

PRIMEROS PASOS EN EL USO DE VEHÍCULOS NO TRIPULADOS PARA LA PRODUCCIÓN CARTOGRÁFICA

José Luis SÁNCHEZ DE LAMADRID JAQUES Luis Manuel RUSILLO DÍAZ-OBREGÓN



Introducción



ODA actividad que tenga lugar sobre o bajo la mar requiere del conocimiento de la forma, naturaleza y características del lecho marino, así como de sus peligros. En definitiva, necesita conocer la hidrografía de la zona. A lo largo de los años, numerosos convenios, reglas y decretos han legislado la instrumentación y documentación que debe llevar un buque en la mar.

Hoy en día, el Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida humana en el Mar (SOLAS) aglutina o al menos da las pautas mínimas que ha de cumplir toda embarcación para garantizar que su navegación sea segura, como también especifica quien le ha de proporcionar esa información. En concreto, en su capítulo V se especifica claramente que el suministro

de los servicios hidrográficos es una obligación para los gobiernos contratantes en el marco del Derecho Internacional en materia de tratados. Más particularmente, la regla 9 del citado convenio obliga a los Estados, entre otras cosas, a «... garantizar que, en la medida de lo posible, los levantamientos hidrográficos se realicen conforme a las necesidades de una navegación segura [punto 2.1]... y a elaborar y publicar cartas náuticas, derroteros, cuadernos de faros, tablas de mareas y otras publicaciones náuticas, según proceda, que satisfagan las necesidades de una navegación segura [punto 2.2]».

Si atendemos a la legislación nacional, la Ley 7/1986 de la Ordenación de la Cartografía dice que es competencia de la Administración General del Estado,

a través del Instituto Hidrográfico de la Marina (IHM), la formación y conservación de la cartografía náutica básica de las costas españolas. A estas costas españolas se les suman aquellas zonas de interés asignadas por la Organización Hidrográfica Internacional (OHI) que, en el caso de España, incluyen las costas de la Antártida.

Asimismo, conforme a lo establecido en el Real Decreto 1545/2007, al IHM le corresponde la planificación y programación de la producción, la formación y la conservación de la cartografía náutica. Además, le confiere el cometido de actualizar la línea de costa española y su posterior remisión al Registro Central de Cartografía de manera periódica para su inscripción como delimitación marítima.

En la elaboración de una carta náutica (a la que en adelante nos referiremos como carta), además de otros muchos elementos, entran en juego dos datos fundamentales, imprescindibles e inseparables: el valor de la sonda y la posición. Desde la antigüedad, ambas mediciones han crecido parejas y no se entiende la una sin la otra. Si hubiera que mencionar un tercer dato por orden de importancia en una carta, posiblemente sería la línea de costa.

Una carta es, al fin y al cabo, un mapa donde se puede representar la posición de una embarcación y el documento donde se planifica la derrota de forma que ésta no pase por un lugar peligroso. Por tanto, su razón de ser no es otra que la de proporcionar y garantizar seguridad al navegante.

Los datos de profundidad, batimétricos o sondas que se muestran en las cartas se obtienen mediante levantamientos hidrográficos sistemáticos realizados por los distintos buques, lanchas y otras unidades de menor porte adscritos al IHM. Estas plataformas se encuentran equipadas con los sensores más modernos de adquisición batimétrica y de posicionamiento, así como con los programas necesarios para planificar los levantamientos y procesar las mediciones obtenidas.

La orografía de las costas españolas hace a veces muy difícil el acceso a determinados lugares mediante las embarcaciones tradicionales, impidiendo obtener datos actuales y debiendo acudir a utilizar otros más antiguos y de poca fiabilidad para alimentar las nuevas ediciones de cada carta. Aunque tal vez sea mejor decir que no es que ofrezcan poca fiabilidad, sino que fueron obtenidos con los medios de por entonces, obsoletos por tanto e inasumibles por los estándares actuales. Lugares como pequeñas calas, puertos deportivos o incluso puertos «normales» se convierten en un auténtico quebradero de cabeza para los patrones de las embarcaciones menores del IHM desde el momento en que hay que maniobrar en un minúsculo espacio, posiblemente con otros buques alrededor, y máxime teniendo en cuenta que llevan un sensor grabando datos. Pero no sólo debemos poner nuestra atención en esas partes de la costa de difícil acceso o de aguas someras; una playa aplacerada, de pequeño gradiente de profundidades, por ejemplo, se plantea como una tarea larga, inacabable, cuyo levantamiento hidrográfico con recubrimiento total del

fondo requiere de un titánico esfuerzo de tiempo y de personal, como se explicará más adelante. Aquí es donde entran en juego los vehículos no tripulados, tanto de superficie como aéreos. A lo largo del presente artículo iremos desgranando los nuevos equipos autónomos con los que se ha dotado al Instituto Hidrográfico. Veremos sus características principales sin entrar en detalles ni datos técnicos que aburran al lector. Presentaremos el uso que se les quiere dar y el que se les ha dado hasta ahora, y daremos unas pinceladas sobre la forma de desplazarlos hasta la zona de trabajo y de su manejo una vez allí.

Principales problemas de los métodos tradicionales

Como se apuntaba en la introducción, la línea de costa es con toda seguridad el elemento de la carta que sufre la mayor parte de sus modificaciones, ya sea en forma de nuevos muelles, modernos pantalanes, ampliaciones de puertos, construcción de marinas deportivas o cualquier otro cambio que venga de la mano del hombre. Como se puede imaginar el lector, estas zonas son de vital importancia para el navegante, sobre todo a la hora de arribar a puerto, por lo que es necesario actualizar constantemente los datos que se muestran en las cartas y, en especial, los de estas instalaciones.

