



**Conocimiento y transferencia de
tecnología sobre vehículos aéreos y
acuáticos para el desarrollo transfronterizo
de ciencias marinas y pesqueras
(POCTEP 0622-KTTSEADRONES-5-E)**

Informe técnico

**Actividad 2. DESARROLLO DE SENSORES Y HERRAMIENTAS
INFORMÁTICAS PARA VEHÍCULOS AÉREOS Y MARINOS
(adenda)**

**Informe de diseño, desarrollo y testeo del sistema de control
del vehículo de superficie no tripulado (USV) con capacidad
para portar un vehículo submarino autónomo (AUV).**

Producto final – Acción 2.2 (adenda) | 28/02/2022

Nombre del Proyecto: KTTSeaDrones - Conocimiento y transferencia de tecnología sobre vehículos aéreos y acuáticos para el desarrollo transfronterizo de ciencias marinas y pesqueras.

Código del proyecto: POCTEP 0622-KTTSEADRONES-5-E

Datos del proyecto

Localización	España y Portugal		
Fecha de inicio	01/10/2017		
Fecha de finalización	31/12/2021	Prórroga hasta	30/10/2022
Financiación total	€ 1.120.864,43		
Contribución UE	€ 840.648,32		
Cofinanciación UE (%)	75%		

Datos del beneficiario principal (BP)

Beneficiario principal	Universidad de Huelva
Persona de contacto	Vicerrector de Investigación y Transferencia
Dirección	C/ Cantero Cuadrado 6, 21004 Huelva
Teléfono	+34 959 218013
E-mail	kttseadrones@gmail.com
Página WEB (proyecto)	https://kttseadrones.wixsite.com/kttseadrones

Datos del documento

Nombre	Informe de diseño, desarrollo y testeo del sistema de control del USV con capacidad para portar un AUV
Acción	2.2 Diseño y construcción o adquisición y transformación de un USV capaz de operar autónomamente y portar un AUV
Autores	Manuel Bethencourt Núñez
Equipo técnico	Luis Mariscal (UCA) Arturo Morgado (UCA) Pedro Luis Galindo (UCA) Andrés Yáñez (UCA) Miguel Bruno (UCA) Oscar Álvarez (UCA) Ana Bartual (UCA) Ignacio González (UCA) Gloria Peralta (UCA) Alberto Gullón (UCA) Felipe Cerezo (UCA)
Fecha	28/02/2022
Versión (nº)	1

Las opiniones presentadas en este informe comprometen únicamente a los beneficiarios del proyecto y, en consecuencia, no representan en ningún caso la opinión oficial de los órganos de gestión del POCTEP.

ÍNDICE DE LA ADENDA

RESUMEN.....	4
ABSTRACT	4
1. CASCO Y PROPULSIÓN DE LOS USV	5
1.1. CASCO (SIN MODIFICACIONES)	5
1.2. PROPULSIÓN (MODIFICADO).....	5
2. HARDWARE (SIN MODIFICACIONES)	11
3. COMUNICACIÓN (SIN MODIFICACIONES)	11
4. SOFTWARE VCS (SIN MODIFICACIONES)	11
5. SeaDrone 2 <i>plus</i> AUV	11
5.1. SISTEMA DE ANCLAJE DEL AUV (MODIFICADO).....	11
5.2. ESTUDIO DE MANIOBRABILIDAD (SIN MODIFICACIONES)	11
5.3. HANGAR PARA DESPLIGUE DE UN DRON (NOVEDAD).....	11
6. BIBLIOGRAFÍA	12

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. a) Cruise 3.0 TL, b) batería de litio Power 24-3500.....	5
Figura 2. Posición preliminar de colocación de la hélice: a) vista por estribor; b) vista por popa.....	6
Figura 3. Simulación por popa del flujo de agua atravesando la hélice.....	8
Figura 4. Simulación por babor del flujo de agua atravesando la hélice	9

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Potencia consumida P_c en kilovatios para cada velocidad y distintas condiciones de viento y de mar..	10
--	----

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1: Gráfica que muestra la potencia consumida P_c para cada velocidad y distintas condiciones de viento y de mar.	8
Gráfica 2. Muestra la potencia consumida P_c para cada velocidad y distintas condiciones de viento y de mar.	10

Acción 2.2. Diseño y construcción o adquisición y transformación de un USV capaz de operar autónomamente y de portar un AUV (adenda).

