

LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO MULTIHAZ, GEOFÍSICO Y TOMA DE MUESTRAS EMBALSE DE CIURANA



MEMORIA Y PLANOS

Empresa Consultora:

UTE EBRO

AGOSTO 2021



OCSA
ESTUDIOS GEOFÍSICOS



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	8
3.2 INFORME CEDEX 2001.....	9
4. MARCO GEOLÓGICO DE LA ZONA DE ESTUDIO	17
5. EQUIPO TÉCNICO.....	20
6. METODOLOGÍA.....	21
6.1 POSICIONAMIENTO	21
6.2 CORRECCIÓN DE MOVIMIENTOS Y RUMBO	23
6.3 BATIMETRÍA MULTHAZ	25
6.4 LEVANTAMIENTO LIDAR	27
6.5 SÍSMICA DE REFLEXIÓN DE ALTA RESOLUCIÓN	27
6.6 TOMA DE MUESTRAS DEL FONDO	30
7. EQUIPOS UTILIZADOS	31
7.1 POSICIONAMIENTO	31
<i>Estación Base</i>	32
<i>GPS Móvil (Rover)</i>	32
<i>Sensor de movimiento y rumbo</i>	34
<i>Sistema de navegación y adquisición</i>	36
7.2 BATIMETRÍA.....	38
<i>Ecosonda Multihaz</i>	38
<i>Velocidad de propagación del sonido.</i>	40
7.3 SISTEMA LIDAR/LASER SCANNER 3D	42
7.4 SÍSMICA	44
<i>Geopulse</i>	44
<i>Receptor de 3.5Khz adaptado al Boomer</i>	47
7.5 DRAGA VANVEEN	50
7.6 EMBARCACIÓN EMPLEADA.....	51

8. TRABAJO DE CAMPO	53
8.1 PLANIFICACIÓN Y PREPARACIÓN	53
8.2 REFERENCIA UTILIZADA	53
<i>Control de altura de la lámina de agua</i>	<i>54</i>
8.3 LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO Y TOPOGRÁFICO	55
8.4 LEVANTAMIENTO GEOFÍSICO	60
8.5 TOMA DE MUESTRAS	63
9. PROCESADO DE DATOS	65
9.1 PROCESADO DE LOS DATOS BATIMÉTRICOS	65
9.2 PROCESADO E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS GEOFÍSICOS.....	69
<i>Procesado.</i>	<i>69</i>
<i>Interpretación y resultados de los perfiles geofísicos.</i>	<i>73</i>
9.3 ANÁLISIS EN LABORATORIO DE LAS MUESTRAS.....	78
<i>Recepción y preparación de las muestras.....</i>	<i>79</i>
<i>Principio del método.....</i>	<i>79</i>
<i>La norma de referencia.....</i>	<i>79</i>
<i>Granulometría por Tamizado según el procedimiento interpo PE/MUNLAB/06 255</i>	<i>80</i>
<i>Granulometría por sedimentación según el procedimiento interno PE/MUNLAB/06 250 ..</i>	<i>81</i>
<i>RESUMEN GRANULOMETRÍAS.....</i>	<i>84</i>
9.4 CÁLCULO DE VOLÚMENES Y SUPERFICIES	95
<i>Capacidad máxima actual del embalse</i>	<i>96</i>
<i>Cubicación del volumen de sedimentos acumulados.....</i>	<i>96</i>
<i>Tablas y gráficas del embalse de Margalef</i>	<i>97</i>
<i>TABLAS COTA- AREA-VOLUMEN</i>	<i>98</i>
<i>GRAFICAS AREA VOLUMEN.....</i>	<i>99</i>
10. CLASIFICACIÓN DEL FONDO	101
10.1 DESCRIPCIÓN DEL FENÓMENO DE SEDIMENTACIÓN DE UN EMBALSE	101
10.2 PROCESO DE CLASIFICACIÓN DE FONDOS	102
11. CONCLUSIONES.....	108
12. ÍNDICE DE FIGURAS	111
13. ANEXOS	116
13.1 ESPECIFICACIONES DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS (<i>PULSAR ENCIMA</i>).....	116
13.2 FICHAS DE MUESTRAS TOMADAS EN CAMPO	117
13.3 ANÁLISIS DE LABORATORIO DE LAS MUESTRAS.....	140

14.	PLANOS.....	141
14.1	PLANO DE NAVEGACIÓN	141
14.2	PLANO BATIMÉTRICO Y TOPOGRÁFICO.....	141
14.3	PLANO ISOPACAS DE LOS SEDIMENTOS NO CONSOLIDADOS	141
14.4	PLANO DE CLASIFICACIÓN AUTOMÁTICA DEL BACKSCATTER	141

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 Ciurana.

2. Área de Estudio

La zona de estudio se localiza en el embalse de Ciurana, dentro del municipio de Cornudella de Montsant, en la provincia de Tarragona, embalsando las aguas de los barrancos de Carboneres, de l'Estopinya y de la Foradada, que forman el río Ciurana.

El embalse de Ciurana pertenece a la Cuenca Hidrográfica del Ebro, ocupa una superficie aproximada de 80 Ha, se terminó de construir en el año 1972 con la presa de gravedad que corona el embalse de 12 Hm³ de capacidad.

El estudio abarca toda el área que cubre la lámina de agua a fecha de 18 de agosto de 2021, día en que se hicieron las mediciones.



Figura 1 Plano de Situación

3. Recopilación y análisis de la información existente

3.1 Ficha de la presa MITECO

Ficha técnica de la Presa: CIURANA

1. DATOS ADMINISTRATIVOS

Nombre de la presa:	CIURANA
Otro Nombre:	---
Fase vida presa:	Explotación
Titular de la presa:	GENERALITAT DE CATALUÑA
Proyectista:	A. POL GIMENEZ
Categoría en función del riesgo potencial:	A
Aprobación de las normas de explotación:	---
Aprobación del plan de emergencia:	---
Fecha de finalización de las obras:	31-12-1972

2. DATOS GEOGRÁFICOS

Río en el que se encuentra la presa:	CIURANA
Municipio:	CORNUDELLA DE MONTSANT
Cuenca hidrográfica:	EBRO
Provincia:	TARRAGONA
Coordenadas UTM 30 - ED 50:	828373 - 4574080

3. USOS DEL EMBALSE

Usuarios:	---
Tipos:	Abastecimiento, Riego, ---

4. DATOS HIDROLÓGICOS

Superficie de la cuenca hidrográfica (km ²):	60,400
Aportación media anual (hm ³):	9,320
Precipitación media anual (mm):	---
Caudal punta avenida de proyecto (m ³ /s):	443,680

5. DATOS DEL EMBALSE

Superficie del embalse a NMN (ha):	80,000
Capacidad a NMN (hm ³):	12,430
Cota del NMN (m):	485,900

4. DATOS DE LA PRESA

Tipo de presa:	Gravedad
Cota coronación (m):	489
Altura desde cimientos (m):	62,740
Longitud de coronación (m):	274
Cota cimentación (m):	426,400
Cota del cauce en la presa (m):	436,570
Volumen del cuerpo presa (1000 m ³):	180,000

7. DATOS DEL ALIVIADERO

Número total de aliviaderos en la presa:	1
Regulación:	Compuertas.
Capacidad (m ³ /s):	443,000

8. DATOS DEL DESAGÜE

Número total de desagües en la presa:	1
Capacidad (m ³ /s):	28,400

9. FOTOGRAFÍAS

10. PLANOS

Figura 2 Ficha MITECO

Datos técnicos

Superficie de la cuenca hidrográfica (km²): 60 km²
Aportación media anual (hm³): 9 hm³
Caudal punta avenida de proyecto (m³/s): 444 m³/s
Cota coronación (m): 489 m
Altura desde cimientos (m): 63 m
Longitud de coronación (m): 274 m
Cota cimentación (m): 426 m
Cota del cauce en la presa (m): 437 m
Volumen del cuerpo presa (1000 m³): 180,00 1000 m³
Superficie del embalse a NMN (ha): 80 ha
Capacidad a NMN (hm³): 12 hm³
Cota del NMN (m): 486 m
Número total de aliviaderos en la presa: 1
Regulación aliviaderos: Compuertas.
Capacidad aliviaderos (m³/s): 443 m³/s
Número total de desagües en la presa: 1
Capacidad desagües (m³/s): 28 m³/s



Figura 3 Datos del ACA de la presa y embalse de Ciurana

3.2 INFORME CEDEX 2001

En el caso del embalse de Ciurana se nos ha proporcionado un informe del CEDEX realizado en el año 2001 con denominación “Estudio Batimétrico del embalse de Ciurana (Tarragona)”, donde se incluyen curvados batimétricos/topográficos del embalse en el momento de la realización de ese proyecto.

Analizando la información de este informe también se ha podido comprobar las diferencias de cota que proporciona el MITECO y el ACA de la presa y la medida de éstas respecto al cero geográfico nacional del IGN, el NMMA (Nivel Medio del Mar de Alicante) o cero IGN, referencia que ha empleado el CEDEX en la elaboración del

informe. En el informe se establece una diferencia de 16,42m entre la cota aportada incluida en el inventario de presas y la medida en la nivelación realizada por el Cedex.

Año de terminación	1972
Río	Siurana
T. Municipal	Cornudella de Montsant
Provincia.....	Tarragona
Capacidad inicial	12,46 hm ³
Superficie del embalse	85,09 ha
Cota de Máximo Nivel Normal de Embalse (M.N.N.E.).....	485,90 m.s.n.m.
Cota de coronación.....	489,14 m.s.n.m.
Superficie de la Cuenca.....	60,00 km ² (Ver Gráfico 1)

Se ha realizado una nivelación a partir de la geodesia de la zona, obteniéndose para el aliviadero la cota 469,48 m.s.n.m., frente a la 485,90 que figura en el inventario. Comunicada esta diferencia de 16,42 m a la Agencia Catalana del Agua, se decidió considerar la cota 469,50 como Máximo Nivel Normal de Embalse.

Figura 4 Extracto del informe CEDEX 2001.

Esta diferencia en cotas también se ha verificado, con una **cota de coronación de la presa referida al cero del IGN en torno a 472.6m (NMMA)**, lo que resulta una **diferencia de 16,4m** respecto a la cota de coronación incluida en las fichas del inventario de presas **489m**. Esto puede apreciarse fácilmente también realizando un corte en los datos LIDAR del PNOA sobre la presa:

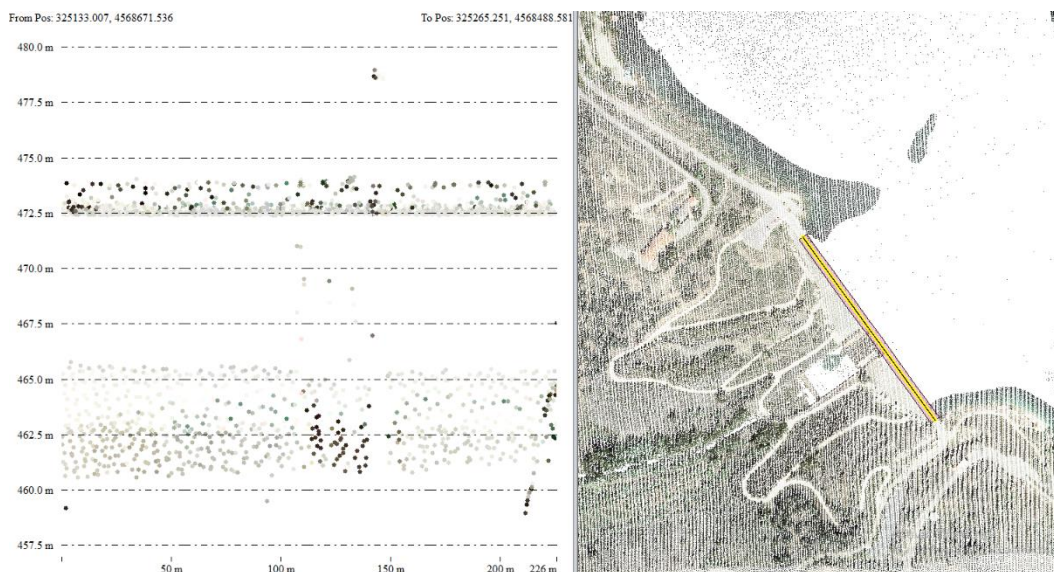


Figura 5 Cota de coronación en torno a los 472.6m respecto a cero IGN frente a los 489m en la ficha. (16.4m de diferencia)

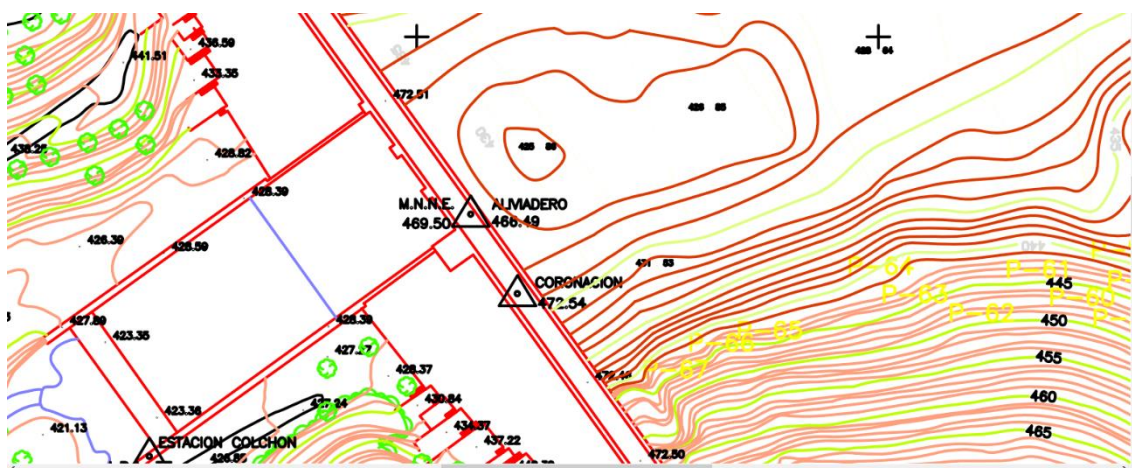


Figura 6 Planos del informe CEDEX 2001

La superficie que ocupa el embalse a su M.N.N.E. (cota 469,50 m.s.n.m.), obtenida por digitalización de la cartografía utilizada en el estudio, es de 75,04 ha frente a las 85,09 ha que figuran en el Inventario de Presas (1986).

El volumen inicial según los datos suministrados por la ACA era de 12,430 hm³, frente a los 12,460 hm³ que figuran en el Inventario.

Figura 7 Datos del informe CEDEX 2001

El estudio realizado por el CEDEX tenía como objetivo principal el reconocimiento sedimentológico de embalses, si bien solamente se realizó un estudio fotogramétrico y una batimetría mediante la realización de 99 perfiles con ecosonda monohaz, el procesado de los datos y la obtención de la relación altura-volumen del embalse.

1.4.1. Tabla de cotas-superficies-volúmenes acumulados.Valores cada metro

COTA (m)	SUPERFICIE (m ²)	VOLUMEN (m ³)
425,68	0	0
426,00	88	9
427,00	1523	668
428,00	2526	2671
429,00	8535	7906
430,00	18715	21202
431,00	24705	42843
432,00	33970	72058
433,00	43308	110602
434,00	50864	157638
435,00	59394	212712
436,00	67920	276322
437,00	76973	348721
438,00	88005	431148
439,00	100702	525430
440,00	114520	632968
441,00	128532	754426
442,00	149673	893395
443,00	163689	1050024
444,00	180015	1221811
445,00	193690	1408622
446,00	210232	1610526

Figura 8 Datos cota/superficie/volumen extraídos del informe CEDEX 2001

A partir de los curvados facilitados se ha realizado un Modelo Digital con el fin de comparar con el resultado de este estudio. En un primer análisis tras cruzar los datos del estudio CEDEX con los de este estudio, se han apreciado diferencias significativas tanto positivas como negativas. En concreto se han apreciado unas diferencias destacables de hasta 6 metros al comparar los MDT de 2001 del CEDEX y el presente estudio. Del cruce se obtiene un volumen diferencia de 190 m³. Esta es una diferencia neta, asociada a que existe diferencia de volumen por encima y por debajo debido a las diferencias de metodología y resultados entre ambos estudios. Esto se puede apreciar en la Figura 9 y la Figura 10 dónde se han cruzado el MDT del estudio realizado por la UTE y una MDT obtenido a partir del curvado facilitado del estudio realizado en 2001 por el CEDEX. La primera imagen se ha obtenido mediante un paquete de software y la segunda de más detalle con otro software diferente con el fin de comparar y asegurar resultados.

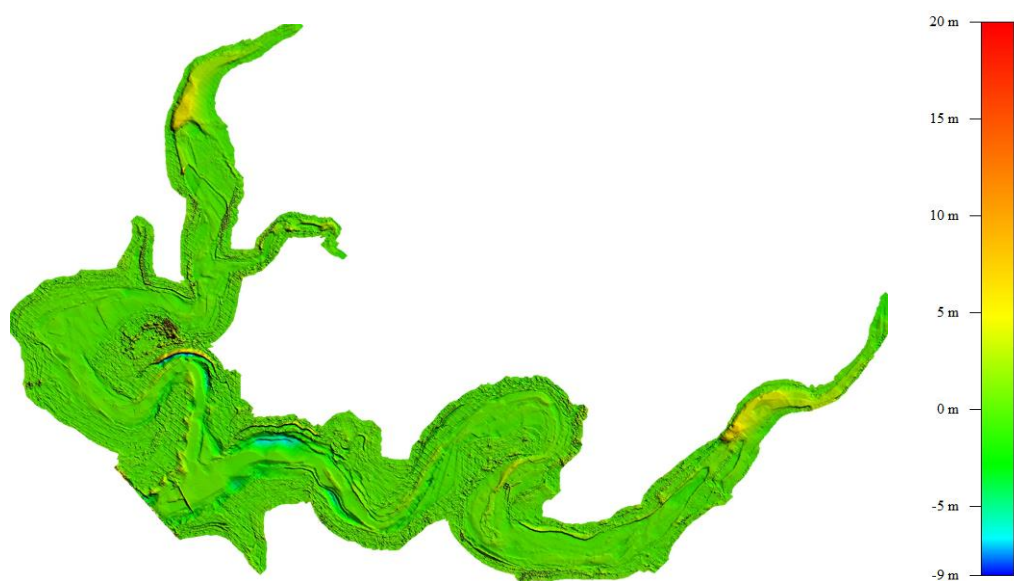


Figura 9 Resultado de comparar el estudio CEDEX 2001 con el estudio UTE EBRO 2021.

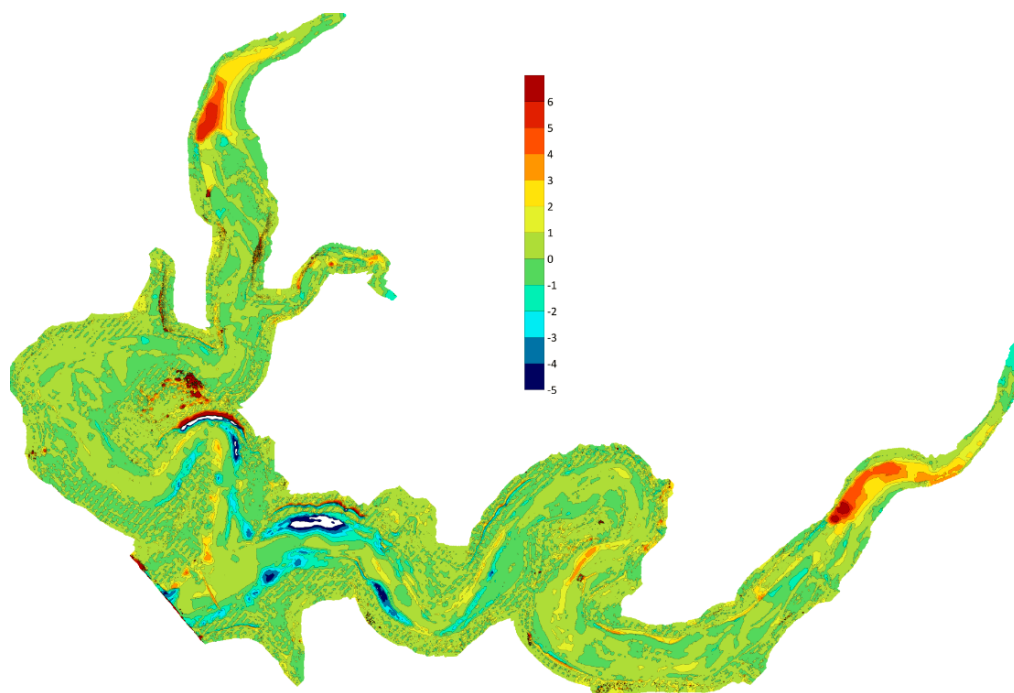


Figura 10 Resultado de comparar el estudio CEDEX 2001 con el estudio UTE EBRO 2021 obtenida con otro software.

En las siguientes imágenes se pueden ver las diferencias de resolución y detalle entre ambos estudios. En el caso del estudio realizado por el CEDEX en el año 2001 se realizó mediante la toma de datos mediante una ecosonda monohaz frente al estudio realizado con ecosonda multihaz actual. En el caso de la ecosonda monohaz se realiza una interpolación entre pasadas que rellena los huecos sin información. En el caso del levantamiento realizado, se ha hecho con cobertura total del fondo, asegurando datos reales de toda la parte cubierta.

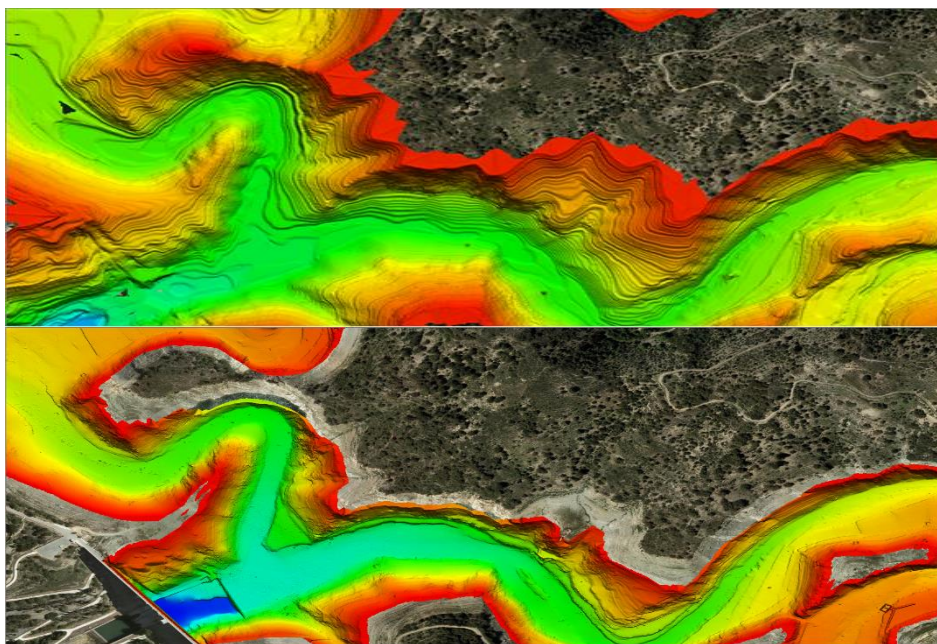


Figura 11 Comparativa CEDEX2001 (arriba) y batimetría realizada en 2021 (abajo)

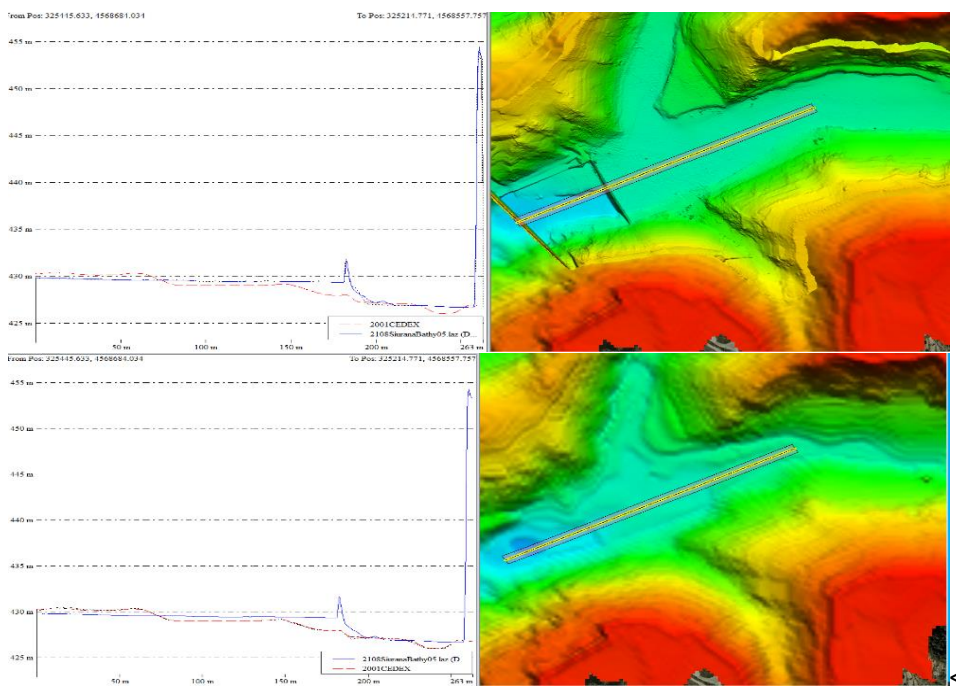


Figura 12 Mismo perfil visualizando CEDEX2001 y batimetría 2021

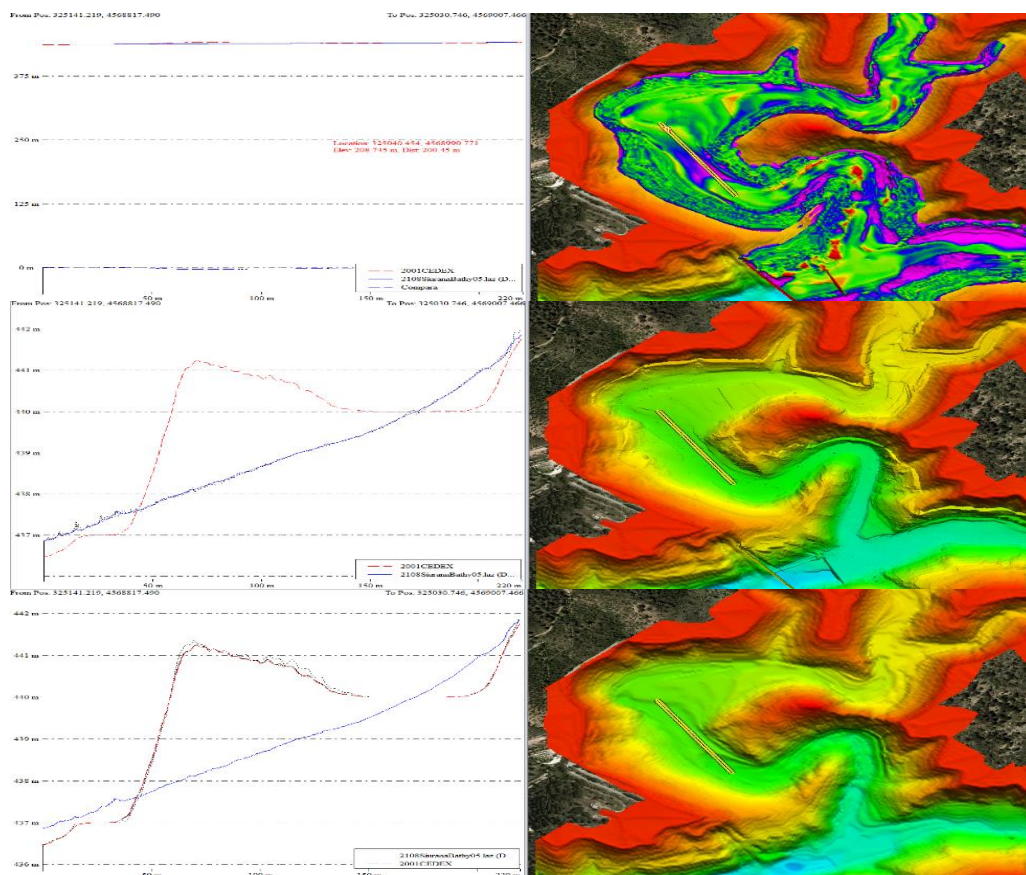


Figura 13 Perfil realizado, representando comparativo (arriba), batimetría 2021 (centro) y batimetría CEDEX 2001 (abajo). Estudio CEDEX representado por línea roja y estudio 2021 Ute-EBRO en azul

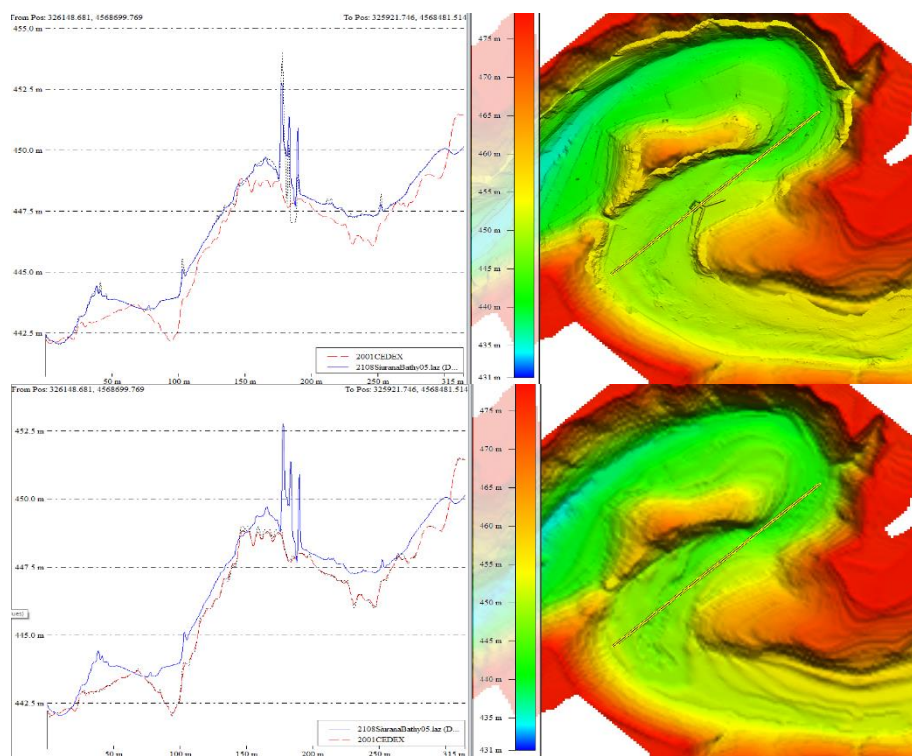


Figura 14 Perfil batimétrico. Batimetría 2021 arriba y estudio CEDEX 2001 (abajo)

Grid Volume Computations

Upper Surface

Grid File Name: Ciurana 21MH-CedexH30-465.grd
Grid Size: 1350 rows x 1988 columns

X Minimum: 827627.66837972
X Maximum: 829614.66837972
X Spacing: 1

Y Minimum: 4573686.142523
Y Maximum: 4575035.142523
Y Spacing: 1

Z Minimum: -8.5476379394531
Z Maximum: 70.789947509766

Lower Surface

Level Surface defined by $Z = 0$

Volumes

Z Scale Factor: 1

Total Volumes by:

Trapezoidal Rule: 190511.46546936
Simpson's Rule: 190507.14289686
Simpson's 3/8 Rule: 190346.77745056

Cut & Fill Volumes

Positive Volume [Cut]: 329832.40489818
Negative Volume [Fill]: 139320.93942882

Net Volume [Cut-Fill]:	190511.46546936
------------------------	------------------------

Areas

Planar Areas

Positive Planar Area [Cut]: 428419.63893359
Negative Planar Area [Fill]: 244666.36106642
NoData Planar Area: 2007377
Total Planar Area: 2680463

Surface Areas

Positive Surface Area [Cut]: 470267.07997409
Negative Surface Area [Fill]: 254505.57935154

4. MARCO GEOLÓGICO DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio se sitúa, geológicamente, en el Macizo del Priorato, dentro de la unidad llamada Cadena Costero Catalana.

La morfología en la zona es abrupta debido a la diferente naturaleza de las rocas del entorno. Destacan las paredes de roca caliza que flanquean el borde noreste del embalse, donde se emplaza la localidad de Ciurana, que es la parte baja de la Sierra de la Gritella.