La línea de costa se ha obtenido tradicionalmente mediante la restitución de fotografías aéreas procedentes de vuelos fotogramétricos. Éstos se solicitan al Centro Cartográfico y Fotográfico del Ejército del Aire (CECAF). Bajo unas determinadas condiciones dadas por el IHM —tales como una hora determinada, unas condiciones meteorológicas óptimas, un estado particular de la marea, etcétera—, las aeronaves del CECAF sobrevuelan las costas de España tomando esas fotografías que, tras ser sometidas a procedimientos topográficos, dan como resultado, principalmente, la línea de costa. El margen de tiempo entre la petición y la llegada de las fotografías del vuelo al IHM para su procesado puede oscilar entre dos y tres años, lo que no lo hace muy efectivo para actualizar de manera dinámica la cartografía náutica.

La proliferación en el uso de equipos sin dotación de personal o controlados de manera remota, como pueden ser los sistemas de aeronaves tripuladas por control remoto (RPAS) (1) o los vehículos de superficie no tripulados (USV), ha hecho que el IHM se replantee sus métodos para la obtención de algunos de los datos que forman parte de su cadena de producción.

Disponer de equipos autónomos y de personal con la titulación necesaria dota al IHM de una gran capacidad de maniobra e independencia para poder actualizar rápidamente las cartas. Bastaría con desplazar un equipo a la zona de trabajo, solicitar las autorizaciones pertinentes y efectuar el vuelo, cuyo

(1) *Remotely Piloted Aircraft System.*

procesado, al tratarse de zonas muy acotadas, no llevaría mucho tiempo para conseguir el resultado deseado. En función de la entidad de las modificaciones sufridas en la costa y observadas en la fotografía, el IHM podría emitir avisos literales o bien publicar los avisos gráficos con las correcciones correspondientes a las cartas afectadas en un breve espacio temporal.

En el plano marítimo, el empleo de vehículos de superficie no tripulados de dimensiones reducidas permitirá acceder a zonas donde los botes hidrográficos (y mucho menos los barcos) no pueden entrar por peligrosidad, pudiendo obtener los datos necesarios para actualizar las cartas. También de esta manera, y jugando con la amplitud de la marea, se podrá delimitar de manera segura la línea de costa en bajamar sin que haya que poner en riesgo una embarcación tripulada de mayor porte.

Con el objeto de poder llegar a esas zonas de la costa, el IHM ha adquirido recientemente varios vehículos de superficie no tripulados así como unos drones dotados de los medios de detección necesarios, que permitirán:

- Adquirir datos batimétricos con los sensores acústicos tradicionales.
- Actualizar la línea de costa en aquellas zonas que más varían, que suelen ser los puertos.
- Generar modelos digitales del terreno y las correspondientes curvas de nivel a través de las nubes de puntos obtenidas con el sensor LIDAR (*Light Detection and Ranging*) montados en los RPAS.
- Obtener datos batimétricos derivados de imágenes multiespectrales.

Las ventajas del uso de estos equipos son palpables y mejoran el rendimiento y la eficacia de muchas comisiones hidrográficas, que no necesitarán desplazar un buque clase *Malaspina*, con su dotación de sesenta y tres personas, durante varios meses. No se quiere decir con esto que estas plataformas caigan en desuso, ni muchísimo menos, pero estos equipos nuevos serán capaces de llegar donde no se llegaba con métodos tradicionales, y con un coste económico claramente reducido.

Equipamiento

Vehículos autónomos de superficie

Comenzaremos con los vehículos de superficie, de entre los que distinguiremos los dos modelos disponibles, *Veril* y *Sonda*:



Veril-01 y Veril-02. (Fuente: archivo del IHM)

Serie Veril.—En 2021 se adquirió el primero de esta clase. Se trata de un USV construido por la empresa noruega Maritime Robotics y corresponde a su modelo *Otter Pro*. Este pequeño vehículo posee las siguientes características:

- Dimensiones: tiene dos metros de eslora, uno de manga, otro de puntal y su calado es 50 centímetros.
- Desplaza unos cien kilogramos, peso que incluye ya los sensores instalados, lo que lo hace relativamente fácil de transportar y de mover por tierra.
- Su manejo se realiza principalmente mediante un ordenador que se coloca en una estación remota (puede ser una carpa, a bordo de otra embarcación...) o bien mediante un dispositivo móvil.
- Su propulsión, que es totalmente eléctrica, consiste en dos *pots* (hélices) con capacidad para ser orientadas hasta 180°.
- Monta cuatro baterías que le dan una autonomía de hasta cuatro horas, existiendo además la posibilidad de trabajar con una sola.
- Alcanza una velocidad máxima de seis nudos, que se usa para tránsitos, aunque la óptima de trabajo es de tres nudos.
- Se encuentra equipado con todos y cada uno de los sensores necesarios para llevar a cabo un levantamiento batimétrico según los requerimientos de la Organización Hidrográfica Internacional; esto es:
 - Sondador multihaz de aguas someras EM 2040P, de la empresa Kongsberg.
 - Sistema de posicionamiento de alta precisión con capacidad de recepción de correcciones en tiempo real, o sea de trabajar en modo *Real Time Kinematic* (RTK).
 - Sistema de Medición Inercial (IMU), que sirve para compensar el oleaje de alta frecuencia.