Informe de diseño, desarrollo y testeo del sistema de control del vehículo de superficie no tripulado (USV) con capacidad para portar un vehículo submarino autónomo (AUV).

RESUMEN

En este informe se presentan, a modo de adenda, los resultados obtenidos desde el 30 de junio hasta el 31 de diciembre de 2021 del diseño del SeaDrone2, un vehículo de superficie no tripulado USV (*Unmanned Surface Vehicle*) con capacidad para portar un vehículo submarino autónomo AUV (*Autonomous Underwater Vehicle*), y de la adquisición de un USV comercial Otter modelo Pro. Esta adenda completa la información contenida en la versión 1.0 de 30/06/2021. Sobre el mismo solo se añade un apartado nuevo, 5.3. *Hangar para despliegue de un dron*.

ABSTRACT

This report presents, as an addendum, the results obtained from June 30 through December 31, 2021 from the SeaDrone2 design, an unmanned surface vehicle (USV) capable of carrying an autonomous underwater vehicle (AUV), and the acquisition of a commercial USV Otter model Pro. This addendum completes the information contained in version 1.0 of 06/30/2021. Only one new item is added, 5.3. *Hangar for deployment of a drone*.

1. CASCO Y PROPULSIÓN DE LOS USV

1.1. Casco

Durante este periodo no se han realizado modificaciones sustanciales en ninguno de los cascos.

1.2. Propulsión

Durante este periodo se ha establecido el sistema de propulsión del SeaDrone2 y la potencia a instalar que finalmente deberá proporcionar una velocidad de ocho nudos, considerando la resistencia efectiva vinculada a cada estado de viento y de mar. Definida previamente la posición de los motores en sendos espejos de popa de los patines o carenas, se ha definido la potencia a instalar. En el planteamiento teórico inicial del SeaDrone2 se habían seleccionado 2 motores VariMax de Mercury, conectados a sendas baterías marinas de ciclo profundo de 12 V. Finalmente, en un análisis de detalle de los productos existentes en el mercado, y atendiendo al presupuesto disponible para esta partida, se ha elegido la opción de una motorización eléctrica a través de dos motores Torqeedo Cruise 3.0 TL (Figura 1.a) instalados en el espejo de popa de los patines. Se trata de unos motores livianos pero potentes, contruidos en aluminio anodizado resistente a la corrosión, y preparados para travesías largas. La potencia de entrada es de 3000 W, una potencia de propulsión equiparable a la de un fueraborda de gasolina de 6 CV, más contaminante y pesado, y suficiente para desplazar vehículos de hasta 3 Tn.

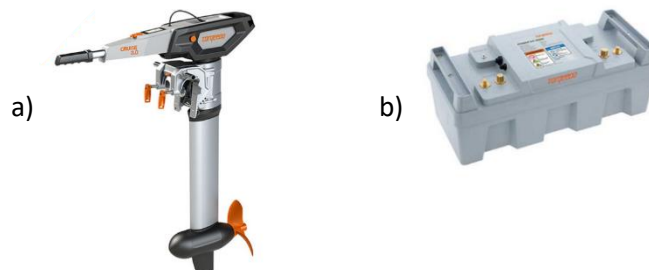


Figura 1. a) Motor Torqeedo Cruise 3.0 TL; b) batería de litio Power 24-3500.

Se ha establecido el coeficiente de la propulsión C_p que relaciona la potencia consumida del motor P_c con la potencia efectiva P_e para dicha potencia.

$$P_e = C_p \cdot P_c$$

Este coeficiente de propulsión es resultado de la unión de varios coeficientes y rendimientos:

$$C_p = R_p \cdot \eta_{trans} \cdot \eta_{mec}$$

siendo η_{trans} el rendimiento de las transmisiones, η_{mec} el rendimiento mecánico y R_p el rendimiento propulsivo que, a su vez, se desglosa en los siguientes elementos:

$$R_p = \eta_h \cdot \eta_r \cdot \eta_o$$

donde η_h es el rendimiento del casco, η_r el rendimiento de rotación o de colocación de la hélice y η_o la eficiencia de la hélice en aguas abiertas.