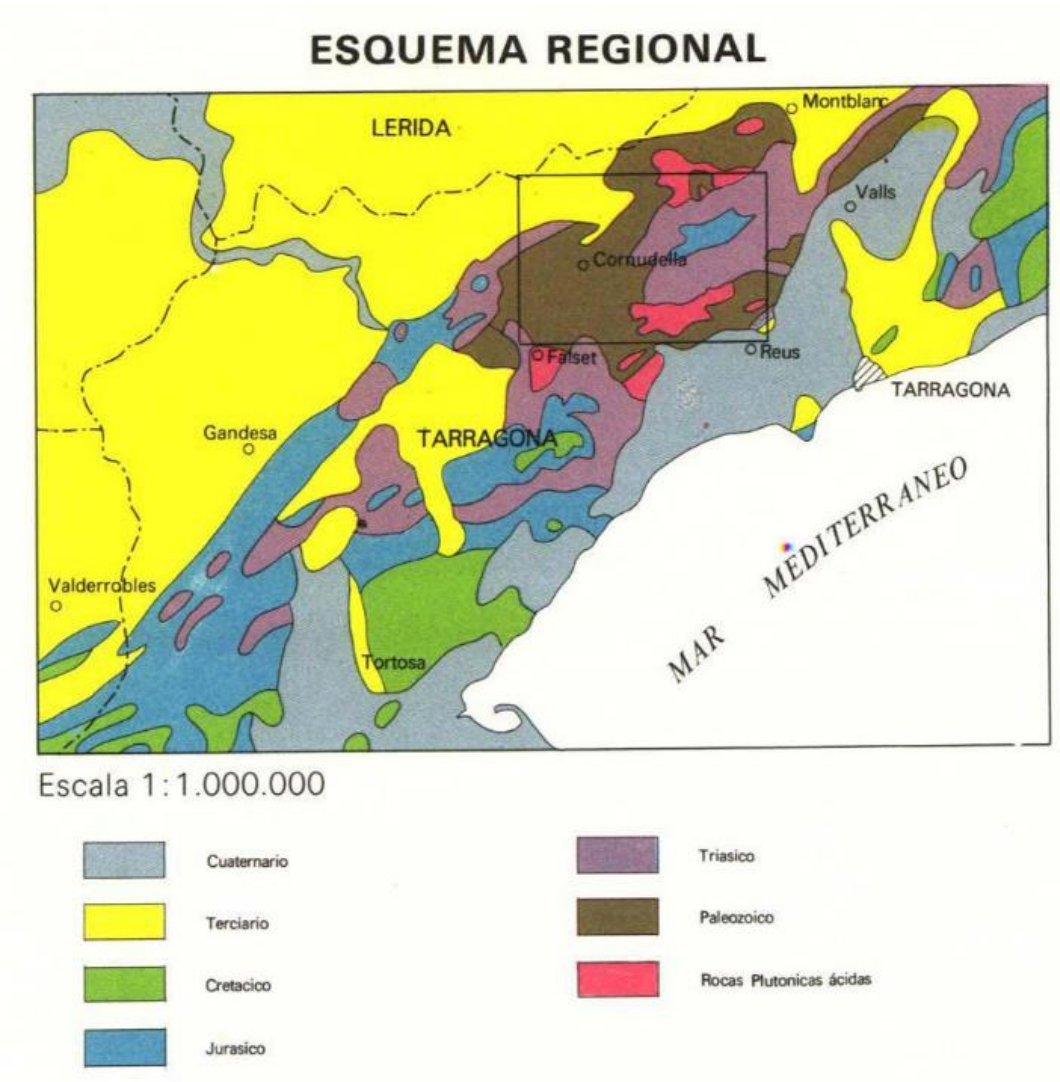


Figura 15 Mapa regional de unidades geológicas donde se aprecia la orientación NE-SO de la Cordillera.

El embalse de Ciurana está a una altura de unos 470 metros sobre el nivel del mar. Se emplaza sobre pizarras paleozoicas que son las responsables de las fuertes pendientes en las orillas del embalse y su característica morfología.

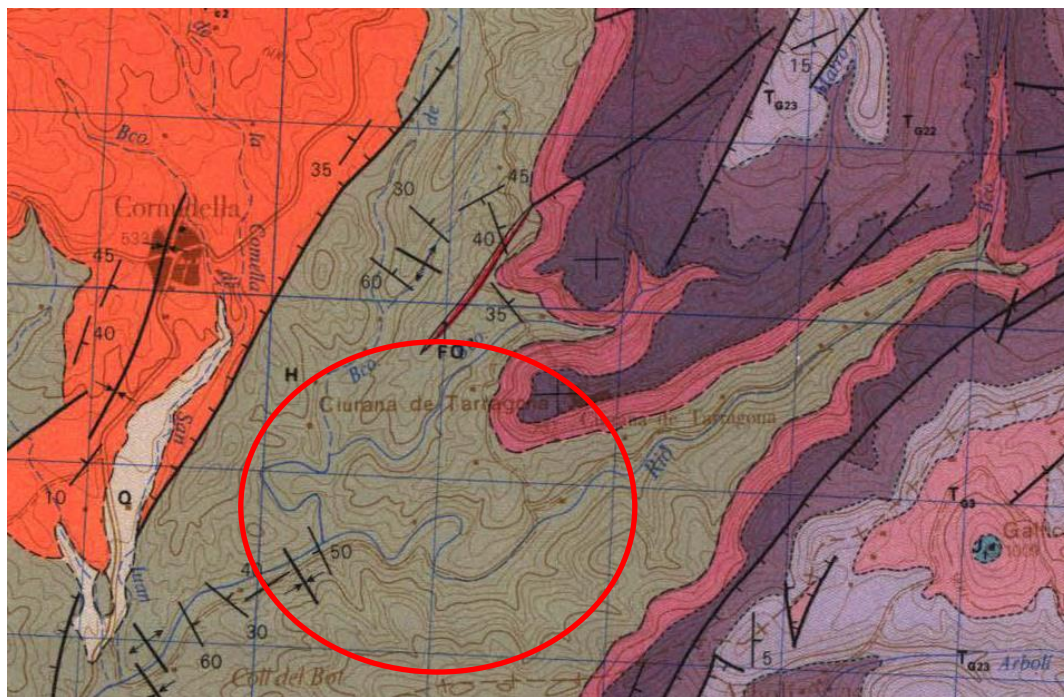


Figura 16. Sección del Mapa geológico 445 (CORNUDELLA) a escala 1:50000, 2ª serie MAGNA. Cartografía IGME.

Las rocas paleozoicas, son del periodo Carbonífero, de unos 300 millones de años de antigüedad, están formadas principalmente por pizarras, areniscas y microconglomerados. Presentan un metamorfismo de muy bajo grado y otro metamorfismo de contacto asociado a las rocas porfídicas intrusivas.

Las rocas descritas anteriormente forman el zócalo de la Cadena Costero Catalana. Sus estructuras tienen direcciones NO-SE mientras que los diques porfídicos tienen orientaciones NE-SO.

No hay registro sedimentario del periodo Pérmico. Durante unos 50 millones de años se erosionaron las rocas carboníferas hasta que empezaron a depositarse los materiales triásicos, que aparecen clasificados por sus facies germánicas. El Buntsandstein, Triásico Inferior, se sitúa de manera discordante sobre el zócalo Paleozoico y está formado por conglomerados, areniscas y las características arcillas rojas que le proporcionan ese color a todo su registro y lo hacen fácilmente reconocible.

Hay que destacar las formaciones del Muschelkalk inferior, que son las que forman las paredes de roca tan representativas de la zona y donde se apoya la localidad

de Ciurana. Se trata de calizas parcialmente dolomitizadas con potencias que pueden llegar a los 90 m formadas en ambientes marinos someros con poca energía.



Figura 17. Imagen con los materiales representativos de la zona.

Los depósitos cuaternarios que se sitúan sobre los materiales paleozoicos pueden llegar a tener varios metros de potencia. Son conglomerados mixtos procedentes de las formaciones superiores, calizas, areniscas y las propias pizarras, depositado por acción de derrubios y transporte fluvial. Fueron aprovechados por el ser humano para cultivo, creando bancales con las rocas de mayor tamaño.

Sobre todas las formaciones descritas 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).

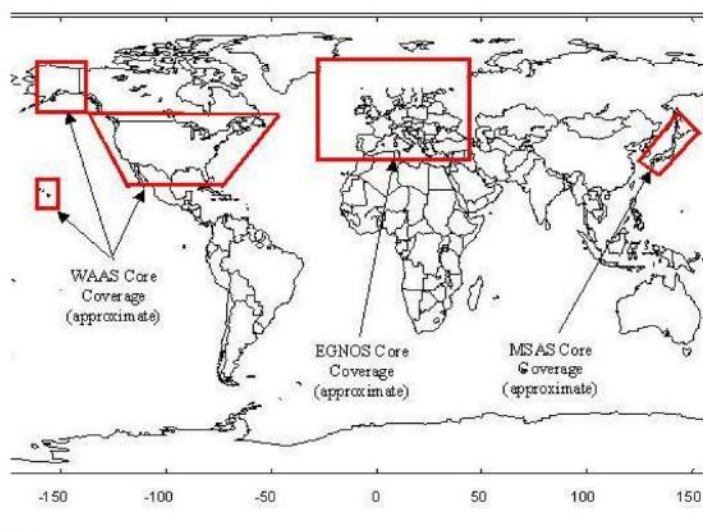


Figura 18 Cobertura de distintos sistemas diferenciales satelitales

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.

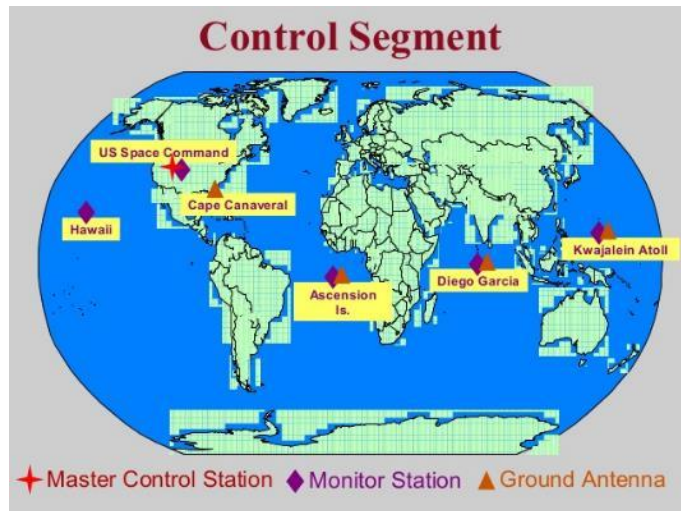


Figura 19 Segmento de control sistema Navstar

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.

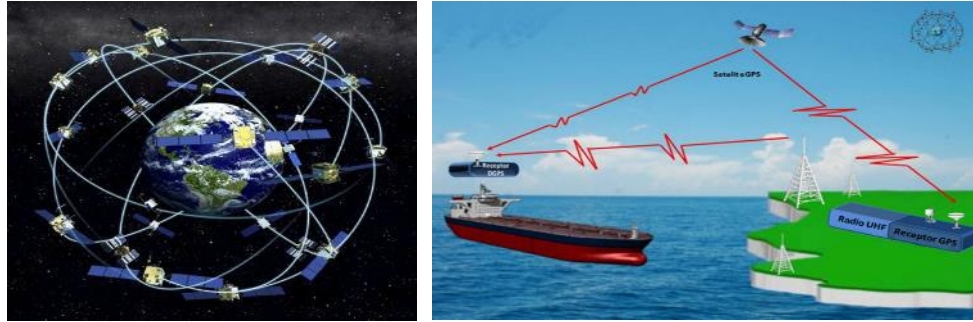


Figura 20. Imágenes con la constelación Navstar y un esquema de los tres segmentos que la componen.

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 21). 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 22).



Figura 21. 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.

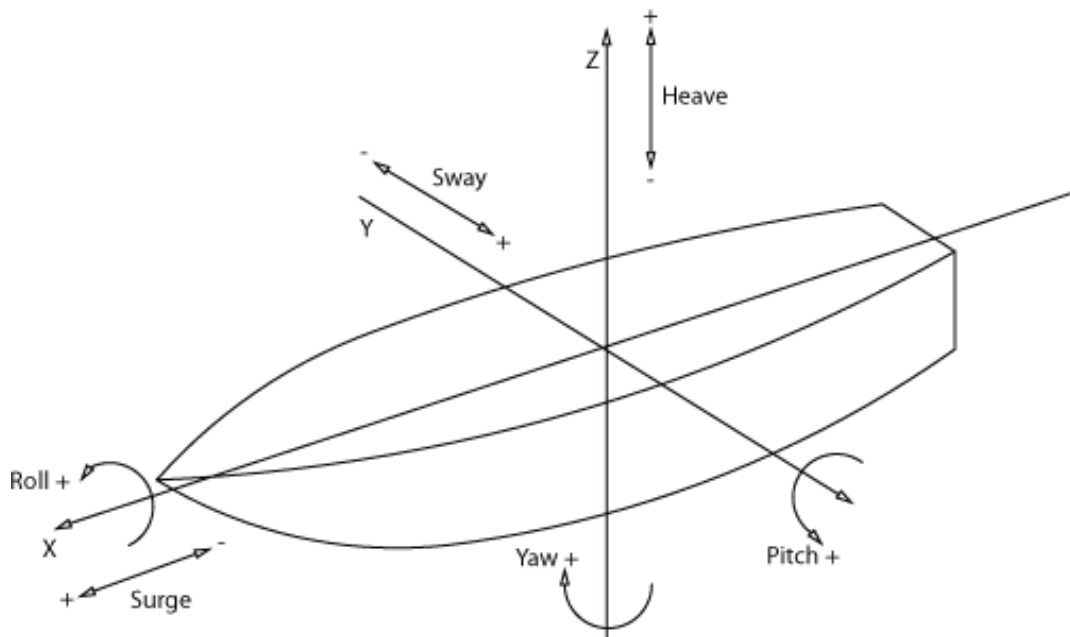


Figura 22. Esquema de las medidas que toma el sensor de movimiento

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

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

6.3 Batimetría multihaz

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

Aparte de otras técnicas obsoletas, la profundidad se mide con ecosondas (Figura 23). 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.

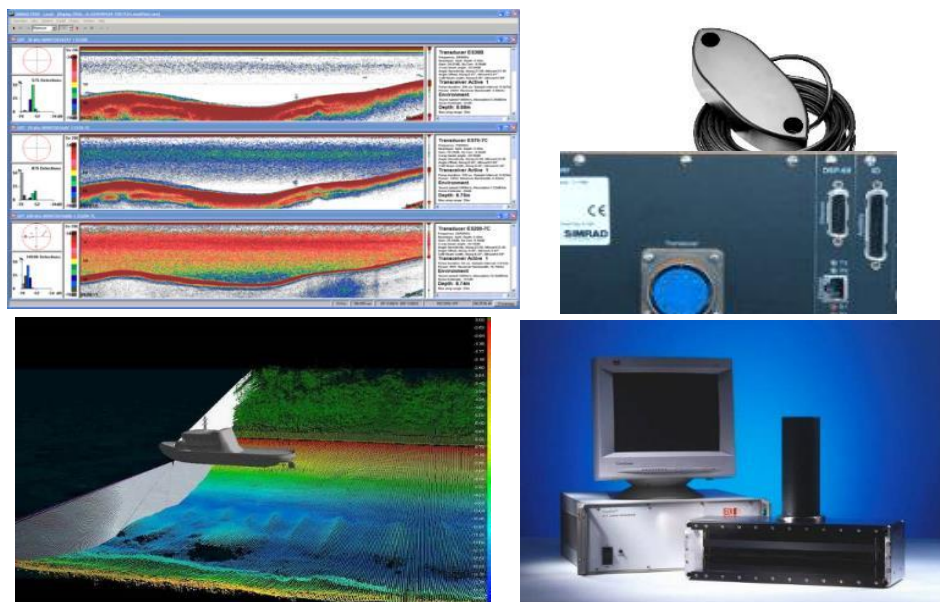


Figura 23. Ecosondas: Monohaz (Parte Superior) y Multihaz (Parte Inferior)

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.

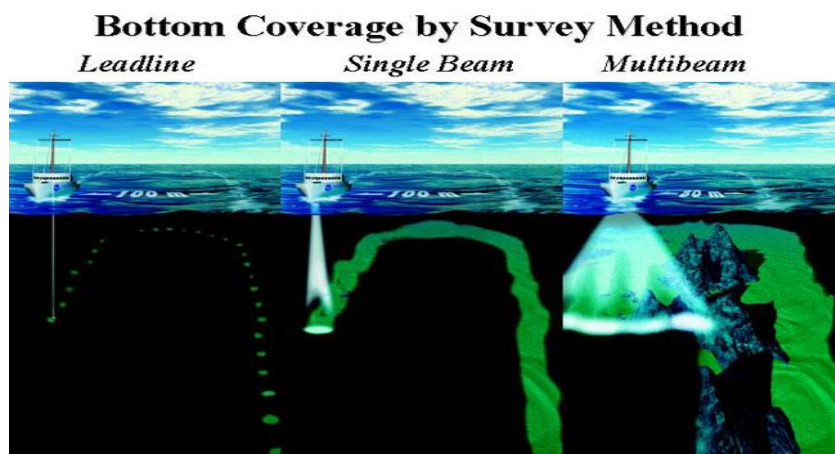


Figura 24. Tipos de medidas batimétricas y su cobertura (NOAA).

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.

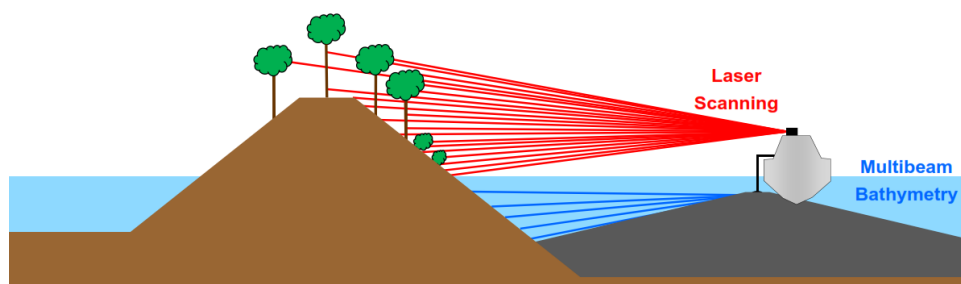


Figura 25 Esquema de levantamiento Batimétrico + LIDAR desde embarcación

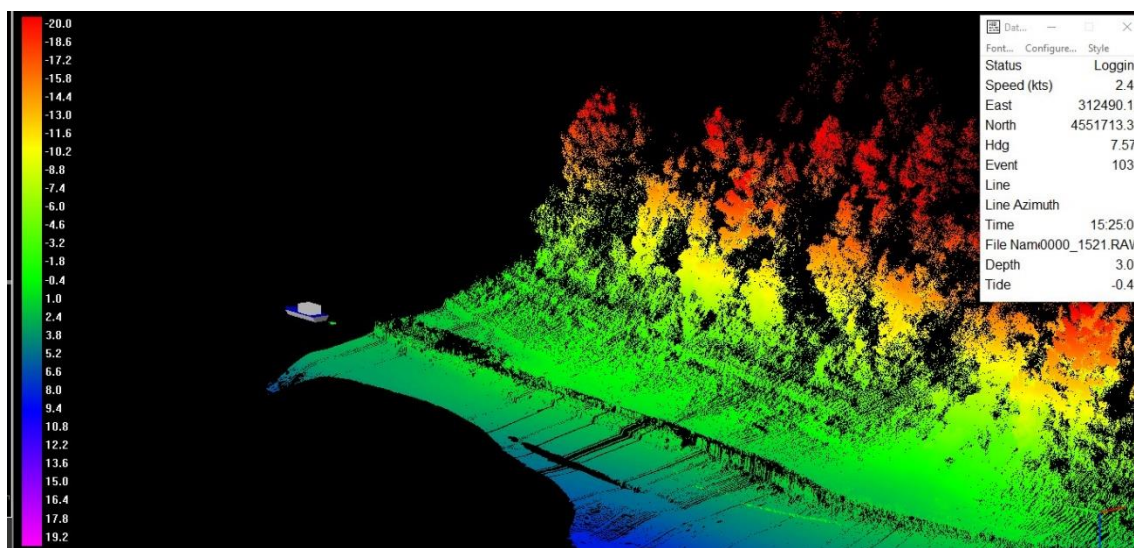


Figura 26 Levantamiento LIDAR desde embarcación

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).

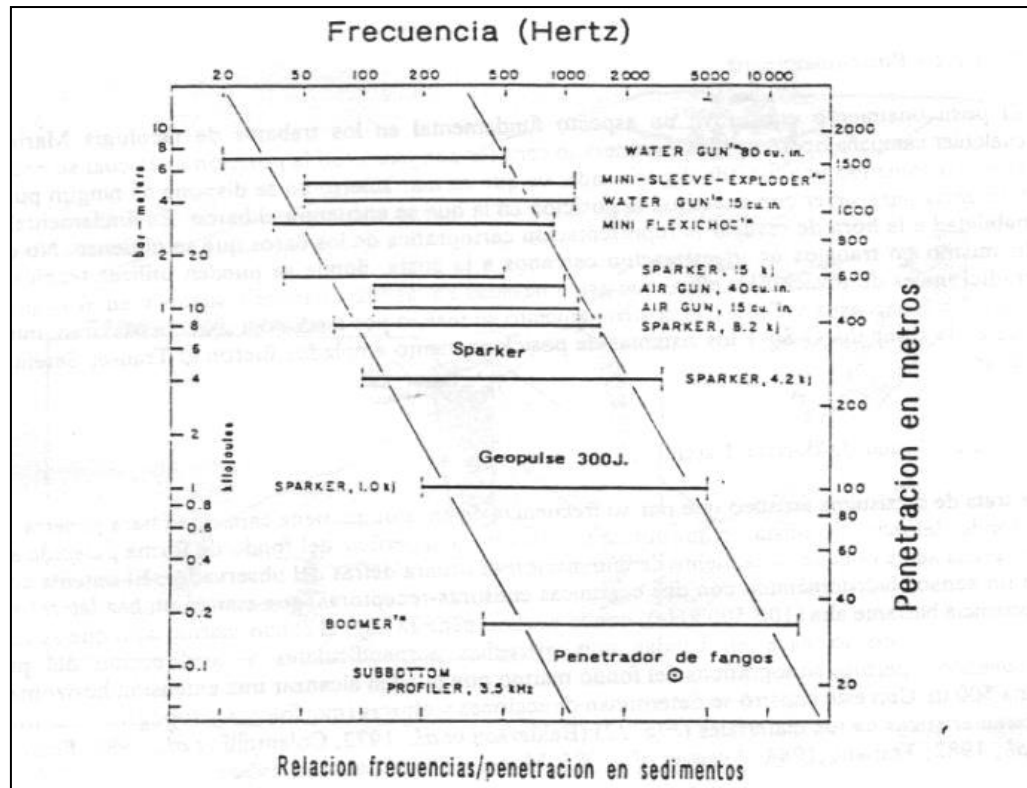


Figura 27 Esquema gráfico donde se establece la relación entre frecuencia y penetración en sedimentos (Trabant, 1984).

- 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 hipérbole 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 28 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.

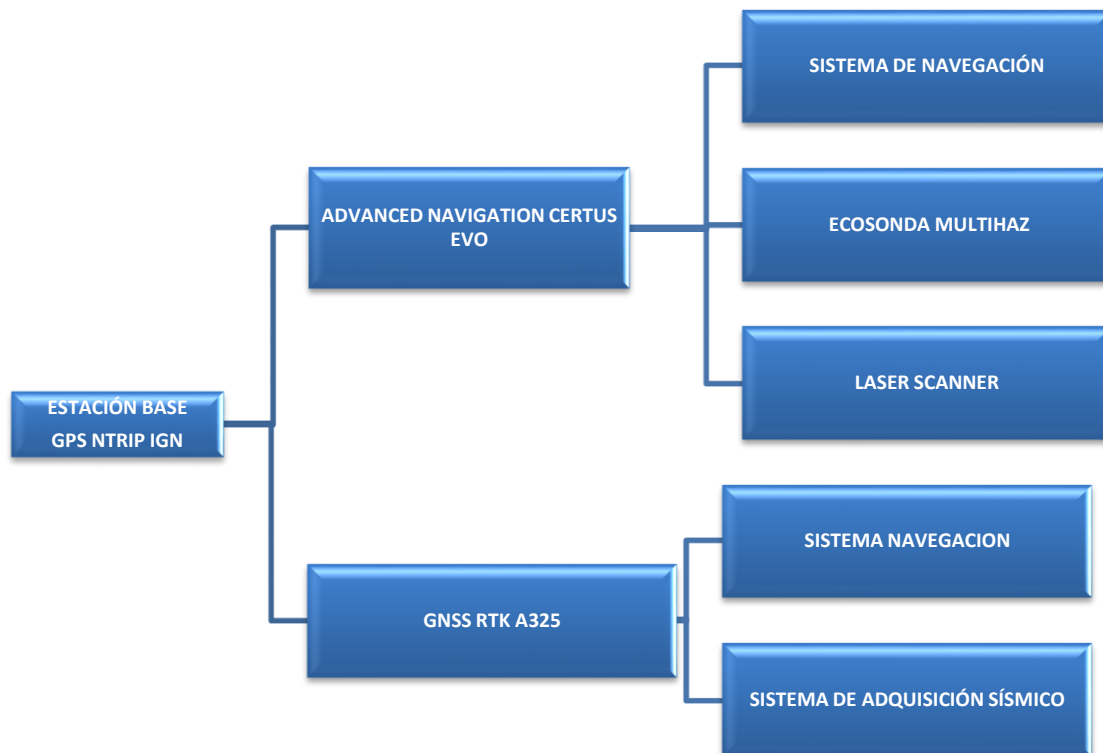


Figura 29 Esquema de integración de datos GPS para batimetría + LIDAR y levantamiento sísmico

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).

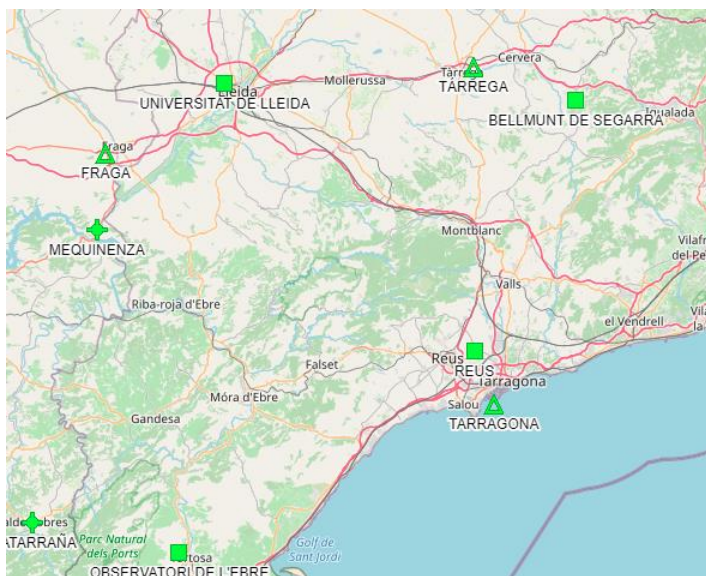


Figura 30 Bases de IGN e ICGC próximas a la zona

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	0.1 W
	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 31 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: ² / ₃	10 mm + 1 ppm	20 mm + 2 ppm
SBAS (WAAS): ² / ₃	0.3 m	0.6 m
Autonomous, no SA: ² / ₃	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
EMC:	CE (ISO 14982 Emissions and Immunity) FCC Part 15, Subpart B CISPR 22 IP67

Enclosure:

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 32 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 33 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 29 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 34 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).

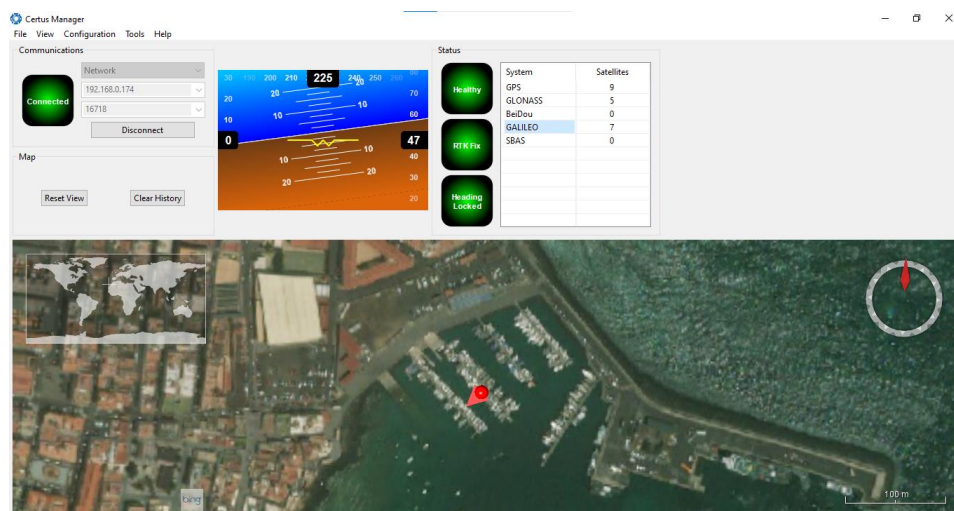


Figura 35 Pantalla de control y configuración Advanced Navigation Certus EVO.

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 36 y Figura 37) y alarmas configurables.

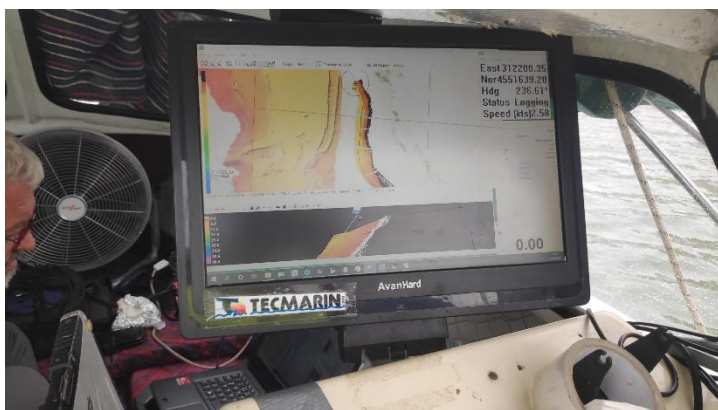


Figura 36 Pantalla de navegación del piloto.

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.

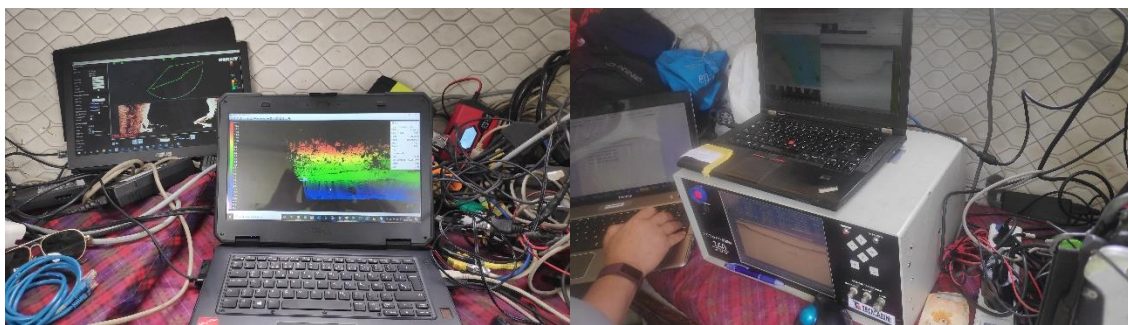


Figura 37 Ordenador de control de navegación con pantalla del operador instalado a bordo. Batimetría + LIDAR (izda) y sísmica (dcha).

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).

