



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Geodésica,  
Cartográfica y Topográfica

Producción de cartografía portuaria y su implementación en  
un SIG

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Geomática y Topografía

AUTOR/A: Cotino Domínguez, Vicente

Tutor/a: Coll Aliaga, Peregrina Eloína

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023

# PRODUCCIÓN DE CARTOGRAFÍA PORTUARIA Y SU IMPLEMENTACIÓN EN UN SIG

---

Trabajo fin de grado curso académico 2022/2023

Grado en Ingeniería Geomática y Topografía

Universidad Politécnica de Valencia

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Geodésica, Cartográfica y Topográfica



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIERÍA GEODÉSICA  
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA

**Autor: Cotino Domínguez, Vicente**

**Tutora: Coll Aliaga, Peregrina Eloína**

---

## Agradecimientos

En primer lugar a La Autoridad Portuaria de Valencia (APV) y en especial a Dña. Carmen García- Jefa de Gestión del Territorio- por haberme brindado la oportunidad de formarme y desarrollar mis conocimientos en un organismo de un nivel y una trayectoria admirables. Muy especialmente agradezco a Sol, Alejandro y Jose Ángel su apoyo, compañía y atención continua, qué me ha permitido aprender cada día en un ambiente laboral extraordinario.

También agradezco a la Universidad Politécnica de Valencia (UPV) y en especial a la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Geodésica, Cartográfica y Topográfica (ETSIGCT) por despertar en mí una auténtica pasión por la materia que los profesores me han enseñado. Especialmente agradezco a Eloina su predisposición y confianza en mis posibilidades, y la apuesta por esta experiencia qué hasta ahora no se había realizado y que ha cumplido sobradamente mis expectativas.

Todo ha sido más sencillo gracias al bagaje conseguido en mi etapa educativa en La Salle de Paterna, a la que accedí con tan sólo tres años y de la que salí para incorporarme a la Universidad con un nivel académico y humano forjado durante todo mi periodo escolar qué ha sentado una base sólida necesaria para estar a la altura.

Por supuesto también agradezco la atención de toda mi familia, en especial a mis padres Lourdes y Vicente, por haberse preocupado siempre en proporcionarme lo mejor; la instrucción para la vida basada en los principios del esfuerzo y la honestidad. También a mi hermana Lucía para la que espero servir de referente y ayuda siempre. Y muy especialmente a mi iaio que no podrá darme un abrazo por la obtención de mi título universitario, pero sin duda cuida y vela por mí desde el cielo.

Gracias a todos.

## Compromiso

"El presente documento ha sido realizado completamente por el firmante; no ha sido entregado como otro trabajo académico previo y todo el material tomado de otras fuentes ha sido convenientemente entrecomillado y citado su origen en el texto, así como referenciado en la bibliografía"

Firmado por VICENTE COTINO DOMÍNGUEZ - NIF: 44895104R el día  
10/07/2023

## Resumen

La idea que se persigue con este documento es mostrar la importancia de la implantación de un Sistema de Información Geográfica, así como su actualización observado desde un punto de vista portuario, en donde se halla una gran cantidad de cartografía de distinta tipología. Además de una exposición en cuanto a mejoras de su esquema de datos y la consistencia entre los elementos.

Todo el proyecto en suma, recogerá diferentes elaboraciones cartográficas junto con una detallada explicación de las técnicas empleadas y su posterior incorporación al *Site* del SIG del Puerto de Valencia, con el motivo de mantener siempre la calidad temporal de los datos y poner a disposición del público pertinente aquellos datos que se necesiten de una manera sencilla, intuitiva, gráfica y alfanumérica.

## Abstract

*The idea of this document is to show the importance of the implementation of a Geographic Information System, as well as its updating observed from a port point of view, where there is a large amount of cartography of different typology. In addition to an exhibition in terms of improvements of its data schema and consistency between the elements.*

*In short, the whole project will include different cartographic elaborations together with a detailed explanation of the techniques used and their subsequent incorporation to the Port of Valencia GIS Site, with the aim of always maintaining the temporal quality of the data and making available to the relevant public those data that are needed in a simple, intuitive, graphical and alphanumeric way.*

## Palabras clave

Sistemas de Información Geográfica; cartografía marítima; batimetrías; aplicaciones de campo; mapas versionados.

## Objetivos específicos

Las fases en la actualidad en el SIG del Puerto de Valencia se hallan en la explotación y actualización del mismo, y como toda cartografía presenta variaciones a lo largo del tiempo junto con los elementos que la conforman, es importante plasmar la exactitud temporal y posicional de estos para tener una cartografía precisa y vigente.

Se trata por tanto, de mediante levantamientos recoger toda esta información actualizada para reemplazar a nivel de posición y de atributos en el caso de topografía terrestre, y de cartografiar el fondo marino mediante batimetrías con SONAR, donde tras su procesamiento, serán anclados sus respectivos planos a la ventana emergente del muelle al que referencia.

## Objetivos generales

Al manejar una gran cantidad de información de diferentes elementos distribuidos del terreno en un entorno portuario, se crea una necesidad de disponer un sistema de información geográfica que confine a aquellas componentes que alberguen cualquier tipo de interés que deseen ser almacenadas, junto con la información temática que las describen. El SIG permite mantener a estos constituyentes y su información en su base de datos, permitiendo incluir cualquier tipo de cartografía que pueda haber sido tomada por cualquier método de captación e implementarlo a un mapa temático organizado por capas, para que los diferentes usuarios analicen las situaciones reales de los elementos en un servicio de visualización brindado por el sistema. En un lugar como el presentado, hacen falta por tanto levantamientos terrestres para objetos del terreno y levantamientos batimétricos para un cartografiado de la superficie subacuática, con todas las peculiaridades e importancia que la técnica lleva ligada.

# ÍNDICE DE FIGURAS:

Figura 1 Fases en la creación de una GDB Fuente: Propia.....	11
Figura 2 Tipos de datos almacenables en una feature class Fuente: Propia (ArcMap) .....	12
Figura 3 Tipos de modelos de datos Fuente: My GIS Notebook.....	12
Figura 4 Sistema de Información Geográfica – Servicio de visualización Fuente: GIS Valenciaport.....	13
Figura 5 Ventana emergente del muelle Llovera Fuente: GIS Valenciaport .....	14
Figura 6 Principales softwares empleados en la producción cartográfica Fuente: Google imágenes.....	15
Figura 7 Esquema resumido de fases en la producción cartográfica con fines GIS Fuente: Propia .....	17
Figura 8 Localización del muelle Serpis en el puerto de Gandía Fuente: Google Maps.....	18
Figura 9 Ilustraciones de defensas, escaleras y bolardos respectivamente Fuente: Puerto de Valencia.....	18
Figura 10 Situación de partida y resolución final Fuente: Propia (Autocad Map 3D).....	18
Figura 11 Vista del comando LAYTRANS para filtrado de capas Fuente: Propia (Autocad Map 3D).....	20
Figura 12 Resultado del paso de cartografía completa a cartografía depurada Fuente: Propia (Autocad Map 3D).....	20
Figura 13 Imagen temática propia de una batimetría Fuente: GeoInnova .....	22
Figura 14 Fenómenos de dispersión y reflexión (respectivamente) Fuente: Ingeniería de ondas.....	22
Figura 15 Frente de onda – Principio de Huygens Fuente: Campus FFYB .....	23
Figura 16 Clasificación de SONAR por emisión-recepción de la señal Fuente: Ingeniería de ondas I .....	26
Figura 17 Apariencia de dron acuático para batimetrías Fuente: Propia.....	27
Figura 18 Sistema de cotas respecto a un plano $\pi$ Fuente: Sistema acotado   Cartagena99 .....	28
Figura 19 Sistema de hardware - Rack Fuente: Propia .....	29
Figura 20 Monitor con display al Seapath Fuente: Propia .....	30
Figura 21 Montaje completo del equipo electrónico para batimetrías Fuente: Propia .....	30
Figura 22 Display principal del SIS Fuente: Propia (SIS) .....	32
Figura 23 Desplegables de la herramienta runtime parameters Fuente: Propia (SIS).....	32
Figura 24 Parámetros contemplados en sounder main Fuente: Propia (SIS).....	32
Figura 25 Interfaz de Seacast para gestión de perfiles de velocidad del sonido Fuente: Propia (Seacast).....	34
Figura 26 Ventana de levantamiento dentro de Hypack Fuente: Manual Hypack .....	34
Figura 27 Conexión del perfilador al rack para la carga de datos Fuente: Propia .....	35
Figura 28 Equipo sonda multihaz Fuente: Propia .....	36
Figura 29 Ítems en el espacio de trabajo de Hypack Fuente: Propia (Hypack) .....	39
Figura 30 Repositorios del proyecto de Hypack Fuente: Propia.....	39
Figura 31 Barra de herramientas ‘Survey’ Fuente: Propia (Hypack).....	40
Figura 32 Ejemplo de mapas de posicionamiento Fuente: Propia (Hypack).....	40
Figura 33 Ventana de perfil de líneas con solape Fuente: Propia (Hypack).....	41
Figura 34 Ventana del mapa de cobertura Fuente: Propia (Hypack).....	41
Figura 35 Datos de levantamiento Fuente: Propia (Hypack).....	42
Figura 36 Ejemplo de fases de levantamiento en Hypack Fuente: Propia (Hypack – Hysweep Editor) .....	44
Figura 37 Parámetros de búsqueda y filtro Fuente: Propia (Hypack - Hysweep Editor) .....	44
Figura 38 TIN Editor Fuente: Propia (Hypack - TIN) .....	46
Figura 39 Bordes de recorte del muelle levante Fuente: Propia (Hypack) .....	46
Figura 40 Perfil de la nube de puntos del muelle levante Fuente: Propia (Hypack - Hysweep Editor).....	47
Figura 41 Exportación del levantamiento Fuente: Propia (Hypack - Hysweep Editor).....	48
Figura 42 Ejemplo de borde de recorte para el muelle levante Fuente: Propia (Hypack - TIN) .....	48
Figura 43 Imagen ejemplo del editor de colores Fuente: Manual Hypack.....	49
Figura 44 Obtención y visualización del producto ráster de fondo de batimetrías Fuente: Propia (Hypack - TIN).....	50
Figura 45 Parámetros de giro y factor Z en modelo 3D de Hypack Fuente: Propia (Hypack - TIN).....	51
Figura 46 Obtención de franjas del comisario con ejemplo de bolardos Fuente: Propia (Hypack - TIN) .....	51
Figura 47 Creación de isobatas Fuente: Propia (Hypack - TIN).....	53
Figura 48 Isobatas vistas desde Autocad Map 3D Fuente: Propia (Autocad Map 3D) .....	53
Figura 49 Exportación de sondas y visualización en Autocad Map 3D Fuente: Propia (Hypack – TIN & Autocad Map 3D)54	

Elaboración de cartografía portuaria y su implementación en SIG

---

*Figura 50 Resultado del modelo final para la dársena levante Fuente: Propia (Autocad Map 3D)..... 55*

*Figura 51 Inutilizar capas en ventanas gráficas dentro de Autocad Fuente: Propia Autocad Map 3D) ..... 56*

*Figura 52 Resultados de los entregables finales de la campaña de batimetrías de 2022 Fuente: Propia ..... 57*

*Figura 53 Resultado de trabajo final de inspección de muelles Fuente: Propia (CloudCompare)..... 58*

*Figura 54 Página de inicio al portal de ValenciaPort y visualización de contenido Fuente: Propia (ArcGIS - Portal) ..... 59*

*Figura 55 Edición de ventana emergente de ‘Muelles’ dentro del mapa de explotación Fuente: Propia (ArcGIS - Portal) 59*

*Figura 56 Ventanas emergentes del muelle de levante Fuente: Propia (ArcGIS - Site)..... 60*

*Figura 57 Antena Leica Zeno FLX100 y sus especificaciones Fuente: Leica Geosystems..... 62*

*Figura 58 Sección de la antena FLX100 en la casa Leica Fuente: Leica Geosystems..... 62*

*Figura 59 Configuración previa al levantamiento Fuente: Propia (ZenoConnect) ..... 63*

*Figura 60 Escaneo del esquema de datos para actualización SIG Fuente: Propia ..... 64*

*Figura 61 Dominios generados para las aplicaciones de campo Fuente: Propia (ArcGIS Pro)..... 65*

*Figura 62 Administración del dataset de entidades Fuente: Propia (ArcGIS Pro)..... 66*

*Figura 63 Despliegue del administrador de versiones en la barra de herramientas Fuente: Propia (ArcGIS Pro) ..... 66*

*Figura 64 Mapa de AP para aplicaciones de campo (visión desde el portal) Fuente: Propia (ArcGIS Pro) ..... 67*

*Figura 65 Áreas sin conexión en Field Maps Fuente: Propia..... 67*

*Figura 66 Toma de datos con levantamiento mediante antena Fuente: Propia..... 68*

*Figura 67 Escaneo del manual de instrucciones. Significados leds Fuente: Leica Geosystems ..... 69*

## ÍNDICE DE TABLAS:

**Tabla 1** Especificaciones técnicas de EM2404 DUAL RX Fuente: Kongsberg (Elaboración propia) .....37

**Tabla 2** Versiones de las geodatabases Fuente: Propia (ArcGIS Pro)..... 66



# ÍNDICE DE CONTENIDOS:

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>1</b>
<b>COMPROMISO</b> .....	<b>2</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>3</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>3</b>
<b>PALABRAS CLAVE</b> .....	<b>3</b>
<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	<b>4</b>
<b>OBJETIVOS GENERALES</b> .....	<b>4</b>
<b>INTRODUCCIÓN AL DOCUMENTO</b> .....	<b>9</b>
<b>DISPOSICIÓN DEL DOCUMENTO.</b> .....	<b>9</b>
<b>LA AUTORIDAD PORTUARIA DE VALENCIA COMO ENTORNO DE TRABAJO</b> .....	<b>10</b>
<b>RELACIÓN CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS)</b> .....	<b>10</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA</b> .....	<b>11</b>
1.1.- DEFINICIÓN Y FLUJO DE TRABAJO DE LOS SIG .....	11
1.2.- DEFINICIÓN DEL ESQUEMA DE DATOS.....	11
1.2.1.- <i>Modelo conceptual</i> .....	11
1.2.2.- <i>Modelo lógico</i> .....	12
1.3.- TIPOS DE MODELOS DE DATOS CON LOS QUE SE TRABAJAN EN SIG .....	12
1.4.- IMPORTANCIA DE LOS SIG EN EL ÁMBITO PORTUARIO Y SU ENFOQUE EN LA APV .....	13
1.5.- SIG DE ACCESO LIBRE OFRECIDO POR VALENCIAPORT .....	13
1.6.- CALIDAD Y CONFORMIDAD.....	14
<b>CAPÍTULO II. ELABORACIÓN CARTOGRÁFICA PORTUARIA</b> .....	<b>15</b>
2.1.- PRINCIPALES SOFTWARES EMPLEADOS .....	15
2.2.- ELEMENTOS PARA LA AGILIZACIÓN Y MAQUETACIÓN DE LA CREACIÓN CARTOGRÁFICA .....	15
2.3.- METODOLOGÍA EN LA PRODUCCIÓN DE LA CARTOGRAFÍA .....	16
2.3.1.- <i>Enfoques cartográficos para planificación SIG</i> .....	16
2.3.2.- <i>Ejemplo ilustrativo con elementos de muelles</i> .....	18
<b>CAPÍTULO III. CONSIDERACIONES PREVIAS A LA TOMA DE DATOS MEDIANTE BATIMETRÍAS</b> .....	<b>21</b>
3.1.- CONTEXTO HISTÓRICO Y SU DEFINICIÓN TOPOGRÁFICA .....	21
3.2.- CIENCIA CORRESPONDIENTE A LAS TÉCNICAS BATIMÉTRICAS .....	22
3.2.1.- <i>Fenómenos físicos presentes en batimetrías</i> .....	22
3.2.2.- <i>Factores que alteran la señal</i> .....	23
3.2.3.- <i>Parte topográfica</i> .....	24
3.3.- SONDA BATIMÉTRICA (SONAR) .....	26
3.4.- SINERGIA ENTRE DRONES Y BUQUES.....	27
3.5.- COTAS Y PROFUNDIDADES (FACTOR Z).....	28
<b>CAPÍTULO IV. EQUIPOS Y PROCEDIMIENTOS PARA SONDEOS</b> .....	<b>29</b>
4.1.- EQUIPOS ELECTRÓNICOS .....	29
4.2.- CONEXIÓN DE EQUIPOS.....	31
4.2.1.- <i>Softwares batimétricos</i> .....	31
4.3.- PERFIL DE LA VELOCIDAD DEL SONIDO .....	35
4.4.- DESCONEXIÓN DE EQUIPOS.....	36

Elaboración de cartografía portuaria y su implementación en SIG

4.5.- SONDA MULTHAZ.....	36
<b>CAPÍTULO V. EJEMPLO PRÁCTICO DE LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO .....</b>	<b>38</b>
5.1.- FASE DE TOMA DE DATOS DE LAS PROFUNDIDADES (SONDEO) .....	38
5.1.1.- Localización, situación y emplazamiento de la zona de estudio.....	38
5.1.2.- Actuación dentro de la dársena.....	38
5.1.3.- Inicialización del levantamiento .....	39
5.1.4.- Problemas que pueden presentarse .....	42
5.2.- PROCESADO DE DATOS BATIMÉTRICOS MEDIANTE HYPACK.....	43
5.2.1.- Tipos de trabajos batimétricos .....	43
5.2.2.- Correcciones y depurado de puntos imprecisos.....	43
5.2.3.- Recorte con bordes por muelles.....	45
5.2.4.- Filtrado del ruido de muelles mediante perfil.....	46
5.2.5.- Obtención de los recursos cartográficos.....	49
5.2.6.- Incorporación de los productos generados al espacio modelo de Autocad.....	54
5.2.7.- Maquetación de los planos finales .....	56
5.3.- INSPECCIÓN DE MUELLES.....	57
5.4.- PUBLICACIÓN EN EL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.....	58
5.5.- MÁS APLICACIONES DE LAS BATIMETRÍAS.....	60
<b>CAPÍTULO VI. APLICACIONES DE CAMPO PARA ACTUALIZACIÓN GIS .....</b>	<b>62</b>
6.1.- EQUIPO DE CAMPO .....	62
6.2.- CONFIGURACIÓN DEL PERFIL DE LEVANTAMIENTO.....	63
6.3.- APLICACIONES DE LEVANTAMIENTO: ARCGIS FIELD MAPS.....	63
6.3.1.- Diseño del esquema de datos y creación de dominios.....	63
6.3.2.- Preparación en ArcGIS Pro para versionado.....	65
6.3.2.- Procedimiento a seguir para la toma de datos y su posterior publicación .....	68
<b>PRESUPUESTOS .....</b>	<b>70</b>
<b>CONCLUSIONES FINALES.....</b>	<b>73</b>
<b>ASPECTOS A FUTURO.....</b>	<b>73</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>74</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA .....</b>	<b>75</b>
<b>ANEJO I – PLANOS. DOCUMENTO 1: PLANO DE LOCALIZACIÓN SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO DEL MUELLE LEVANTE EN EL PUERTO DE VALENCIA .....</b>	<b>76</b>
<b>ANEJO I – PLANOS. DOCUMENTO 2: PLANO DE FONDO CON ISOBATAS .....</b>	<b>77</b>
<b>ANEJO I – PLANOS. DOCUMENTO 3: PLANO DE FRANJAS DEL COMISARIO CON SONDA .....</b>	<b>78</b>

## Introducción al documento

En los diferentes puntos que serán desglosados en esta primera introducción se resumirá el esquema que va a seguir este documento en toda su extensión, a la vez que se presentará el entorno de trabajo para contextualizar el desarrollo del documento y la relación que guarda con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

## Disposición del documento.

### *Capítulo I*

En una primera instancia se hará una breve explicación e introducción a los Sistemas de Información Geográfica para tener claros diferentes conceptos que serán explicados a lo largo de este escrito, en donde se hablará de los diferentes elementos que conforman una geodatabase, las fases de su creación, etcétera.

Acompañado de ello, se ligará junto con un contexto geográfico de la zona y del organismo de la APV, todo ello manteniendo en consideración el objetivo del trabajo argumentando el uso de los SIG en este entorno portuario.

### *Capítulo II*

Serán desglosados diferentes elementos de agilización cartográfica y se presentarán los principales *softwares* de producción cartográfica, explicando diferentes aplicaciones, metodologías y actividades desarrolladas dentro de la oficina técnica, junto con un ejemplo práctico.

### *Capítulo III*

Servirá como una introducción a las batimetrías. En este capítulo se detallarán y presentarán diferentes aspectos físicos presentes en una toma de datos batimétricos. Se conocerá el funcionamiento de la señal y la traducción de un eco de una onda acústica a unas coordenadas planimétricas y su correspondiente profundidad. En adición, quedará explicado su sinergia con otro tipo de plataformas de barrido y se dotará de un contexto topográfico para tener una primera toma de contacto con esta metodología.

### *Capítulo IV*

Previamente al paso de la explicación práctica de un caso de levantamiento batimétrico, se deben detallar cada uno de los múltiples equipos electrónicos presentes durante la fase de sondeo y diferentes softwares empleados tanto en la parte previa a la toma de datos como durante la misma.

### *Capítulo V*

Se tratarán temas de captación de datos con técnicas batimétricas mediante SONAR (*Sound, Navigation & Ranging*), desde su metodología con aspectos previos a la captura de puntos hasta su procesado en oficina mediante el software Hypack de un caso práctico en el muelle levante del puerto de Valencia. Contendrá cada una de las fases que se presencian en las batimetrías, desde la captura de información hasta su procesado y elaboración cartográfica de planos a modo de cartas náuticas. Cuando este procesado finaliza, los datos son publicados en las ventanas emergentes de la capa de muelles en el SIG de la APV, por lo que también se detallarán diferentes consideraciones de la publicación de los datos.

### *Capítulo VI*

Para concluir el documento, se detallará la fase actual que se está llevando a cabo. Esta es la actualización del SIG mediante aplicaciones de campo, en las cuales se crean y preparan unos mapas para que un equipo de campo barra todo el entorno en busca de nuevos elementos, o sencillamente una actualización de los ya existentes, tanto a nivel gráfico como temático. Tras la revisión de los levantamientos por el equipo de gabinete se conseguirá mantener una exactitud temática y temporal de las capas que conforman el SIG.

## La Autoridad Portuaria de Valencia como entorno de trabajo

La importancia de conocer en este caso el entorno en el que se va a desarrollar todo el trabajo, es necesaria para entender de manera aproximada la cantidad de información con la que se cuenta y se debe mantener, actualizar y explotar.

Para evidenciar esta idea, se han extraído los siguientes fragmentos, dentro de su página oficial:

*“La Autoridad Portuaria de Valencia (APV), bajo la denominación comercial de Valenciaport, es el organismo público responsable de la gestión de tres puertos de titularidad estatal situados a lo largo de 80 kilómetros en el borde oriental del Mediterráneo español: Valencia, Sagunto y Gandía. ”*

*“Valenciaport es el puerto español líder del Mediterráneo en tráfico comercial, fundamentalmente de mercancías en contenedor, gracias sobre todo a un área de influencia dinámica y una extensa red de conexiones con los principales puertos del mundo.” (APV, 2023)*

Este primer párrafo que muestra el alto grado de gestión del lugar no solo en su perímetro, sino también en los puertos de Gandía y Sagunto. El segundo versículo exhibe la gran área de influencia, y su envergadura da a conocer que albergan una enorme cuantía de datos, donde la mayoría de ellos pueden ser introducidos en un SIG para una mejor gestión y mantenimiento de los datos.

## Relación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

En base a la aprobación de los 17 objetivos de la ONU para la Agenda 2030 acerca del desarrollo sostenible, los dos grandes proyectos que explican este documento (batimetrías y los Sistemas de Información Geográfica) guardan relación con alguno de estos propósitos. En este apartado se citarán y relacionarán aquellos objetivos que poseen un vínculo con ciertas metas de diversos ODS.

### **ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras**

**9.4** *“De aquí a 2030, modernizar la infraestructura y reconvertir las industrias para que sean sostenibles, utilizando los recursos con mayor eficacia y promoviendo la adopción de tecnologías y procesos industriales limpios y ambientalmente racionales, y logrando que todos los países tomen medidas de acuerdo con sus capacidades respectivas”.*

Las antenas de campo y visualización digital del SIG permiten mantener una infraestructura de datos limpia, en la que toda información de diferentes entidades queda registrada en una BD que puede ser consultada desde internet.

**9.c** *“Aumentar significativamente el acceso a la tecnología de la información y las comunicaciones y esforzarse por proporcionar acceso universal y asequible a Internet en los países menos adelantados de aquí a 2020”.*

Cualquier persona con acceso a internet puede consultar el SIG abierto desde la página oficial del Puerto de Valencia. Ofrece una idea básica de como construir un SIG, extrapolando el modelo hacia la aplicación que se le desee encauzar.

### **ODS 17. Alianzas para lograr los objetivos. Apartado de ‘Tecnología’.**

**17.8** *“Poner en pleno funcionamiento, a más tardar en 2017, el banco de tecnología y el mecanismo de apoyo a la creación de capacidad en materia de ciencia, tecnología e innovación para los países menos adelantados y aumentar la utilización de tecnologías instrumentales, en particular la tecnología de la información y las comunicaciones”.*

Todos los equipos que se recogen en un levantamiento batimétrico posibilitan el cartografiar el fondo marino a través de instrumentos y softwares innovadores, con las grandes aplicaciones de interés que conllevan y que reflejan el avance y potencial tecnológico.

# Capítulo I. Introducción a los Sistemas de Información Geográfica

Este primer capítulo porta consigo el objetivo de ofrecer una primera toma de contacto con diferentes conceptos necesarios de explicar y definir para poder entender todo el desarrollo del trabajo. Se expondrán nociones básicas y no muy detalladas que facilitarán a un lector no experto en la materia la comprensión en todo momento del documento conforme su avance.

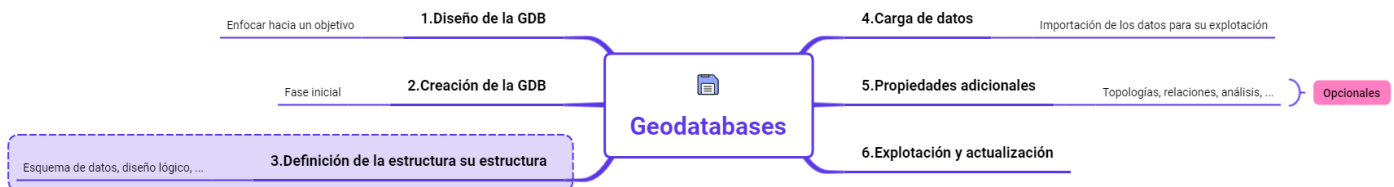
## 1.1.- Definición y flujo de trabajo de los SIG

Pese a que las definiciones puedan variar ligeramente según la fuente que se consulten, es importante tener en mente que cada SIG es altamente dependiente desde su creación del esquema de datos hasta su explotación del enfoque que se le quiera asignar. Se persigue lograr visualizar información geográfica georreferenciada a partir de mapas diseñados previamente mediante sistemas llevados a cabo por un equipo científico, y por tanto su diseño se verá condicionado por lo que se pretenda mostrar en dicho mapa.

A la hora de crear un proyecto en ArcGIS Pro se han de definir diferentes elementos dentro de una geodatabase (GDB) donde se almacenará toda la información y los dominios:

- *Feature class*: Comúnmente conocido como capas geométricas (puntos, líneas, polígonos, ...)
- *Feature datasets*: Contiene al menos un *feature class* y definen las siguientes especificaciones:
  - Tolerancia y resolución
  - Sistema de referencia (SR)

La definición de este gran elemento que contendrá todos los datos, debe desde su creación estar bien estructurada y estudiada para adecuarla a la necesidad a la que se quiera destinar. Por este motivo, el tercer paso (resaltado) de esta primera ilustración será el más complejo y menos mecánico en toda la fase de creación de una GDB que será enfatizado en el siguiente punto.



**Figura 1** Fases en la creación de una GDB **Fuente:** Propia

## 1.2.- Definición del esquema de datos

Como se ha dejado constancia en el punto previo, el esquema de datos es una de las partes más importantes a definir en la creación de una GDB. Debe estar pensada para necesidades tanto actuales como futuras para su implantación en un modelo lógico y su posterior explotación.

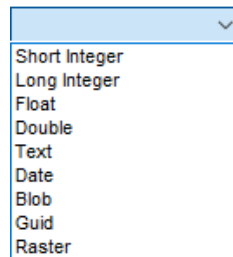
Hay que tener en consideración que los primeros elementos que deben ser declarados son los *datasets*, que explicarán una característica común que englobe a diferentes *feature class* donde se detallará todo tipo de información referente a los recursos cartográficos.

### 1.2.1.- Modelo conceptual

El primer paso es hacer un listado de todos los datos que se disponen y que información se quiere (y se querrá) almacenar de los mismos. Se basa en pensar en que elementos cartografiables se quieren mostrar en un mapa y que atributos de estos se desean mantener.

### 1.2.2.- Modelo lógico

Tras poseer cierta claridad de los datos a almacenar, en el modelo lógico se da un paso de lo abstracto a la definición. Es necesario explicar en cada *feature class* que atributos finalmente se van a mantener y que tipo de dato es cada uno, discriminando por tanto en los tipos que se muestran en la figura 2:



**Figura 2** Tipos de datos almacenables en una *feature class* **Fuente:** Propia (ArcMap)

Pueden existir variables que sean de formato numérico, o de texto, incluso de fechas, siendo estos los tipos más comunes y generales de datos con los que se suele trabajar. Habrá que asignar a cada *feature* un nombre de campo y formato de almacenamiento que será compartido para cada registro que sea introducido en este *feature class*.

Se cuenta con la opción de definir las relaciones o uniones entre tablas en caso de tener conexiones con algún atributo de otras entidades.

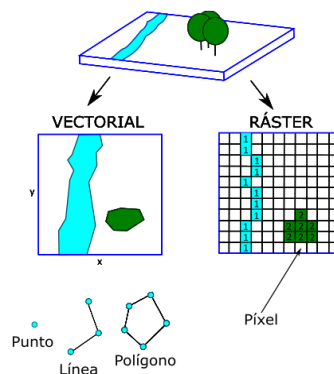
El cómputo global de todas estas características explica el paso de una estructuración de datos de una situación inicial (esquema conceptual) a una etapa final (modelo lógico).

### 1.3.- Tipos de modelos de datos con los que se trabajan en SIG

Un elemento/fenómeno existente en la realidad, para almacenarlo virtualmente se debe de escoger un modelo de datos que permita describirlo. Según las operaciones a las que se le desee someter o lo que se pretenda mostrar será óptimo escoger un modelo u otro.

Fundamentalmente se pueden diferenciar entre dos modelos:

- **Modelos vectoriales:** Describen la geometría de un objeto por medio de unas coordenadas (X,Y,Z). Estos pueden ser representados según sus dimensiones en las siguientes primitivas:
  - Puntos (Dim0)
  - Líneas (Dim1)
  - Polígonos (Dim2)
- **Modelos ráster:** Son una malla de celdas que contienen un valor en cada píxel, pudiendo describir información temática y descriptiva.



**Figura 3** Tipos de modelos de datos **Fuente:** My GIS Notebook



## 1.4.- Importancia de los SIG en el ámbito portuario y su enfoque en la APV

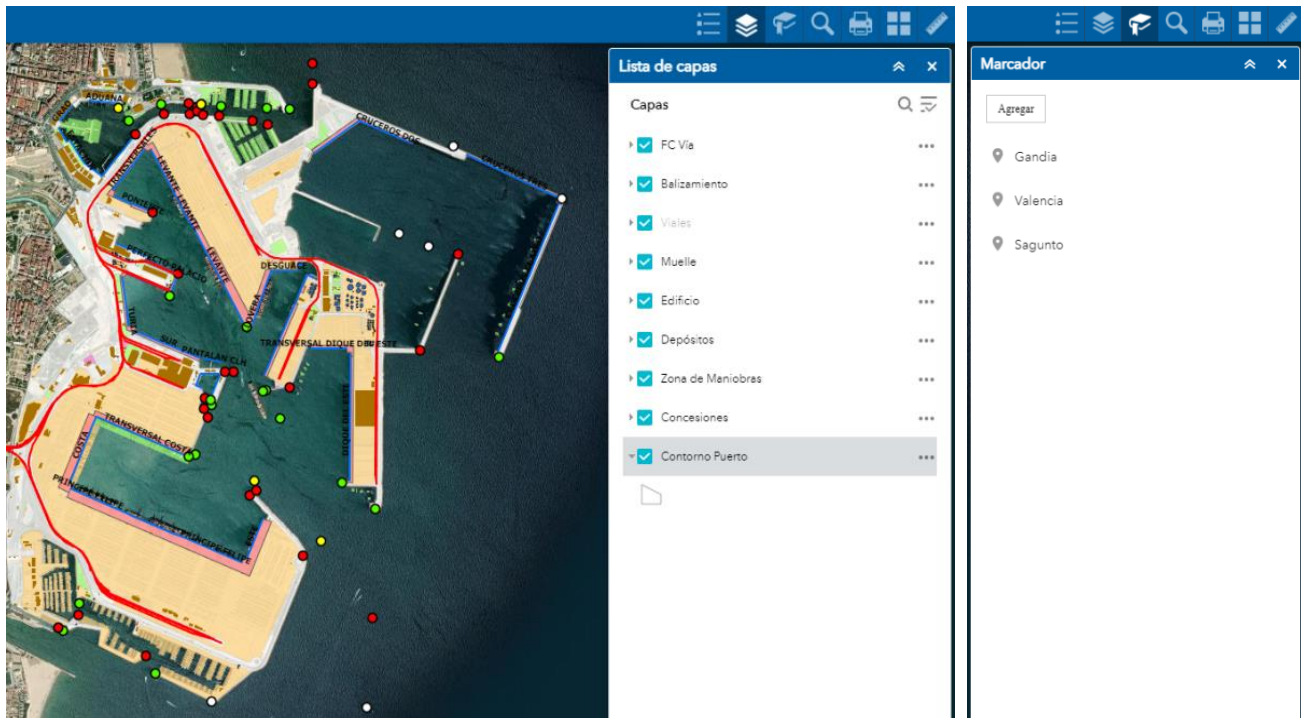
Los puertos son conocidos como lugares extensos de gran importancia tanto mercantil como transportista, dotados de cantidades considerables de instalaciones, y tras lo visto, ya se conoce que la cantidad de datos es extensa. Por tanto, ¿Qué puede aportar un SIG a un entorno como el que se está tratando? Para contestar a esta pregunta, se procede a citar un fragmento de la página de ESRI, líder mundial en el desarrollo de GIS.