Estos coeficientes se establecen de acuerdo a la información disponible de este modelo de motor suministrada por el fabricante y tomando unas consideraciones que se mostrarán más adelante. Una vez obtenido C_p se calculará la potencia efectiva que será capaz de generar el juego de motores. Esta potencia se utilizará como dato de entrada para la gráfica de potencia efectiva para distintas velocidades y condiciones ambientales. Finalmente, la potencia efectiva se puede reescribir como:

$$P_e = P_p \cdot \eta_h \cdot \eta_r \cdot \eta_o \cdot \eta_{trans} \cdot \eta_{mec}$$

Los dos motores fueraborda Torqeedo tienen cada uno un consumo de 3000 W y con una potencia de empuje en la hélice de 1530 W, según las especificaciones técnicas del fabricante. Con la relación entre estas potencias se obtiene la eficiencia global del sistema de propulsión:

$$\eta_g = 1530/3000 = 0,51$$

Cada motor irá instalado en el espejo de popa de cada carena, pues estos propulsores resultan más convenientes para instalarlo; simplemente dejando el dispositivo de sujeción a la carena. En los fuerabordas, el eje de la hélice atraviesa una caña vertical. Mientras mayor sea la longitud de esta caña, menor será la interacción con el casco, pero menor será la velocidad del flujo de agua de entrada a la hélice. También se elige este tipo de sistema de propulsión porque resulta fácil un comportamiento autónomo y un control remoto, al simplemente instalar un actuador de timón y una unidad de retroalimentación. A continuación, Figura 2, se muestra la posición en la que se colocarán los motores:

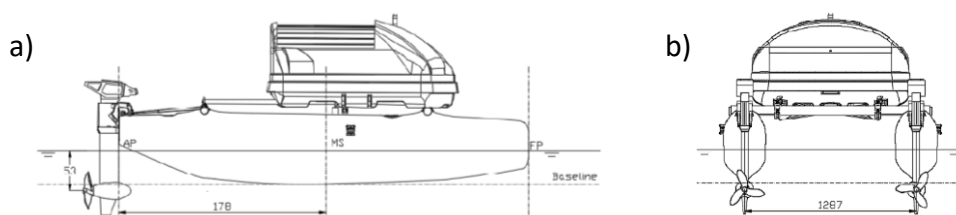


Figura 2. Posición preliminar de colocación de la hélice: a) vista por estribor, b) vista por popa (Fuente: AutoCAD).

Posteriormente se han calculado los coeficientes propulsivos que relacionan la potencia efectiva, necesaria para vencer la resistencia al avance para una velocidad, y la potencia de salida del motor transmitida a la hélice. Estos dependen de varios parámetros: el rendimiento propulsivo, el rendimiento de las transmisiones y el rendimiento mecánico, etc. Estos dos últimos rendimientos dependen del motor elegido. El rendimiento

propulsivo depende a su vez del rendimiento de la hélice, del coeficiente de colocación de la hélice y del rendimiento del casco.

La potencia de salida de la hélice a una velocidad v dada se expresa de la siguiente forma:

$$PD=2\pi nQ$$

donde n es la velocidad de giro en rpm y Q el torque que produce la hélice, en N·m. Este torque puede expresarse en función del coeficiente de torque KQ :

$$Q=KQpn^2D^5$$

donde D es el diámetro de la hélice, en metros.

Para la estimación del rendimiento del casco η_h se necesita a su vez los siguientes parámetros:

Coeficiente de succión t : A una embarcación, para que pueda ser remolcada, se le ha de aplicar una fuerza de empuje T que se oponga a la resistencia al avance, es decir:

$$T=R$$

No obstante, la hélice al girar genera un incremento de empuje ΔT , pues ésta al aumentar la velocidad del fluido que recorre el casco y por lo tanto reduce la presión en la parte de popa de la embarcación, crea un efecto de succión. Ahora la fuerza de empuje necesaria para navegar a una velocidad v aumenta de la forma:

$$T = R(1 + a_r)$$

donde a_r es el factor de aumento de la resistencia:

$$a_r=t/1-t$$

t se puede estimar con la siguiente ecuación empírica presentada por Holtrop y Mennen en "A Statical Power Prediction Method", 1978 [1], en la cual expresa que el coeficiente de succión t depende de las dimensiones principales de la embarcación, la distribución del volumen de la carena y el diámetro D de la hélice.