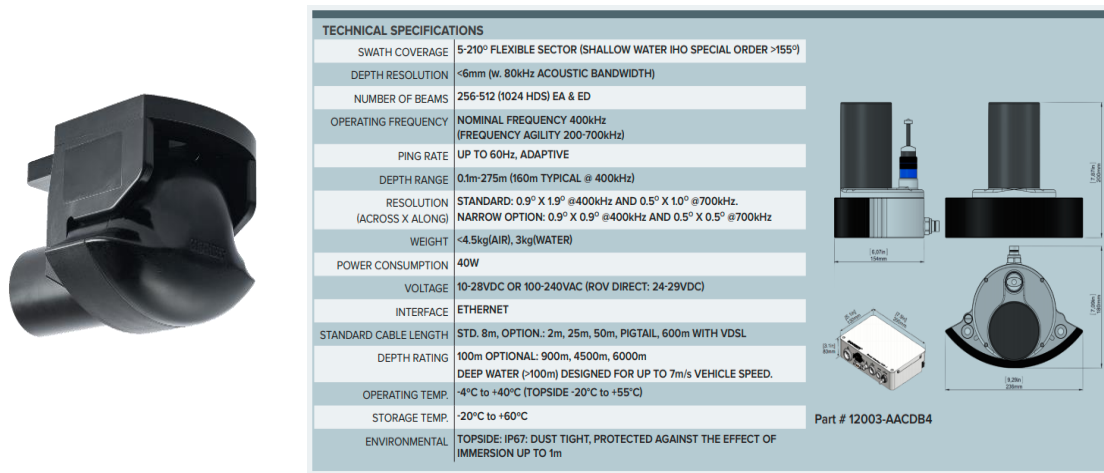


Figura 38 Ecosonda Norbit WBMS

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).

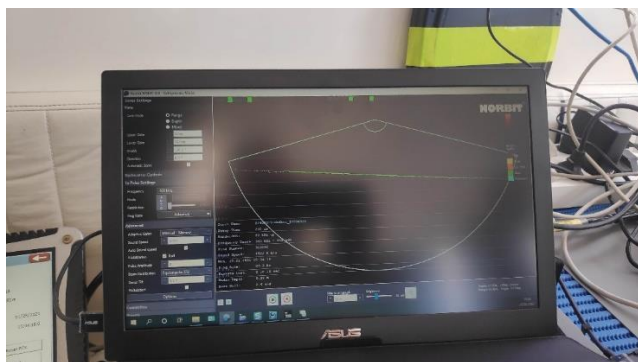


Figura 39 Pantalla de control del sistema Norbit.

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 40 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 40**.

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 41** (abajo).



Figura 41 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:	• 16 Channels • Measurement Range: 100 m • Range Accuracy: Up to ± 3 cm (Typical)¹ • Field of View (Vertical): $+15.0^\circ$ to -15.0° (30°) • Angular Resolution (Vertical): 2.0° • Field of View (Horizontal): 360° • Angular Resolution (Horizontal/Azimuth): $0.1^\circ - 0.4^\circ$ • Rotation Rate: 5 Hz – 20 Hz • Integrated Web Server for Easy Monitoring and Configuration
Laser:	• Laser Product Classification: Class 1 Eye-safe per IEC 60825-1:2007 & 2014 • Wavelength: 903 nm
Mechanical/ Electrical/ Operational	• 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 $+60^\circ\text{C}$³ • Storage Temperature: -40°C to $+105^\circ\text{C}$
Output:	• 3D LIDAR Data Points Generated: - Single Return Mode: ~300,000 points per second - Dual Return Mode: ~600,000 points per second • 100 Mbps Ethernet Connection • UDP Packets Contain: - 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 42 Especificaciones Velodyne VLP16



Figura 43 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 44), 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.

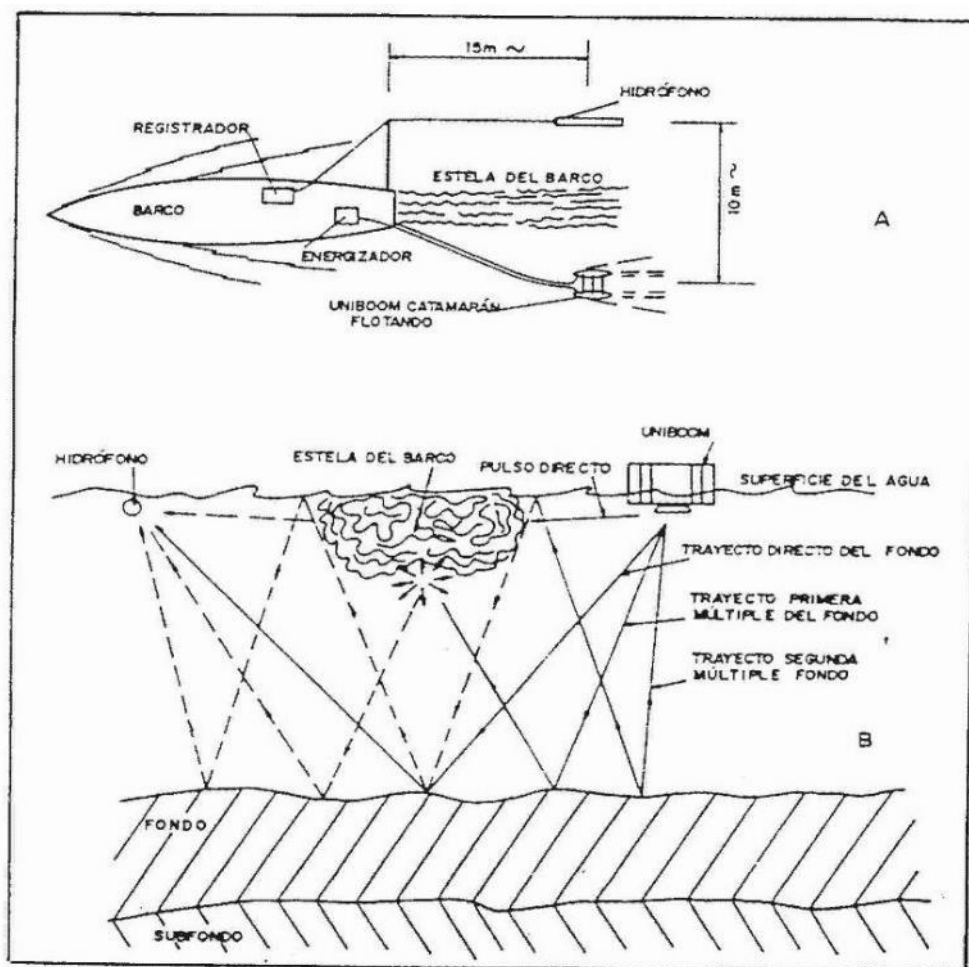


Figura 44. A. Esquema gráfico con la disposición de los subsistemas de un equipo sísmico de alta resolución y media penetración (Uniboom o Geopulse); B. Efecto pantalla producido por la estela de un buque (Rey, 1990).

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 47).



Figura 45. Fuente de alimentación del emisor sísmico.

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



Figura 46. Catamarán con emisor acústico

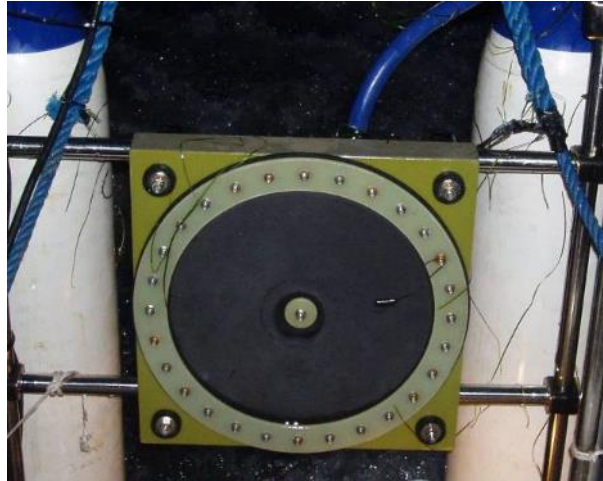


Figura 47. Boomer emisor acústico

- Hidrófono receptor (Modelo AAE-8) o “Streamer” (Figura 48). 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 48. Hidrófono receptor acústico o Streamer

- Procesador digital de señal (Octopus 360) con compensador electrónico de oleaje (Figura 49). 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 49 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 50) y un segundo procesador digital Octopus 360, con las mismas características que el primero.



Figura 50. 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 51 Sistema remolcado trabajando en la zona

7.5 Draga VanVeen

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

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

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

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

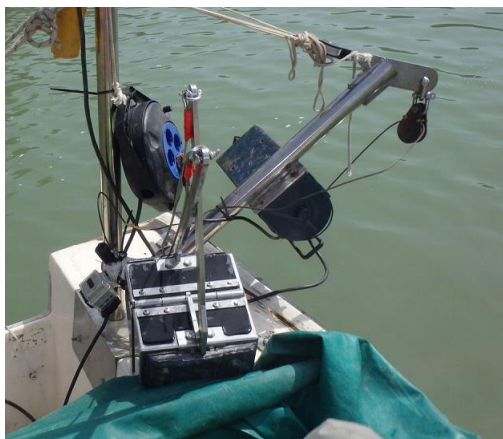


Figura 52 Draga VanVeen de gran capacidad

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 53 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.

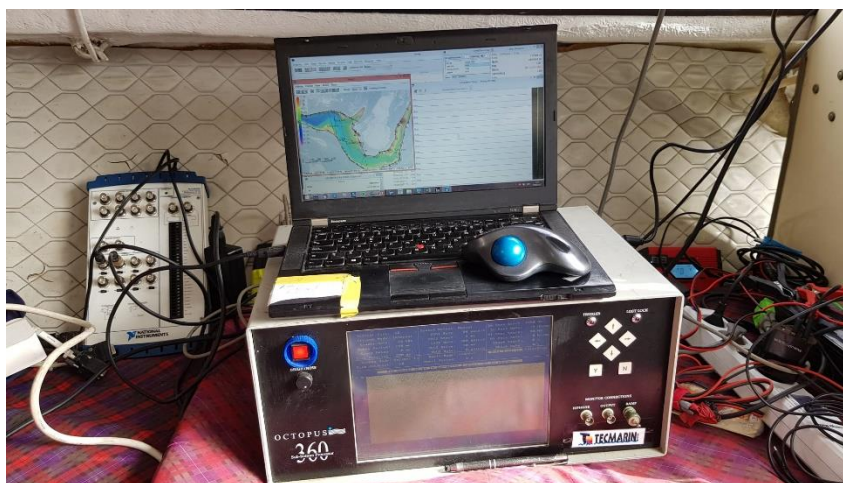


Figura 54 Instalación de equipos a bordo.

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.

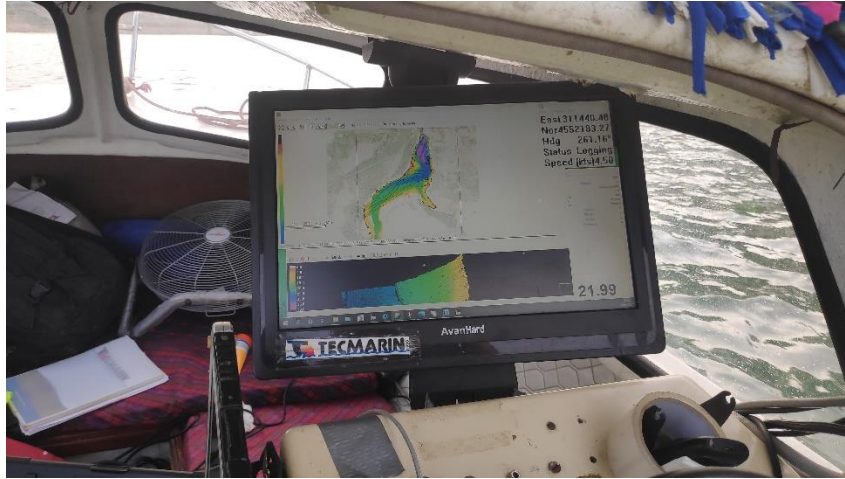


Figura 55 Pantalla del patrón

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 17 y 18 de julio 2021, los trabajos geofísicos el 19 y 20 de Agosto y la toma de muestras el 21 y 22 de Agosto.

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

8.1 Planificación y preparación

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

8.2 Referencia utilizada

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Control de altura de la lámina de agua

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

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

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

8.3 Levantamiento batimétrico y topográfico

Antes de comenzar con la toma de datos con una ecosonda multihaz, es necesario realizar una calibración del sistema completo con la que se determinan con gran precisión pequeños giros y desplazamientos en el montaje de los equipos. Durante la toma de datos se aplican estas correcciones como control, pero es al procesar los datos cuando se evalúa todo con más detalle.



Figura 56 Pantallas de control batimetría multihaz + LIDAR

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

La zona elegida para la calibración ha sido una próxima a la presa, pues presenta un cambio brusco de pendiente (ataguía), 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.

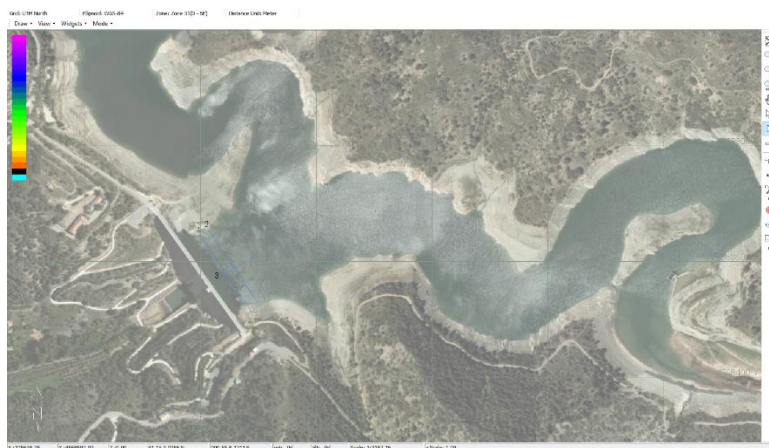


Figura 57 Líneas de calibración

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

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

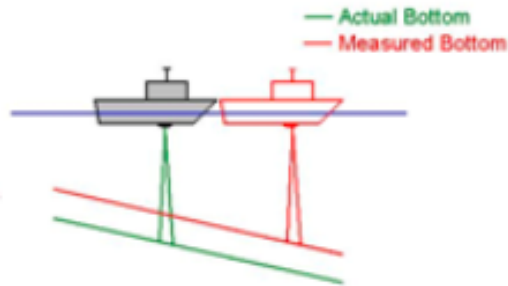


Figura 58 Representación del error de latencia.

- **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.

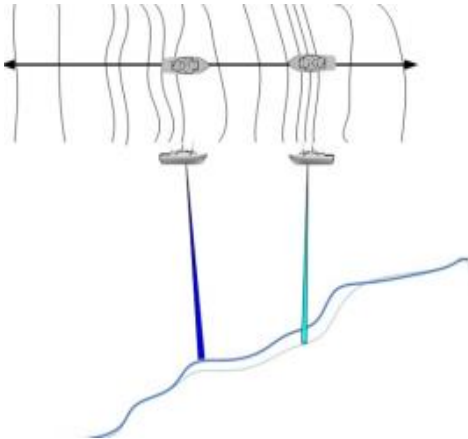


Figura 59 Imagen descriptiva del error de Pitch

- **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.

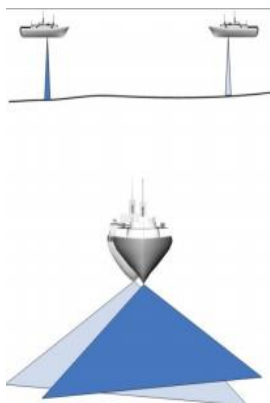


Figura 60 Imagen descriptiva del error de Roll.

- **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.

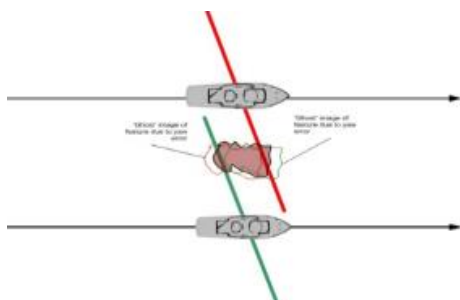


Figura 61. Imagen descriptiva del error de Yaw.

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.

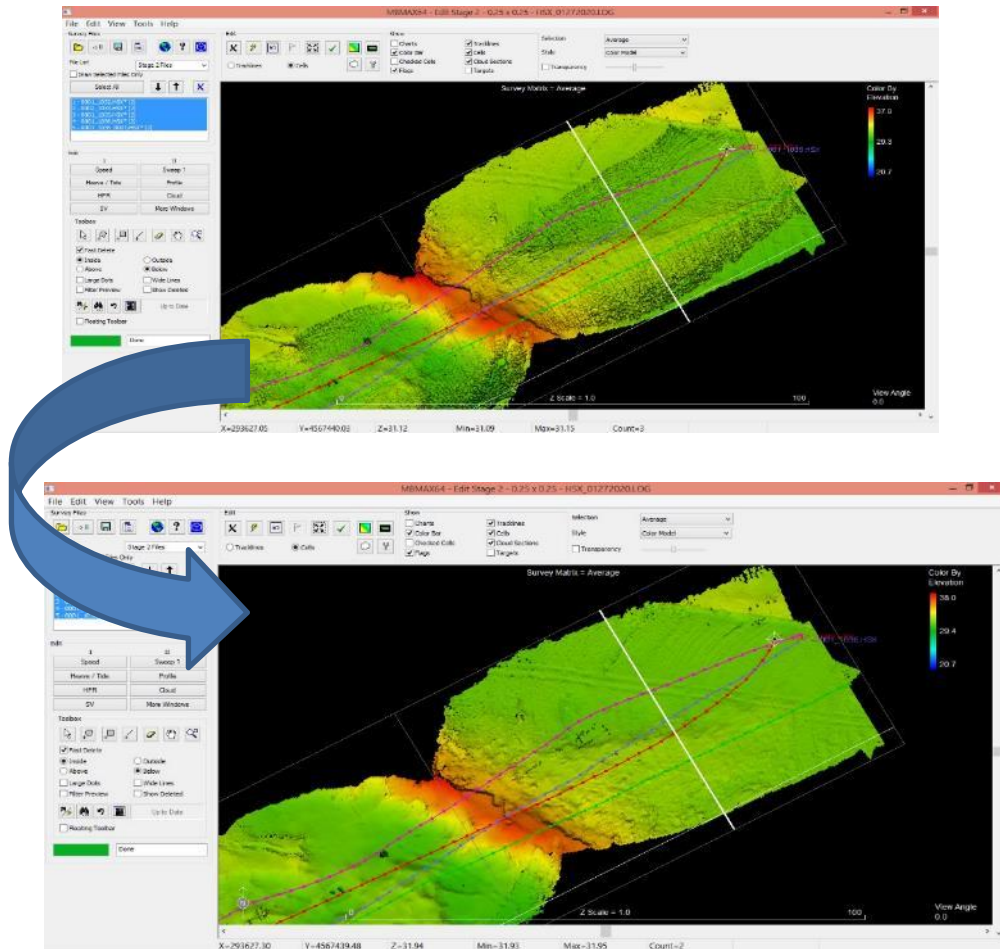


Figura 62 Comparativo antes de una calibración (arriba) y después de la calibración (debajo)

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

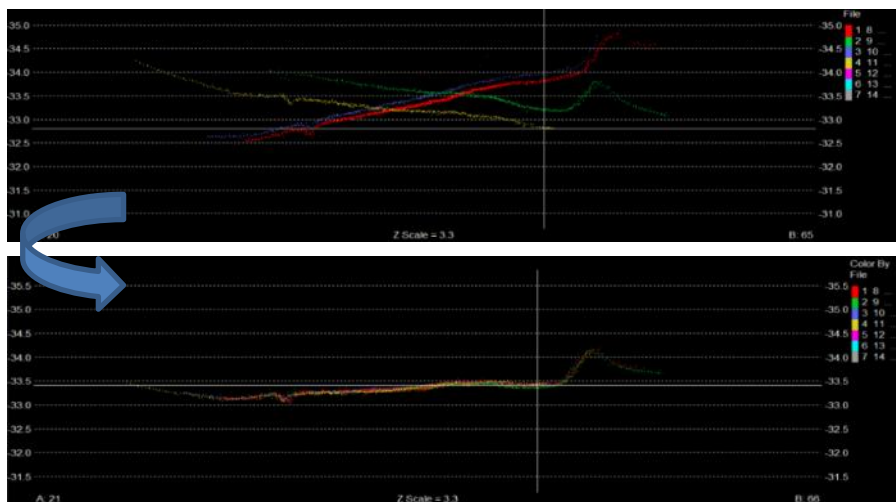


Figura 63 Resultante de corrección de Roll.

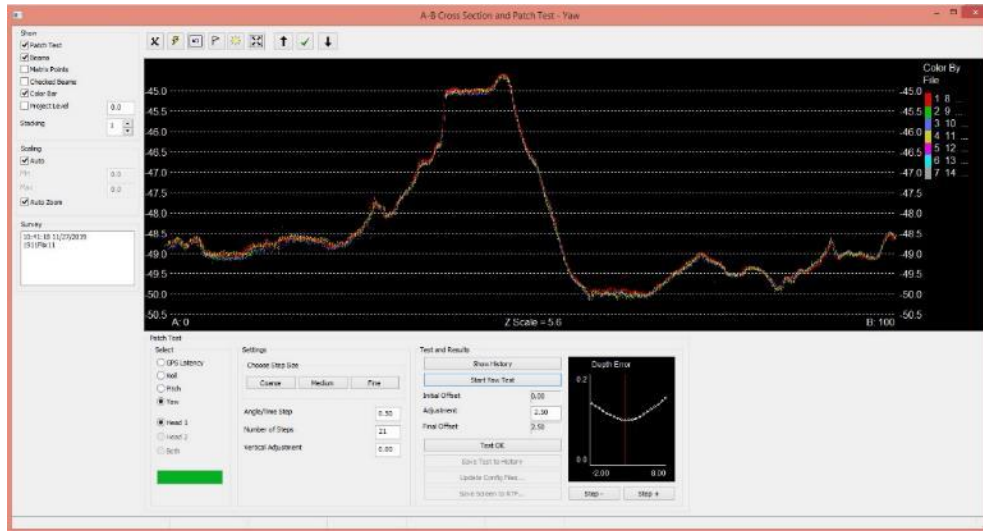


Figura 64 Resultante de corrección de Yaw y latencia.

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 65 Navegación realizada para el levantamiento batimétrico y topográfico



Figura 66 Vista de una de las orillas de la presa.

8.4 Levantamiento geofísico

El levantamiento geofísico se realizó los días 19 y 20 de agosto, montando y preparando todos los equipos a bordo a primera hora y comenzando a trabajar con todo montado y una vez comprobadas las conexiones y la calidad de las señales recibidas.



Figura 67 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 interferencia 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.

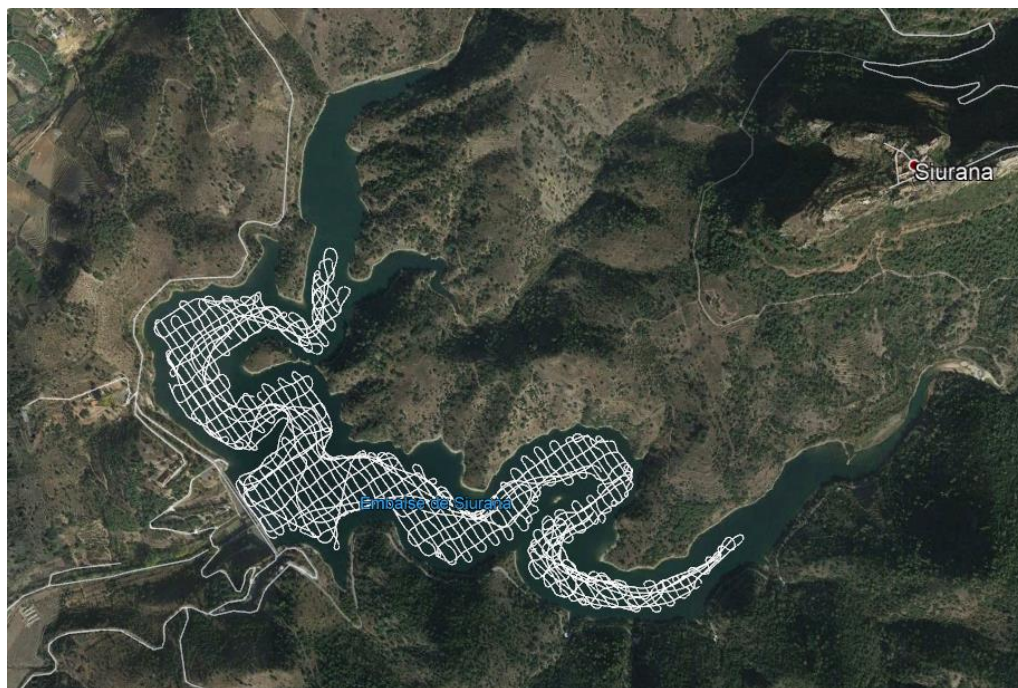


Figura 68 Navegación realizada para el levantamiento geofísico.

Se realizó una navegación siguiendo líneas planificadas previamente en función del estado de la situación del embalse en el momento de realización de los trabajos buscando asegurar unos cortes adecuados entre ellas, necesarios para la interpretación de los registros.



Figura 69 Levantamiento geofísico en el embalse de Ciurana.

En total se han recorrido unos 38.9 km de perfiles sísmicos durante los trabajos de adquisición de datos geofísicos, que fueron obtenidos de forma simultánea con los dos equipos sísmicos anteriormente descritos.



Figura 70 Plantas y árboles semi-sumergidos

La disposición del proyecto de líneas de exploración se planteó conformando una malla de 20x40 m, de perfiles sísmicos, que se proyectaron de forma paralela y perpendicular entre sí, cubriendo un área total de unas 3.57Has. En el Figura 68 se muestran las líneas de navegación realizadas así como los fixes que conforman cada una de las líneas de navegación. En este sentido, indicar que se trata de los datos reales de navegación, sobre los que se les realiza un filtrado para subsanar posibles datos erróneos a causa de saltos puntuales de la posición GPS durante la adquisición de los datos.

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

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

La recogida de los datos sísmicos se ha hecho de forma simultánea en dos procesadores digitales que en tiempo real almacenan la señal en formato bruto, uno dedicado a la señal de banda ancha del Geopulse y otro, asociado al programa de navegación, que ha registrado la del receptor de 3.5kHz. Ambos sistemas permiten en tiempo real visualizar las señales procesadas.

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

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



Figura 71 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.

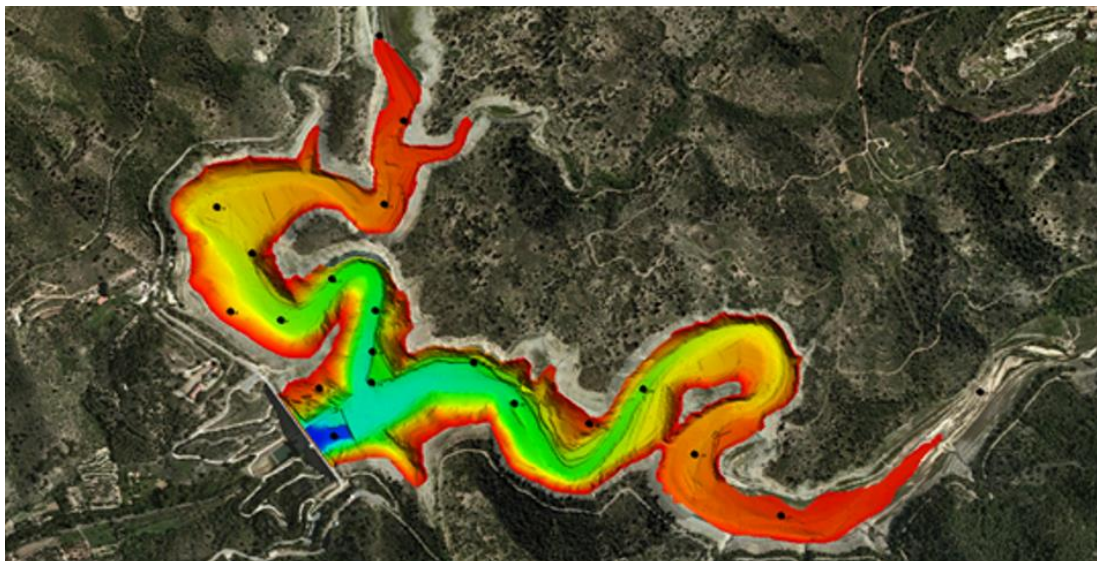


Figura 6. Batimetría del embalse con los puntos de muestreo de fondo.

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 una mayor energía.

Las muestras recuperadas con contenido en arenas y gravas se localizan en la parte superior del embalse, aumentando el tamaño de grano cuanto más nos acercamos a la cola del embalse. Durante la realización del trabajo, en las orillas del embalse también se apreció la presencia de los conglomerados mixtos procedentes de las formaciones superiores, calizas, areniscas y pizarras.

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

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, topográficos y geofísicos.

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.

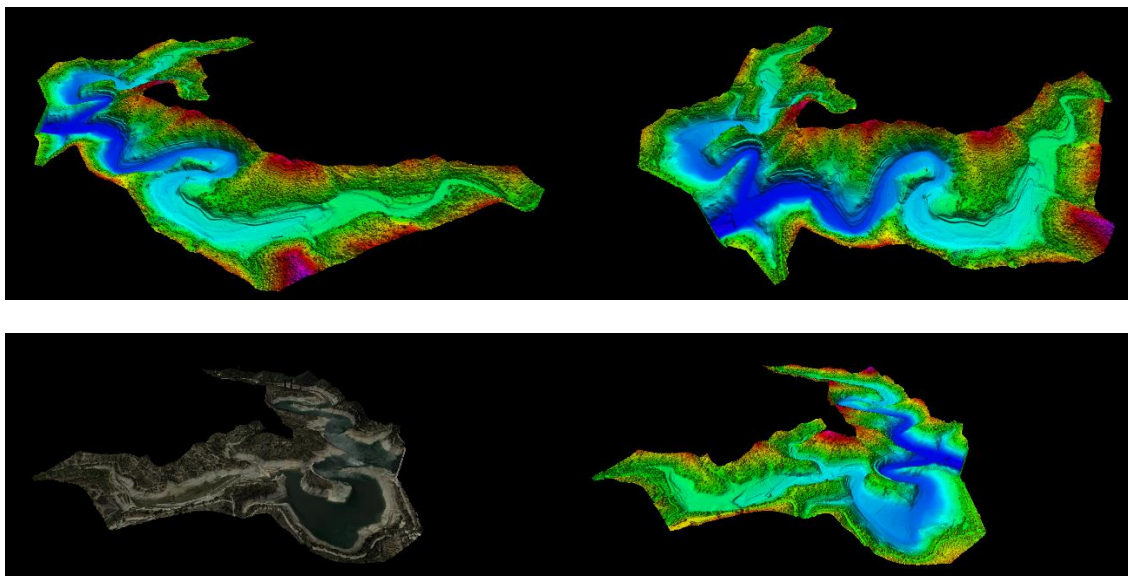


Figura 72 Datos batimétricos XYZ en vista 3D GRID

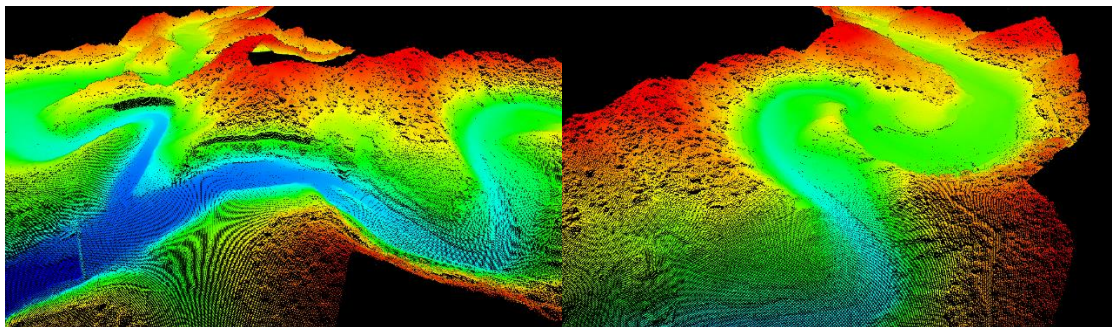


Figura 73 Detalles de la zona estudiada en formato de nube de puntos

Aplicación de los Perfiles de Velocidad

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

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

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

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

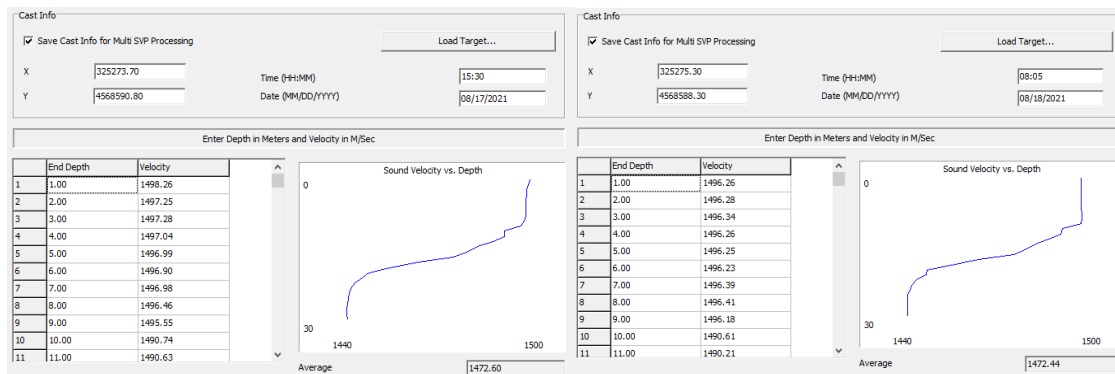


Figura 74. Perfiles de velocidad del sonido en la columna de agua tomados en la campaña.

