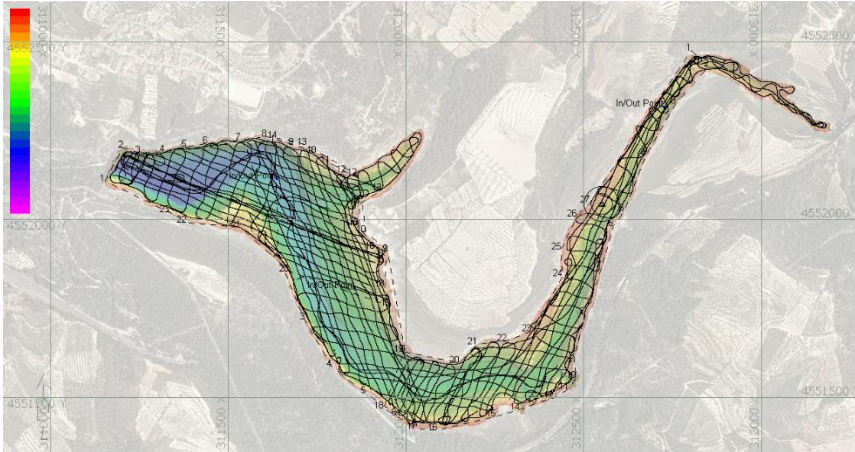


Figura 63 Navegación realizada para el levantamiento sísmico.

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, de modo que se ha realizado unas líneas siguiendo el eje del embalse para poder tener una longitud mayor y líneas transversales a estas para obtener los cruces necesarios.

En total se han recorrido unos 34 km de perfiles durante los trabajos de adquisición de datos sísmicos, que fueron obtenidos de forma simultánea con los dos sistemas anteriormente descritos.

La disposición del proyecto de líneas de exploración se planteó conformando una malla donde los perfiles sísmicos se proyectaron de forma paralela y perpendicular entre sí, cubriendo un área total de unas 47.35 Has. En el Figura 63 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 generada. 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 64 Toma de datos sísmicos en la zona.

8.5 Toma de muestras

Para el análisis de los materiales sedimentarios más modernos se utilizó una draga Van Veen y una lanza de recuperación de testigo inalterado Core, transportados 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 y dispositivo para toma de muestras inalteradas CORE

La posición de las muestras se ha determinado a partir del estudio geofísico y del batimétrico, determinando las zonas donde las muestras podían ser más representativa de los sedimentos del embalse.

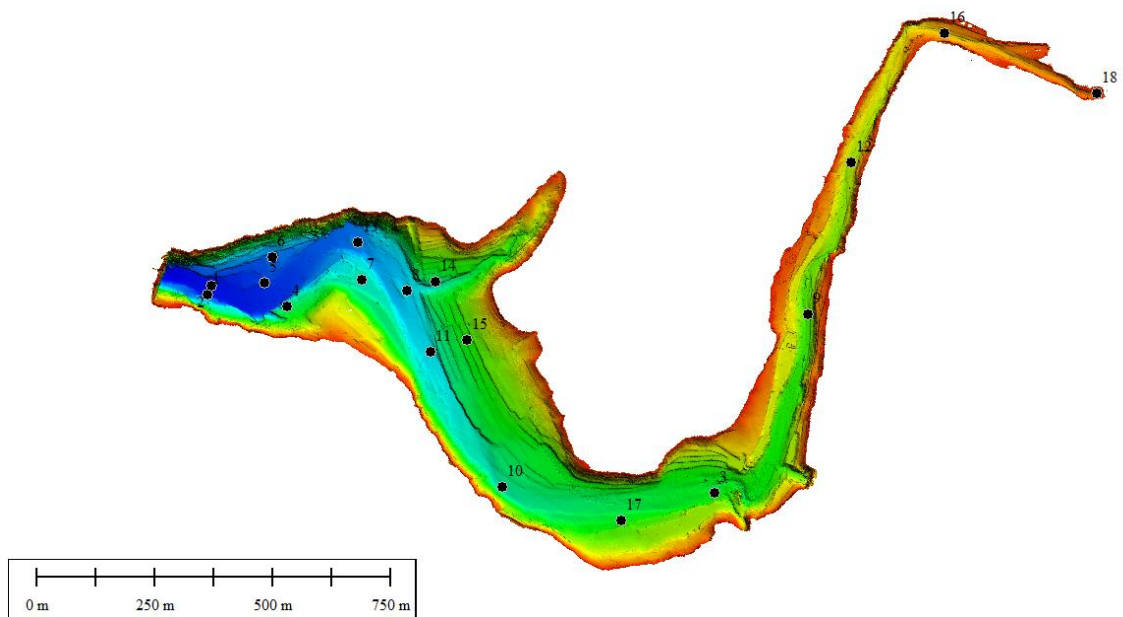


Figura 6. Batimetría del embalse con los puntos de muestreo de fondo.

En la embarcación se ha empleado un GPS RTK para navegar hasta los puntos marcados y mediante un polipasto eléctrico se han tomado las muestras.

El geólogo a bordo ha realizado las fichas de campo con la descripción y fotografías de todas las muestras, así como su empaquetado y etiquetado.

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 de una mayor energía.

Las muestras recuperadas con contenido en arenas y gravas se localizan en la mitad final 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.

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.

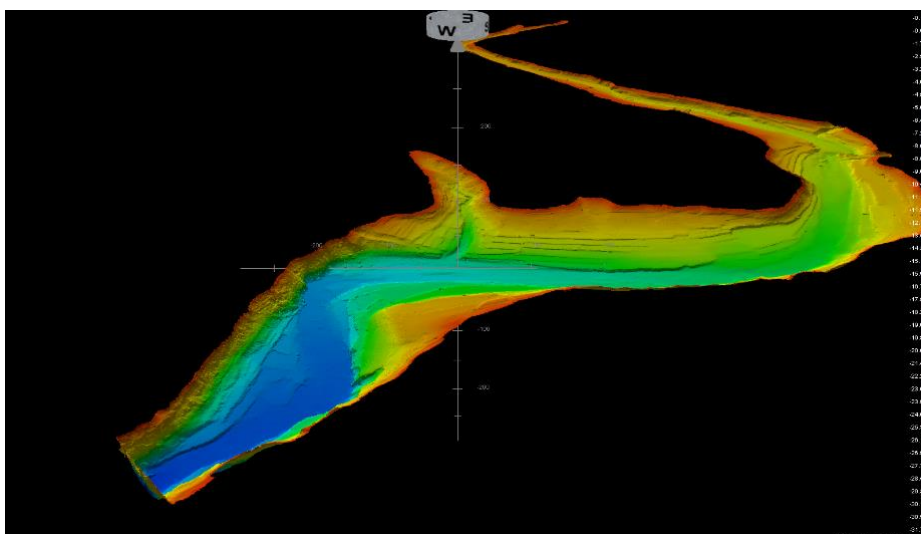


Figura 65 Datos batimétricos XYZ en vista 3D GRID

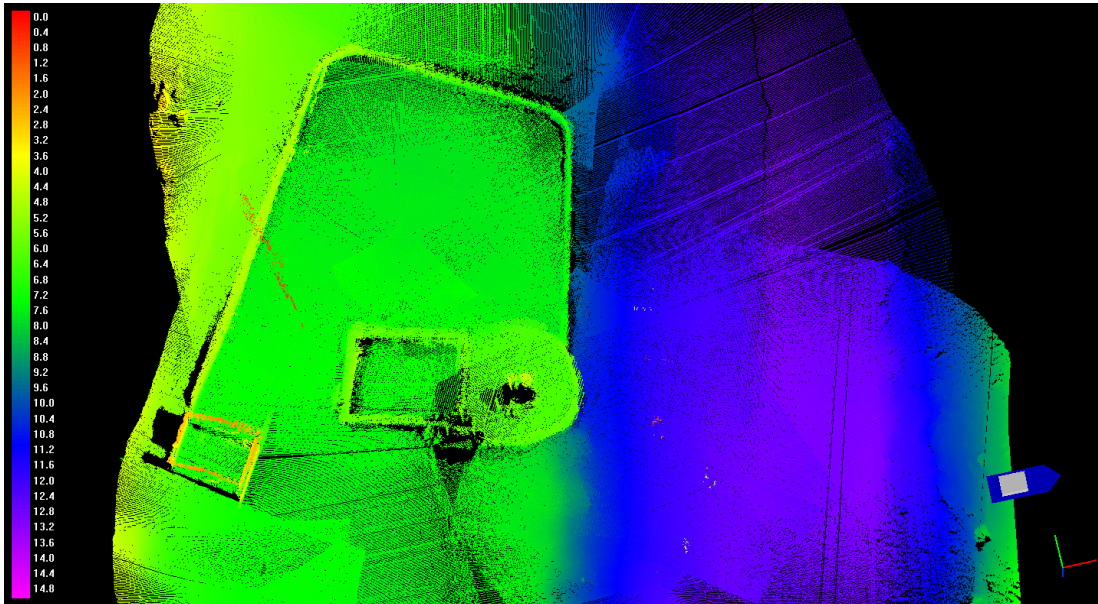


Figura 66 Detalle de edificaciones en formato de nube de puntos

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.

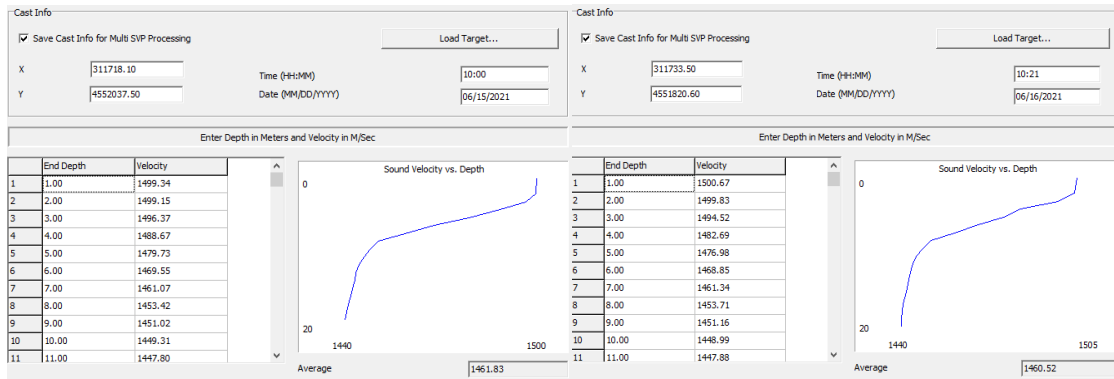


Figura 67. Perfiles de velocidad del sonido en la columna de agua tomados en la campaña

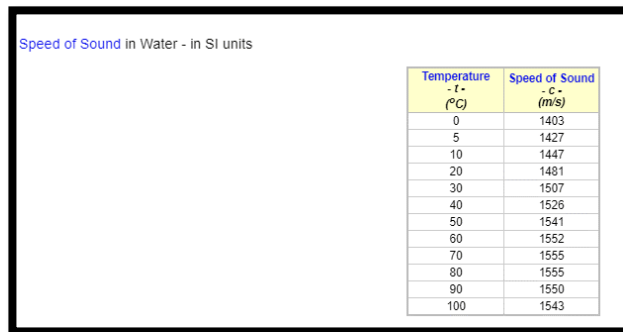


Figura 68 Variaciones estimadas de la velocidad del sonido en el agua, según las variaciones de la temperatura.

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 procesamiento permite realizar una calibración usando todos los datos tomados durante los trabajos.

Filtrado de los Datos

En el procesamiento 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.

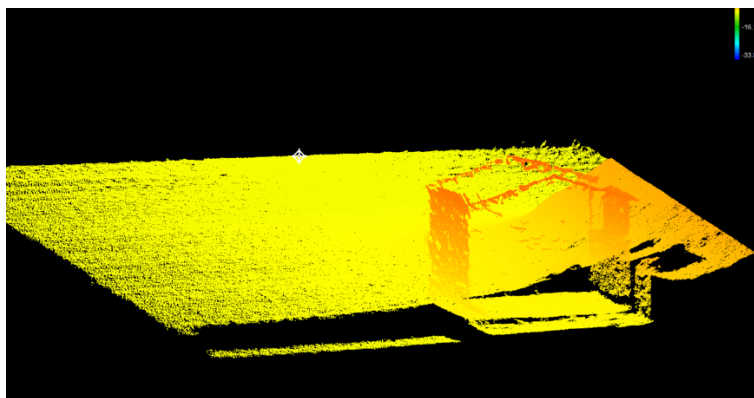


Figura 69 Vivienda sumergida

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.

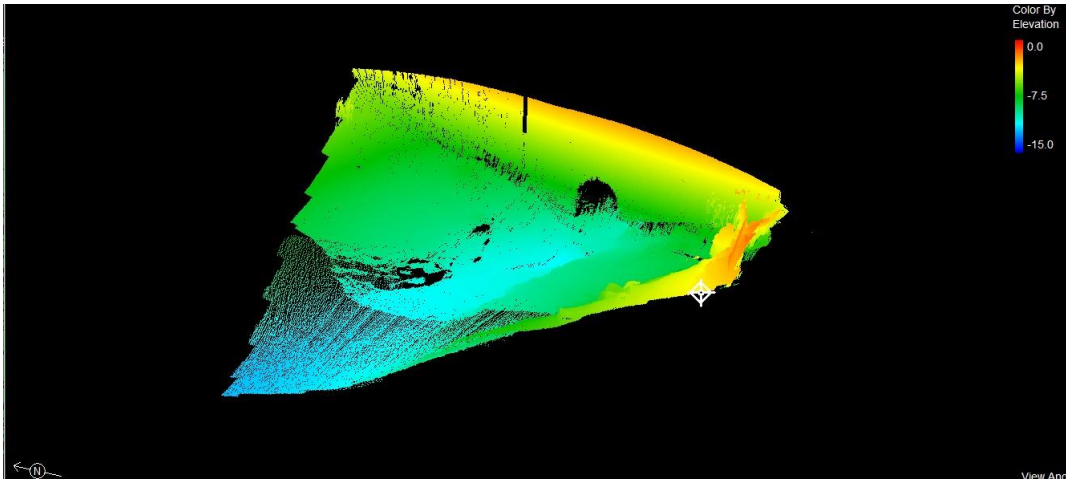


Figura 70 Detalle de una de las paredes

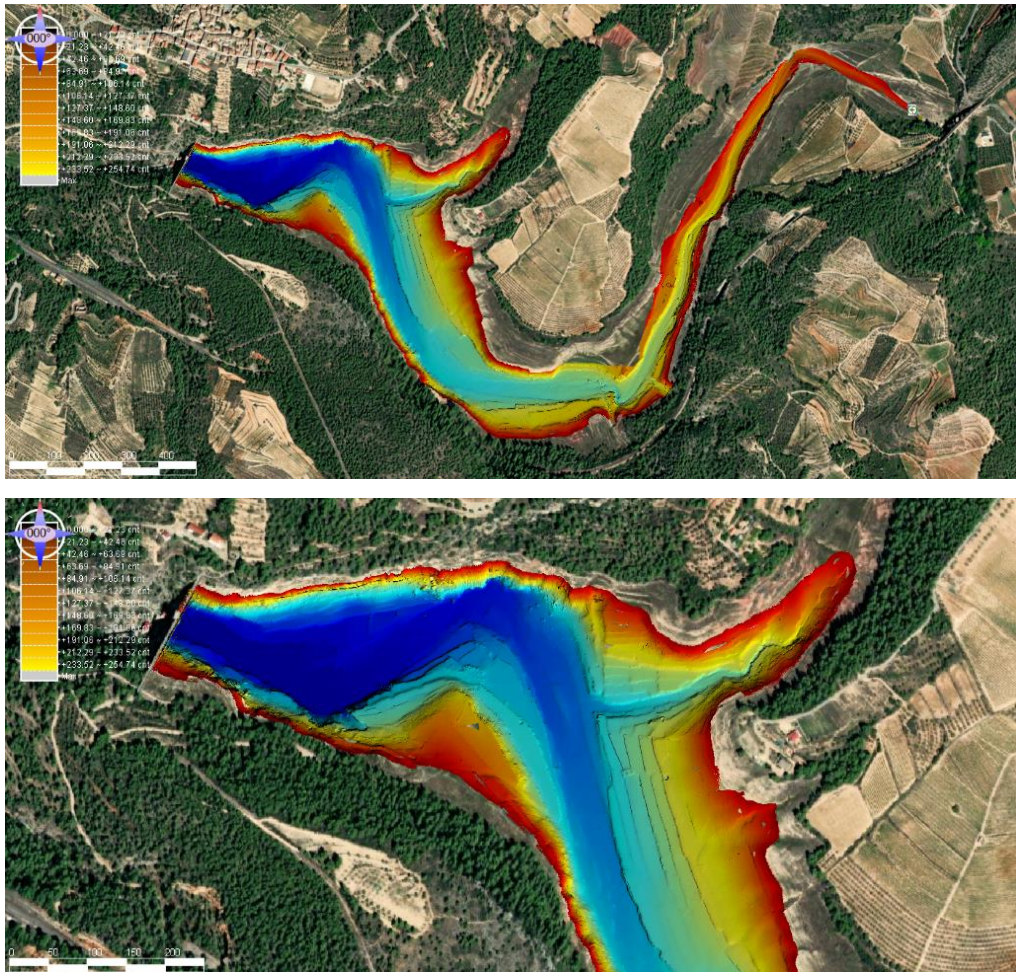
El programa en ningún caso elimina datos, sino que los marca y oculta como descartados, pudiendo ser recuperados en cualquier momento si se reconsidera su validez.

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.



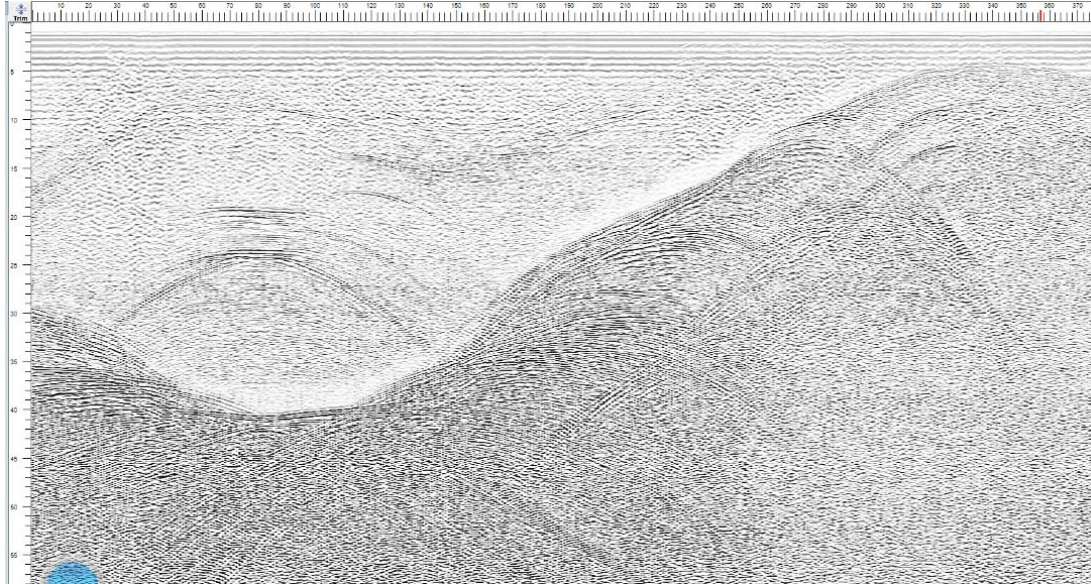


Figura 72 Registro 0000_1113 obtenido con 3k5

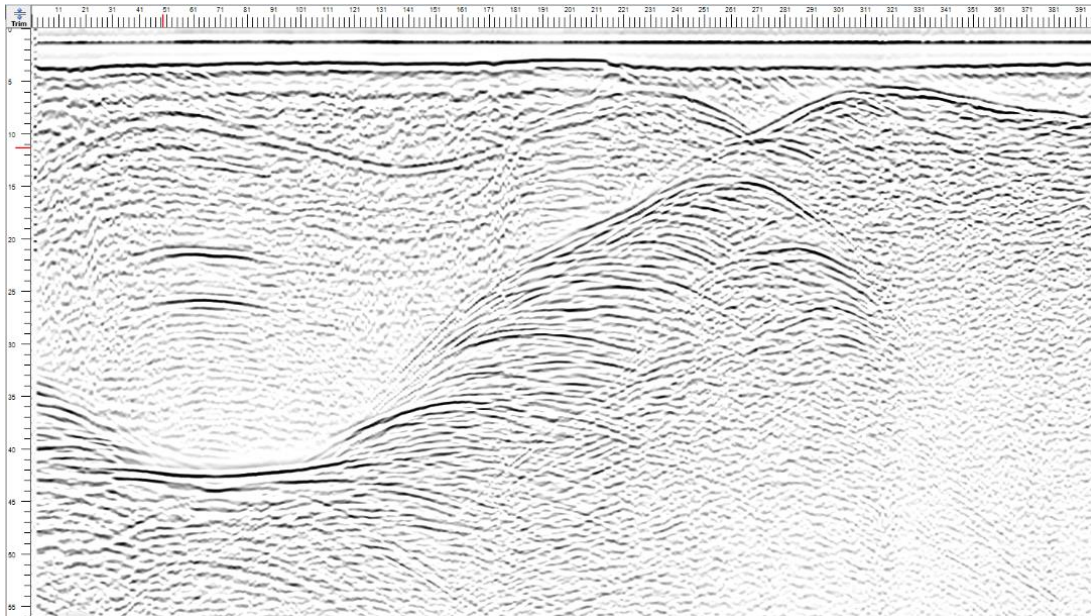


Figura 73 Registro 19062153 obtenido con Geopulse

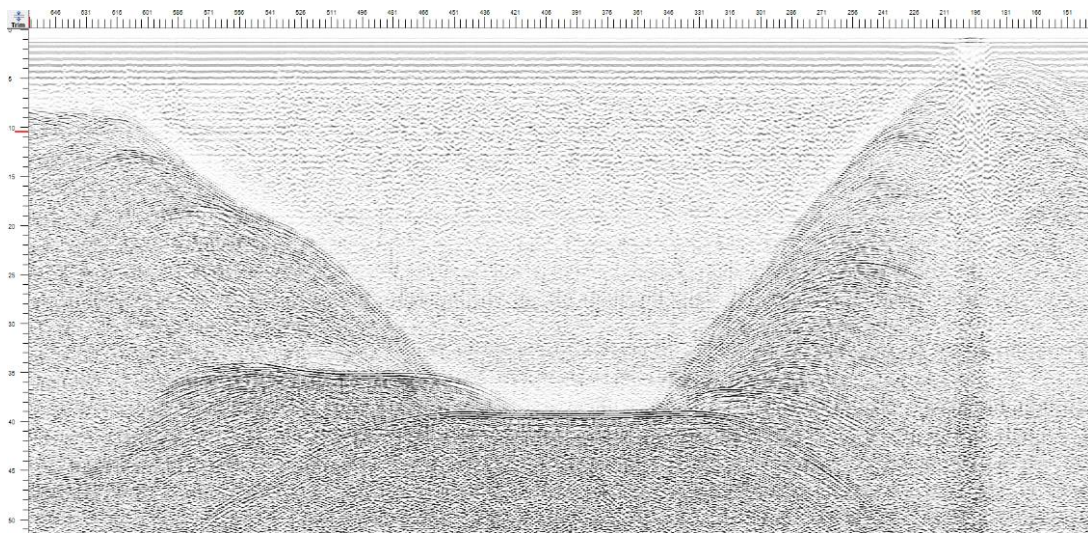


Figura 74 Registro 0000_1113 obtenido con 3k5



Figura 75 Registro 19062150 obtenido con Geopulse

b) La penetración y resolución que se aprecia ha sido muy exigua:

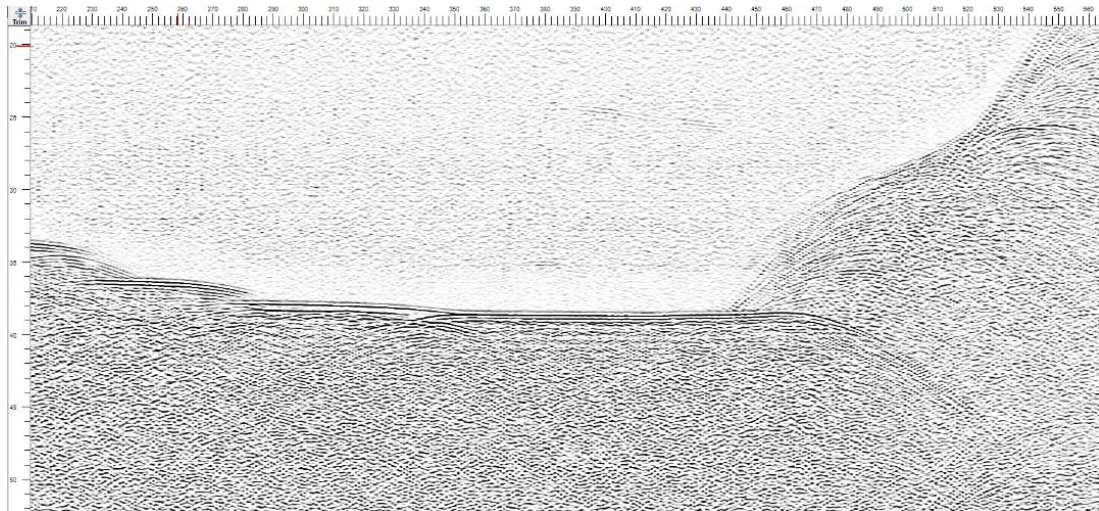


Figura 76 Registro 0004_1103 obtenido con 3k5

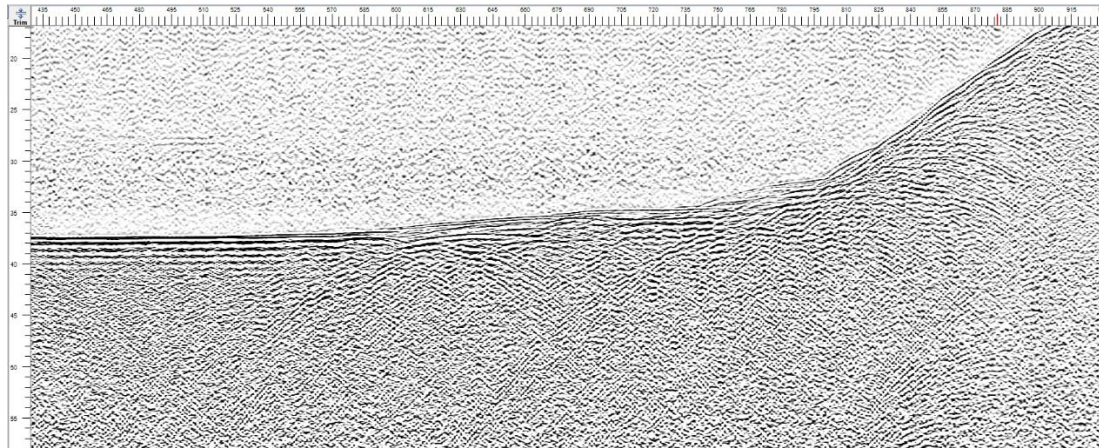


Figura 77 Registro 0007_1055 obtenido con 3k5

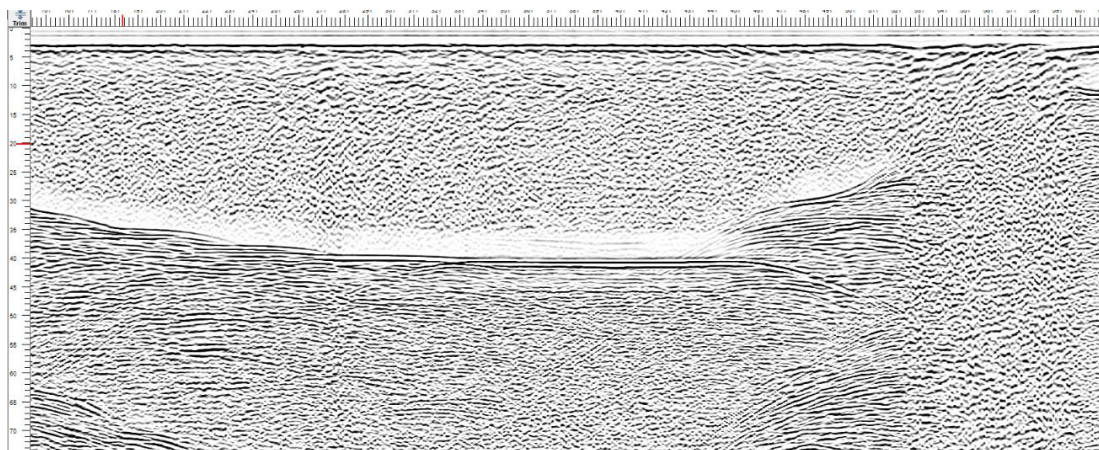


Figura 78 Registro 19062148 obtenido con Geopulse

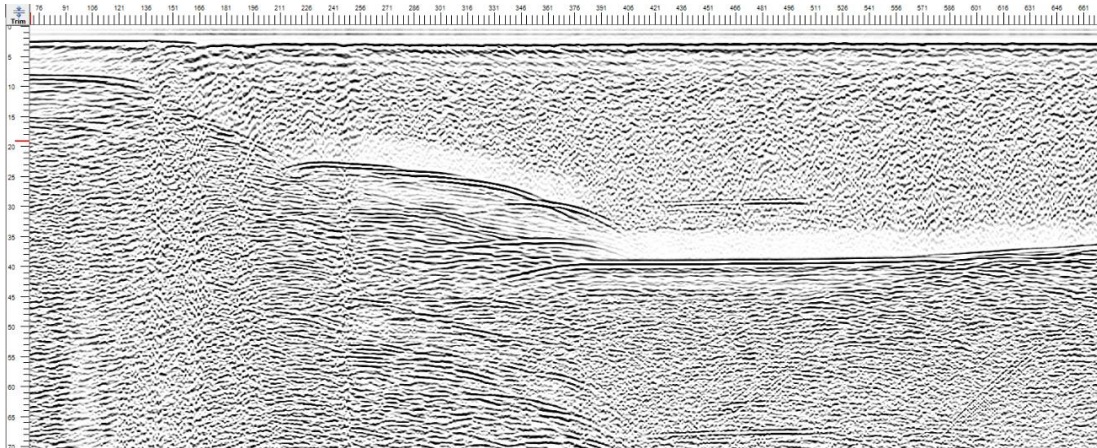


Figura 79 Registro 19062145 obtenido con Geopulse

Analizados y comparados todos los registros realizados se observó que:

- La interpretación y la consiguiente obtención de los espesores de sedimentos no consolidados no se ha podido realizar mediante la utilización de los registros obtenidos con 3K5 y Geopulse,
- La interpretación de los resultados, en el conjunto de todos los perfiles realizados en el embalse, parecía presentar una mayor resolución utilizando los registros obtenidos con 3K5.

A partir de estas premisas se ha realizado el procesado e interpretación de los registros sísmicos. Hay que tener presente que en los mapas de isopacas que se describen en las páginas siguientes, los datos de los espesores obtenidos en los 380 m próximos a la presa se han de considerar como aproximados debido a la dificultad para identificar otras capas que presentan los registros, como puede observarse en los ejemplos mostrados en esta Introducción. El espesor en esta zona se debe considerar que solamente abarcará a la capa de fangos.

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 kHz, 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.

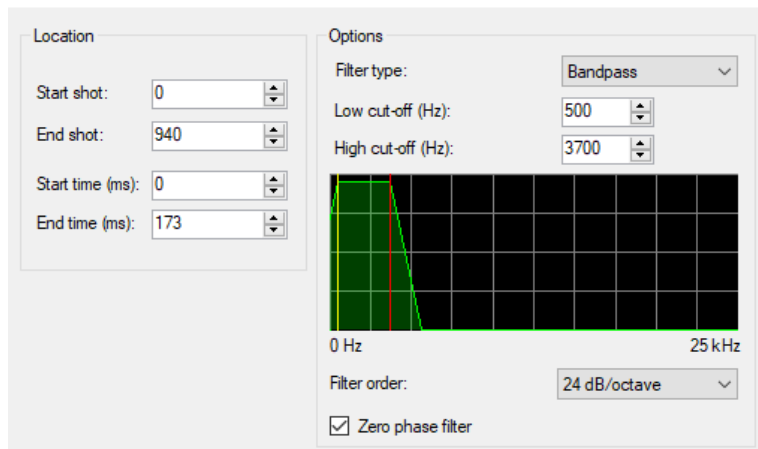


Figura 80. Filtro Paso Banda

- 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.

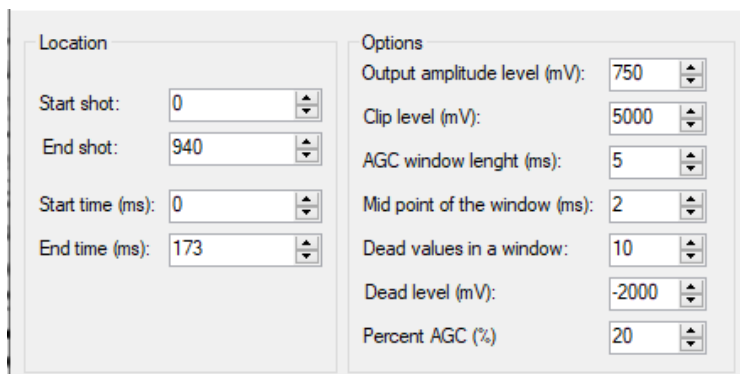


Figura 81. Filtro AGC (Auto Gain Control)

- 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 82 y Figura 83, que corresponden a las líneas 0006_1539 y 0013_1412 respectivamente. En ellas se pueden comparar las líneas registradas en bruto con esas mismas líneas una vez aplicado el procesado.

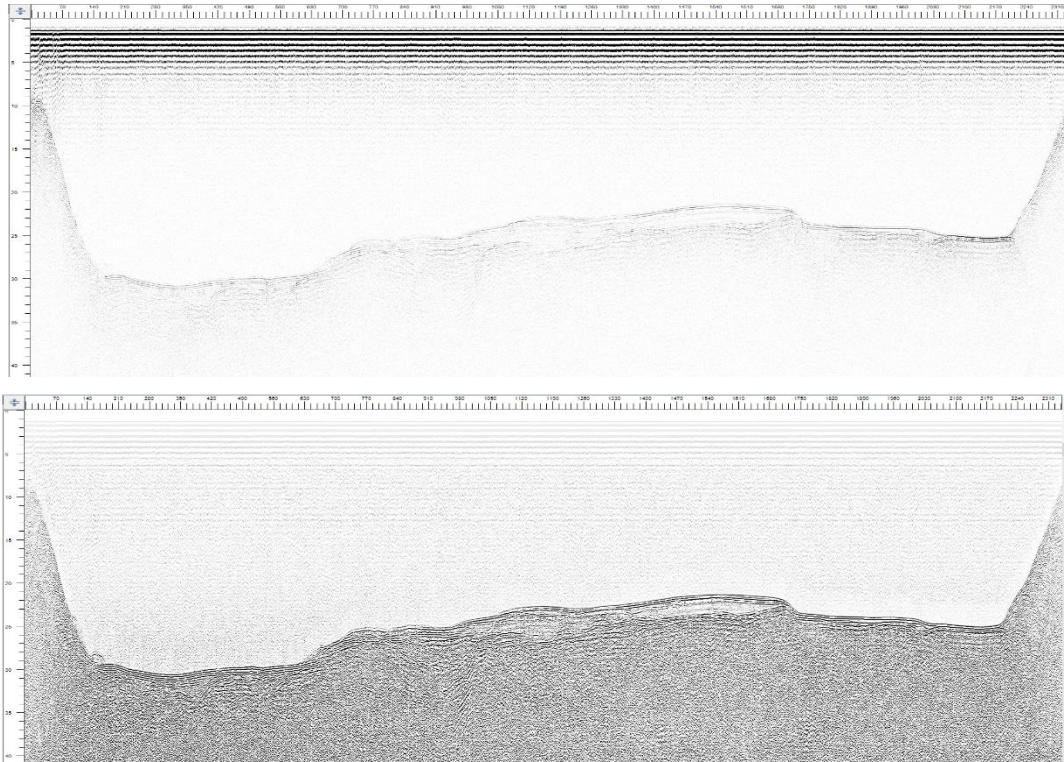


Figura 82. Registro de la línea 0006_1539 en bruto (imagen superior) y procesado (imagen inferior).

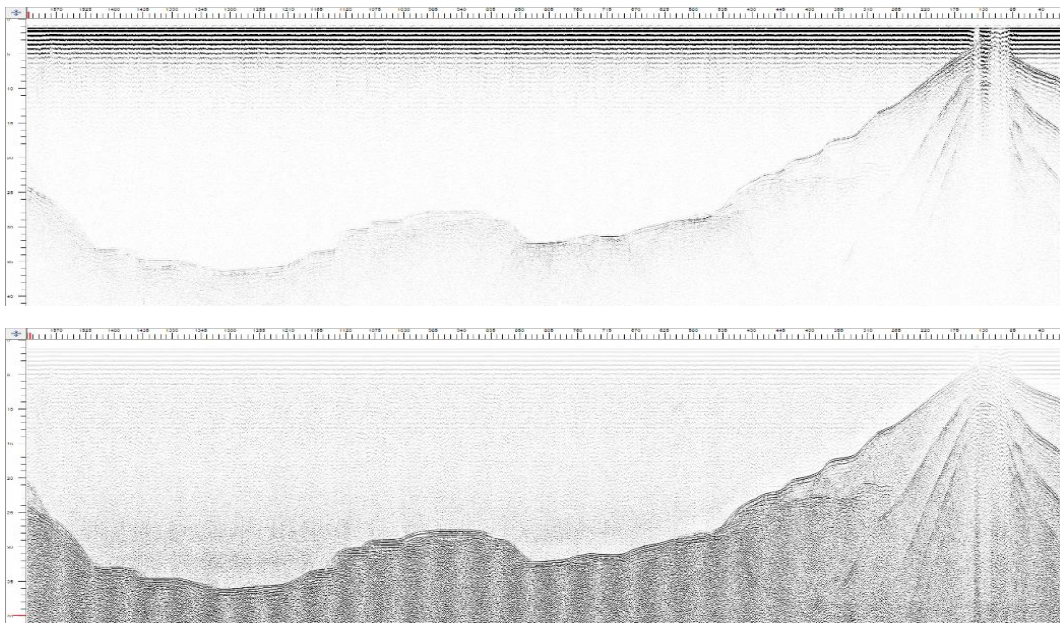


Figura 83. Registro de la línea 0013_1412 en bruto (imagen superior) y procesado (imagen inferior).

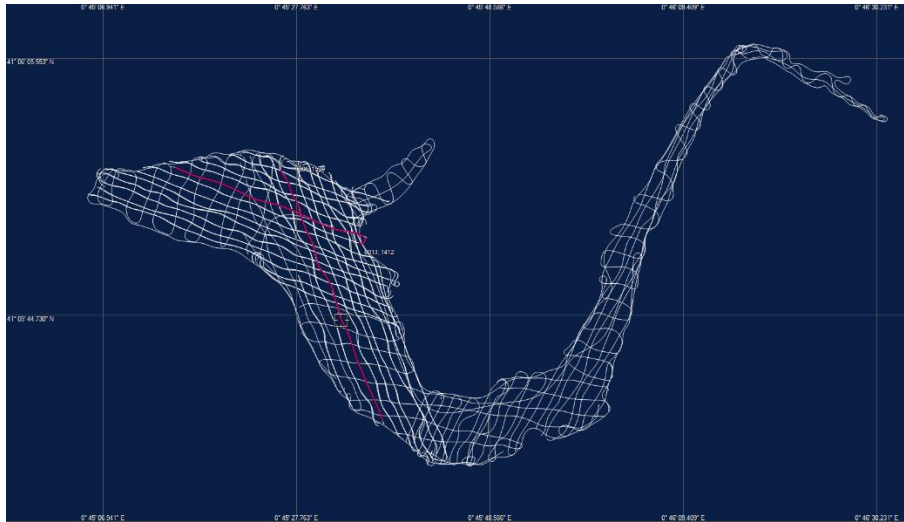


Figura 84. Situación de las líneas 0006_1539 y 0013_1412.

En la Figura 84 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 85 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.

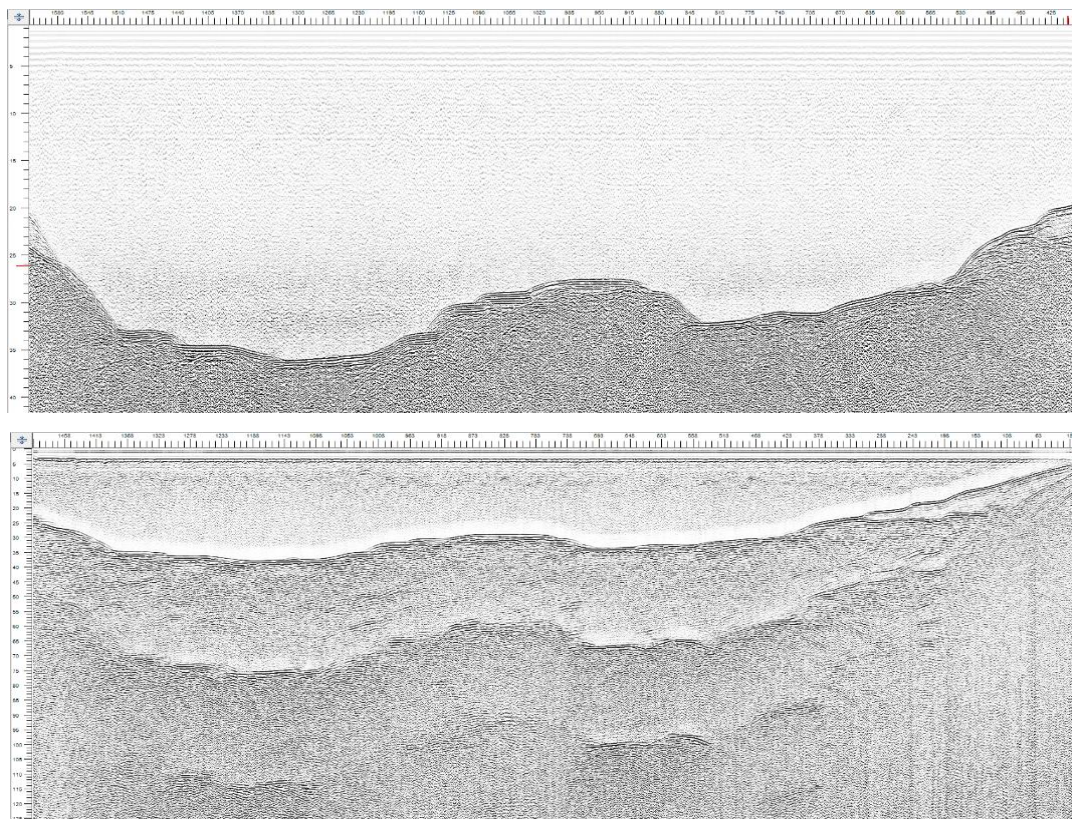


Figura 85. Registro de la línea 0013_1412 con el 3.5 kHz (imagen superior) y el Geopulse (imagen inferior).