*“Con el aumento del comercio a nivel global y el cambio constante de las cadenas de suministro internacionales, el mercado marítimo se encuentra en un estado de evolución constante. ArcGIS le ayuda a lograr esos objetivos y estar a la vanguardia integrando toda la información de su organización y permitiéndole visualizar poderosamente sus datos para ayudarle a tomar las mejores decisiones. El sistema ArcGIS combina una sofisticada cartografía digital, análisis de big data y la capacidad de automatizar sus procesos para que usted pueda lograr una estrategia competitiva.” (ESRI, s.f)*

Existen aplicaciones de los SIG enfocadas a realizar operaciones de análisis, donde se exige una mayor precisión y se debe atender a factores como la resolución y la tolerancia en base a la escala máxima, emplear reglas de topología y generar cartografía precisa a partir de una ya existente. Por el contrario, en este caso el propósito al que se encauza es más hacia la gestión y pronta visualización de datos gráficos y alfanuméricos de diversos elementos de interés.

## 1.5.- SIG de acceso libre ofrecido por Valenciaport

Para materializar de manera aproximada todos estos conceptos, la figura 4 manifiesta una parte destinada a la visibilidad de cualquier persona con diferentes *feature class* que definen los tres puertos que se trabajan. De entre los servicios que se ofrecen en la barra de herramientas se pueden ver el listado de capas y marcadores de los puertos, además de una leyenda, función de medición de área o longitudes, etcétera.



**Figura 4** Sistema de Información Geográfica – Servicio de visualización **Fuente:** GIS Valenciaport

## Elaboración de cartografía portuaria y su implementación en SIG

Haciendo referencia a los conceptos de este primer capítulo, es sabido que toda información gráfica contiene asimismo una parte alfanumérica, por lo que seleccionando cualquier elemento vectorial se abrirá la ventana emergente que lleva ligada. Este recurso es una herramienta muy útil y que permite adjuntar documentos acompañado de una miniatura, mostrar la información alfanumérica, etcétera.

Este elemento será explicado más detalladamente y con mayor profundidad en el respectivo punto del capítulo de publicación de la cartografía, pues parte de la edición a la hora de la publicación y tiempo que se dedica es enfocado a esta ventana.



*Figura 5 Ventana emergente del muelle Llovera **Fuente:** GIS Valenciaport*

### 1.6.- Calidad y conformidad

La APV persigue constantemente la calidad y conformidad, es por ello que se les fue atribuido el certificado ISO 9001, que refleja esta misma idea. En la página oficial de la siguiente referencia, puede accederse el documento de la política de calidad para consultar la línea que se persigue ante la entrega de este documento.

*“La Autoridad Portuaria de Valencia ha certificado su Sistema de Gestión de la Calidad conforme a la Norma ISO 9001, con objeto de asegurar un óptimo servicio al cliente y una mejora continua de los procesos de gestión. Como compromiso de la Dirección con la implantación y mantenimiento de este sistema de gestión, se ha establecido una Política de Calidad, donde se definen los objetivos de calidad y las líneas de acción para alcanzarlos.” (APV, s.f.)*



## Capítulo II. Elaboración cartográfica portuaria

En este bloque se comentarán los elementos básicos a la hora de generar cartografía que son empleados en el día a día en la mayoría de los planos que se originan, donde alguno de ellos debe ser incorporado como adjunto en su respectiva primitiva dentro del SIG (su ventana emergente). En adición, serán nombrados y justificados los *softwares* principales con los que se trabaja habitualmente para la producción cartográfica con objeto de entender la “filosofía” que se sigue junto con su metodología empleada en diferentes casos que se proponen.

### 2.1.- Principales softwares empleados

Existen tres principales programas que son imprescindibles para tratar los datos, obtener diferentes productos, maquetarlos y finalmente publicarlos. Estas son las secuencias a las que se deben de someter la información capturada.

Por un lado, para obtener datos en campo en forma de nube de puntos a través de batimetrías y procesar todas las líneas y derivar a diferentes productos en forma de imágenes GeoTIFF, curvados y sondajes entre muchos otros se emplea Hypack. Este amplio software es uno de los líderes a nivel mundial para aplicaciones hidrográficas. Se encarga, por tanto, de brindar aquellas herramientas topográficas para llevar a cabo levantamientos marinos por medio de sondeos, conectados a un posicionamiento por medio de GPS e inerciales. Lleva implícitamente cargado en su barra de herramientas diferentes programas que separan las diferentes operaciones que se necesiten en cada una de las diferentes fases en las que un productor se encuentre, desde parámetros iniciales previos a la captura de datos hasta el filtrado por valores atípicos y producción de elementos cartográficos. Este se presenta tanto en embarcaciones como en oficina y es una herramienta fundamental para aplicaciones y trabajos en este tipo de entorno.

Enfocado a la elaboración, maquetación y derivación cartográfica orientado a objetos con unos atributos, Autocad Map 3D posibilita todas estas operaciones en las que a un dato vectorial se le puede asociar una *object data* que describe diferentes atributos de la realidad de dicho elemento. Da una opción fundamental, siendo la de enmarcar a los datos en un sistema de coordenadas, manejar bloques y referencias, y obtener planos que recompilen y expliquen una situación para un instante determinado. Al querer destinar en la mayoría de casos los elementos en el SIG, las *object datas* están preparadas para que a la hora de trasladar las entidades compartan los mismos campos y permita incorporarlos no solo en su situación espacial correspondiente, sino que además con su información implícita.

Recordando el objetivo, esta información debe ser publicada en el SIG, almacenada en su GDB correspondiente con su carpeta en el proyecto ligada y visualizada en el *site* tras su previa publicación. ArcGis Pro garantiza todas estas propiedades entre otras, donde todos los datos que se deseen publicar tienen que pasar por todos los procesos dentro de este software, desde su carga de datos al *dataset* hasta las operaciones a las que se quiera someter. Este es la raíz de todo el bloque cartográfico y juega un papel imprescindible en todas las ventajas que garantiza.



**Figura 6** Principales softwares empleados en la producción cartográfica **Fuente:** Google imágenes

### 2.2.- Elementos para la agilización y maquetación de la creación cartográfica

A la hora de realizar un plano, es conveniente disponer de datos o ficheros de fondo que emplacen a esta manera aproximada, la localización a la cual hace referencia. Principalmente estos archivos pueden ser ortofotos en

## Elaboración de cartografía portuaria y su implementación en SIG

---

formato imagen, es decir, fotografía o mosaico de fotogramas escalados y georreferenciados que ofrecen una vista en planta de un lugar en una época determinada; o bien una cartografía en formato vectorial de fondo.

Ambas opciones pueden aportar de mejor o peor manera virtudes a la cartografía que se desea elaborar. En lo referente a la ortofoto, ofrece una visión más real y aparente, por lo que es más intuitiva, pero a escalas muy grandes (mayor nivel de zoom) existen muchos elementos que dejan de ser representables. En una situación en la que se desee tener bien delimitadas las arquetas, o puntos de amarre, boyas o cualquier otro elemento que la propia resolución de la imagen impida su correcta visualización, este producto deja de ser una opción. Por el contrario, puede ser útil en casos donde se quiera ver el estado en ese momento del terreno u otras aplicaciones.

Por el otro lado, la cartografía vectorial suele ser el producto estándar que suele acompañar a los planos que se producen. Su delineación suave y representativa con la incorporación de aquellos elementos que presentan limitaciones en las ortofotos hacen que sean un provecho cartográfico sobre el cual partir.

En cuanto a la maquetación se refiere, es importante tener ya creadas unas plantillas con diferentes dimensiones (A0, A1, A2, A3 y A4) que por medio de ventanas gráficas (las equivalentes a *dataframes*) expliquen un espacio del modelo a una escala definida. Este recurso encierra a la cartografía en un espacio con dimensiones preestablecidas en donde se necesite una impresión a mayor o menor escala. Cada una de las plantillas lleva consigo un cajetín dinámico, que en definitiva, comprende unas características descriptivas del plano en donde el valor de cada una de sus características se puede modificar para explicar los atributos del plano generado.

## 2.3.- Metodología en la producción de la cartografía

### 2.3.1.- Enfoques cartográficos para planificación SIG

La preparación de estos puntos hablados hasta el momento, forman parte del trabajo cartográfico y ayudarán al delineante o productor del plano a dedicarle más tiempo a basar el plano en su objetivo que en su propia maquetación. A pesar de estar hablando en todo momento de planos y cartografía, se debe de explicar que diferentes productos pueden derivar de ellos, pues la cartografía puede derivar a diferentes entornos y los aspectos de cada plano variaran en función de la aplicación que se quiera dar o los elementos que se quieran representar. Sin olvidar que se está hablando de un entorno portuario, los planos pueden enfocarse a diferentes ideas que se proceden a enumerar:

1. Planos de los diques y pantalanés.
2. Diferentes elementos de servicios, como pueden ser: Agua potable (AP), telecomunicaciones (TC), baja tensión (BT), entre otros.
3. Batimetrías generales de las dársenas del puerto y de sus diferentes muelles que las confinan.
4. Levantamientos para actualizaciones SIG.
5. Plantas generales de proyectos y secciones.
6. Planos de parcelas para su repercusión del IBI según la ocupación y distribución de su superficie.
7. Etcétera.

Esta resumida lista, muestra la cantidad de diferentes enfoques que se puede destinar a un plano, difiriendo mucho entre cada uno de ellos, ya sea por complejidad de trabajo, por su obtención de datos u otras características. Se ha resaltado el tercero de ellos, el referente a las batimetrías, pues es una ciencia que requiere de conceptos geomáticos y al que se dedicará una gran ocupación en su respectivo capítulo.

Dentro de la metodología hay que explicar una serie de fases a la que se tiene que someter la cartografía para poder obtener un plano. La idea recae en las siguientes fases: Tener claro el objetivo del plano será una de las primeras consideraciones a tener en cuenta. Saber lo que se pretende mostrar con el producto final puede condicionar el flujo de trabajo, el nivel de detalle y en determinadas ocasiones, estimar el tiempo en mayor o menor dedicación. Asimismo, el establecer un rango de tolerancias y precisiones también afecta al trabajo, pues en base al grado de detalle y los umbrales preestablecidos afectará también al tiempo de producción. Son estos dos aspectos los que se tienen que conocer con rigidez previamente al trabajo. Con ello en consideración, se ha de identificar si los datos que se deben tratar han de ser capturados en campo o si ya han sido tomados, por lo

Elaboración de cartografía portuaria y su implementación en SIG

que puede aparecer una nueva fase en la que se necesite de un levantamiento para adquirir la información o actualizarla; o por otro lado, que la información que ya está en disposición sea incorporada al plano. Las actividades de campo suelen ser destinadas a levantamientos batimétricos o actualización de elementos por desplazamientos (como puede ser en balizamiento) o una nueva incorporación. Para estos casos se necesita un equipo de campo que recompile todos los datos con un instrumental específico acorde de los criterios iniciales que se han introducido al comienzo de este párrafo, permitiendo obtener entidades de la realidad y poder ilustrarlas en su posición planimétrica y altimétrica para ver su distribución espacial, atender a sus atributos e inventariar todas estas componentes.

Al tratar de reunir todos estos elementos en un SIG, la captación en el caso de elementos presentes en el terreno es más que extraer su posición, su información temática también es imprescindible, aunque no toda información es relevante, la relevancia la marca el esquema de datos que lleve asociado el elemento consigo. Estas *object data*, son importantes que puedan ser compartidas con el equipo que va a realizar el levantamiento, para que puedan anotar estas características y que el equipo de gabinete pueda tratar los datos y publicarlos. De la misma manera, recae en el equipo de gabinete el preparar las aplicaciones de campo a las cuales se le destinará también su propio capítulo para explicar de manera detallada la preparación y desarrollo que conlleva, junto con su instrumental específico. Estas aplicaciones favorecerán y harán que la parte temática de los datos capturados sea más clara, en donde se almacenará en cada *dataset* los elementos levantados junto con su esquema de datos. En estos instantes nace la importancia de un concepto SIG: Los dominios. Esta característica permite reducir la información temática de un campo a únicamente un rango de valores preestablecidos. Posibilita la opción de tener la información depurada y limpia con el mismo estilo para un mismo valor, evitando posibles confusiones o discrepancias, y que la tabla de atributos sea lo más organizada posible.

Un ejemplo de este concepto podría darse por ejemplo para el campo de 'PUERTO'. En este campo el nombre del puerto para diferentes operarios su intuición de escritura puede diferir entre otros, uno podría pensar que la mejor manera de escribir el puerto es por su nombre completo y todas mayúsculas: VALENCIA, otro por su abreviatura: VLC, y muchas más posibilidades. Pero, ¿Son importantes estos matices a fines más allá de lo legible? Es decir, cualquier individuo, con las diferentes posibilidades de escritura ante un mismo valor podría distinguir y entender el campo, y quizá pensar que el trabajo que conlleva crear un dominio para cada campo podría ser ahorrado. En respuesta a la cuestión planteada, los valores de los campos van más allá de la ordenación y legibilidad. Existen operaciones SIG, como podría ser la de consulta, en la que, si se quisiera hacer una selección de los registros de un determinado elemento que cumplan que su campo puerto sea de Valencia, habría que añadir el operador lógico OR en conjunto con sus diferentes opciones, sucediendo lo mismo en el caso de querer realizar operaciones de análisis y demás, derivando en un proceso tedioso que puede ser regulado y solventado por los dominios.

En definitiva, estas fases marcan toda la cronología a la que se destina la elaboración de cartografía, en donde su flujo de trabajo ante este proceso se resume en el esquema de la siguiente ilustración.

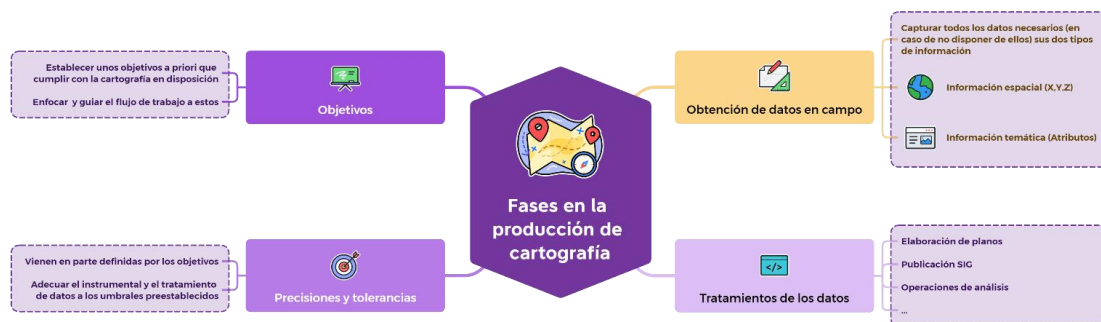
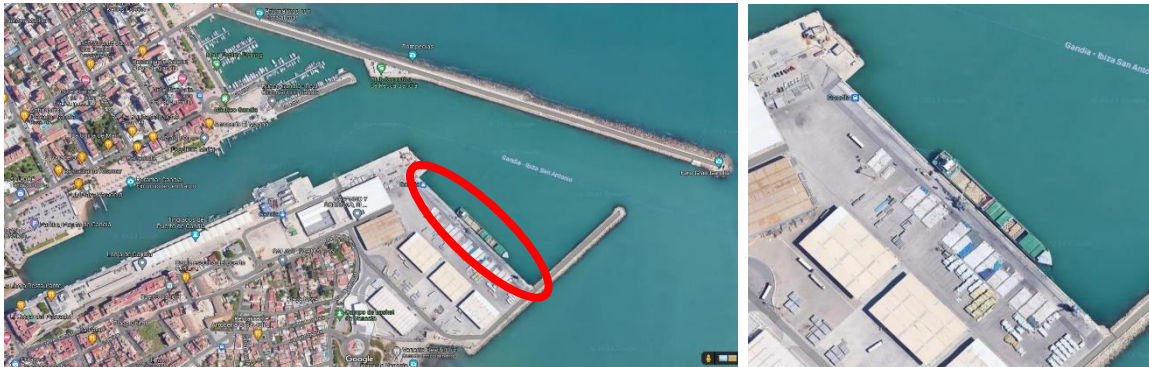


Figura 7 Esquema resumido de fases en la producción cartográfica con fines GIS Fuente: Propia

### 2.3.2.- Ejemplo ilustrativo con elementos de muelles.

En base a lo comentado en el punto previo, se va a introducir un ejemplo práctico en el que se desea actualizar diferentes elementos como son los puntos de amarre, escaleras y defensas del muelle Serpis en el puerto de Gandía.



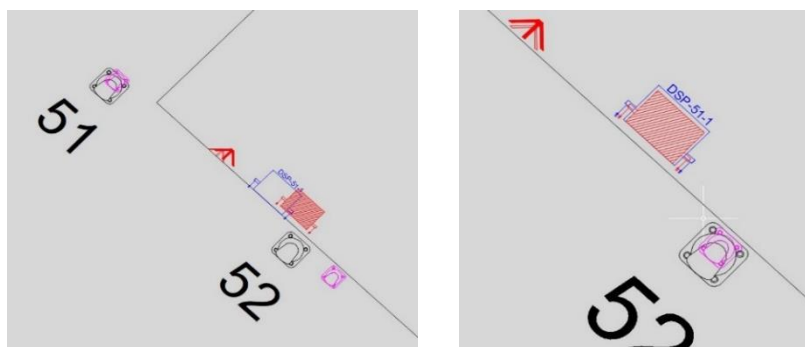
**Figura 8** Localización del muelle Serpis en el puerto de Gandía **Fuente:** Google Maps

Estos elementos sirven en cierta parte para proteger en todo momento diferentes situaciones en el amarre de un buque, por lo que tiene especial relevancia el conocer su situación actual y saber con precisión su ubicación. Para ilustrar de mejor manera, se procede a incorporar una figura que recolecta las apariencias que poseen dichos elementos.



**Figura 9** Ilustraciones de defensas, escaleras y bolardos respectivamente **Fuente:** Puerto de Valencia

Tras una modificación en el muelle, estos tres elementos que están dispuestos en estricta función de la posición del muelle sufrieron junto con este una variación de su situación espacial. Los datos de partida son los levantamientos actualizados de cada uno de los elementos y las entidades en su situación inicial en un fichero .dwg georreferenciado. Se pide actualizar los datos en el correspondiente plano CAD y su reemplazamiento en el SIG.



**Figura 10** Situación de partida y resolución final **Fuente:** Propia (Autocad Map 3D)



## Elaboración de cartografía portuaria y su implementación en SIG

---

Con ese breve enunciado se pueden extraer una serie de huellas sobre los primeros dos puntos del flujo de trabajo desglosado en la figura 7. El objetivo recae en la actualización de los elementos y las precisiones son las propias obtenidas en el levantamiento. Como ya se enunció en su momento, los fines del SIG en este caso son a aspectos de servir una visualización de diferentes entidades relevantes, por lo que, en este caso, en el peor de los casos, haciendo el levantamiento con técnicas GNSS en lugar de estación total teniendo precisiones en el entorno de  $\pm 2\text{cm}$  sería válido dentro del rango de tolerancias exigidas.

Además, en lo mencionado se dice que ya se cuenta con el fichero del levantamiento, por lo que la fase de campo ya ha sido cumplimentada con todas las actividades que ello requiere. La atención ahora se debe enfocar en el objetivo, en definitiva, actualizar los elementos. Existen dos situaciones que sucedan a la hora de actualizar el fichero, siendo la primera de ellas la más común, que es que el elemento haya sido desplazado, y la segunda de ellas, que ese elemento ya no exista. Aquí es donde las *object datas* juegan un papel muy importante, pues dada una situación en la que los elementos estén separados una distancia muy pequeña, y en definitiva existan discrepancias entre cual es el elemento que permanece y cuál es el que se borra, mirando el ID del elemento se puede discriminar dada esta situación.

*“Object Data in AutoCAD Map 3D is a near-optimal way to describe graphic elements’ additional data in DWG files, which can turn AutoCAD Map 3D into one of the most effective digital mapping software given that the sufficient instrumentation is available.” (Alexander, 2016)*

Cabe resaltar la importancia del fichero original de datos, el cual debe ser actualizado y guardado por si en el futuro hubiese que realizar otra modificación. Lo que se pretende seguir a partir de ahora es incorporar estos nuevos elementos al plano sin actualizar, pegando en sus coordenadas originales y analizar las situaciones. Con eso realizado se tienen los elementos duplicados en un espacio modelo en el que se deben desplazar los antiguos elementos a los actualizados. El problema que se plantea es el hecho de que las escalas de cada elemento son diferentes, por lo que el ajuste de un elemento sobre el otro debe de hacerse sabiamente para no modificar las coordenadas, en este caso, se ha realizado de tal manera que los centroides coincidan.

Para este desplazamiento se ha de tener en consideración un punto base, de modo que el movimiento de la entidad se efectúe desde este hasta un destino final, de tal manera que se ha llegado para a lo largo del muelle a la situación final reflejada en la figura 10.

El proceso no finaliza una vez desplazado los elementos a su posición actual, existe una segunda fase de edición. Al variar el muelle, siendo este parte del contorno que delimita la cartografía base del puerto, cambia por tanto esta cartografía. Para cada puerto se cuentan con dos ficheros de Autocad, siendo cada uno de estos enfocado a unas aplicaciones u otras:

1. PUERTO carto.dwg: Contiene toda la cartografía con alto nivel de detalle, desde recintos parcelarios, concesiones o cualquier otro elemento perfectamente detectable a estos niveles de escala, hasta arquetas con diferentes tonalidades para cada uno de estos elementos. En suma, reúnen todas las componentes presentes en el entorno, lo cual a efectos de observación de instalaciones es intachable, pero no lo es por contra a efectos de incorporación de cartografía de fondo.
2. PUERTO carto carto.dwg: Este fichero surge con tal de satisfacer esta última condición que el ‘carto’ no puede aportar. Lo que se consigue en este recurso, es filtrar diferentes capas que no sean tan representativas, es decir, se busca un fichero de cartografía general sin tanto nivel de detalle para poder incorporar a diferentes planos, teniendo una cartografía de fondo que permita emplazar el objeto del plano al que se le ha introducido u otra serie de aplicaciones. Además de suprimir algunos detalles, elimina todas las tonalidades de las capas y las agrupa en una única, siendo esta de color gris para evitar saturaciones.

Para llegar de este primer fichero al segundo, es necesario de unos ficheros *.dws*, los cuales son archivos de verificación de dibujo, que contiene diferentes propiedades que deben ser conformados en cualquier otro dibujo. Explica normas para propiedades de capa, tipos de línea y diferentes estilos, y puede ser abierto con

Elaboración de cartografía portuaria y su implementación en SIG

Autocad. En este caso en concreto, cada uno de los ficheros contiene restricciones de capas para que puedan suprimirse aquellas capas que no se desean disponer en el ‘carto\_carto’. Para llegar hasta este fichero, se ha de pasar por un tercer fichero intermedio el cual contendrá la cartografía de una manera más ligera que la primera pero no lo suficiente como a la última que se pretende llegar. El comando que permitirá realizar esta acción es el LAYTRANS, que abrirá un conversor de capas según las condiciones que el fichero .dws contenga. Posteriormente se obtiene el ‘carto\_ligero’, donde habrán desaparecido gráficamente algunas de las capas, pero no serán suprimidas del gestor de capas. Este último factor debe ser considerado, pues se ha de tener en cuenta que este fichero va a ser importado a la gran mayoría de dibujos, de modo que para que no contenga una gran cantidad de capas al incorporarse en otro dibujo se debe emplear el comando LIMPIA para borrar todas aquellas capas que ya no existen en el dibujo. En resumen, estos tres fichero son: Uno para depurar la gran mayoría de las capas, otro para pasarlo todo al mismo color y el último para dejar el fichero en el estado final.

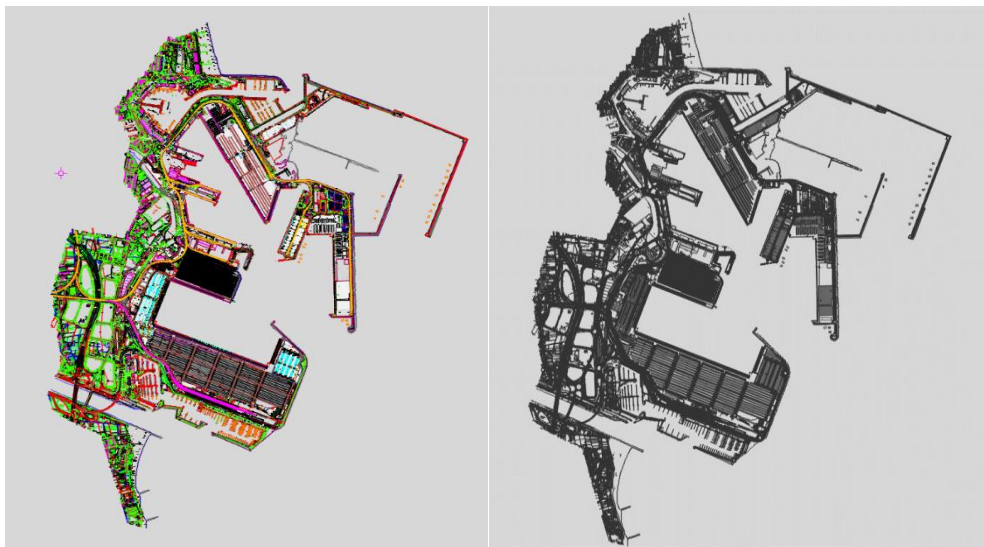
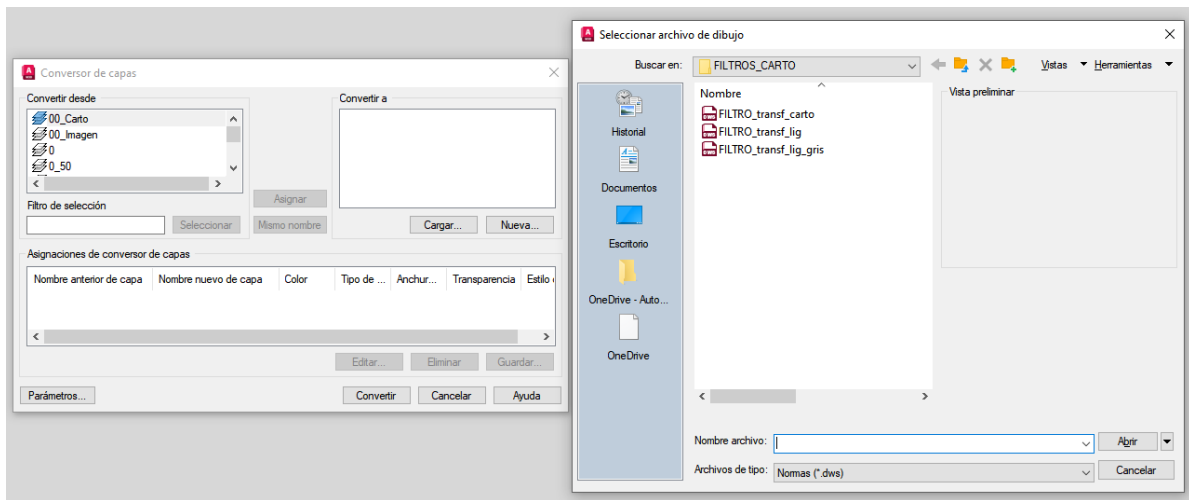


Figura 11 Vista del comando LAYTRANS para filtrado de capas **Fuente:** Propia (Autocad Map 3D)

Figura 12 Resultado del paso de cartografía completa a cartografía depurada **Fuente:** Propia (Autocad Map 3D)

## Capítulo III. Consideraciones previas a la toma de datos mediante batimetrías

La labor de tener cartografiado el fondo de mar resulta ser fundamental en un entorno portuario, de modo que se pueda tener una visión de las profundidades representados por curvas de nivel o puntos de sondas que reflejen las cotas (o profundidades) a partir de puntos medidos en campo mediante técnicas batimétricas. En esta parte del documento se expondrá la metodología para poder llegar a este producto, tanto en toma de datos como en postproceso, comentando a su vez peculiaridades y aplicaciones de las batimetrías, y los equipos empleados.

### 3.1.- Contexto histórico y su definición topográfica

Este concepto topográfico encargado de estudiar las profundidades marinas ha evolucionado con el paso de los años y la innovación tecnológica. Se empezó midiendo mediante un instrumental sencillo, compuesto por un peso que iba unido a una cuerda graduada que permitía obtener la profundidad en un determinado punto. Sin embargo, este método resultó ser un proceso muy lento y poco efectivo, y el desarrollo de los equipos electrónicos permitió perfeccionar la técnica en términos de calidad y tiempo.

Actualmente con cualquier equipo topográfico es posible extraer cotas con mayor facilidad, por lo que cualquier instrumental, ya sea una estación total o un GPS con jalones de elevada profundidad habilita la posibilidad de obtener la profundidad de un punto del fondo marino con sus respectivas precisiones. Si bien es cierto que *a priori* esto puede ser una opción, el procedimiento seguido no difiere mucho del método clásico de obtención de profundidades. Obteniendo una cantidad considerablemente representativa de puntos con sus cotas se puede generar un modelo digital de elevaciones (MDE) mediante una interpolación, producto el cual puede servir para analizar el fondo marino, detectar zonas conflictivas, etcétera.

Lo que se busca es poder disponer de una cartografía hidrográfica de buenas precisiones y con un costo de tiempo lo más reducido posible, por lo que pensar en realizar una batimetría con lo mencionado hasta ahora sería limitar el producto a una pérdida de información al tomar puntos que equidisten una cantidad arbitraria entre ellos, una mayor dedicación en cuanto a tiempo se refiere y dificultad a altas profundidades.

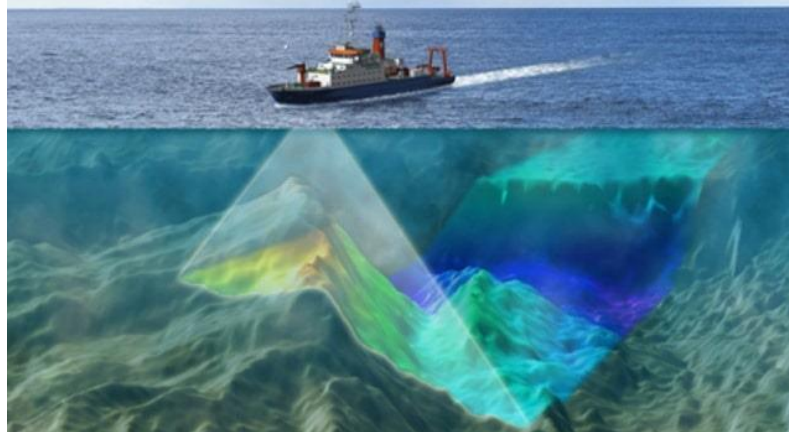
Lo que generalmente se emplea en el día a día como solución a todas estas limitaciones es emplear una ecosonda/sonar (o incluso mediante láser emitiendo con una longitud de onda  $\lambda$  específica), montado en una plataforma, desde diferentes tipos de buques hasta drones aerotransportados o marinos. Sus diferencias suelen principalmente el rango de profundidades que se pueden llegar a alcanzar y las precisiones obtenidas, aunque pueden presentar cierta correlación y cumplimentarse entre ellas como será visto posteriormente.

En suma, una de las definiciones que se le puede asignar a este concepto de batimetrías sería la que ofrece el siguiente blog topográfico:

*“La batimetría estudia las profundidades marinas y se podría decir que es el equivalente, debajo del agua, a la altimetría. No solo estudia la profundidad de los fondos marinos, sino que también se encarga del estudio de los lagos, ríos y en general de toda la superficie que se encuentra cubierta de agua.*

*Podríamos definir de forma precisa una batimetría como la ciencia que estudia la topografía de las zonas cubiertas por aguas marinas o continentales.”* (Villamandos, 2022)

Para tener una primera toma de contacto y aproximación a lo que es una batimetría, se acompaña junto a este párrafo la siguiente figura que ilustra la situación aparente de lo que sucede constantemente en una toma de datos propia de esta ciencia.



**Figura 13** Imagen temática propia de una batimetría **Fuente:** GeoInnova

Lo que ocurre en la captación de datos de este método, es que el sonar está constantemente emitiendo ecos de sonido que barren la superficie marina y el receptor que recibe el eco de vuelta los transcribe en forma de un punto tridimensional, es decir, puntos de coordenadas planimétricas y altimétricas. Esta idea será explicada en mayor profundidad en el siguiente punto, en donde se detallarán todos los conceptos físicos y factores que intervienen en un levantamiento batimétrico.

### 3.2.- Ciencia correspondiente a las técnicas batimétricas

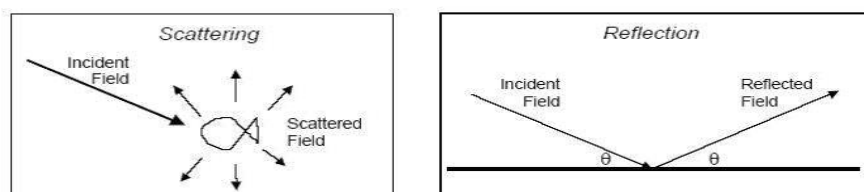
Como se ha visto en el primer punto de este tercer capítulo, se cuenta con un dispositivo que emite ondas sonoras hasta alcanzar cualquier elemento presente en la superficie acuática. Por ello, es necesario de una explicación física y su enlace con la topografía para lograr entender la mecánica que sigue. Para este correspondiente apartado se desglosarán una serie de aspectos importantes a enunciar, entre ellos temas relacionados como la señal y factores a tener en consideración.