Speed of Sound in Water - in SI units

Temperature - T - (°C)	Speed of Sound - C - (m/s)
0	1403
5	1427
10	1447
20	1481
30	1507
40	1526
50	1541
60	1552
70	1555
80	1555
90	1550
100	1543

Figura 75 Variaciones estimadas de la velocidad del sonido en el agua, según las variaciones de la temperatura.

Calibración del Sistema Multihaz

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

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

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

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

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

Filtrado de los Datos

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

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

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

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

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

Representación de los datos

Tras los distintos pasos de procesado de batimetría multihaz se obtiene uno o varios ficheros en formatos propios del programa y se exportan también en formato estándar XYZ en los que las coordenadas son absolutas y las profundidades son corregidas con los diferentes parámetros tomados en la zona.

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

En estos ficheros GRID los datos están equidistantes y el valor en cada nodo se determina por los datos próximos según el método de cálculo utilizado, que en este caso ha sido por promediado (average). Luego se utilizan para generar los planos de isobatas

y otros productos. La resolución de datos se ajusta según los fines a que se apliquen y las capacidades de procesado de los programas.

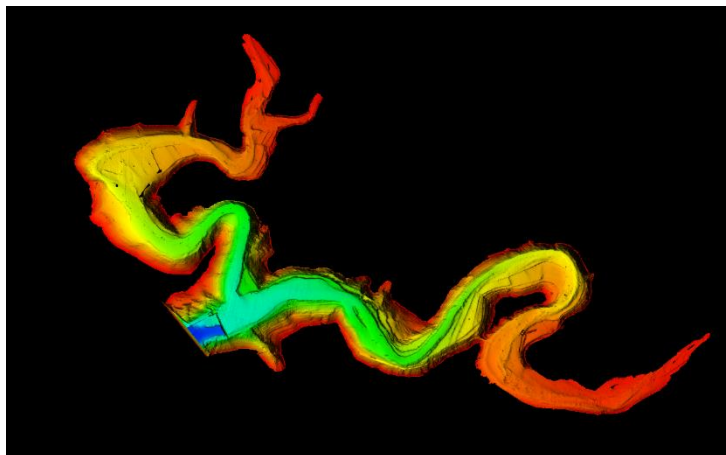


Figura 76 MDT del embalse de Ciurana

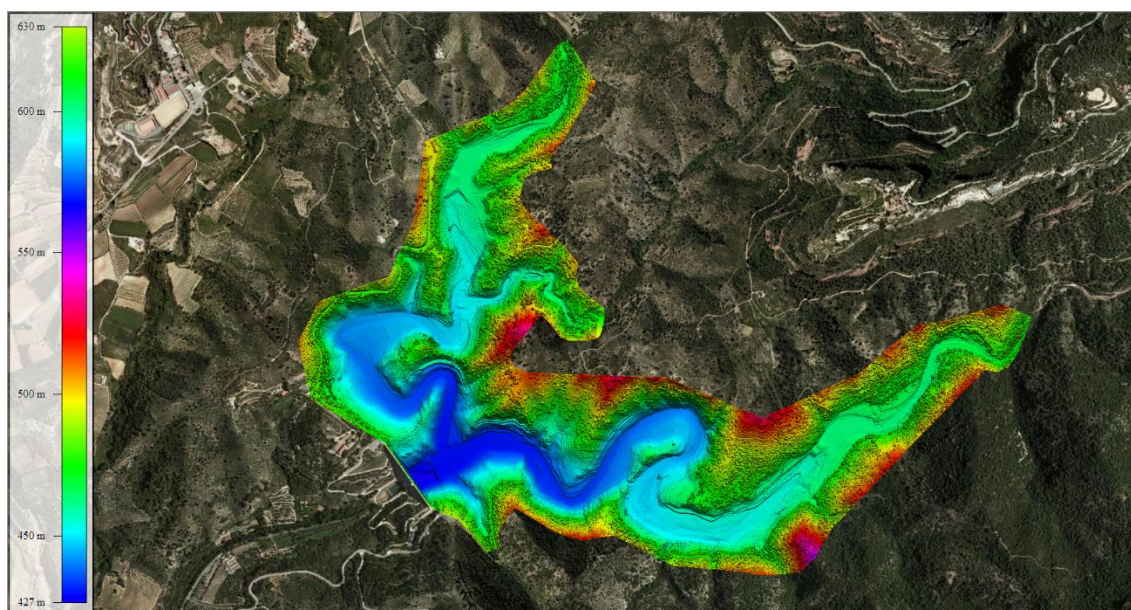


Figura 77 MDT completo del embalse de Ciurana integrado en la ortofoto

9.2 Procesado e interpretación de los datos geofísicos

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

Procesado.

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

Survey Systems. Aunque se han procesado todos los registros de Geopulse y de 3.5 kHz, la interpretación se ha basado principalmente en el 3.5 gHz, que ofreció una magnífica resolución en los metros más superficiales, apoyándose también en los registros de Geopulse.

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

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

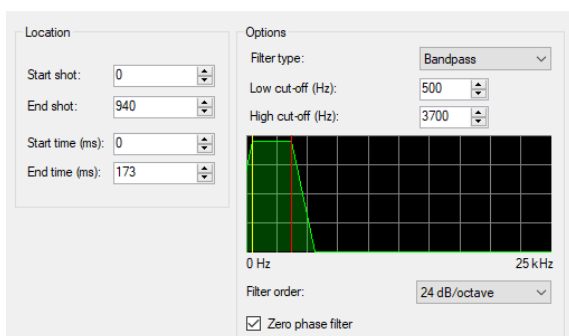


Figura 78. Filtro Paso Bandas

- 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.

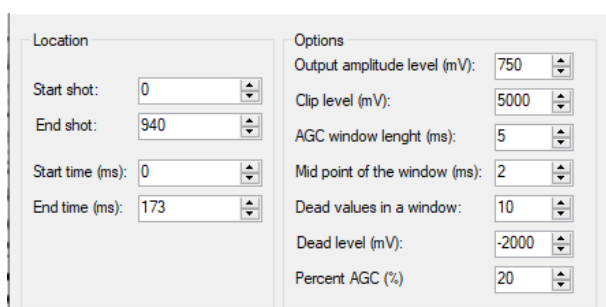


Figura 79. Filtro AGC (Auto Gain Control)

- 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 1 y 30 dB a lo largo de la longitud del registro.

Este procesado ha permitido obtener registros como el que se muestran en la Figura 80 y Figura 81, que corresponden a las líneas 0029_1544 y 0029_1229 respectivamente. En ellas se pueden comparar las líneas registradas en bruto con esas mismas líneas una vez aplicado el procesado.

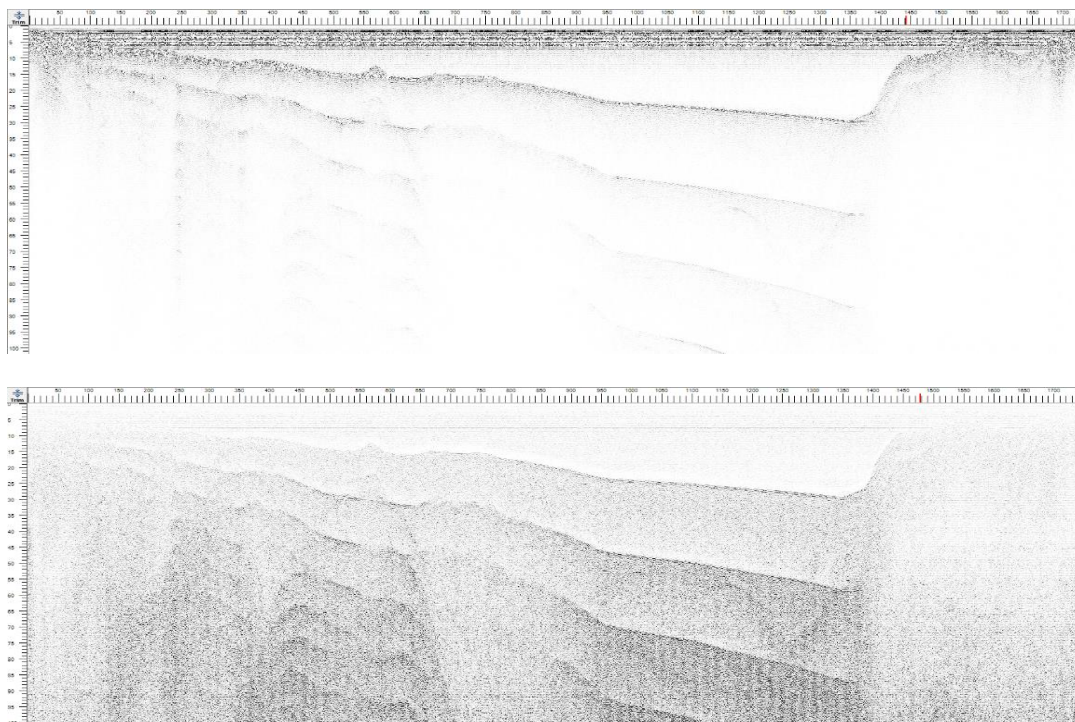


Figura 80. Registro de la línea 0029_1544 en bruto (imagen superior) y procesado (imagen inferior).

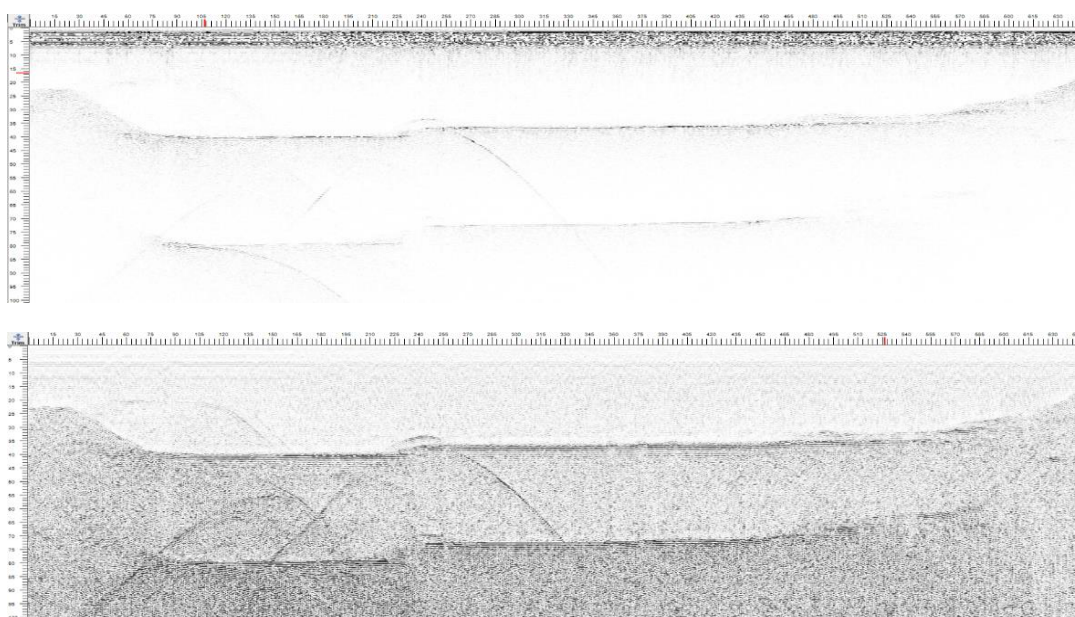


Figura 81. Registro de la línea 0029_1229 en bruto (imagen superior) y procesado (imagen inferior).

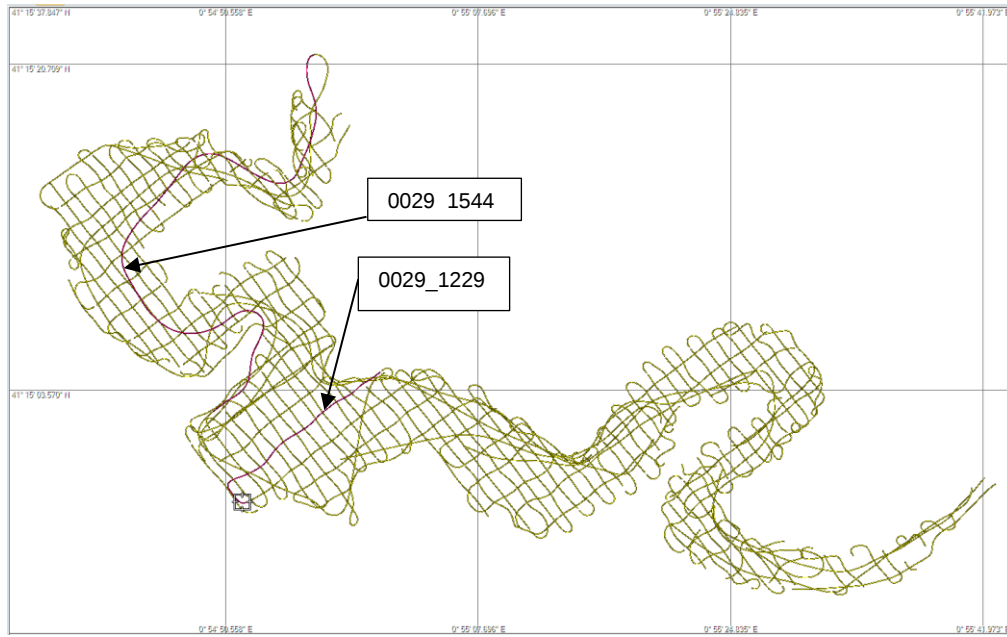


Figura 82. Situación de las líneas 0029_1544 y 0029_1229.

En la Figura 82 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 83 se observa una misma línea (0029_1229) 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.

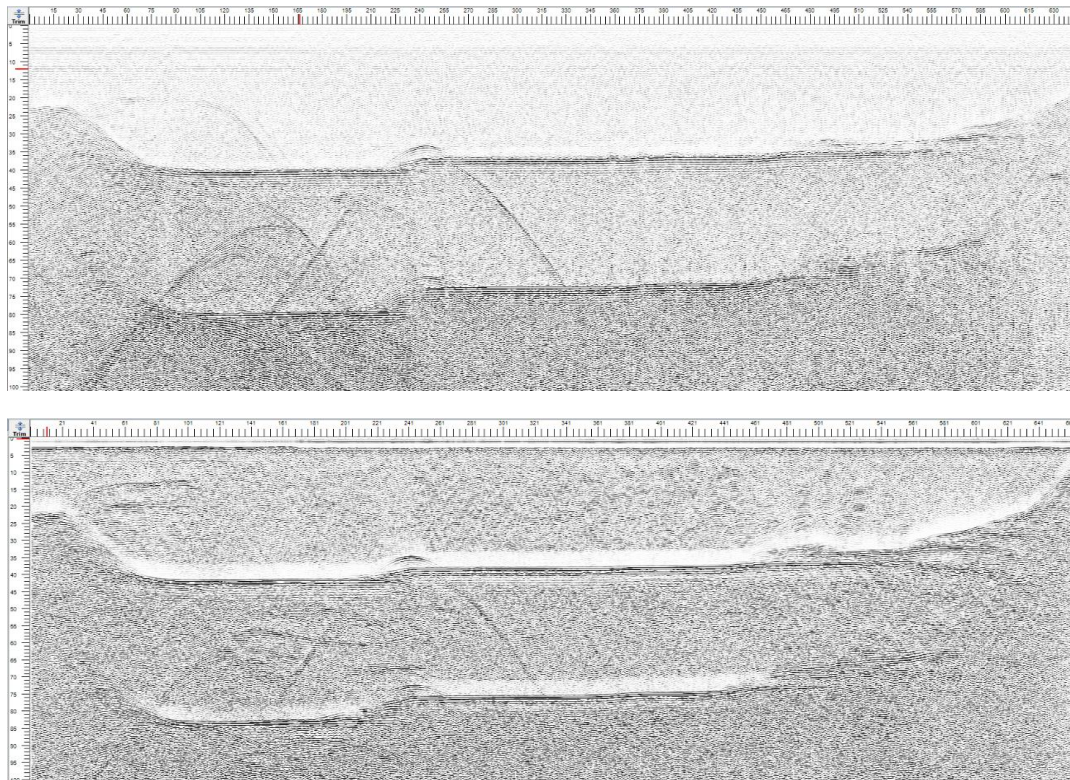


Figura 83. Registro de la línea 0029_1229 con el 3.5 kHz (imagen superior) y el Geopulse (imagen inferior).

Interpretación y resultados de los perfiles geofísicos.

Caracterización de fondos del área de estudio.

A partir de los perfiles obtenidos con el receptor 3.5kHz 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 3.5kHz, se han diferenciado una sismofacie sísmica y un basamento o zócalo acústico, como puede observarse en la Figura 84. 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.

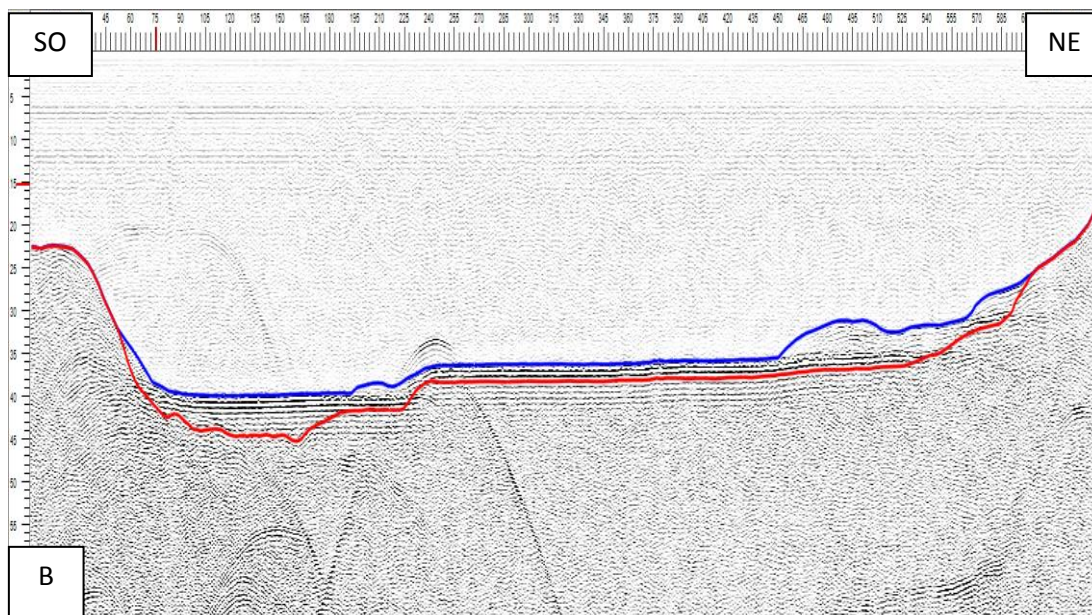


Figura 84 Registros de la línea 0029_1229, obtenidos con el Geopulse (arriba A) y con el 3.5kHz (abajo-B).

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 imagen siguiente, Figura 85, correspondiente a la línea 0029_1229, se muestra un ejemplo de este registro, obtenido con el receptor 3.5kHz, y de las reflexiones que se han considerado que constituyen y definen esta primera capa.

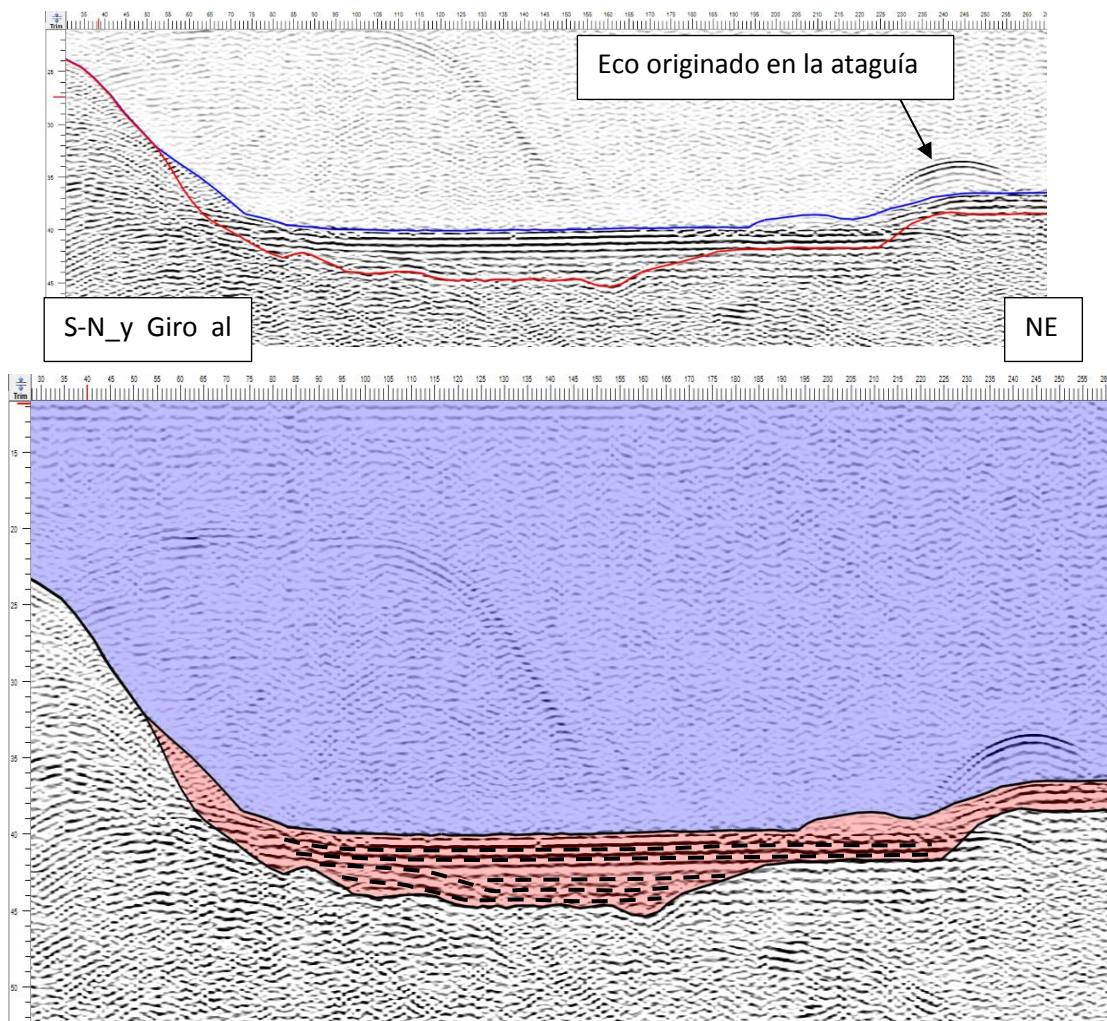


Figura 85 Ejemplo de la línea 0029_1229, obtenida con el 3.5kHz.

En el comienzo del registro, se observa la ladera próxima al estribo de la margen izquierda y el eco lateral en la presa. Las reflexiones que se observan en la zona de la ladera corresponden a las reflexiones laterales originadas en dicha ladera.

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.

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

En la Figura 86, se muestra otro ejemplo de esta primera capa. Corresponde a un tramo de la línea 0025_1750.

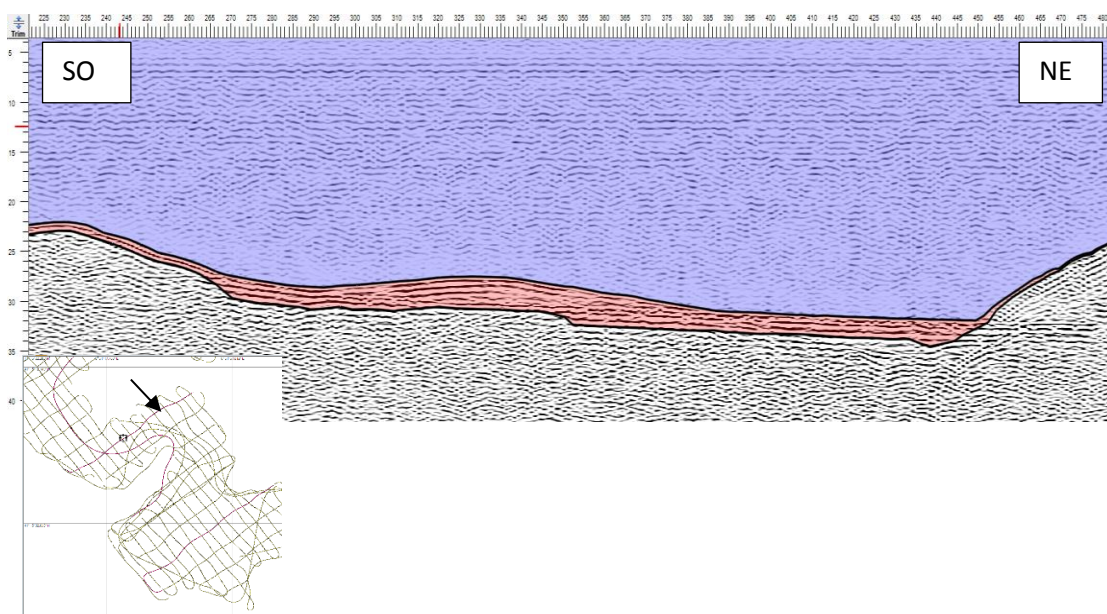


Figura 86 Ejemplo de la línea 0025_1750.

- B) Finalmente se detecta un *basamento o zócalo acústico* que debe corresponder con los materiales de base descritos anteriormente (conglomerados paleozoicos). El techo de este basamento, lógicamente, se ha coloreado en rojo 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.

Igualmente, las reflexiones que conforman este substrato son discordantes con la reflexión roja que constituye la base de la capa sedimentos.

Estos aspectos se muestran en la Figura 87, y corresponden a las líneas 0025_1750, 0029_1229 y 0029_1544.

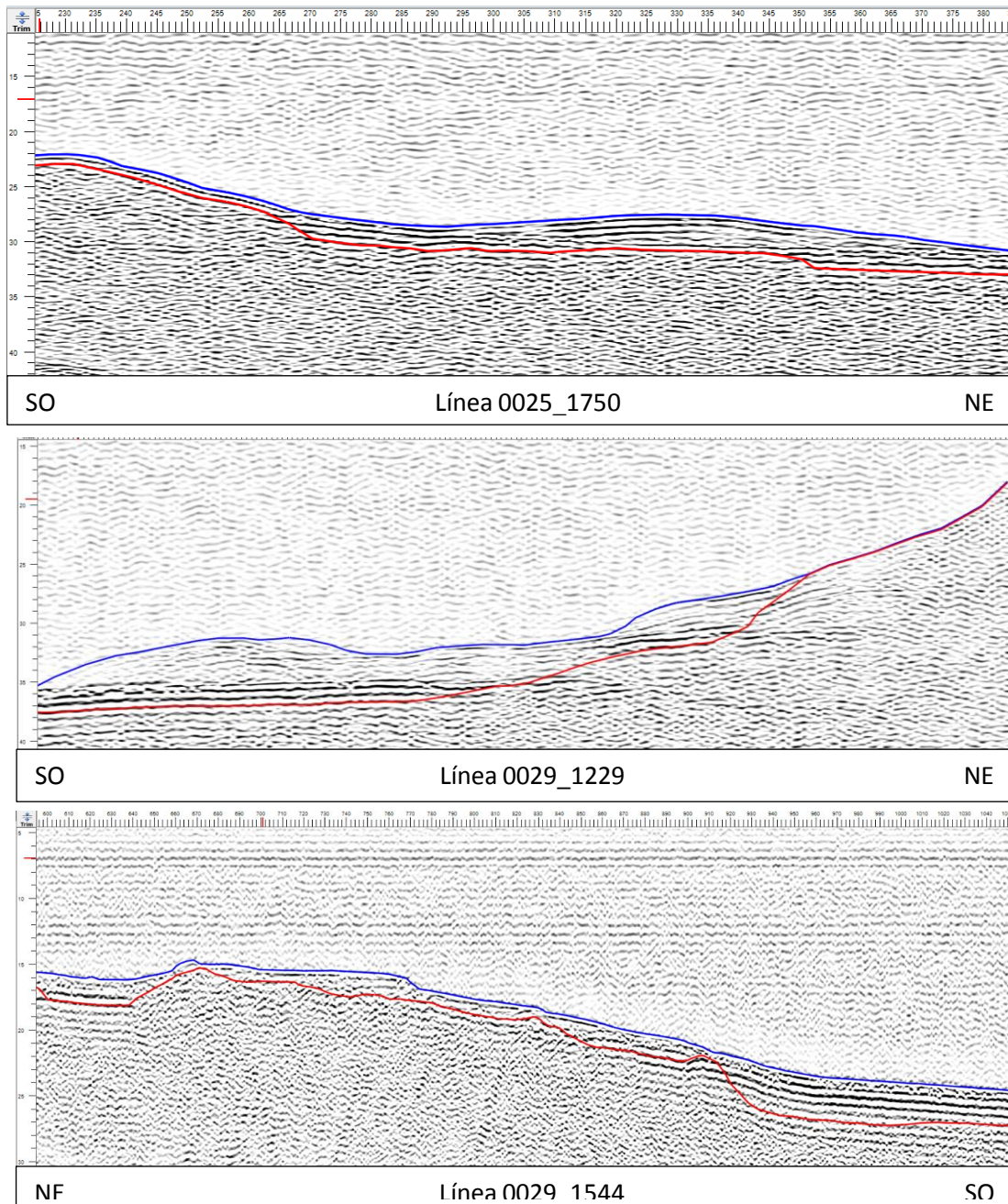


Figura 87 líneas 0025_1750, 0029_1229 y 0029_1544

Descripción de las isopacas de sedimentos no consolidados.

Para obtener el espesor de estos sedimentos no consolidados se ha utilizado, para realizar la transformación de las isocronas a isobatas, una velocidad de 1575 m/s para la capa de sedimentos. Bajo el área estudiada, el espesor de sedimentos no consolidados varía entre valores extremos de 0 y 6 metros, como puede observarse en la Figura 88.

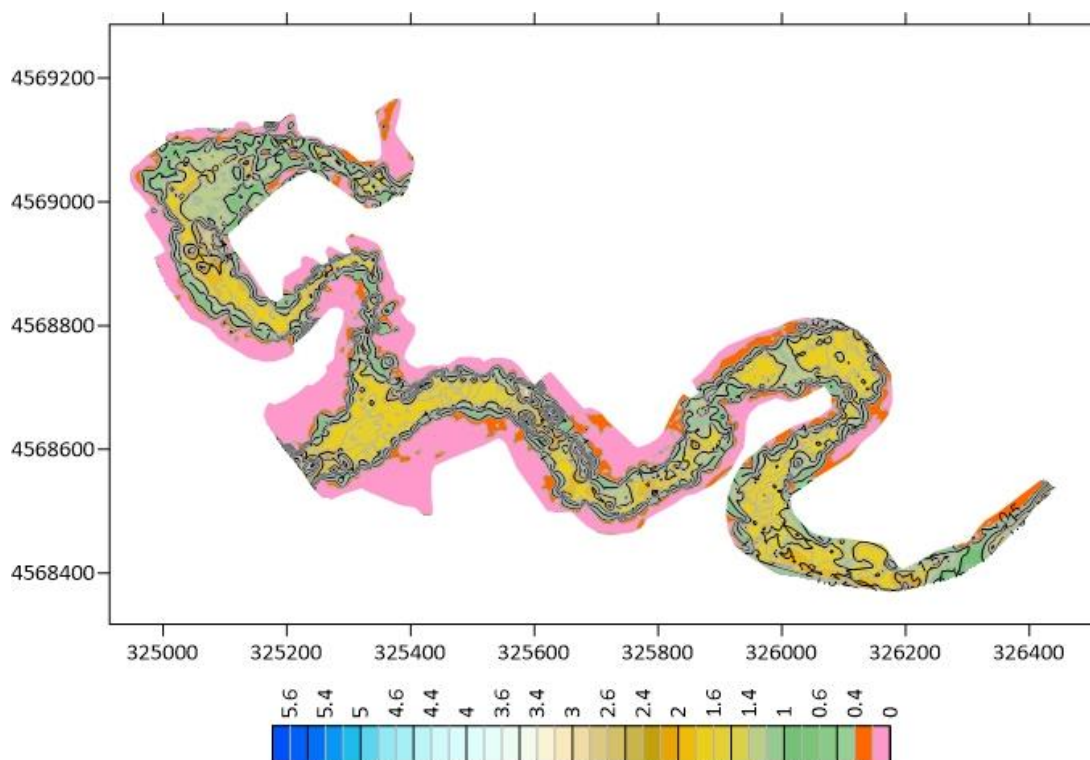


Figura 88 Mapa de isopacas obtenido con velocidades de 1575 m/s para la capa de sedimentos.