Interpretación y resultados de los perfiles sísmicos.

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 han diferenciado dos sismofacies sísmicas y un basamento o zócalo acústico, como puede observarse en la Figura 86. 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.

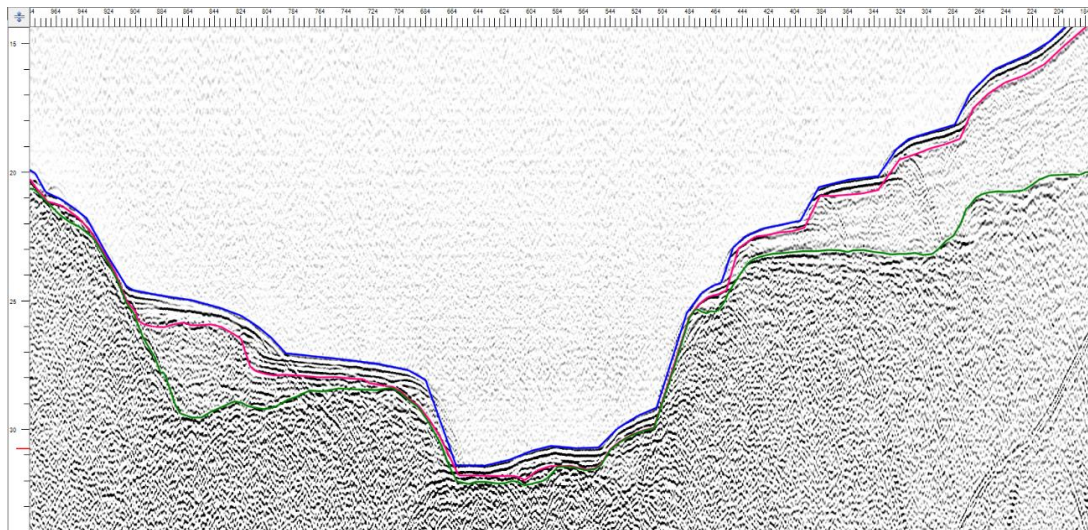


Figura 86 Registro de la línea 0011_1400, obtenidos con el 3.5kHz, donde se diferencian las distintas capas que se han definido.

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 rojo.

En la Figura 87, correspondiente a la línea 0007_1531, 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.

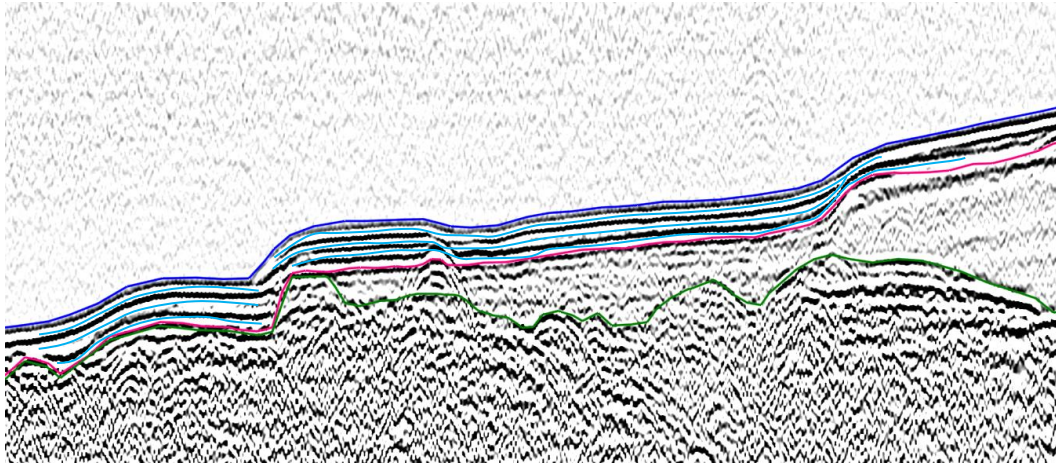


Figura 87. Ejemplo de la línea 0007_1531

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 (líneas de color azul claro) 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) Bajo esta primera capa de sedimentos no consolidados hemos definido *una segunda capa* de materiales sedimentarios consolidados delimitada a techo por la línea roja y a muro por una línea verde. El carácter sísmico de esta capa tiene un aspecto mucho más caótico, con reflexiones de baja amplitud y bastante discontinuidad, aunque en algunos tramos estas reflexiones sí que presentan algo más de continuidad y estructuración ordenada.

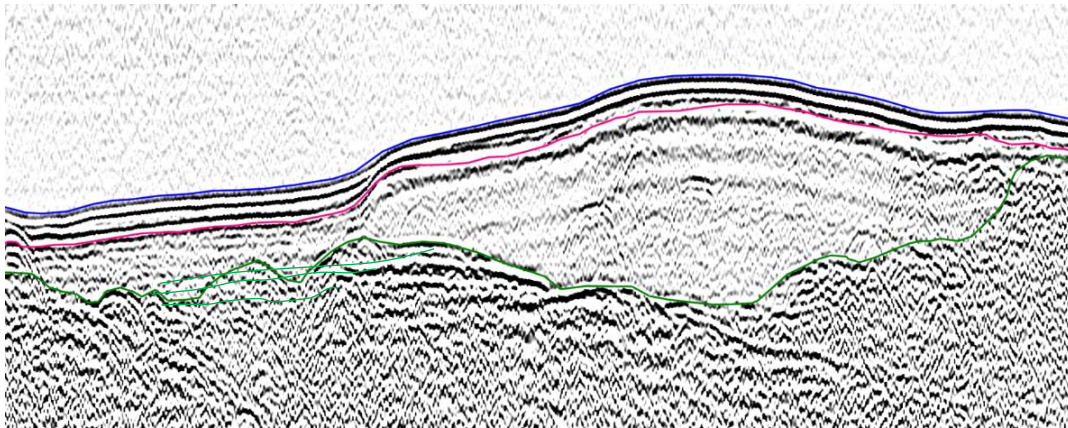


Figura 88. Línea 0007_1531

En la Figura 88 se muestra claramente lo comentado en el párrafo anterior. Aquí se observa la gran diferencia existente entre las distintas capas diferenciadas y delimitadas con las reflexiones señaladas con los horizontes azul, rojo y verde. En la parte izquierda del registro se representan unas reflexiones en verde claro dentro de esta segunda capa que indican aquellas zonas donde existe una mayor estratificación.

Esta segunda capa, la cual aparece de forma más clara en las zonas de ladera del embalse, la identificamos como materiales de terrazas existentes antes de la construcción del embalse, y estarían constituidas por arcillas y arenas con niveles de arenas de grano medio-grueso y gravas de distinto tamaño.

- C) Finalmente se detecta un *basamento o zócalo acústico* que debe corresponder con los materiales de base descritos anteriormente en la geología de la zona (areniscas y dolomías del triásico y pizarras carboníferas principalmente, aunque hay gran variedad de materiales). El techo de este basamento, lógicamente, se ha coloreado en verde ya que coincide con el muro de la segunda 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 89, que corresponde a la línea 0005_1547.

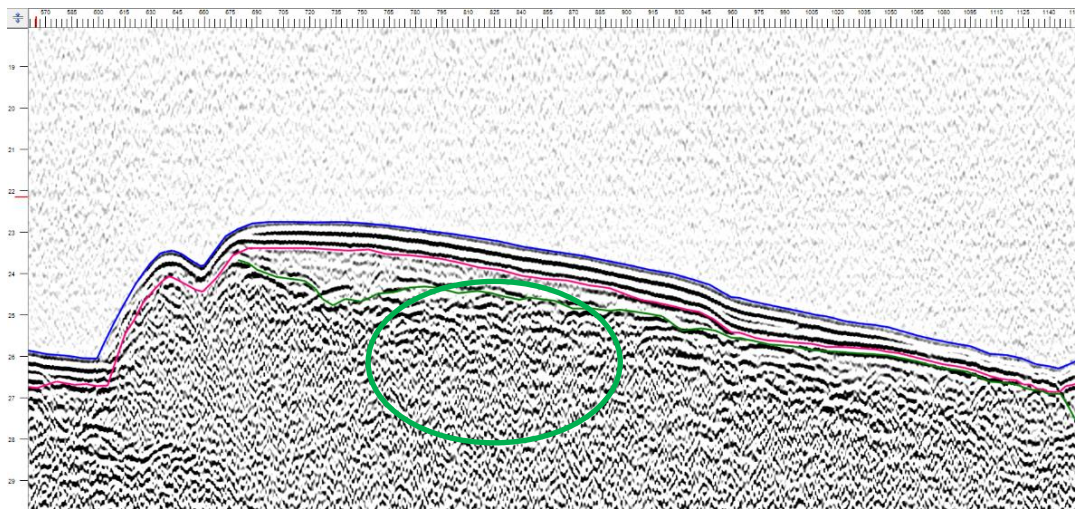


Figura 89. Línea 0005_1547

Descripción de los mapas de isopacas de sedimentos.

Hemos definido 3 mapas de isopacas distintos para tratar de caracterizar de la forma más detallada posible los materiales presentes bajo el embalse.

a) Mapa de isopacas de sedimentos general.

Este mapa engloba el total de sedimentos detectados bajo el embalse, es decir, los sedimentos no consolidados que constituyen la *primera interfase sísmica* y los sedimentos constituidos por terrazas. Para obtener el espesor de estos sedimentos se han utilizado, para realizar la transformación de las isocronas a isobatas, unas velocidades de 1550 m/s, para la *primera interfase sísmica* al suponer que está compuesta fundamentalmente por fangos y lodos, y una velocidad de 1650 m/s para los materiales que constituyen las terrazas.

Bajo el área estudiada, el espesor de sedimentos total varía entre valores extremos de 0.1 y 9.5 metros, como puede observarse en la Figura 90.

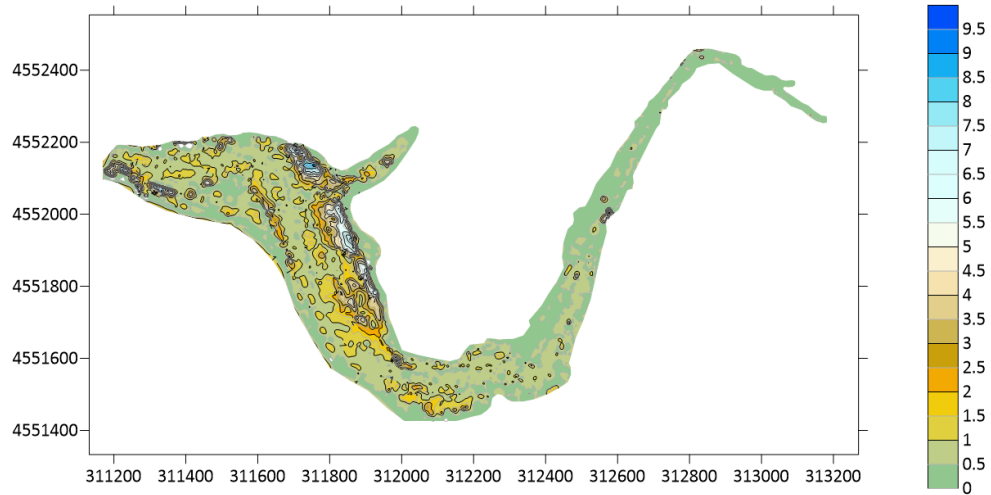


Figura 90. Mapa de isopacas de sedimentos general

Como se observa en la imagen superior, la mayor parte del embalse presenta un espesor de sedimentos comprendido entre 0.1 y 4.5 metros, con zonas muy localizadas donde este espesor es mayor.

b) Mapa de isopacas de la primera interfase sísmica de sedimentos no consolidados.

Para obtener este mapa de isopacas se ha utilizado una velocidad de 1550 m/s. Como podemos observar en la Figura 91, el espesor medio de los sedimentos no consolidados presenta un valor de 0.1 – 1 m con zonas muy aisladas donde los espesores alcanzan máximos de hasta 4.8 m. En los extremos del embalse el espesor de sedimentos no consolidados tiende a reducirse a cero, como es lógico.

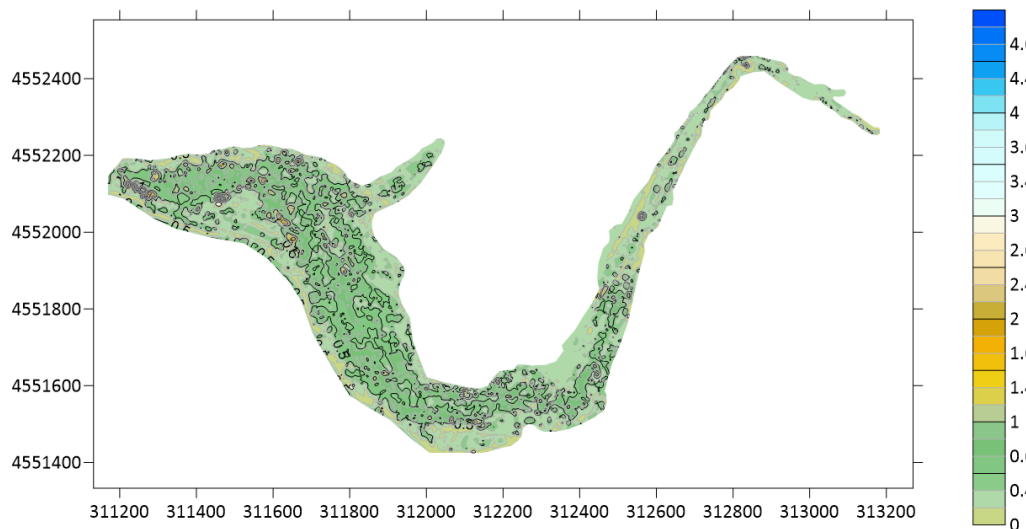


Figura 91. Mapa de isopacas de sedimentos no consolidados

Asimismo, hay que tener en cuenta que en el tramo donde el espesor de sedimentos no consolidados es igual o inferior a 0.5 m, dado que estamos en el límite de resolución del método y dadas las características del ruido y el carácter sísmico de las reflexiones, no se cometen errores de importancia si estimamos que el espesor medio es de cero metros.

c) Mapa de isopacas de sedimentos consolidados (terrazas).

Para obtener este mapa de isopacas se ha utilizado una velocidad de 1650 m/s. Como podemos observar en la Figura 90, el espesor de estos sedimentos consolidados varía entre valores extremos de 0.1 y 10 metros, aunque los valores más frecuentes están situados entre 0.5 y 4-5 metros. Valores más altos aparecen de forma residual y muy localizada.

Este tipo de sedimentos aparecen principalmente en el sector Oeste del embalse, siendo prácticamente inexistentes en la zona de la cola del pantano.

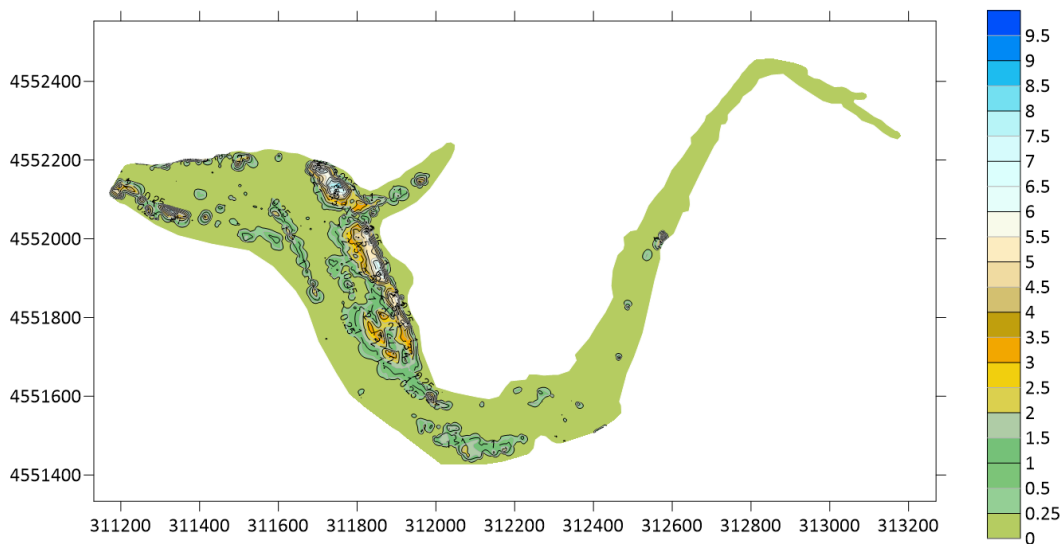


Figura 63. Mapa de isopacas para la capa de sedimentos consolidados (terrazas).

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 92 Acreditaciones de Laboratorio Munuera SLU

Los ensayos realizados en este proyecto han sido:

- Granulometría por tamizado:
 - o Según procedimiento interno PE/MUNLAB/06 255
- Granulometría por sedimentación:
 - o 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 $54 \pm 1^\circ\text{C}$.



Figura 93 Proceso de recepción y secado.

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

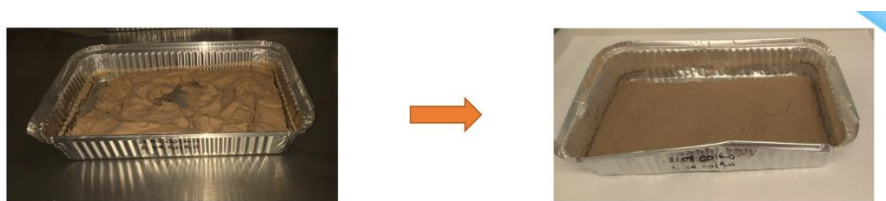


Figura 94 Rotura de los agregados

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 preparada 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.

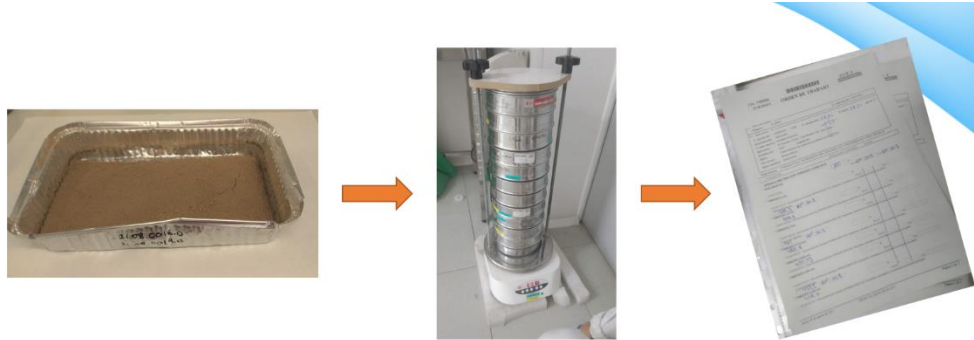


Figura 95 Proceso de tamizado

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 96 Tamices empleados en los ensayos.

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



Figura 97 Tamizadora programada

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



Figura 98 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 99 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).

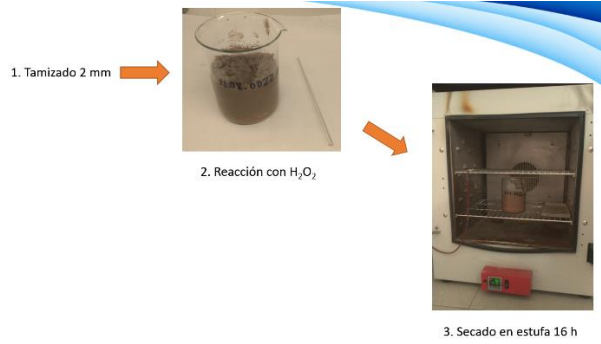


Figura 100 Fase 1, reacción con H_2O_2 y secado en estufa

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.

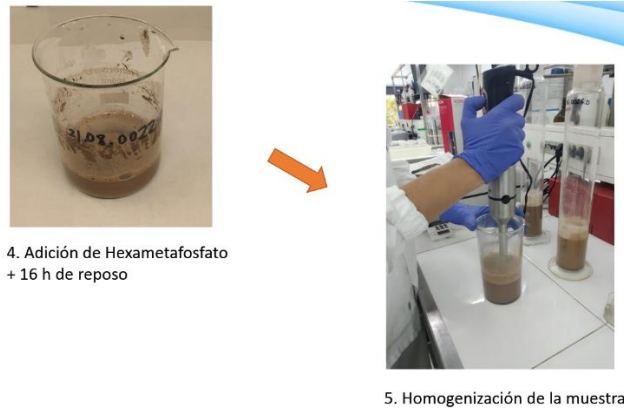


Figura 101 Fase 2, hexametáfosfato y homogenización.

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.