Equipos hidrográficos del USV serie *Veril*. Arriba, sondador, IMU y perfilador de velocidad de sonido. Abajo, Seapath 130 con sus antenas y unidad de proceso. (Fuente: archivo del IHM)



Despiece mecánico del USV serie *Veril*. (Fuente: archivo del IHM)

- Tiene un perfilador de velocidad del sonido que puede ser arriado automáticamente o a petición del usuario mediante un pequeño carretel que lleva instalado a bordo.

Estos vehículos disponen de una estructura o armazón metálico, en el cual van integrados los diferentes módulos electrónicos para sus distintos usos: comunicaciones remotas, control del perfilador de velocidad del sonido (PVS) y control remoto del sondador.

Dado el buen resultado que, desde sus primeras pruebas y despliegues, comenzaba a mostrar el primer *Veril*, en 2022 se decidió adquirir una segunda unidad del mismo modelo *Otter Pro*, que fue equipada con los mismos sensores hidrográficos, constituyéndose entonces la serie de dos USV pequeños: *Veril-01* y *Veril-02*.

Estos equipos, dado su reducido porte y peso liviano, son trasladados en un carrito a bordo de una embarcación mayor o de una furgoneta en el caso de que vayan a ser utilizados en una campaña expedicionaria. En general, su despliegue es muy sencillo.

Serie Sonda.—Si bien aún no debe hablarse de serie, ya que sólo hay una unidad, a finales de 2022 se adquirió un USV de mucho mayor porte, el modelo *Mariner*, también de la empresa noruega Maritime Robotics, al que se le bautizó como *Sonda*, y del que vamos a enumerar sus principales características:

- Dimensiones: tiene una eslora de seis metros por dos de manga y un puntal de dos y medio, siendo su calado de cincuenta y ocho centímetros.



Despliegue del *Veril-01* desde el buque hidrográfico *Malaspina*. (Fuente: archivo del IHM)



Sonda-01. (Fuente: archivo del IHM)

- Desplaza, equipado totalmente, dos toneladas y media, con lo que su transporte ya no es tan sencillo como el anterior.
- En cuanto a la propulsión, cuenta con un motor diésel, con propulsor tipo *jet*, así como un sistema redundante que trabaja en modo eléctrico. Además, dispone de una hélice en proa para velocidades inferiores a tres nudos. El cuadro siguiente muestra la autonomía del vehículo en función de la elección de la propulsión y de la velocidad:

PROPULSIÓN PRINCIPAL (<i>JET</i>)	
VELOCIDAD	HORAS
4-5 NUDOS	48
PROPULSIÓN REDUNDANTE (ELÉCTRICO)	
VELOCIDAD	HORAS
4,5 NUDOS	1,5-2
2 NUDOS	5-6

Tabla 1. Autonomía del *Sonda-01*.

- En cuando a comunicaciones, es bastante versátil, contando con las siguientes posibilidades:
 - Red wifi propia en frecuencias 2,4-5 GHz, lo que permite un alcance en exteriores sin obstáculos de hasta 90 metros.
 - Se controla manualmente mediante un mando que trabaja en 420-480 MHz con un alcance teórico de hasta 900 metros.
 - Va equipado con una tarjeta SIM que le permite tener cobertura 4G.
 - Comunicaciones radio, VHF, con un alcance de hasta una milla náutica.
 - Antena Maritime Broadband Radio (MBR), Kongsberg MBR-144 UHF, que le proporciona un alcance de 20 km dependiendo de la altura de las antenas.
- Al igual que los USV pequeños, este modelo *Mariner* está equipado con todos los sensores que son necesarios para llevar a cabo un levantamiento batimétrico:

- Un sondador multihaz de aguas someras, el mismo modelo que los *Veril*, esto es, un EM 2040 de Kongsberg.
- Un sistema de posicionamiento de alta precisión con capacidad de recepción de correcciones RTK.
- Una IMU para compensación de los movimientos provocados por el oleaje.
- Perfilador de velocidad del sonido, cuyo largado se realiza mediante un dispositivo que no necesita que el buque se encuentre parado, denominado *Moving Vessel Profiler*, MVP.



Sensores del USV *Sonda-01*.
(Fuente: archivo del IHM)

- Además de las comunicaciones y los sensores hidrográficos que se han enumerado, la

Sonda monta el siguiente equipamiento, instalado casi todo el mástil abatible, tal y como se puede apreciar en la imagen «Sensores del USV *Sonda-01*»:

- Radar.
- LIDAR.
- Estación meteorológica.
- Radio de banda ancha para transmisión de datos.
- AIS (receptor y transmisor).
- Posicionador acústico, que permitirá posicionar otros vehículos/sensores submarinos. Este equipo va instalado en la quilla.

Para el transporte y puesta a flote de este USV es necesario el empleo de un sistema de lanzamiento y recogida, denominado LARS (*Launch and Recovery System*), que consiste en un armazón metálico similar a las cunas de los botes hidrográficos, ya implementado en numerosos USV, y que permite a la embarcación nodriza desplegarlo y recogerlo en la mar sin necesidad de parar el barco.

Este sistema tiene un doble propósito; por una parte, estibar el USV a bordo y, por otra, ponerlo a flote. Esta maniobra se realiza de la siguiente forma: una vez el binomio vehículo-armazón se encuentra en el agua, el USV se zafa del LARS y, a partir de ese momento puede ser manejado por control remoto para efectuar la tarea encomendada. La recogida se lleva a cabo del mismo modo: cuando la embarcación ha terminado la misión, retorna al LARS, encastrándose en él mediante el gancho del que antes se zafó, pudiendo proceder a continuación al izado a bordo del conjunto. Hay que tener en cuenta que el peso del LARS es de media tonelada, con lo que el binomio



LARS del USV *Sonda-01*. (Fuente: archivo del IHM)

pesa un total de tres toneladas. Con este peso ya se puede intuir que su despliegue, tanto por carretera como por mar, no es tan sencillo como en el caso de sus hermanos menores.