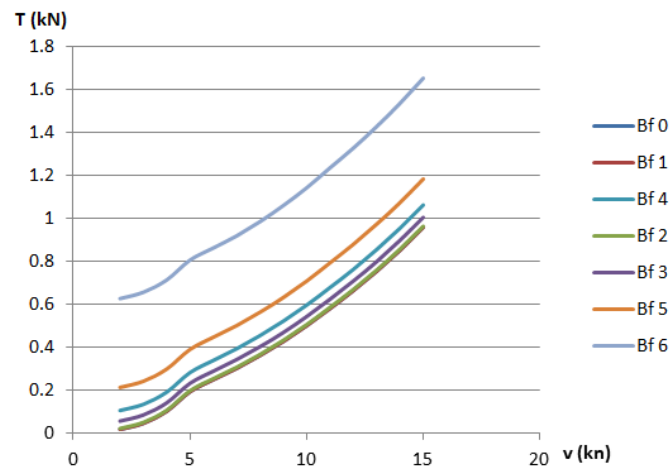
$$t = \frac{0,25014(B/L)^{0,28956}(\sqrt{(B/T)/D})^{0,2624}}{(1 - C_p + 0,0225/l.c.b.)^{0,01762}} + 0.0015C_{stern}$$

l.c.b. es la posición longitudinal relativa del centro de carena frente a la eslora en la flotación. Sustituyendo con los datos de nuestra embarcación obtenemos:

$$t = 187$$

y se obtiene entonces un factor de aumento a la resistencia $a_r= 0,230$

En la Gráfica 1 se muestra el empuje T necesario para propulsar el conjunto AUV-USV con resistencia añadida por efecto de succión de la hélice para distintas velocidades del vehículo y distintas condiciones de viento y oleaje:



Gráfica 1: Empuje necesario para vencer el aumento de la resistencia debido al efecto de succión de la hélice.

Coefficiente de estela, w : Es la relación entre la velocidad de la estela y la velocidad de la embarcación. Durante la navegación, al ser el agua un fluido viscoso, el vehículo arrastra el agua en contacto con la carena: la capa límite. Dentro de esta capa límite la velocidad es menor a la de avance del buque, luego la velocidad del flujo de agua va que entra en el propulsor es menor que la velocidad del vehículo. Como se conocen las formas de la carena y la posición preliminar de la hélice se puede estimar la velocidad de entrada a la hélice v_a para cada velocidad del catamarán mediante simulación CFD con SolidWorks [2]. El modelo se simula para una velocidad del catamarán de 8 nudos, con una velocidad de giro de la hélice de 1040 rpm (el 80% de las revoluciones a máxima carga del motor), Figura 3 y Figura 4. El coeficiente de estela obtenido se empleará para la estimación del C_p .

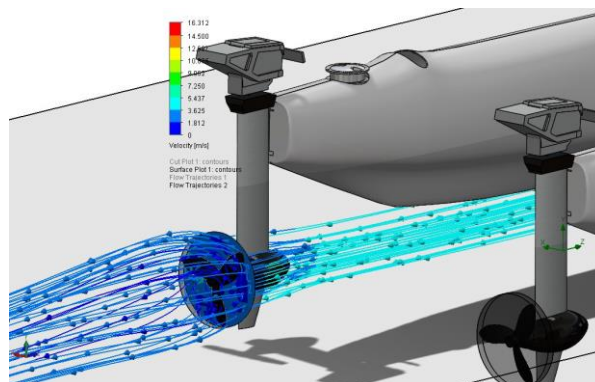


Figura 3: Simulación por popa del flujo de agua atravesando la hélice.