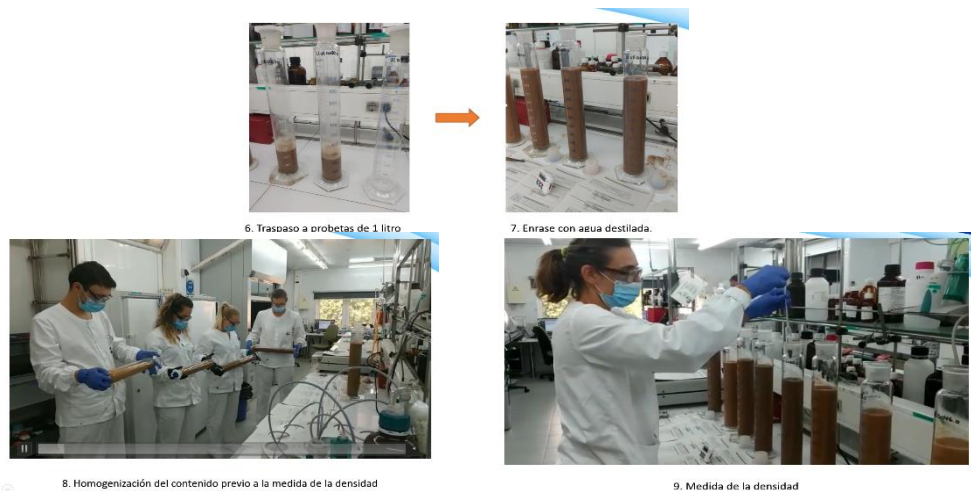
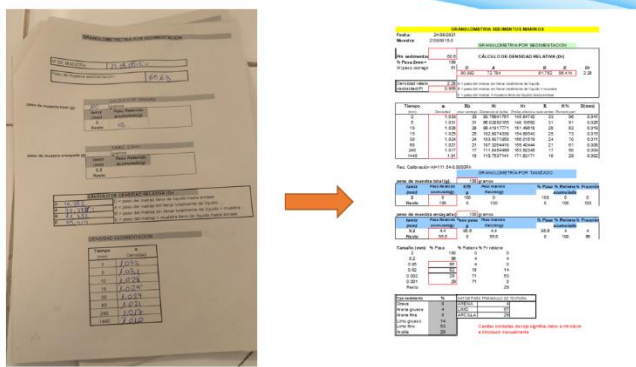


Figura 102 Fase 3, enrase homogenización y medida de la densidad.

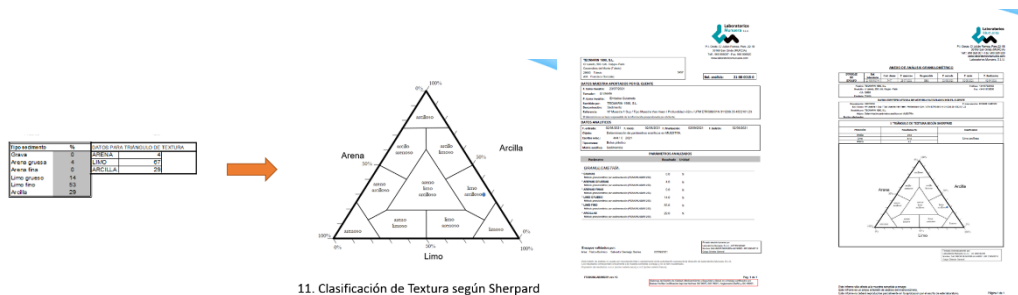
Complementariamente se determinará el peso específico del material y el tamizado por 0.2 mm.



10. Traspaso de los datos al registro de la muestra y cálculo de los contenidos de gravas, arena, limo y arcilla

Figura 103 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.



11. Clasificación de Textura según Shepard

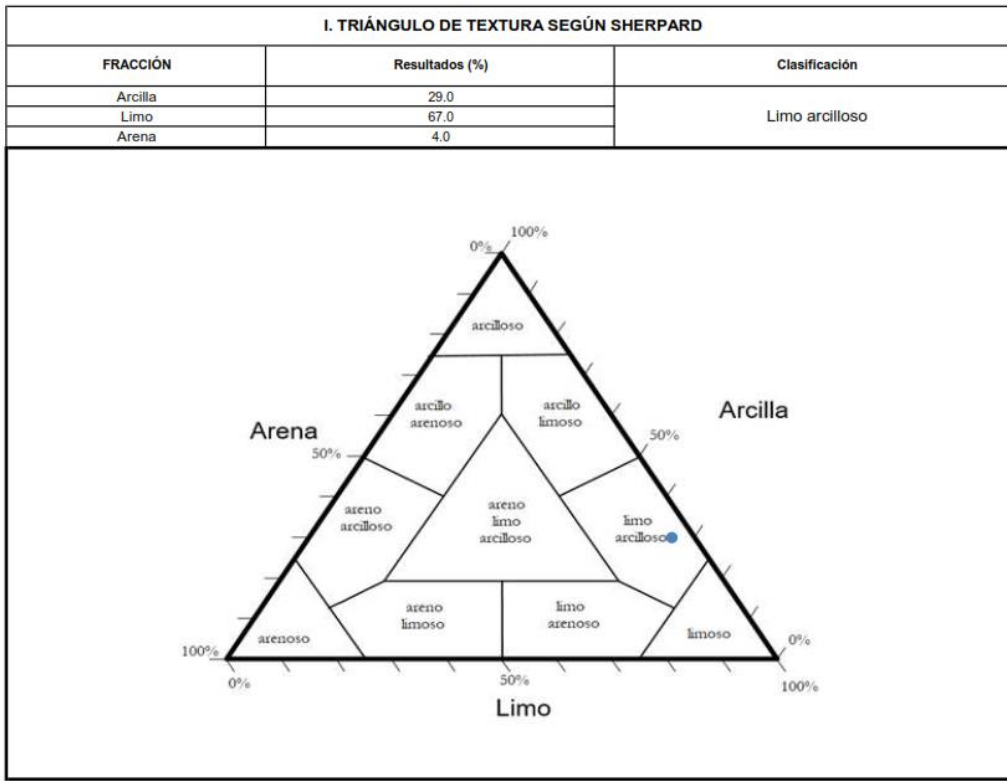
12. Validación de los datos y generación del boletín final y anexo de granulometría por sedimentación.

Figura 104 Clasificación de textura por el triángulo de Shepard, validación de datos y generación de boletín

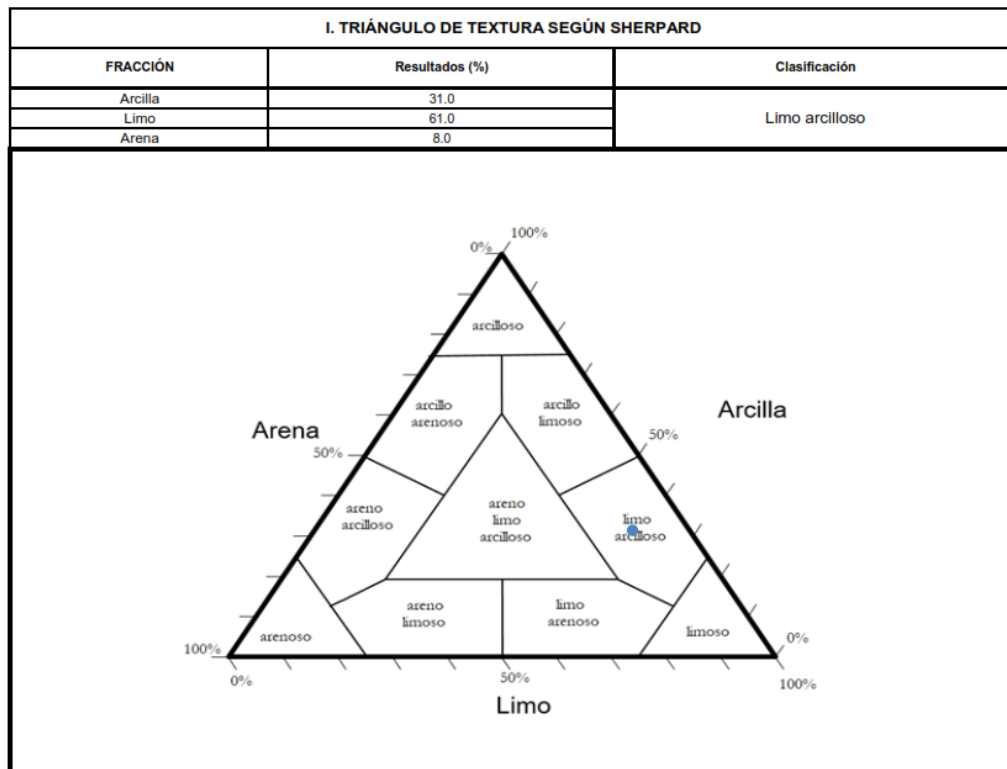
Los resultados de las granulometrías completos se incluyen en el Anexo 13.3. A modo de resumen se incluyen las clasificaciones según Shepard a modo de resumen en el apartado siguiente:

RESUMEN GRANULOMETRÍAS

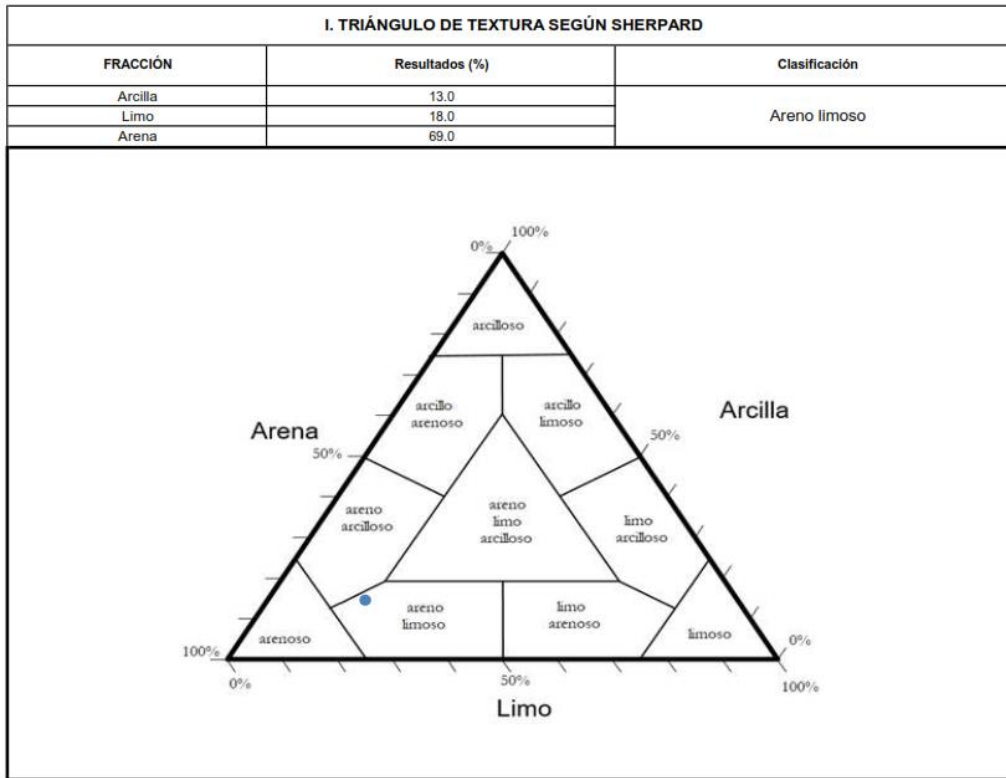
Muestra 1



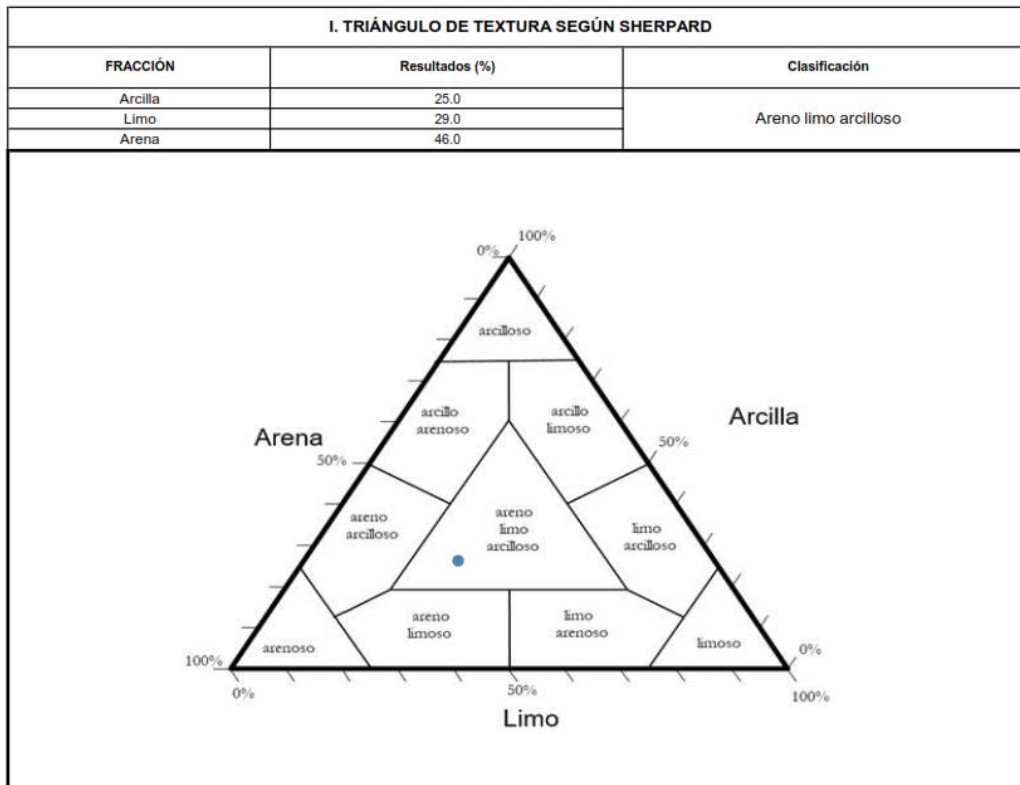
Muestra 2



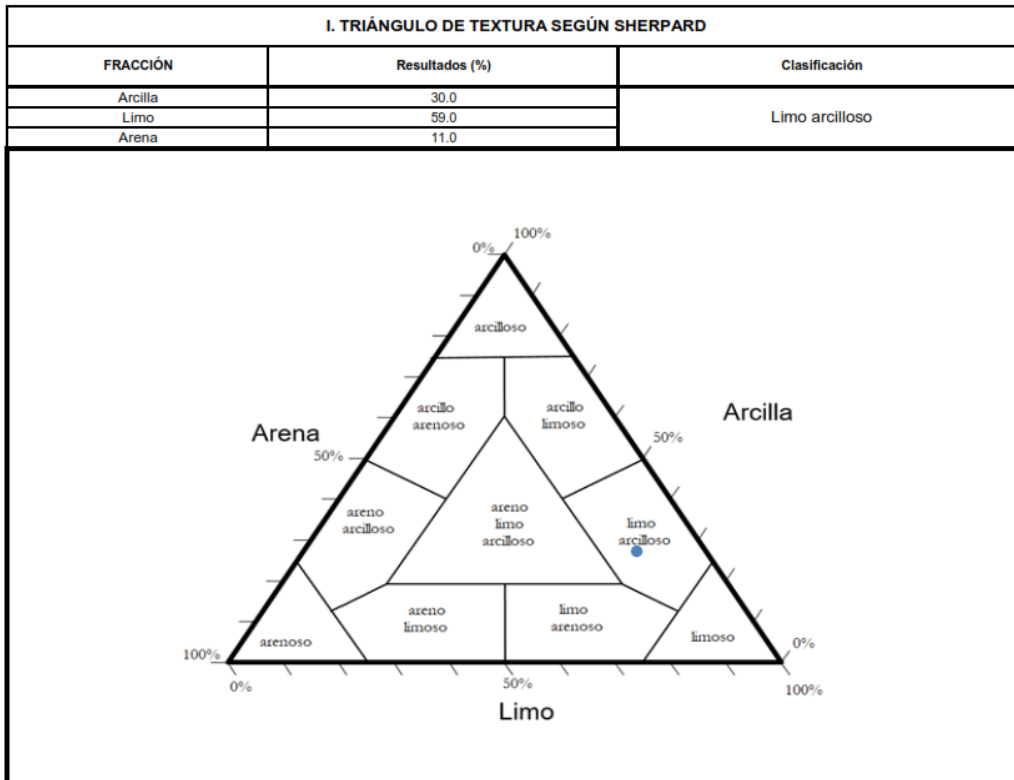
Muestra 3



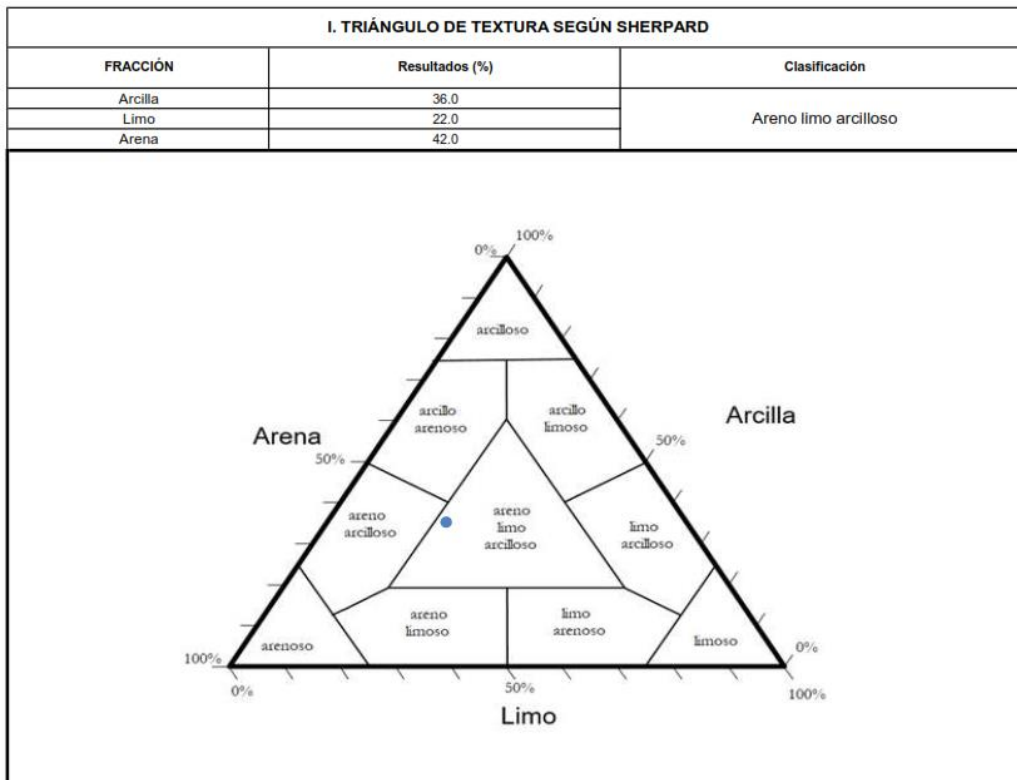
Muestra 4



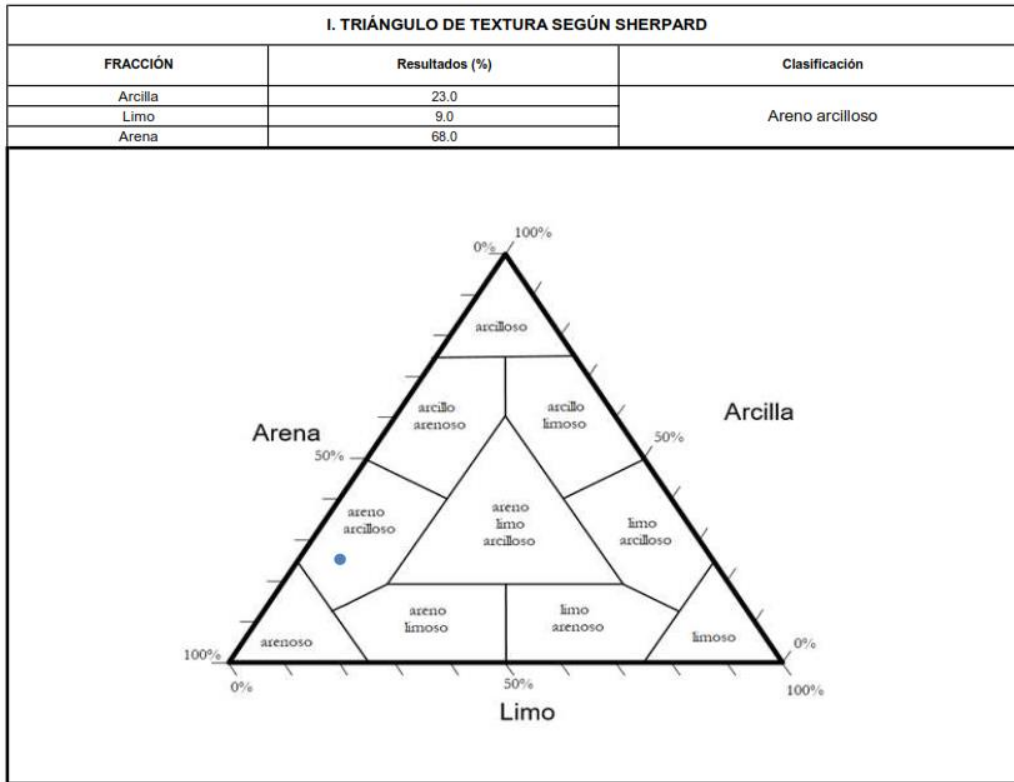
Muestra 5



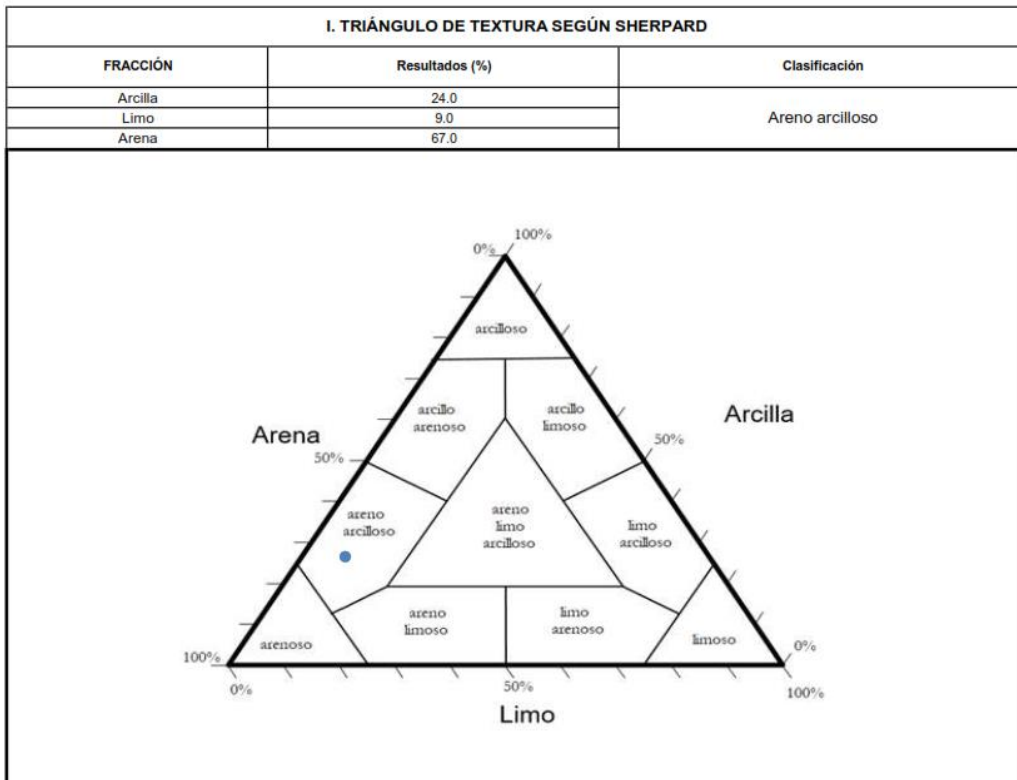
Muestra 6



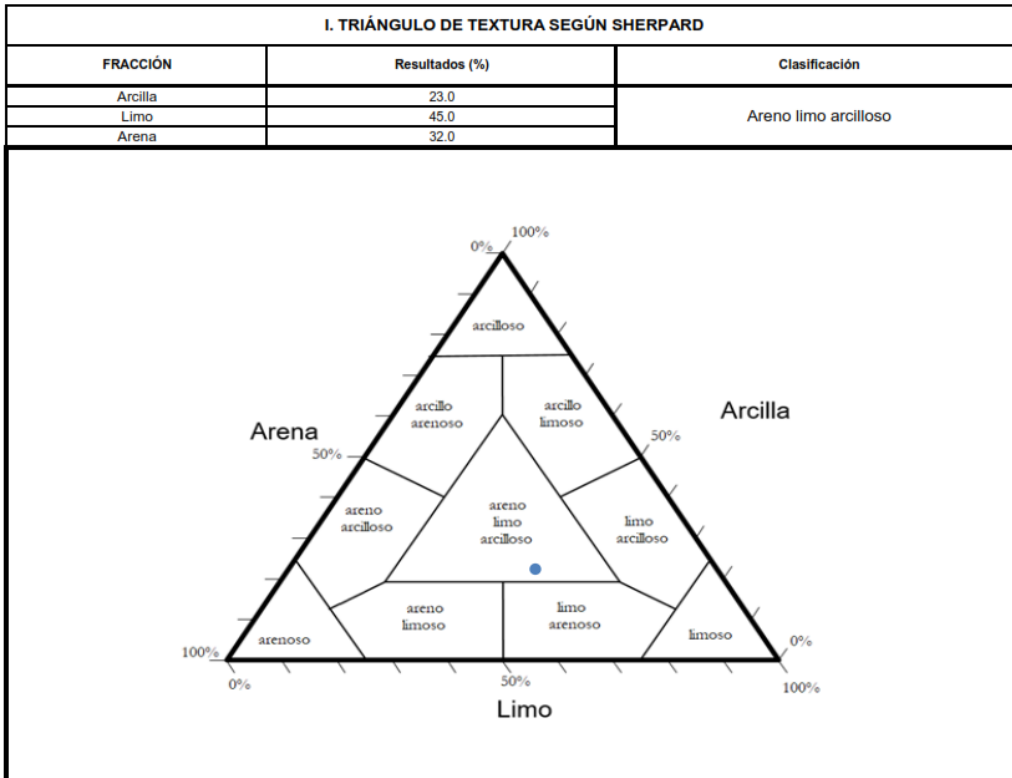
Muestra 7 Corer



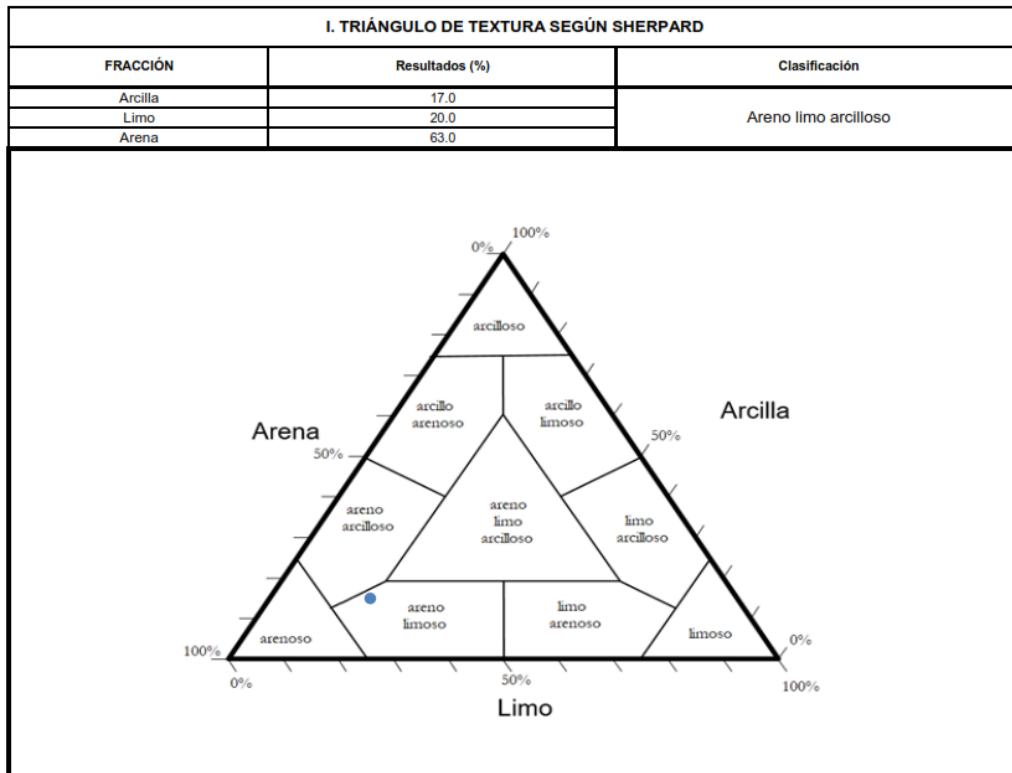
Muestra 7



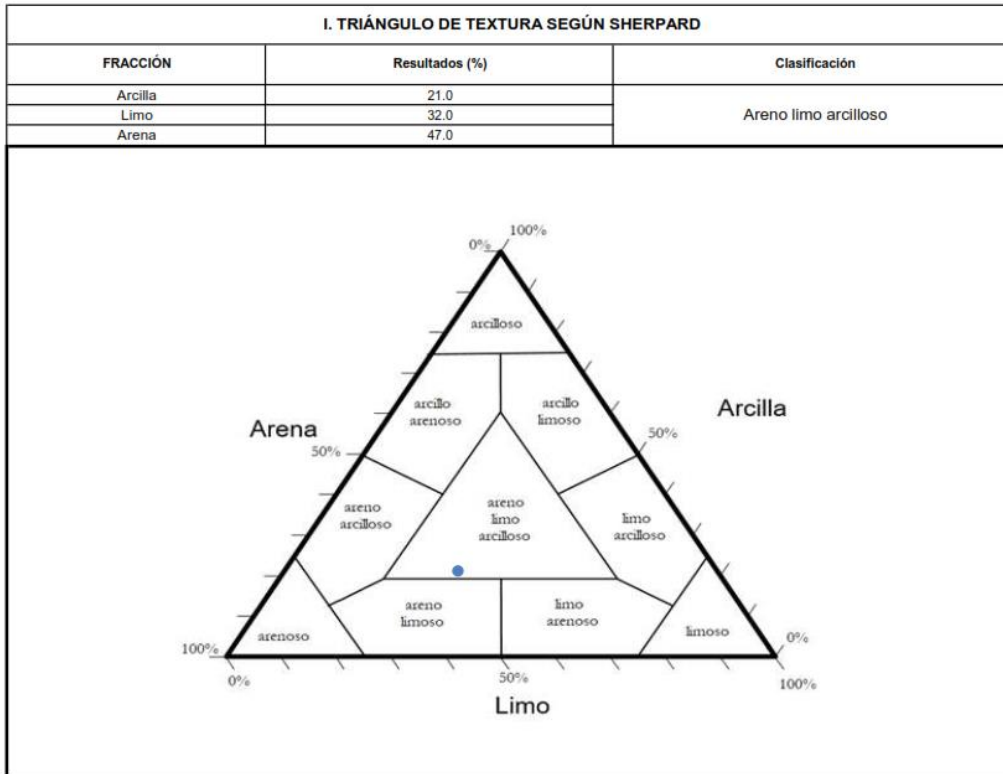
Muestra 8



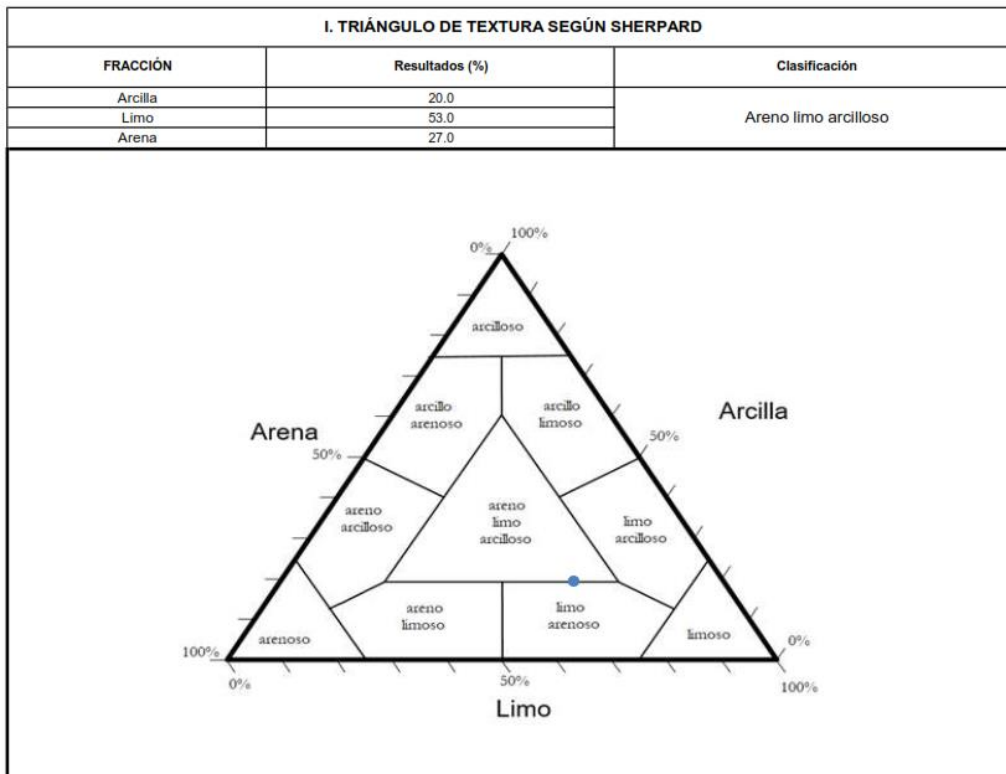
Muestra 9



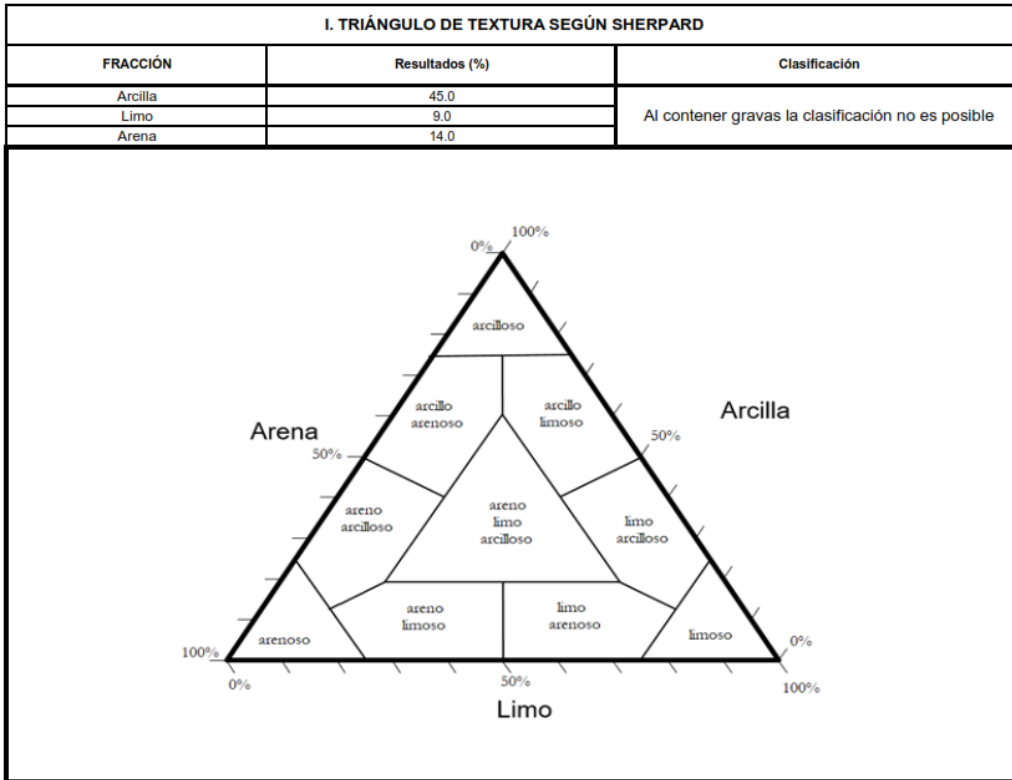
Muestra 10



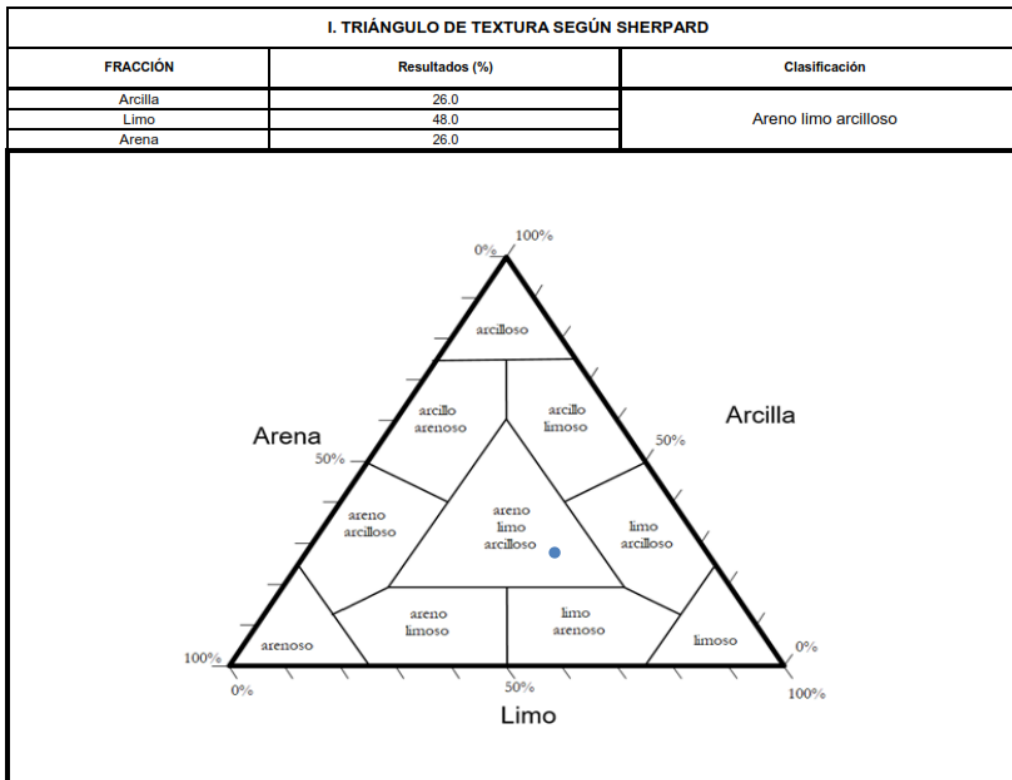
Muestra 11



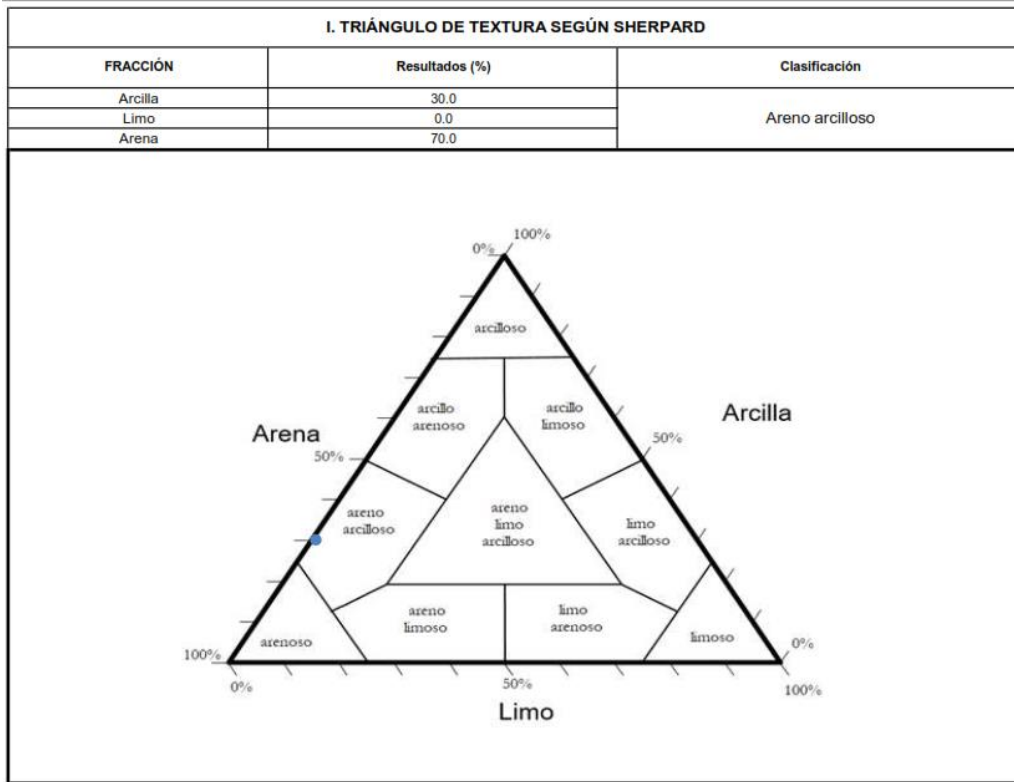
Muestra 12



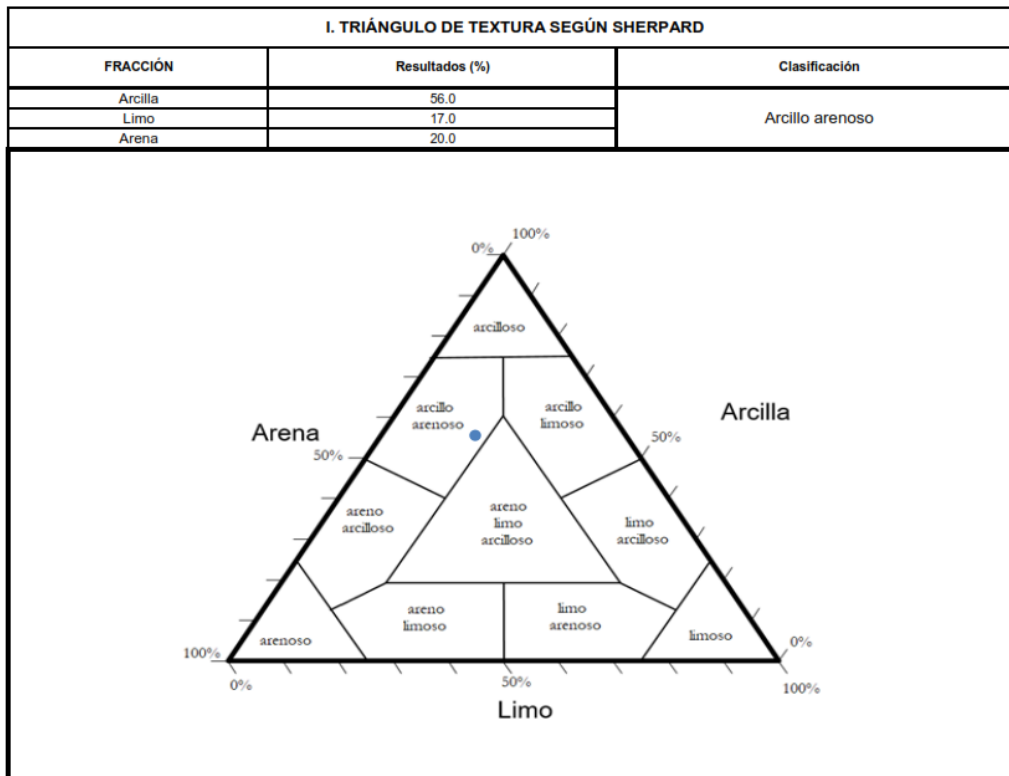
Muestra 13



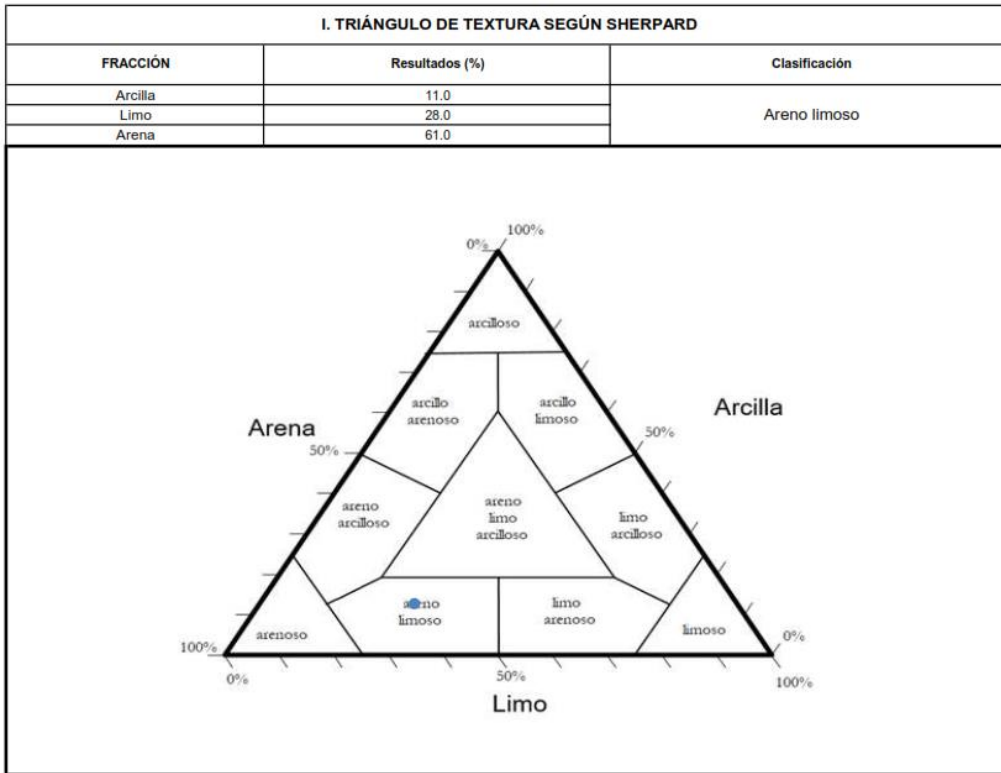
Muestra 14



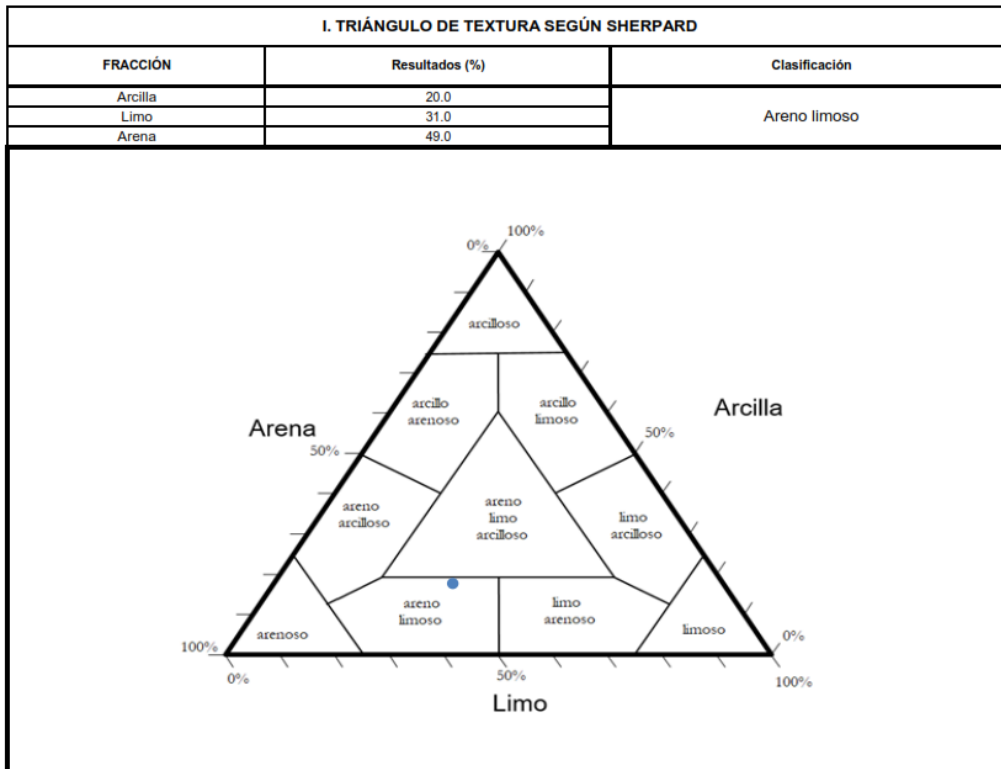
Muestra 15



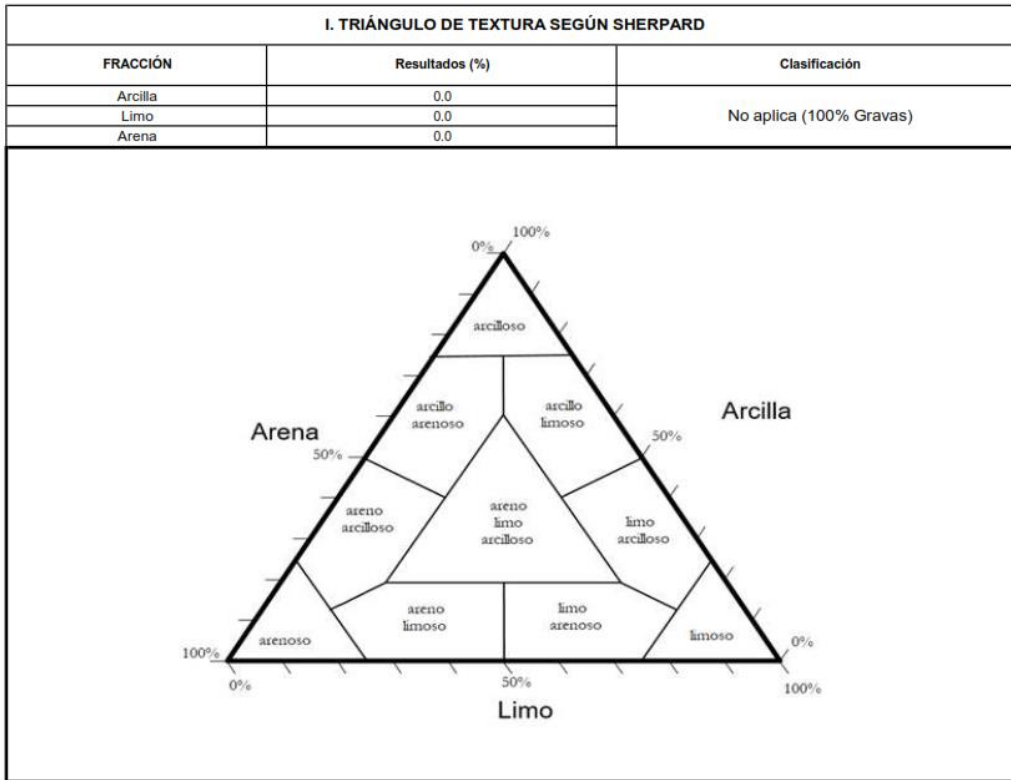
Muestra 16



Muestra 17



Muestra 18



9.4 Cálculo de volúmenes y superficies

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 al analizar la información disponible es la falta de uniformidad de las referencias establecidas por los distintos organismos, con un margen de variación en cota de casi 10 metros.

Se han analizado los datos de las fichas del MITECO, datos históricos de los planos topográficos y de la presa, datos del Instituto Geográfico Nacional (IGN) como el LIDAR del PNOA, dos referencias de la Confederación Hidrológica del Ebro (CHE) y de la Sociedad Española de Presas y Embalses (SEPREM) e informes posteriores como se puede observar en la siguiente tabla, donde los datos en negro son los que se reflejan en ellos:

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
Final Obras								
Guiamets	lagua-Miteco	178	176.00	128.00	132.00	50.00	71.778	11.195
31/12/1983	Plano Presa	185.87	184.87	136.5	140.5	49.37		
	Lidar PNOA	176.21	175.19					
	CHEbro E043	176.21	175.21	126.84	130.84	49.37		10.46
	CHEbro	185.87	184.87			50	61.5	10.46
	SEPREM	185.87		135.87	139.87	50.00		
	Informe de 2003	177.00	176.00	127.00	131.00	50.00	71.78	10.46
	Medido GPS RTK	176.21	175.21	126.84	130.84	49.37	76.10	10.80

Figura 105 Comparativa de datos extraídos de distintas fuentes.

Fuentes de los datos:

https://sig.mapama.gob.es/WebServices/clientews/snczi/default.aspx?nombre=PRESA&claves=CODPRESA&valores=9430002&origen=8
https://sig.mapama.gob.es/WebServices/clientews/snczi/default.aspx?nombre=PRESA&claves=CODPRESA&valores=9430002&origen=8
https://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp
http://www.saihebro.com/saihebro/index.php?url=/datos/ficha/estacion:E043
http://portal.chebro.es/contenido.visualizar.do?idContenido=4133
http://www.sepreem.es/ficha.php?idpresa=523&p=21

Figura 106 Fuentes consultadas para las cotas de embalse de Guiamets.

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 Guiamets 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 (175.21 m) el volumen es de 10.80 Hm³ y el área correspondiente es de 76.10 Has.

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 (m³)</i>	<i>Sedimentos (Hm³)</i>
Guiamets	200.400	0,200

Informe de resultados de la cubicación:

Grid Volume Computations

GUIAMETS. Volumen de sedimentos no consolidados

Upper Surface

Level Surface defined by Z = 0

Lower Surface

Grid File Name: FONDO EMBALSE-SEDIMENTOS_SurferMC--b.grd
 Grid Size: 520 rows x 1000 columns

X Minimum: 311169.5
 X Maximum: 313182.29
 X Spacing: 2.0148048048048

Y Minimum: 4551424.93
 Y Maximum: 4552459.35
 Y Spacing: 1.9931021194604

Z Minimum: -0.36463386717243
 Z Maximum: 4.7483446174179

Polygon Boundary

File Name: BordeLinSIS3k5-3m.dxf
 Number of Polygons: 1
 Volume: Inside

Volumes

Z Scale Factor: 1

Total Volumes by:

Trapezoidal Rule: -200414.98842988
 Simpson's Rule: -200464.47060959
 Simpson's 3/8 Rule: -200443.47570914

Cut & Fill Volumes

Positive Volume [Cut]: 29.155892672347
 Negative Volume [Fill]: 200444.14432255

Net Volume [Cut-Fill]: -200414

Hay que indicar que este resultado se estima inferior al real, pues como se ha indicado en el apartado 8.2 hasta una distancia de unos 380 m de la presa se producen diferentes ecos laterales y difracciones en las señales que solo han permitido determinar la cobertura más superficial de escaso espesor. Con ello no se ha podido definir en esa zona próxima a la presa el horizonte de los espesores reales de los sedimentos aportados.