Como queda reflejado en la Figura 88, la mayor parte del embalse presenta un espesor de sedimentos comprendido entre 1.5 y 2.5 metros. En algunas, como el antiguo cauce del río, en las proximidades de la presa, entre otros, se alcanzan valores máximos de hasta 5.6 metros.

Una vez tomadas las muestras se etiquetan de forma unívoca para que no exista problema en su transporte al laboratorio.



Laboratorios Munuera



Figura 89 Acreditaciones de Laboratorio Munuera SLU

- 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 90 Proceso de recepción y secado.

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

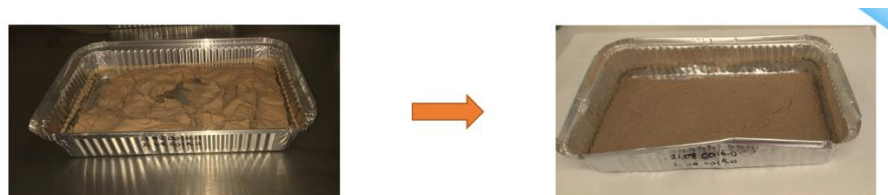


Figura 91 Rotura de los agregados

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 interpo 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.

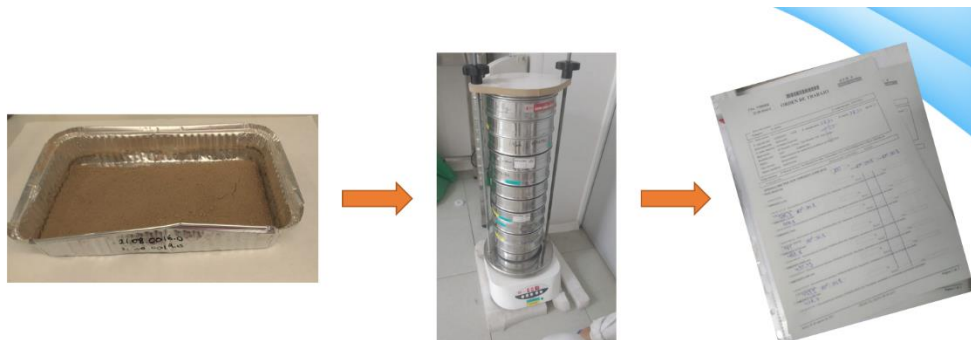


Figura 92 Proceso de tamizado

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 93 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 94 Tamizadora programada

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



Figura 95 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 96 Validación y creación del boletín pro 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).

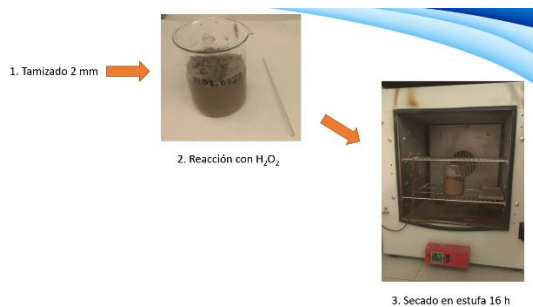


Figura 97 Fase 1, reacción con H_2O_2 y secado en estufa

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 98 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.

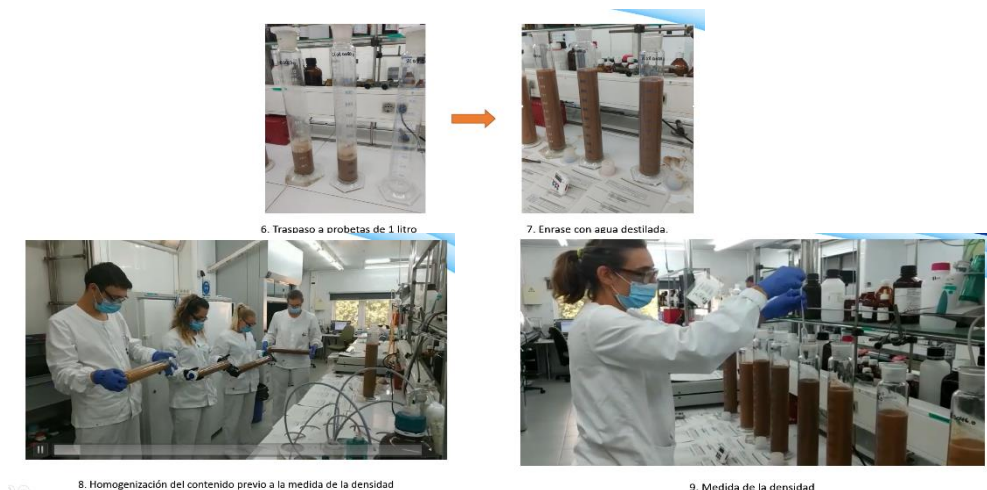
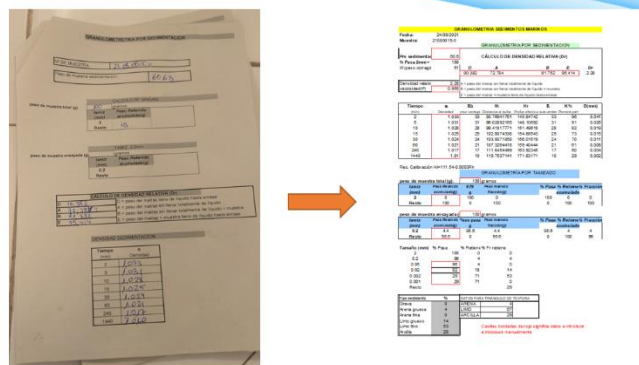


Figura 99 Fase 3, enrase homogenización y medida de la densidad.

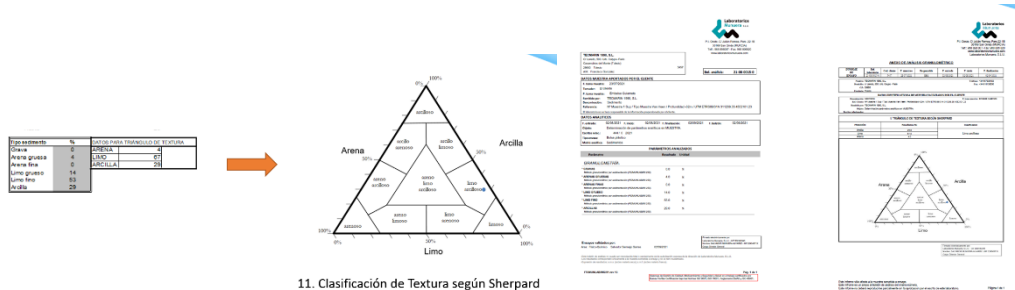
Complementariamente se determinará el peso específico del material y el tamizado por 0.2 mm.



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

Figura 100 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

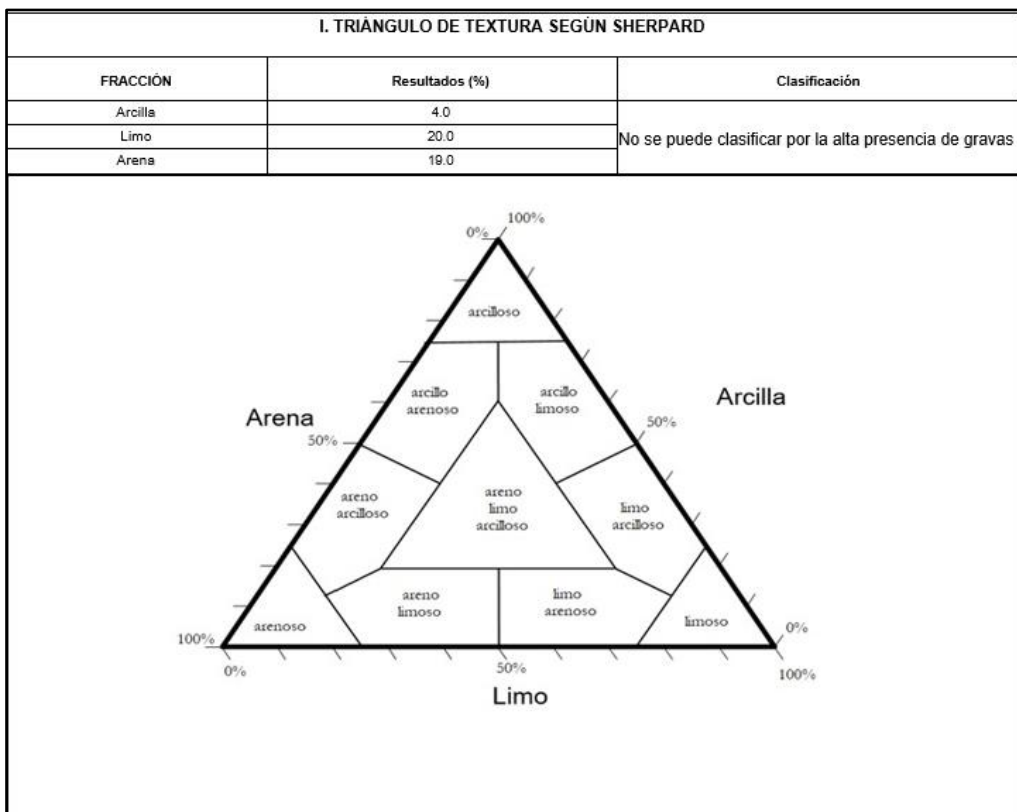
12. Validación de los datos y generación del boletín final y anexo de granulometría por sedimentación.

Figura 101 Clasificación de textura por el triángulo de Shepard, validación de datos y generación de boletín

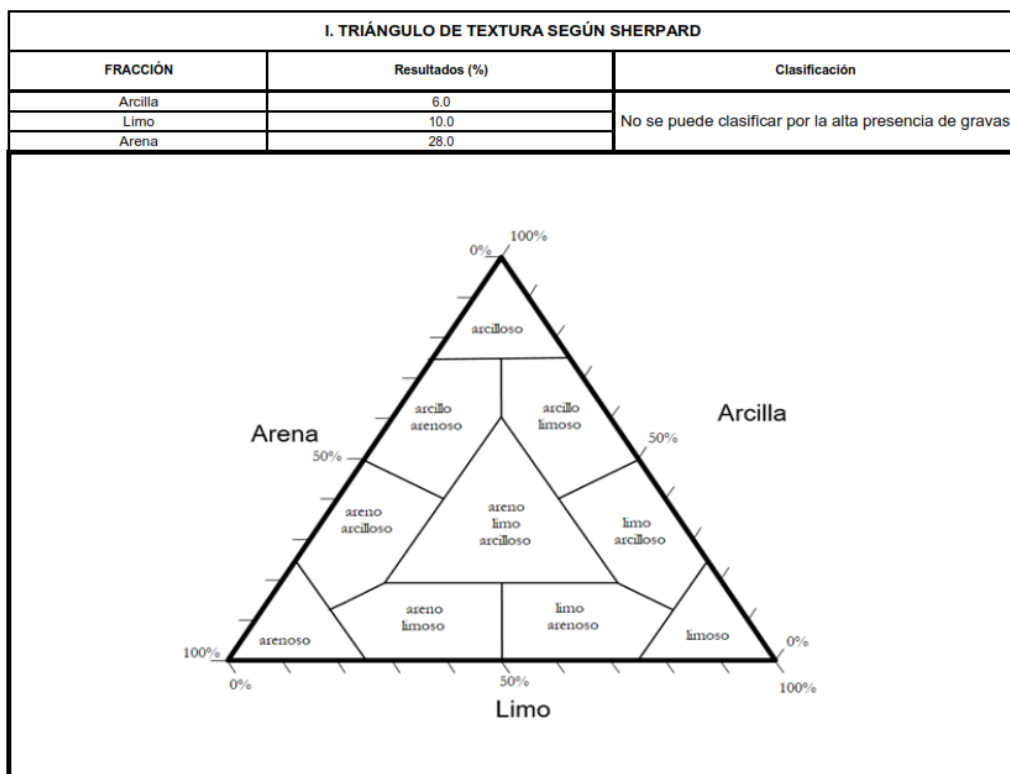
Los resultados de las granulometrías completos se incluyen en el Anexo 13.3. A modo de resumen se incluyen las clasificaciones según Shepard a modo de resumen en el apartado siguiente:

RESUMEN GRANULOMETRÍAS

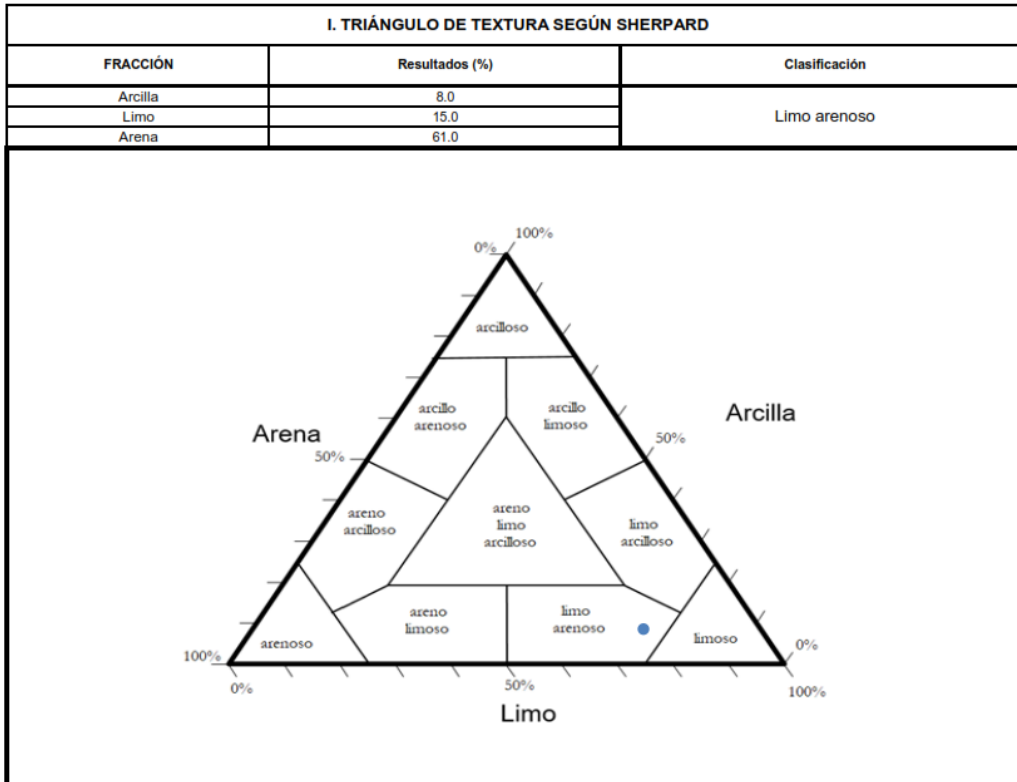
Muestra 1



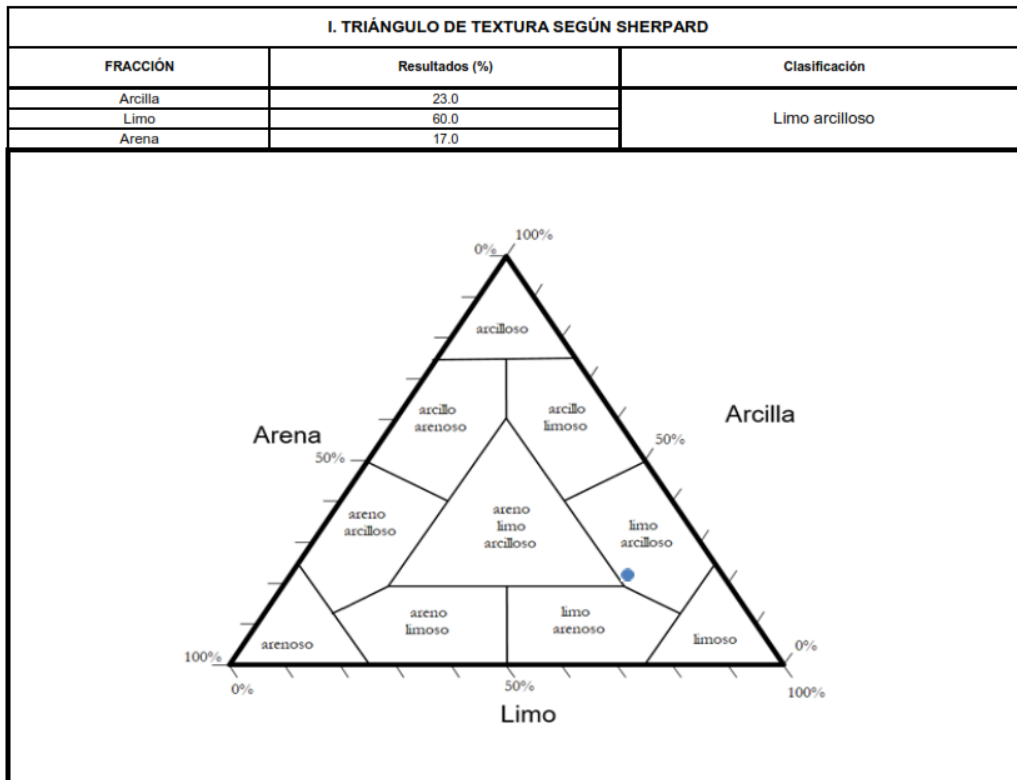
Muestra 2



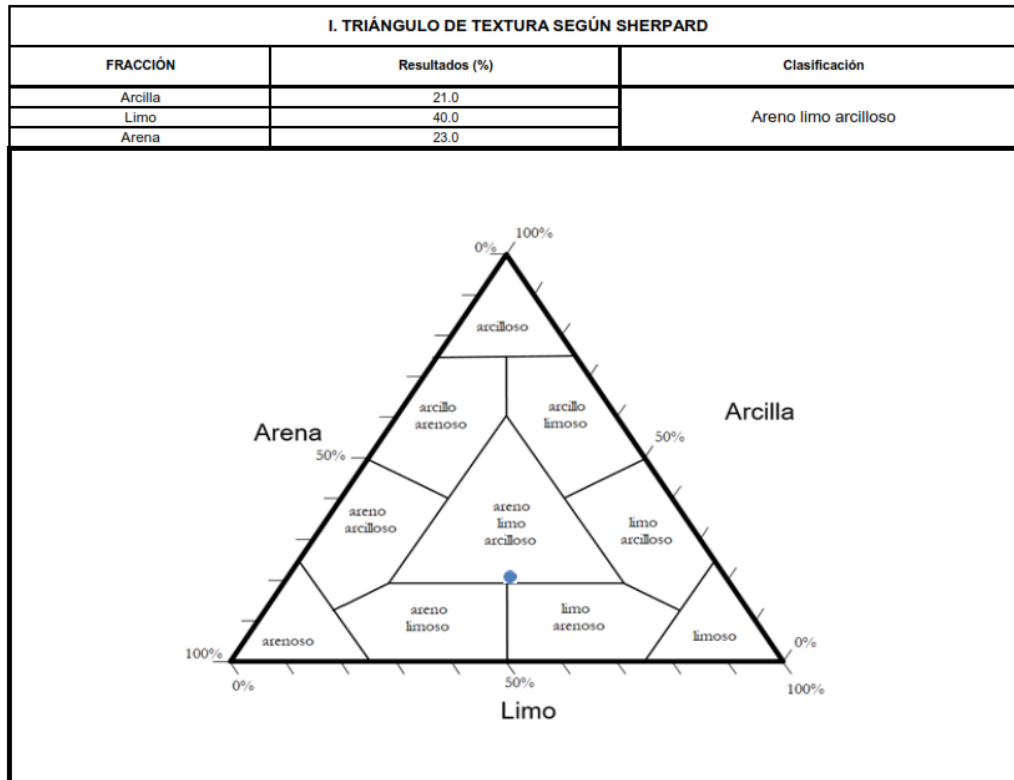
Muestra 3



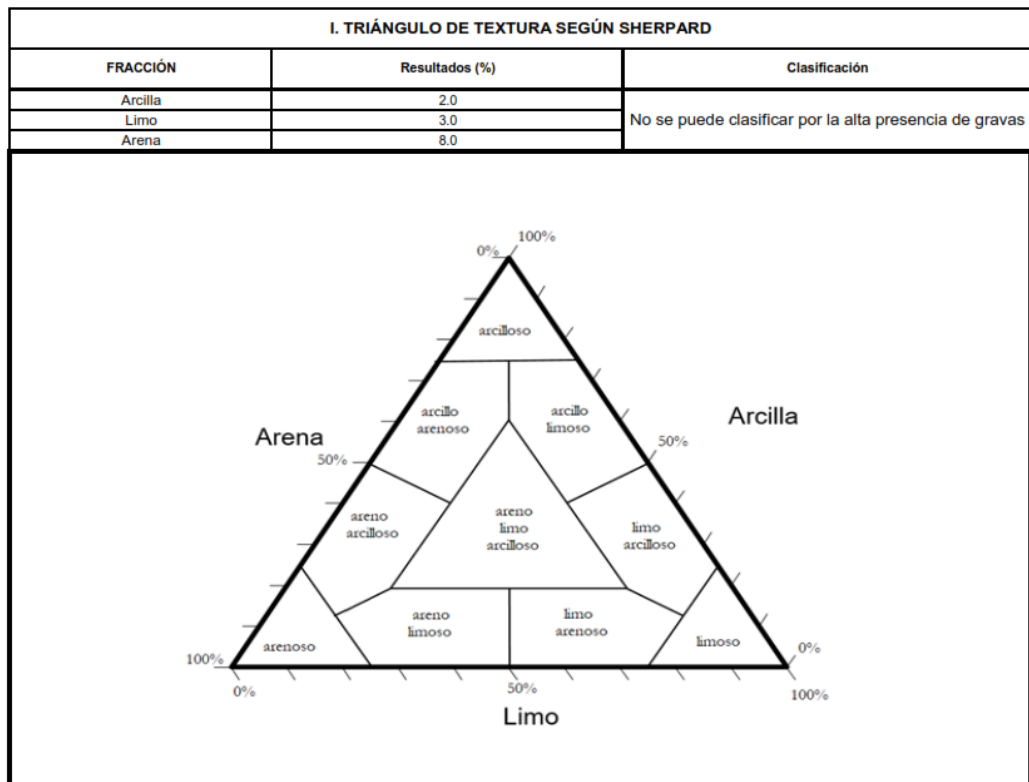
Muestra 4



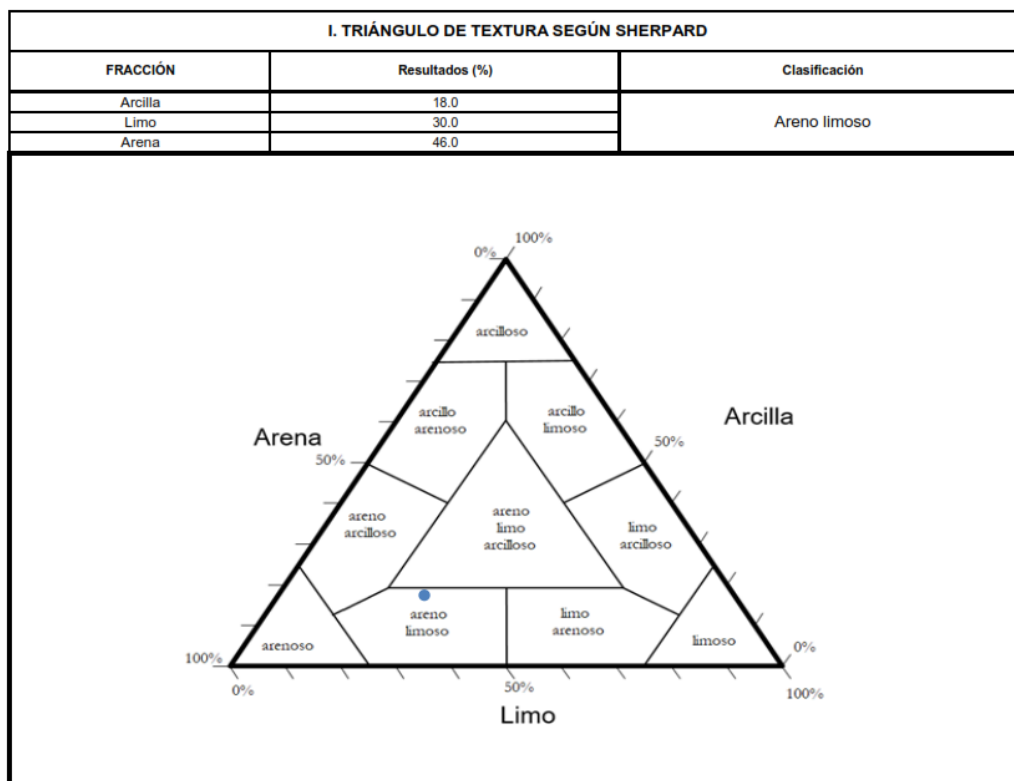
Muestra 6



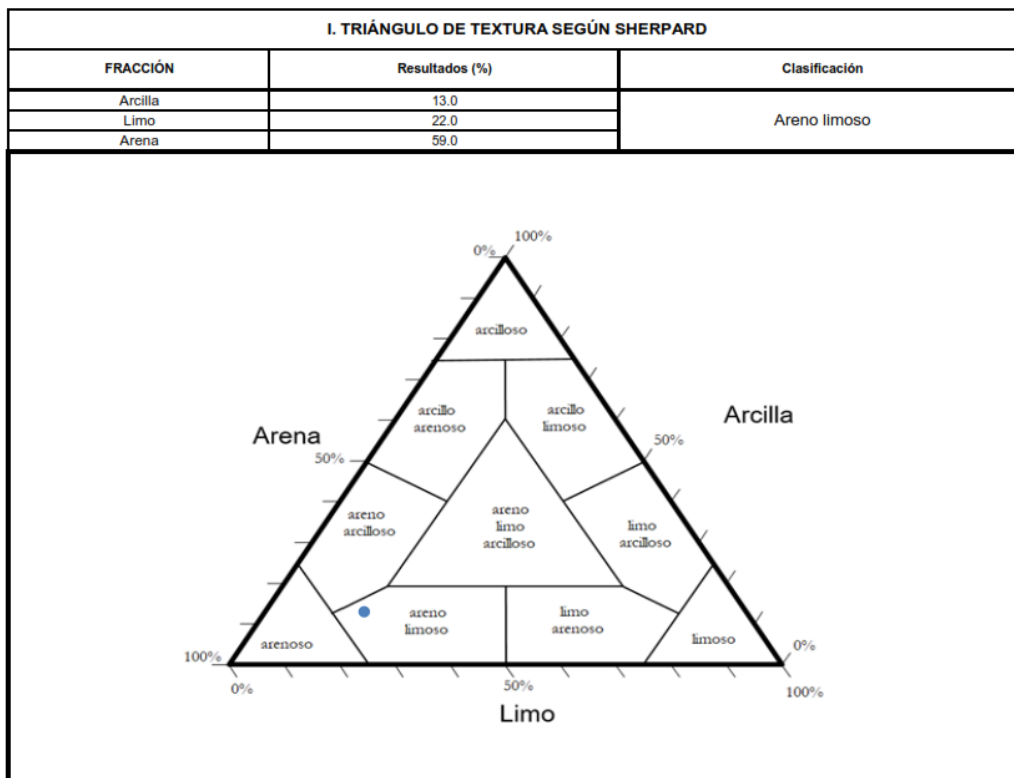
Muestra 7



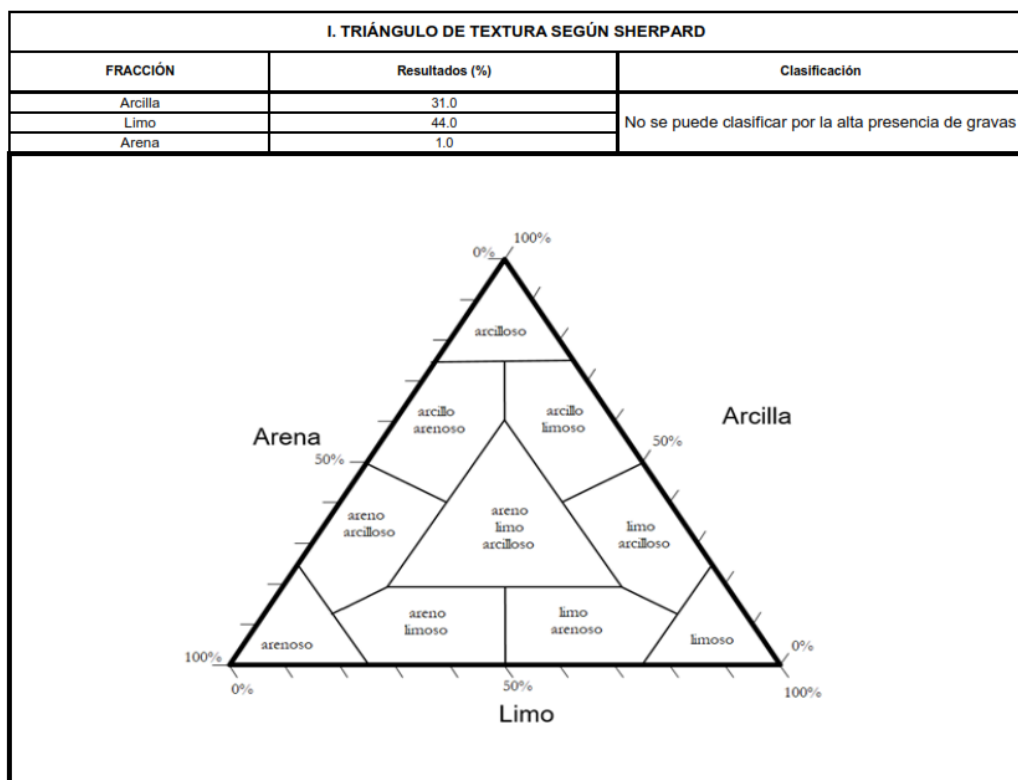
Muestra 7B



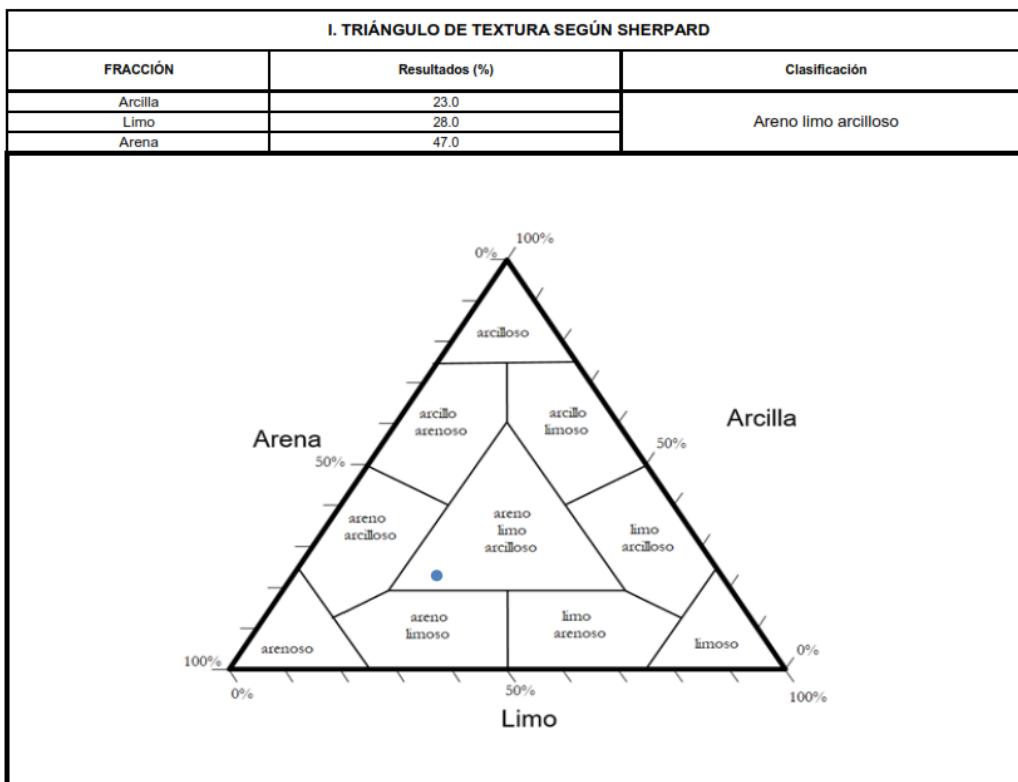
Muestra 8



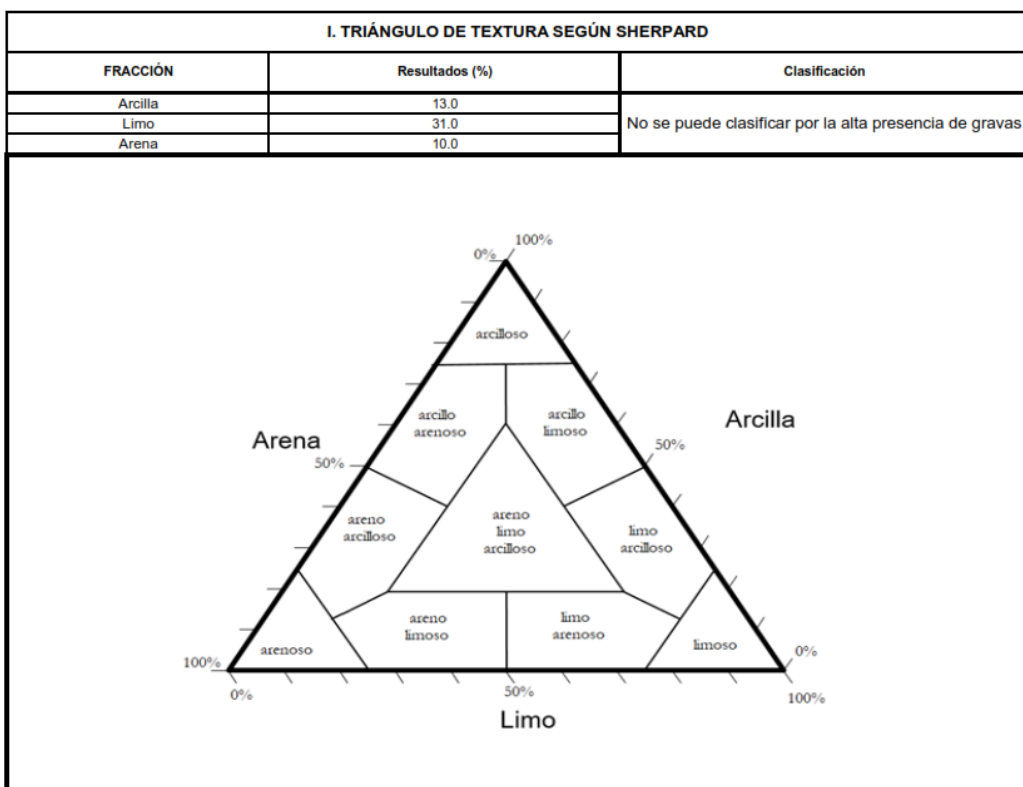
Muestra 9



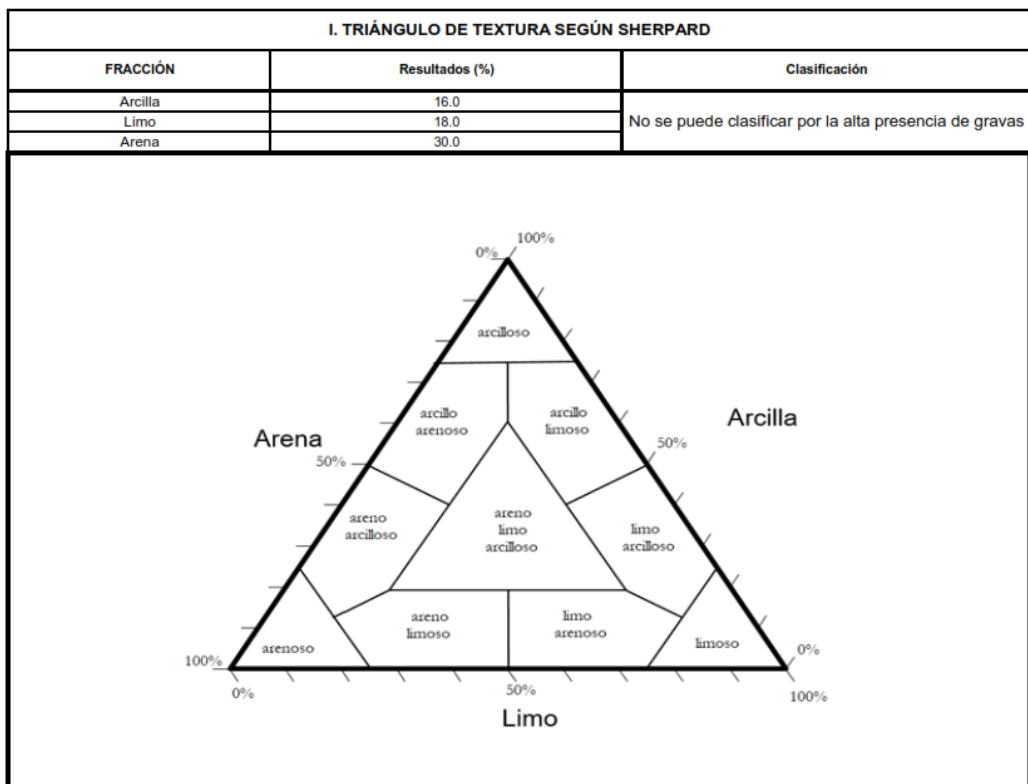
Muestra 10



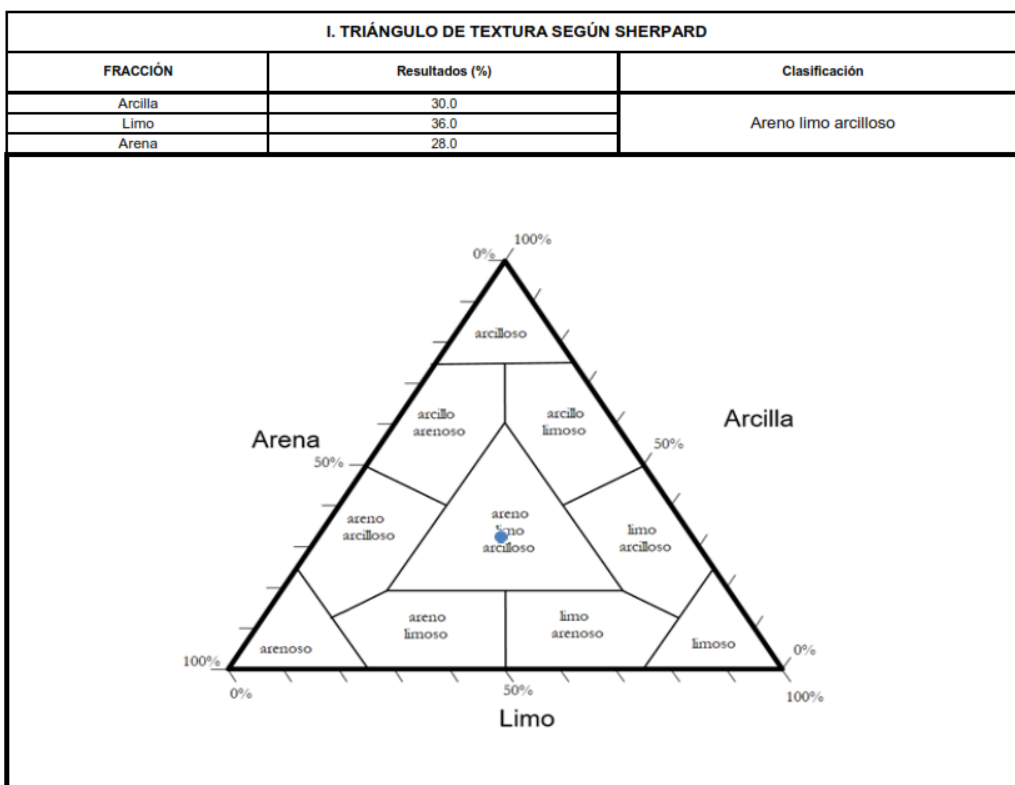
Muestra 11



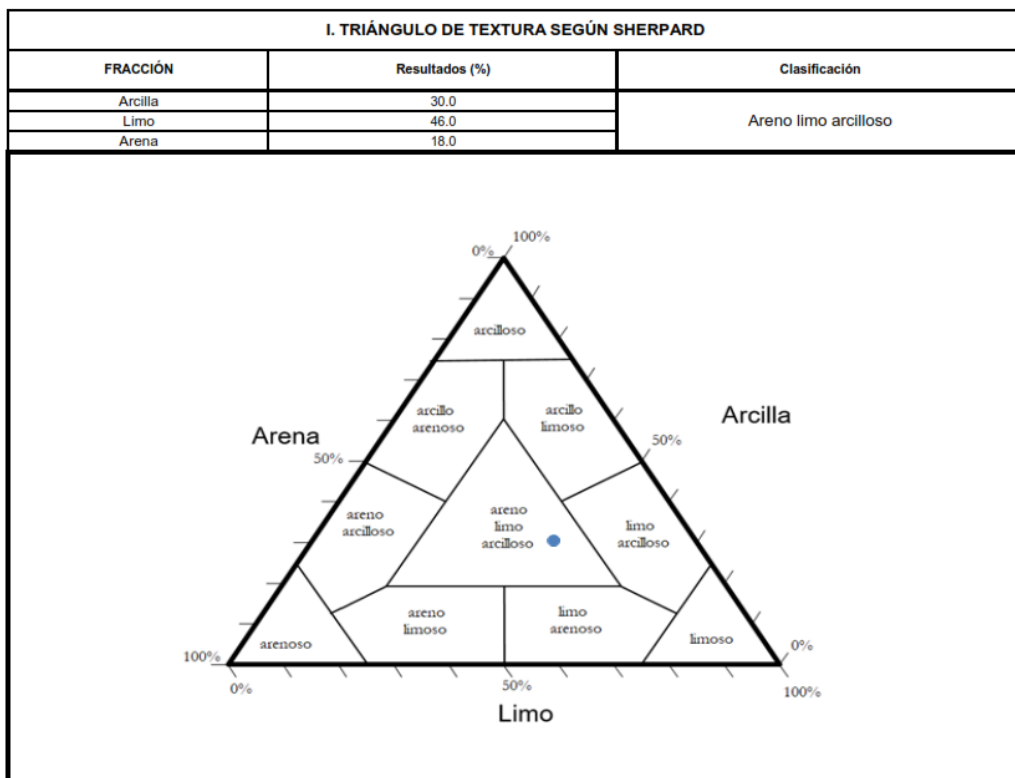
Muestra 12



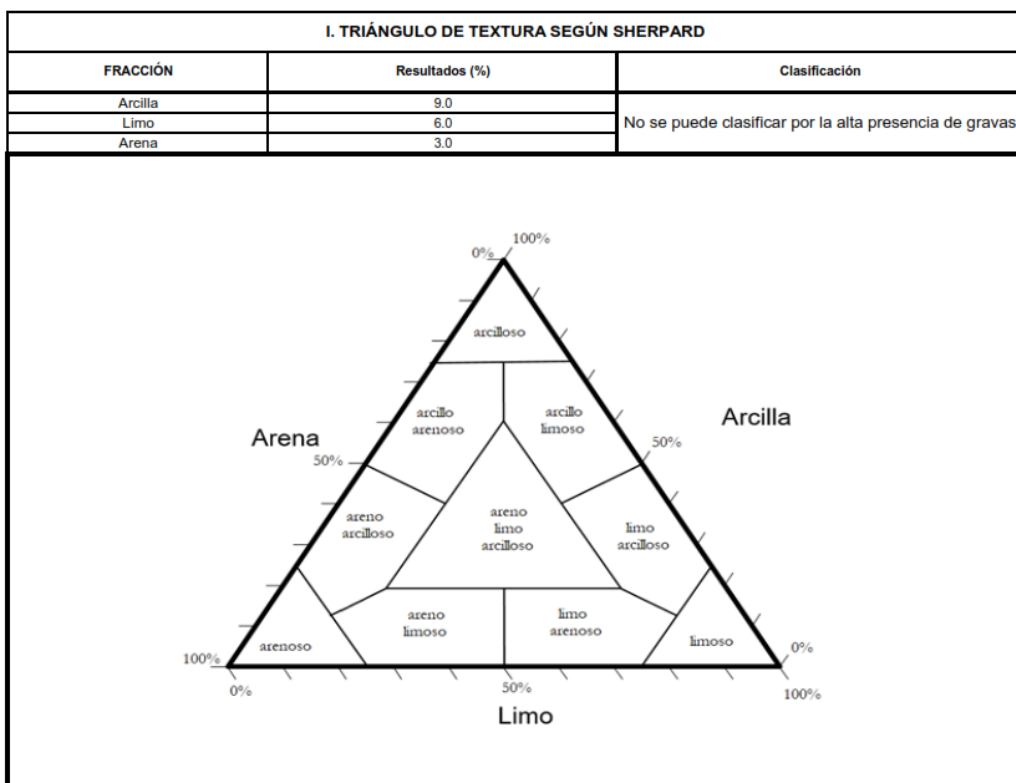
Muestra 13



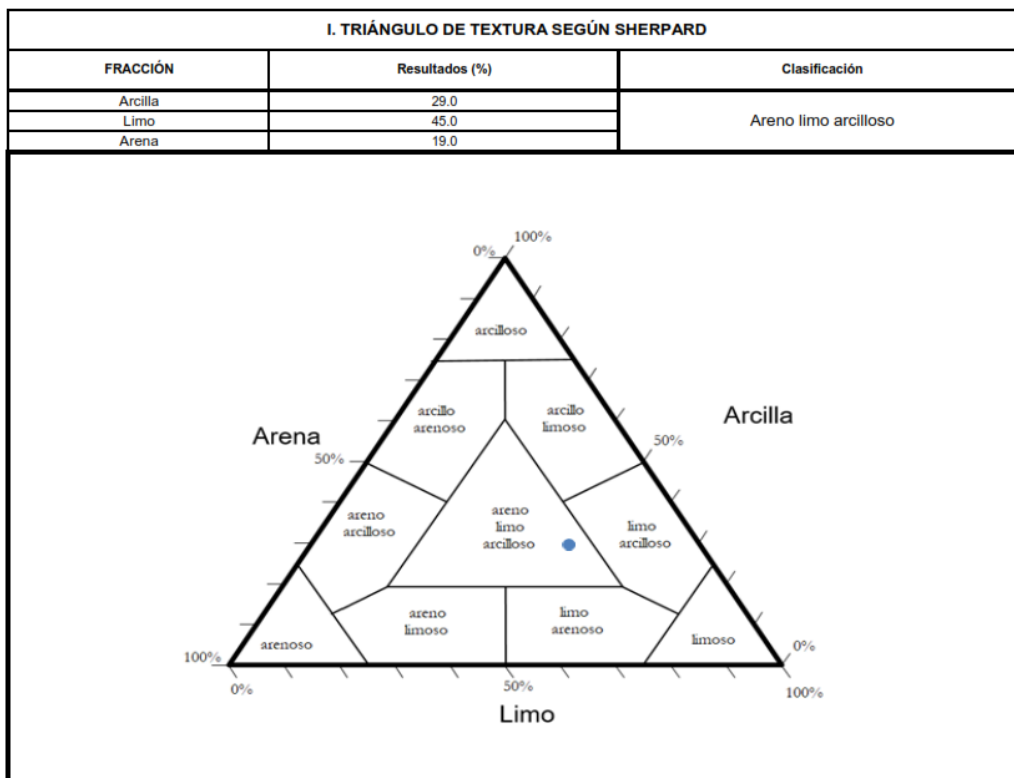
Muestra 14



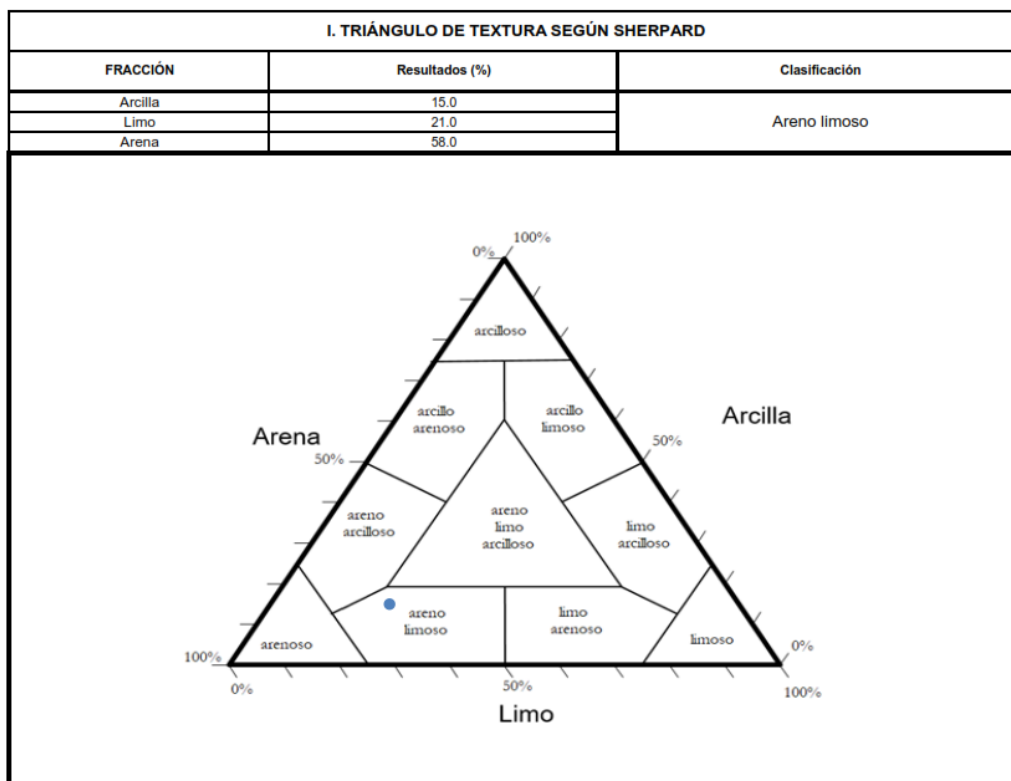
Muestra 15B



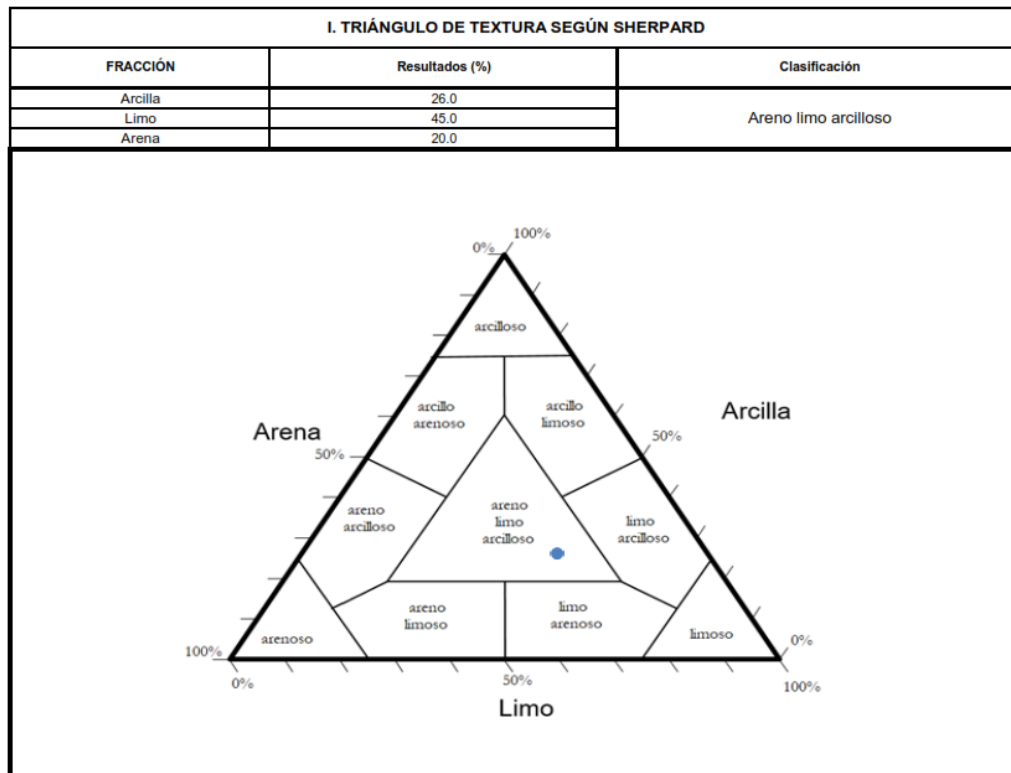
Muestra 16



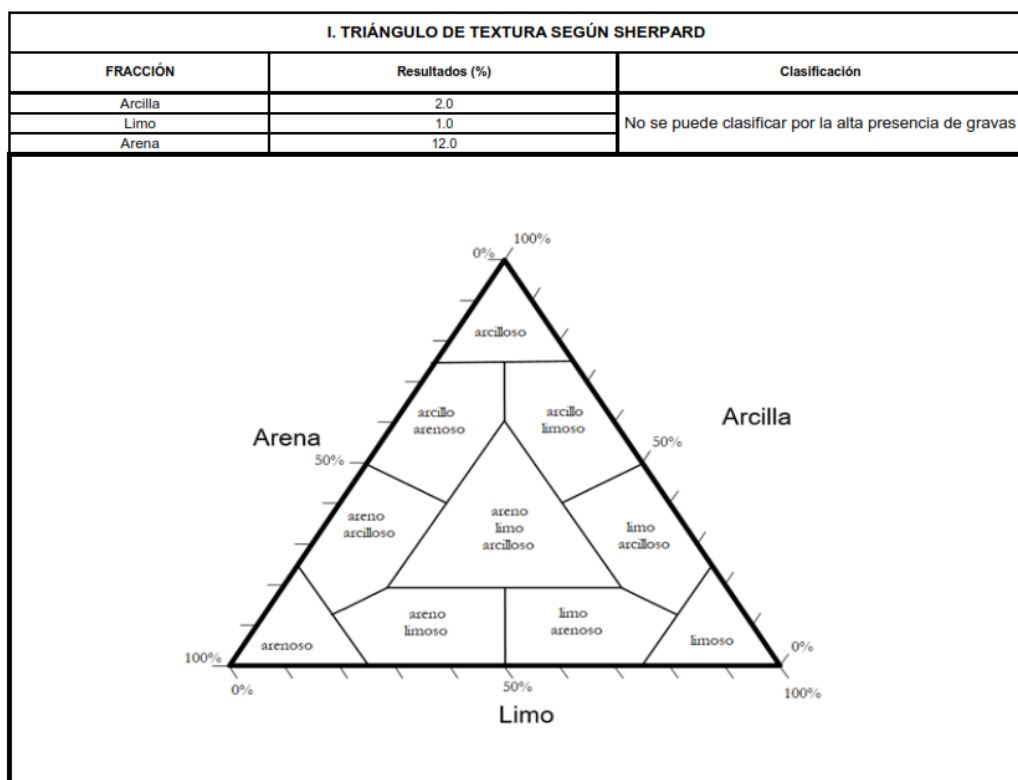
Muestra 17



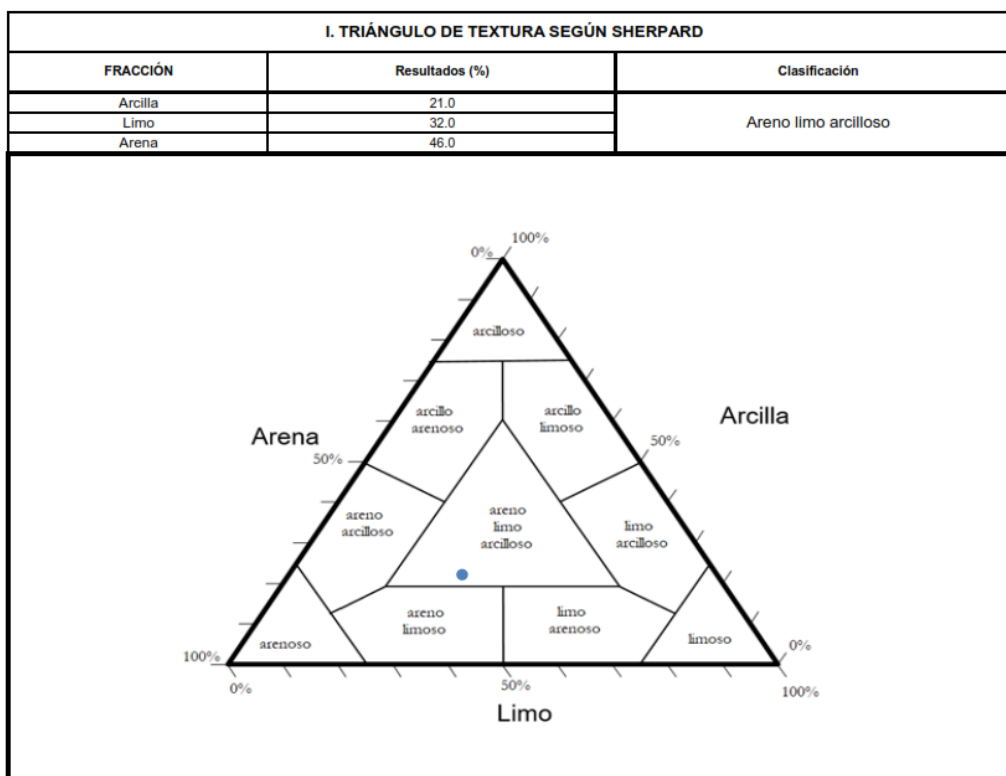
Muestra 18



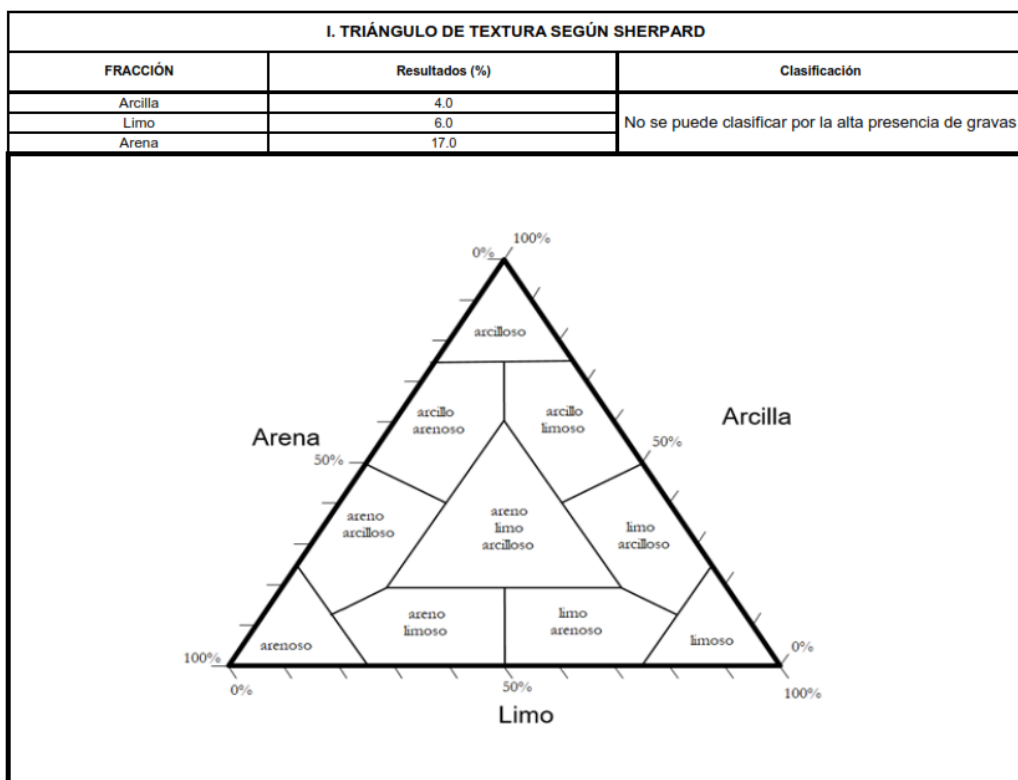
Muestra 19



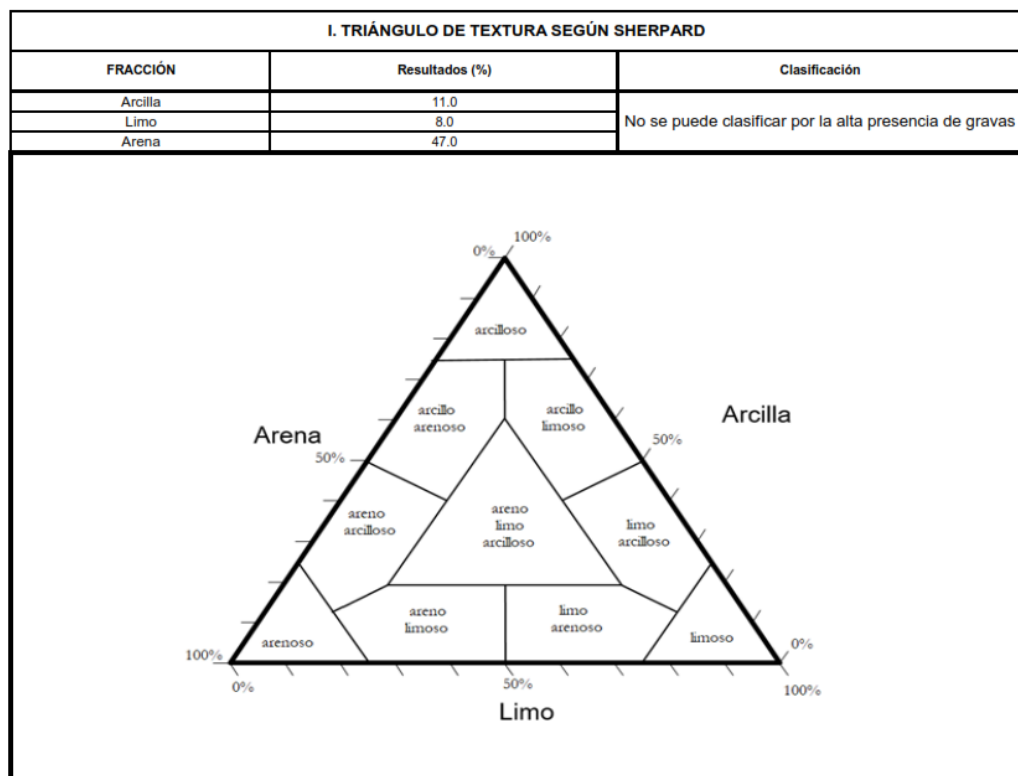
Muestra 20



Muestra 21



Muestra 22



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 más de 16 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, del CEDEX y de la Sociedad Española de Presas y Embalses (SEPREM), como se puede observar en la siguiente tabla:

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								
Ciurana	Iagua-Miteco	489.00	485.90	426.40	436.57	62.74	80.00	12.43
31/12/1972	Plano Presa	489.14	485.9					
	Lidar	472.5	469.40	409.90	420.07	62.60		
	SEPREM	489.14		426.40	436.57	62.74		
	CEDEX (2001)	472.6	469.48				75.04	12.21
	Medido GPS RTK	472.52	469.40	409.90	420.07	62.74	72.36	11.96

Figura 102 Comparativa de datos extraídos de distintas fuentes.

Fuentes de los datos

https://sig.mapama.gob.es/WebServices/clientews/snczi/default.aspx?nombre=PRE SA&claves=CODPRESA&valores=9430006&origen=8
https://www.iaqua.es/noticias/espana/agencia-catalana-agua/16/09/15/licitado-proyecto-optimizar-liberacion-agua-toma
https://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp
http://www.sepreem.es/ficha.php?idpresa=339&p=14#

Figura 103 Fuentes consultadas para las cotas de embalse de Ciurana

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

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

Capacidad máxima actual del embalse

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

Con ello para la cota NMN del embalse (472.40) el volumen es de 11.96 Hm³ y una superficie a dicha cota de 72.36 Has.

