REAL INSTITUTO Y OBSERVATORIO DE LA ARMADA EN SAN FERNANDO
BOLETÍN ROA N.º 1/2023

Diseño y desarrollo de un blanco marítimo con geolocalización y estabilización de posición para el ensayo de tiro de las aeronaves de la Armada

Fundación Alvargonzález

MINISTERIO DE DEFENSA

REAL INSTITUTO Y OBSERVATORIO DE LA ARMADA

FUNDACIÓN ALVARGONZÁLEZ

Diseño y desarrollo de un blanco marítimo con geolocalización y estabilización de posición para el ensayo de tiro de las aeronaves de la Armada

Sandra Rueda Fernández

MINISTERIO DE DEFENSA

Catálogo de Publicaciones de Defensa
https://publicaciones.defensa.gob.es

Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado
https://cpage.mpr.gob.es

publicaciones.defensa.gob.es
cpage.mpr.gob.es

Edita:

MINISTERIO DE DEFENSA
SUBSECRETARÍA DE DEFENSA
SECRETARÍA GENERAL TÉCNICA

Paseo de la Castellana 109, 28046 Madrid

© Autor y editor, 2023

NIPO 083-23-221-2 (edición impresión bajo demanda)
ISBN 978-84-9091-816-6 (impresión bajo demanda)
Depósito legal M 30228-2023
Boletín ROA, ISSN 1131-5040 (impresión bajo demanda)

NIPO 083-23-222-8 (edición en línea)

Fecha de edición: septiembre de 2023
Maqueta e imprime: Imprenta Ministerio de Defensa

Las opiniones emitidas en esta publicación son de exclusiva responsabilidad del autor de la misma.
Los derechos de explotación de esta obra están amparados por la Ley de Propiedad Intelectual. Ninguna de las partes de la misma puede ser reproducida, almacenada ni transmitida en ninguna forma ni por medio alguno, electrónico, mecánico o de grabación, incluido fotocopias, o por cualquier otra forma, sin permiso previo, expreso y por escrito de los titulares del copyright ©.

En esta edición se ha utilizado papel procedente de bosques gestionados de forma sostenible y fuentes controladas.

Foto portada:

Fachada del Edificio Principal del Real Instituto y Observatorio de la Armada en San Fernando (siglo XVIII).

Resumen

Este documento presenta el diseño y desarrollo de un blanco marítimo portátil. El objetivo de este dispositivo es conseguir la colaboración del Real Instituto y Observatorio de la Armada con las demás instituciones militares del país para reforzar las sinergias entre ellas, ofreciendo un producto que les permita a las aeronaves de la Armada realizar los entrenamientos de tiro en alta mar.

Este dispositivo debe ser geolocalizable, para que sea posible el marcado del mismo por parte del piloto de igual forma en la que marcaría un objetivo en una misión real. También debe ser capaz de mantener la posición fija, por lo que debe incorporar algún sistema que le ayude a hacer frente a la deriva que se le va a presentar cuando se encuentre colocado en alta mar. Además, al ser un dispositivo que va a ser detonado, debe de conseguirse elaborar con el menor gasto económico y de materiales posible.

Palabras clave: Blanco, Entrenamiento, Aeronave, Armada, Geolocalización, Marítimo.

Contenido

1. Introducción 5
1.1. Objetivo y alcance del proyecto 5
2. Investigación 5
2.1. Secciones 6
2.1.1. Geofísica 7
2.1.2. Astronomía 7
2.1.3. Hora 8
2.1.4. Efemérides 9
2.2. Diana con geolocalización marítima 9
2.3. Necesidades del proyecto 10
3. Planificación 11
3.1. Metodología de diseño 11
3.2. Planificación del proyecto 12
3.2.1. Estimación de tiempo 12
3.2.2. Diagrama de Gantt 13
4. Requerimientos del proyecto 14
4.2. Requisitos de diseño 14
4.3. Análisis de soluciones 15
4.3.1. Concepto 1 15
4.3.2. Concepto 2 16
4.4. Solución propuesta 17
5. Diseño final y fabricación 20
5.1. Diseño 20
5.2. Fabricación 22
5.3. Rediseño propuesto 23
6. Pruebas 24
7. Conclusiones 26

1. Introducción

El Real Instituto y Observatorio de la Armada de San Fernando, actualmente dirigido por el Capitán de Navío D. Antonio Ángel Pazos García, consta de diferentes secciones relacionadas con la astronomía, geodesia, geofísica, metrología e historia de la ciencia además de multitud de actividades divulgativas que realizan continuamente.