En esa zona, de una forma totalmente subjetiva, considerando lo observado en la batimetría obtenida, planos antiguos y diferentes cotas de la presa y del cauce original, se podría estimar un volumen en torno a los 90.000 m³ que se sumarían al resultado anterior, totalizando unos 0,3 Hm³ en todo el embalse.

Tablas y gráficas del embalse de Guiamets

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 inundada 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)	Cota(m)	Área(Ha)	Volumen(Hm3)
130.00	0.000	0.000	139.75	1.821	0.021	149.50	12.419	0.613	159.25	33.551	2.748	169.00	58.584	6.913
130.25	0.000	0.000	140.00	2.091	0.026	149.75	12.875	0.644	159.50	34.213	2.829	169.25	59.268	7.050
130.50	0.000	0.000	140.25	2.254	0.031	150.00	13.425	0.675	159.75	34.784	2.910	169.50	59.954	7.189
130.75	0.000	0.000	140.50	2.548	0.037	150.25	14.006	0.708	160.00	35.370	2.993	169.75	60.618	7.330
131.00	0.000	0.000	140.75	2.765	0.044	150.50	14.619	0.742	160.25	35.952	3.078	170.00	61.260	7.472
131.25	0.000	0.000	141.00	2.984	0.051	150.75	15.190	0.778	160.50	36.512	3.164	170.25	61.920	7.615
131.50	0.000	0.000	141.25	3.144	0.058	151.00	15.786	0.815	160.75	37.086	3.251	170.50	62.592	7.760
131.75	0.000	0.000	141.50	3.308	0.066	151.25	16.607	0.854	161.00	37.639	3.339	170.75	63.249	7.906
132.00	0.000	0.000	141.75	3.460	0.074	151.50	17.271	0.894	161.25	38.215	3.428	171.00	63.909	8.054
132.25	0.000	0.000	142.00	3.596	0.083	151.75	17.896	0.937	161.50	38.779	3.519	171.25	64.599	8.203
132.50	0.000	0.000	142.25	3.732	0.092	152.00	18.502	0.980	161.75	39.327	3.612	171.50	65.288	8.353
132.75	0.000	0.000	142.50	3.865	0.101	152.25	19.017	1.025	162.00	39.859	3.705	171.75	65.987	8.506
133.00	0.000	0.000	142.75	4.027	0.110	152.50	19.452	1.071	162.25	40.418	3.800	172.00	66.699	8.659
133.25	0.000	0.000	143.00	4.270	0.120	152.75	19.909	1.118	162.50	41.009	3.896	172.25	67.439	8.815
133.50	0.000	0.000	143.25	4.484	0.131	153.00	20.426	1.167	162.75	41.670	3.993	172.50	68.245	8.972
133.75	0.000	0.000	143.50	4.682	0.142	153.25	20.972	1.216	163.00	42.383	4.092	172.75	69.021	9.131
134.00	0.000	0.000	143.75	4.887	0.153	153.50	21.499	1.267	163.25	43.032	4.193	173.00	69.778	9.291
134.25	0.000	0.000	144.00	5.184	0.166	153.75	21.949	1.319	163.50	43.643	4.295	173.25	70.476	9.453
134.50	0.000	0.000	144.25	5.444	0.178	154.00	22.352	1.372	163.75	44.261	4.398	173.50	71.179	9.617
134.75	0.000	0.000	144.50	5.732	0.192	154.25	22.762	1.426	164.00	44.851	4.503	173.75	71.943	9.782
135.00	0.000	0.000	144.75	6.049	0.206	154.50	23.137	1.481	164.25	45.405	4.609	174.00	72.727	9.949
135.25	0.000	0.000	145.00	6.338	0.221	154.75	23.529	1.536	164.50	45.978	4.717	174.25	73.483	10.117
135.50	0.000	0.000	145.25	6.640	0.236	155.00	24.029	1.593	164.75	46.595	4.826	174.50	74.143	10.287
135.75	0.001	0.000	145.50	6.910	0.253	155.25	24.577	1.651	165.00	47.247	4.936	174.75	74.770	10.458
136.00	0.001	0.000	145.75	7.168	0.270	155.50	25.066	1.710	165.25	47.930	5.048	175.00	75.443	10.630
136.25	0.002	0.000	146.00	7.444	0.287	155.75	25.533	1.770	165.50	48.608	5.161	175.25	76.100	10.803
136.50	0.004	0.000	146.25	7.793	0.306	156.00	26.035	1.832	165.75	49.186	5.276	175.50	76.698	10.978
136.75	0.007	0.000	146.50	8.305	0.325	156.25	26.492	1.894	166.00	49.645	5.392	175.75	77.307	11.153
137.00	0.018	0.000	146.75	8.628	0.345	156.50	26.994	1.958	166.25	50.003	5.509	176.00	77.977	11.329
137.25	0.040	0.000	147.00	8.878	0.366	156.75	27.554	2.023	166.50	50.550	5.626	176.25	78.695	11.507
137.50	0.072	0.000	147.25	9.101	0.388	157.00	28.183	2.089	166.75	52.065	5.746			
137.75	0.149	0.000	147.50	9.302	0.410	157.25	28.947	2.157	167.00	52.986	5.869			
138.00	0.407	0.001	147.75	9.507	0.432	157.50	29.497	2.226	167.25	53.709	5.994			
138.25	0.648	0.002	148.00	9.774	0.455	157.75	30.055	2.297	167.50	54.446	6.120			
138.50	0.846	0.004	148.25	10.091	0.479	158.00	30.658	2.369	167.75	55.150	6.248			
138.75	1.061	0.007	148.50	10.502	0.504	158.25	31.175	2.442	168.00	55.870	6.378			
139.00	1.276	0.010	148.75	10.993	0.529	158.50	31.705	2.517	168.25	56.603	6.509			
139.25	1.483	0.013	149.00	11.489	0.556	158.75	32.220	2.593	168.50	57.291	6.642			
139.50	1.641	0.017	149.25	11.926	0.584	159.00	32.776	2.670	168.75	57.930	6.777			

Figura 107 Tabla Cota-Área-Volumen

GRAFICAS AREA VOLUMEN

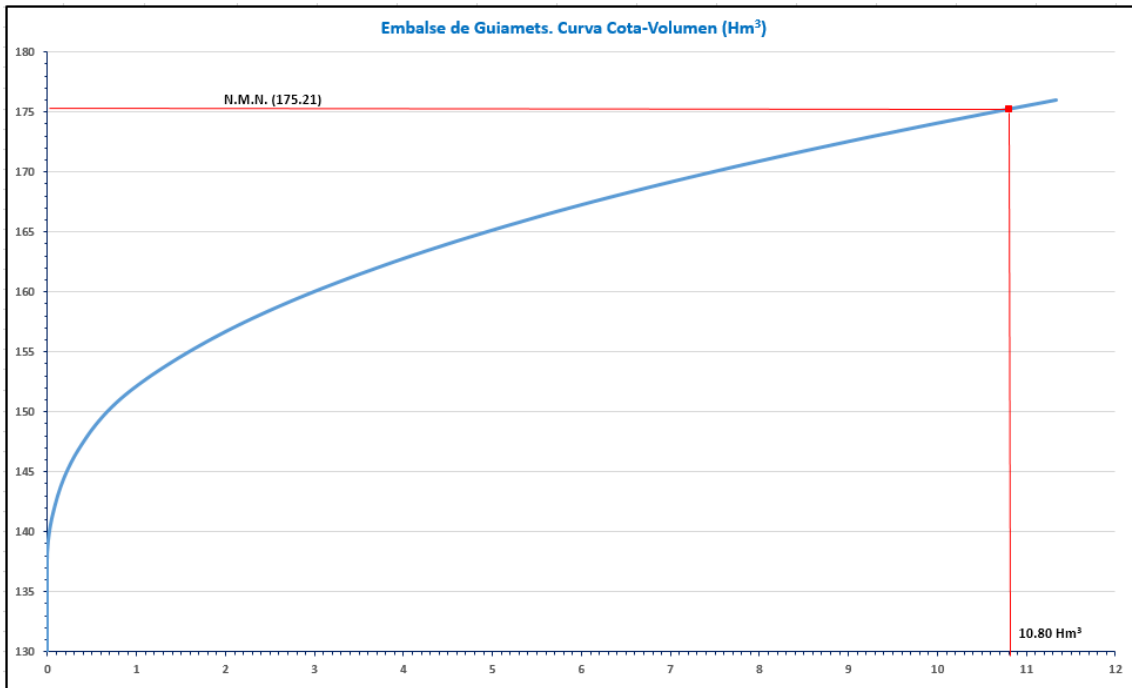


Figura 108 Curva de llenado Cota-Volumen

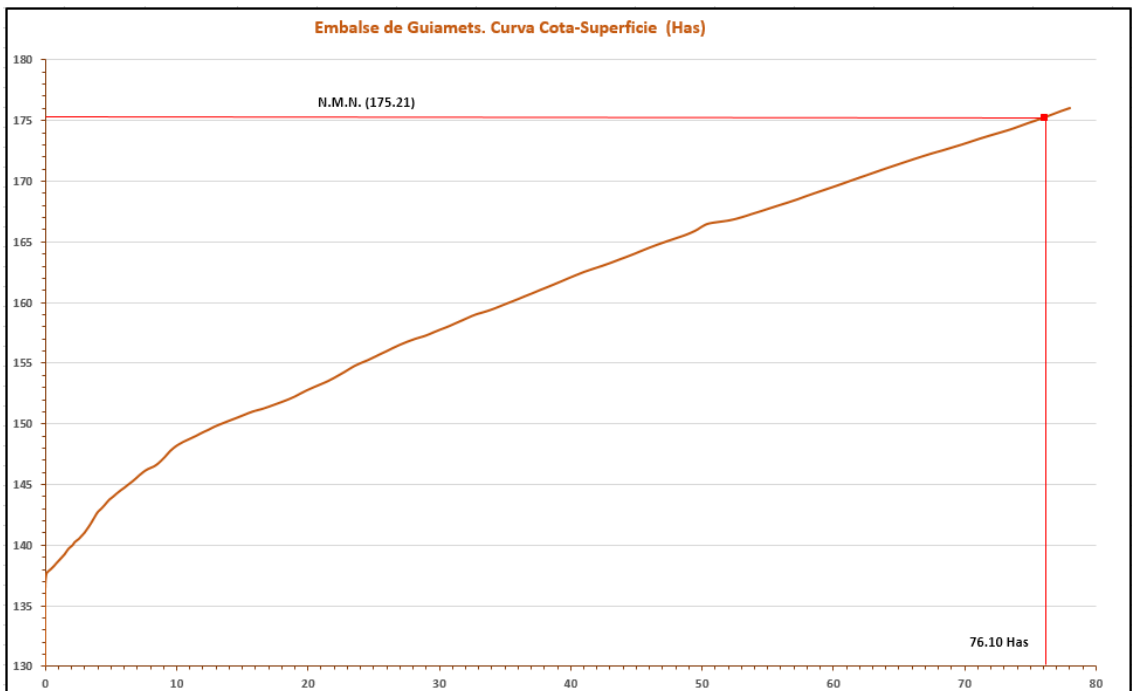


Figura 109 Curva Cota-Área

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).