#### 3.2.1.- Fenómenos físicos presentes en batimetrías

Para explicar lo que sucede en una toma de datos de este tipo, es importante conocer que aspectos físicos toman presencia durante el levantamiento. El concepto de sonar deriva de las siglas *Sound Navigation And Ranging*, el cual recoge toda la información submarina con los datos proporcionados por la transmisión de ondas sonoras.

Al tratarse de ondas, su física queda explicada por la teoría de ondas y todos los fenómenos de esta que se manifiestan en un evento de este tipo, y como la señal es directamente dependiente de estas ondas, hay dos conceptos que por este motivo se producen y condicionan la señal, siendo la reflexión y la dispersión.

En el momento que una onda sonora colisiona con una superficie rígida se distinguen estas dos propiedades la textura de la frontera. En el caso de que la superficie sea lisa en comparación con la longitud de onda de la onda transmitida, de acuerdo con la Ley de Snell se producirá una reflexión en donde el ángulo reflejado será igual al de incidencia. Por el contrario, si la textura es rugosa, siendo más acorde a la realidad topográfica de las superficies marinas, se produce una dispersión de la señal en todas direcciones.



**Figura 14** Fenómenos de dispersión y reflexión (respectivamente) **Fuente:** Ingeniería de ondas



## Elaboración de cartografía portuaria y su implementación en SIG

La onda emitida se propaga por el medio a una determinada velocidad, en el caso de un SONAR esta onda es sonora, que son consideradas ondas de tipo elásticas. No obstante, es más apropiado hablar de celeridad, dado que esta onda es esférica al ser capaz de transmitirse en todas direcciones. Realmente, esta celeridad no presenta un componente constante, es decir, varía en función de diferentes condicionantes que serán comentados en el apartado de factores que alteran la señal de este mismo capítulo. Aun con lo mencionado, sí que se van a presentar algunos de ellos a través de la siguiente expresión física que explica el componente de celeridad de la onda en un medio marino.

$$c = 1448,96 + 4,591 T - 5,304 \cdot 10^{-2} T^2 + 0,0163 D + 1,34 (S - 35) \quad (\text{ecu. 1})$$

Donde se le llama  $c$  a la celeridad en m/s,  $T$  es la temperatura en Celsius,  $D$  la profundidad expresada en m y  $S$  la salinidad en partes por mil.

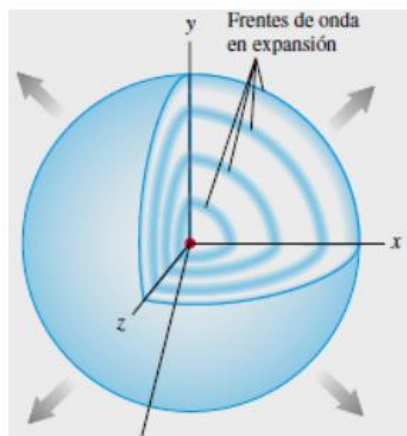
Esta ecuación 1 es una versión simplificada, pues la expresión abarca más operaciones pero que, sin embargo, su contribución al resultado es relativamente despreciable. Por lo que se puede deducir, estas variables condicionan a la celeridad, y por tanto, antes de iniciar un levantamiento batimétrico conviene tener un instrumental específico para medir estas componentes y, obtener en definitiva unas coordenadas más precisas.

El efecto Doppler también cobra presencia en este tipo de trabajos, ya que permite conocer el cambio de frecuencia en las ondas sonoras en el momento que existe movimiento entre el emisor y el receptor. Esto ayuda en la medición de perfiles de velocidad en ese tipo de fluido, que contiene partículas en suspensión como puede ser la arena u otros sedimentos que también son condicionantes de la calidad de la señal.

### 3.2.2.- Factores que alteran la señal

Las ondas emitidas viajan por el medio oceánico y estas pueden sufrir pérdidas en su transmisión, en su defecto, produciendo una atenuación en la intensidad relacionado al frente de onda. En estas transmisiones principalmente corresponden a diferentes factores que se proceden a enunciar a continuación:

- Expansión del frente de onda: Posee elevada correlación con la profundidad. Queda explicado al reflexionar sobre la distribución de la energía en un modelo ondulatorio que sigue el principio de Huygens-Fresnel, aplicando a esta problemática en la propagación de las ondas sonoras.



**Figura 15** Frente de onda – Principio de Huygens **Fuente:** Campus FFYB

La figura anterior pretende respaldar en cierto modo de manera ilustrativa, como la expansión en forma de propagación esférica origina pérdidas de intensidad y, por tanto, de sonido que se produce a medida que la onda se aleja del emisor de la señal, o dicho de otra forma en este contexto, conforme más profunda se halle la superficie marina. De este modo, es intuitivo pensar que a mayor lejanía de la fuente de emisión mayor superficie abarca la onda, en la que la energía tiene más probabilidades de aminorar. Su afeción en la intensidad es proporcional al cuadrado de la distancia/profundidad, siendo esta una de las principales limitaciones de esta técnica.

- Presión:** Ocupa su repercusión al aumentar la viscosidad del agua a mayor magnitud de esta componente. Esta afección repercute en producir que las ondas se refracten, produciendo consigo un alejamiento desde la zona que contiene mayor viscosidad por la Ley de Snell. Otras repercusiones de la presión son las que se detallan en el documento de Reporte 4 del laboratorio de física II de la Universidad Autónoma de Nueva León en su tema referente al sonido, donde se detalla que *“Las ondas sonoras que se radian hacia el fondo del océano se curvan de vuelta a la superficie en grandes arcos senoidales debido a la presión creciente con la profundidad.”*. De la misma forma, añaden que *“Cada foco en la superficie se denomina zona de convergencia, formando un anillo en el sonar. La distancia y anchura de la zona de convergencia depende de la temperatura y salinidad del agua.”*. (UANL, 2019)
- Gradientes de temperatura y salinidad:** En vista a lo citado en esta última frase, se ha visto como se introduce y a la par se rescata de lo explicado en el breve análisis de la ecuación 1, como la temperatura y salinidad afectan a la determinación de la velocidad del sonido. Como la dirección de propagación de la onda es vertical, no se puede pensar en un medio homogéneo en donde las características sean iguales. Este caso ideal únicamente se daría en un movimiento horizontal (en un medio marítimo), en donde las variaciones de temperatura y la salinidad carecen de importancia al suponer un medio de densidad constante de la misma forma que la presión y la estratificación acuática. A mayor magnitud de estas características más aportación en forma de incremento supondrá a la componente de celeridad acústica.

En su mayor medida, estos cambios son verticales (aunque más tarde se verá como no es completamente perpendicular a la lámina de agua), cuya dirección coincide con la emisión de una señal SONAR. Se ha visto entonces, como las variaciones de estas componentes afectan a la señal y por este motivo deben ser cuantificadas para poder ejecutar un levantamiento batimétrico preciso, realizando calibraciones previas a la toma de datos con un instrumental específico y extrapolar el modelo lo suficiente para que se tengan valores a diferentes profundidades.

### 3.2.3.- Parte topográfica

Los objetivos físicos expuestos ofrecen una visión del comportamiento que puede tener la señal, pero no llega a explicar por sí sola la metodología a seguir para la captura de datos. Es la topografía la que puede explicar el sentido, los procesos y requerimientos a seguir para conseguir datos posicionales a través de la señal del sonar. Para explicar esta parte, se subdividirá este punto en diferentes aspectos que aportan la rama topográfica.

#### *Equipos*

Para la obtención de las coordenadas es necesario contar con un gran equipo de posicionamiento GNSS. En este se emplea un equipo que actúe de fijo, que compara de manera continua la posición aparente ofrecida por una o varias constelaciones satelitales ( $X_S, Y_S, Z_S$ ) respecto a unas coordenadas conocidas *a priori* con gran precisión ( $X_f, Y_f, Z_f$ ); y otro de móvil, que recibe en cada instante las diferencias entre estas coordenadas, que servirán de correcciones al móvil o móviles en el caso de emplear dos o más receptores para tener la posición real de estos.

Con el GPS se consigue aportar una planimetría al modelo levantado, en definitiva, unas coordenadas X e Y a las que se les debe disociar la cota obtenida del equipo de posicionamiento y asignar las profundidades respectivas a cada punto, donde para ello se debe iniciar una operación de sondeo mediante un instrumental sonar.

Mediante la ayuda de estos dos equipos fundamentales se obtiene un producto final con extensión .xyz en las que las columnas se identifican como ( $X_i, Y_i, profundidad_i$ ), siendo  $i$  un punto cualquiera del modelo final, el cual servirá para operaciones y generación de cartografía en postproceso de gabinete.

### **Metodología**

Pese a la gran variedad de técnicas que se pueden seguir para realizar batimetrías, el de metodología GPS permite alcanzar grandes precisiones en escasos tiempos de observación, siendo por ello uno de los métodos más eficaces en captación de datos de profundidades en aplicaciones de topografía hidrográfica.

Ante el empleo de una u otra metodología, las diferencias suelen darse por el instrumental empleado, que a su vez condicionará la estrategia de trabajo, pero comparten un aspecto fundamental y es el comentado previamente que, a su vez, queda respaldado por el siguiente comentario del temario de levantamientos batimétricos de la UPM:

*“Al igual que en levantamientos convencionales, en las batimetrías la finalidad será la obtención de las coordenadas (X,Y,Z) de todos estos puntos. La parte más compleja y que caracteriza a los diversos métodos de levantamientos batimétricos es la determinación de la profundidad.”* (M.Farjas, s.f.)

Esta cita, recuerda la existencia de dos *datums*, uno para posición horizontal y otro para el vertical. Estos *datums* o superficies de referencia para el caso del Puerto de Valencia son:

- Datum horizontal: ETRS89 UTM Zone 30N.
- Datum vertical: Nivel medio del mar en Alicante (Común para península y baleares).

El procedimiento comienza con la recepción de correcciones diferenciales de posición absoluta, que se emiten a los receptores móviles tal y como ha quedado descrito en la explicación del equipo GPS del bloque previo. En adición, se debe explicar que con un segundo receptor móvil la posición dada es más precisa que si en cambio se emplease solo uno al poder triangularse las posiciones en más de una antena. En los mismos instantes, la sonda comienza a emitir y recibir datos de profundidades donde a través del NMEA, que es un tipo de mensaje en donde se incluye el instante de la toma de posición en tiempo GPS, se garantiza la asociación de cada valor de profundidad a su respectivas coordenadas GPS en un determinado instante del sondeo. Un factor que no puede pasar desapercibido es el hecho de que las cubiertas acuáticas son variables en todo momento, lo cual se traduce en un posible falseo del posicionamiento. Para ello se debe instalar una tecnología de inerciales ante una situación de velocidades del barco, corrientes y oleajes entre otros. Su aportación es atribuida a la determinación de la posición relativa del barco, registrando movimientos del eje del barco, pudiendo calcular de manera continua la velocidad del barco y estimar su posición y orientación. El registrar estos giros aportará una mejoría en la calidad de los datos finales consiguiendo mejores resultados, haciendo frente a estas situaciones continuas y conflictivas que se dan en el mar.

### **Precisiones**

Aunque pueda hacerse una aproximación a la determinación de precisiones, se ha de saber que en este aspecto también afecta tanto el equipo como la metodología escogida. Siguiendo con el caso de lo expuesto para estos dos temas en concreto tal y como se han descrito previamente, se habla del orden de  $2 - 3 \text{ cm} + 1 \text{ ppm}$  de manera general. No obstante, como se ha visto, existen muchas componentes que afectan a la señal de ondas acústicas: El entorno en el que se realizan esta clase de trabajos que son variables de manera constante y los propios errores instrumentales que aportan estos sistematismos y errores accidentales.

De la misma forma que se comenten errores en la posición absoluta también se cometen en el posicionamiento relativo, el cual sirve asimismo para aplicar correcciones a los diferentes movimientos que sufre el barco. Los IMU instalados también tienen una determinada precisión en torno a  $0.02 - 0.05^\circ$ , y en algunos casos pueden aplicarse correcciones de altura de olas de un error aproximado de 5 cm de manera general. Existe un largo etcétera de diferentes rasgos que determinan la precisión global del modelo, pero como se puede ver, al existir tantas componentes que contribuyen al error cometido se traduce todo ello en precisiones entorno a los 7-9 cm en un levantamiento batimétrico.

### 3.3.- Sonda batimétrica (SONAR)

Todo lo recogido hasta el momento en referente a la señal es asociado a la emisión a través de una sonda, siendo generalmente el instrumento fundamental a la hora de la realización de batimetrías. Proveniente del acrónimo (*Sound Navigation And Ranging*), esta viene montada en una plataforma móvil como puede ser un buque, y es la que facilita la determinación de profundidades en diferentes puntos de una toma.

Volviendo a hacer uso de la fuente de la referencia cinco en la que se mostraba una definición de batimetrías, en este mismo blog se explica también el uso que se le da al sonar y su aplicación directa en la toma de datos.

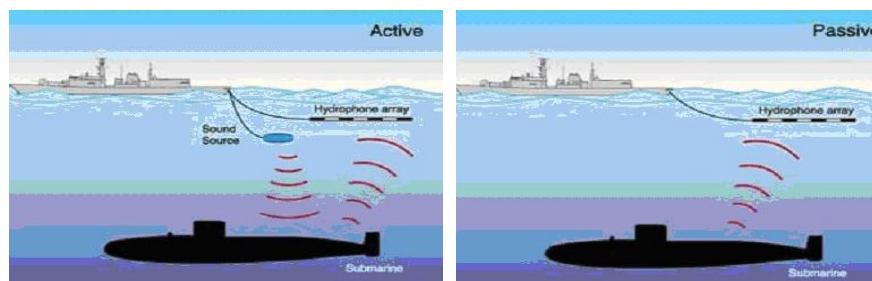
*“El concepto se basa en la transmisión del ruido a través del agua; si conocemos la velocidad en el medio, podemos emitir un ruido y calcular la distancia a un objeto midiendo el tiempo que tarda en rebotar en el objeto y ser recibido de nuevo.”* (Villamandos, 2022)

No hay únicamente una tipología de este instrumental, existen diferentes diseños con funcionalidades distintas en cuando a aplicaciones batimétricas se refiere y en base a la forma en la que se emite la señal. Para el caso de aplicaciones, se discriminan en la siguiente tipología:

1. **Monohaz:** En la actualidad no guarda especial dedicación por el uso limitado que ofrece, pues únicamente emite un haz acústico permitiendo abarcar zonas de poca superficie en comparación con otros. Por tanto, en caso de querer sondear una zona amplia de grandes dimensiones aumenta el costo temporal del levantamiento.
2. **Multihaz:** A diferencia del sonar monohaz, este emite varios haces acústicos de forma simultánea en diferentes direcciones. Ello forma un abanico que permite barrer toda la superficie marina en menor tiempo que el monohaz y por tanto cubrir zonas de gran superficie.
3. **Laterales (*Side Scan Sonar*):** En este caso, los ecos son emitidos de forma lateral y con anchura constante que se desplaza con el movimiento de la plataforma en la que vaya a bordo. Además de medir la reflectividad del fondo, lo que permite conocer la textura de la roca a través de la medición de la relación entre energía emitida y la devuelta, caracteriza las diferentes irregularidades que se presencian en el terreno.

Por otro lado, en función de su relación emisión/recepción se pueden encontrar dos tipos:

1. **Sónar activo:** La señal es lanzada por un emisor, donde al entrar en contacto con un obstáculo es enviada de vuelta esperando a ser recogida por un receptor. Recordando lo ya mencionado con anterioridad, conociendo la celeridad del sonido y midiendo los tiempos precisos de la señal y contando con un sistema GPS, es posible conocer las coordenadas de un obstáculo, así como de sus características.
2. **Sónar pasivo:** Su metodología se limita a recibir el sonido proveniente de los objetos que se encuentren sumergidos, reconociendo el ruido proveniente de esta fuente.



**Figura 16** Clasificación de SONAR por emisión-recepción de la señal **Fuente:** Ingeniería de ondas I



### 3.4.- Sinergia entre drones y buques

Hasta el momento, se ha estado refiriendo de manera general a los medios encargados del transporte y de la instalación de estos dispositivos de emisión como plataformas. A continuación, se va a explicar la aportación de estas en los levantamientos batimétricos y que formas pueden adoptar.

El objetivo principal es el de barrer toda la zona de estudio de manera que transporte a todo el instrumental, en el que parte de este se destinará a registrar el posicionamiento relativo de la plataforma para aplicar correcciones en su posición absoluta con fines de mejoría en la precisión. El hecho de hallarse en un entorno marítimo no implica necesariamente que la plataforma de barrido debe adoptar una figura similar a la de un buque. La tecnología ha conseguido desarrollar múltiples “esqueletos” para estas aplicaciones con fines de solventar problemáticas que cierta manera los barcos no pueden.

Para explicar estos inconvenientes es necesario incluir en este apartado el concepto de calado. Este denota la profundidad que un barco necesita para que pueda flotar libremente, y por razones naturales, en el mar pueden existir zonas conflictivas en las que la entrada de un barco a ese recinto no sea posible por este concepto propiamente dicho. No obstante, esto no implica que esas áreas no puedan ser cartografiadas. Frecuentemente estas zonas suelen atribuirse a cercanías a muelles o escolleras, e inclusive proximidades a los pilotes de un pantalán, y a pesar de que pueden considerarse diferentes técnicas de navegación en cuanto a maniobras se refiere para que el alcance de la sonda logre cubrir estas porciones, existen métodos alternativos que posibilitan tomar estas franjas.

Surgen los drones, tanto terrestres como acuáticos a modo de solventar estas peculiaridades que se pueden presentar. Ordinariamente la precisión de estos al tener movimientos sobre superficies diferentes será por ende distintas. A pesar de que cada uno presenta ventajas diferentes, la implementación del dron acuático se ha visto altamente fortalecida en batimetrías por la gran cantidad de capacidades y potencial que puede aportar a un levantamiento de este estilo. De entre ellas puede destacar que el calado es igual a la altura de este, pues puede sumergirse por las profundidades, y al tratarse de un instrumento con dimensiones reducidas en comparación con las de un buque, esta característica es una gran aportación. El hecho de que esta plataforma pueda sumergirse, adentrándose en el área de toma de datos permite explorar a fondo diferentes zonas de difícil toma de datos o que requiera más grado de detalle, incluso con la incorporación de una cámara de gran calidad se puede tener una colección de imágenes del fondo, siendo un producto que de otra manera no podría obtenerse.

Como se puede apreciar, existe una gran sinergia entre estas dos plataformas, mientras que un barco puede tomar datos a mayor velocidad y cubriendo más superficie por segundo, el dron acuático puede servir para una primera toma de datos en caso de desconocer el perímetro con el pensamiento de que el calado puede no ser suficiente en diferentes tramos del fondo, o bien para sacar detalles de alta resolución para aplicaciones más parciales.



*Figura 17 Apariencia de dron acuático para batimetrías **Fuente:** Propia*

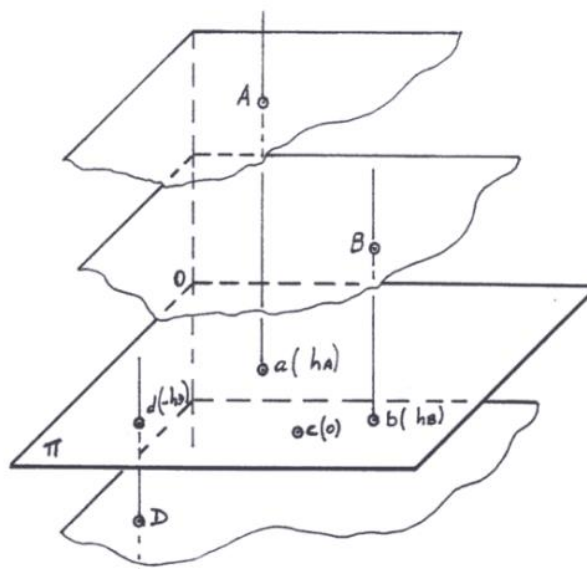
Aun cuando un dron que opera sobrevolando la zona también pueda considerarse buena alternativa, se presencian gran cantidad de aspectos que no puede cubrir del dron acuático, por lo que habría que valorar cada situación los objetivos que se plantean junto con sus tolerancias. Esto último que se ha mencionado es importante tenerlo en consideración, ya que en base a lo que se desee obtener, una plataforma será más o menos apropiada. El dron acuático necesita de una grúa o un brazo mecánico montado en un camión para adentrarse en el mar, por lo que para enfoques en lagos o ríos puede resultar inapropiado, siendo el dron terrestre la opción más viable para realizar el sondeo. Además, se imposibilita por razones irrefutables el hecho de introducir un barco para estas superficies de agua. El problema que existe en el dron terrestre es precisamente el sobrevuelo, el cual para poder efectuar este tipo de levantamiento se debe precisar previamente de los respectivos permisos, que en ocasiones según la zona es posible en el peor de los casos que se imposibilite el vuelo. Para estos casos puede considerarse montar el equipo necesario en una lancha, siendo lo más parentesco a un barco y realizar de la misma forma el sondeo batimétrico.

### 3.5.- Cotas y profundidades (factor z)

Adelantándose a comentarios futuros del documento, cabe matizar en el aspecto de las cotas que ofrece el fichero de salida del levantamiento. Cuando se habla de cotas, ha de referirse a una superficie de referencia, siendo en este caso tal y como se enunció anteriormente el nivel medio del mar en Alicante (como *datum* vertical). Esta superficie delimitará dos fronteras, una positiva y una negativa. Por ello puede definirse la cota como “Se denomina *cota del punto* a la altura de un punto sobre el plano de referencia  $\pi$ ; puede ser positiva ó negativa según que el punto esté situado por encima ó por debajo de dicho plano.” (Cartagena99, s.f.)

Sin embargo, para este tipo de trabajos es más indicado hablar de profundidades, que en lo que respecta a su definición posee una gran diferencia respecto las cotas. Podría considerarse a la profundidad de un punto como un caso particular de una cota, en donde esta posee la peculiaridad de que únicamente deben ser negativas. Cuando se trata de un levantamiento batimétrico en donde se pretende cartografiar el fondo marino, las únicas cotas que se pretenden captar son las negativas, o lo que es lo mismo, obtener las profundidades.

Más adelante se verá, que realmente todos los *softwares* lo refieren como cotas, pues podrá haber rebotes o ruido de la señal en donde su cota será positiva. En definitiva, se ha de conocer que existe un factor z para que el operador pueda tratar estas cotas de la manera que más cómodo o útil le resulte. Si el resultado de salida está con cotas positivas, para pasarlo a profundidades se deberá aplicar un factor de cotas del valor de -1.0000, logrando mantener el valor de la cota tomada y poder trabajar con profundidades y viceversa.



**Figura 18** Sistema de cotas respecto a un plano  $\pi$  **Fuente:** Sistema acotado / Cartagena99

## Capítulo IV. Equipos y procedimientos para sondeos

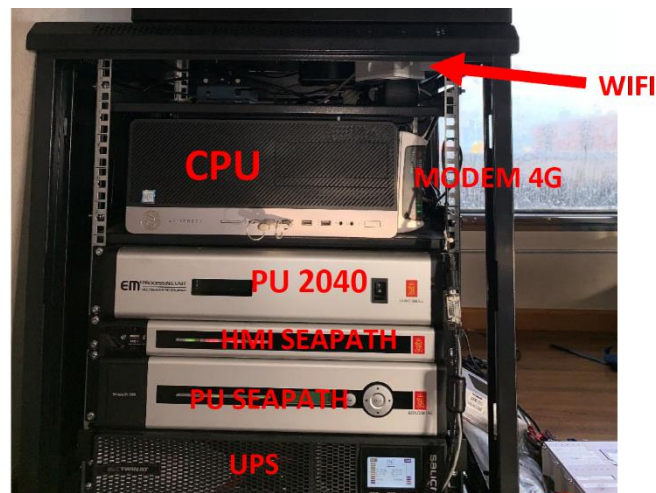
Dando por conocida la teoría de ondas acústicas y diferente física aplicada a las batimetrías con los conocimientos topográficos que ello implica, en este apartado se tratarán los equipos empleados para llevar a cabo una toma de datos por sondeo. Se busca explicar la función de cada equipo tanto a nivel electrónico como de software, así como desglosar en parte el protocolo a seguir para realizar con éxito el levantamiento en esta fase.

### 4.1.- Equipos electrónicos

La plataforma con la que se va a realizar el levantamiento batimétrico es un buque en el que se van a instalar todos los dispositivos que se van a proceder a enumerar a continuación.

#### *Rack*

Dentro del *rack* se incluirán todos los equipos electrónicos necesarios para la puesta en marcha de la ecosonda multihaz, que efectuará el barrido para la toma de datos. Este consta de diferentes *hardwares* con distintos fines, desde la CPU del ordenador principal, hasta radio de correcciones RTK.



Correcciones RTK son recibidas a través de un modem radio *Satellite Easy Pro*.

**Figura 19** Sistema de hardware - Rack **Fuente:** Propia

#### *Ordenador HP sobremesa*

Sobre este equipo se realizará el seguimiento de la toma de datos en tiempo real haciendo uso de dos softwares fundamentales para batimetrías: Hypack y SIS. En este se introducirán las llaves de los programas para reconocer las licencias de los programas propiamente nombrados y recolectar a la vez de someter a un tratamiento a los datos batimétricos. Se cuenta a su vez con los siguientes componentes:

- EM2040 Processing Unit (unidad procesadora de la EM2040).
- HMI Unit (Seapath sensor de rumbo, altitud y posicionamiento).
- Processing Unit (Seapath sensor de rumbo, altitud y posicionamiento).
- SAI 2000VA Para alimentar todos los equipos electrónicos.

#### *Monitores*

Para poder llevar a cabo el trabajo es necesario al menos cuatro monitores en los que se puedan cargar diferentes aplicaciones, para tener un seguimiento de todas las características de la operación y comprobar en todo momento que no haya fallas durante el sondeo. Cada monitor muestra diferentes características de interés y se dividen en los siguientes:

Elaboración de cartografía portuaria y su implementación en SIG

- **Monitor de 19" (Seapath):** Este se encuentra instalado encima del rack. Ofrece información referente al *software Seapath* que más adelante será explicado en el apartado de programas batimétricos, siendo estos datos el rumbo, posicionamientos y altitud.



**Figura 20** Monitor con display al Seapath **Fuente:** Propia

Además de esto, existe especial importancia en mirar antes de empezar a tomar datos de que todas las gráficas estén en verde y que el valor correspondiente a la gráfica de la esquina inferior derecha sea 0.01 m. Esto significa que la señal se ha fijado y que en esos instantes se tiene una buena precisión, por lo que se puede proceder a la toma de datos.

- **Monitor Ultrapanorámico:** Es en donde se trabajará constantemente con los softwares de adquisición de datos (tanto batimetrías como velocidades del sonido). Se podría decir que es el monitor principal, aunque como se puede deducir, ello no significa que sea el más importante, pues cada uno reflejan información diferente, pero de gran importancia.
- **Monitor marinizado de 19":** Aunque este trabajo sea puramente topográfico, el topógrafo siempre irá acompañado de un patrón que será el encargado de manejar el barco. El monitor marinizado se destina justamente a esta persona, a fines de planificaciones y seguimiento del levantamiento batimétrico.
- **Monitor de 24":** Se utiliza a modo de apoyo para colocar diferentes ventanas de interés en cada momento. Estas ventanas suelen ser la ventana de *runtime parameters*, para poder configurar en tiempo real distintos parámetros de la sonda (*in situ*) y la nube de Hypack.



**Figura 21** Montaje completo del equipo electrónico para batimetrías **Fuente:** Propia



## 4.2.- Conexión de equipos

La manera de proceder es la siguiente: En primer lugar, se deben de enchufar todos los equipos, se enciende el SAI y el resto de equipos electrónicos que se encuentran instalados en el rack (tal y como quedan mostrados en la figura anterior), además de haber introducido las llaves de los programas. Lo siguiente que se ha de atender, es el monitor de seapath para verificar que todo está correcto, siendo esta situación dada cuando los gráficos están en verde y se alcanza la precisión de 0.01 m.

Con estos matices ya efectuados se deben de arrancar los programas informáticos que darán paso al sondeo para la toma de datos. Estos son principalmente Hypack, SIS y Seacast, donde a continuación se explicará en mayor detalle para qué es empleado cada uno de ellos.

### 4.2.1.- Softwares batimétricos

#### *SIS (Seafloor Information System)*

Este es el programa principal de la sonda multihaz que permitirá ajustar los parámetros de esta al levantamiento en concreto. Explican los desarrolladores en su manual oficial y la describen como una interfaz intuitiva y sencilla que proporciona la funcionalidad necesaria para un levantamiento eficiente. Añaden también el siguiente comentario:

*“One major achievement in SIS is the capability to do real time data cleaning of bathymetric data. This is now possible thanks to increased computer speed and highly optimized software programs, which is needed because of the very high data volume produced by the new generation survey instruments.”* (SIS, 2013)

Cada información que se muestra en el panel puede ser modificada por el operador ajustándose a sus preferencias, y existen diferentes ventanas a las que atender para configurar el levantamiento. Se encuentran ventanas gráficas para comprobar la calidad de la entrada del sensor y de los datos producidos. Una de las aportaciones de SIS, es que es capaz de supervisar de manera constante los datos de entrada a efectos mejorar la calidad de los mismos.

Posee una ventana geográfica en la que se puede seguir en todo momento la posición, e incluye también el mostrar un modelo terreno en 2D y 3D para visualizar líneas de medición planificadas y el levantamiento en tiempo real. Se acompaña de un módulo de planificación que posibilita la opción de definir y editar líneas de planificación y crear regiones topográficas.

Lleva incorporado un algoritmo de marcado automático de sondeos a efectos de limpieza de datos, donde es posible que existan sondeos que deban ser eliminados, garantizando por esta parte un menor tiempo en postproceso.

Otro aspecto que cabe comentar es el GPS RTK y entrada de mareas. Permite al operador utilizar modelos del geoide en tiempo real, y el programa calcula las distancias verticales desde la referencia vertical, del geoide y del elipsoide hasta el fondo marino. Lo que se consigue con esto es eliminar efectos del oleaje y de las mareas en los datos de entrada, y todo ello conforme la marcha de la batimetría.

Tras el arranque del programa se pone en disposición el *display* que se puede observar en la siguiente ilustración. En él se encuentra el botón *pinging*, que será el que hará que la sonda comience a transmitir a la par que recibir los datos. Aunque antes de ello se deberán especificar determinadas componentes para ajustar el sondeo al levantamiento que se pretenda ejecutar.

Elaboración de cartografía portuaria y su implementación en SIG

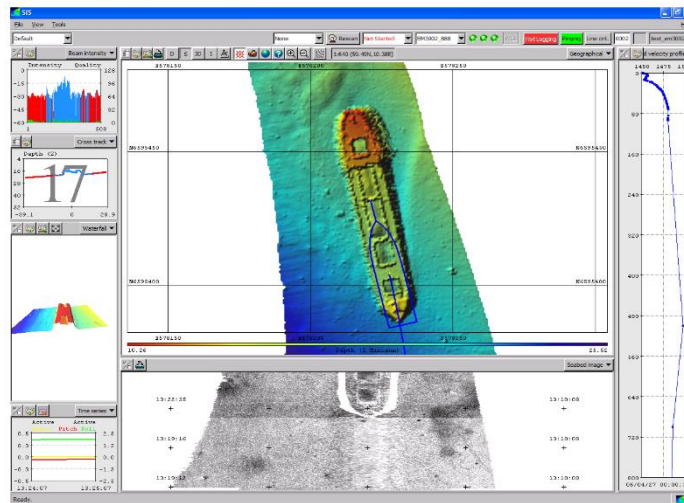


Figura 22 Display principal del SIS Fuente: Propia (SIS)

Existe una ventana que resulta fundamental, la llamada *runtime parameters*. A partir de ella se definirán los parámetros para trabajar con la sonda multihaz, y es muy importante no cerrarla durante el levantamiento debido a que permitirá modificar cualquier variable y encauzar el levantamiento ante todas las situaciones que se puedan presentar. Dentro de esta se pueden encontrar los siguientes desplegables:

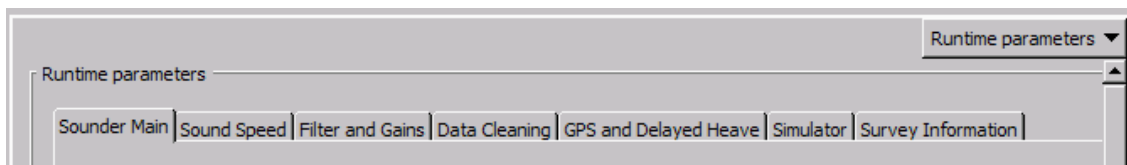


Figura 23 Desplegables de la herramienta runtime parameters Fuente: Propia (SIS)

Cada uno de estos permiten definir diferentes parámetros de la sonda. Se emplean como variables iniciales y previas al sondeo.

**Sounder main**

Es empleado para establecer el modo de pulso, la profundidad, espacio entre haces, la cobertura de barrido y la estabilización.