Una de las líneas que se quiere conseguir es la colaboración con otras instituciones militares para reforzar las sinergias entre ellas. Por ello, unos de los proyectos a abordar será el estudio de un sistema para el entrenamiento de aviones u otras aeronaves que se posicione en el mar para que sirva de blanco.

1.1. Objetivo y alcance del proyecto

El objetivo principal de este proyecto es dar soporte en el estudio y diseño de un blanco o diana que sea capaz de mantener su posicionamiento en mar abierto para contribuir al desarrollo de las pruebas que las aeronaves pertenecientes a la Armada Española deban realizar.

Para ello debe ser un blanco fácilmente identificable y tener la suficiente precisión GPS que ofrezca unas coordenadas concretas y fiables que permitan fijar el blanco y desarrollar el entrenamiento de tiro.

Por tanto, se va a llevar a cabo el diseño y desarrollo del producto de una diana marítima con geolocalización y que sea capaz de mantenerse fija en el punto que se determine para el ensayo y maniobra de la aeronave. Posteriormente, se llevará a cabo un prototipo que cumpla esa función además de un rediseño futuro que sea responsable medioambientalmente.

2. Investigación

El Real Instituto y Observatorio de la Armada (ROA) en San Fernando (Cádiz) es un centro científico perteneciente al Estado Mayor de la Armada. Su misión principal es ser un Observatorio Astronómico y Geofísico, pero también se dedica a la investigación en áreas fisicomatemáticas de interés para la Marina, y proporciona formación científica avanzada al personal que lo requiera.

El origen del Real Instituto y Observatorio de la Armada, el observatorio más antiguo de España, se remonta al siglo XVIII. Fue propuesto por el destacado marino y científico Jorge Juan, quien era Capitán de la Compañía de Guardias Marinas, con el objetivo de establecer un observatorio en el Castillo de la Villa (Cádiz), sede de la Academia de Guardias Marinas. Esto se hizo con el propósito de que los futuros oficiales de la Marina adquirieran conocimientos y dominio en una ciencia fundamental para la navegación en ese entonces, que era la astronomía.

En 1753, como resultado de la propuesta de Jorge Juan, se fundó el "Real Observatorio de Cádiz" como una entidad asociada a la Academia de Guardias Marinas. Desde entonces, este nuevo observatorio, el más meridional de Europa, ganó prestigio en el ámbito astronómico europeo gracias a importantes trabajos realizados por destacadas personalidades como Luis Godin o Vicente Tofiño, así como al apoyo técnico y científico brindado a las expediciones científicas españolas ilustradas en el último tercio del siglo XVIII.

En 1798, el Observatorio fue trasladado a la Isla de León, donde se había construido un magnífico edificio neoclásico según los planos del Marqués de Ureña, el cual ha llegado hasta nuestros días. A partir de 1804, dejó de depender orgánicamente de la Academia de Guardias Marinas y comenzó su trayectoria científica como el Real Observatorio de la Isla de León (luego San Fernando) a lo largo del siglo XIX, influenciado por destacados científicos como José Sánchez Cerquero o Cecilio Pujazón.

A lo largo de la historia, el Observatorio ha ampliado sus actividades astronómicas iniciales e incorporado tareas de gran importancia para la Armada y la ciencia española. Estas incluyen el cálculo de efemérides y la publicación del Almanaque Náutico, el Curso de Estudios Superiores, el Depósito de Cronómetros e Instrumentos de la Marina, las observaciones meteorológicas, sísmicas y magnéticas, y la determinación científica de la hora. Todas estas funciones han sido reguladas por diferentes reglamentos a lo largo de los doscientos cincuenta años de existencia de la institución (reglamentos de 1798, 1831, 1859, 1873, 1924, 1945, 1972 y 1979) [1], [2].