Sistema Aéreo Pilotado Remotamente (RPAS)

Paralelamente a los vehículos de superficie no tripulados, se adquirieron prácticamente al mismo tiempo tres RPAS modelo *Matrice 300 RTK*, que constituyen la flotilla de drones del IHM y cuyas características se enumeran a continuación:



RPAS *Matrice 300 RTK*. (Fuente: archivo del IHM)

- Puede permanecer en vuelo de forma eficiente hasta 55 minutos sin necesidad de reponer las baterías.
- Posee una baliza anticolidión.
- Es capaz de volar una distancia máxima de 15 kilómetros.
- Tiene una capacidad de carga de equipos, esto es, el peso de los dispositivos que puede incorporar, de hasta 2,7 kilogramos.
- Monta una cámara FPV (*First Person View*) de 960 píxeles, con un campo de visión de 145°. No captura imágenes.
- Dadas sus características aerodinámicas presenta una resistencia a la fuerza del viento de 12 a 15 m/s (aproximadamente entre 24 y 30 nudos).
- Tiene un modo seguro de vuelo. El dron cuenta con sistemas redundantes que evitarían tener que abortar la misión en caso de que se produjeran fallos en alguno de ellos. Los sistemas que se encuentran duplicados son:
 - Baterías.
 - IMU.
 - Antena RTK y módulo GNSS.
 - Barómetro.
 - Brújula.
- La máxima velocidad que puede alcanzar en vuelo es de 23 m/s.
- La precisión obtenible en posicionamiento con RTK fijo es de:

- 1 cm + 1 parte por millón (ppm) en horizontal y
 - 1,5 cm + 1 ppm en vertical.
- Lleva dos baterías con una vida útil de dos horas y media, necesitando un tiempo de carga de dos y cuarto.
 - Altitud máxima de vuelo: 5.000 metros (aunque sólo se le permite 120 metros por legislación).
 - Capaz de recibir posicionamiento multiconstelación, o sea: GNSS+ GLONASS + Beidou + Galileo.
 - Peso máximo despegue: nueve kilogramos.
 - Su manejo se realiza mediante un controlador remoto, que dispone de una pantalla de 5,5 pulgadas que proporciona al usuario toda la información del vuelo: posición y velocidad del dron, altura, velocidad y dirección del viento, etc. El controlador se emplea también para la planificación de los vuelos.



Control remoto del RPAS *Matrice 300 RTK*.
(Fuente: archivo del IHM)

Los RPAS que tiene el IHM se encuentran equipados con los siguientes sensores:

- Cámara fotogramétrica DJI Zenmuse P1, cuyo sensor tiene las características que se relacionan a continuación:
 - Tamaño del píxel: 4,4 μm .
 - Píxeles efectivos: 45 MP.
 - Tamaño del sensor (instantánea): 35,9 \times 24 mm (fotograma completo).
 - Tamaño de fotografía: 3:2 (8192 \times 5460).
 - Lleva un objetivo DJI DL con una focal de 35 mm F 2.8 LS ASPH (con parasol del objetivo y anillo de equilibrado/filtro), FOV 63, 5°.
 - Su precisión horizontal es de tres centímetros y vertical de cinco para un *ground sample distance* de tres centímetros, solape longitudinal del 75 por 100 y transversal del 55 y a una velocidad de 15 m/s.

- LIDAR topográfico DJI Zenmuse L1, que cuenta con las siguientes características:
 - Resolución del sensor LIDAR 1280 x 690.
 - Campo angular (FOV): 95°.
 - Admite hasta tres retornos.
 - Frecuencia efectiva de puntos: 240.000 puntos/s (en operaciones con dos o tres retornos, la frecuencia de puntos es de 480.000 puntos/s).
 - Precisión vertical cinco centímetros, horizontal 10.
 - Cámara fotogramétrica RGB de 20 MP (no tan precisa como la P1) y una focal de 8,8 mm.
 - Sensor de movimiento inercial con un rango en el acelerómetro de +/- 8 g.

- Cámara multiespectral Micasense RedEdge MX:
 - Peso aproximado de 200 gramos.
 - Trabaja en las bandas espectrales rojo, verde, azul, rojo extremo e infrarrojo cercano (IR).
 - GSD: 8 cm/píxel por banda a 120 m AGL (sobre el nivel del suelo).
 - Campo de visión (FOV): 47, 2°.
 - Sensor de luz (DLS) con GNSS integrado.
 - Tasa de una captura por segundo en todas las bandas.
 - Panel de reflectancia, que se usa para la toma de imágenes de calibración antes del despegue y después del aterrizaje e incorporarlas al *software* de procesado.