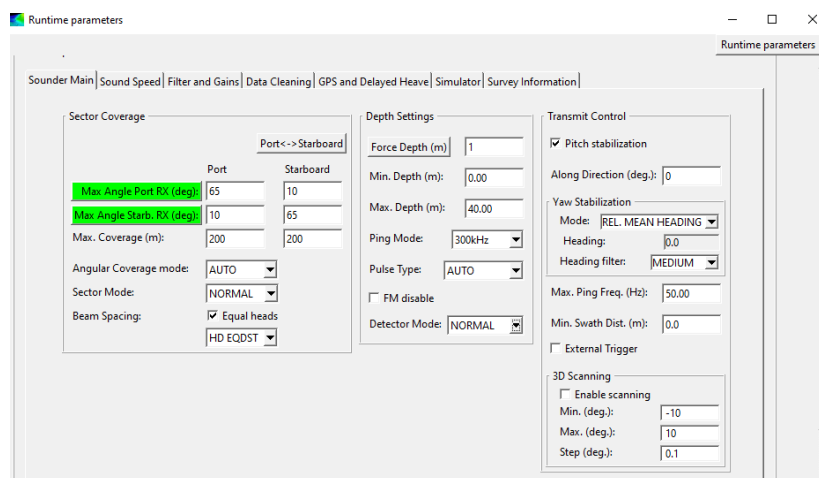


Figura 24 Parámetros contemplados en sounder main Fuente: Propia (SIS)

## Elaboración de cartografía portuaria y su implementación en SIG

---

De entre ellos, los parámetros fundamentales a adecuar al levantamiento son los ángulos, la variable *along direction*, y la frecuencia (*ping mode*), y es posible modificarlos mientras se realiza el sondeo.

Este desplegable está conformados por tres bloques:

1. **Sector coverage:** Puede modificar la disposición de la sonda, es decir, abrir o cerrar según la conveniencia del momento el ángulo de emisión de la sonda. El equipo dispone de una sonda Multihaz de doble cabeza (un transmisor y dos receptores). El receptor de babor está 30° inclinado y corresponderá a la columna de *port*, y el receptor estribor corresponderá a la columna de *starboard*. Según la cobertura a alcanzar se puede abrir o cerrar los haces de los receptores.

Como ya se ha comentado, son los parámetros *Max Angle Port RX* y *Max Angle Starb* los que se irán modificación según el trabajo y la profundidad.

2. **Depth settings:** Este bloque contiene valores de profundidades máximas y mínimas, y frecuencia entre otros. El valor que comúnmente es modificado corresponde precisamente el último nombrado, y se altera en base a que se esté tomando, el fondo marino o los muelles. En base a estos dos trabajos, que son los que se realizan mayoritariamente por parte de la APV, se pueden encontrar diferentes configuraciones:

### Ping Mode

- F=300 kHz para Batimetrías del Fondo.
- F=400 kHz para inspección de Muelles (muy buena resolución).

### Detector Mode (En función de la zona a Sondar (Fondo, Muelle, Tuberías) ...

- Normal: Batimetría del Fondo.
- Waterway: Inspección de Muelles.
- Tracking: Tuberías.
- Minimum depth: Pecio.

La frecuencia que marca no es más que la cantidad de puntos que se obtiene. Para casos más específicos en los que se requiera de un mayor grado de detalle resulta sustancialmente útil, y su diferencia es notable tanto a nivel visual como de procesado al contar con mayor cantidad de información.

3. **Transmit control:** Se marca la opción del estabilizador del pitch solo en caso de querer “mirar atrás”, cuya aplicación suele darse en muelles de pilotes. El valor del ángulo *along direction* es también dependiente del trabajo que se esté realizando. Para el caso de batimetrías de fondo, su valor será 0, y en caso de estar en inspección de muelles adoptará tres valores: [0,10,-10]. Por tanto, para este último trabajo deberán hacerse tres pasadas en el mismo sentido (a babor, pues es donde está instalada la sonda) con cada uno de estas tres cifras.

### **Seacast**

Corresponde al gestor de los archivos de la velocidad del sonido. En él se pueden acceder a los datos tomados con el perfilador y cargarlos al SIS para mejorar la precisión del trabajo al determinar con precisión el valor de la velocidad del sonido.

Posteriormente a la toma de datos con perfilador *in situ*, se procede con la apertura del *software* que permitirá importar los perfiles de subida y bajada y cargarlos. Los datos que se muestran son valores de velocidad, presión

Elaboración de cartografía portuaria y su implementación en SIG

y temperatura que ha podido tomarse hasta la profundidad máxima, y de manera automática, interpolará los valores de estas variables a profundidades mucho mayores.

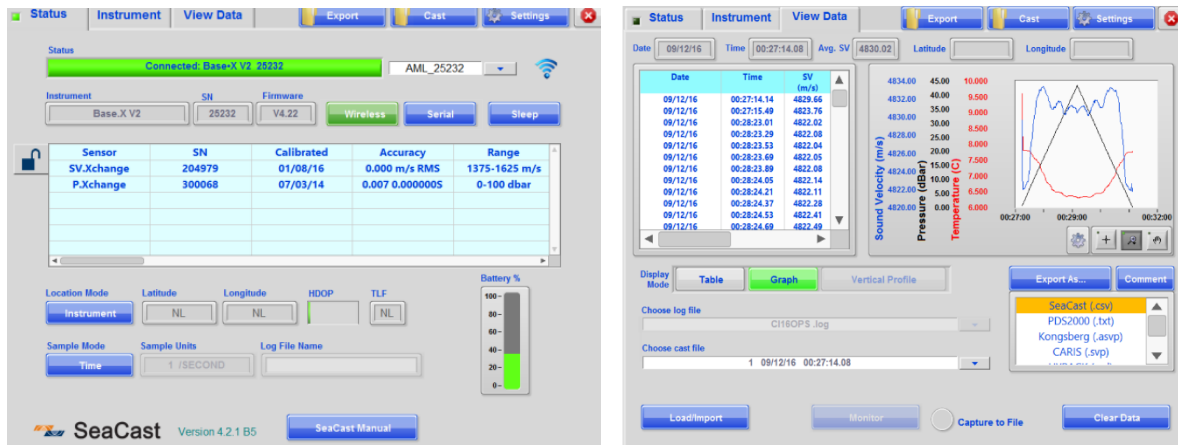


Figura 25 Interfaz de Seacast para gestión de perfiles de velocidad del sonido Fuente: Seacast

Una vez comprobado que todo se encuentra correctamente, se ha de especificar una ruta de carpeta para guardar un output de las velocidades en formato .asvp. Con su guardado, se retorna al programa SIS para cargar el perfil y usarlo desde la ruta Runtime Parameters/Sound speed/use Sound Speed Profile.

Con el perfil de velocidad ya definido y los parámetros especificados para la zona a sondear ya puede arrancarse Hypack para proceder con la toma de datos.

Hypack

El motivo por el que se emplea este software es dado la completitud y cantidad de herramientas que se ponen a disposición del operador. Para ver concretamente de que tipos de trabajo se pueden realizar con este programa, se muestra a continuación un estrato rescatado del manual de Hypack, el cual respalda que: “Bien sea que usted este colectando datos de levantamientos hidrográficos o información ambiental o simplemente posicionando su embarcación en un proyecto de ingeniería, HYPACK® le provee las herramientas necesarias para completar su trabajo. Con usuarios que van desde pequeñas embarcaciones de levantamiento con solo un GPS y una ecosonda monohaz hasta buques de levantamiento de grandes dimensiones con sistemas y sensores en red, HYPACK® le da el poder necesario para completar su tarea en un sistema que sus hidrógrafos pueden dominar.” (Hypack, 2020)

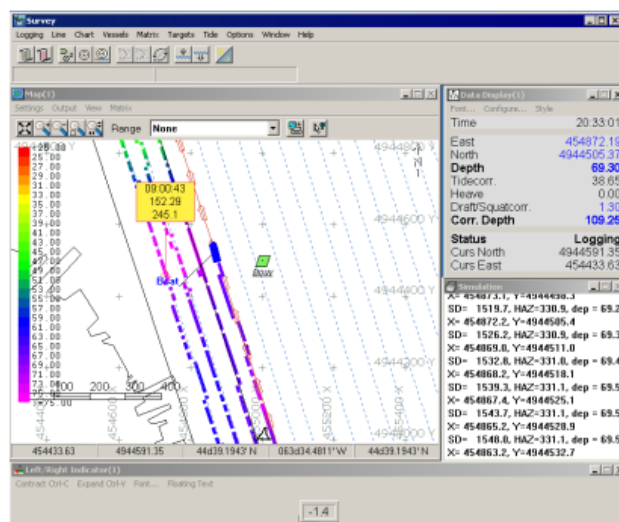


Figura 26 Ventana de levantamiento dentro de Hypack Fuente: Manual Hypack

## Elaboración de cartografía portuaria y su implementación en SIG

Esta gran herramienta permite desde llevar a cabo los levantamientos (explicado en el capítulo de ejemplo práctico de levantamiento batimétrico) hasta la labor de procesar los datos (también redactado con más detalle en capítulos posteriores). Su potencial se ve reflejado en las más de 2780 páginas que contiene su manual correspondiente, en donde se explican la funcionalidad de cada una de las herramientas que alberga.

Se destinará una ventana de este *software* para el monitor del patrón, un mapa en el que se reflejará la situación de la batimetría en tiempo real, facilitado las estrategias ante diferentes situaciones y planificación. A complemento se le puede añadir una cartografía de fondo e incluso si fuera necesario, la batimetría de los años anteriores para partir de una situación similar y verosímil de lo que se encuentra en el fondo.

### 4.3.- Perfil de la velocidad del sonido

Ya fue justificado en el capítulo anterior la importancia que recaía sobre la velocidad del sonido, y se comentó a su vez que esta debía ser tomada previamente al levantamiento. El instrumento que permite obtener la velocidad de sonido en una columna de agua se le denomina perfilador. Para los sondeos en este caso, se ha empleado el AML Base X, el cual trata de un equipo portátil con versiones para 100 y 500 metros de profundidad.

Según el Grupo Álava de ingenieros destacan de sus propiedades que “*incorpora funciones adicionales como la conectividad a través de WiFi y la georreferenciación de los perfiles a través de un GPS interno.*” (Alava, s.f.)

El protocolo a ejecutar es hacer una toma de datos del sonido mediante el perfilador, donde primero habrá que extraer el tapón de seguridad para conectar los pines y tras asegurarlo a una cuerda, se toman los perfiles de subida y bajada adentrando el dispositivo al agua. Se ha de bajar el instrumento todo lo que la profundidad permita y tomar en el punto de la zona donde más profundidad exista en la medida de lo posible. En todo momento, en un apartado del SIS se puede consultar el valor usado del perfil, donde si queda marcado en rojo servirá de advertencia para volver a tomar de nuevo el perfil al variar notablemente el valor de la celeridad.

A su vez, es importante conocer que si la zona cambia significativamente se deberá realizar otra toma con el perfilador, pues recordando la física de ondas acústicas, en este tipo de medio la salinidad, temperatura y diferentes características influyen en la determinación de esta variable, por lo que, al cambiar de zona es altamente probable que estas condiciones varíen y por ende el valor de la velocidad del sonido.

Una vez se ha extraído el instrumento tras la toma de los perfiles, se ha de secar con papel para poder proseguir con la conexión que existe en el rack para pasar los perfiles al *software* Seacast.



**Figura 27** Conexión del perfilador al rack para la carga de datos *Fuente: Propia*

Cuando esto ya es realizado se debe realizar el guardado del perfil a emplear (bajada o subida, generalmente este último produce mejores resultados), y arrancar el Seacast para la gestión de dichos perfiles.



#### 4.4.- Desconexión de equipos

Al igual que es fundamental conocer el proceso a seguir para realizar batimetrías, es importante a su vez conocer cómo actuar cuando ha finalizado la toma de datos. En el instante que se termina la sesión del sondeo, nunca se debe olvidar de guardar la carpeta del proyecto generada por Hypack en un disco duro para garantizar la conservación de los datos y poder llevar a cabo operaciones de postproceso en gabinete. Una vez se hayan rescatado todos los datos de la sesión, expulsar con seguridad la unidad de almacenamiento y cerrar todas las aplicaciones abiertas del ordenador principal. Tras ello, se deberá apagar el monitor del Seapath desde el teclado que se encuentra encima del rack, mientras que el resto de los equipos se desconectarán con los botones que lleva incorporado su respectivo dispositivo. Finalmente, se apagará el SAI manteniendo el botón de apagado para pasarlo a modo *load* y guardar las llaves con las licencias de los programas. Además de ello, dejar el perfilador con el tapón de los pines puesto y guardarlo en su correspondiente caja de almacenamiento.

Ante una situación de cerrado sin seguir este protocolo puede producir daños en alguno de los sistemas, derivando en fallos de alguno de los equipos o incluso afectando a los datos si no se cierra correctamente el programa de Hypack, responsable de la captura de datos del levantamiento.

Dado que los equipos topográficos poseen un elevado coste, así como lo tiene también una operación de este estilo, es necesario que todo se mantenga en buen estado, tanto en el momento de operación, como el momento en que se finaliza.

#### 4.5.- Sonda multihaz

Para los levantamientos realizados en el puerto de Valencia, Gandía y Sagunto se emplea la Ecosonda Multihaz EM2040 DUAL RX (MKII).



**Figura 28** Equipo sonda multihaz. *Fuente: Propia*

*“La EM 2040 MKII es una verdadera ecosonda multihaz para aguas poco profundas de alta resolución y banda ancha, una herramienta ideal para cualquier aplicación de mapeo e inspección de alta resolución.”* (Kongsberg, s.f.)

El sistema básico de la sonda viene definido por las siguientes unidades:

- Unidad de procesamiento.
- Estación de trabajo hidrográfica.
- Transductor de transmisión y recepción.

Existe la opción de tener la capacidad de barrido dual, que permite obtener una densidad de sonido dentro de las tolerancias exigidas para que se cumplan con los estándares de cobertura a lo largo del sondeo cuando se tienen altas velocidades en la embarcación. Contando con un transmisor en el que la configuración es de receptor dual, permite aprovechar al máximo el barrido angular.

De entre sus características clave en cuanto a prestaciones se refiere, la página oficial de Kongsberg destaca las siguientes:

## Elaboración de cartografía portuaria y su implementación en SIG

- Ultra alta resolución
- Modo multifrecuencia (consulte el seminario web aquí)
- Imagen del fondo marino
- Amplio rango de frecuencia
- Longitudes de pulso cortas, gran ancho de banda
- Estabilización de balanceo, cabeceo y guiñada
- Transmitir y recibir enfoque de campo cercano
- Profundidad nominal de 6000 m. También está disponible una versión con clasificación de profundidad de 50 m.
- Chirrido FM
- Detecciones adicionales
- Visualización y registro de la columna de agua
- Hilera doble
- Doble RX
- TX doble
- Fácil de instalar

De esta misma fuente, se han podido recoger diferentes especificaciones técnicas de la ecosonda. Ellas quedan plasmadas en la siguiente tabla:

### ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE ECOSONDA MULTIHAZ EM2040 DUAL RX

Rango de frecuencia	200 a 700 kHz
Tasa de ping máxima	60 hz
Sector de cobertura de barrido	Hasta 170° (receptor único) / 220° (receptor doble)
Clasificación de profundidad	Versiones de 6000 metros y 50 metros disponibles
Patrones de haz	Equiangular, equidistante y densidad y ultra alta densidad
No. de haces por ping	512 (RX simple)/1024 (RX simple, barrido doble)/2048 (RX doble, barrido doble)
Vigas estabilizadas al balanceo	± 15°
Haces de paso estabilizado	± 10°
Vigas estabilizadas de guiñada	± 10°

**Tabla 1** Especificaciones técnicas de EM2404 DUAL RX Fuente: Kongsberg (Elaboración propia)

## Capítulo V. Ejemplo práctico de levantamiento batimétrico

Conociendo ya diferentes conceptos y matices de este tipo de levantamientos que han quedado explicadas en los dos últimos capítulos, se va a proceder con un ejemplo práctico típico de una batimetría mediante sondeo del puerto de Valencia. Como se dijo al principio del documento, este organismo debe tratar de la misma manera los datos de los puertos de Sagunto y Gandía, por lo que cada año se realiza una campaña de batimetrías en estos tres puertos para tener el cartografiado del suelo marino. La metodología es la misma para los tres, por lo que únicamente se explicará el caso de Valencia, aunque puede ser extrapolado a cualquier tipo de trabajo de este tipo.

En un levantamiento batimétrico existen dos etapas que pueden ser distinguidas por su cronología. La primera fase será la de la obtención de datos en campo realizando un sondeo cubriendo un área que pretenda ser estudiada. La segunda reunirá todos los procesos a los que se someterán a los datos tomados en campo para la obtención de diferentes productos.

El resultado final de este gran proceso se materializa en forma de plano, concretamente en dos tipos diferentes que serán fáciles de interpretar para aquellas personas que estén experimentados con visualizar cartas náuticas o cualquier topógrafo.

Todos estos productos serán recogidos por el SIG, almacenando cada plano en la ventana emergente del muelle correspondiente para que cualquier usuario de la APV que forme parte del grupo de visualización del mapa que contiene a la *feature class* muelle pueda consultarlo en cualquier momento. Además, existen diferentes aplicaciones a las que se pueden derivar estos productos como se verá al final del capítulo.

### 5.1.- Fase de toma de datos de las profundidades (sondeo)

En esta etapa inicial se deben de seguir los pasos que han sido explicados en el capítulo cuatro. Para comentar este caso práctico se van a acudir a los datos tomados en el año 2022 en el muelle levante, siendo este el más largo que se puede encontrar en el puerto de Valencia. Este muelle conlleva dada su longitud, una complejidad mayor por diferentes peculiaridades que serán tratadas a lo largo de este punto.

Al presentarse un entorno tan grande, hay que barrer una gran cantidad de superficie, y la velocidad de procesamiento de los datos a medida que aumentan la información se ve reducida. Para este puerto en concreto se han dividido los trabajos por dársenas, por lo que existirá un dibujo CAD por cada dársena en el que se representarán en diferentes presentaciones todos los muelles que la compongan.

#### 5.1.1.- Localización, situación y emplazamiento de la zona de estudio

El caso que se va a comentar se sitúa en la provincia española de Valencia, en su puerto correspondiente, más concretamente en la dársena levante, en el muelle de levante. Para cerciorarse más de la zona, se ha preparado un plano que emplaza el muelle, resaltado en azul para tener una idea de las dimensiones que abarca.

### Anejo I. Documento 1

#### 5.1.2.- Actuación dentro de la dársena

Previamente a la salida desde el punto de partida del barco se deben de conectar todos los equipos electrónicos tal y como quedó especificado en el capítulo anterior. A medida que el barco se va aproximando a la zona del levantamiento se debe preparar la carpeta de proyecto en donde se almacenarán los datos que se reciban. A modo de complemento de ayuda, es interesante importar la cartografía del puerto como fichero de fondo, acompañado del fondo de la batimetría del año pasado. Aunque este fondo no explique la situación real de lo que se presenta en la actualidad del momento en que se toman los datos no deberían diferir sustancialmente en el intervalo de un año, por lo que puede servir de aproximación y apoyo para localizar aquellos puntos con una mayor profundidad de la zona para tomar la velocidad del sonido con el perfilador. Para ello, el *software* Hypack pone a disposición del operador diferentes ítems para mostrar en la pantalla del proyecto diferentes elementos cartográficos o utilidades favoreciendo el levantamiento.



Elaboración de cartografía portuaria y su implementación en SIG

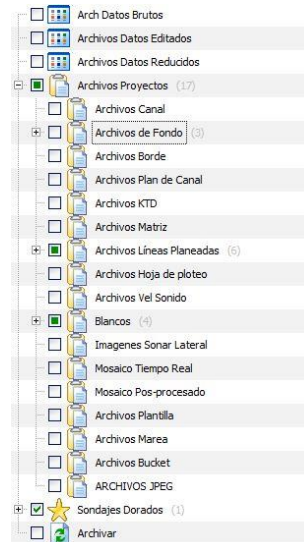


Figura 29 Ítems en el espacio de trabajo de Hypack Fuente: Propia (Hypack)

No obstante, una vez llegado a la dársena se debe de llevar a cabo esta última acción comentada y pasar el perfil de velocidades al SIS, tal y como se ha sido detallado.

En estos ya se conoce el tipo de trabajo que se va a llevar a cabo, lo que lleva implícitamente el hecho de haber introducido los parámetros asociados a este.

5.1.3.- Inicialización del levantamiento

En el momento que ya se ha medido la velocidad del sonido y se haya creado la carpeta de proyecto en donde se almacenarán los datos, se ha de apretar el botón *pinging* del SIS, que debe presentar un tono verde para indicar que la sonda está comenzando a emitir ondas, dando paso a la inicialización del sondeo.

Para recibir los datos y almacenarlos en su correspondiente directorio se debe abrir el programa de levantamiento Hypack & Hysweep. Se abrirán una serie de ventanas con diferentes funciones y una barra de herramientas con diferentes botones que ayudarán en la toma de datos.

Cuando se crea un proyecto en este software, de manera automática se crean unos repositorios que definirán el proyecto. La carpeta que contendrá los datos del levantamiento es la llamada 'Raw'. La manera de almacenar estos datos son con ficheros .HSX, en los que se refleja la línea de navegación en la captura de datos. El nombre de estos viene definido por la hora en la que se comenzó a recibir datos. Estas líneas poseen los puntos en la amplitud definida para esa línea y pueden ser almacenadas en un catálogo que comprenda a varias de ellas, lo que resulta más confortable a la hora de procesar los datos.

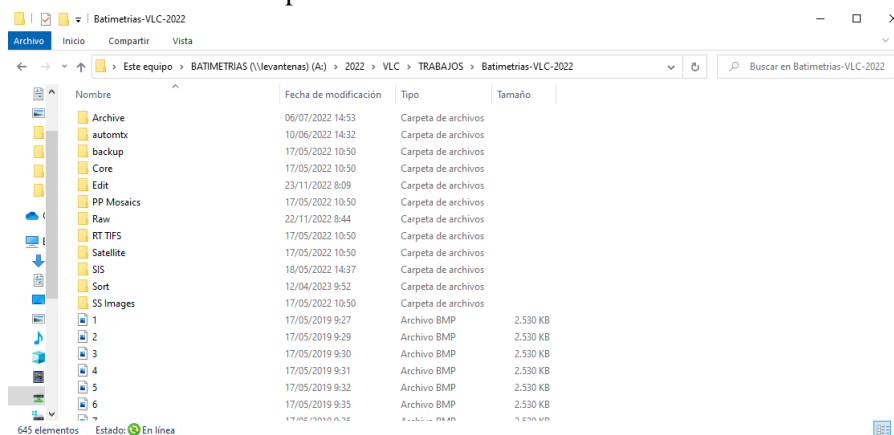


Figura 30 Repositorios del proyecto de Hypack Fuente: Propia

## Elaboración de cartografía portuaria y su implementación en SIG

La barra de herramientas principal permite iniciar y finalizar el levantamiento de una línea, así como cargar diferentes elementos. Los más comunes suelen ser los siguientes:

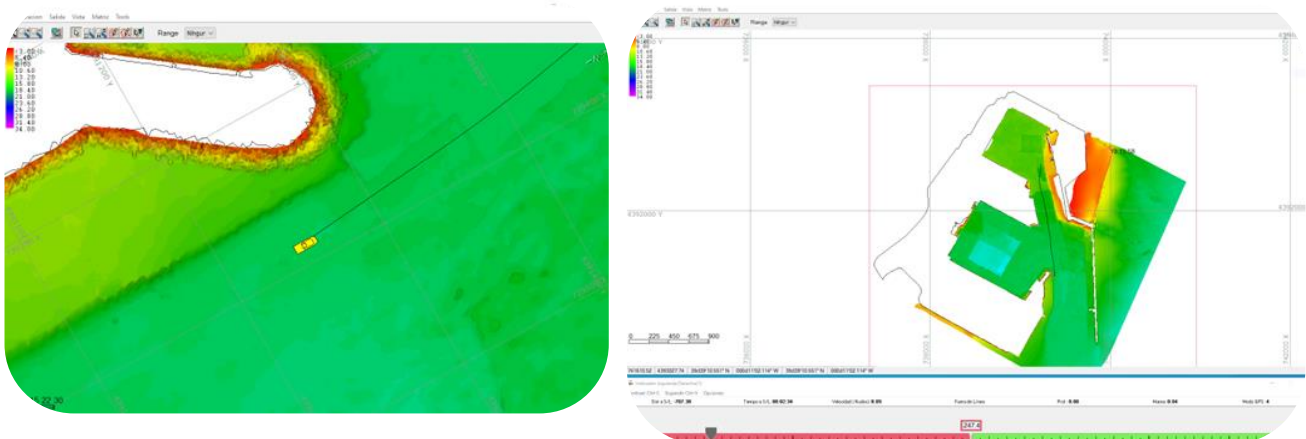
- **Líneas:** Permite definir una línea para orientar la ventana de visualización en tiempo real del levantamiento. La manera óptima de aprovechar este recurso es trazarlos paralelamente a la dirección que se tenga planificada. Además, posee la opción de poder intercalar, de modo que en el instante en el que el barco siga el sentido contrario al preestablecido, se adapte a esta nueva dirección. A pesar de que ayude al operador a emplazar el momento de toma, su potencial asiste de la misma manera al patrón que guía al buque.
- **Cartas:** Incorpora cartas náuticas de batimetrías previas. Su utilidad reside fundamentalmente para este caso en imponer una cartografía marítima de fondo, teniendo una aproximación base para analizar áreas de mayor y menor profundidad.
- **Matrices:** Estas facilitan levantamientos anteriores que no se hayan finalizado. Es un recurso que debe emplearse en la mayoría de ocasiones al inicio, de manera que pueda verse la última zona tomada y solapar para no dejar huecos o espacios de libre incertidumbre. En adición, contiene otras muchas características como espaciamiento para un mallado de los puntos, etcétera.
- **Blancos:** Son elementos puntuales que llevan etiquetados la hora del momento que se incorporó. Contiene coordenadas y sus aplicaciones son impuestas por el operador, introducidos para conocer una situación anómala, indicar un destino...



**Figura 31** Barra de herramientas 'Survey' Fuente: Propia (Hypack)

Estos elementos pueden ser preparados y modificados previamente o durante el levantamiento. Pueden ser empleados para planificación o para adaptar la situación de la toma de datos. Los dos botones que permiten almacenar los datos son los remarcados en la figura previa. El botón izquierdo corresponde a la recepción de información y el del lado derecho (no es mostrado ya que se activa cuando se empieza a almacenar información) para detener el almacenamiento.

Hypack muestra en todo momento el posicionamiento real del buque en el momento que comienza la fase del levantamiento en las ventanas de los mapas. Conviene disponer de dos mapas que se destinen al operador y al patrón, facilitando la comunicación entre ambos y ayudando a seguir con la planificación preestablecida.

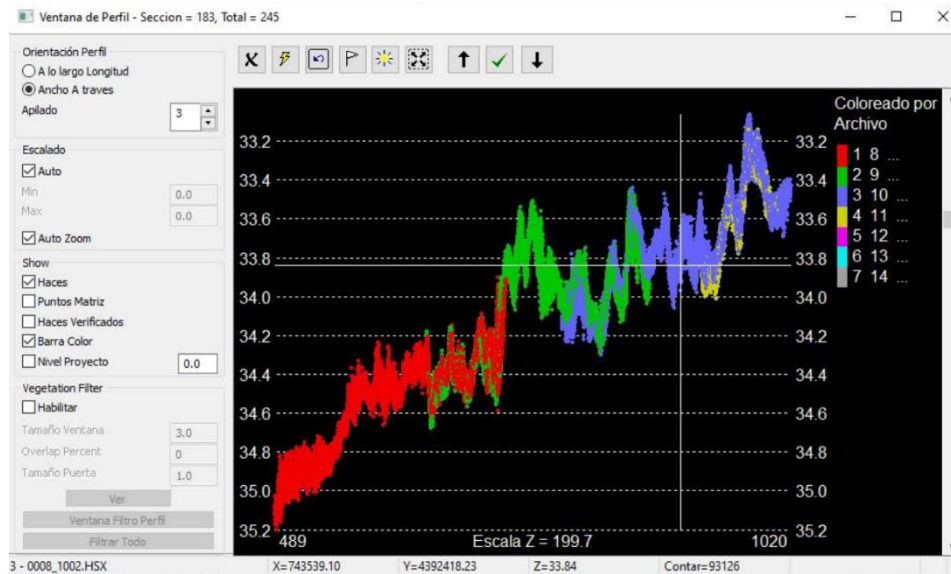


**Figura 32** Ejemplo de mapas de posicionamiento Fuente: Propia (Hypack)

Los haces de la sonda barren el terreno con una determinada amplitud en función del parámetro de apertura introducido. A medida que el valor de esta variable aumenta lo hace de la misma manera la porción de terreno barrido a costa de perder calidad o incluso algunos de los haces emitidos. Se deben adoptar valores que permitan al receptor recibir la señal de vuelta y al mismo tiempo que recoja una cantidad de terreno considerable. Estas

## Elaboración de cartografía portuaria y su implementación en SIG

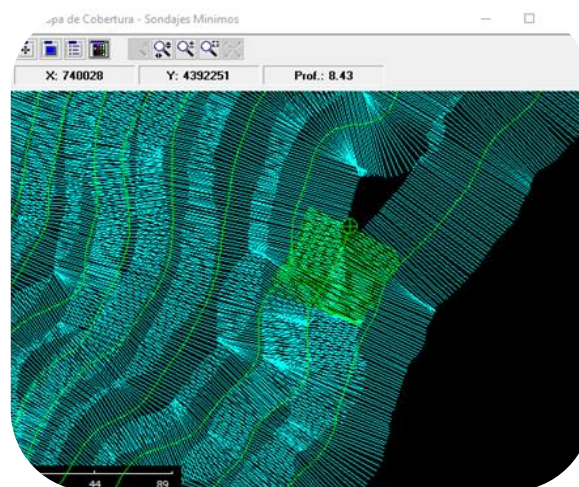
cifras oscilan entre los 50-65° para cumplir estas dos características, pero cada levantamiento se debe de ajustar de una manera específica en función de los objetivos que persiga y las tolerancias exigidas. No es posible establecer de manera general un valor exacto para cada batimetría, sino que se deben atender a los factores que se persigan. Este software dispone de otra ventana para la toma de datos denominada ‘Mapa de cobertura’, que monitorea en todo momento los barridos que se van realizando. El enfoque de esta herramienta corresponde con el solape transversal entre barridos. Este debe ser aproximadamente del 50% en la medida de lo posible para posteriormente en la parte de procesado detectar continuidad y ruido. En los perfiles de Hypack se pueden añadir varias líneas de datos donde se superpondrán entre ellas en la parte de solape, tal y como se puede ver en el ejemplo de la siguiente figura.



**Figura 33** Ventana de perfil de líneas con solape *Fuente: Propia (Hypack)*

En cada color se reflejan las diferentes líneas de navegación que explican la profundidad en una determinada sección del modelo. Puede verse que en aquellas zonas coincidentes entre tomas la mayoría de puntos coinciden, pero es posible encontrar zonas en las que no coincidan en su totalidad. Queda a disposición del operador el tratamiento de estas disposiciones, solventándolas mediante filtros o por interpretación propia.

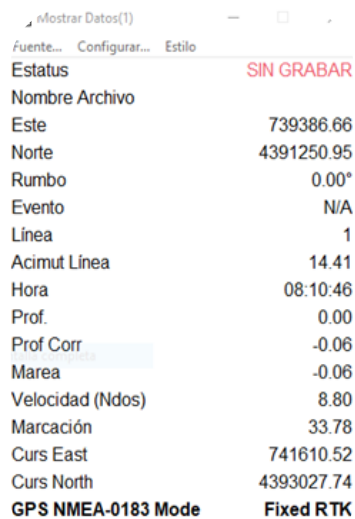
En resumen, la cobertura es importante para que nos existan huecos en la nube de puntos y facilitar la detección de anomalías que puedan darse en las diferentes líneas que conforman al modelo.



**Figura 34** Ventana del mapa de cobertura *Fuente: Propia (Hypack)*

## Elaboración de cartografía portuaria y su implementación en SIG

Existen parámetros que deben ser atendidos conforme se vaya ejecutando la fase de sonde. Se necesita de la ventana de datos que Hypack pone en disposición de modo que sea posible visualizarlos en los momentos pertinentes. Entre ellos destacan el nombre de archivo, que hace referencia a la línea que se está grabando. En numerosas ocasiones se requiere apuntar este nombre y al lugar al que explica para posteriormente en el tratamiento de los datos conocer la zona que se va a procesar sin la necesidad de abrir todos los ficheros. Por otro lado, el estatus marca el estado del levantamiento, de modo que muestra si se está recopilando información o de lo contrario no se está almacenando. El dato fundamental a tener en mayor consideración que debe ser atendido es el modo GPS. Esta muestra si la solución de las correcciones RTK son fijas o flotantes, afectando según el tipo de solución en la precisión de los datos obtenidos. La diferencia existente entre estos dos tipos reside en el número de satélites visibles en el momento de captura de los datos. La solución más precisa corresponde al RTK fijo, pero en caso de tener escasez de números de satélites, una deficiencia en la geometría de la constelación o un mal enlace de radio entre el la antena fija y el receptor, la señal pasaría a corresponder a tipo flotante.



Mostrar Datos(1)		
Fuente...	Configurar...	Estilo
Estatus		SIN GRABAR
Nombre Archivo		
Este		739386.66
Norte		4391250.95
Rumbo		0.00°
Evento		N/A
Línea		1
Acimut Línea		14.41
Hora		08:10:46
Prof.		0.00
Prof Corr		-0.06
Marea		-0.06
Velocidad (Ndos)		8.80
Marcación		33.78
Curs East		741610.52
Curs North		4393027.74
GPS NMEA-0183 Mode		Fixed RTK

*Figura 35 Datos de levantamiento Fuente: Propia (Hypack)*

### 5.1.4.- Problemas que pueden presentarse

Por lo general, existen determinados factores que pueden suponer un problema a la hora de realizar los trabajos batimétricos, aunque los que más pueden afectar son los dos siguientes:

El inconveniente más básico y común que suele darse es la presencia de buques amarrados en los muelles, que pueden llegar a permanecer en esa ubicación varios días. Pueden encontrarse dos maneras de afrontar esta situación: Conocer previamente si en la zona a sondear se pueden encontrar buques u otras plataformas las cuales puedan interferir en el levantamiento, u otra más sencilla que se fundamenta en guardar el trabajo y regresar cuando no se presencien obstáculos que puedan interrumpir.