Según el reglamento en vigor, al Real Instituto y Observatorio de la Armada le competen:

- Los estudios teóricos y cálculos relacionados con las efemérides y la publicación de las mismas para aplicaciones varias, aunque preferentemente náuticas y geodésicas.
- La colaboración mediante observaciones astronómicas y estudios teóricos en el plano universal con el estudio de los campos de la astronomía de posición y mecánica terrestre.
- La determinación, mantenimiento y difusión de las escalas de tiempo físico y astronómico.
- Estudio de las ramas de geomagnetismo y sismología mediante observaciones geofísicas, estudios teóricos y experimentales con el objetivo de colaborar con la Unión Geodésica y Geofísica Internacional.
- La contribución al progreso de las ciencias astronómicas, geodésicas, geofísicas, físicas y matemáticas.
- La ejecución de los trabajos de investigación que se le asigne por parte del Estado Mayor de la Armada. También la formación y perfeccionamiento de su propio personal científico y a los Jefes y Oficiales que el Mando disponga.
- El asesoramiento en materia relacionada con la medida, conservación y distribución del tiempo, siendo el responsable de la homologación de los cronómetros y certificación de los mismos a efectos de navegación.
- La adquisición, conservación, reconocimiento, clasificación, reparación y estudios de los equipos cronométricos destinados al servicio de la Armada y la reparación y estudio del material cronométrico de los buques mercantes que a tal fin le sea confiado.

2.1. Secciones

Para poder desempeñar las distintas funciones anteriormente mencionadas, el Real Instituto y Observatorio de la Armada se divide en diferentes secciones, Figura 1. Principalmente estas son: Efemérides, Astronomía de la posición, Hora y Geofísica.

Aunque el proyecto que se va a llevar a cabo no se encuentra dentro de ninguno de estas secciones, es importante describir brevemente en qué consisten cada una de ellas ya que son una parte importante del Observatorio.

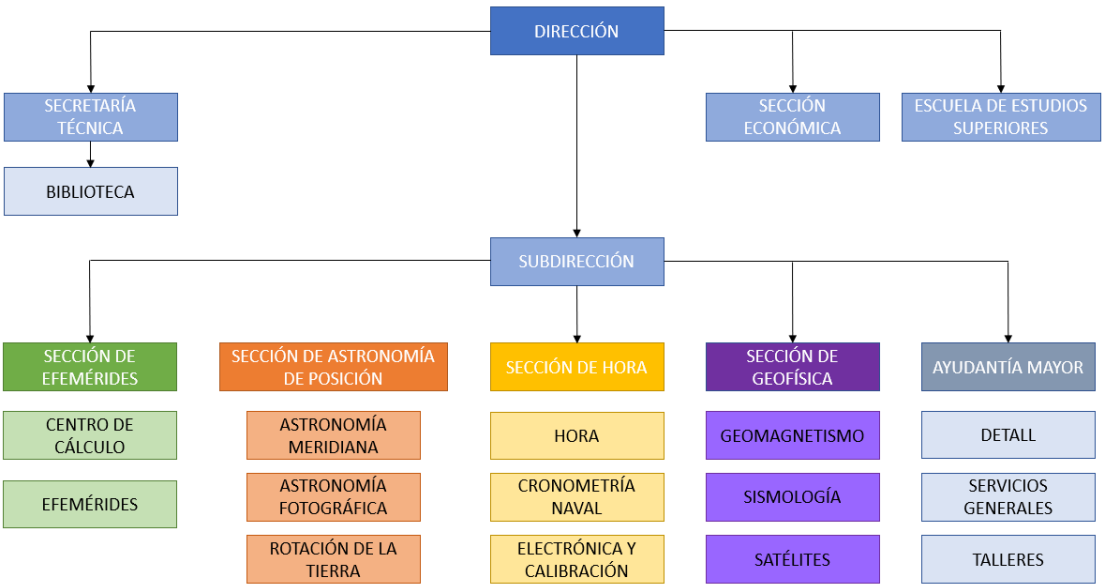

Figura 1. Organigrama de la organización del ROA.