Cubicación del volumen de sedimentos acumulados

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

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

<i>Embalse</i>	<i>Sedimentos (m³)</i>	<i>Sedimentos (Hm³)</i>
Ciurana	309.000	0,309

Informe de resultados de la cubicación:

Grid Volume Computations

CIURANA. Volumen de sedimentos no consolidados

Upper Surface

Level Surface defined by Z = 0

Lower Surface

Grid File Name: Espesor sedimentos-NN.grd
Grid Size: 540 rows x 1000 columns

X Minimum: 324944.73
X Maximum: 326441.92
X Spacing: 1.4986886886887

Y Minimum: 4568368.75
Y Maximum: 4569168.46
Y Spacing: 1.4836920222634

Z Minimum: 1.7389475115841E-06
Z Maximum: 5.5553240134844

Polygon Boundary

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

Volumes

Z Scale Factor: 1

Total Volumes by:

Trapezoidal Rule: -309018.82716856
Simpson's Rule: -309025.17155645
Simpson's 3/8 Rule: -309015.96541684

Cut & Fill Volumes

Positive Volume [Cut]: 0
Negative Volume [Fill]: 309018.82716856

Net Volume [Cut-Fill]:	-309019
-------------------------------	----------------

Tablas y gráficas del embalse de Margalef

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

TABLAS 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)
420.00	0.000	0.000	431.00	2.988	0.039	442.00	14.739	0.946	453.00	33.040	3.528	464.00	59.505	8.477
420.25	0.000	0.000	431.25	3.217	0.047	442.25	15.143	0.983	453.25	33.538	3.612	464.25	60.359	8.626
420.50	0.000	0.000	431.50	3.406	0.055	442.50	15.544	1.021	453.50	34.073	3.696	464.50	61.106	8.778
420.75	0.000	0.000	431.75	3.585	0.064	442.75	15.959	1.061	453.75	34.646	3.782	464.75	61.794	8.932
421.00	0.000	0.000	432.00	3.769	0.073	443.00	16.382	1.101	454.00	35.185	3.869	465.00	62.462	9.087
421.25	0.000	0.000	432.25	3.981	0.082	443.25	16.785	1.142	454.25	35.678	3.958	465.25	63.075	9.244
421.50	0.000	0.000	432.50	4.273	0.093	443.50	17.189	1.185	454.50	36.234	4.048	465.50	63.675	9.403
421.75	0.000	0.000	432.75	4.549	0.104	443.75	17.591	1.228	454.75	36.775	4.139	465.75	64.286	9.563
422.00	0.000	0.000	433.00	4.798	0.115	444.00	18.003	1.273	455.00	37.344	4.232	466.00	64.904	9.724
422.25	0.000	0.000	433.25	5.096	0.128	444.25	18.387	1.318	455.25	37.959	4.326	466.25	65.529	9.887
422.50	0.000	0.000	433.50	5.324	0.141	444.50	18.714	1.365	455.50	38.472	4.421	466.50	66.148	10.052
422.75	0.000	0.000	433.75	5.536	0.154	444.75	19.024	1.412	455.75	38.957	4.518	466.75	66.773	10.218
423.00	0.000	0.000	434.00	5.763	0.169	445.00	19.365	1.460	456.00	39.374	4.616	467.00	67.372	10.386
423.25	0.000	0.000	434.25	5.969	0.183	445.25	19.795	1.509	456.25	39.736	4.715	467.25	68.018	10.555
423.50	0.000	0.000	434.50	6.180	0.198	445.50	20.207	1.559	456.50	40.023	4.815	467.50	68.702	10.726
423.75	0.000	0.000	434.75	6.384	0.214	445.75	20.595	1.610	456.75	40.265	4.915	467.75	69.409	10.898
424.00	0.000	0.000	435.00	6.590	0.230	446.00	20.980	1.662	457.00	40.532	5.016	468.00	70.050	11.073
424.25	0.000	0.000	435.25	6.794	0.247	446.25	21.381	1.715	457.25	41.425	5.118	468.25	70.582	11.249
424.50	0.000	0.000	435.50	7.014	0.264	446.50	21.784	1.769	457.50	42.363	5.223	468.50	71.080	11.426
424.75	0.000	0.000	435.75	7.267	0.282	446.75	22.165	1.824	457.75	43.212	5.330	468.75	71.562	11.604
425.00	0.000	0.000	436.00	7.505	0.301	447.00	22.556	1.880	458.00	44.006	5.439	469.00	71.982	11.784
425.25	0.000	0.000	436.25	7.717	0.320	447.25	22.976	1.937	458.25	44.686	5.550	469.25	72.358	11.964
425.50	0.000	0.000	436.50	7.937	0.339	447.50	23.345	1.994	458.50	45.291	5.663	469.50	72.712	12.145
425.75	0.000	0.000	436.75	8.150	0.359	447.75	23.721	2.053	458.75	45.895	5.777	469.75	73.062	12.328
426.00	0.000	0.000	437.00	8.353	0.380	448.00	24.117	2.113	459.00	46.473	5.892	470.00	73.421	12.511
426.25	0.000	0.000	437.25	8.573	0.401	448.25	24.500	2.174	459.25	47.012	6.009	470.25	73.806	12.695
426.50	0.000	0.000	437.50	8.797	0.423	448.50	24.907	2.236	459.50	47.548	6.127	470.50	74.229	12.880
426.75	0.032	0.000	437.75	9.039	0.445	448.75	25.311	2.298	459.75	48.087	6.247	470.75	74.712	13.066
427.00	0.167	0.000	438.00	9.321	0.468	449.00	25.698	2.362	460.00	48.586	6.367	471.00	75.239	13.253
427.25	0.214	0.001	438.25	9.623	0.492	449.25	26.064	2.427	460.25	49.060	6.489	471.25	75.771	13.442
427.50	0.235	0.001	438.50	9.933	0.516	449.50	26.447	2.492	460.50	49.535	6.613	471.50	76.311	13.632
427.75	0.252	0.002	438.75	10.240	0.541	449.75	26.805	2.559	460.75	49.984	6.737	471.75	76.865	13.824
428.00	0.268	0.003	439.00	10.564	0.567	450.00	27.212	2.627	461.00	50.443	6.863	472.00	77.430	14.017
428.25	0.286	0.003	439.25	10.919	0.594	450.25	27.642	2.695	461.25	50.901	6.989	472.25	78.024	14.211
428.50	0.307	0.004	439.50	11.257	0.622	450.50	28.115	2.765	461.50	51.387	7.117	472.50	78.639	14.407
428.75	0.331	0.005	439.75	11.590	0.651	450.75	28.545	2.836	461.75	51.851	7.246	472.75	79.280	14.604
429.00	0.359	0.006	440.00	11.921	0.680	451.00	29.024	2.908	462.00	52.299	7.376	473.00	79.930	14.803
429.25	0.384	0.007	440.25	12.255	0.710	451.25	29.484	2.981	462.25	52.725	7.508			
429.50	0.408	0.008	440.50	12.568	0.741	451.50	29.987	3.055	462.50	53.147	7.640			
429.75	1.380	0.011	440.75	12.895	0.773	451.75	30.544	3.131	462.75	53.565	7.773			
430.00	1.735	0.015	441.00	13.250	0.806	452.00	31.071	3.208	463.00	53.985	7.908			
430.25	2.063	0.020	441.25	13.622	0.839	452.25	31.564	3.286	463.25	55.290	8.044			
430.50	2.429	0.025	441.50	13.976	0.874	452.50	32.090	3.366	463.50	57.063	8.185			
430.75	2.743	0.032	441.75	14.340	0.909	452.75	32.565	3.446	463.75	58.342	8.329			

Figura 104 Tablas Cota-Área-Volumen

GRAFICAS AREA VOLUMEN

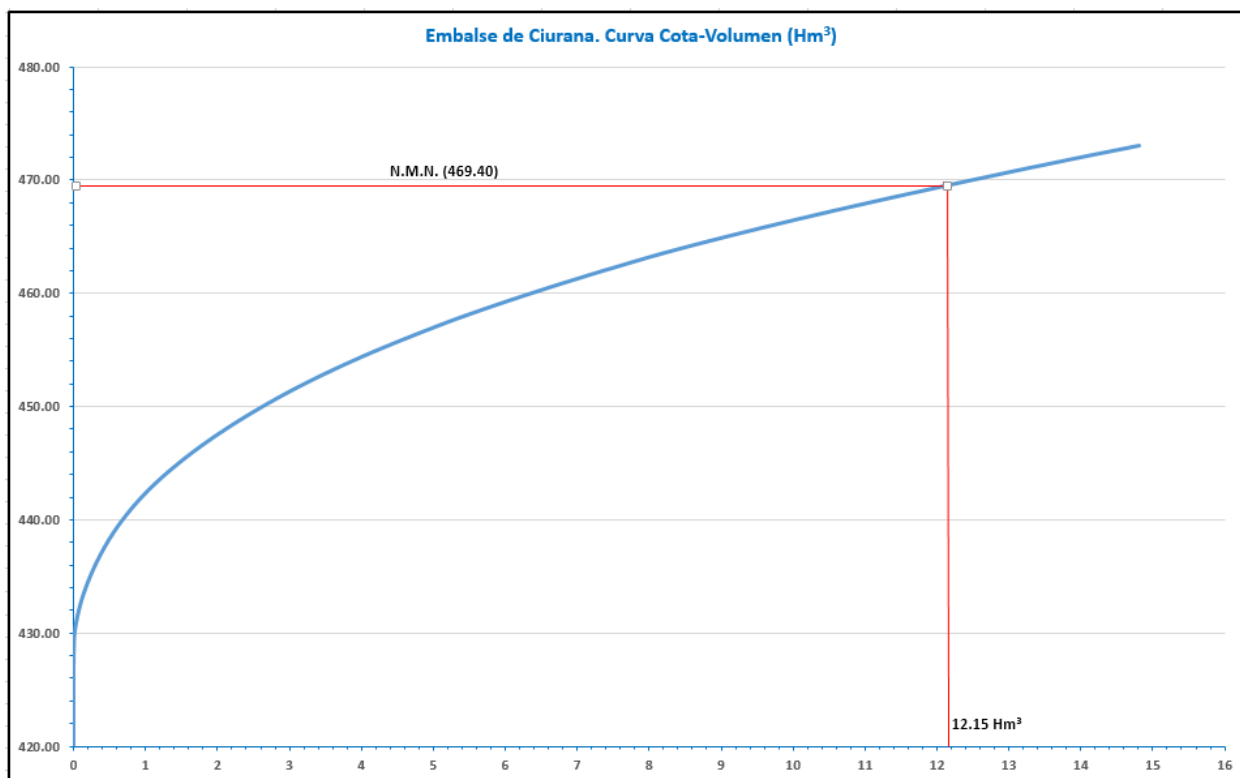


Figura 105 Curva de llenado Cota-Volumen

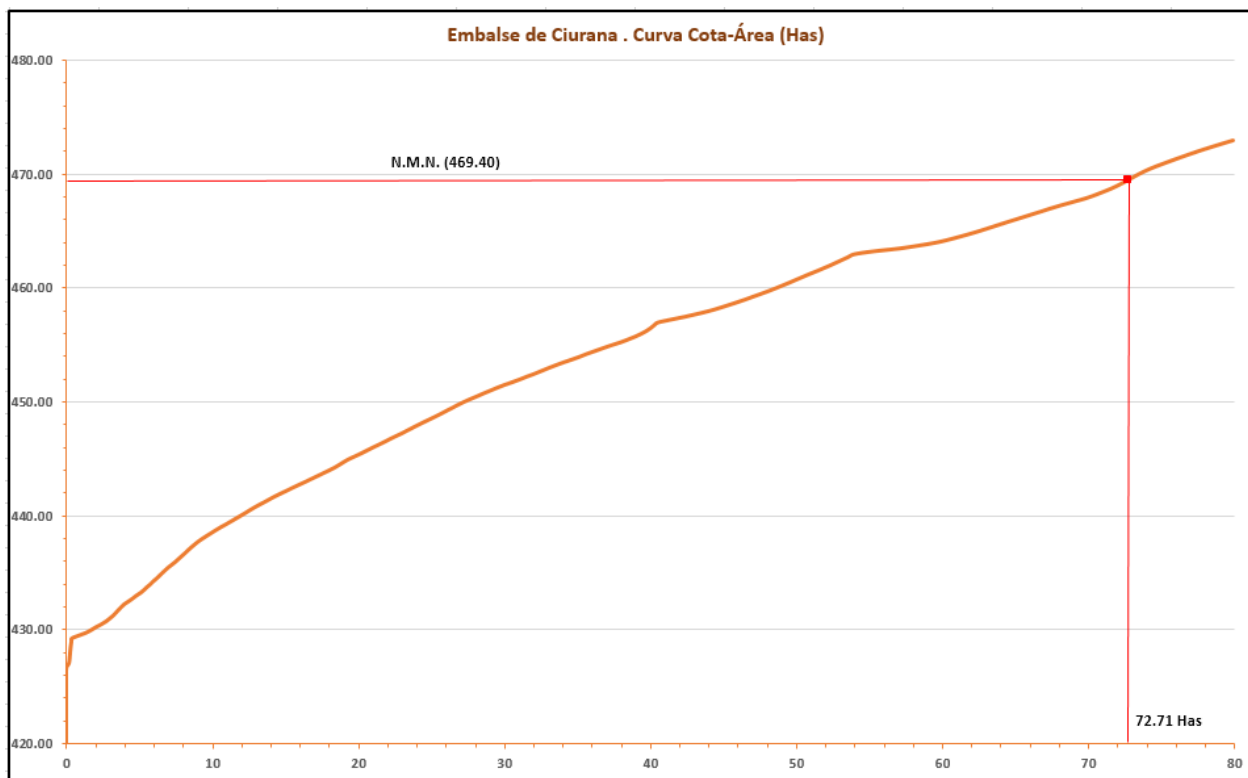


Figura 106 Curva Cota-Área

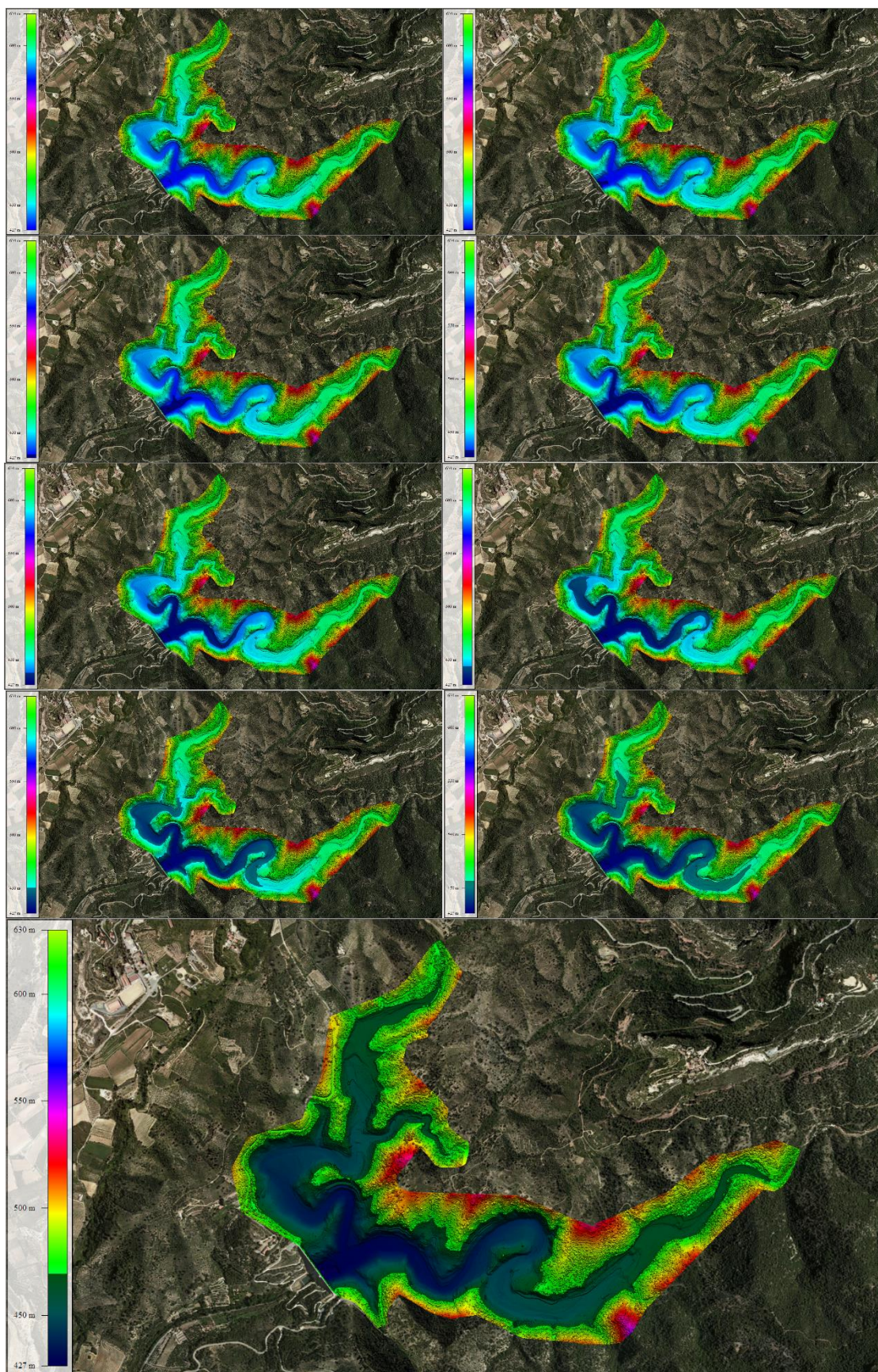


Figura 107 Simulación de "llenado" del embalse hasta su nivel máximo de llenado. (469.5m, imagen inferior)

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).

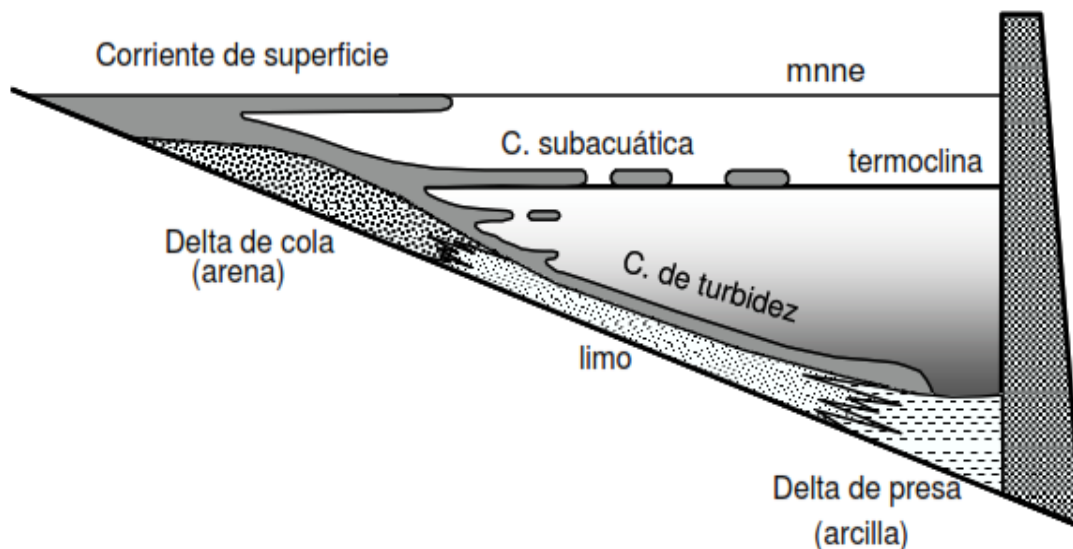


Figura 108 Comportamiento del sedimento en embalses (R.Cobo.CEDEX)

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.

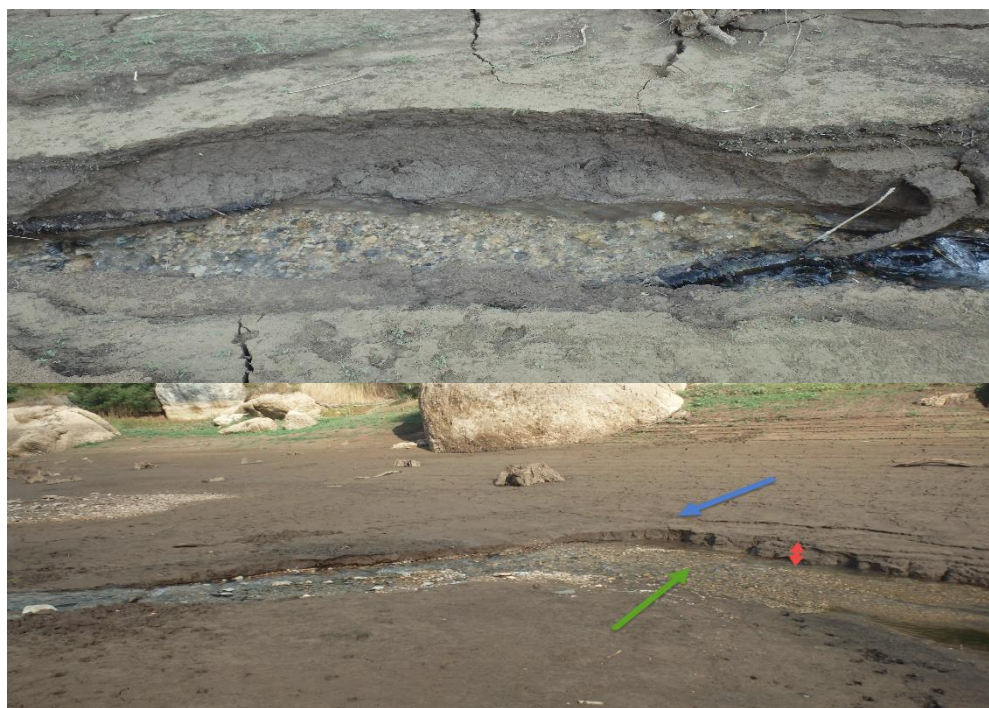


Figura 109 Ejemplos de la cola del Embalse Margalef.

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.

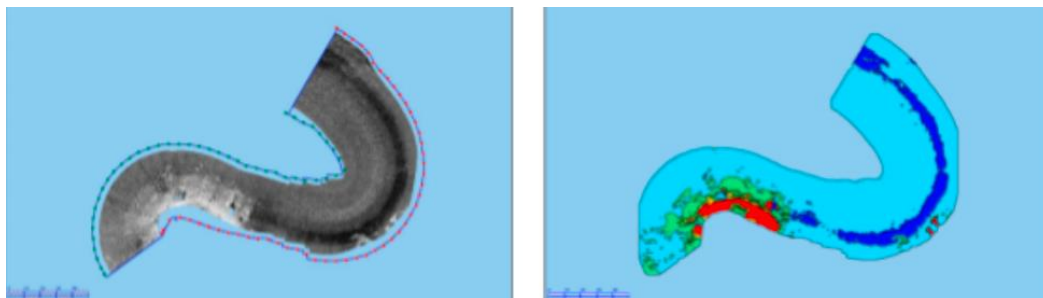


Figura 20 Ejemplo de clasificación de fondos.

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

Como resumen del proceso de clasificación de fondos tenemos:

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

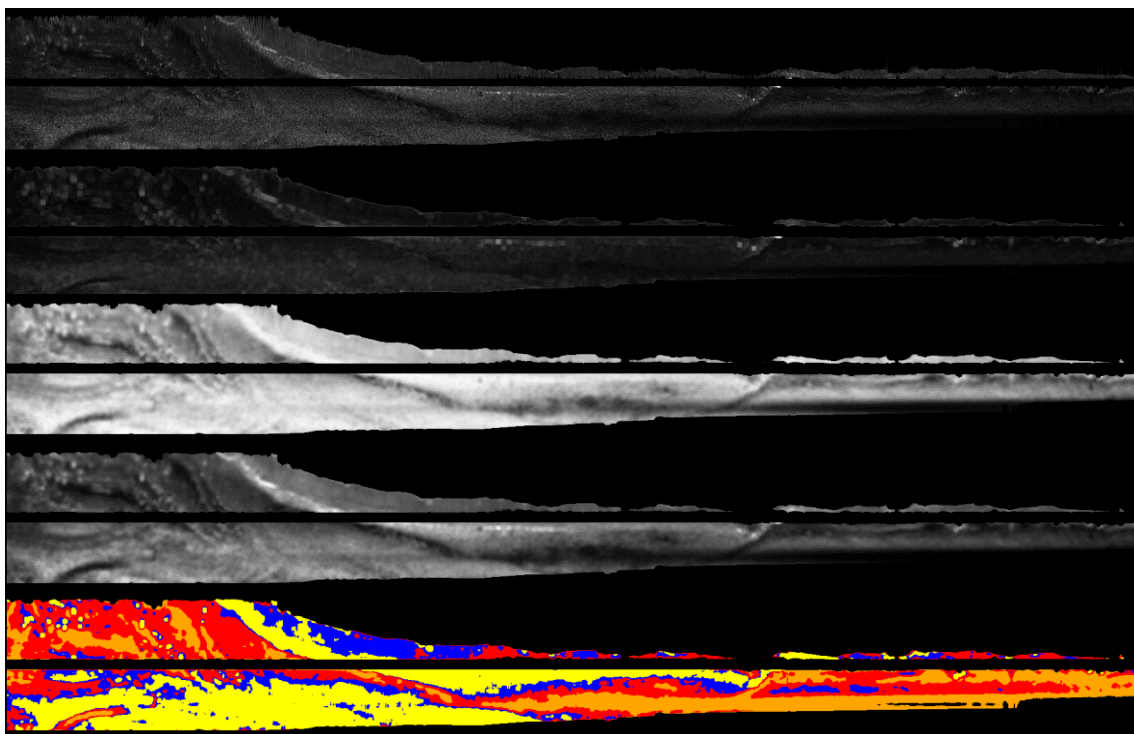


Figura 110 Ejemplo de clasificación realizada en el embalse. 4 clases

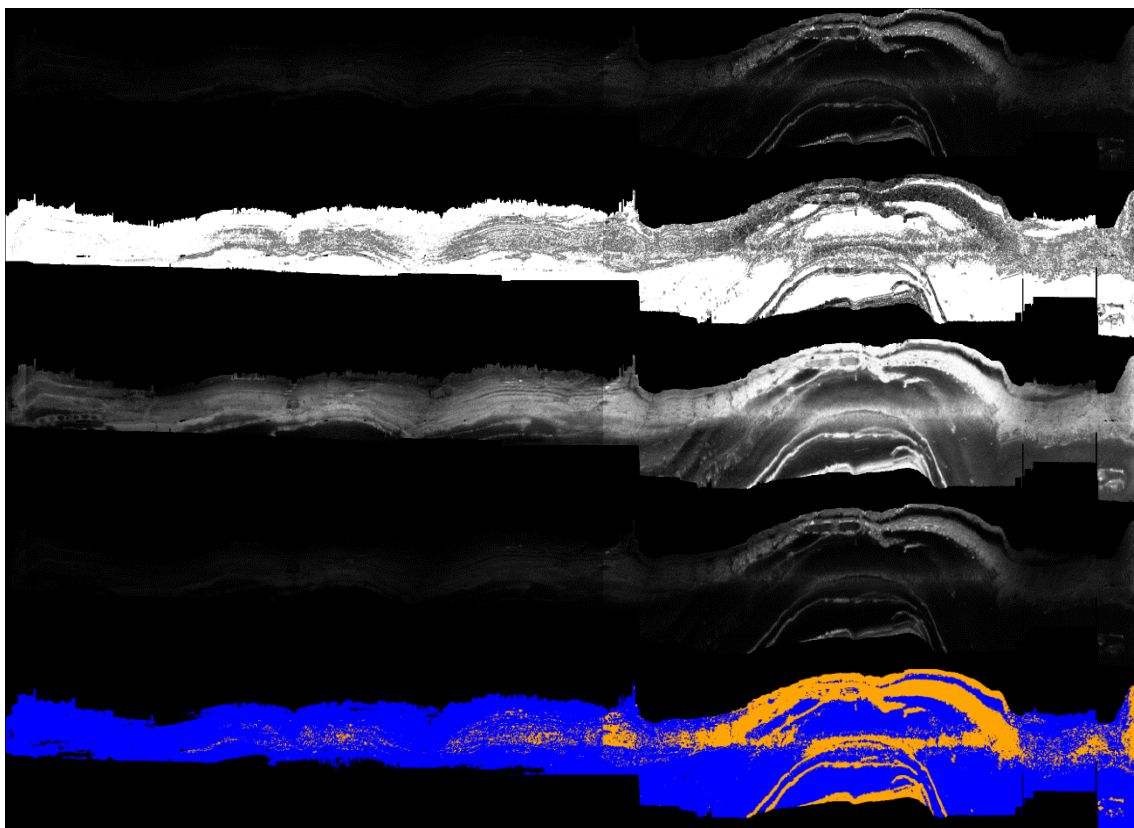


Figura 111 Ejemplo de clasificación realizada en embalse. 2 clases

Como se ha indicado anteriormente, en el embalse de Ciurana se encuentran conglomerados mixtos procedentes de las formaciones superiores, calizas, areniscas y las propias pizarras, depositado por acción de derrubios y transporte fluvial. Este tipo de material se puede observar en las orillas y se ha recuperado en alguna de las muestras.



Figura 112 Zona de orilla del embalse de Ciurana

Mediante la clasificación de fondos semiautomática, se obtienen una serie de clases, según seleccione el operador. En función de las características del terreno, como la reflectividad del fondo.

En el caso del embalse de Ciurana al haber una mayor diferenciación de sedimentos superficiales, se ha optado por realizar una clasificación con 4 clases, que van desde los sedimentos más reflectivos como piedra o gravas (color naranja en las imágenes) hasta los menos reflectivos representados por el azul en la imagen, pasando por verde para materiales intermedios.



Figura 113 Muestra 3 de arenas, representadas por la clase 3 naranja.



Figura 114 Muestra 5, clasificada como clase 2 junto a clase 1 (poca reflectividad o reflectividad intermedia, fangos, arcillas..).



Figura 115 Muestra 7 clasificada como sedimentos intermedios, compuesto por conglomerados.



Figura 116 Muestra 8B clasificada como sedimentos poco reflectivos, asociados a fangos o limos.

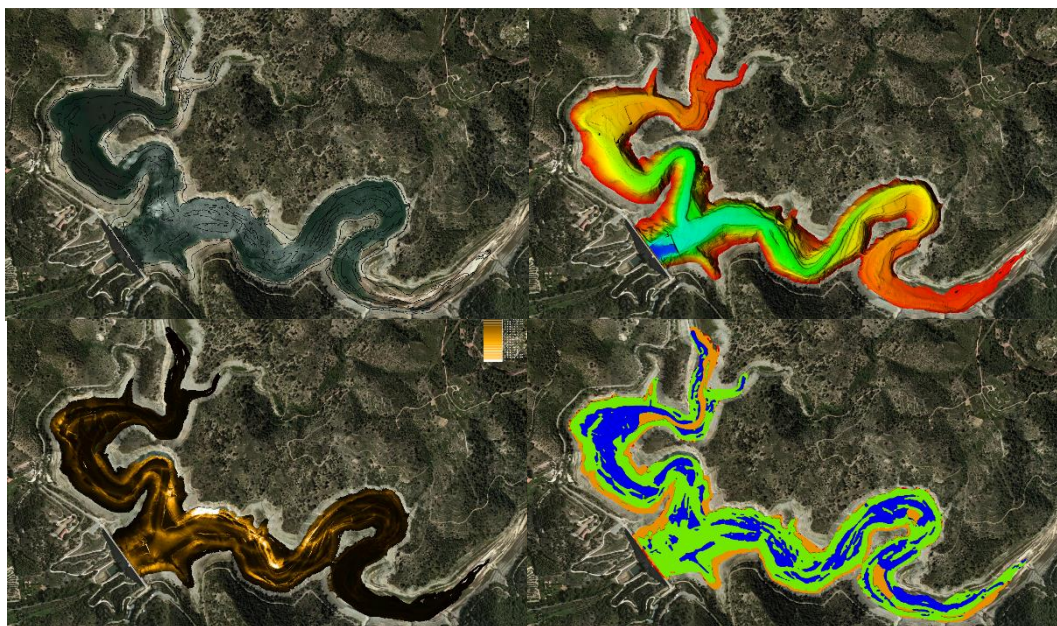


Figura 117 Batimetría (arriba dcha.), backscatter (abajo dcha), ejemplos de clasificación de fondos con diferente detalle (abajo izda).

11. Conclusiones

La finalidad principal del estudio era la de 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 se obtuvieron dos informes del CEDEX realizados en 2001 y aportados por ACA. Uno de los informes se refiere a una batimetría monohaz y el segundo es un estudio sedimentológico.