Al tratar con equipos GPS para el posicionamiento, es posible que en algún momento falle la conexión por diferentes motivos: Que el fijo no esté emitiendo señal o que el receptor no reciba las correcciones o que la precisión se vea empeorada por falta de satélites en ese instante como fue mencionado en el apartado anterior. Mientras se está ejecutando el trabajo ha de comprobarse frecuentemente que la señal que se está recibiendo se encuentra en estado fija y no flotante. En el caso de que sea flotante deberá detenerse en ese mismo momento el barco además de pausar la toma de datos de esa línea de levantamiento, de modo que hasta que no vuelva a fijarse no se puede reanudar el trabajo, pues que no se estarían obteniendo unas coordenadas precisas.



## 5.2.- Procesado de datos batimétricos mediante Hypack

### 5.2.1.- Tipos de trabajos batimétricos

Existen dos maneras en las que se enfocan los trabajos de batimetrías, y ambos se clasifican según la frecuencia recibida de datos, o lo que es lo mismo, la cantidad de puntos que se presentan.

- Batimetría general para cartografiado del fondo y muelles: Tras el sondeo de todo el puerto se obtienen multitud de puntos que describen la profundidad a la que se encuentran. La frecuencia que se emplea es de 300 kHz, siendo suficiente para poder visualizar las profundidades en los muelles y la gran masa de agua que cubre el puerto. Es preparado en forma de plano, donde contiene la cartografía base junto con los puntos de amarre (para conocer la ubicación a la que es referido en todo momento), curvado de nivel, puntos de sondas y dos diferentes fondos.
- Batimetría para inspección de muelles: A diferencia de la batimetría general, en esta se emplea una frecuencia de 400 kHz, siendo por tanto más voluminosa en cuanto a cantidad de información se refiere. Esto es de esta manera ya que se busca un mayor grado de detalle para detectar posibles afecciones en los muelles o sus juntas, permitiendo obtener un modelo georreferenciado sobre el cual visualizar y planificar. La forma en la que se preparan estos ficheros también es diferente respecto a la general. Estos se preparan desde el software libre CloudCompare con extensión *.bin* para poder visualizar el producto desde cualquier perspectiva y extraer las coordenadas de cualquier punto.

### 5.2.2.- Correcciones y depurado de puntos imprecisos

Es importante tener en consideración que el modelo total comprende puntos de diferentes precisiones, pudiendo deberse a diferentes factores: Por los fenómenos físicos que pueden alterar la señal o por la variación de la conexión GPS entre otros.

Esta idea guarda especial relevancia e interés a la hora de procesar los datos, y ello queda explicado con la siguiente situación. Cada punto contribuye al modelo que se pretende obtener, por lo que un punto que contenga información imprecisa puede afectar en la determinación real de la profundidad no solo en ese punto, sino también en vecinos cercanos. Sobre todo, esta circunstancia puede verse fortalecida en caso de que estos puntos imprecisos se encuentren cerca los entre sí, creando un área falsa. De este modo, el operador puede tener una determinada claridad del asunto y discriminar lo que es una imprecisión de lo que corresponde a ruido. En la fase de eliminación de ruido es importante conocer si esos puntos son elementos que se han tomado con mala calidad, si son ruido o realmente corresponden a un punto del terreno. El realizar esta depuración deja al juicio del manipulador de los datos valorar entre esas dos realidades en lugar de tres, siendo estas si el grupo de puntos pertenecen a un error (ruido) o a una realidad (terreno).

Por consiguiente, esta es una condición inicial que debe ser corregida en la fase inicial del procesamiento para liberar imprecisiones de la batimetría y realizar las operaciones sobre un modelo preciso. Las correcciones que han sido aplicadas a la toma de datos de la cual se basa este ejemplo práctico son las siguientes:

- Límites de ángulo del haz: Máximo 70° y mínimo 0° tanto a babor como estribor. Estos parámetros deben ser ajustados en base a los solapes que se presenten entre líneas de levantamiento vistas en el perfil de la nube.
- Modos GPS aceptados.
- Filtro debajo y sobre los haces.
- Búsqueda y filtro sobre y debajo: Habilitado con límite de 4 sigmas.

Dentro del programa de levantamientos de Hypack existen dos fases para los datos. La primera de ellas comprende a la apertura de archivos de línea de datos, ya sea como fichero de catálogo, H5X, o H52X. Con esto se previsualizan las líneas que se van a cargar para tratar los datos, siendo estas la línea de trayectoria del barco durante el levantamiento. Una vez se tenga la certeza de que esas líneas seleccionadas corresponden con las líneas a procesar, se debe de pasar a la fase 2. En esta segunda fase aparecerá la superficie barrida por cada una de las líneas, y es en este instante donde se aplicarán los filtros de depuración para eliminar puntos. El botón



Elaboración de cartografía portuaria y su implementación en SIG

para cambiar de fase es el remarcado en la siguiente ilustración con una elipse roja. En el momento que este proceso haya finalizado se termina exportando a un .xyz para obtener ya los productos cartográficos o .HS2X, para almacenar el levantamiento depurado en caso de requerirlo.

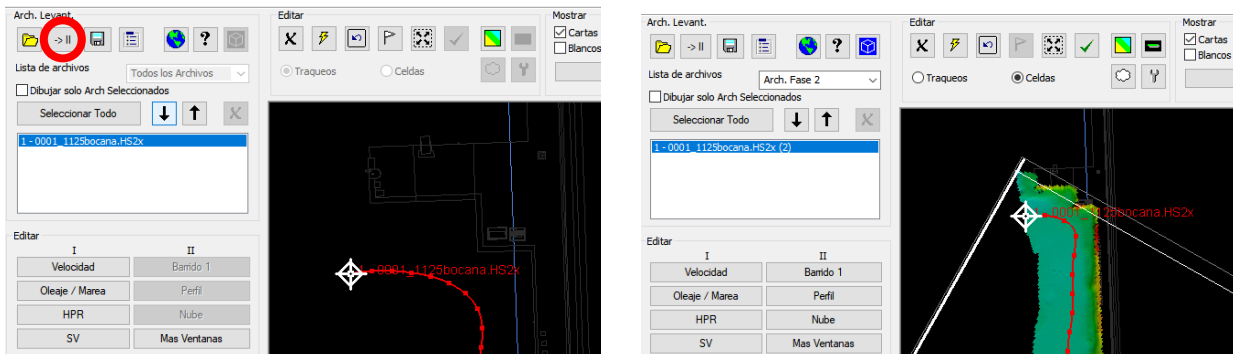


Figura 36 Ejemplo de fases de levantamiento en Hypack Fuente: Propia (Hypack – Hysweep Editor)

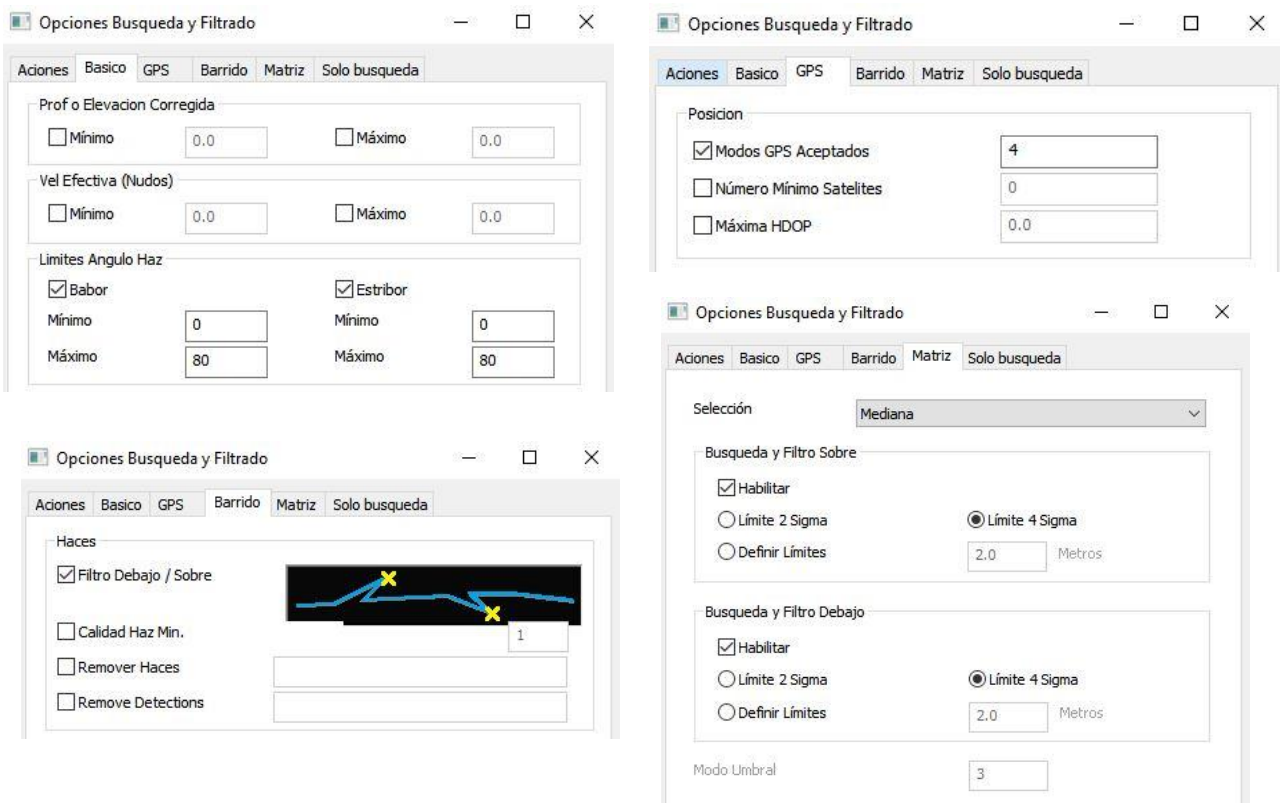


Figura 37 Parámetros de búsqueda y filtro Fuente: Propia (Hypack - Hysweep Editor)

Con las líneas ya identificadas pueden ser abiertas en su formato bruto para empezar con el procesamiento. Este primer paso se realiza sobre extensiones más reducidas con respecto al total de la superficie a cartografiar, pues a pesar de que ya se tengan todos los datos y puedan reunirse en un fichero para depurar un único fichero a efectos de reducir el tiempo, al trabajar con un gran volumen de información, el programa o incluso el mismo equipo puede presentar incapacidades. Aunque esto fuera posible, a la hora de separar un único muelle de toda la nube de puntos el proceso computacional se vería incrementado significativamente, por lo que, a fines de optimización, lo óptimo es operar por dársenas o espacios más reducidos.

Cabe enfatizar en el borrado de los puntos que han sido identificado con los filtros. Aunque es cierto que todos los marcados no cumplen con los requerimientos prestablecidos, es importante realizar un borrado parcial y no

## Elaboración de cartografía portuaria y su implementación en SIG

---

total de la selección. Esto es, que no se deben suprimir todos los puntos que han sido marcados, o en caso de hacerlo, no perjudicar a determinadas zonas que puedan correr el riesgo de quedarse sin dato de profundidad por un exceso descarte de puntos. El operador debe conocer previamente la separación que se va a dar a la nube entre punto y punto para saber el lado máximo de la triangulación, que le permita intuir y detectar zonas que puedan no quedar cubiertas en caso de un eliminado sustancial. Es preferible tener el dato, aunque no sea del todo preciso que desconocerlo (En caso de no tener datos en una superficie crea huecos si no puede triangularse al no cumplir con el valor del lado máximo del TIN), por lo que hay que extremar precaución en esta fase. Aun así, en caso de haber eliminado gran cantidad de puntos y detectar *a posteriori* el espacio vacío no implica el haber perdido el RAW, ya que al finalizar esta tarea el programa exige un *output* para conservar los cambios tras la depuración, manteniendo asimismo el formato original de la línea.


### 5.2.3.- Recorte con bordes por muelles

Los datos del sondeo son almacenados en la carpeta *RAW* del proyecto asignado. Esta carpeta comprende diferentes ficheros en formato *.raw* y *.HSX*, que son necesarios para generar el *.xyz* del muelle. El significado de estas extensiones propias de Hypack se refieren a lo siguiente:

- **RAW:** Son creados en el programa de 'levantamiento'. Contiene todo tipo de datos relacionados con la toma de datos, partiendo de un encabezamiento y seguido de datos que son etiquetados cronológicamente de cada uno de los sensores que hayan instalados. Su almacenamiento es en formato ASCII para que pueda ser permitido su lectura en el programa editor monohaz para aplicar correcciones de marea, etcétera.
- **HSX:** Corresponden a los archivos de datos brutos del levantamiento Hysweep. Dentro de ellos se pueden encontrar las líneas de la trayectoria de la embarcación durante la captura de datos del sondeo, que a su vez contienen los puntos tomados.
- **XYZ:** Al igual que los RAW son almacenados en formato ASCII, y contienen las coordenadas obtenidas de los puntos junto a sus respectivas profundidades. A pesar de que sea un fichero sencillo, aunque muy extenso, debe llevar esta extensión para ser interpretado por Hypack y diferentes programas de este.

Es imprescindible apuntar en un papel a que muelle corresponde cada línea de toma o dibujar un sencillo croquis para en esta fase acceder a los datos conociendo en todo momento a donde pertenecen los puntos que se van a abrir.

En el momento de disponer del fichero de salida tras la depuración, la siguiente secuencia que se debe realizar es el recorte al muelle seleccionado de este fichero libre de imprecisiones. En este caso, la depuración se ha hecho a la dársena de levante y se tiene el fichero *.XYZ* libre de imprecisiones. Haciendo mención de lo dicho en el primer párrafo del primer punto de este capítulo, este muelle exige una mayor labor de trabajo en comparación a otros dada su gran longitud. Para este muelle en concreto, se piden diferentes simbologías para distintos trozos del mismo, por lo que habrá que segmentar el muelle en los diferentes trozos que se piden.

Para llevar a cabo el recorte se dispone de otra extensión propia del programa Hypack, siendo esta el archivo de borde (*.brd*). Es creado con el editor de bordes en la pantalla principal de trabajo del *software*. Almacena en una lista posiciones X e Y que pueden ser introducidas manual o gráficamente, y sirven como delimitación para recortes u otras aplicaciones en la que se necesite limitar un área. En los casos de los muelles se fija el ancho a 50 m para asegurar una buena cobertura y a su vez no sobrecargar el plano a generar. Para llevar a cabo un recorte se necesita tener creado con anterioridad esta frontera, y para ellos se va a emplear el programa incorporado TIN. 

Elaboración de cartografía portuaria y su implementación en SIG

Este realiza una triangulación del *input/s* y permite indicar el lado máximo que se quiere de un triángulo entre otros parámetros. Al abrirlo mostrará el número total de triángulos y valores máximos para cada coordenada de los puntos que se encuentran en la nube.

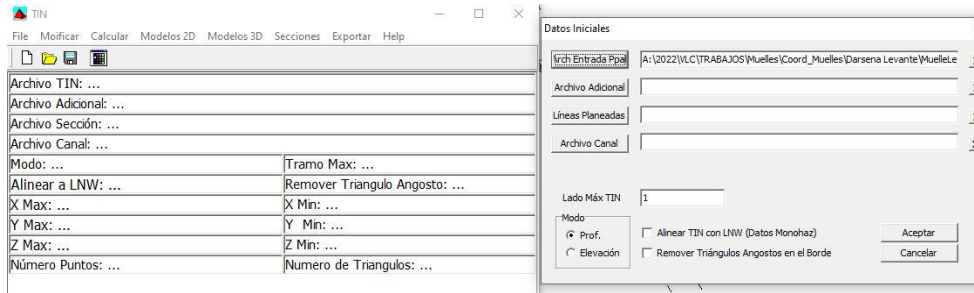


Figura 38 TIN Editor Fuente: Propia (Hypack - TIN)

En estos instantes, se llevan a cabo varios recortes. El primero a ejecutar corresponde el muelle levante del fichero de la dársena levante para tener únicamente los datos referentes al muelle, y posterior a este, el recorte de los diferentes estratos que se ha mencionado anteriormente. Para la realización de estos bordes que serán necesarios para fragmentar el muelle en varios trozos se requiere de la incorporación de la cartografía del puerto, además de los bolardos, que serán los que marcarán los límites de cada borde.

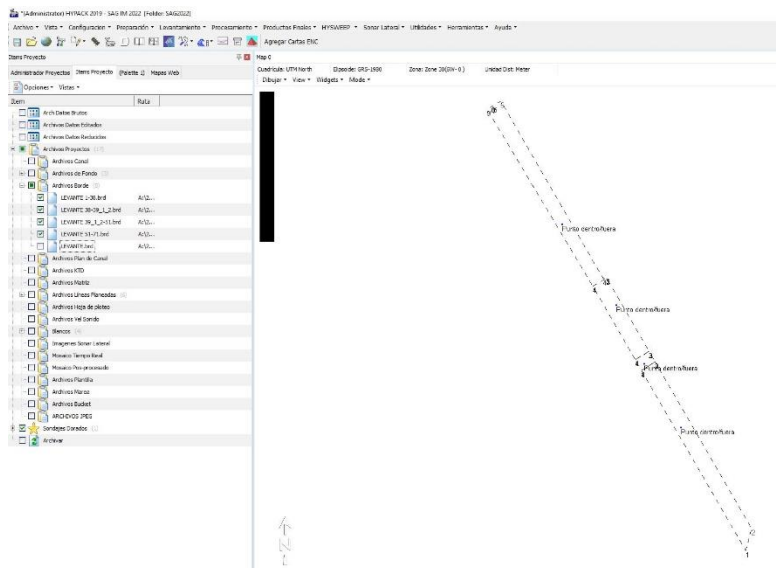


Figura 39 Bordes de recorte del muelle levante Fuente: Propia (Hypack)

Antes de proceder con estos recortes se deberá filtrar el muelle, o dicho de otra forma, eliminar el ruido que pueda existir en la nube de puntos.

“Durante el proceso de recopilación de datos, su propio conjunto de parámetros de aceptabilidad determina si un análisis es utilizable o no. Los puntos de escaneo fuera de los parámetros de aceptabilidad se consideran como “ruido.” (Faro, 2022)

5.2.4.- Filtrado del ruido de muelles mediante perfil

Como quedó explicado al final del punto anterior, es necesario realizar un filtrado de la nube del muelle en su totalidad antes de fragmentar para evitar repetir el mismo proceso en cada trozo de este. Aquí la labor del manipulador guarda especial repercusión ya que debe ser capaz de distinguir lo que corresponde a ruido de lo que no. Para la detección de este ruido se ha empleado el programa de levantamientos Hysweep Editor (dentro de Hypack) para analizar todo el muelle por perfiles, obteniendo a lo largo de una línea o área transversal o longitudinal (a elegir) al muelle los puntos que se tienen en esa zona seleccionada, donde el eje de ordenadas explica la profundidad de estos puntos.

Elaboración de cartografía portuaria y su implementación en SIG

En la siguiente figura que se adjunta se pretende mostrar un claro ejemplo de lo recién explicado. En el recuadro de color blanco se puede ver la presencia de ruido, que necesariamente debe ser borrado. En cambio, por otro lado, las elipses azules explican una situación en la que se presenta un socavón, cuya situación puede ser dada en la realidad. En estos tipos de perfiles existen dos capacidades que distinguen a un técnico de otro ente no experto en la materia, siendo la experiencia en este tipo de trabajos y el conocimiento del entorno. Un experimentado tiene la agilidad para realizar el trabajo con rapidez y con precisión, pudiendo obtener un modelo de nube de puntos lo más verosímil posible y limpio de ruidos y errores. Conocer la zona de estudio también puede garantizar ventajas. Un experto que conozca el perímetro puede detectar con mayor facilidad incongruencias en el perfil, y saber con certeza si realmente esa situación puede ser dada o de lo contrario desconfiar de esos puntos. El criterio fundamental para analizar el perfil de una nube de puntos se basa en la continuidad de la gráfica, aunque no es la única condición que se debe imponer, pues pueden presentarse situaciones en las que no se mantenga una cierta continuidad pero que realmente sí que existan en la superficie submarina.

El ejemplo de esta ilustración muestra un caso concreto para poder analizar esta última idea, en la que se presencian dos escalones y puntos pertenecientes a ruido. Para este ejemplo, se ha tomado una anchura de 13 m para poder abarcar estos dos escalones, pero cabe mencionar que es un valor exagerado para realizar el filtrado. Un valor óptimo suele ser en torno a 5, aunque bien es cierto que este valor es dependiente de lo extenso que sea el muelle o la dedicación que se le quiera prestar.

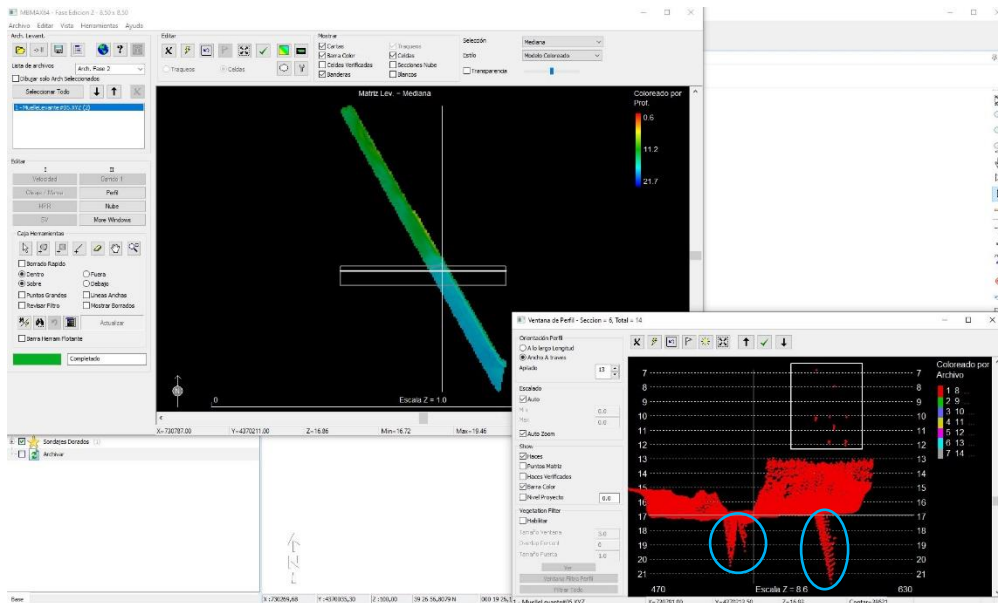


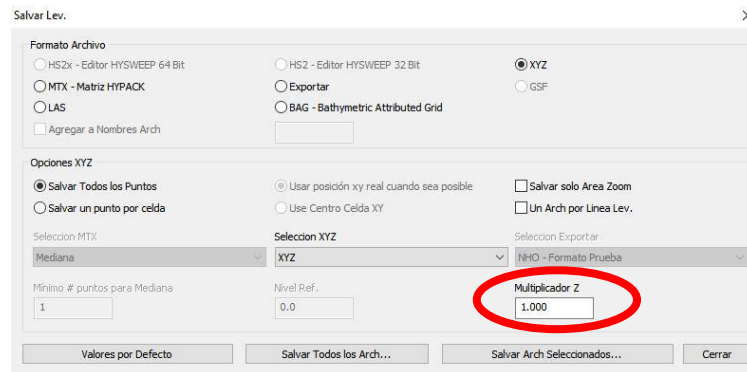
Figura 40 Perfil de la nube de puntos del muelle levante Fuente: Propia (Hypack - Hysweep Editor)

En la parte de la izquierda, se puede observar la nube en su totalidad, en la que los ejes que se muestran reflejan la porción que se refiere a los puntos del perfil (parte de la derecha de la ilustración). Para este caso en concreto se ha filtrado toda la nube mediante áreas transversales a la misma, permitiendo analizar de una mejor manera el perfil. Como se puede ver, existe una continuidad bastante débil, pero la aglomeración de los puntos permite mantener la idea de que son correctos y no se tratan de puntos pertenecientes a ruido. Lo contrario podría ser mencionado para el caso de los puntos encerrados en el rectángulo blanco, donde puede verse con claridad como no deben pertenecer al modelo, pues su aislamiento y excesiva poca densidad, y más con el ancho que se está tratando para explicar este caso reflejan un claro ejemplo gráfico de lo que es ruido, pudiendo ser causado por fallos en la señal o por la presencia de fauna marina.

Este proceso finaliza cuando se ha barrido toda la nube de puntos a través de todas las secciones y se hayan borrado todos los puntos que son considerados como ruido, quedándose, por tanto, aquellos que reflejan el fondo. Finalmente se ha de exportar el producto como extensión .xyz (con factor Z = 1.000, para mantener las

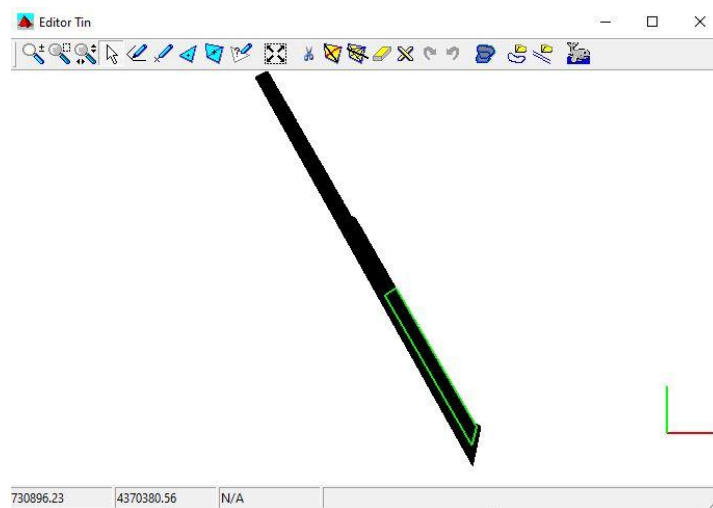
## Elaboración de cartografía portuaria y su implementación en SIG

cotas positivas junto con su valor, pues realmente más que de cotas se habla de profundidades), el cual será el siguiente fichero de entrada en el siguiente paso.



**Figura 41** Exportación del levantamiento *Fuente: Propia (Hypack - Hysweep Editor)*

Una vez obtenidos los bordes de fragmentación del muelle y limpia de imprecisiones y ruido la nube de puntos, se vuelve a abrir el TIN editor pero introduciendo como fichero de entrada el muelle levante corregido. Dentro de la barra de herramientas, en 'Modificar' se importarán los bordes creados para la separación del muelle en los fragmentos que se quieren.



**Figura 42** Ejemplo de borde de recorte para el muelle levante *Fuente: Propia (Hypack - TIN)*

Esto debe realizarse tantas veces como bordes se tengan, de manera que quedarán como resultado final los puntos de la zona de la nube restringida al espacio confinado por el borde. Posterior al recorte, debe exportarse nuevamente, aunque en este paso hay un parámetro importante a imponer: El espaciamiento. Hasta el momento, la nube contiene el espaciamiento que se ha recogido durante el sondeo, pero a efectos de lo que se pretende lograr con estos datos y con fines de agilizar el proceso en cuanto a rapidez computacional se refiere, un valor de 0.5 m entre puntos es suficiente.

Con esta separación entre punto y punto se generarán una serie de productos, pero por otro lado este valor de distancia entre puntos ascenderá a 2 m para exportar los puntos de sondeo. Estos elementos no son más que un punto estilizado, de forma que muestra la profundidad expresada en metros acompañado del primer decimal, siendo un recurso más a implementar en la generación de planos finales,

Al finalizar este proceso iterativo de recortes se obtienen tantos ficheros .xyz como recortes realizados, que serán procesados independientemente en cuanto a generación de productos se refiere. Sobre estos se exportarán a la



## Elaboración de cartografía portuaria y su implementación en SIG

vez con el otro espaciamento que se ha indicado en el párrafo previo. Se dispondrán de dos ficheros de datos para obtener los recursos cartográficos que se desean incorporar:

1. Un fichero .xyz (por trozo de muelle segmentado) que habrá sido previamente depurado y limpiado de ruido con espaciamento de 0.5 m entre punto y punto.
2. Otro fichero derivado del anterior con la misma extensión cuya única diferencia será el valor del espaciamento cuyo enfoque es el de extraer los sondeos.

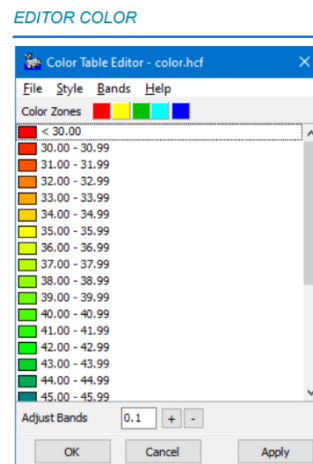
Ya con esta fase de preparación para la obtención de los archivos de entrada necesarios para obtener los recursos lista, se puede continuar con la siguiente fase.

### 5.2.5.- Obtención de los recursos cartográficos

En estos instantes, los archivos ya han sido tratados y preparados para a continuación extraer diferentes productos que se incorporarán al plano. Estos elementos que se quieren describen la profundidad de diferentes formas, habrán rásteres a modo de imagen de fondo y vectoriales tanto con primitiva de punto como de línea, siendo estos: Ráster de fondo, ráster con franjas del comisario, curvado de nivel y puntos de sonda.

A partir de aquí, se desglosarán cada uno de ellos, empezando con una breve explicación de lo que refleja cada uno, su proceso de obtención y su incorporación cartográfica a modelo de Autocad para su maquetación en un plano final.

Antes de empezar con esta explicación, cabe introducir una herramienta de Hypack que es la de los ficheros de color .hcf. Esta permite a través de una tabla de color, personalizar la simbología en base a la profundidad del archivo de entrada. *“El EDITOR COLOR muestra la paleta en la tabla de color seleccionada y provee las herramientas para configurar el estilo, zonas y bandas en una tabla nueva o existente.”* (Hypack, 2020), según el manual Hypack.



**Figura 43** Imagen ejemplo del editor de colores *Fuente: Manual Hypack*

Esta herramienta permitirá simbolizar a gusto del operador rásteres e incluso isobatas, y serán importantes para las franjas del comisario como quedará explicado con mayor detenimiento en continuaciones de este mismo apartado.

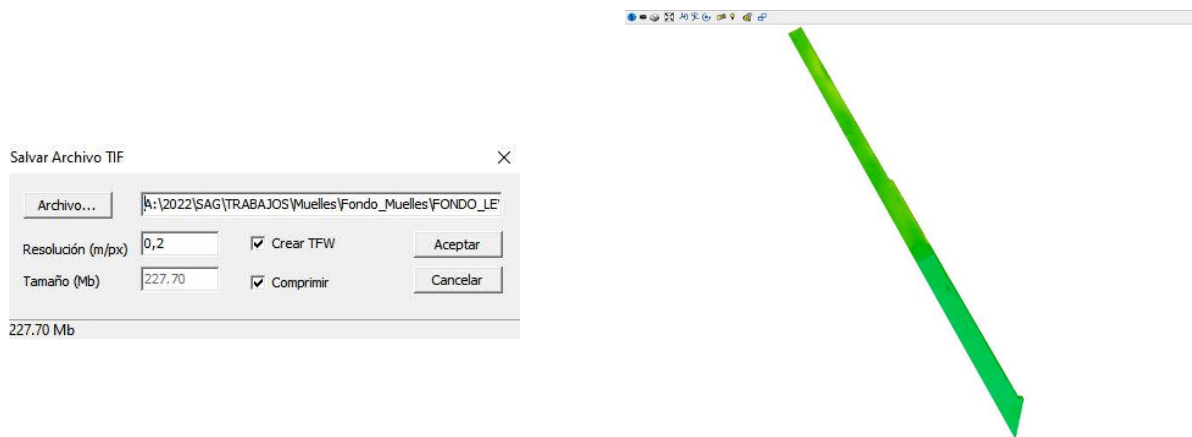
#### **Ráster de fondo**

Se trata de una imagen con extensión GeoTIFF, es decir, un ráster georreferenciado a modo de fondo donde la resolución puede ser marcada por el operador, para este caso 0.2 m/píx. Este será usado en este caso para solaparla de fondo en compañía de las isobatas. La simbología se define por un fichero de color común a todo el puerto, existiendo uno para el puerto de Valencia, que difiere considerablemente en su simbología con respecto al de Gandía y Sagunto. Esta idea se ejecuta de esa manera ya que cada lugar contiene profundidades diferentes en toda su superficie, y este fichero se adecuaba a cada uno de ellos para analizar y simbolizar de mejor manera las profundidades.

## Elaboración de cartografía portuaria y su implementación en SIG

Para su obtención, en primer lugar, se debe de ejecutar el TIN editor y marcar el fichero de entrada. Para este recurso en concreto lo óptimo es hacerlo respecto al muelle completo, por lo que se deberá introducir como entrada el fichero del muelle completo ya procesado (limpio de errores), y establecer un valor de lado máximo de triángulo. Debe visualizarse inicialmente el resultado para ver si el valor introducido es muy restrictivo y por ello, posibilitando la aparición de huecos en la imagen. Para esa situación, se debería reconsiderar la cifra e ir ajustándola para que no sea excesiva. Al no poder especificar una línea de rotura, es posible que aparezcan cambios bruscos que no expliquen aparentemente lo que es real dentro de la superficie del agua. Si se introducen valores pequeños, cada triangulo explica mejor la situación y se adecúa de mejor manera a los datos que se le disponen.

En adición, hay que asignarle su propio archivo de color y especificar la resolución a la que se quiere la imagen, donde a mejor resolución (más detalle) mayor memoria de almacenamiento. Una consideración a tener en cuenta cuando se utiliza Hypack, es que la extensión que utiliza como salida es la extensión de la pantalla en ese momento, de tal manera que si se hace un zoom a alguna zona y no se vuelve a dejar la extensión de todo el muelle únicamente se exportará la zona a la cual se ha ampliado es ese momento. Se exportará el TIFF con la extensión de la pantalla y su correspondiente *.tiff*, el cual lleva consigo la georreferenciación de la imagen correspondiente, y su nombre debe coincidir con el fichero al que hace referencia.