2.1.1. Geofísica

La geofísica es la ciencia que se encarga de estudiar los fenómenos relacionados con la tierra desde la perspectiva físico-matemática. En la sección de geofísica del Observatorio se dedican de manera regular a investigar y analizar el geomagnetismo, la sismología, la geodesia y la meteorología. La sección se dentro del ROA se organiza principalmente en: sismología, geomagnetismo y satélites, además del trabajo relacionado con la meteorología.

En cada una de estas áreas, INSOB es la institución decana a nivel nacional, y en la actualidad, su personal científico es miembro de la Comisión Española de Geodesia y Geofísica, máximo órgano representativo de dichas ciencias a nivel español.

Además, se mantienen colaboraciones con numerosas instituciones a nivel internacional, tales como el *World Data Center* de Estados Unidos, el *British Geological Survey* de Reino Unido, la Agencia Espacial Europea y la Nasa.

2.1.2. Astronomía

La astronomía, según la RAE, es la ciencia que estudia la estructura y la composición de los astros, su localización y las leyes de sus movimientos. En materia de esta ciencia, en el Real Observatorio de la Armada, se da servicio a la astrometría de gran campo, la astronomía solar y la astronomía meridiana.

El Observatorio ha realizado numerosos estudios científicos en el campo de la Astrometría Fotográfica desde sus inicios. El Astrógrafo Gautier fue un elemento fundamental que permitió elaborar la Carta del Cielo y el Catálogo Astrofotográfico, como uno de los primeros hitos en este campo. También, el colaboración con el CIDA de Venezuela, se digitalizaron las placas de estos catálogos para su posterior análisis.

En el siglo XXI, se modernizó el Astrógrafo Gautier con un cámara CCD, que permitió mejorar la calidad de las imágenes que se obtienen con él. Además, con ello también se desarrolló un programa de observación y reducción de imágenes. También se llevó a cabo un proyecto de investigación para determinar con precisión las posiciones de los satélites geoestacionarios.

Otro instrumento importante es la Cámara de seguimiento de satélites Baker-Nunn, que se transformó en un telescopio ecuatorial de gran campo para su uso remoto y robótico. Después de la modernización, se trasladó al Observatorio Astronómico del Montsec y se inauguró oficialmente como el Telescopio Fabra-ROA en el Montsec (TFRM) en septiembre de 2010.

En cuanto a astronomía solar, anteriormente era un estudio centrado en la rotación de la Tierra, pero actualmente ha evolucionado atendiendo a las necesidades científicas actuales, hacia el estudio sistemático de parámetros del Sol. Formando parte de una cooperación internacional, el campo de la investigación astrométrica con el Astrolabio Danjon se dedicó a la observación de los limbos inferior y superior del Sol con el objetivo de determinar las variaciones aparentes de su diámetro. Actualmente el instrumento está a la espera de iniciar un nuevo proyecto internacional de estudios del diámetro solar.

Hoy en día, el Astrolabio Danjon ha sido modificado añadiéndole un sistema de posicionamiento automático en azimut y una cámara CCD, pudiendo determinar diariamente el diámetro solar para confirmar las teorías astrofísicas que describen el comportamiento físico del Sol. La detección de cambios significativos en este valor tiene una trascendencia considerable para la comprensión de la Física Solar y de la respuesta de la atmósfera terrestre a la actividad solar.

Por último, en cuanto a la Astrometría Meridiana, el Real Instituto y Observatorio de la Armada comenzó en la primera mitad del siglo XIX, cuando se realizaron las primeras observaciones meridianas con el anteojo de pasos recibido por parte del artista Thomas Jones.

Con respecto a la Astrometría moderna, en 1948 se recibe otro círculo meridiano que estuvo observando en el ROA hasta finales de 1987. En este periodo se participó en la formación de los catálogos internacionales SRS y NPZT auspiciados por la Unión Astronómica Internacional y en dos catálogos de radioestrellas.

A partir de septiembre de 2004 en cooperación con el IAC (Instituto de Astrofísica de Canarias), el ROA asumió la totalidad del tiempo de observación y mantenimiento del círculo meridiano totalmente automático, gemelo de CMASF, el *Carlsberg Automatic Meridian Circle* (CAMC), siguiendo su expotación científica. Este pasó a denominarse Círculo de Tránsitos Automático (CTA).