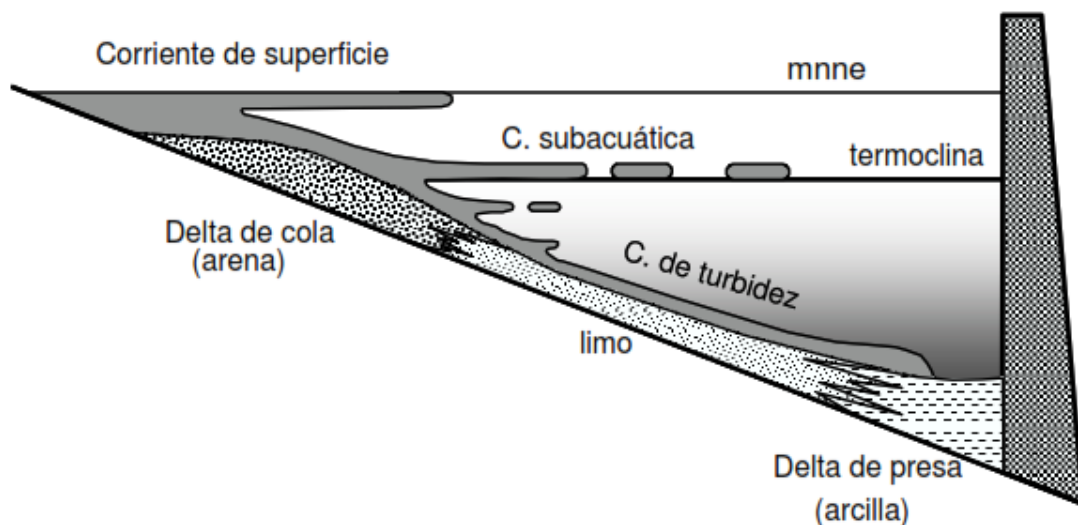


Figura 110 Comportamiento del sedimento en embalses (R.Cobo.CEDEX)

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 el 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.

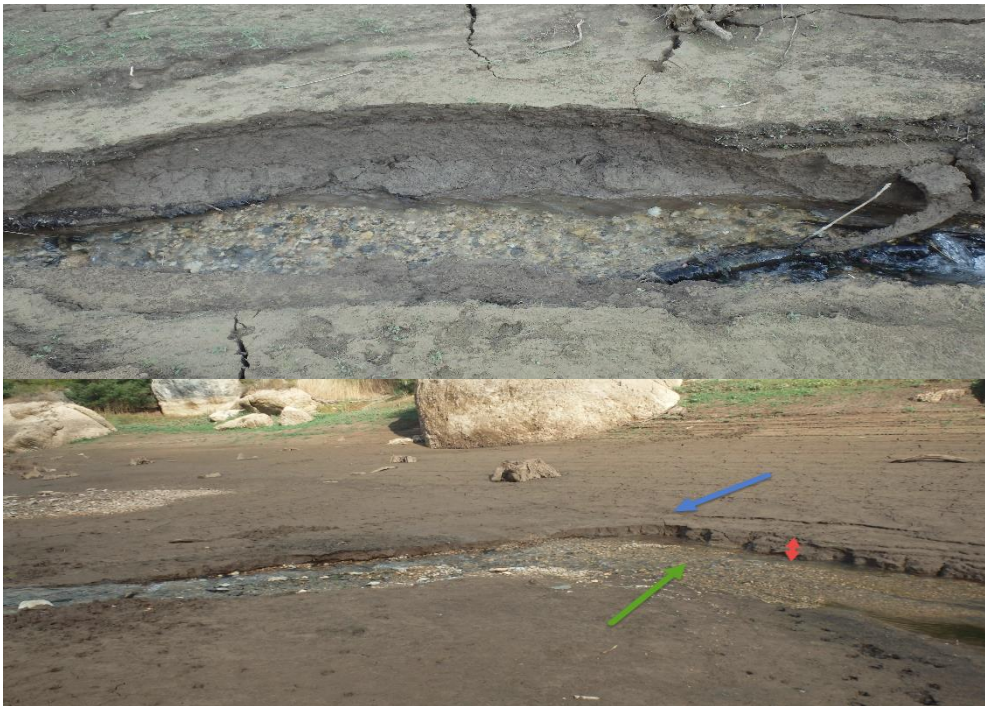


Figura 111 Ejemplos de la cola del Embalse Margalef.

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 semiautomática 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.

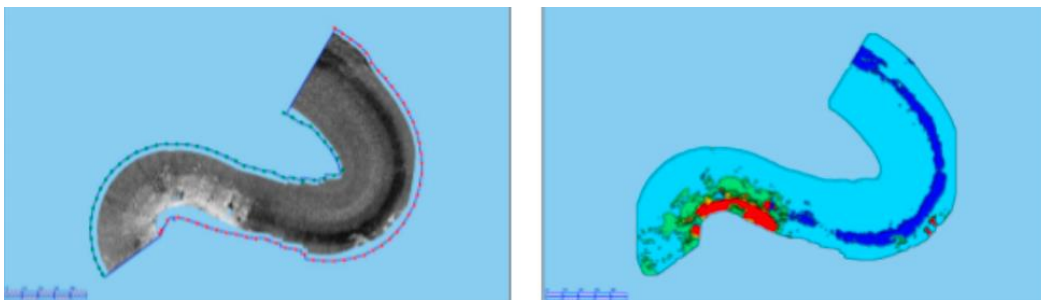


Figura 20 Ejemplo de clasificación de fondos.

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 cuál 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.

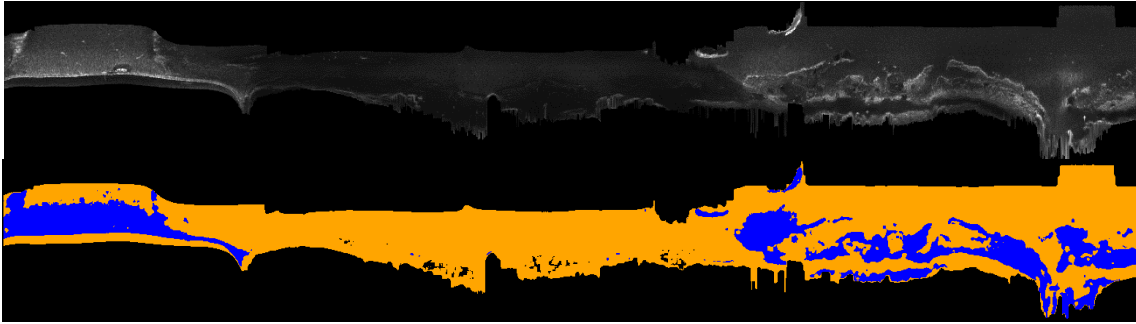


Figura 112 Ejemplo de clasificación realizada en embalse.

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

Debido a la uniformidad de los sedimentos acumulados en el embalse de Guiamets se ha determinado como mejor opción la clasificación de fondos con dos clases. Prácticamente todas las muestras presentan una capa superficial de limos y materia orgánica de color negro. Al utilizar alta frecuencia la ecosonda multihaz hace que solo se detecte esa primera capa.

En los siguientes ejemplos se ha realizado forzando a aplicar 3 clases (1 azul para materiales menos reflectivos como limos, 2 amarillo para materiales intermedios y 3 rojo para materiales con mayor reflectividad como arenas, gravas o piedra) pero como se puede apreciar en la muestras 1 y 2, para el mismo tipo de sedimento superficial aplica dos clases distintas, por lo que las clases 1 y 2 son prácticamente la misma al representar un sedimento que entrega la misma respuesta acústica.



Figura 113 Muestras 1 y 2 donde 3 clases dan diferente respuesta al mismo tipo de material superficial.



Figura 114 Muestra 3 con mayor contenido de arena y que el sistema clasifica con la clase 3 (rojo).



Figura 115 Muestras que presentan esa primera capa superficial negra de limos y materia orgánica. Clasificadas como clase 2.

Como parte del entrenamiento de señales, se han realizado múltiples pruebas con diferentes configuraciones, con el fin de tratar de identificar un número mayor de clases. Para ello se ha trabajado aplicando distintos procesados de señal, amplitudes, filtros, así como modelos digitales de terreno, pendientes etc. Como ejemplo de estos procesados tenemos la Figura 116 donde se observan que el sistema de clasificación de fondos remarca la presencia de las terrazas pero amplifica en exceso la parte central de la línea, con lo que se falsea la información del nadir.

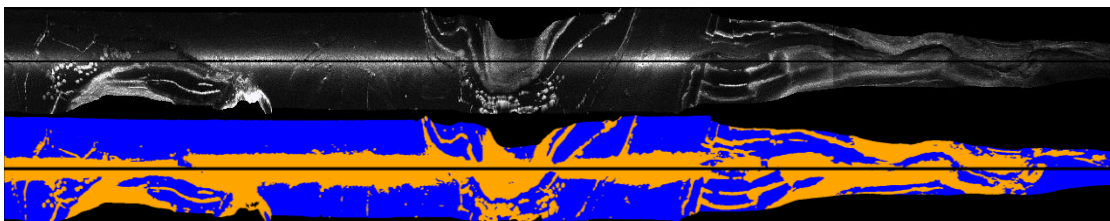


Figura 116 Clasificación de fondos donde se resaltan las terrazas.

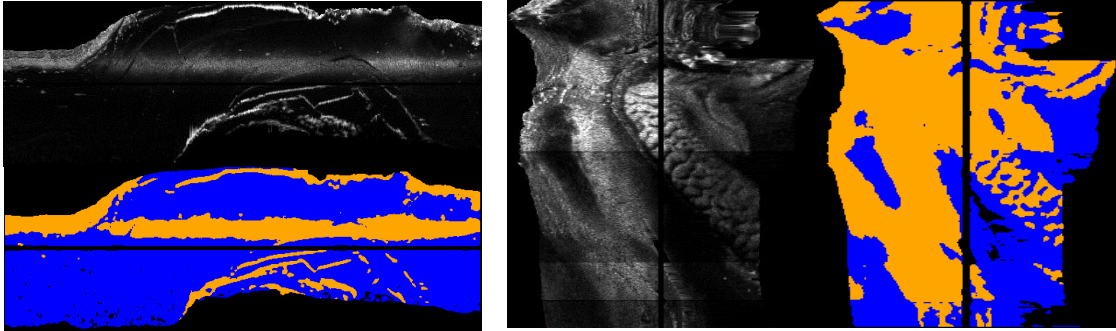


Figura 117 Ejemplos de clasificación de fondos donde se resaltan las terrazas y las zonas con arenas de forma más detallada.

En la Figura 118 podemos observar el levantamiento batimétrico realizado, el resultado del backscatter y dos ejemplos de clasificación de fondos con diferentes configuraciones donde se pueden observar las diferencias variando el procesado. En el caso de la imagen inferior izquierda se ha simplificado empleado tres clases, aunque realmente se diferencian con las muestras dos. En la imagen inferior izquierda, en tonos azules y amarillos, se ha realizado una clasificación con un procesado amplificando los valores de reflectividad y realizando un procesado junto con modelos de superficie, por ellos se distinguen las formas de las terrazas. Sin embargo en esta imagen se amplifican a su vez zonas centrales de las distintas pasadas realizadas lo que falsea el resultado de la clasificación. Debido a lo anterior y mediante un análisis comparativo de las muestras superficiales tomadas, se ha optado por una clasificación con dos clases y un resultado más uniforme.

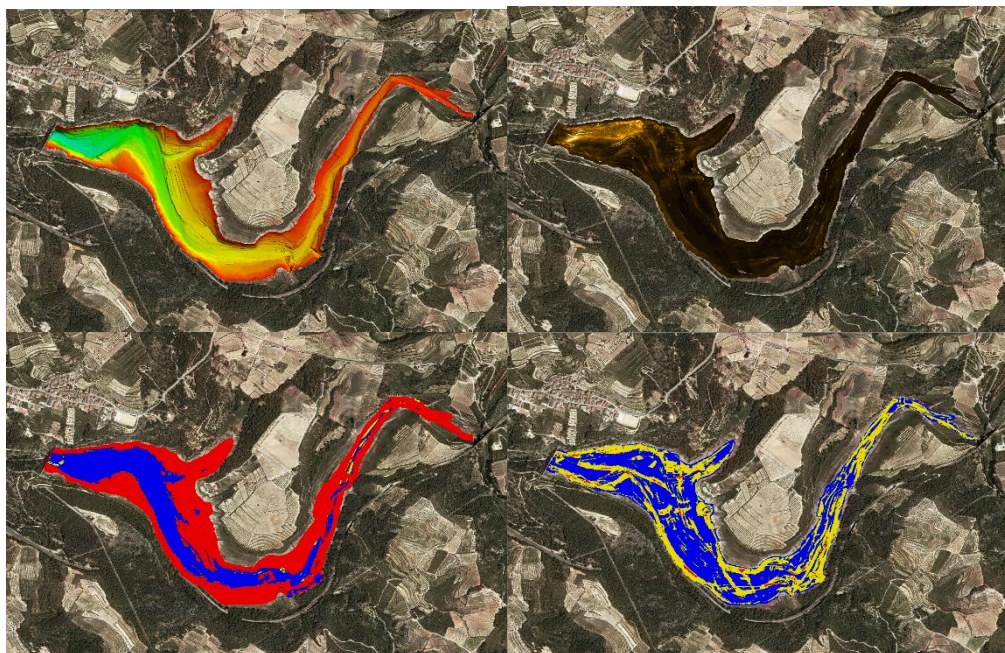


Figura 118 Batimetría (arriba izda.), backscatter (arriba dcha), ejemplos de clasificación de fondos con diferente detalle.

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 y otro posterior sin datos batimétricos. Aparte de la falta de coincidencia de cotas las deformaciones del primero hacen imposible cualquier tipo de comparación con los resultados precisos obtenidos en el estudio. En el segundo también se observan diferencias de cotas en las orillas.

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 aprecia el antiguo cauce del río Asmat, los aportes laterales, las antiguas terrazas, construcciones y balsas de las fincas inundadas y otros diferentes detalles. También un pequeño depocentro asociado al desagüe de fondo.

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 lo que se refiere al 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 prácticamente bajo toda el 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, localmente, gravas, derrubios de ladera, etc.

Los espesores máximos de esta capa de sedimentos superiores a 4.5 m se dan en zonas muy localizadas.

➤ Una segunda interfase sísmica constituida por lo que denominaremos capa de sedimentos consolidados, constituida principalmente por materiales de terrazas. El techo de esta capa de sedimentos, que coincide con el muro de la primera capa, se ha señalado con una línea de color rojo, mientras que su base se ha representado con una línea de color verde.

Esta capa se localiza principalmente en el sector Oeste del embalse, con espesores que no suelen sobrepasar los 4.5 – 5 metros.

➤ Finalmente se detecta un *basamento o zócalo acústico* que debe corresponder con los materiales de base descritos geológicamente (pizarras, carbonatos, materiales detríticos, etc). El techo de este basamento, lógicamente, se ha coloreado en verde ya que coincide con el muro de la segunda 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 Plano realizado a mano en el proyecto original de 1962.	8
Figura 3 Cruce de datos entre el proyecto 2003 y el proyecto original 1962.	8
Figura 4 Batimetría actual superpuesta en cartografía Minuta MTN50 (IGN).	10
Figura 5 Diferencia de separación de curvas en el proyecto original.	10
Figura 6 Diferencia de cotas entre el proyecto inicial 1962 y el estudio realizado en 2003	11
Figura 7 Datos facilitados por la CHE.....	11
Figura 8 Comparativa con diferencias de más de 1m entre curvas entre el LIDAR PNOA actual (arriba) y los datos del estudio realizado en 2003 (abajo).	12
Figura 9 Comparativa con diferencias de más de 1m entre curvas entre el LIDAR PNOA actual (arriba) y los datos del estudio realizado en 2003 (abajo).	12
Figura 10 Mapa regional de unidades geológicas donde se aprecia la orientación NE-SO de la Cordillera.	14
Figura 11. Sección del Mapa geológico 471 (Mora de Ebro) a escala 1:50000, 2ª serie MAGNA. Cartografía IGME.....	15
Figura 12. Depósitos terciarios ubicados en la cola del embalse.....	16
Figura 13 Cobertura de distintos sistemas diferenciales satelitales	18
Figura 14 Segmento de control sistema Navstar	19
Figura 15. Imágenes con la constelación Navstar y un esquema de los tres segmentos que la componen.....	20
Figura 16. Sensor de movimiento y GPS integrado en el soporte de la ecosonda multihaz.	21
Figura 17. Esquema de las medidas que toma el sensor de movimiento	21
Figura 18. Ecosondas: Monohaz (Parte Superior) y Multihaz (Parte Inferior)	22
Figura 19. Tipos de medidas batimétricas y su cobertura (NOAA).	23
Figura 20 Esquema de levantamiento Batimétrico + LIDAR desde embarcación	24
Figura 21 Levantamiento LIDAR desde embarcación.....	24
Figura 22 Esquema gráfico donde se establece la relación entre frecuencia y penetración en sedimentos (Trabant, 1984).	26
Figura 23 Draga VanVeen	27

Figura 24 Esquema de integración de datos GPS para batimetría + LIDAR y levantamiento sísmico.....	28
Figura 25 Bases de IGN e ICGC próximas a la zona	29
Figura 26 Sistema GNSS Emlid Reach RS2 y sus características	30
Figura 27 Hemisphere A325 GNSS y sus características.....	30
Figura 28 Embarcación con el mástil dónde se instala la antena GPS Rover	31
Figura 29 Sensor de movimientos y rumbo Certus EVO.	32
Figura 30 Pantalla de control y configuración Advanced Navigation Certus EVO.	33
Figura 31 Pantalla de navegación del piloto.	33
Figura 32 Ordenador de control de navegación con pantalla del operador instalado a bordo. Batimetría + LIDAR (izda) y sísmica (dcha).	34
Figura 33 Ecosonda Norbit WBMS	36
Figura 34 Pantalla de control del sistema Norbit.	37
Figura 35 Unidad de cubierta SIU (Sonar Interface Unit).....	37
Figura 36 Sensor de la velocidad del sonido en superficie (arriba). Sensor de velocidad del sonido en la columna de agua (abajo.)	39
Figura 37 Especificaciones Velodyne VLP16.....	40
Figura 38 Velodyne VLP16 integrado en el mástil junto a la ecosonda y al sistema MRU+GPS RTK.	41
Figura 39. 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).....	42
Figura 40. Fuente de alimentación del emisor sísmico.	43
Figura 41. Catamarán con emisor acústico	43
Figura 42. Boomer emisor acústico.....	44
Figura 43. Hidrófono receptor acústico o Streamer.....	44
Figura 44 Procesadores de señal Octopus	45
Figura 45. Receptor de 3.5KHz asociado al Geopulse	46
Figura 46 Sistema remolcado trabajando en la zona	47
Figura 47 Draga VanVeen de gran capacidad.....	48
Figura 48 Corer empleado	48
Figura 49 Embarcación empleada durante una de las limpiezas en centros homologados.	49
Figura 50 Instalación de equipos a bordo.	50