**Figura 44** Obtención y visualización del producto ráster de fondo de batimetrías Fuente: Propia (Hypack - TIN)

Dentro de la herramienta se puede variar la perspectiva en 3D para analizar el muelle en toda su extensión desde cualquier ángulo de vista. Puede resultar de gran utilidad para detectar zonas que describan una situación extraña o cualquier tipo de anomalías. En concreto, permite explorar por el modelo TIN que ha sido generado a partir del fichero de entrada. Para los fines a los que se pretende alcanzar con este ráster de fondo, se debe realizar una transformación a 2D para obtener su vista desde la planta, requiriendo para ello establecer el valor de los ángulos a  $0^\circ$  para que no altere la orientación y lo reduzca a dos dimensiones, y dejar el factor Z en 1.000.

El factor Z (parámetro razón eje Z de la siguiente ilustración) puede resultar sumamente útil en caso de querer visualizar mejor las profundidades y detectar pequeños saltos en zonas que son relativamente planas. Lo que realiza es una transformación de las profundidades aplicando el factor que se haya indicado, y regenera el modelo con esas nuevas profundidades, exagerando más el producto y permitiendo detectar pequeñas variaciones con mayor facilidad.

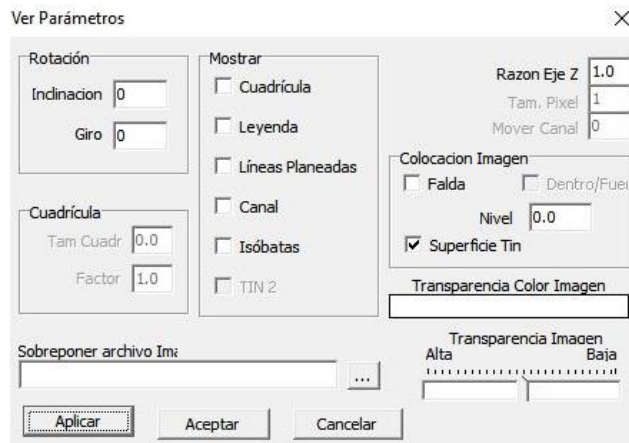


Figura 45 Parámetros de giro y factor Z en modelo 3D de Hypack Fuente: Propia (Hypack - TIN)

### Ráster con franjas del comisario

De cierto modo define lo mismo que el ráster de fondo, pero con unas diferencias aparentes. A diferencia del producto anterior, estos son polígonos que se ajustan a los valores de las bandas del fichero de color según las profundidades del sondeo. Es un fichero .dxf que reúne diferentes áreas en unos umbrales de profundidad que marca el .hcf.

A pesar de poder ser un objeto vectorial, puede obtenerse de la misma manera que el de fondo, pero con la simbología cambiada. Curiosamente, son ficheros que son difíciles de incorporar a Autocad, y más si la zona posee una gran extensión. Como en este caso el muelle abarca grandes longitudes, se ha obtenido como ráster.

Precisamente, este elemento ha sido el que ha condicionado la idea de tener que fragmentar el muelle. Las áreas que describen están simbolizadas por unas profundidades seleccionadas, donde han sido definidos unos determinados umbrales para su simbolización. Se lleva a cabo de esta forma ya que si se hiciese todo de un mismo umbral habría áreas que quedarían coloreadas de un solo tono, porque ese umbral no se ajusta a ese caso en específico. Esto debe ser una condición *a priori* del procesamiento, pues enfoca el trabajo a necesariamente tener que preparar los ficheros de borde para tratar al muelle en su totalidad como casos individuales que reconstruirán el modelo global. De todos los productos a obtener, es este el único que se trata como casos particulares, requiriendo necesariamente de más tiempo, pero que a su vez explicará de mejor forma lo que se pretende mostrar.

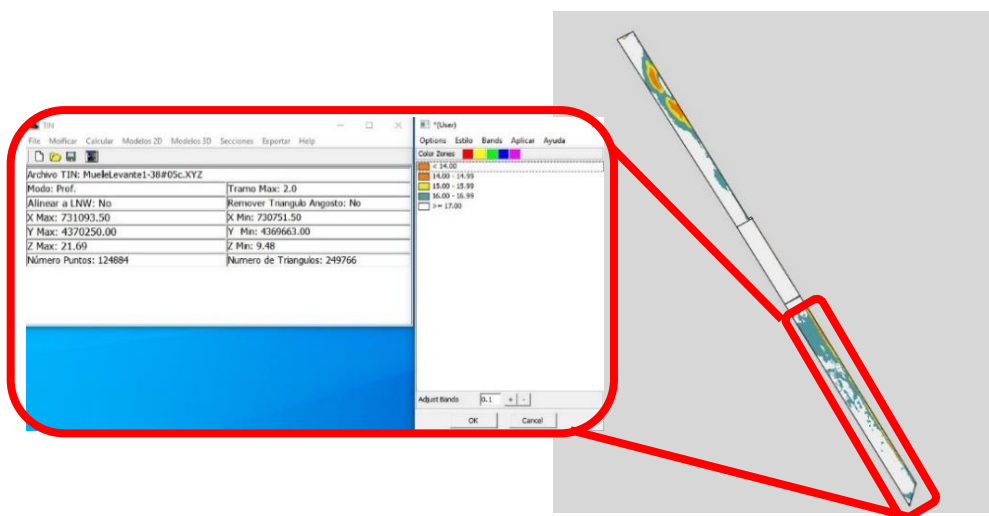


Figura 46 Obtención de franjas del comisario con ejemplo de bolarodos Fuente: Propia (Hypack - TIN)

### ***Isobatas (curvas de nivel)***

Según el diccionario náutico de Cenáutica, se definen a las isobatas como a aquellas “*Líneas que unen puntos de igual profundidad.*” (Cenautica, s.f.)

Este recurso cartográfico permite interpretar los desniveles es unos valores predefinidos de las profundidades obtenidas del sondeo de una determinada zona. Las líneas son generadas por un algoritmo que barre todo el modelo en busca de puntos de igual profundidad, permitiendo el cartografiado del fondo marino en su aspecto topográfico.

Será el acompañante al ráster de fondo, de manera que se potencie la interpretación de los planos para analizar de una mejor manera el entorno subacuático.

Para lograr tener unas buenas isobatas se requiere de una especificación de unos parámetros concretos que se proceden a enunciar:

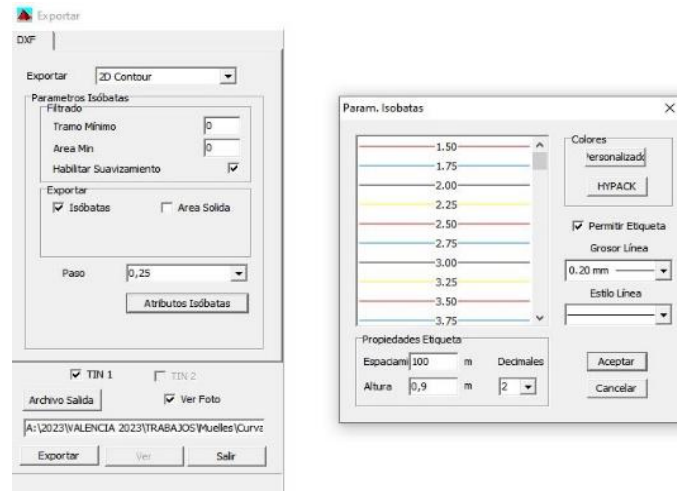
1. **Parámetro de paso:** Define el intervalo de salto entre valores de profundidad que se quiere que describan las curvas. El nivel de detalle queda completamente abierto a lo que se pretenda mostrar o según el entorno en el que se encuentre. En el caso de que la superficie contenga profundidades parecidas o el rango entre el valor máximo y mínimo sea pequeño, será conveniente aumentar este paso para tener una mayor cantidad de isobatas y que describan de mejor manera el fondo. El programa detecta de forma automática estos valores extremos y muestra una lista según el factor de paso indicado, posibilitando la personalización de cada valor de la curva en cuanto a simbolización se refiere, lo cual posee gran importancia en caso de querer enfatizar más en unas curvas como puede ser el remarcar las curvas maestras u otras condiciones que el operador desee dar a las isobatas.  
Enfocando a este caso en particular, se ha establecido un paso de 0.25 m que permite mostrar la zona perfectamente si sobrecargar mucho el modelo con líneas excesivas y en su mayoría redundantes. No obstante, una vez definido el paso se ha de simbolizar cada línea a mostrar:
  - Enteros: Tonalidad negra.
  - Paso de 0.25 m: Tonalidad amarilla.
  - Paso de 0.5 m: Tonalidad roja.
  - Paso de 0.75 m: Tonalidad azul.

Con esta gama de colores se busca garantizar un contraste notable para poder identificar con mayor facilidad los saltos en las curvas, favoreciendo de cierta manera asimismo a la interpretación de estas líneas.

2. **Suavizamiento:** Permite mediante algoritmos internos suavizar las curvas para que no se manifiesten situaciones anómalas y ofreciendo una visión más uniforme del fondo. Es una opción de marcación que el programa ofrece y que ha sido marcada para mejorar el resultado de las isobatas.
3. **Etiquetado:** Opción de mostrar los valores de profundidad para cada curva. Es un gran acompañante para detectar si los escalones son positivos hacia la superficie o hacia el fondo.
4. **Espaciamiento:** La cifra que se indique a este parámetro, corresponderá a la cantidad expresada en metros a la que se empezará a etiquetar la curva, cobrando sentido por este mismo motivo solo en caso de que se etiqueten las líneas.
5. **Altura de texto:** Al igual que el espaciamiento, este valor únicamente se ha de considerar cuando se etiqueten las curvas, pues afecta a lo grande que se quiere mostrar el texto. La condición que ha sido establecida para este trabajo es una cifra de 0.9 m a escalas 1:500 (que suelen ser las más comunes en todas las ventanas gráficas de los muelles). En caso de presenciar escalas distintas sería adecuar este valor a su escala correspondiente en base a esta condición general interpolando los valores a la escala que se presente.

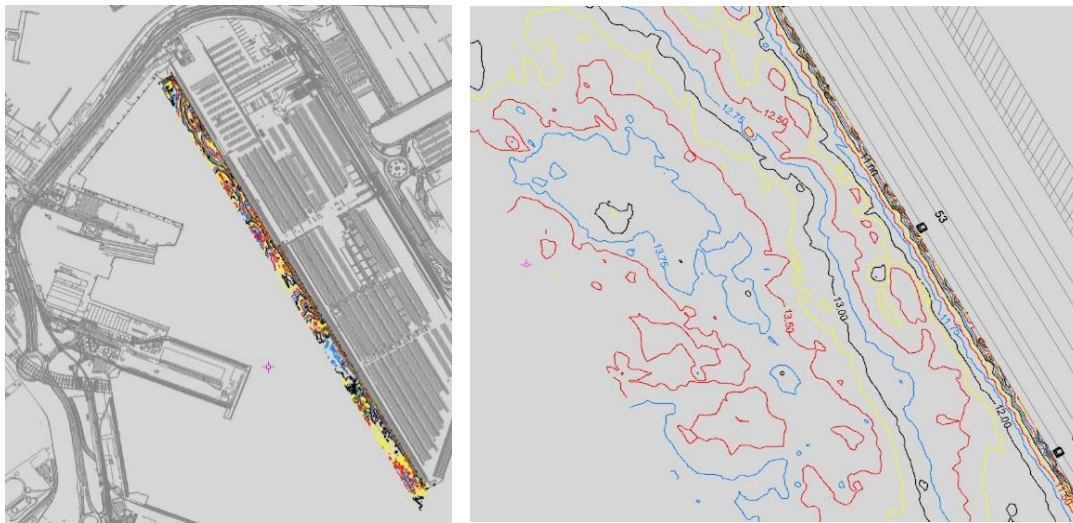
Elaboración de cartografía portuaria y su implementación en SIG

6. **Grosor de línea:** Define el ancho de línea de las isobatas. Para que queden marcadas correctamente, a este nivel de escala un valor de 0.2 mm hace que se pueden visualizar las líneas sin ningún tipo de problema.



**Figura 47** Creación de isobatas *Fuente:* Propia (Hypack - TIN)

El resultado final se materializa en forma de *.dxf*, que puede ser abierto por Autocad, en la que cada línea es almacenada en una capa cuyo nombre corresponde al valor al que hace referencia. De la misma manera que para el fondo, este proceso se debe hacer con el fichero tratado de correcciones y limpio de ruido del muelle en su conjunto para agilizar el proceso.



**Figura 48** Isobatas vistas desde Autocad Map 3D *Fuente:* Propia (Autocad Map 3D)

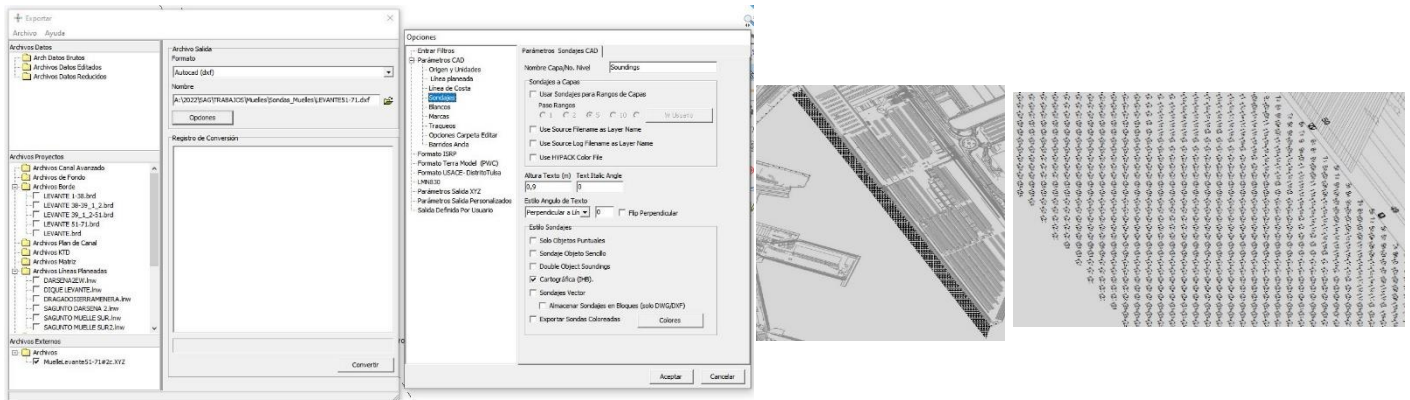
**Sondas**

Los puntos de las sondas son el último fichero para completar el postproceso de los datos. Estos elementos puntuales muestran cada una equidistancia el valor de la profundidad para unas coordenadas determinadas, barriendo todo el muelle, de forma que al final habrá miles de elementos en forma de puntos. A diferencia del resto de productos, el fichero de entrada debe contener una separación mayor para no sobrecargar excesivamente la cartografía. Se requiere de un nuevo fichero *.xyz* en el que la separación entre puntos sean de 2 m. Para lograr este fichero es necesario realizar una exportación (muy importante lo que acompaña a continuación) del fichero corregido de imprecisiones y ruido, de manera que sobre el fichero que ya está depurado, el considerado como bueno y el empleado para obtener todos estos elementos cartográficos, se obtenga un nuevo archivo de las mismas características y datos, solo que con menos información al haber aumentado la equidistancia entre punto y punto.



Elaboración de cartografía portuaria y su implementación en SIG

En el momento en el que se dispone de dicho fichero, Hypack ofrece la opción de exportar los puntos a un *.dxf* con diferentes opciones de personalización para los puntos. Antes de hacer la conversión se ha de asegurar que no hay ningún fichero más activado en la barra de la izquierda de la herramienta y modificar los parámetros de sondaje de Autocad, entre ellos la altura de texto y su disposición, y aplicarles diferentes estilos.



**Figura 49** Exportación de sondas y visualización en Autocad Map 3D Fuente: Propia (Hypack – TIN & Autocad Map 3D)

Con todo esto es suma finaliza la parte de procesamiento de datos de batimetrías en gabinete. Cabe añadir que el software permite obtener múltiples derivaciones de la toma de datos a parte de los comentados, pero a efectos de lo que se persigue, estos recursos son los básicos y fundamentales para el cartografiado del fondo marino.

**5.2.6.- Incorporación de los productos generados al espacio modelo de Autocad**

Ya se disponen de todos los elementos a incorporar en la cartografía, aunque no por ello necesariamente se debe decir que están acabados. En este apartado se van a explicar unas operaciones posteriores al tratamiento de datos y su procesado para la elaboración cartográfica de lo que sería el entregable final.

El programa para desarrollar todos los planos será Autocad Map 3D, en el que ya se cuenta con un documento base con las plantillas y sus ventanas gráficas enfocando a diferentes porciones del muelle para contemplar en un solo plano toda la extensión del muelle.

Además, para la campaña de batimetrías del 2022 se pidió depurar todas las capas vacías y recoger cada recurso en su respectiva capa para poder tener en versiones futuras una automatización ya programada en el que únicamente con incorporar al modelo los elementos ya se origine el plano con lo que se pretende imprimir (todo esto se irá detallando en este apartado).

Para el caso de las imágenes ráster no se exporta únicamente el fragmente del muelle del zoom activo, sino que también se exporta el fondo blanco de lo envuelve. Podría solucionarse transformando a un archivo *.png* con su respectivo fichero de georreferencia, pero este software permite emplear un comando para recortar la imagen (*delimitarimg*) o incluso aplicar transparencia a un color asignado para conseguir eliminarlo. Cualesquiera de las dos opciones son válidas, ya que lo que se pretende es poder eliminar el fondo del producto que se ha generado.

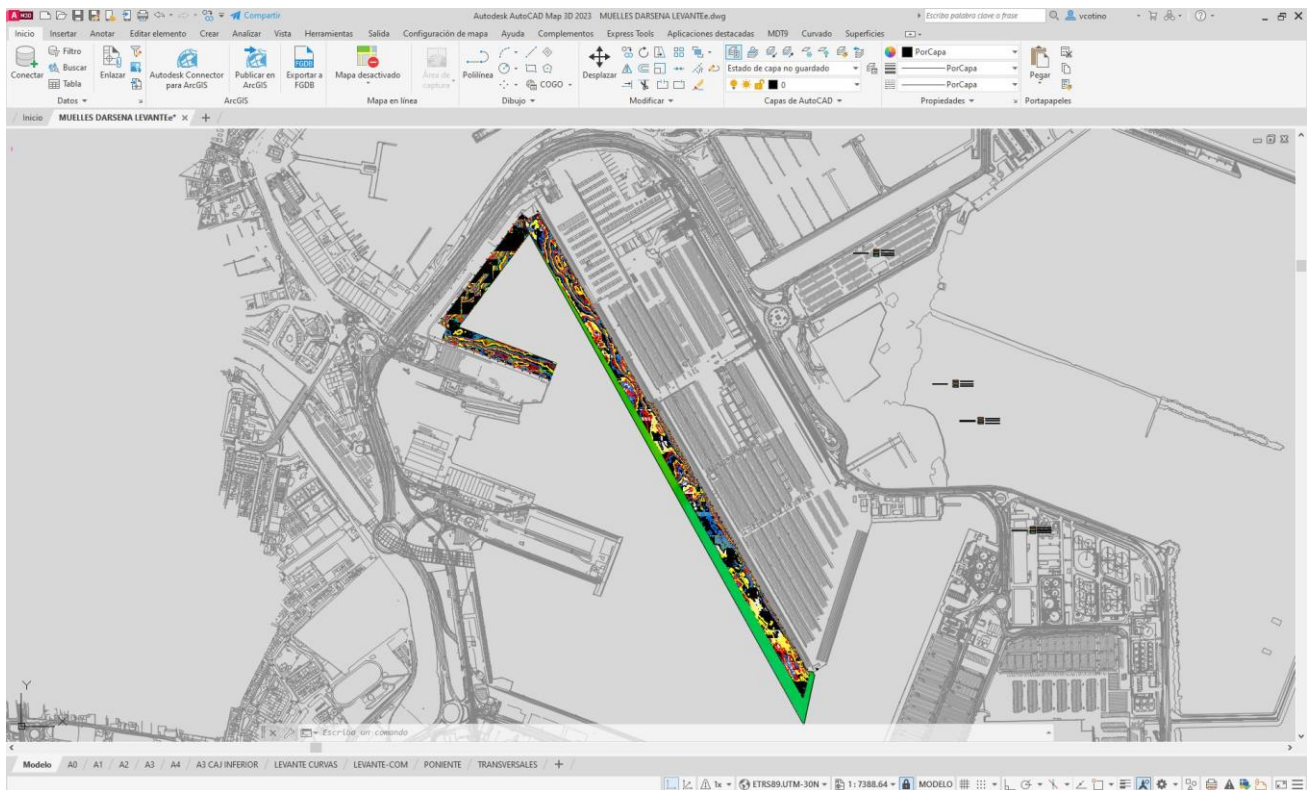
En las isobatas, cada línea es independiente de las otras. Son elementos que no son un grupo, o dicho en este contexto software, no forman parte de un bloque. Este fichero CAD contiene la georreferenciación de las curvas, y asigna una capa para cada profundidad. Por ejemplo, puede haber una capa 16\_25, otra 16\_50 y así abarcando desde el mínimo hasta el máximo recorriendo todo el umbral con el paso introducido. En Autocad, cuando se copia de un dibujo a otro, estas capas se heredan al dibujo en el que se ha pegado creando nuevas capas. Estas capas no contribuyen a respetar la limpieza del documento, sobrecargando la cantidad de información redundante y dificultando a la hora de maquetar como se verá posteriormente. Las condiciones a cumplir serán que todas se reúnan en un único bloque y que se almacenen todas las líneas en una capa concreta. Este proceso debe ser realizado antes de pegar al modelo del CAD de trabajo, por lo que en primer lugar se seleccionan todas

## Elaboración de cartografía portuaria y su implementación en SIG

las líneas y se guardan en la capa 0 que aparece en todo dibujo por defecto, permitiendo que cuando se pegue al otro modelo no cree capas nuevas, y posterior a ello, copiar con punto base en el (0,0) y pegar como bloque en el mismo punto, lo que incorporará a todas las isobatas en sus coordenadas originales y en forma de grupo o bloque.

Por último, las sondas necesitan tratarse de una forma diferente al ser textos. Como la fuente que viene por defecto es muy fina y estándar se le asigna otra fuente que sea más legible, para este caso en concreto Arial, y el tamaño se respetará al haber sido un parámetro introducido previamente en su exportación dentro de Hypack. Al ser muchos puntos en el que todos los elementos son individuales, se procede de la misma manera que con las isobatas, que se reúnen en un bloque y se crea su respectiva capa. El único aspecto a tener en cuenta es en la disposición de texto. En todos los planos se van a orientar los muelles horizontalmente al borde del plano, y los números de las sondas no tienen necesariamente que venir orientadas en su defecto. La manera de proceder es orientar manualmente mediante una edición de bloque *in situ* en la que se seleccionarán todos los elementos de tipo texto y se introducirá manualmente el ángulo de giro (gons) modificando las propiedades de texto.

Todos estos productos vienen acompañados junto con la cartografía del puerto y todos los bolardos de los muelles. Estos últimos elementos nombrados poseen especial relevancia, pues son los que de cierta manera posicionaran al plano final, permitiendo conocer la situación del muelle en cada centímetro del papel. Todo ello queda recogido en el espacio modelo en el que ya se tiene una correcta disposición de la batimetría.



**Figura 50** Resultado del modelo final para la dársena levante Fuente: Propia (Autocad Map 3D)

En la figura anterior se puede contemplar todos los muelles que conforman la dársena levante, incluidos los resultados para el muelle con el que se ha explicado este caso práctico. Esto es como ya se ha comentado, debido a que para el puerto de Valencia todas las batimetrías son organizadas por dársenas, no obstante, este no es el resultado definitivo ya que faltan aplicar unas operaciones de maquetación. Las ayudas de las ventanas gráficas en las presentaciones harán posible que se observe únicamente el muelle de estudio.

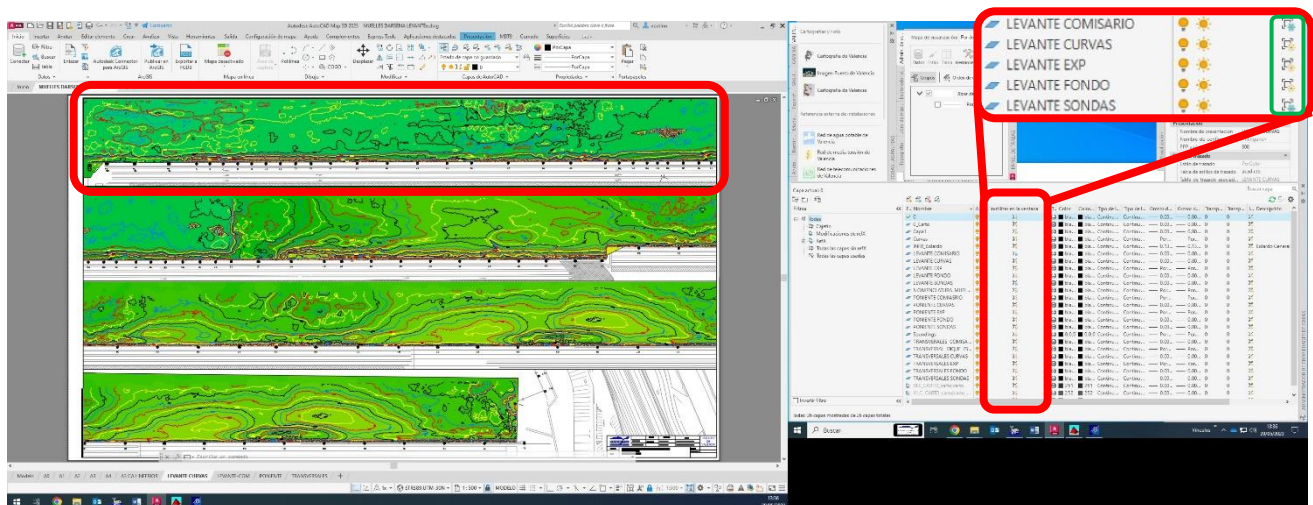
### 5.2.7.- Maquetación de los planos finales

En este apartado se va a llevar a cabo la maquetación de los planos que han sido confeccionados en los apartados anteriores a partir de los elementos obtenidos tras una toma de datos, su depuración, y el postproceso al que se ha sometido el sondeo.

Para el caso del puerto de Valencia, al contar con tantos muelles y siendo su superficie demasiado grande, estos ficheros de CAD se encuentran repartidos por dársenas para una mayor fluidez. Esta cualidad siempre se busca en este tipo de trabajos en el que se tiene mucha información. Para este caso, el fichero seleccionado ha sido el de la dársena de levante, en el cual se encuentra la presentación del muelle levante. Concretamente se encuentran dos presentaciones, una por cada plano a generar, siendo estos:

1. Plano de batimetrías con fondo general acompañado de isobatas (cartografía y bolardos inclusive). (Anejo I Doc.2)
2. Plano de batimetrías con franjas del comisario junto con los puntos de sondeo (cartografía y bolardos inclusive). (Anejo I Doc.3)

Como ya se ha comentado en apartados anteriores, estas hojas de presentación ya tienen asociadas unas ventanas gráficas que enfocan a diferentes trozos del muelle que se encuentra en el modelo, de tal manera que únicamente habrá que tomar algunas consideraciones finales para obtener el producto final. Cuando se hacen uso de ventanas gráficas, estas muestran todo lo que se reúne en el modelo del trozo de este al que han sido delimitadas. No obstante, cabe recordar que el modelo agrupa todas las capas, de modo que si no se hiciese nada se tendrían los cuatro recursos que se han procesado desde Hypack superpuestos, pero esto no sería válido ya que se debe discriminar entre dos planos a generar. Aquí es donde la organización y estructuración de las capas toma su papel de importancia, pues de este modo con la opción de *inutilizar en la ventana* dentro del gestor de capas pueden organizarse todas las ventanas para describir únicamente lo que se pretenda mostrar.



**Figura 51** Inutilizar capas en ventanas gráficas dentro de Autocad Fuente: Propia Autocad Map 3D)

Esta acción tiene que ser ejecutada para los dos planos, que dejará en su estado final al plano que posteriormente será impreso a escala. Atendiendo a la ilustración previa, en la parte de la izquierda (monitor principal) se tiene la presentación del muelle levante de fondo de batimetrías acompañado de isobatas para explicar este proceso. En la parte de la derecha (monitor secundario) se tiene abierto el gestor de capas, el cual, al clicar en una ventana gráfica, permitirá a través de los botones de la herramienta comentada (polígono verde) visualizar o no diferentes capas sin necesidad de ocultarlas de todo el dibujo. Esto es necesario debido a que en algunos muelles tanto el plano de franjas y sondas como de fondo e isobatas se encuentran en una misma presentación, por lo que la herramienta de ocultar no serviría, ya que haría desaparecer de todo el dibujo CAD a la capa y esta debe verse únicamente en parte del plano.



## Elaboración de cartografía portuaria y su implementación en SIG

Las hojas de presentación suelen ser las que se tienen por defecto en la configuración del puerto (recordando el punto 2.2 de este mismo documento) en las que las dimensiones típicas de este trabajo en específico oscilan en torno al A3 para muelles pequeños y A1 o A0 para los más extensos. A pesar de ello, existen muelles que por su complejidad o sus dimensiones requieran de otro formato de papel personalizado. Este hecho hay que tenerlo en mente a la hora de trazar e imprimir el plano.

A modo de consideraciones finales, estos planos deben ser impresos y entregados a los agentes que van a hacer uso de los mismos. Tras su impresión a escala, todos los planos deben ser doblados, recogidos, encuadernados (uno por puerto) y organizado por dársenas con el cajetín visible para hacer más ágil el entregable, siendo este el resultado final de todo este proceso. Para este caso en específico, todo lo realizado hasta el momento debe repetirse para todos los muelles y en esta fase final de la maquetación, recoger a todos en un único cuaderno.



**Figura 52** Resultados de los entregables finales de la campaña de batimetrías de 2022 *Fuente: Propia*

### 5.3.- Inspección de muelles

Otra aplicación práctica que pueden brindar las batimetrías son las inspecciones de muelles. Esto se basa en aprovechar los datos tomados con la sonda en donde a diferencia de los fondos, la única pieza de interés corresponde la parte del muro del muelle.

Resulta útil realizar un seguimiento del estado del muelle o de cualquiera de sus juntas para poder localizar puntos que puedan estar en conflicto. Dado su interés, es necesario de precisar de una mayor cantidad de puntos, por lo que para este apartado tiene que iniciarse un nuevo levantamiento con el siguiente protocolo.

Difiere en cuanto a las batimetrías explicadas recientemente en la frecuencia, la cual debe ser ascendida a 400kHz para recoger mayor cantidad de puntos por segundo, y sobre todo en el número de pasadas. En el apartado de *Sounder Main/Transmit Control/Along Direction* del SIS, hasta el momento se había mantenido el valor 0 deg, pero para esta ocasión debe realizarse con tres valores diferentes: 0, 10 y -10 deg. Esto implica necesariamente realizar tres pasadas cada vez con un valor de los expuestos.

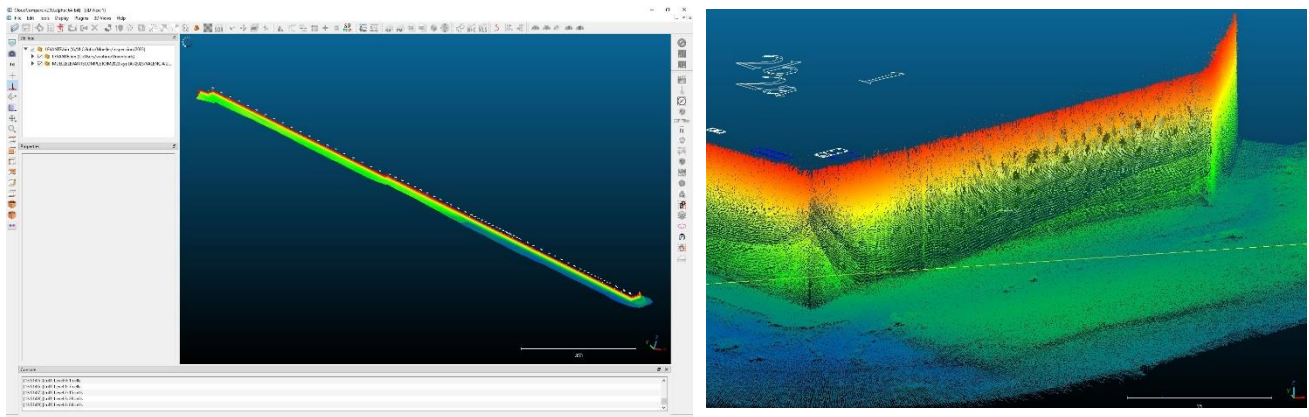
A pesar de estas diferencias comparte aspectos en común con las batimetrías para el cartografiado del fondo marino. La toma de datos sigue siendo idéntica su manera de proceder salvo por estos matices de los que se han hablado en el párrafo anterior, por lo que el levantamiento se limita a repetir otra vez la misma secuencia, pero modificando estos parámetros y realizando tres pasadas en lugar de una sola.

Aun con ello, en temas de preprocesamiento se tratan igual que a los levantamientos del fondo, aplicando las mismas correcciones y pasando por una limpieza de ruido; lo que cambia es en el producto a generar. Por el contrario que con el fondo, ahora se busca una superficie en 3D y un software de visualización de nubes de puntos para detectar posibles situaciones anómalas. Estos requerimientos pueden ser perfectamente garantizados con CloudCompare, que además de ofrecer herramientas sencillas de tratamiento para nubes de puntos, cubre todo lo necesario dejando a disposición su programa a cualquier usuario, pues es de software libre cuya

## Elaboración de cartografía portuaria y su implementación en SIG

condición es necesaria para que cualquiera del puerto que lo necesite pueda tener acceso al producto. El resultado final será un archivo *.bin*, propio de CloudCompare en el que se almacenará el fichero de trabajo que haya sido guardado.