2.1.3. Hora

El Real Decreto 130871992, del 23 de octubre, declara al laboratorio del ROA como laboratorio asociado al Centro Español de Metrología en el campo metrológico del tiempo y de la frecuencia, y al patrón que allí se mantiene como “patrón nacional de la unidad básica de tiempo”. Este real decreto también establece la escala UTC(ROA) como base de la hora legal española, aspecto que posteriormente ha sido recogido por la Ley 32/2014, de 22 de diciembre, de Metrología.

Para desempeñar esta misión, la Sección de Hora del ROA está constituida por tres Servicios: Hora, Electrónica y Calibración, y Cronometría Naval.

La escala UTC(ROA), base de la hora legal española, se genera mediante un algoritmo que combina información procedente de una batería de patrones atómicos de frecuencia, constituida por dos máseres de hidrógeno activo y cinco patrones de haz de cesio, optimizando la estabilidad y proporcionando otras características metrológicas de interés, como fiabilidad, control de la exactitud, etc.

A principios de 2012, el ROA participó en el proyecto piloto “UTC rápida” (UTCr), que pasa a ser un servicio oficial del BIPM (Buró Internacional de Pesas y Medidas) desde mediados de 2013. Esta participación le permite conocer una buena estimación de UTC con mayor antelación que la de la

elaboración habitual de dicha escala (una semana frente a 30-40 días), lo que permite mejorar las predicciones y, con ello, la calidad metrológica del UTC(ROA).

En el ámbito nacional se efectúan las siguientes actividades:

- Calibración de sistemas primarios de tiempo y frecuencia procedentes de la industria u otros laboratorios.
- Mantenimiento de los servicios de sincronismo, tanto públicos como privados, para difusión de la hora legal española.
- Colaboración con el Centro Español de Metrología, en el ámbito del convenio marco suscrito entre ambos por la condición del ROA como laboratorio asociado al CEM.
- Asistencia a la Entidad Nacional de Acreditación en las auditorias para el establecimiento o mantenimiento de la acreditación en el área de tiempo y frecuencia, así como a través de su subcomité de Tiempo y Frecuencia.
- Asesoramiento en diferentes ámbitos, como el Servicio de Sincronización Horaria de Equipos de RedIRIS.
- Asesoramiento sobre el material de relojería y cronometría para uso en la Armada.
- Homologación de cronómetros y certificación de utilidad de los mismos a efectos de navegación.
- Adquisición, conservación, reconocimiento, clasificación, reparación y estudio de los equipos cronométricos destinados al servicio de la Armada y reparación y estudio del material cronométrico de los buques mercantes que a tal fin le sea confiado.
- Diseño y desarrollo de sistemas primarios de tiempo y frecuencia para uso en buques de la Armada.

2.1.4. Efemérides

La sección de Efemérides es la más antigua del Observatorio y su objetivo es la publicación de las efemérides necesarias en navegación, astronomía y geodesia, tarea que lleva desempeñando más de 200 años. Esta sección ha ido adaptándose a las nuevas teorías y métodos de cálculo y en la actualidad su campo de trabajo se ha extendido elaborándose numerosos trabajos de investigación de Mecánica Celeste en relación con la Teoría del Satélite Artificial, así como asistir a entidades oficiales y particulares.

La difusión de las efemérides astronómicas se inició en 1791 con la publicación del "Almanaque Náutico y Efemérides Astronómicas para el año bisiesto de 1792", y desde entonces se viene realizando sin interrupción. Esta publicación ha evolucionado al compás de los avances científicos y tecnológicos y en la actualidad, las efemérides astronómicas se distribuyen a los usuarios mediante la aplicación informática ANdi.

2.2. Diana con geolocalización marítima

Una de las líneas dentro de las actividades divulgativas que se realizan continuamente en el Real Instituto y Observatorio de la Armada que se pretende conseguir es la colaboración con las demás instituciones militares del país para reforzar las sinergias entre ellas.