La digitalización de las curvas de los resultados topo-batimétricos ha permitido hacer un análisis comparativo con los datos obtenidos en este estudio, aunque los resultados están condicionados por la diferente metodología usada en ambos estudios. Al realizar el Modelo Digital de Terreno a partir del curvado del estudio CEDEX 2001 se aprecian diferencias claras con el resultado del estudio ahora realizado. En todo caso la precisión y metodología usada en el presente estudio, es muy superior a la usada en el 2001.

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.

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

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

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

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

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

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

Esta primera capa se localiza bajo toda el área estudiada. Los materiales que la constituyen deben corresponder a unos fangos, limos, arenas y, localmente, podrían estar asociados con un mayor contenido de gravas, derrubios de ladera y, quizás, algún tramo de roca muy alterada.

Los espesores máximos de esta capa de sedimentos alcanzan los 5.6 metros en zonas muy localizadas, por ejemplo, en las proximidades de la presa en la zona del antiguo cauce del río.

- Finalmente se detecta un *basamento o zócalo acústico* que debe corresponder con los materiales de base descritos geológicamente (conglomerados paleozoicos). El techo de este basamento, lógicamente, se ha coloreado en rojo 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 Ficha MITECO.....	8
Figura 3 Datos del ACA de la presa y embalse de Ciurana	9
Figura 4 Extracto del informe CEDEX 2001.	10
Figura 5 Cota de coronación en torno a los 472.6m respecto a cero IGN frente a los 489m en la ficha. (16.4m de diferencia).....	10
Figura 6 Planos del informe CEDEX 2001	11
Figura 7 Datos del informe CEDEX 2001.....	11
Figura 8 Datos cota/superficie/volumen extraídos del informe CEDEX 2001.....	12
Figura 9 Resultado de comparar el estudio CEDEX 2001 con el estudio UTE EBRO 2021.	13
Figura 10 Resultado de comparar el estudio CEDEX 2001 con el estudio UTE EBRO 2021 obtenida con otro software.	13
Figura 11 Comparativa CEDEX2001 (arriba) y batimetría realizada en 2021 (abajo).....	14
Figura 12 Mismo perfil visualizando CEDEX2001 y batimetría 2021.....	14
Figura 13 Perfil realizado, representando comparativo (arriba), batimetría 2021 (centro) y batimetría CEDEX 2001 (abajo). Estudio CEDEX representado por línea roja y estudio 2021 Ute-EBRO en azul	15
Figura 14 Perfil batimétrico. Batimetría 2021 arriba y estudio CEDEX 2001 (abajo)	15
Figura 15 Mapa regional de unidades geológicas donde se aprecia la orientación NE-SO de la Cordillera.	17
Figura 16. Sección del Mapa geológico 445 (CORNUDELLA) a escala 1:50000, 2ª serie MAGNA. Cartografía IGME.....	18
Figura 17. Imagen con los materiales representativos de la zona.	19
Figura 18 Cobertura de distintos sistemas diferenciales satelitales.....	21
Figura 19 Segmento de control sistema Navstar	22
Figura 20. Imágenes con la constelación Navstar y un esquema de los tres segmentos que la componen.....	23
Figura 21. Sensor de movimiento y GPS integrado en el soporte de la ecosonda multihaz.	24
Figura 22. Esquema de las medidas que toma el sensor de movimiento	24
Figura 23. Ecosondas: Monohaz (Parte Superior) y Multihaz (Parte Inferior)	25

Figura 24. Tipos de medidas batimétricas y su cobertura (NOAA).	26
Figura 25 Esquema de levantamiento Batimétrico + LIDAR desde embarcación.....	27
Figura 26 Levantamiento LIDAR desde embarcación	27
Figura 27 Esquema gráfico donde se establece la relación entre frecuencia y penetración en sedimentos (Trabant, 1984).	29
Figura 28 Draga VanVeen	30
Figura 29 Esquema de integración de datos GPS para batimetría + LIDAR y levantamiento sísmico	31
Figura 30 Bases de IGN e ICGC próximas a la zona	32
Figura 31 Sistema GNSS Emlid Reach RS2 y sus características	33
Figura 32 Hemisphere A325 GNSS y sus características	33
Figura 33 Embarcación con el mástil dónde se instala la antena GPS Rover.....	34
Figura 34 Sensor de movimientos y rumbo Certus EVO.....	35
Figura 35 Pantalla de control y configuración Advanced Navigation Certus EVO.....	35
Figura 36 Pantalla de navegación del piloto.....	36
Figura 37 Ordenador de control de navegación con pantalla del operador instalado a bordo. Batimetría + LIDAR (izda) y sísmica (dcha).	36
Figura 38 Ecosonda Norbit WBMS	38
Figura 39 Pantalla de control del sistema Norbit.	39
Figura 40 Unidad de cubierta SIU (Sonar Interface Unit)	39
Figura 41 Sensor de la velocidad del sonido en superficie (arriba). Sensor de velocidad del sonido en la columna de agua (abajo.).....	41
Figura 42 Especificaciones Velodyne VLP16	42
Figura 43 Velodyne VLP16 integrado en el mástil junto a la ecosonda y al sistema MRU+GPS RTK.	43
Figura 44. 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).....	44
Figura 45. Fuente de alimentación del emisor sísmico.	45
Figura 46. Catamarán con emisor acústico	45
Figura 47. Boomer emisor acústico	46
Figura 48. Hidrófono receptor acústico o Streamer.....	46
Figura 49 Procesadores de señal Octopus	47
Figura 50. Receptor de 3.5KHz asociado al Geopulse	48

Figura 51 Sistema remolcado trabajando en la zona	49
Figura 52 Draga VanVeen de gran capacidad.....	50
Figura 53 Embarcación empleada durante una de las limpiezas en centros homologados.	51
Figura 54 Instalación de equipos a bordo.	51
Figura 55 Pantalla del patrón	52
Figura 56 Pantallas de control batimetría multihaz + LIDAR.....	55
Figura 57 Líneas de calibración	55
Figura 58 Representación del error de latencia.	56
Figura 59 Imagen descriptiva del error de Pitch	56
Figura 60 Imagen descriptiva del error de Roll.	57
Figura 61. Imagen descriptiva del error de Yaw.....	57
Figura 62 Comparativo antes de una calibración (arriba) y después de la calibración (debajo)	58
Figura 63 Resultante de corrección de Roll.....	58
Figura 64 Resultante de corrección de Yaw y latencia.....	59
Figura 65 Navegación realizada para el levantamiento batimétrico y topográfico	59
Figura 66 Vista de una de las orillas de la presa.....	60
Figura 67 Sistema de adquisición y navegación durante el levantamiento sísmico.	60
Figura 68 Navegación realizada para el levantamiento geofísico.	61
Figura 69 Levantamiento geofísico en el embalse de Ciurana.....	61
Figura 70 Plantas y árboles semi-sumergidos	62
Figura 71 Toma de datos sísmicos en la zona.	63
Figura 72 Datos batimétricos XYZ en vista 3D GRID.....	65
Figura 73 Detalles de la zona estudiada en formato de nube de puntos	66
Figura 74. Perfiles de velocidad del sonido en la columna de agua tomados en la campaña.....	66
Figura 75 Variaciones estimadas de la velocidad del sonido en el agua, según las variaciones de la temperatura.	67
Figura 76 MDT del embalse de Ciurana	69
Figura 77 MDT completo del embalse de Ciurana integrado en la ortofoto	69
Figura 78. Filtro Paso Bandas	70
Figura 79. Filtro AGC (Auto Gain Control)	70

Figura 80. Registro de la línea 0029_1544 en bruto (imagen superior) y procesado (imagen inferior).	71
Figura 81. Registro de la línea 0029_1229 en bruto (imagen superior) y procesado (imagen inferior).	71
Figura 82. Situación de las líneas 0029_1544 y 0029_1229.....	72
Figura 83. Registro de la línea 0029_1229 con el 3.5 kHz (imagen superior) y el Geopulse (imagen inferior).	72
Figura 84 Registros de la línea 0029_1229, obtenidos con el Geopulse (arriba A) y con el 3.5kHz (abajo-B).	73
Figura 85 Ejemplo de la línea 0029_1229, obtenida con el 3.5kHz.....	74
Figura 86 Ejemplo de la línea 0025_1750.	75
Figura 87 líneas 0025_1750, 0029_1229 y 0029_1544	76
Figura 88 Mapa de isopacas obtenido con velocidades de 1575 m/s para la capa de sedimentos.....	77
Figura 89 Acreditaciones de Laboratorio Munuera SLU	78
Figura 90 Proceso de recepción y secado.	79
Figura 91 Rotura de los agregados	79
Figura 92 Proceso de tamizado	80
Figura 93 Tamices empleados en los ensayos.....	80
Figura 94 Tamizadora programada	80
Figura 95 Pesaje de los distintos tamices.....	81
Figura 96 Validación y creación del boletín pro tamizado.	81
Figura 97 Fase 1, reacción con H ₂ O ₂ y secado en estufa	82
Figura 98 Fase 2, hexametafosfato y homogenización.	82
Figura 99 Fase 3, enrase homogenización y medida de la densidad.	82
Figura 100 Fase 4, traspaso de datos al registro y cálculo de contenidos en gravas, arena, limo y arcilla.	83
Figura 101 Clasificación de textura por el triángulo de Shepard, validación de datos y generación de boletín	83
Figura 102 Comparativa de datos extraídos de distintas fuentes.....	95
Figura 103 Fuentes consultadas para las cotas de embalse de Ciurana	95
Figura 104 Tablas Cota-Área-Volumen.....	98
Figura 105 Curva de llenado Cota-Volumen.....	99
Figura 106 Curva Cota-Área	99

Figura 107 Simulación de "llenado" del embalse hasta su nivel máximo de llenado. (469.5m, imagen inferior)	100
Figura 108 Comportamiento del sedimento en embalses (R.Cobo.CEDEX).....	101
Figura 109 Ejemplos de la cola del Embalse Margalef.	102
Figura 110 Ejemplo de clasificación realizada en el embalse. 4 clases	104
Figura 111 Ejemplo de clasificación realizada en embalse. 2 clases	104
Figura 112 Zona de orilla del embalse de Ciurana	105
Figura 113 Muestra 3 de arenas, representadas por la clase 3 naranja.	105
Figura 114 Muestra 5, clasificada como clase 2 junto a clase 1 (poca reflectividad o reflectividad intermedia, fangos, arcillas..).....	106
Figura 115 Muestra 7 clasificada como sedimentos intermedios, compuesto por conglomerados.....	106
Figura 116 Muestra 8B clasificada como sedimentos poco reflectivos, asociados a fangos o limos.	106
Figura 117 Batimetría (arriba dcha.), backscatter (abajo dcha), ejemplos de clasificación de fondos con diferente detalle (abajo izda).	107

13. Anexos

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



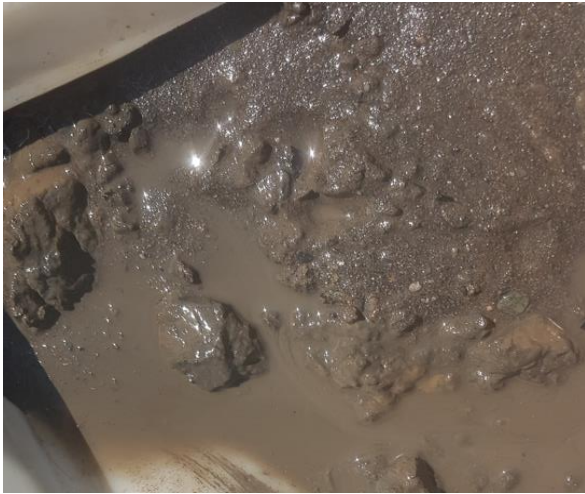
TECMARIN 1990, S.L.
C/ Laredo, 500. Urb. Fado-Calipo
45950-Casarrubios del Monte (Toledo)
Tlf/Fax: +34667335103/+34918139090
e-mail: fgonzalez@tecmarin.es -
web: www.tecmarin.com -

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

13.2 Fichas de muestras tomadas en campo

EMBALSE DE CIURANA	TESTIFICACIÓN SUELOS	Fecha 21/08/2021	
Nº Muestra 1	Coordenadas (Emplazamiento)	325348.57	4569386.440
Tipo de muestra Sup. Cuchara	Profundidad 0 m		
		Fotografías	
Código USCS	GC	Intercalación de gravas bien graduadas con niveles de arcillas y arenas. Las gravas de diferente naturaleza: Pizarras, carbonatos y areniscas. 	
Granulometría mayoritaria >50%	Gravas		
Minoritaria -oso(50-35%), Bastante (35-20%), Algo (20-10%), Indicios (10-5%)	Arcillosa Con algo de Arena		
Color	Marrón claro		
Olor			
Consistencia /Compacidad	Arcillas firmes y gravas compactas		
Materia orgánica	Restos vegetales, ramas y raíces		
Carbonatos	En parte de las gravas		
Restos Antrópicos			
Humedad	Suelo húmedo		
Excavabilidad / Estabilidad			

EMBALSE DE CIURANA	TESTIFICACIÓN SUELOS	Fecha 21/08/2021	
Nº Muestra 2	Coordenadas (Emplazamiento)	326539.730	4568660.780
Tipo de muestra Sup. Cuchara	Profundidad 0 m		
		Fotografías	
Código USCS	GM	Gravas de tamaño decimétrico, mal graduadas y de diferente naturaleza. Se aprecia barras de gravas y arenas y zonas donde hay acumulación de finos. 	
Granulometría mayoritaria >50%	Gravas		
Minoritaria -oso(50-35%), Bastante (35-20%), Algo (20-10%), Indicios (10-5%)	Arenosa Con algo de arcillas		
Color	Gris y marrón claro, arcillas gris oscuros		
Olor			
Consistencia /Compacidad	Arcillas firmes, gravas compactas		
Materia orgánica	Restos vegetales. En arcillas, restos en descomposición		
Carbonatos	En parte de las gravas		
Restos Antrópicos			
Humedad	Suelo húmedo		
Excavabilidad / Estabilidad			

EMBALSE DE CIURANA	TESTIFICACIÓN SUELOS	Fecha 21/08/2021	
Nº Muestra 3	Coordenadas (Emplazamiento)	325398.620	4569211.510
Tipo de muestra Sup. Van Veen	Profundidad 4.7m		
		Fotografías	
Código USCS	SM	Arena de tamaño grueso muy uniforme 	
Granulometría mayoritaria >50%	Arena		
Minoritaria -oso(50-35%), Bastante (35-20%), Algo (20-10%), Indicios (10-5%)	Limosa Con indicios de gravas		
Color	Arenas gris oscuro, limo marrón		
Olor			
Consistencia /Compacidad	Material suelto		
Materia orgánica	Indicios		
Carbonatos	Parcialmente en gravas y arenas		
Restos Antrópicos			
Humedad	Saturado		
Excavabilidad / Estabilidad			

EMBALSE DE CIURANA	TESTIFICACIÓN SUELOS	Fecha 21/08/2021	
Nº Muestra 4	Coordenadas (Emplazamiento)	325359.790	4569041.900
Tipo de muestra Sup. Van Veen	Profundidad 8.5m		
		Fotografías	
Código USCS	OL		
Granulometría mayoritaria >50%	Limo		
Minoritaria -oso(50-35%), Bastante (35 -20%), Algo (20-10%), Indicios (10-5%)	Arcilloso Con algo de arena		
Color	Marrón claro a oscuro		
Olor	Ligero		
Consistencia /Compacidad	Material blando y suelto		
Materia orgánica	Restos en descomposición. Lombrices		
Carbonatos			
Restos Antrópicos			
Humedad	Saturado		
Excavabilidad / Estabilidad			

EMBALSE DE CIURANA	TESTIFICACIÓN SUELOS	Fecha 21/08/2021	
Nº Muestra 5	Coordenadas (Emplazamiento)	325259.300	4568570.530
Tipo de muestra Sup. Van Veen	Profundidad 30m		
		Fotografías	
Código USCS	OH		
Granulometría mayoritaria >50%	Limos		
Minoritaria -oso(50-35%), Bastante (35-20%), Algo (20-10%), Indicios (10-5%)	Arcillosos		
Color	Gris a marrón claro		
Olor	Débil		
Consistencia /Compacidad	Material blando		
Materia orgánica	Capas grises con mayor concentración		
Carbonatos			
Restos Antrópicos			
Humedad	Saturado		
Excavabilidad / Estabilidad			

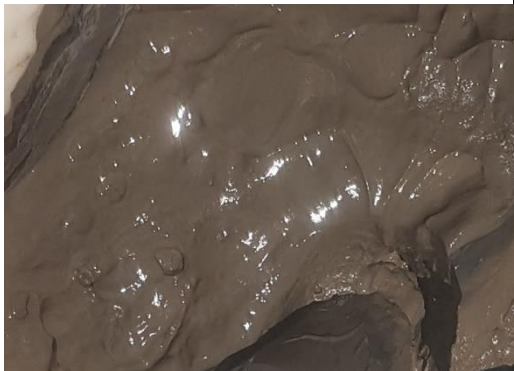
EMBALSE DE CIURANA	TESTIFICACIÓN SUELOS	Fecha 21/08/2021	
Nº Muestra 6	Coordenadas (Emplazamiento)	325027.990	4569037.080
Tipo de muestra Sup. Van Veen	Profundidad 14.5m		
		Fotografías	
Código USCS	OL	Nódulos de arcilla consistente 	
Granulometría mayoritaria >50%	Limo		
Minoritaria -oso(50-35%), Bastante (35-20%), Algo (20-10%), Indicios (10-5%)	Arcilloso		
Color	Marrón claro y negro		
Olor	Fuerte		
Consistencia /Compacidad	Arcillas firmes		
Materia orgánica	Restos vegetales, evidencias de descomposición		
Carbonatos			
Restos Antrópicos			
Humedad	Saturado		
Excavabilidad / Estabilidad			

EMBALSE DE CIURANA	TESTIFICACIÓN SUELOS	Fecha 21/08/2021	
Nº Muestra 7	Coordenadas (Emplazamiento)	325097.040	4568942.350
Tipo de muestra Sup. Van Veen	Profundidad 15.5m		
		Fotografías	
Código USCS	GW	Suelo formado por gravas de pizarra poco erosionado con nódulos de arcilla. *Dificultad para extraer la muestra, se repite 10 m al interior.	
Granulometría mayoritaria >50%	Gravas		
Minoritaria - oso(50-35%), Bastante (35-20%), Algo (20-10%), Indicios (10-5%)	Arenosas Con algo de Arcilla		
Color	Gris, arcilla marrón claro		
Olor			
Consistencia /Compacidad	Arcilla firme, grava suelta		
Materia orgánica	Algún resto vegetal		
Carbonatos			
Restos Antrópicos			
Humedad	Saturado		
Excavabilidad / Estabilidad			

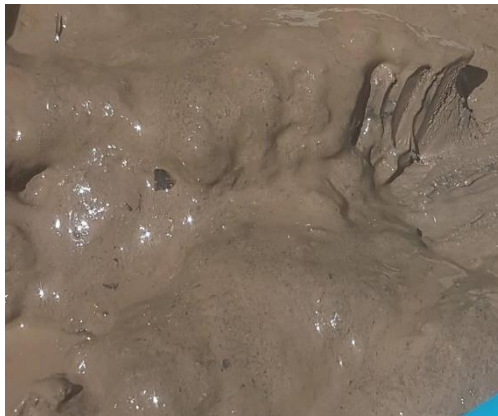


EMBALSE DE CIURANA	TESTIFICACIÓN SUELOS	Fecha 21/08/2021	
Nº Muestra 7B	Coordenadas (Emplazamiento)	325098.95	4568961.27
Tipo de muestra Sup. Van Veen	Profundidad 16m		
		Fotografías	
Código USCS	OL		
Granulometría mayoritaria >50%	Limos		
Minoritaria -oso(50-35%), Bastante (35-20%), Algo (20-10%), Indicios (10-5%)	Arcillosos		
Color	Gris claro, marrón claro		
Olor	Ligero		
Consistencia /Compacidad	Arcillas firmes		
Materia orgánica	Capas grises con mayor concentración		
Carbonatos			
Restos Antrópicos			
Humedad	Saturado		
Excavabilidad / Estabilidad			

EMBALSE DE CIURANA	TESTIFICACIÓN SUELOS	Fecha 21/08/2021	
Nº Muestra 8B	Coordenadas (Emplazamiento)	325046.67	4568874.77
Tipo de muestra Sup. Van Veen	Profundidad 15m		
		Fotografías	
Código USCS	OL	*Dificultad para extraer muestra 8. Se desplaza unos 50 m al interior para extraer 8B 	
Granulometría mayoritaria >50%	Limos		
Minoritaria -oso(50-35%), Bastante (35-20%), Algo (20-10%), Indicios (10-5%)	Arcillosos Con algo de arena		
Color	Gris oscuro a marrón		
Olor	Débil		
Consistencia /Compacidad	Arcillas algo firme		
Materia orgánica	Colores oscuros y restos de plantas		
Carbonatos			
Restos Antrópicos			
Humedad	Saturado		
Excavabilidad / Estabilidad			

EMBALSE DE CIURANA	TESTIFICACIÓN SUELOS	Fecha 21/08/2021	
Nº Muestra 9	Coordenadas (Emplazamiento)	325154.500	4568806.720
Tipo de muestra Sup. Van Veen	Profundidad 20m		
		Fotografías	
Código USCS	OL	Nódulos de arcilla más consistente en capas. 	
Granulometría mayoritaria >50%	Limos		
Minoritaria -oso(50-35%), Bastante (35-20%), Algo (20-10%), Indicios (10-5%)	Arcillosos		
Color	Gris oscuro, marrón		
Olor	Ligero		
Consistencia /Compacidad	Arcillas firmes		
Materia orgánica	Retos de ramas y MO descompuesto		
Carbonatos			
Restos Antrópicos			
Humedad	Saturado		
Excavabilidad / Estabilidad			

EMBALSE DE CIURANA	TESTIFICACIÓN SUELOS	Fecha 21/08/2021	
Nº Muestra 10	Coordenadas (Emplazamiento)	325974.280	4568533.930
Tipo de muestra Sup. Van Veen	Profundidad 9.5m		
		Fotografías	
Código USCS	OL	Materia orgánica, en diferentes etapas de descomposición. 	
Granulometría mayoritaria >50%	Limos		
Minoritaria -oso(50-35%), Bastante (35-20%), Algo (20-10%), Indicios (10-5%)	Arcillosos Con indicios de arena		
Color	Gris oscuro, marrón y negro		
Olor	Ligero		
Consistencia /Compacidad	Material blando		
Materia orgánica	Abundante		
Carbonatos			
Restos Antrópicos			
Humedad	Saturado		
Excavabilidad / Estabilidad			

EMBALSE DE CIURANA	TESTIFICACIÓN SUELOS	Fecha 21/08/2021	
Nº Muestra 11	Coordenadas (Emplazamiento)	325255.960	4568889.380
Tipo de muestra Sup. Van Veen	Profundidad 23m		
		Fotografías	
Código USCS	OH	Arena homogénea de tamaño grueso. Nódulos de M.O. en avanzado proceso de descomposición. 	
Granulometría mayoritaria >50%	Arcillas		
Minoritaria -oso(50-35%), Bastante (35-20%), Algo (20-10%), Indicios (10-5%)	Limosas Con algo de arenas		
Color	Marrón, gris claro y negro		
Olor	Ligero		
Consistencia /Compacidad	Arcillas firmes		
Materia orgánica	Nódulos y ramas		
Carbonatos			
Restos Antrópicos			
Humedad	Saturado		
Excavabilidad / Estabilidad			

EMBALSE DE CIURANA	TESTIFICACIÓN SUELOS	Fecha 21/08/2021	
Nº Muestra 12	Coordenadas (Emplazamiento)	325341.380	4568826.470
Tipo de muestra Sup. Van Veen	Profundidad 25.5m		
		Fotografías	
Código USCS	OH	Gravas de homogéneas de 1 cm 	
Granulometría mayoritaria >50%	Arcillas		
Minoritaria -oso(50-35%), Bastante (35-20%), Algo (20-10%), Indicios (10-5%)	Limosa Con bastante grava		
Color	Gris oscuro, marrón		
Olor	Fuerte		
Consistencia /Compacidad	Arcillas firmes		
Materia orgánica	Abundante		
Carbonatos			
Restos Antrópicos			
Humedad	Saturado		
Excavabilidad / Estabilidad			

EMBALSE DE CIURANA	TESTIFICACIÓN SUELOS	Fecha 21/08/2021	
Nº Muestra 13	Coordenadas (Emplazamiento)	325335.580	4568742.760
Tipo de muestra Sup. Van Veen	Profundidad 26m		
		Fotografías	
Código USCS	OL	Se reconocen capas de diferente color. Las de color gris de composición mas arcillosa y con más 	
Granulometría mayoritaria >50%	Limos		
Minoritaria - oso(50-35%), Bastante (35-20%), Algo (20-10%), Indicios (10-5%)	Arcillosos		
Color	Marrón claro, gris		
Olor	Ligero		
Consistencia /Compacidad	Arcilla débil		
Materia orgánica	Restos vegetales		
Carbonatos			
Restos Antrópicos			
Humedad	Saturado		
Excavabilidad / Estabilidad		M.O.	

EMBALSE DE CIURANA		Fecha 21/08/2021	
Nº Muestra 14	Coordenadas (Emplazamiento)	325334.360	4568679.060
Tipo de muestra Sup. Van Veen	Profundidad 25m		
		Fotografías	
Código USCS	OL		
Granulometría mayoritaria >50%	Limos		
Minoritaria - oso(50-35%), Bastante (35-20%), Algo (20- 10%), Indicios (10-5%)	Arcillosos		
Color	Marrón claro, gris-negro		
Olor	Fuerte		
Consistencia /Compacidad	Sustrato muy blando		
Materia orgánica	En capas 2cm, restos vegetales		
Carbonatos			
Restos Antrópicos			
Humedad	Saturado		
Excavabilidad / Estabilidad			

EMBALSE DE CIURANA	TESTIFICACIÓN SUELOS	Fecha 21/08/2021	
Nº Muestra 15B	Coordenadas (Emplazamiento)	325264.07	4568634.44
Tipo de muestra Sup. Van Veen	Profundidad 25m		
		Fotografías	
Código USCS	GC	*Dificultad para extraer 15. Nos desplazamos 50m al interior. Gravas angulosas de 5cm mal seleccionadas. Nódulos de arcillas con M.O. 	
Granulometría mayoritaria >50%	Gravas		
Minoritaria -oso(50-35%), Bastante (35-20%), Algo (20-10%), Indicios (10-5%)	Arcillosas Con algo de arena		
Color	Gris, marrón claro, negro		
Olor			
Consistencia /Compacidad	Arcillas firmes		
Materia orgánica	En arcillas y ramas de plantas		
Carbonatos			
Restos Antrópicos			
Humedad	Saturado		
Excavabilidad / Estabilidad			

EMBALSE DE CIURANA	TESTIFICACIÓN SUELOS	Fecha 21/08/2021	
Nº Muestra 16	Coordenadas (Emplazamiento)	325536.300	4568719.460
Tipo de muestra Sup. Van Veen	Profundidad 24m		
		Fotografías	
Código USCS	OH-OL	*Se extrajo un Core de unos 20cm. Se guarda en bolsa. Se aprecian gravas y arenas en la base. 	
Granulometría mayoritaria >50%	Arcillas		
Minoritaria - oso(50-35%), Bastante (35-20%), Algo (20-10%), Indicios (10-5%)	Limosas		
Color	Gris oscuro, marrón		
Olor	Débil		
Consistencia /Compacidad	Arcillas algo firmes		
Materia orgánica	Capas más oscuras con restos de plantas		
Carbonatos			
Restos Antrópicos			
Humedad	Saturado		
Excavabilidad / Estabilidad			

EMBALSE DE CIURANA	TESTIFICACIÓN SUELOS	Fecha 21/08/2021	
Nº Muestra 17	Coordenadas (Emplazamiento)	326144.500	4568407.540
Tipo de muestra Sup. Van Veen	Profundidad 4m		
		Fotografías	
Código USCS	SM	Arena de grano fino muy homogéneo 	
Granulometría mayoritaria >50%	Arenas		
Minoritaria -oso(50-35%), Bastante (35-20%), Algo (20-10%), Indicios (10-5%)	Limosas		
Color	Marón-gris		
Olor			
Consistencia /Compacidad	Suelo suelto		
Materia orgánica	Restos vegetales en descomposición		
Carbonatos			
Restos Antrópicos			
Humedad	Saturado		
Excavabilidad / Estabilidad			

EMBALSE DE CIURANA	TESTIFICACIÓN SUELOS	Fecha 21/08/2021	
Nº Muestra 18	Coordenadas (Emplazamiento)	325616.970	4568636.960
Tipo de muestra Sup. Van Veen	Profundidad 25m		
		Fotografías	
Código USCS	CL-OL	Nódulos de arcillas muy plásticas de unos 5 cm	
Granulometría mayoritaria >50%	Limos		
Minoritaria - oso(50-35%), Bastante (35-20%), Algo (20-10%), Indicios (10-5%)	Arcillosos		
Color	Grises, marrón claro		
Olor	Ligero		
Consistencia /Compacidad	Arcillas firmes		
Materia orgánica	Restos de plantas, capas oscuras en descomp.		
Carbonatos			
Restos Antrópicos			
Humedad	Saturado		
Excavabilidad / Estabilidad			

EMBALSE DE CIURANA	TESTIFICACIÓN SUELOS	Fecha 21/08/2021	
Nº Muestra 19	Coordenadas (Emplazamiento)	325765.250	4568594.820
Tipo de muestra Sup. Van Veen	Profundidad 4m		
		Fotografías	
Código USCS	WG	Gravas bien graduadas de 5 cm max, muy angulosas. 	
Granulometría mayoritaria >50%	Gravas		
Minoritaria -oso(50-35%), Bastante (35-20%), Algo (20-10%), Indicios (10-5%)	Arenosas Con indicios de limo		
Color	Gris claro		
Olor			
Consistencia /Compacidad			
Materia orgánica	Restos vegetales		
Carbonatos			
Restos Antrópicos			
Humedad	Saturado		
Excavabilidad / Estabilidad			

EMBALSE DE CIURANA	TESTIFICACIÓN SUELOS	Fecha 21/08/2021	
Nº Muestra 20	Coordenadas (Emplazamiento)	325871.700	4568665.700
Tipo de muestra Sup. Van Veen	Profundidad 21m		
		Fotografías	
Código USCS	OL	Capas de M.O. de 2 a 3 cm. 	
Granulometría mayoritaria >50%	Limos		
Minoritaria -oso(50-35%), Bastante (35-20%), Algo (20-10%), Indicios (10-5%)	Arcillosos		
Color	Gris oscuro, marrón		
Olor	Ligero		
Consistencia /Compacidad	Nódulos de acillas firmes		
Materia orgánica			
Carbonatos			
Restos Antrópicos			
Humedad	Saturado		
Excavabilidad / Estabilidad			

EMBALSE DE CIURANA		TESTIFICACIÓN SUELOS		Fecha 22/08/2021	
Nº Muestra	21	Coordenadas (Emplazamiento)		326094.82	4568754.36
Tipo de muestra Sup. Van Veen		Profundidad 12m			
				Fotografías	
Código USCS		SC		Arena de tamaño muy fino. Capas de arcillas firmes. *Se realiza un Core de 30cm. Gravas en base. 	
Granulometría mayoritaria >50%		Arenas			
Minoritaria -oso(50-35%), Bastante (35-20%), Algo (20-10%), Indicios (10-5%)		Arcillosas			
Color		Marrón, gris			
Olor					
Consistencia /Compacidad		Arenas sueltas, Arcillas firmes y rígida			
Materia orgánica		Restos de Planta			
Carbonatos					
Restos Antrópicos					
Humedad		Saturado			
Excavabilidad / Estabilidad					

EMBALSE DE CIURANA	TESTIFICACIÓN SUELOS	Fecha 22/08/2021	
Nº Muestra 22	Coordenadas (Emplazamiento)	326350.536	4568468.093
Tipo de muestra Sup. Van Veen	Profundidad 2m		
		Fotografías	
Código USCS	SM	Gravas de hasta 2 cm bien graduadas. Arenas de tamaño fino. 	
Granulometría mayoritaria >50%	Arena		
Minoritaria -oso(50-35%), Bastante (35-20%), Algo (20-10%), Indicios (10-5%)	Limosa Con bastante grava		
Color	Marrón claro, gris		
Olor			
Consistencia /Compacidad	Sustrato suelto		
Materia orgánica	Restos de plantas		
Carbonatos	En 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 DE CLASIFICACIÓN AUTOMÁTICA DEL BACKSCATTER