Por tanto, una vez cumplimentado el trabajo del levantamiento en campo y tratados los datos en postproceso, se debe importar el fichero *.xyz* a este software. Dentro del programa se abrirá el archivo de puntos, mostrándolos tridimensionalmente en su ventana de visualización. Para que su situación espacial sea más reconocible, se han de introducir los bolardos y la línea de muelle. Por defecto el programa introduce una simbología de blancos a los puntos, por lo que a efectos de simbología esto debe ser cambiado a una rampa de colores cualquiera en la dirección Z (profundidades) de modo que el muelle quedará discriminado del fondo. Finalmente se exporta el trabajo, obteniendo el producto final que tiene un aspecto como el que marca la siguiente ilustración.



**Figura 53** Resultado de trabajo final de inspección de muelles *Fuente: Propia (CloudCompare)*

## 5.4.- Publicación en el Sistema de Información Geográfica

Toda esta gran fase inicial de toma de datos y su tratamiento, y derivación en productos cartográficos finaliza en la obtención de los ficheros finales, ya sea en formato de planos o archivos abiertos. Lo que se persigue es que, a parte de los documentos físicos entregables compartir digitalmente toda esta información, de modo que cualquier usuario de la APV pueda consultarlos en un momento dado.

Para ello, se debe hacer uso de su respectivo SIG, en donde se enlazará el documento a la ventana emergente de un *feature class* propio de esta información. La capa de asignación para estos dos grandes trabajos de batimetrías de fondos e inspección será la de muelles, la cual en su ventana asociada posee una colección de batimetrías desde los años 2019 hasta la actualidad (exceptuando las del 2021), entre otros documentos.

Para llevar a cabo esta gestión de información debe acudir al portal del SIG (con estado de usuario de administrador), donde deberá buscarse la capa, o en este caso el mapa al que se desea enlazar toda la información. Se introducirá dentro del mapa de explotación en su correspondiente *feature class*, pues es una información que solo interesa tener en este mapa cartográfico y no en todos los mapas en los que participa la capa 'Muelles', siendo esta la principal diferencia de enlazarlo a la ventana gráfica de un elemento de un mapa en concreto, y la asignación a directamente la capa que puede participar en diferentes mapas.



Elaboración de cartografía portuaria y su implementación en SIG

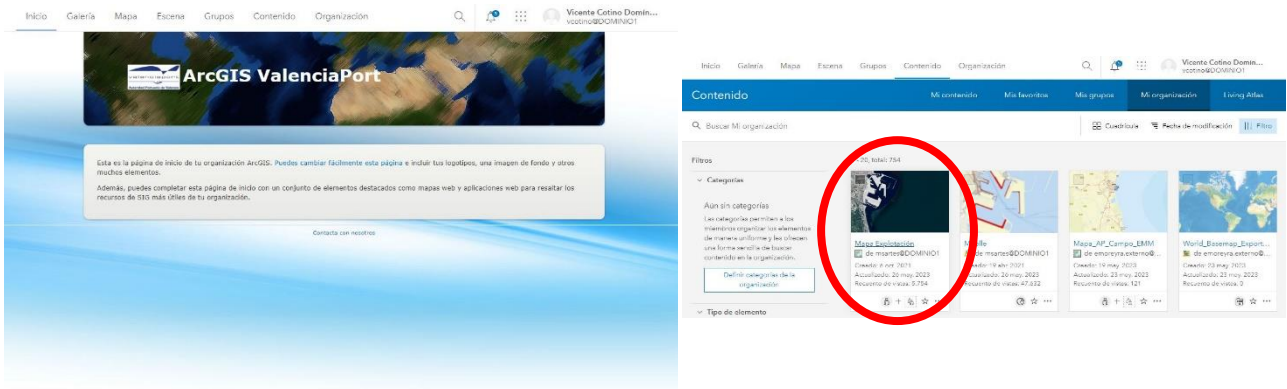


Figura 54 Página de inicio al portal de ValenciaPort y visualización de contenido Fuente: Propia (ArcGIS - Portal)

Dentro del mapa y la configuración de la ventana emergente de la capa correspondiente, habrá que agregar al contenido multimedia una nueva imagen. En su creación se pide que se rellenen diferentes campos, entre ellos el título de los que contiene, junto con una breve leyenda a modo de descripción y pedirá también dos URLs. La primera deberá corresponder a una imagen a modo de miniatura, la cual será visualizada en la ventana emergente, y en el segundo vínculo, que puede ser opcional, se puede enlazar a un descargable. El enlace se compone de la siguiente secuencia:

*https://[NOMBRE DEL PORTAL]/[RUTA DEL FICHERO]/{CAMPO}.[EXTENSIÓN]*



Figura 55 Edición de ventana emergente de 'Muelles' dentro del mapa de explotación Fuente: Propia (ArcGIS - Portal)

El último parámetro definido por '{ }' en la secuencia pretende enlazar los archivos al correspondiente registro del muelle, en el caso de que exista un fichero en esa ruta definida con el mismo nombre que el registro del campo. A modo de ejemplo, se procede a explicar cómo sería para el caso práctico realizado para el muelle levante: Dentro de la capa de muelles existe un registro asociado a este muelle, con el valor "LEVANTE", aunque realmente existen varios elementos lineales con el mismo valor. Esto es debido a la presencia de unos pseudonodos, que son unos puntos separadores ficticios que parten una línea debido a las diferencias de valores de información en cualquiera de sus campos, en este caso, partiendo el muelle en subtramos del mismo. Estos son divididos, dado que en la ventana emergente existen más documentos a parte de las batimetrías e inspección de muelles, que son dependientes del posicionamiento de los bolardos (secciones tipo entre otros), y es por ello por lo que para la representación gráfica de un muelle se emplea más de un elemento lineal. No supondrá

## Elaboración de cartografía portuaria y su implementación en SIG

problema al compartir el mismo valor del registro, es decir, como el muelle es el mismo, su nombre no varía y por tanto se creará y enlazará a cada trozo del muelle el documento correspondiente.



**Figura 56** Ventanas emergentes del muelle de levante *Fuente: Propia (ArcGIS - Site)*

Haciendo clic en la miniatura del trabajo correspondiente se le redirigirá al usuario al enlace de vínculo que se ha especificado en el portal. De esta manera, cualquier agente con acceso a este mapa del *site* puede tener acceso a los PDFs generados de los planos de batimetrías de todos los muelles de los tres puertos y su respectiva inspección de muelles.

Esta manera de almacenar y visualizar datos únicamente es posible con un SIG, en el que toda la información se estructura con sus correspondientes capas, y que a través de un elemento geográfico se pueda tener acceso a tanta cantidad de información como se desee detallar y tantos documentos como se pretendan adjuntar.

### 5.5.- Más aplicaciones de las batimetrías

Aunque todo este procesado ha ido enfocado a la elaboración cartográfica de unos planos específicos, existen muchas otras alternativas en las que puede darse uso a las batimetrías. El resultado final obtenido de una batimetría es un fichero de coordenadas (X,Y,Z) de los puntos sumergidos en el fondo marino, por lo que cualquier aplicación marítima que necesite de una georreferenciación o caracterización del fondo puede ser ejecutado por esta técnica.

En el entorno portuario cobra sentido en el caso de querer realizar un control de muelles y dársenas, e incluso en obras para apoyar a la seguridad de la navegación y la conservación y mantenimiento de la infraestructura, que ha sido concretamente lo relacionado con el caso práctico del muelle de levante.

En cuanto a términos de obra se refiere, las batimetrías pueden emplearse para la correcta ejecución del control geométrico y de dragados, vertidos, etcétera, o pueden ser empleadas para medición y valoración económica de la obra (control de volúmenes).

Se define a un dragado como: *“El dragado es un proceso que consiste en remover material del lecho marino, siendo su objetivo principal el garantizar tanto la operatividad como la seguridad en la navegación.”* (Salaverry, s.f.)

#### **Ejemplo de aplicación batimétrica en obras**

Para llevar a cabo un dragado, es necesario de una maquinaria específica y adecuada a este tipo de excavaciones, recibiendo el nombre de dragas, que es el equipo que se suele emplear para excavar material de debajo del agua. Estas pueden ser de diversos tipos:

- Dragas de cucharas
- Dragas de pala
- Dragas de rosario
- Dragas de succión estacionaria

## Elaboración de cartografía portuaria y su implementación en SIG

---

### - Dragas de succión en marcha

Cada una posee diferentes características y funciones, adecuando su estructura en base a su actividad a desarrollar. Actualmente, esta maquinaria está reinventándose y hoy en día ya existen máquinas equipadas con receptores GNSS, lo cual permite una georreferenciación de la propia máquina.

Supóngase el caso de querer dragar un escalón próximo a un muelle. Se procedería de la siguiente manera: Se cuenta con una grúa equipada con instrumento de excavación con receptores montados y de un buque adaptado para batimetrías (sondas + equipos electrónicos). Habría que realizar una primera pasada con el barco para obtener un fichero de coordenadas de los puntos para posteriormente visualizarlos en un software de nubes de puntos. Cuando ya ha sido procesada la batimetría se importa a un software de visualización cualquiera y se define el área a dragar. Con este límite definido, se obtendrían las coordenadas de las esquinas para pasarlas a la maquinaria y ejecutar la excavación.

## Capítulo VI. Aplicaciones de campo para actualización GIS

En vista a lo que se ha ido comentando en todo el documento, se ha podido notar la presencia e importancia que posee el SIG, por ello es importante también mantenerlo actualizado e ir mejorándolo en todos sus aspectos. Dado la elevada cantidad de elementos que conforman a cada uno de los mapas que se tienen publicados, el esquema de datos no se encuentra completo en toda su extensión. Existen registros de los que se tienen poca cantidad de datos acerca de los mismos y que afecta en la calidad del SIG. Lo que se persigue ahora es buscar un método óptimo para mejorar la exactitud temática, posicional y temporal de los datos almacenados. En busca de este objetivo, se han planteado unas aplicaciones de campo, en el que a partir de un mapa diseñado en gabinete se debe acudir a campo para comprobar cada uno de los elementos y su información asociada, de modo que tras su levantamiento pueda ser rescatado, sincronizado y actualizado a las capas ya existentes, remplazándolas para disponer en todo momento de toda la información posible y precisa de las diferentes capas.

### 6.1.- Equipo de campo

Un aspecto a tener en cuenta es el cómo se va a realizar el levantamiento o que instrumental sería el que más se adecúa a lo que se está persiguiendo. Hay que conocer el objetivo principal que debe cumplir este instrumental, que reside en poder acceder a aplicaciones de campo para actualizar, poder capturar nuevas entidades y asociarles unos valores a sus atributos. La idea de emplear una estación total mejoraría la precisión posicional pero no se adecuaría de ninguna forma a la fase de trabajo, de tal modo que se ha de pensar en una antena GPS que permita una conexión móvil y garantice una precisión en el entorno cercano del centímetro, además de que su coste sea asequible. Para ello se ha recurrido a una antena Leica Zeno FLX100, la cual se describe como una antena inteligente compacta, ligera y precisa.



**Figura 57** Antena Leica Zeno FLX100 y sus especificaciones *Fuente:* Leica Geosystems

El motivo por el que se ha escogido este tipo de instrumento es por la gran sinergia que posee con los SIG. Este producto se encuentra en la sección de colector de datos GIS dentro de la página oficial de Leica Geosystems, y en la descripción de la propia antena se comenta lo siguiente:

*“Aplicaciones de campo fáciles de utilizar*

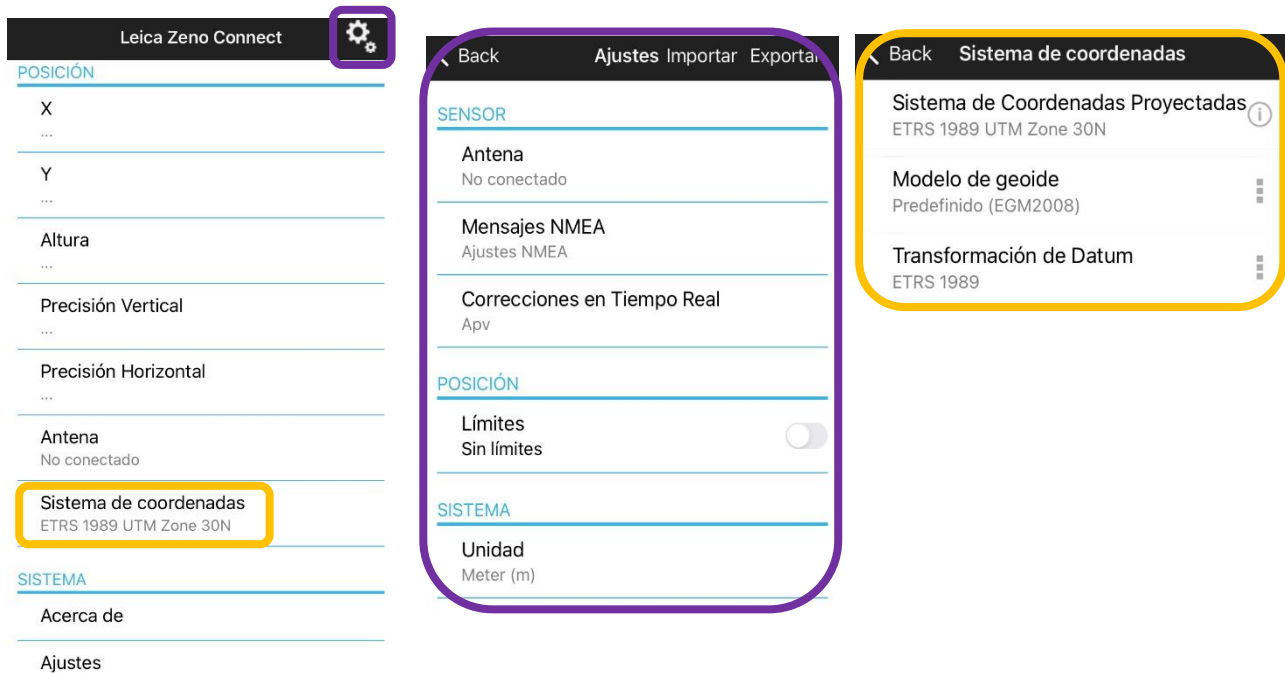
*Capture datos GIS con múltiples funciones en el campo con la antena inteligente Leica Zeno FLX100 y utilizando la aplicación Leica Zeno Mobile. La facilidad de uso convierte las tareas de captura y gestión de datos en un juego de niños.”* (Leica, s.f.)

Home > Productos > Colector de datos GIS > Antenas inteligentes > Leica Zeno FLX100

**Figura 58** Sección de la antena FLX100 en la casa Leica *Fuente:* Leica Geosystems

## 6.2.- Configuración del perfil de levantamiento

La antena FLX100 permite conectarse vía *bluetooth* a cualquier dispositivo móvil o tableta para monitorear el levantamiento o el replanteo de los elementos. Debe de instalarse la aplicación *ZenoConnect* para especificar la configuración GPS y especificaciones de referencias entre otros parámetros de ajuste.



**Figura 59** Configuración previa al levantamiento *Fuente: Propia (ZenoConnect)*

Una vez dentro de la aplicación habrá que crear en primera instancia un perfil de correcciones en tiempo real. Dentro de esa pantalla se deberá especificar el método en el que se quieren recibir las correcciones. Como en este caso se cuenta con una antena fija, se introdujo su correspondiente IP y diferentes campos a rellenar para conectar con el fijo. Posterior a ello y de manera dependiente del lugar geográfico en el que se deba realizar el trabajo, se ha de especificar un modelo del geoide, el sistema de referencia y las unidades de medida.

Una vez iniciada la conexión entre antena y móvil comenzará a recibir las correcciones fijando la posición. Es posible que el lapso de tiempo tarde más o menos en fijar, pero en cuestión de unos minutos en el peor de los casos se conseguirá alcanzar 2 cm de precisión horizontal y 3 cm de precisión vertical. En esos instantes ya puede iniciarse el levantamiento, con cualquier tipo de aplicación que lo permita, aunque para este caso el levantamiento será un caso especial que requerirá de más procesamiento.

## 6.3.- Aplicaciones de levantamiento: ArcGIS Field Maps

Según ESRI, los desarrolladores de esta app, “*ArcGIS Field Maps permite a los trabajadores móviles recopilar datos, marcar mapas y rastrear su localización, todo desde una aplicación.*” (Darbyshire, 2020)

Esta aplicación está disponible tanto en ordenador para el diseño y gestión de los mapas como en móvil o tablets para el levantamiento. Esta idea separa dos fases, siendo una de ellas el diseño de la GDB para la creación de los mapas de campo y otra que será la fase de campo en la que se tomará nuevos datos o se actualizarán los existentes.

### 6.3.1.- Diseño del esquema de datos y creación de dominios

#### *Esquema de datos*

Este apartado va a mostrar la importancia que tienen los modelos de datos en un SIG. El puerto de Valencia tiene definido su propio modelo y en este proyecto lo que se ha realizado es un estudio de la calidad del mismo. A pesar de ello, los SIG pueden presenciar diferentes etapas, en las que en un momento se piense que



Elaboración de cartografía portuaria y su implementación en SIG

determinados campos serían útiles, pero conforme el paso del tiempo es posible que ya no se deseen o sean prescindibles. Ello es típico sobre todo en aquellos campos que tienen el mismo valor para todos los registros. De normal un campo con valores comunes no suele resultar de utilidad y solo hace que sobrecargar la tabla de atributos de una entidad, por lo que a no ser que sea un campo necesario para operaciones de análisis, es mejor replantear el mantenimiento de dicho campo. Tras reunirse todos los técnicos, se ilustró en una hoja Excel la gdb de las capas a actualizar sobre la que se matizaron aquellos campos fundamentales y que pueden ser medidos en campo, discriminando de los otros que por el contrario deben ser reconsiderados.

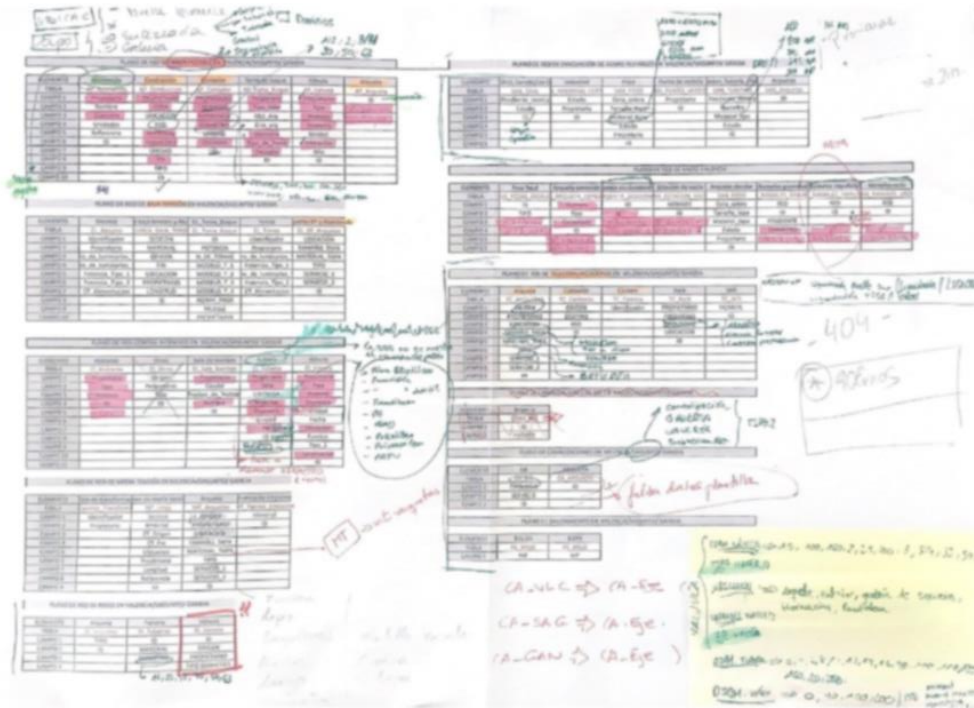


Figura 60 Escaneo del esquema de datos para actualización SIG Fuente: Propia

**NOTA:** Se ha introducido un difuminado para mantener la privacidad de los datos. La ilustración anterior pretende mostrar el trabajo realizado para definir los *features* de campo conservando sus campos relevantes.

Sobre este esquema de datos depurado, se creará la nueva gdb para el proyecto de versionados de campo, aunque aún queda una tarea a realizar para facilitar y agilizar el trabajo, los dominios.

**Dominios**

Aunque su definición ya fue dada en el capítulo referente a la introducción a los SIG no se desglosó lo suficiente. Estos son empelados para describir valores que pueden ser admitidos en un determinado campo. Lo que se consigue con esto es, por un lado, mantener la sintaxis para cada valor y por otra parte agilizar el proceso de la asignación temática de cada entidad. Cabe mencionar que estos no son aplicables a todos los casos, existen campos que no pueden explicarse con esta utilidad al presentar gran cantidad de posibilidades en sus posibles valores. Un ejemplo de ello podría ser un campo de cotas. Estas pueden oscilar entre muchos valores, tanto en unidades como en decimales y, crear un código para cada una de estas posibilidades sería completamente inviable. Por el contrario, para aquellos campos en los que sus valores se puedan reducir a un pequeño conjunto, esta herramienta puede hacer el trabajo más sencillo al equipo de campo. A efectos prácticos, aporta un desplegable con

Elaboración de cartografía portuaria y su implementación en SIG

las diferentes opciones que se han confeccionando en su diseño, con lo que únicamente el trabajo temático para este campo se reduce en seleccionar la opción que la describa y ya será interpretado y almacenado por la gdb. Si no se hubiese planteado esta idea, habría que introducir manualmente el valor con las consecuencias que conllevan (mencionadas en el punto 2.3.1).

Propietario	Nombre de dominio	Descripción	Tipo de ca	Tipo de dominio	Política de divis	Política de fusi	Código	Descripción
ARCAPV	DIAM_RAMVAC_SAN	Diámetro de ramal de vacío de red de vacío en SAN	Texto	Dominio de valor codi	Predeterminado	Predeterminado	EST_PREVIOS	EST_PREVIOS
ARCAPV	DIAM_T_BUQUE_AP	Diámetro de toma buque en AP	Texto	Dominio de valor codi	Predeterminado	Predeterminado	PROYECTO	PROYECTO
ARCAPV	DIAM_TUBERIA_CI	Diámetro de las tuberías en CI	Texto	Dominio de valor codi	Predeterminado	Predeterminado	EJECUCION	EJECUCION
ARCAPV	DIAM_VALVULA_AP	Diámetro de las válvulas en AP	Texto	Dominio de valor codi	Predeterminado	Predeterminado		
ARCAPV	DIAM_VALVULA_CI	Diámetro de las válvulas en CI	Texto	Dominio de valor codi	Predeterminado	Predeterminado		
ARCAPV	DIAMETRO_CONTADOR	DIAMETRO CONTADOR AP	Texto	Dominio de valor codi	Predeterminado	Predeterminado		
ARCAPV	DIAMETRO_TUBERIAS_RI	Diámetro de las tuberías en RI	Texto	Dominio de valor codi	Predeterminado	Predeterminado		
ARCAPV	DIM_ARQ_T_BUQUE_AP	Dimensión de las arquetas de toma buque en AP	Texto	Dominio de valor codi	Predeterminado	Predeterminado		
ARCAPV	ESTADO	Estado del proyecto	Texto	Dominio de valor codi	Predeterminado	Predeterminado		
ARCAPV	ESTADO_1		Texto	Dominio de valor codi	Predeterminado	Predeterminado		
ARCAPV	ESTADO_DRE	Estado de las cunetas en DRE	Texto	Dominio de valor codi	Predeterminado	Predeterminado		
ARCAPV	MATERIAL_ARQ_TC	Material de las tapas de las arquetas en TC	Texto	Dominio de valor codi	Predeterminado	Predeterminado		
ARCAPV	MATERIAL_COND_AP	MATERIAL CONDUCCIÓN AP	Texto	Dominio de valor codi	Predeterminado	Predeterminado		
ARCAPV	MATERIAL_TOMA:BUQUE	MATERIAL EN LAS TOMAS DE BUQUE AP	Texto	Dominio de valor codi	Predeterminado	Predeterminado		

Figura 61 Dominios generados para las aplicaciones de campo Fuente: Propia (ArcGIS Pro)

### 6.3.2.- Preparación en ArcGIS Pro para versionado

Con el objetivo de no realizar las modificaciones directamente sobre la gdb del puerto sobre la cual se encuentran almacenados la gran mayoría de los elementos, es necesario realizar un versionado para las aplicaciones de campo, es decir, adecuar un proyecto con los mapas y capas que se deseen actualizar separándolas de la gdb principal. Esta acción permite mantener la integridad de los datos en caso de una situación desfavorable o equívoca.

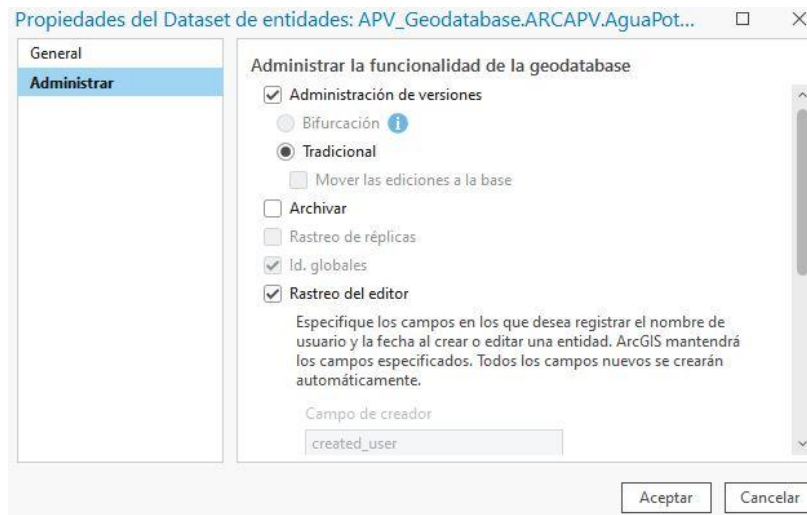
Se van a crear tres diferentes mapas:

1. Mapa versionado de campo: Será el utilizado para el levantamiento en campo de los servicios.
2. Mapa versionado de calidad: En este se realizará el control de calidad de los datos tomados del levantamiento.
3. Mapa versionado de defecto: Está directamente enlazado con la publicación para el *site* una vez comprobado que cada elemento introducido es correcto.

Para su creación habrá que en primer lugar realizar una selección de cada uno de los servicios que se pretendan actualizar desde la GDB principal. Ello se debe realizar mediante el administrador del menú contextual y dentro de la opción se marcarán las siguientes cláusulas (se ha de hacer tantas veces como servicios se quieran actualizar):

- Administrar versiones (tradicional)
- Rastreo editor
- ID globales, para poder trabajar sin conexión.

Elaboración de cartografía portuaria y su implementación en SIG

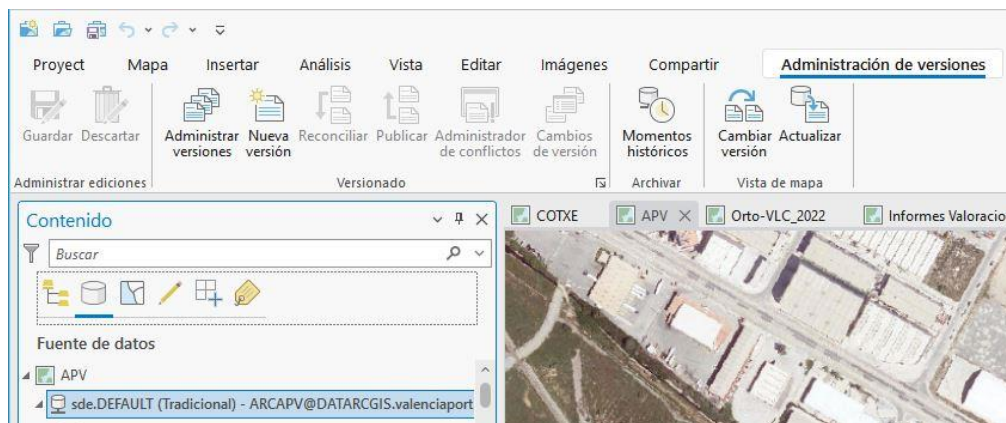


**Figura 62** Administración del dataset de entidades *Fuente: Propia (ArcGIS Pro)*

Cada uno de estos mapas corresponderán a una versión, debido a que se cuentan con tres mapas en total existirán tres versiones. Para la creación de estas versiones es necesario tener seleccionada la gdb dentro de la fuente de datos de los contenidos. Con esta acción, se habilitará la opción de ‘Administrador de versiones’ sobre las cuales habrá diferentes operaciones que se disponen para versionar.

Nombre	Propietario	Principal	Descripción
CALIDAD	ARCAPV	DEFAULT	
CAMPO	ARCAPV	CALIDAD	
DEFAULT	sde		Versión predeterminada de instancia.

**Tabla 2** Versiones de las geodatabases *Fuente: Propia (ArcGIS Pro)*

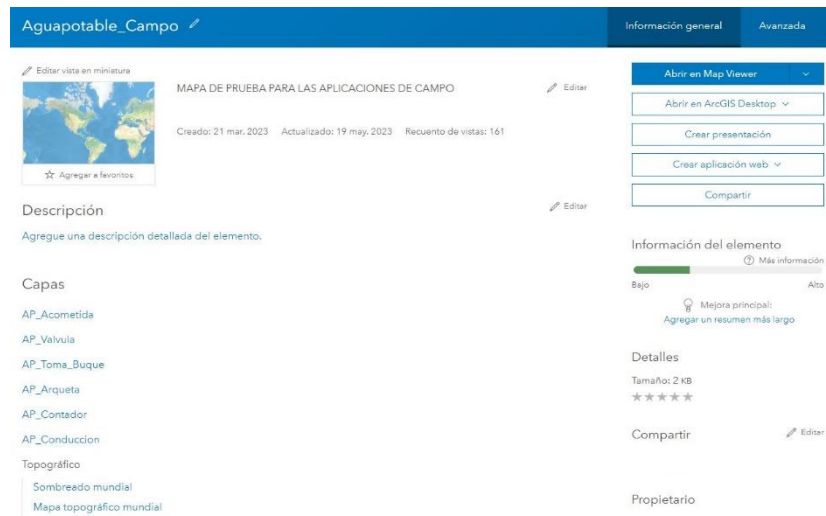


**Figura 63** Despliegue del administrador de versiones en la barra de herramientas *Fuente: Propia (ArcGIS Pro)*

Para explicar el siguiente paso a seguir se ha capturado la tabla 2, que explica los versionados que se han realizado. La columna en la que más se ha de enfatizar es en la tercera. Se podría decir que estos tres mapas que se han creado respetan una jerarquía o, por lo menos siguen un orden determinado. El primero de ellos es el de campo, que será el que reciba los datos tras su publicación que se comentará más adelante. El segundo corresponde al de calidad, donde se realizará un control por técnicos de redes para comprobar que no se presentan incongruencias, y el último es el mapa de defecto, el cual contiene la gdb por defecto/gdb principal, en la que cada entidad que es introducida o actualizada se publica simultáneamente al visor SIG del puerto. El último paso por realizar para acabar esta fase preparatoria será la publicación de los *datasets* de la versión de

Elaboración de cartografía portuaria y su implementación en SIG

campo, que serán los mapas de trabajo en las aplicaciones de campo. Este debe ser creado con las diferentes capas que componen al servicio.

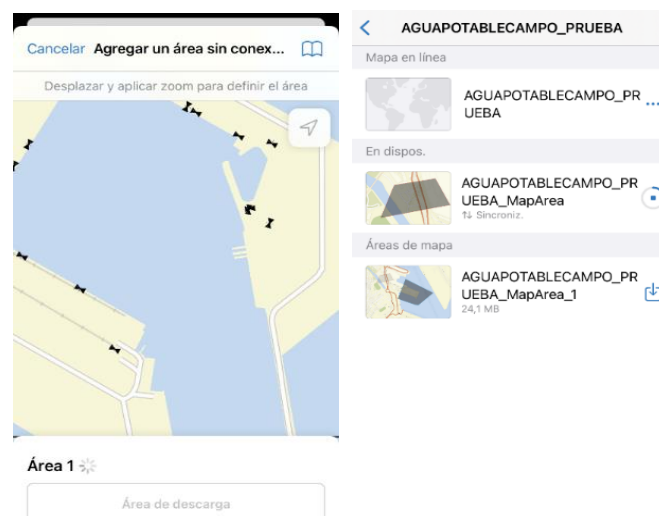


**Figura 64** Mapa de AP para aplicaciones de campo (visión desde el portal) *Fuente: Propia (ArcGIS Pro)*

**Áreas fuera de línea**

La aplicación Field Maps permite incorporar una serie de áreas para trabajar sin conexión. Como las publicaciones se hacen de manera privada, para actualizar las capas se requiere de permanecer conectado a la red *host* para acceder a los datos de las entidades. Dado que las dimensiones de un puerto son realmente extensas se requiere de la implantación de estas superficies. De otra manera podrían resultar útiles para en zonas donde se prevea que puede perderse cobertura o tener fallos de conexión.

Estas áreas pueden ser definidas directamente desde el programa de ordenador o su aplicación móvil. El resultado de estas áreas son un nuevo mapa que debe ser descargado con conexión en la red principal. Una vez completada la descarga ya se tendrá acceso a las entidades, permitiendo su modificación tanto gráfica como temática y todo ello fuera de línea. Una vez el levantamiento ha finalizado, los cambios serán guardado en este mapa del área. Se requerirá de una sincronización (mediante conexión Wifi *host*) para incorporar los cambios al mapa de campo del dispositivo móvil, que este asimismo está enlazado al mapa versionado de campo de ArcGIS Pro.