Dentro de esta línea es donde se encontraría el proyecto del que trata este documento, donde se pretende diseñar y desarrollar un sistema que sirva de blanco para el entrenamiento de tiro de las aeronaves de la Armada. Para ello se requerirá de realizar un estudio de lo necesario para desarrollar dicho sistema y que éste pueda ser probado.

2.3. Necesidades del proyecto

Para poder llevar a cabo este producto es necesario tener en cuenta los siguientes puntos:

- El sistema debe ser lo suficientemente grande como para que pueda ser identificado sin dificultad por la aeronave en cuestión. Además, debería ser de un color vivo o en contraste con el mar para su fácil identificación.
- Los materiales que compongan el sistema deben tener el menor impacto posible una vez destruido el blanco.
- La forma y estructura del blanco debe aportar buena flotabilidad, además de conseguir que la deriva en el mar sea la menor posible.
- El blanco debe mantener su posición y debe poderse saber esa posición con exactitud para que pueda ser trasladada al piloto de la aeronave. Esto podría conseguirse a través de un sistema electrónico basado en la tecnología GPS.
- El coste de fabricación del blanco debe ser el menor posible por lo que se deberá hacer un presupuesto ajustado al estudio de viabilidad del proyecto.

Es posible que muchas de estas características sean difíciles de implementar simultáneamente, por lo que posteriormente en este documento tras haber realizado la investigación necesaria del mercado se establecerá una lista de requisitos donde se evaluarán cuáles de ellos son obligatorios, indispensables o deseables.

3. Planificación

3.1. Metodología de diseño

Para llevar a cabo el diseño que se presenta en este proyecto se ha hecho uso de la metodología del doble diamante. Este es un método para la resolución creativa de problemas (Creative Problem Solving, CPS). Lo que se pretende es dar soluciones creativas mediante procesos de convergencia y divergencia, mediante los cuales se consiguen soluciones más diversas. Los cuatro principios del CPS son los siguientes:

- El pensamiento divergente y convergente deben estar bien aplicados, es decir, hay que saber cuándo aplicar cada uno.
- Convertir los problemas en preguntas abiertas con múltiples soluciones, por lo que es más fácil generar información útil a la vez que se va concretando la solución óptima.
- Evaluar las ideas generadas durante la fase convergente y no antes.
- Cuidar el lenguaje que se usa durante la elaboración de la memoria del proyecto, evitando las connotaciones negativas hacía ideas que surjan en fases tempranas.

El doble diamante es una metodología de diseño, que forma parte del CPS, fue elaborada por el British Design Council en 2005, pensada para dar soluciones a problemas complejos que surjan de las necesidades de las personas. Este modelo obtiene su nombre por el diagrama que define el proceso de aplicación, tal y como se observa en la Figura 2.

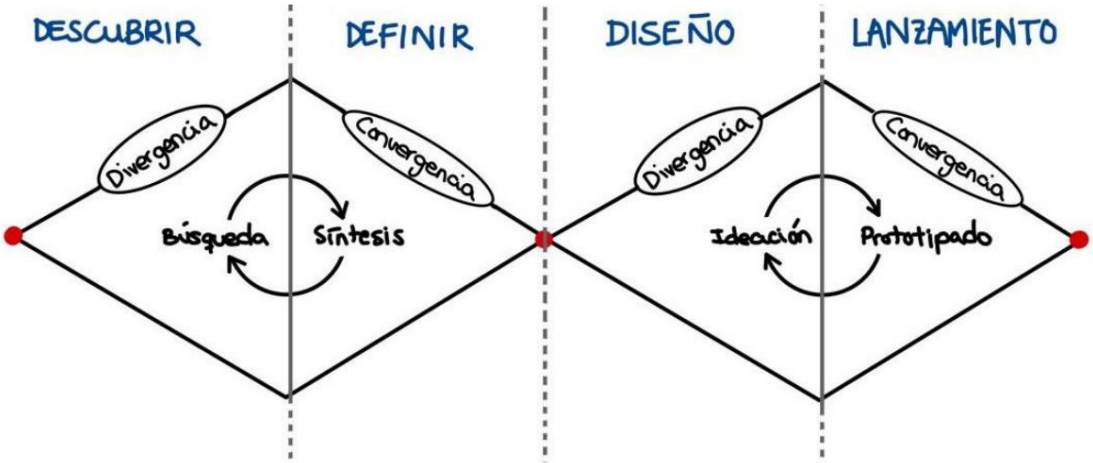

Figura 2. Diagrama de la metodología de diseño del doble diamante.