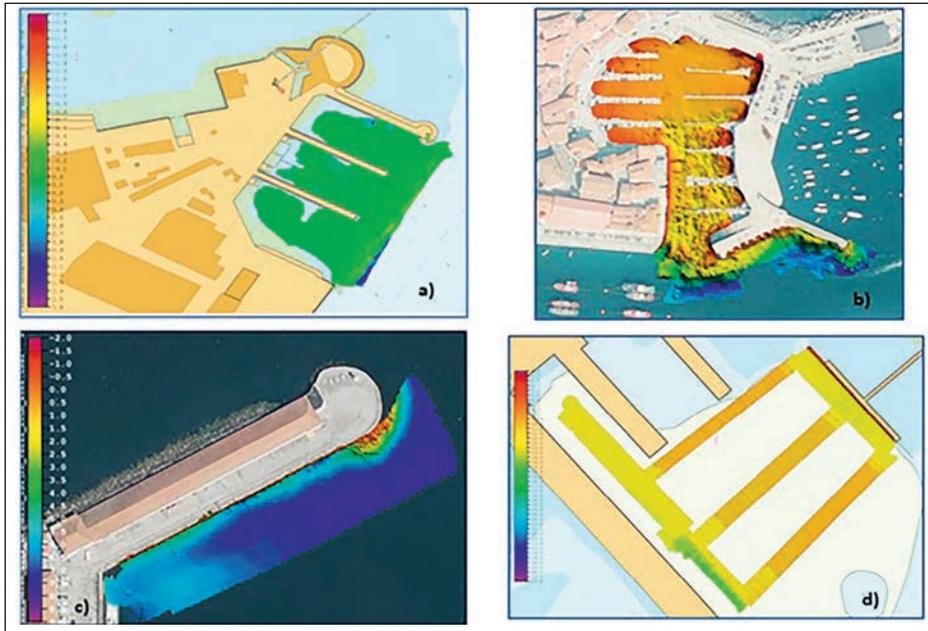
Sensores del RPAS *Matrice 300 RTK*. En orden de izquierda a derecha: cámara multiespectral, cámara P1 y LIDAR L1. (Fuente: archivo del IHM)

Con esta configuración de sensores, y el adecuado *software* de procesado de datos, se pueden obtener los siguientes elementos que podrían alimentar una carta:

- Línea de costa.
- Modelos digitales de superficie y de terreno.
- Batimetría derivada de imágenes satélite.

Empleo operativo de los vehículos no tripulados de superficie

Si bien es cierto que la adquisición de estos vehículos no tripulados comenzó hace dos años, 2023 ha significado el pistoletazo de salida para su uso operativo casi pleno. En concreto, el Plan de Actividades de la Fuerza (PAF) de este año ha contemplado en sus primeros meses una baja *actividad normal*, ya que se ha dedicado al adiestramiento y certificación del personal en el manejo de los USV, al conocimiento de sus equipos y a la redacción de procedimientos operativos que, obviamente, habrá que ir depurando a medida que se adquiera experiencia.



Trabajos con *Veril-01*: a) Estación Naval de Puntales; b) Puerto de Bermeo; c) Muelle de Torpedos de la Escuela Naval Militar; d) Base Naval de Rota. (Fuente: archivo del IHM)

En el caso de la serie *Veril*, se ha trabajado en las zonas que se enumeran a continuación, cuyos resultados ya han pasado a formar parte de la base de datos de batimetría del IHM:

- Estación Naval de Puntales (año 2022).
- Muelle de Torpedos de la Escuela Naval Militar (año 2022).
- Puerto de Bermeo (año 2022).
- Demostración de capacidades en la Base Naval de Rota (año 2022).
- Comprobación de deposición de sedimentos y pérdida de fondo en los muelles del Base Naval de La Carraca (año 2023).
- Sant Antoni de Portmany en la isla de Ibiza (año 2023).

Estos pequeños levantamientos ya han servido para tener una idea bastante clara del posible uso que se les va a dar a los USV de la serie *Veril*. Como se vio en la descripción, los *Veril* son unos vehículos no muy robustos y se ha comprobado que no soportan malas condiciones de mar. Por ello, se pretende que su uso operativo se centre en las aguas interiores de puertos, que es precisamente donde las plataformas clásicas encuentran mayor dificultad de operación por su maniobrabilidad o calado.



Empleo del *Veril-01* durante la campaña de Ibiza del buque hidrográfico *Malaspina*.
(Fuente: archivo del IHM)

A partir del segundo trimestre de 2023, las comisiones hidrográficas que realicen los buques clase *Malaspina*, así como las de las lanchas hidrográficas transportables (*Astrolabio*, *Escandallo*...), dispondrán de un USV de la serie *Veril* para complementar los levantamientos hidrográficos de zonas portuarias, puertos deportivos y otras áreas de difícil acceso. Es de destacar que, paralelamente a éstas, ya se encuentran recogidas en el PAF 2023 de la Flotilla Hidrográfica diversas campañas expedicionarias, que consistirán en el desplazamiento por tierra de un equipo formado por tres o cuatro personas con un USV para la realización de unos trabajos batimétricos muy específicos.

Por otra parte, actualmente se está trabajando en conseguir la certificación y adiestramiento del personal en el manejo del USV *Sonda-01*, con el objetivo de llevar a cabo a la mayor brevedad una campaña de mayor entidad en aguas abiertas.

El *Sonda-01* es un reto, ya que no es tan fácilmente desplegable como los *Veril*, y su uso a bordo de los buques clase *Malaspina* está en estudio. Se han dado los primeros pasos por parte de la Jefatura de Mantenimiento del Arsenal de Cádiz con vistas a realizar una remodelación de sus cubiertas al objeto de dotarlas de los elementos necesarios para la estiba y despliegue de los vehículos desde la mar (recordemos que el conjunto *Sonda-LARS* pesa cerca de tres toneladas). Su mayor porte y resistencia a la mar hace ver que su máximo rendimiento se obtendrá en aguas someras y abiertas, por ejemplo en playas.