**Figura 65** Áreas sin conexión en Field Maps *Fuente: Propia*



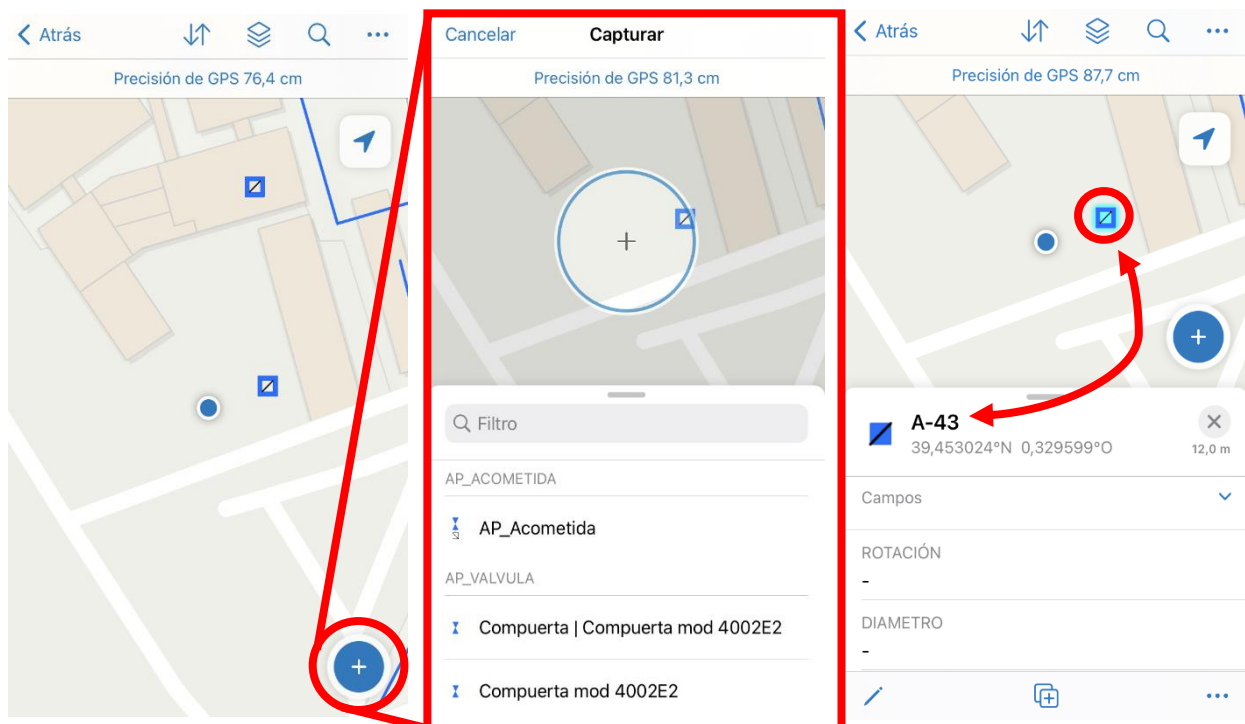
### 6.3.2.- Procedimiento a seguir para la toma de datos y su posterior publicación

En el momento que ya se disponen de los mapas con las capas a actualizar ya se encuentra todo preparado para el levantamiento de los elementos. En este caso el equipo de campo ya tiene todo el equipo configurado para acudir a la zona de trabajo y realizar un barrido por áreas.

Una vez ya en el área a levantar, se ha de realizar es encender la antena y activar el *bluetooth* del dispositivo móvil. Cuando los equipos ya se hayan sincronizado, se ha de entrar en la aplicación ZenoConnect para comprobar que se están recibiendo precisiones, donde una vez la precisión planimétrica y de alturas se fije a 2 y 3 cm respectivamente, ya puede abrirse la aplicación de levantamiento, en este caso Field Maps.

Dentro de esta app se ha de seleccionar el mapa de trabajo o el área sin conexión definida previamente para inicializar la toma de datos en campo, de manera que se cubra todo el entorno. Existen dos maneras de tomar las entidades: La primera y más sencilla sería la opción de realizar un levantamiento aproximado desde el móvil gráficamente, es decir, desde cualquier lugar introducir una entidad en cualquier parte del mapa. Este método sería adecuado en caso de conocer los atributos del elemento y no requerir de precisiones centimétricas, pues el posicionamiento se realiza de manera digital con un mapa de fondo. Si por el contrario los elementos necesitan estar bien posicionados y sus atributos deben contemplarse en el terreno, ya debería recurrirse a un equipo de antenas para aplicaciones SIG, y acudir presencialmente a la zona, mejorando por tanto la exactitud temática y posicional. Esta segunda manera va a ser la que se va a ejecutar para llevar a cabo la actualización del SIG, por lo que lo que hay dos situaciones que se pueden plantear:

- Que exista un nuevo elemento y deba ser capturado a la vez que rellenado todos sus atributos (imagen de la izquierda y del centro).
- Que se deban de modificar los atributos de un elemento ya existente, bien porque hayan variado a lo largo del tiempo o bien porque sus campos no están rellenos (imagen de la derecha).



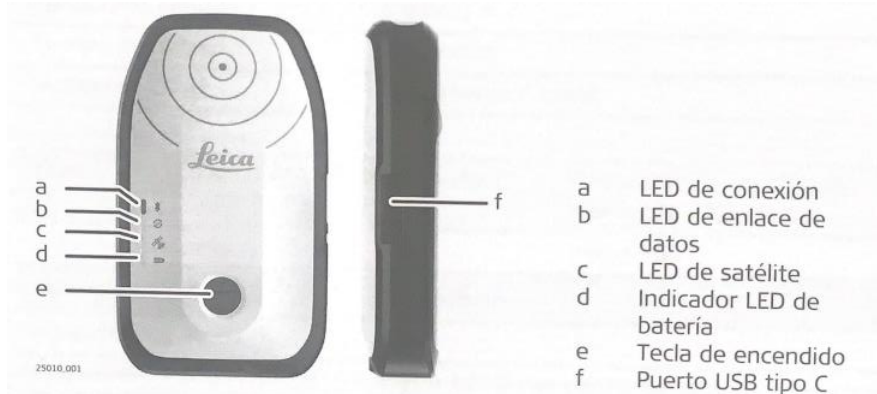
**Figura 66** Toma de datos con levantamiento mediante antena *Fuente: Propia*

**NOTA:** Las precisiones que se reflejan en la figura de arriba son debidas a un fallo en la antena fija en el momento de la adquisición de las capturas.



## Elaboración de cartografía portuaria y su implementación en SIG

Se aprovecha este comentario para recalcar un aspecto a tener en cuenta durante la fase de captura de datos. En este equipo electrónico de campo en concreto existen cuatro luces led, cada una con un significado específico.



**Figura 67** Escaneo del manual de instrucciones. Significados leds *Fuente: Leica Geosystems*

Es muy importante atender al segundo led (b) que es el que explica que se ha fijado la precisión. Realmente deben estar todos enchufados para asegurar que el levantamiento se está realizando correctamente, y en el momento en el que cualquier led esté apagado se deberá de pausar el levantamiento y revisar cual puede ser la fuente del error. Por este motivo se debe de prestar atención cada un cierto intervalo de tiempo que todas las luces están encendidas.

Cuando se ha hecho el trabajo de campo, al estar referenciado, solo se tiene que reconciliar y publicar desde la versión de campo a la de calidad y de la de calidad a la de defecto. El hecho de que una entidad sea referenciada significa que a la hora de realizar cambios en ella se actualizará al instante, es decir, los cambios que se realicen en un *feature class* no harán falta volver a publicarlos ya que se realiza de forma automática por especificar este tipo de dato. En el momento que el versionado de calidad haya sido revisado por los técnicos en redes y se confirme que todos los elementos sean correctos se vuelve a reconciliar, publicar y actualizar para visualizar los cambios. Si estos pasan a verse reflejados en el versionado *default*, significa que asimismo han sido actualizado en el *site* y en la geodatabase.

## Presupuestos

Este apartado reunirá los diferentes precios por sesión de batimetrías reuniendo los costes directos e indirectos mensuales de este tipo de trabajo topográfico y el correspondiente a las aplicaciones de campo. Debe considerarse que en este presupuesto existen costes variables que son dependientes de la superficie barrida, como puede ser el combustible. Para este caso en concreto ya se cuentan con gran parte de los gastos cubiertos debido a que este organismo realiza trabajos de este estilo continuamente y ya se realizó la compra pertinente de los equipos años atrás. Al tratarse de un trabajo tan específico, la manera más rentable para estos casos es realizar una subcontrata a empresas expertas externas o comprar los equipos en función de la previsión y provecho que se le pretenda atribuir. A modo de ejemplo práctico se va a realizar un presupuesto aproximado en caso de alquilar todos los equipos para llevar a cabo una batimetría, y otro para la actualización del Sistema de Información Geográfica.

### *Levantamiento batimétrico*

El equipo fundamental para llevar a cabo una batimetría es:

- 1 equipo de sonda multihaz EM2040 DUAL RX (MKII)
- 1 perfilador de velocidad del sonido AML Oceanographic Base-X
- 2 receptores GNSS
- 1 embarcación

En cuanto al personal mínimo requerido para una toma de datos por sondeo es necesario:

- 1 patrón que transporte el buque
- 1 marinero a modo de auxiliar
- 1 ingeniero en geomática, topografía y geodesia

Se considera que ya se tiene incorporada una antena que actúa como fija. El equipo GNSS reflejado en el presupuesto tiene en cuenta este aspecto, y este equipo GPS será el que se instale en la embarcación para triangular la posición y obtener una mejor calidad en los datos. No se necesita de ningún complemento para este equipo como pueden ser jalones o controladoras, el precio vendrá referido únicamente a los receptores. De la misma forma se supone que el buque tiene un IMU acoplado para registrar el posicionamiento relativo y detectar los movimientos de este sobre su eje. Los salarios han sido obtenidos como honorarios al tratarse de un trabajo que requiere de experiencia y profesionalidad. El precio de la embarcación pueda variar según el tipo de plataforma en que se pretenda realizar el sondeo, desde lanchas motoras hasta buques. Se ha obtenido como el valor medio de un buque de pequeña capacidad. En la labor del ingeniero en Geomática y Topografía recae la toma de datos y el tratamiento de la información y generación de los entregables, cuyo equipo necesario es aportado por el propio ingeniero. En el precio de la sonda se incluyen los gastos de calibración de la misma.

En los costes indirectos existen conceptos que son referidos a gastos diarios y por persona, como son las dietas o los seguros que se requieren. Se ha tomado como referencia 22 días laborales en un mes como media. El precio del vehículo es variable según el modelo escogido y la gasolina se explica por acudir a zonas como Sagunto y Gandía que se encuentran separadas de la oficina.

Al presupuesto de ejecución material y gastos generales se les ha aplicado un 6% de beneficio industrial y el 21% del IVA. La suma de estos precios tanto en costes directos como indirectos marcará el presupuesto final en € del desarrollo durante un mes de un levantamiento batimétrico, con los requerimientos de personal y equipos impuestos al inicio de este bloque.

En base a lo comentado, se han obtenido el siguiente presupuesto que se incorpora en la siguiente página del documento.

Elaboración de cartografía portuaria y su implementación en SIG

Presupuesto mensual del levantamiento batimétrico

COSTES DIRECTOS		
CONCEPTO	COSTE p.ud	IMPORTE
Sonda multihaz EM2040 DUAL RX (MKII)	6.000,00 €	6.000,00 €
Perfilador de velocidad del sonido AML Oceanographic Base-X		
Receptor GPS topográfico centimétrico Leica GS16 (2 uds.)	770,00 €	1.540,00 €
Embarcación sin patrón por día	290,00 €	5.800,00 €
Ingeniero en Geomática y Topografía	3.750,00 €	3.750,00 €
Patrón	3.200,00 €	3.200,00 €
Marinero - Peón	2.000,00 €	2.000,00 €
	<b>SUBTOTAL</b>	<b>22.290,00 €</b>

IVA	21%	4.680,90 €
B.I	6%	1.337,40 €

<b>TOTAL</b>	<b>28.308,30 €</b>
--------------	--------------------

COSTES INDIRECTOS		
CONCEPTO	COSTE p.ud	IMPORTE
Softwares específicos	350,00 €	350,00 €
Vehículos	500,00 €	500,00 €
Combustible	180,00 €	180,00 €
Seguros	20,00 €	60,00 €
Dietas partidas por persona	10,00 €	660,00 €
	<b>SUBTOTAL</b>	<b>1.750,00 €</b>

IVA	21%	367,50 €
B.I	6%	105,00 €

<b>TOTAL</b>	<b>2.222,50 €</b>
--------------	-------------------

TOTAL DEL PRESUPUESTO GENERAL CONTANDO CON EL PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL (P.E.M), GASTOS GENERALES (G.G) Y BENEFICIO INDUSTRIAL (B.I)

P.E.M + G.G	24.040,00 €
TOTAL B.I	1.442,40 €
TOTAL IVA	5.048,40 €

**TOTAL ACTIVIDAD 30.530,80 €**

*Aplicaciones de campo*

Este tipo de trabajo será llevado a cabo por tres técnicos en redes de instalaciones al tener que rellenar la información temática de cada entidad, lo que requiere de un conocimiento es su respectivo servicio (agua potable, telecomunicaciones, líneas de tensión, ...). Posteriormente los datos serán tratados por un ingeniero en geomática en oficina técnica para realizar las operaciones necesarias dentro de ArcGIS Pro y actualizar el SIG.

## Elaboración de cartografía portuaria y su implementación en SIG

En definitiva, se cuenta con:

- 1 equipo de campo formado por tres técnicos
- 1 equipo de gabinete compuesto por al menos un ingeniero en geomática a modo de delineante
- 3 antenas de campo Leica Zeno FLX100
- 3 jalones, uno por antena
- 3 teléfonos móviles

No se necesita de un equipo informático al ya tener construido y configurado tanto el portal como el *site* del SIG. El tipo de licencia de ArcGIS Pro previene de un soporte técnico a modo de resolución ante problemáticas que puedan surgir. El delineante será el responsable de tratar todos los datos que hayan sido capturados por el equipo de campo y todo el trabajo previo, por lo que su sueldo es referido a una labor más que a un servicio. Por este motivo su coste es referido al contemplado en la resolución del BOE enero del 2023, a diferencia del equipo de campo que serán remunerados por 9€ la hora por el encargo del levantamiento. Dado que el alquiler de las antenas no viene provisto de jalones, deben guardar su coste en el presupuesto. Los móviles serán necesarios para cargar los mapas versionados de las aplicaciones de campo y el fijo como teléfono de empresa para contactar con el soporte técnico en caso de que fuese necesario.

El beneficio industrial desaparece al encauzar el trabajo hacia un proyecto interno de la organización. No obstante, si se considera y mantiene el IVA del 21%.

### Presupuesto mensual de aplicaciones de campo

COSTES DIRECTOS		
CONCEPTO	COSTE p.ud	IMPORTE
Antenas de campo Leica Zeno FLX100 (3 uds.)	580,00 €	1.740,00 €
Jalones (3 uds.)	90,00 €	270,00 €
Delineante	1.172,81 €	1.172,81 €
Equipo de campo (3 personas)	2.160,00 €	6.480,00 €
	<b>SUBTOTAL</b>	<b>9.662,81 €</b>

IVA	21%	2.029,19 €
-----	-----	------------

<b>TOTAL</b>	<b>11.692,00 €</b>
--------------	--------------------

COSTES INDIRECTOS		
CONCEPTO	COSTE p.ud	IMPORTE
Licencia mensual ArcGIS Pro Professional basic (1900EUR/año)	158,33 €	158,33 €
Agua y luz	800,00 €	800,00 €
Teléfonos móviles (uno por antena)	267,00 €	801,00 €
Teléfonos fijos y tarifas	20,00 €	20,00 €
	<b>SUBTOTAL</b>	<b>1.779,33 €</b>

IVA	21%	373,66 €
-----	-----	----------

<b>TOTAL</b>	<b>2.152,99 €</b>
--------------	-------------------

TOTAL DEL PRESUPUESTO GENERAL CONTANDO CON EL PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL (P.E.M) Y GASTOS GENERALES (G.G)

P.E.M + G.G	11.442,14 €
TOTAL IVA	2.402,85 €

<b>TOTAL ACTIVIDAD</b>	<b>13.844,99 €</b>
------------------------	--------------------

## Conclusiones finales

A efectos de los objetivos inicialmente planteados, en toda la extensión del documento se ha podido observar como este organismo se encuentra continuamente cartografiando y monitorizando toda la información del entorno. Busca desarrollar todas las actividades con la mejor precisión que se pueda alcanzar, de modo que se mantenga siempre una exactitud posicional, temática y temporal de los datos. Ello ha quedado reflejado en el último capítulo, en el que el instrumental seleccionado permite garantizar a las entidades que sean tomadas que se encuentren planimétricamente separados 2 cm de la realidad y capturando simultáneamente sus atributos para explicar temáticamente al objeto tomado, donde con una sincronización a partir de mapas versionados, se consigue mediante un levantamiento actualizar la gdb principal. De la misma forma, siempre se mantiene la información actualizada, ya sea con la colección de las campañas de batimetrías o con el caso práctico del desplazamiento del muelle Serpis que se explicó al final de segundo punto.

En adicción, se ha conseguido desglosar en gran medida las capacidades que poseen las batimetrías, así como la cantidad de aplicaciones y el sentido topográfico que aporta a un entorno marítimo. A partir de un fichero de puntos obtenidos mediante sondajes, es posible obtener varios elementos cartográficos que expliquen las profundidades en cada punto, y con una maquetación de estos recursos realizar una cartografía del fondo marino para un determinado perímetro.

Todo ello es reunido y compartido en el Sistema de Información Geográfica, que como se ha comprobado, posee gran relevancia por la cantidad de aportaciones que ofrece. A través de los diferentes mapas creados desde el portal, se ponen a disposición unas entidades precisas que son tratadas desde ArcGIS Pro, de manera que permitan mostrar toda la información temática marcada por un modelo de datos y que pueden ser visualizadas desde el *site* de la APV. Simultáneamente contiene la capacidad de reunir diferentes ficheros que pueden ser enlazados a diferentes elementos para la descarga de archivos asociados, permitiendo compartir de tal manera tantos productos como se desee.

## Aspectos a futuro

En relación con planes futuros, se pretende seguir manteniendo esta consistencia temporal de los datos, monitorizando las variaciones de profundidades con el paso del tiempo para el caso de batimetrías y actualizar continuamente el SIG ante las constantes variaciones que sufren cada uno de sus *datasets*. Las aplicaciones de campo para la captura de la información entre otros, y posterior administración de datos en gabinete mantendrá la consistencia entre las entidades y actualización de las mismas.

Se realizarán campañas de cartografía con diferentes criterios para cada puerto, promoviendo la estandarización y ampliación del modelo de datos, además de la creación de nuevas capas que puedan ir surgiendo, así como mapas y cuadros de mando.

Con la integración del BIM en estas escalas de tiempo, ya se tiene en consideración su potencial y los efectos positivos que brinda esta metodología de trabajo. Por esta misma idea, ya se están planteando mapas 3D de obras futuras de tal manera que consiga recoger el avance de la obra hasta su estado final mediante modelos BIM integrados a partir de la generación de escenas 3D.



## Referencias

- APV. (2023). *Valenciaport*. Obtenido de <https://www.valenciaport.com/autoridad-portuaria/sobre-valencia-port/quienes-somos/>
- ESRI. (s.f.). *ArcGIS para Puertos*. Obtenido de <https://www.esri.co/es-pa/sectores/infraestructura-transporte/fluvias-maritimo/inicio>
- APV. (s.f.). *Valencia Port*. Obtenido de <https://www.valenciaport.com/autoridad-portuaria/calidad/#>
- Alexander. (19 de enero de 2016). *DWG*. Obtenido de TOPOMAP: <https://help.autodesk.com/view/ACD/2018/ESP/?guid=GUID-2580E8B5-2175-49E9-8EA2-02371C61A1B7>
- Villamandos. (1 de octubre de 2022). *Topografía2*. Obtenido de <https://topografia2.com/que-es-una-batimetria/>
- UANL. (20 de septiembre de 2019). *Studocu*. Obtenido de <https://www.studocu.com/es-mx/document/universidad-autonoma-de-nuevo-leon/laboratorio-de-fisica-2/reporte-4-lab-fisica-ii-sonido/27596458>
- M.Farjas. (s.f.). *OCW UPM*. Obtenido de [http://ocw.upm.es/pluginfile.php/399/mod\\_label/intro/Teoria\\_Batimetria\\_Tema\\_13.pdf](http://ocw.upm.es/pluginfile.php/399/mod_label/intro/Teoria_Batimetria_Tema_13.pdf)
- Cartagena99. (s.f.). *Cartagena99*. Obtenido de <https://www.cartagena99.com/recursos/matematicas/apuntes/Apuntes-Sistema%20acotado-R.pdf>
- SIS. (febrero de 2013). *Seafloor Information System*. Obtenido de [https://www.kongsberg.com/globalassets/maritime/km-products/product-documents/164878ac\\_sis\\_product\\_specification.pdf](https://www.kongsberg.com/globalassets/maritime/km-products/product-documents/164878ac_sis_product_specification.pdf)
- Hypack. (marzo de 2020). *Manual Hypack*. Obtenido de [https://www.hypack.com/File%20Library/Resource%20Library/Manuals/2020/2020-HYPACK-User-Manual\\_SP.pdf](https://www.hypack.com/File%20Library/Resource%20Library/Manuals/2020/2020-HYPACK-User-Manual_SP.pdf)
- Alava. (s.f.). *Grupo Alava*. Obtenido de <http://www.grupoalava.com/ingenieros/actualidad/nuevo-sensor-ct-xchange-de-aml-oceanographic/>
- Kongsberg. (s.f.). *Maritime products*. Obtenido de <https://www.kongsberg.com/maritime/products/ocean-science/mapping-systems/multibeam-echo-sounders/em-2040-multibeam-echosounder-max.-6000-m>
- Faro. (29 de julio de 2022). *Software*. Obtenido de Faro scene: [https://es-knowledge.faro.com/Software/FARO\\_SCENE/SCENE/Filter\\_Use\\_in\\_SCENE\\_to\\_Scan\\_Data\\_Noise\\_and\\_Increase\\_Quality](https://es-knowledge.faro.com/Software/FARO_SCENE/SCENE/Filter_Use_in_SCENE_to_Scan_Data_Noise_and_Increase_Quality)
- Cenautica. (s.f.). *Diccionario náutico*. Obtenido de <https://www.cenautica.com/es/isobatas/diccionario-nautico/1219>
- Salaverry. (s.f.). *Salaverry*. Obtenido de <https://www.sti.com.pe/faq/en-que-consiste-el-dragado#:~:text=El%20dragado%20es%20un%20proceso,la%20seguridad%20en%20la%20navegaci%C3%B3n.>
- Leica, G. (s.f.). *Leica geosystems*. Obtenido de <https://leica-geosystems.com/es-es/products/gis-collectors/smart-antennas/leica-flx100>
- Darbyshire, J. (02 de diciembre de 2020). *SIG ESRI*. Obtenido de <https://sig.esri.co/arcgisblog/migrando-a-arcgis-field-maps/>

## Bibliografía consultada

[http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/17/htm/sec\\_8.html](http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/17/htm/sec_8.html)

<http://es.scienceaq.com/Chemistry/100311382.html>

[http://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing\\_ond\\_1/trabajos\\_03\\_04/subacuatica/Sonar.htm](http://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing_ond_1/trabajos_03_04/subacuatica/Sonar.htm)

<https://campus.ffyb.uba.ar/mod/book/view.php?id=257443&chapterid=7062>

[https://cnostatic.s3.amazonaws.com/cno-public/archivosAdjuntos/anexo\\_acuerdo\\_1287.pdf](https://cnostatic.s3.amazonaws.com/cno-public/archivosAdjuntos/anexo_acuerdo_1287.pdf)

[https://deepersonar.com/es/es\\_es/como-funciona/como-funciona-el-sonar](https://deepersonar.com/es/es_es/como-funciona/como-funciona-el-sonar)

<https://doc.arcgis.com/es/insights/latest/get-started/domains-and-subtypes.htm#:~:text=Los%20dominios%20se%20utilizan%20para, donde%20se%20aplica%20un%20dominio.>

[https://es.wikipedia.org/wiki/Efecto\\_Doppler](https://es.wikipedia.org/wiki/Efecto_Doppler)

<https://es.wikipedia.org/wiki/Sonar>

<https://geoinnova.org/blog-territorio/datos-batimetricos-descarga-visualizacion-qgis/>

<https://geoinnova.org/blog-territorio/datos-batimetricos-descarga-visualizacion-qgis/>

<https://geosistemas.com.ar/como-benefician-los-barcos-no-tripulados-a-las-operaciones-de-prospeccion-batimetrica/>

<https://mygisnotebook.blog/2019/03/03/raster-vs-vectorial/>

<https://www.ehu.es/acustica/bachillerato/feaces/feaces.html#:~:text=Algunos%20fen%C3%B3menos%20ac%C3%B3sticos%3A%20efecto%20Doppler,transmisi%C3%B3n%2C%20difracci%C3%B3n%2C%20eco%20y%20reverberaci%C3%B3n>

[https://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing\\_ond\\_1/trabajos\\_06\\_07/io7/public\\_html/sonar1.html](https://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing_ond_1/trabajos_06_07/io7/public_html/sonar1.html)

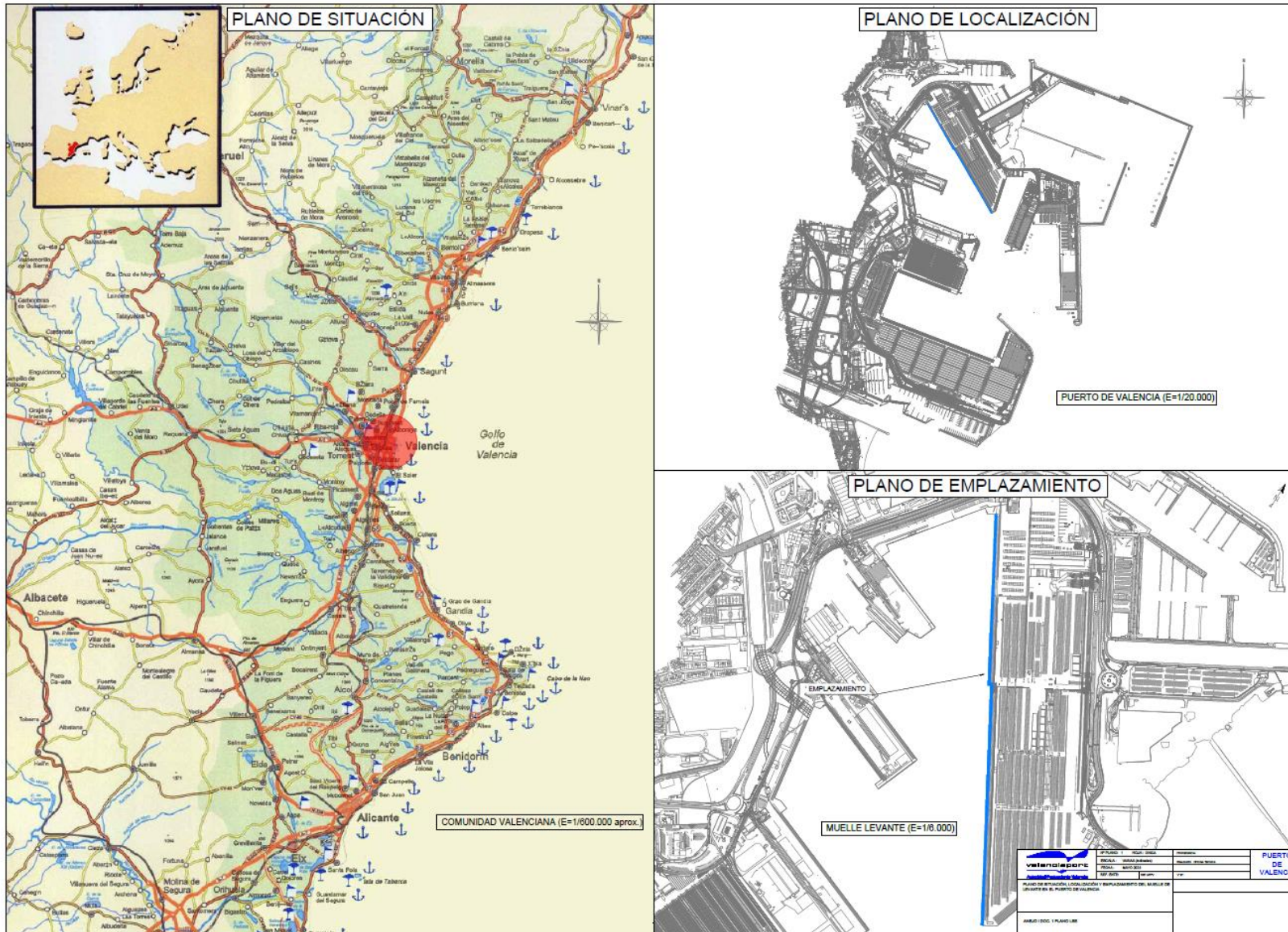
[https://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing\\_ond\\_1/trabajos\\_06\\_07/io7/public\\_html/problemas.html](https://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing_ond_1/trabajos_06_07/io7/public_html/problemas.html)

<https://www.puertoalicante.com/wp-content/uploads/2017/01/Anejo%201.pdf>

<https://www.ugr.es/~andyk/Docencia/TEB/Errores.pdf>

Elaboración de cartografía portuaria y su implementación en SIG

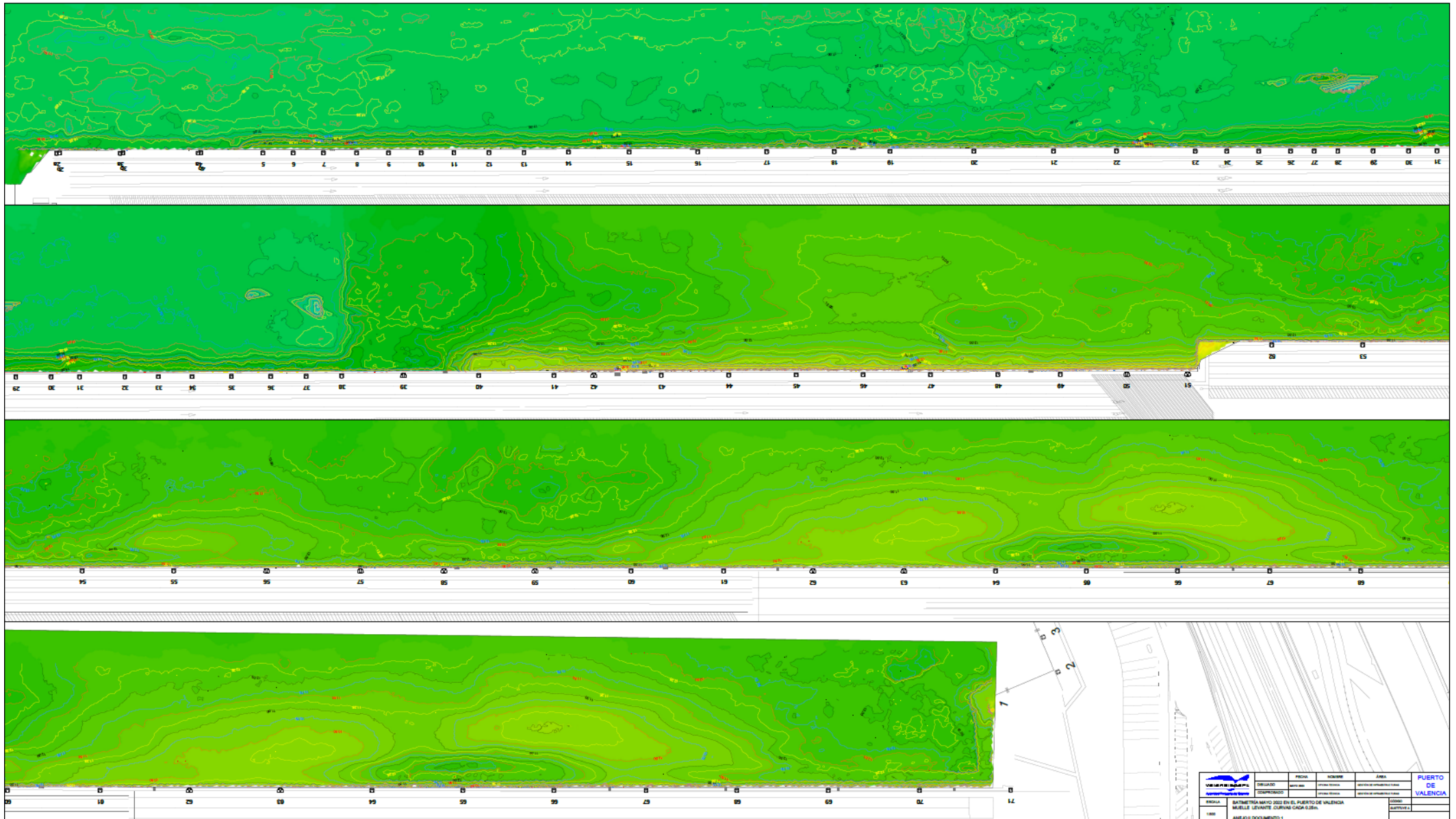
**ANEJO I – PLANOS. DOCUMENTO 1: PLANO DE LOCALIZACIÓN SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO DEL MUELLE LEVANTE EN EL PUERTO DE VALENCIA**





Elaboración de cartografía portuaria y su implementación en SIG

**ANEJO I – PLANOS. DOCUMENTO 2: PLANO DE FONDO CON ISOBATAS**





Elaboración de cartografía portuaria y su implementación en SIG

**ANEJO I – PLANOS. DOCUMENTO 3: PLANO DE FRANJAS DEL COMISARIO CON SONDA**