El proceso se compone de dos partes principalmente: una primera en la que se realiza una búsqueda de información en el campo donde se va a trabajar y se estudia el estado del arte en ese ámbito para poder definir el problema a solucionar, y una segunda donde se trabaja para ofrecer soluciones hasta encontrar la que se adapte de forma óptima al problema definido. Hoy día no se recomienda avanzar de forma lineal por estas etapas, sino que lo idóneo es que se avance y retroceda entre las distintas fases del desarrollo para conseguir entender mejor el problema que se quiere resolver y valorar mejor las alternativas.

Como se observa en el diagrama de la metodología, el período de búsqueda y de ideación se tratan de fases divergentes.

Durante la fase de búsqueda o descubrimiento se contextualiza el problema u oportunidad sobre la que se está trabajando, recopilando información útil y adecuada. Al ser una fase divergente es importante

que no se desarrolle apego por una posible solución inicial que pueda pasar por la mente, porque se puede convertir en algo que perjudique la recopilación de información y las posteriores fases del proyecto.

Durante la ideación es donde comienza el trabajo de diseño, donde se presentan diferentes soluciones al problema que ya ha quedado definido anteriormente. Es importante que mientras se estén presentando conceptos se mantenga la mente abierta y que, además de la lista de requisitos, se tenga en cuenta la usabilidad y las necesidades de los usuarios finales.

Por otro lado, la síntesis y el prototipado son fases convergentes que buscan acotar las ideas y sacar conclusiones de las fases anteriores.

En este caso, la fase de síntesis sería la elaboración de la lista de requisitos de diseño, donde se establecen los puntos que debe cumplir el producto y que han sido obtenidos de los diferentes estudios anteriores. Para ello, se gestiona y organiza toda la información recopilada para poder aplicarla al producto de forma efectiva, filtrándola hasta llegar a la definición definitiva del problema.

La fase de prototipado sería en la que se ha llegado al modelo final a desarrollar, incluyendo modelado, fabricación y producción del prototipo.

En ocasiones se habla de un tercer diamante posterior al prototipado. En este se diverge en el testeo de la solución y se converge en los posibles ajustes a realizar en el prototipo después de sacar conclusiones del testeo.

Esta metodología está intrínsecamente relacionada con el diseño centrado en el usuario (DCU), siendo de sus principales principios entender bien a las personas que van a hacer uso del producto y cuáles son sus necesidades.

3.2. Planificación del proyecto

3.2.1. Estimación de tiempo

Para reflejar la planificación que ha seguido el proyecto, con sus diferentes etapas, se va a hacer uso del diagrama de Gantt. El diagrama del Gantt (Figura 3) es una herramienta de planificación que presenta de forma gráfica el tiempo que se ha dedicado a cada una de las diferentes partes de un proyecto, a lo largo de un período de tiempo total determinado.

En este diagrama pueden superponerse varias etapas al mismo tiempo, cuando se trata de proyectos en los que trabajan varias personas y forman diferentes equipos de trabajo especializados para encargarse de determinadas etapas del proyecto. En este caso, la sucesión de las etapas va a ser lineal, una detrás de otra, ya que es un proyecto desarrollado por una sola persona.

Para poder elaborar el diagrama hay que partir de una tabla (Tabla 1) donde se especifiquen las distintas etapas del proyecto y la duración de las mismas, obteniendo como resultado cuál ha sido la duración total del proyecto.