Llegados a este punto y aunque no sea objeto de este artículo, se debe dar una pequeña explicación del funcionamiento de los sondadores multihaz que, como se ha dicho, constituyen el principal sensor hidrográfico con el que cuentan estos USV. Un sondador multihaz, por cada disparo, barre una franja que es estrecha en el sentido longitudinal y ancha en el transversal. Aproximadamente ese ancho transversal es de cuatro veces la profundidad. Esto es, si sondamos sobre fondos de diez metros, barreremos veinte a cada banda. Si particularizamos en el multihaz del *Sonda EM2040*, podemos decir que obtiene 512 soluciones de profundidades por cada disparo, es decir, en esos cuarenta metros de barrido están repartidas esas 512 sondas.

La planificación puede llegar a ser muy similar a la que hacían los antiguos dragaminas en sus rastreos; o sea, un proyecto de líneas por el que navegará la embarcación barriendo acústicamente el lecho marino, solapando líneas adyacentes, al igual que hacían dos rastras mecánicas de dos *Patitos* (2) en formación. Entonces, si sobre un fondo aplacerado de diez metros de sonda media planificamos las líneas, teniendo en cuenta que debemos obtener el recubrimiento total, aproximadamente nos salen líneas cada cuarenta metros, sin

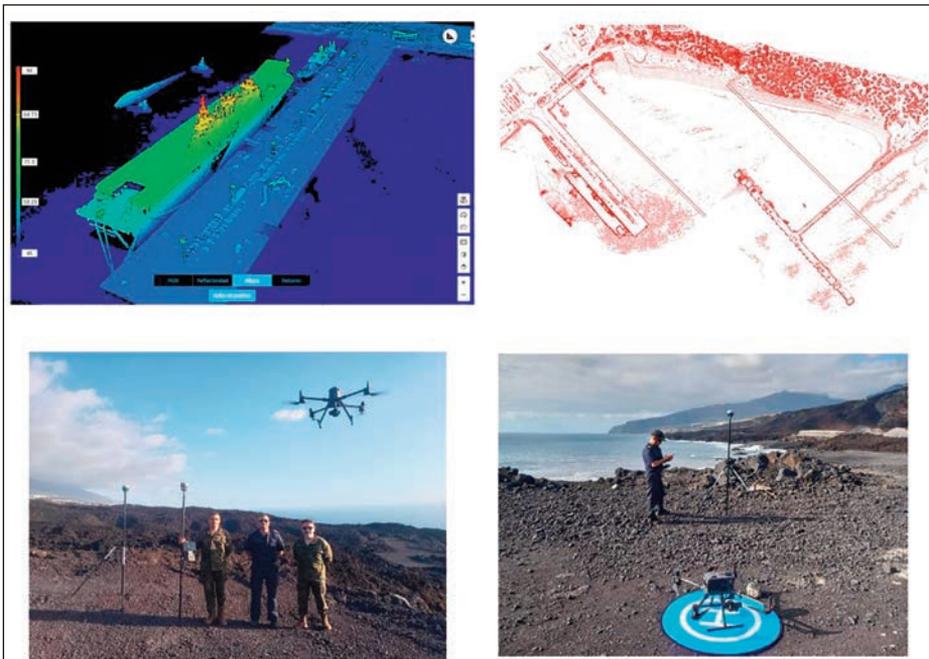
(2) *Patitos* era el sobrenombre cariñoso con el que se conocía a los dragaminas de la clase *Júcar*, que formaron durante muchos años la Segunda Escuadrilla de Dragaminas.

contar los solapes. Puede intuir el lector la cantidad de líneas que habría que sondear en una zona que tuviera un ancho considerable; al final, termina siendo un trabajo perfectamente ineficaz al que hay que dedicar un ímprobo esfuerzo si se hace con medios tradicionales. Y de nuevo es ahí donde entran a jugar los vehículos no tripulados.

Empleo operativo de los vehículos aéreos no tripulados

Si ahora centramos la vista en los trabajos realizados por RPAS hasta la fecha, hay dos que destacan en particular:

- La Base Naval de Rota fue levantada usando uno de los drones el mismo día que el *Veril* realizó la batimetría de la dársena. En un cortísimo espacio de tiempo se obtuvieron imágenes como las que se muestran más adelante. Por una parte, tenemos una nube de puntos LIDAR sobre el *Juan Carlos I*, y por otra, mediante fotogrametría, un modelo digital de elevaciones de los muelles de la Base.



Trabajos con RPAS: a) Base Naval de Rota (LIDAR); b) Curvas de nivel Base Naval de Rota; c) d) Isla de La Palma. (Fuente: archivo del IHM)

EL FUTURO DE LA MARINA CIENTÍFICA

- Línea de costa de la isla de La Palma: como es bien sabido, la reciente crisis volcánica en La Palma trajo consigo la creación de nueva tierra, cuya consecuencia geográfica principal desde el punto de vista hidrográfico fue una modificación de la línea de costa. Por tanto, se decidió desde el IHM enviar una comisión a la isla con el objetivo de levantar, mediante el uso de fotografías aéreas tomadas desde drones, la nueva línea que se había creado en la costa de poniente de La Palma. Esta comisión, compuesta por dos oficiales equipados con uno de los RPAS, se desplazó hasta el archipiélago y, en poco tiempo, tomaron las mediciones necesarias para poder procesar y posteriormente representar en la carta náutica el nuevo trazado. Hay que hacer constar que este proyecto se llevó a cabo de manera conjunta (que no simultánea) con el CECAF y el Centro Geográfico del Ejército de Tierra, CEGET. Todavía está pendiente la comparación de los resultados obtenidos por los distintos métodos que usaron cada uno de los centros. Por último, cabe reseñar que a lo largo de 2023 se publicará la próxima edición de la carta náutica de la isla de La Palma, que traerá como principal novedad que será la primera vez que incluya la línea de costa obtenida usando vehículos no tripulados.