Figura 51 Pantalla del patrón	50
Figura 52 Líneas de calibración	53
Figura 53 Representación del error de latencia.....	54
Figura 54 Imagen descriptiva del error de Pitch	54
Figura 55 Imagen descriptiva del error de Roll.....	55
Figura 56. Imagen descriptiva del error de Yaw.....	55
Figura 57 Comparativo antes de una calibración (arriba) y después de la calibración (debajo)	56
Figura 58 Resultante de corrección de Roll.....	56
Figura 59 Resultante de corrección de Yaw y latencia.....	57
Figura 60 Navegación realizada para el levantamiento batimétrico y topográfico	57
Figura 61 Equipos topo-batimétricos instalados en la embarcación.	58
Figura 62 Sistema de adquisición y navegación durante el levantamiento sísmico.	58
Figura 63 Navegación realizada para el levantamiento sísmico.	59
Figura 64 Toma de datos sísmicos en la zona.	60
Figura 65 Datos batimétricos XYZ en vista 3D GRID.....	63
Figura 66 Detalle de edificaciones en formato de nube de puntos	64
Figura 67. Perfiles de velocidad del sonido en la columna de agua tomados en la campaña	65
Figura 68 Variaciones estimadas de la velocidad del sonido en el agua, según las variaciones de la temperatura.	65
Figura 69 Vivienda sumergida	66
Figura 70 Detalle de una de las paredes	67
Figura 71 MDT del embalse de Guiamets integrado en la ortofoto.	68
Figura 72 Registro 0000_1113 obtenido con 3k5	69
Figura 73 Registro 19062153 obtenido con Geopulse	69
Figura 74 Registro 0000_1113 obtenido con 3k5	70
Figura 75 Registro 19062150 obtenido con Geopulse	70
Figura 76 Registro 0004_1103 obtenido con 3k5	71
Figura 77 Registro 0007_1055 obtenido con 3k5	71
Figura 78 Registro 19062148 obtenido con Geopulse	71
Figura 79 Registro 19062145 obtenido con Geopulse	72
Figura 80. Filtro Paso Banda	73
Figura 81. Filtro AGC (Auto Gain Control)	73

Figura 82. Registro de la línea 0006_1539 en bruto (imagen superior) y procesado (imagen inferior).	74
Figura 83. Registro de la línea 0013_1412 en bruto (imagen superior) y procesado (imagen inferior).	74
Figura 84. Situación de las líneas 0006_1539 y 0013_1412.....	75
Figura 85. Registro de la línea 0013_1412 con el 3.5 kHz (imagen superior) y el Geopulse (imagen inferior).	75
Figura 86 Registro de la línea 0011_1400, obtenidos con el 3.5kHz, donde se diferencian las distintas capas que se han definido.....	76
Figura 87. Ejemplo de la línea 0007_1531	77
Figura 88. Línea 0007_1531	78
Figura 89. Línea 0005_1547	79
Figura 90. Mapa de isopacas de sedimentos general	80
Figura 91. Mapa de isopacas de sedimentos no consolidados	80
Figura 92 Acreditaciones de Laboratorio Munuera SLU	82
Figura 93 Proceso de recepción y secado.	83
Figura 94 Rotura de los agregados.....	83
Figura 95 Proceso de tamizado	84
Figura 96 Tamices empleados en los ensayos.....	84
Figura 97 Tamizadora programada	84
Figura 98 Pesaje de los distintos tamices.....	85
Figura 99 Validación y creación del boletín por tamizado.	85
Figura 100 Fase 1, reacción con H ₂ O ₂ y secado en estufa.....	86
Figura 101 Fase 2, hexametáfosfato y homogenización.	86
Figura 102 Fase 3, enrase homogenización y medida de la densidad.	86
Figura 103 Fase 4, traspaso de datos al registro y cálculo de contenidos en gravas, arena, limo y arcilla.	87
Figura 104 Clasificación de textura por el triángulo de Shepard, validación de datos y generación de boletín	87
Figura 105 Comparativa de datos extraídos de distintas fuentes.....	98
Figura 106 Fuentes consultadas para las cotas de embalse de Guiamets.	98
Figura 107 Tabla Cota-Área-Volumen	101
Figura 108 Curva de llenado Cota-Volumen.....	102
Figura 109 Curva Cota-Área	102

Figura 110 Comportamiento del sedimento en embalses (R.Cobo.CEDEX).....	103
Figura 111 Ejemplos de la cola del Embalse Margalef.	104
Figura 112 Ejemplo de clasificación realizada en embalse.	106
Figura 113 Muestras 1 y 2 donde 3 clases dan diferente respuesta al mismo tipo de material superficial.....	107
Figura 114 Muestra 3 con mayor contenido de arena y que el sistema clasifica con la clase 3 (rojo).....	107
Figura 115 Muestras que presentan esa primera capa superficial negra de limos y materia orgánica. Clasificadas como clase 2.....	108
Figura 116 Clasificación de fondos donde se resaltan las terrazas.	108
Figura 117 Ejemplos de clasificación de fondos donde se resaltan las terrazas y las zonas con arenas de forma más detallada.....	109
Figura 118 Batimetría (arriba izda.), backscatter (arriba dcha), ejemplos de clasificación de fondos con diferente detalle.....	109

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)
Tlf/Fax: +34667335103/+34918139090
e-mail: fgonzalez@tecmarin.es -
web: 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 campo de las muestras tomadas


EMBALSE DE GUIAMETS		TESTIFICACIÓN SUELOS		Fecha 23/7/21	
Nº Muestra	1	Coordenadas (Emplazamiento) Profundidad -32m		311269.35	4552101.23
Tipo de muestra	Van Veen				
				Fotografías	
Código USCS	OH-CH	<p>Arcillas grises alta plasticidad. Arcillas (Limos) marrón claro, baja plasticidad. Materia Orgánica en descomposición, restos de plantas, a techo.</p> 			
Granulometría mayoritaria >50%	Arcillas				
Minoritaria -oso(50-35%), Bastante (35-20%), Algo (20-10%), Indicios (10-5%)	Limosas con bastante materia orgánica				
Color	Gris-Marrón-Negro				
Olor	Fuerte				
Consistencia /Compacidad	alta consistencia en arcillas grises				
Materia orgánica	En capas resto de plantas				
Carbonatos					
Restos Antrópicos					
Humedad	Saturado				
Excavabilidad / Estabilidad					


EMBALSE DE GUIAMETS	TESTIFICACIÓN SUELOS	Fecha 23/7/21	
Nº Muestra 2	Coordenadas (Emplazamiento)	311280.25	4552119.16
Tipo de muestra Van Veen	Profundidad - 32m	Fotografías	
Código USCS	CH-OL	Alternancia de arcillas y limos con materia orgánica, restos de plantas. Consistencia alta en arcillas y baja en limos. 	
Granulometría mayoritaria >50%	Arcillas		
Minoritaria - oso(50-35%), Bastante (35-20%), Algo (20-10%), Indicios (10-5%)	Limosas con bastante Materia Orgánica		
Color	Marrón claro-negro		
Olor	Fuerte		
Consistencia /Compacidad	Arcillas marrón claro, consistentes		
Materia orgánica	En limos		
Carbonatos			
Restos Antrópicos			
Humedad	Saturado		
Excavabilidad / Estabilidad			

EMBALSE DE GUIAMETS	TESTIFICACIÓN SUELOS	Fecha 23/7/21	
Nº Muestra 3	Coordenadas (Emplazamiento)	312269.3	4551543.9
Tipo de muestra Van Veen	Profundidad - 15m	Fotografías	
Código USCS	OL-OH	Arena de grano fino en los limos	
Granulometría mayoritaria >50%	Limos		
Minoritaria - oso(50-35%), Bastante (35-20%), Algo (20-10%), Indicios (10-5%)	Arcillosos con algo de arena		
Color	Marrón oscuro, negro		
Olor	Ligero		
Consistencia /Compacidad			
Materia orgánica	Muy abundante en la parte superior		
Carbonatos			
Restos Antrópicos			
Humedad	saturado		
Excavabilidad / Estabilidad			


EMBALSE DE GUIAMETS	TESTIFICACIÓN SUELOS	Fecha 23/7/21	
Nº Muestra 4	Coordenadas (Emplazamiento)	311431.66	4552053.57
Tipo de muestra Van Veen	Profundidad - 18m	Fotografías	
Código USCS	OL-OH	<p>Se aprecia alternancia de capas arcillosa en los limos. Las capas mas consistentes, marrón oscuro, parecen ser mas arcillosas y tienen menos materia orgánica.</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			
Materia orgánica	En capas		
Carbonatos			
Restos Antrópicos			
Humedad	Saturado		
Excavabilidad / Estabilidad			

EMBALSE DE GUIAMETS	TESTIFICACIÓN SUELOS	Fecha 23/7/21	
Nº Muestra 5	Coordenadas (Emplazamiento)	311392.08	4552110.42
Tipo de muestra Van Veen	Profundidad -30m	Fotografías	
Código USCS	OH-CH	<p>Arcillas con intercalación de capas con alta cantidad de materia orgánica. Arcillas, marrón claro, 3cm. Arcillas-Limos</p> <p>M.O. 2cm</p> 	
Granulometría mayoritaria >50%	Arcillas		
Minoritaria - oso(50-35%), Bastante (35-20%), Algo (20-10%), Indicios (10-5%)	Limosas con bastante materia orgánica		
Color	Marrón claro, gris-negro		
Olor	Fuerte		
Consistencia /Compacidad	Capa de arcillas mas consistente		
Materia orgánica	localizada en capas		
Carbonatos			
Restos Antrópicos			
Humedad	Saturado		
Excavabilidad / Estabilidad			


EMBALSE DE GUIAMETS	TESTIFICACIÓN SUELOS	Fecha 23/7/21	
Nº Muestra 6	Coordenadas (Emplazamiento)	311415.43	4552161.38
Tipo de muestra Van Veen	Profundidad -26m	Fotografías	
Código USCS	CH-OH	<p>Arcillas Marrones, limos negros. Capas con M.O 2-3cm sin M.O 3-5 cm</p> 	
Granulometría mayoritaria >50%	Arcillas		
Minoritaria - oso(50-35%), Bastante (35-20%), Algo (20-10%), Indicios (10-5%)	Limosas con materia orgánica		
Color	Marrón claro , negro		
Olor	Ligero		
Consistencia /Compacidad	Capas de arcilla mas consistente		
Materia orgánica	Capas de 1-2 cm		
Carbonatos			
Restos Antrópicos			
Humedad	Saturado		
Excavabilidad / Estabilidad			


EMBALSE DE GUIAMETS	TESTIFICACIÓN SUELOS	Fecha 23/7/21	
Nº Muestra 7	Coordenadas (Emplazamiento)	311596.42	4552087.81
Tipo de muestra Core	Profundidad -22m	Fotografías	
Código USCS	OH-CH	<p>60-70 cm de testigo de sedimento. El color de la muestra cambia de gris a negro de forma gradual.</p> 	
Granulometría mayoritaria >50%	Arcillas		
Minoritaria - oso(50-35%), Bastante (35-20%), Algo (20-10%), Indicios (10-5%)	Limosas con Materia Orgánica		
Color	Marrón, gris, negro		
Olor			
Consistencia /Compacidad			
Materia orgánica	En la parte superior mayor acumulación		
Carbonatos			
Restos Antrópicos			
Humedad	Saturado		
Excavabilidad / Estabilidad			


EMBALSE DE GUIAMETS	TESTIFICACIÓN SUELOS	Fecha 23/7/21	
Nº Muestra 8	Coordenadas (Emplazamiento)	311686.82	4552050.76
Tipo de muestra Van Veen	Profundidad - 24m	Fotografías	
Código USCS	CH-OH	<p>Alternancia en la composición: Marrones claros, Arcillas de 3 a 5 cm. Oscuros, negro, Limos, con M.O. 1 cm</p> 	
Granulometría mayoritaria >50%	Arcillas		
Minoritaria - oso(50-35%), Bastante (35-20%), Algo (20-10%), Indicios (10-5%)	Limosas con Materia Orgánica		
Color	Marrón claro, oscuro a negro		
Olor	Medio		
Consistencia /Compacidad	Capas de arcillas mas consistente		
Materia orgánica	Capas con alto contenido en MO		
Carbonatos			
Restos Antrópicos			
Humedad	Saturado		
Excavabilidad / Estabilidad			


EMBALSE DE GUIAMETS	TESTIFICACIÓN SUELOS	Fecha 23/7/21	
Nº Muestra 9	Coordenadas (Emplazamiento)	312514.86	4551886.48
Tipo de muestra Van Veen	Profundidad - 10m	Fotografías	
Código USCS	OH	<p>Arcillas con buena plasticidad. Materia orgánica en capas centimétricas, acumulación restos vegetales en descomposición, ramas finas.</p> 	
Granulometría mayoritaria >50%	Arcillas		
Minoritaria - oso(50-35%), Bastante (35-20%), Algo (20-10%), Indicios (10-5%)	Arenosas con algo de turba		
Color	Marrón oscuro a negro		
Olor	Medio		
Consistencia /Compacidad			
Materia orgánica	En finos		
Carbonatos	En arenas		
Restos Antrópicos			
Humedad	Saturado		
Excavabilidad / Estabilidad			


EMBALSE DE GUIAMETS	TESTIFICACIÓN SUELOS	Fecha 23/7/21	
Nº Muestra 10	Coordenadas (Emplazamiento)	311828.75	4551616.18
Tipo de muestra Van Veen	Profundidad - 22m	Fotografías	
Código USCS	OH		
Granulometría mayoritaria >50%	Arcilla		
Minoritaria - oso(50-35%), Bastante (35-20%), Algo (20-10%), Indicios (10-5%)	Limosa con indicios de arena		
Color	Marrón claro, marrón oscuro-gris		
Olor	Medio		
Consistencia /Compacidad			
Materia orgánica	En la parte superior de la muestra		
Carbonatos			
Restos Antrópicos			
Humedad	Saturado		
Excavabilidad / Estabilidad			


EMBALSE DE GUIAMETS	TESTIFICACIÓN SUELOS	Fecha 22/7/21	
Nº Muestra 11	Coordenadas (Emplazamiento)	311718.86	4551917.95
Tipo de muestra Van Veen	Profundidad - 23m	Fotografías	
Código USCS	OH-P	<p>Variación de consistencia y color en los 4 cm mas superficiales.</p> 	
Granulometría mayoritaria >50%	Arcillas		
Minoritaria - oso(50-35%), Bastante (35-20%), Algo (20-10%), Indicios (10-5%)	Limosas con alto contenido en Materia Orgánica		
Color	Marrón claro, oscuro a negro		
Olor	Fuerte		
Consistencia /Compacidad	Capas arcillosas mas consistentes		
Materia orgánica	En la parte superior		
Carbonatos			
Restos Antrópicos			
Humedad	Saturado		
Excavabilidad / Estabilidad			


EMBALSE DE GUIAMETS	TESTIFICACIÓN SUELOS	Fecha 23/7/21	
Nº Muestra 12	Coordenadas (Emplazamiento)	312648.7	4552188.46
Tipo de muestra Van Veen	Profundidad - 8m	Fotografías	
Código USCS	SM	Gravas existentes con tamaños entre 2 a 4 cm. Finos con M.O. presentan algo de plasticidad. 	
Granulometría mayoritaria >50%	Arenas		
Minoritaria - oso(50-35%), Bastante (35-20%), Algo (20-10%), Indicios (10-5%)	Con algo de limos y con algo de gravas		
Color	Marrón claro a oscuro		
Olor	Ligero		
Consistencia /Compacidad	Material suelto		
Materia orgánica	En finos		
Carbonatos	En arenas		
Restos Antrópicos			
Humedad	Saturado		
Excavabilidad / Estabilidad			


EMBALSE DE GUIAMETS	TESTIFICACIÓN SUELOS	Fecha 23/7/21	
Nº Muestra 13	Coordenadas (Emplazamiento)	311597.99	4552166.18
Tipo de muestra Van Veen	Profundidad -26m	Fotografías	
Código USCS	OH-CH	Alternancia de capas con M.O. 5cm y capas sin M.O. 2cm de color marrón claro. Restos de ramas de plantas en descomposición. 	
Granulometría mayoritaria >50%	Arcillas		
Minoritaria - oso(50-35%), Bastante (35-20%), Algo (20-10%), Indicios (10-5%)	limosa con bastante materia orgánica		
Color	Negro, marrón claro		
Olor	Medio		
Consistencia /Compacidad	Capas de arcillas algo consistentes		
Materia orgánica	En capas		
Carbonatos			
Restos Antrópicos			
Humedad	saturado		
Excavabilidad / Estabilidad			

EMBALSE DE GUIAMETS	TESTIFICACIÓN SUELOS	Fecha 23/7/21	
Nº Muestra 14	Coordenadas (Emplazamiento)	311748.47	4552062.34
Tipo de muestra Van Veen	Profundidad - 21m	Fotografías	
Código USCS	OH	<p>Niveles de arcillas plásticas de unos 2cm. Niveles de M.O. en descomposición</p> 	
Granulometría mayoritaria >50%	Arcillas		
Minoritaria - oso(50-35%), Bastante (35-20%), Algo (20-10%), Indicios (10-5%)	Limosas con bastante materia orgánica		
Color	Negro, marrón oscuro		
Olor	Fuerte		
Consistencia /Compacidad	Niveles de arcilla mas consistentes		
Materia orgánica	Abundante		
Carbonatos			
Restos Antrópicos			
Humedad	Saturado.		
Excavabilidad / Estabilidad			

EMBALSE DE GUIAMETS	TESTIFICACIÓN SUELOS	Fecha 23/7/21	
Nº Muestra 15 - 15b	Coordenadas (Emplazamiento)	311797.22	4551933
Tipo de muestra Core	Profundidad -17m	Fotografías	
Código USCS	CH	<p>Testigo de 30 cm, en la base del core, arenas de grano fino. A techo de la muestra 3-4 cm de M.O. Alta plasticidad en las arcillas.</p> 	
Granulometría mayoritaria >50%	Arcillas		
Minoritaria - oso(50-35%), Bastante (35-20%), Algo (20-10%), Indicios (10-5%)	Limosas con algo de materia orgánica e indicios de arena		
Color	Marrón claro, gris		
Olor	Ligero		
Consistencia /Compacidad	Capas de arcillas mas consistentes		
Materia orgánica	En la parte superior de las muestras		
Carbonatos	En la base, formando las arenas		
Restos Antrópicos			
Humedad	Saturado		
Excavabilidad / Estabilidad			

EMBALSE DE GUIAMETS	TESTIFICACIÓN SUELOS	Fecha 23/7/21	
Nº Muestra 16	Coordenadas (Emplazamiento)	312879.38	4552430.86
Tipo de muestra Van Veen	Profundidad - 7m	Fotografías	
Código USCS	SM-SC	<p>Arenas de grano fino uniformes con matriz arcillosa que contiene M.O.</p> 	
Granulometría mayoritaria >50%	Arena		
Minoritaria - oso(50-35%), Bastante (35-20%), Algo (20-10%), Indicios (10-5%)	Arcillosa con indicios de grava		
Color	Amarillo, marrón claro- marrón oscuro gris		
Olor	Ligero		
Consistencia /Compacidad	Material suelto		
Materia orgánica	En finos		
Carbonatos	En arenas		
Restos Antrópicos			
Humedad	Saturado		
Excavabilidad / Estabilidad			

EMBALSE DE GUIAMETS	TESTIFICACIÓN SUELOS	Fecha 23/7/21	
Nº Muestra 17	Coordenadas (Emplazamiento)	312065.54	4551513.78
Tipo de muestra Van Veen	Profundidad - 15m	Fotografías	
Código USCS	OH	Arcillas plásticas con capas de M.O. con restos vegetales como ramas de plantas en descomposición. 	
Granulometría mayoritaria >50%	Arcillas		
Minoritaria - oso(50-35%), Bastante (35-20%), Algo (20-10%), Indicios (10-5%)	Limosas con materia orgánica		
Color	Marrón claro, oscuro y negro		
Olor	Fuerte		
Consistencia /Compacidad	Capas arcillosas mas consistentes		
Materia orgánica	restos vegetales en descomposición		
Carbonatos			
Restos Antrópicos			
Humedad	Saturado		
Excavabilidad / Estabilidad			

EMBALSE DE GUIAMETS	TESTIFICACIÓN SUELOS	Fecha 23/7/21	
Nº Muestra 18-B	Coordenadas (Emplazamiento)	313179.53	Si
Tipo de muestra Van Veen	Profundidad- 5m	Fotografías	
Código USCS	GC	<p>Dificultad para extraer la muestra. Gravas mal graduadas de hasta 8cm. Limos con M.O.</p> 	
Granulometría mayoritaria >50%	Gravas		
Minoritaria - oso(50-35%), Bastante (35-20%), Algo (20-10%), Indicios (10-5%)	Limosa con indicios de arena		
Color	Marrón claro, oscuro		
Olor	Ligero		
Consistencia /Compacidad	Material suelto		
Materia orgánica	En limos		
Carbonatos	En las gravas		
Restos Antrópicos			
Humedad	Saturado		
Excavabilidad / Estabilidad			

13.3 Análisis de laboratorio de las muestras

Fichero adjunto

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 ISOPACAS DEL SUSTRATO

14.5 PLANO ISOPACAS TOTAL DE LOS SEDIMENTOS

14.6 PLANO ISOPACAS DE LOS FANGOS, LIMOS Y LODOS

14.7 PLANO DE CLASIFICACIÓN AUTOMÁTICA DEL BACKSCATTER