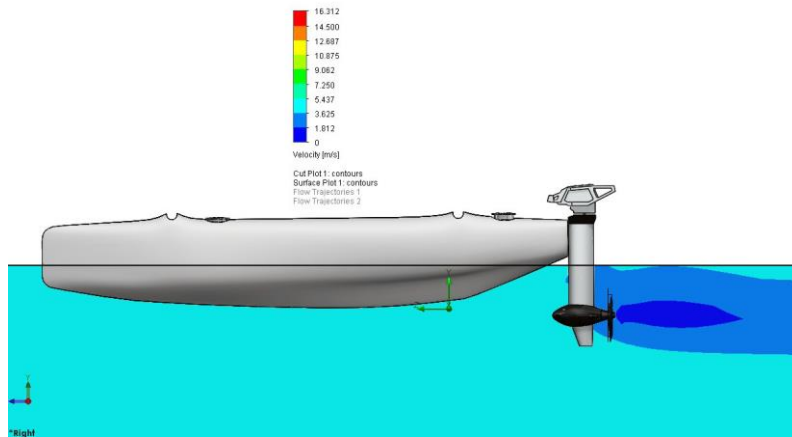


Figura 4: Simulación por babor del flujo de agua atravesando la hélice.

El objetivo de esta simulación es la de obtener la velocidad de entrada a la hélice v_a . Otros parámetros tal como el torque, el empuje, etc. según la velocidad relativa del agua y el número de revoluciones de la hélice no se estiman debido a los datos insuficientes para la recreación de la hélice de forma fiel a la realidad. La velocidad media de entrada es v_a . El coeficiente de estela es entonces:

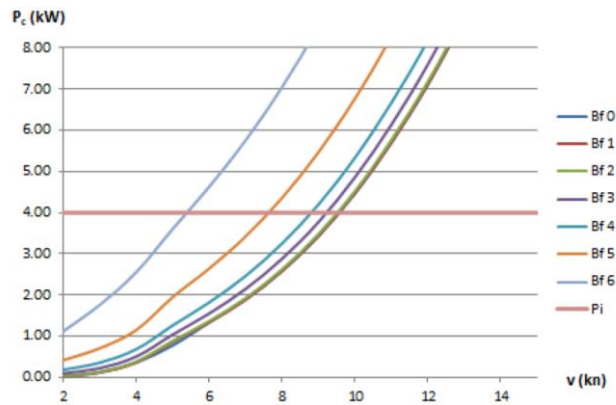
$$w = v - v_a / v = 4,116 - 4,0 / 4,116 = 0,028$$

Tenemos así entonces el rendimiento del casco η_h :

$$\eta_h = 1 - t / 1 - w = 1 - 0,187 / 1 - 0,028 = 0,836$$

Por otro lado, se han realizado los cálculos de la eficiencia relativa de rotación y la eficiencia de la hélice en aguas abiertas. Los cálculos de todos estos parámetros, muy laboriosos, no se incluyen en este informe de resumen de la actividad.

Finalmente se ha podido calcular la potencia consumida P_c , que es la potencia necesaria que debe ser capaz de generar el motor instalado para proporcionar la potencia efectiva P_e necesaria y así vencer la resistencia al avance R_t . Como se conoce C_p , establecido en P_e , se puede estimar la potencia que los dos motores deben consumir de la batería para que la embarcación pueda navegar, superando la resistencia total para cada velocidad y distintas condiciones de viento y de mar, Gráfica 2 y Tabla 1.



Gráfica 2. Muestra la potencia consumida P_c para cada velocidad y distintas condiciones de viento y de mar.

v (kn)	Bf 0	Bf 1	Bf 2	Bf 3	Bf 4	Bf 5	Bf 6
2	0,03	0,03	0,04	0,1	0,19	0,42	1,12
3	0,12	0,12	0,14	0,23	0,36	0,71	1,76
4	0,37	0,37	0,38	0,51	0,68	1,15	2,55
5	0,78	0,87	0,89	1,04	1,26	1,95	3,61
6	1,34	1,34	1,37	1,55	1,82	2,64	4,63
7	1,89	1,89	1,92	2,15	2,47	3,42	5,76
8	2,58	2,59	2,62	2,88	3,25	4,36	7,05
9	3,44	3,44	3,48	3,78	4,20	5,47	8,54
10	4,47	4,48	4,52	4,86	5,34	6,77	10,22
11	5,70	5,72	5,77	6,14	6,67	8,28	12,16
12	7,12	7,13	7,19	7,61	8,19	9,97	14,25
13	8,76	8,77	8,83	9,29	9,94	11,89	16,61
14	10,65	10,67	10,74	11,25	11,95	14,07	19,24
15	12,84	12,86	12,94	13,48	14,26	16,58	22,18

Tabla 1: Potencia consumida P_c en kilovatios para cada velocidad y distintas condiciones de viento y de mar.