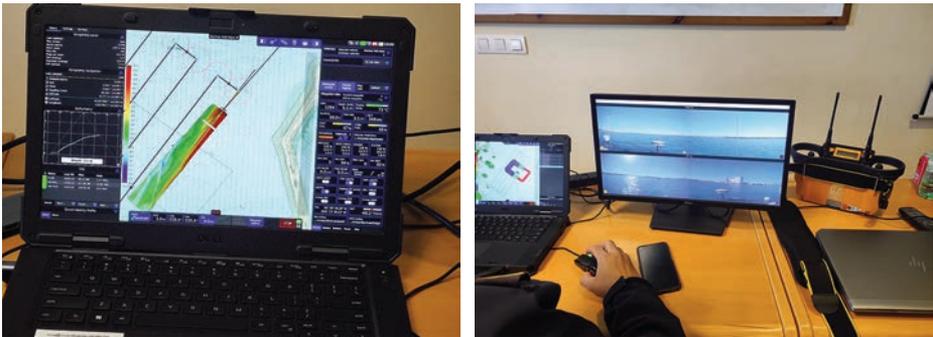


Software de control (VCS). Planificación de línea. (Fuente: archivo del IHM)

Además de lo reseñado, el IHM se encuentra actualmente en proceso constante de formación y certificación de pilotos, de forma que se puedan llevar a cabo vuelos operativos con los RPAS de que dispone, bien sea en comisiones hidrográficas *ad-hoc*, como fue el caso de La Palma, o a bordo de los barcos clase *Malaspina*, y complementar los trabajos topográficos que se le asignen durante las campañas normales.

Modos de manejo

Como se ha podido comprobar a lo largo de estas líneas, los USV del IHM son del tipo RU, es decir, manejados por control remoto sin tripulación. Los



Control remoto de los USV desde la estación de control vía internet. (Fuente: archivo del IHM)

vehículos de la serie *Veril* pueden controlarse de dos formas distintas, bien mediante una aplicación instalada en un dispositivo móvil o bien desde un ordenador con un *software* específico llamado VCS (*Vessel Control Station*).

Mediante este programa se puede acceder a los parámetros de configuración de los diferentes sensores, así como al propio manejo de los equipos. También se puede llevar a cabo la planificación de un proyecto de líneas, como se



Control remoto *Sonda-01* por VHF.
(Fuente: archivo del IHM)

muestra en la imagen de la página anterior. Para el manejo en remoto del USV desde la estación de control es necesario tener una conexión 4G o bien enlace de radio. Los métodos de control para el USV *Sonda-01* son similares a los reseñados anteriormente. Como diferencia principal, destacar que es necesario el uso de una consola portátil para el control remoto que se emplea para sacar el vehículo del LARS.

Legislación nacional e internacional

En el caso de los vehículos autónomos de superficie, no existe actualmente legislación alguna que regule su uso. El único documento que maneja la Dirección General de la Marina Mercante (DGMM) es la Instrucción de Servicio 01/19, en la que se dan algunas pautas, entre las que destacan:

- Definición de las distintas categorías de autonomía:
- Control remoto con tripulación a bordo (R).
- Control remoto sin tripulación a bordo (RU).
- Modo autónomo (A).
- Definición de embarcación no tripulada: «... embarcación de eslora inferior a 12 metros que, siendo capaz de operar sin tripulación a bordo, garantiza en todo momento una navegación segura y protección del medio marino por el que transita de acuerdo a la normativa nacional e internacional aplicable».
- Obligatoriedad de cumplir el Reglamento Internacional para Prevenir Abordajes en la mar.
- El operador deberá disponer de una titulación profesional equivalente al tipo de actividad que vaya a llevar a cabo la embarcación conforme a su desplazamiento y potencia.
- El operador estará certificado para el USV que vaya a manejar. Esto quiere decir que, al igual que sucede con los RPAS, a un usuario se le permitirá manejar únicamente el equipo para el cual esté certificado.
- La embarcación deberá disponer de un sistema de contraincendios.
- Se deberá tener un seguro de responsabilidad civil de entidad suficiente para cubrir aquellos daños que se puedan ocasionar durante el manejo. En este sentido, hay que reseñar que se ha solicitado el alta de las nuevas embarcaciones del IHM en el contrato unificado de seguros del Ministerio de Defensa.

Desde final de 2022, el IHM participa en el seno del grupo de trabajo nacional sobre *Maritime Autonomous Surface Ships* (MASS), que coordina la DGMM y que aglutina a varios organismos dedicados al manejo, investigación y fabricación de los USV, dada su creciente utilización. Ya que para la

Organización Marítima Internacional los buques autónomos constituyen uno de los temas fundamentales en la actualidad, parte de la labor de este grupo es informar a la comunidad marítima nacional de los pasos que se están dando en la legislación global, así como explorar los aspectos a tratar en la regulación española de las embarcaciones autónomas.

En el campo aéreo, el empleo de RPAS se encuentra perfectamente regulado. Conforme a lo establecido en el Reglamento de la Circulación Aérea Operativa, el jefe de Estado Mayor del Ejército del Aire y del Espacio (JEMA) es el responsable de la autorización de las operaciones de los sistemas aéreos no tripulados en el ámbito del Ministerio de Defensa. Las normas establecidas por el JEMA se aplican a aquellos RPAS militares españoles o a aquéllos declarados de interés para la defensa en el espacio aéreo de soberanía, y en los espacios de responsabilidad asignados a España en virtud de convenios internacionales.

Resumiendo, para poder volar cualquiera de los RPAS (3) del IHM es necesario:

- Que los pilotos posean una determinada titulación (curso MINI) y la certificación del equipo.
- Que el RPAS tenga el certificado de aeronavegabilidad y un estudio de seguridad y viabilidad.
- Y por último, un seguro de responsabilidad civil.

Cartografía náutica vs. apoyo REA (evaluación ambiental rápida)

Tal y como se ha descrito en los primeros apartados, los equipos recientemente adquiridos por el IHM son de procedencia comercial, o sea, no han sido diseñados de forma específicamente militar ni han sufrido modificación alguna en ese sentido. Simplemente tienen la capacidad de obtener datos batimétricos y topográficos; es decir, fueron concebidos por sus fabricantes para fines científicos/cartográficos; tampoco se trata de prototipos, ya que están plenamente desarrollados y probados en el mercado mundial. Por tanto, no debe considerarse su uso en zonas de operaciones, ya que, entre otras razones, son vulnerables a la perturbación y su detección e identificación sería muy sencilla. Además, tampoco tienen capacidades como la obtención de inteligencia u otros empleos que puedan atribuirse a un vehículo no tripulado puramente militar. Pero pueden ser un buen punto de partida para el diseño y construcción de un USV militarizado que pueda ser operado por hidrógrafos y por otros actores. Esto es, un USV con capacidad de posicionamiento con posibilidad de no ser perturbado, que lleve comunicaciones robustas, que presente

(3) Clase I; Maximum Take-Off Weight (MTOW) <150 kilos.



Astrolabio (A-91). (Foto: Armada)

baja firma radar... y que, al fin y al cabo, permita acompañar y proporcionar apoyo medioambiental y GEOMETOC (*geospacial, meteorological and oceanographic*) a una fuerza naval, siendo al mismo tiempo lo suficientemente versátil como para poder contribuir a la protección del patrimonio arqueológico subacuático o a la acción del Estado en la mar, o prestar apoyo a operaciones de guerra de minas, de buceo o de inteligencia.

En este sentido, desde fechas recientes el IHM participa en el desarrollo un vehículo nacional, coordinando las aportaciones de un grupo técnico integrado por personal del Centro de Buceo de la Armada, de Medidas Contraminas e Inteligencia y del propio IHM, encargado de definir sus capacidades militares.

Este USV deberá disponer de sistemas de control, de comunicaciones y de transmisión de datos imperturbables, así como de un sistema de posicionamiento preparado para hacer frente a *jamming* y *spoofing* y trabajar en un ambiente electrónico hostil. Además, deberá estar dotado de todos aquellos sensores necesarios para adquirir datos que, posteriormente, alimentarán al Sistema de Apoyo Automático Meteo-Oceanográfico para las Operaciones Marítimas (SIAAMETOC), que permite automatizar productos de asesoramiento al mando en el apoyo REA en zonas regionales y locales, de un modo automatizado, eficiente y sencillo para un operador al que no se le exija una cualificación técnica elevada. Por último, también deberá estar equipado con aquellos sensores de apoyo a las capacidades navales mencionadas (medidas contraminas, inteligencia, buceo...).

Conclusiones

La reciente adquisición de varios RPAS que tienen la capacidad de realizar vuelos fotogramétricos y toma de datos mediante un sensor LIDAR y de imágenes multiespectrales, ha dado al IHM una mayor autonomía a la hora de obtener información que servirá para actualizar la cartografía náutica. Indudablemente no se dejará de trabajar con el CECAF ni de solicitarles vuelos, ya que las áreas que barren sus aeronaves son inmensas comparadas con las que, de momento, es capaz de levantar un dron. Pero el uso de estas nuevas tecnologías, la facilidad de desplazamiento y su bajo coste le dan una gran independencia al IHM para realizar con exactitud y rapidez levantamientos topográficos de muelles de nueva construcción, de puertos deportivos, de ampliaciones de instalaciones portuarias y un largo etcétera, con un simple y eficaz despliegue de una pequeña comisión hidrográfica.

Tres cuartos de lo mismo ocurre si el sensor usado es la cámara multiespectral, con la que se espera que, una vez procesados los datos, se pueda obtener batimetría derivada de este tipo de imágenes. Si bien es verdad que este método está todavía en fase experimental y no ha sido incluido aún en las normas hidrográficas internacionales, no es menos cierto que los avances que van apareciendo poco a poco en publicaciones especializadas hacen que el uso de las imágenes de este tipo sea un tren que no hay que perder y al que, más tarde o más temprano, habrá que subirse.

Por su parte, los USV series *Veril* o *Sonda* permitirán que el IHM sea capaz de obtener datos batimétricos en zonas donde otro tipo de embarcaciones no puede acceder, o en lugares cuya extensión suponga un esfuerzo tan grande que no merezca la pena realizarlo con medios tradicionales. Con las características de que disponen este tipo de sistemas, su volumen y sus pocos requerimientos logísticos, el IHM ha adquirido la capacidad de desplegar un reducido equipo hidrográfico en poco tiempo allá donde sea necesario.

Los resultados obtenidos hasta ahora son muy prometedores, como se ha ido mostrando a lo largo de este artículo. Queda mucho por hacer, muchos procedimientos por escribir —doctrina incluida—, mucho que aprender y mucho que mejorar, mucho adiestramiento que cumplir para que todo hidrógrafo sea capaz de manejar estos USV y sacarles el mayor rendimiento en la obtención de datos para la cartografía náutica oficial de España; pero, indudablemente, los pasos que se han dado han ido en la dirección correcta.

Buque hidrográfico *Tofiño* (A-32).
(Foto: Armada)