El ordenador de a bordo, integrado en la palanca de acelerador en la caña del timón analiza y combina la información procedente del motor y del GPS. El consumo del motor y los datos de velocidad que proporciona el GPS son precisos, al igual que los datos de la batería y de la autonomía. Motores y batería se comunican entre sí, con lo que se dispone de estos datos actualizados en todo momento.

Estos motores operan con baterías de litio o baterías de plomo (plomo-gel o AGM). Finalmente nos hemos decantado por una batería de litio Power 24-3500 (Figura 1.b) que suministra una potencia muy superior que las baterías convencionales de plomo y con un peso más reducido, aumentan la autonomía y la propulsión del SeaDrone2. Los componentes electrónicos integrados en la batería están diseñados para intercambiar datos con el ordenador de a bordo de modo que los datos relativos a la batería como la autonomía restante y la capacidad indicados están siempre actualizados.

Respecto a otros posibles candidatos, estos motores tienen la ventaja de ser compatibles con los instalados en el USV Otter Pro, 2 Torqueedo Utraligth 403m, alimentados por 4 baterías recargables de iones de litio Torqueedo 915Wh (3660 Wh) de alto rendimiento. Eso permite que la electrónica del segundo pueda ser embarcada en el segundo sin ningún grado de incompatibilidad.

2. HARDWARE

Durante este periodo no se han realizado modificaciones sustanciales en el hardware de ninguno de los USV

3. COMUNICACIÓN

Durante este periodo no se han realizado modificaciones sustanciales en los sistemas de comunicación de ninguno de los USV.

4. SOFTWARE VCS

Durante este periodo no se han realizado modificaciones sustanciales en el software VCS.

5. SeaDrone 2 *plus* AUV

5.1. Sistema de anclaje del AUV

Es el momento de la entrega del segundo informe de actividad del que ahora se presenta esta adenda, se estaba trabajando en el diseño del sistema de acople del AUV con el USV. Este estudio ha finalizado, y en diciembre de 2021 se ha presentado para su evaluación la patente “SISTEMA RÍGIDO DE LANZAMIENTO Y RECUPERACIÓN DE UN VEHÍCULO AUTÓNOMO SUBMARINO DESDE UN VEHÍCULO AUTÓNOMO MARINO DE SUPERFICIE MEDIANTE ACCIONAMIENTO ELECTROHIDRÁULICO”. En este informe de adenda se obvia cualquier descripción o plano de la misma, que conlleve la pérdida de novedad durante su revisión por la Oficina Española de Patentes y Marcas. Una vez registrada la patente, esta se incluirá en el apartado de productividad del proyecto.

5.2. Estudio de maniobrabilidad

El estudio teórico de la capacidad de maniobra del SeaDrone2 ha sido actualizado atendiendo a las características de los motores Torqueedo Cruise 3.0 TL adquiridos.

5.3. Hangar para despliegue de un dron.

Es el momento de la entrega del segundo informe de actividad del que ahora se presenta esta adenda, se estaba trabajando en el diseño del sistema de acople del AUV con el USV. Este estudio ha finalizado, y en diciembre de 2021 se ha presentado para su evaluación la patente “HANGAR CON PLATAFORMA DE DESPEGUE Y ATERRIZAJE Y

SISTEMA DE ANCLAJE CON ELECTROIMANES PARA EL TRANSPORTE Y DESPLIEGUE DE UN VEHÍCULO AÉREO NO TRIPULADO DESDE UN VEHÍCULO AUTÓNOMO MARINO DE SUPERFICIE”. En este informe de adenda se obvia cualquier descripción o plano de la misma, que conlleve la pérdida de novedad durante su revisión por la Oficina Española de Patentes y Marcas. Una vez registrada la patente, esta se incluirá en el apartado de productividad del proyecto.

6. BIBLIOGRAFÍA

[1] J. Holtrop and G. Mennen, “A statistical power prediction method,” *International shipbuilding progress*, vol. 25, no. 290, 1978.

[2] SOLIDWORKS 2016 SP2.0.



Interreg

España - Portugal

Fondo Europeo de Desarrollo Regional
Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional



UNIÓN EUROPEA
UNIÃO EUROPEIA