Tabla 1. Planificación del proyecto

FASES	***TAREAS***	***PLANIFICACIÓN***
INFORMACIÓN	Contacto con ROA	SEPTIEMBRE
	Obtención de especificaciones	
	Reunión presentación especificaciones	
ANÁLISIS	Adaptación del blanco terrestre al marino	SEPTIEMBRE-OCTUBRE
	Estudio de materiales	
DISEÑO	Fase conceptual	OCTUBRE-NOVIEMBRE
	Analisis de soluciones	
	Selección del diseño final	NOVIEMBRE-DICIEMBRE
DISEÑO DE DETALLE	Lista de compra de materiales	
	Aprobación de la lista de compra	
	Montaje	DICIEMBRE-ABRIL
	Pruebas preliminares	ABRIL
PROTOTIPADO DISEÑO FINAL	Transporte	MAYO
	Montaje en barco	
	Prueba en el mar	
	Recogida	
	Elaboración del informe final	JUNIO

3.2.2. Diagrama de Gantt

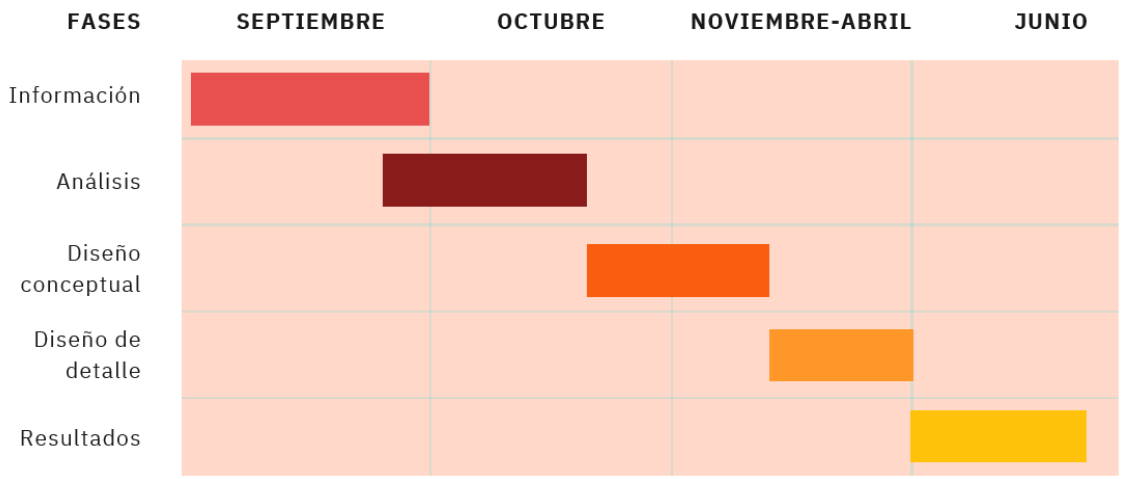

Figura 3. Diagrama de la planificación del proyecto

4. Requerimientos del proyecto

Para poder comenzar con la ideación del producto final, previamente deben detallarse los requisitos de diseño en una lista para poder especificar de forma clara con qué debe cumplir el producto a diseñar. Posteriormente esos requisitos se seleccionarán para poder analizar las diferentes soluciones que se propongan y finalmente para elegir el diseño final.

4.2. Requisitos de diseño

Tabla 2. Lista de requisitos de diseño.

REQUISITO	DESCRIPCIÓN	EVALUACIÓN
Flotabilidad	La estructura debe ser capaz de mantenerse estable durante su tiempo en el mar.	OBLIGATORIO
Integración	Deben utilizarse materiales reutilizados o comerciales para su fabricación, sin tener que acudir a la fabricación de elementos a medida.	INDISPENSABLE
Fabricación sencilla	La fabricación del blanco no debe ser complicada. Hay que tener en cuenta que es un dispositivo que va a ser destruido y que va a tener que replicarse con cierta frecuencia.	INDISPENSABLE
Estabilidad	Los materiales y estructura a diseñar deben mostrar cierta estabilidad a características adversas como el viento.	OBLIGATORIO
Visibilidad	El blanco debe ser fácilmente reconocible e identificable por la aeronave que la tiene que marcar.	OBLIGATORIO
Mínimo número de piezas	Este requisito esta relacionado con facilitar el montaje y con la viabilidad económica del proyecto.	DESEABLE
Coste reducido	Como el producto tiene un ciclo de vida muy corta debida al objetivo de su función, para que éste sea viable económicamente los costes deben ser mínimos.	INDISPENSABLE
Fácil de transportar	El blanco debe ser fácil de transportar, de forma terrestre y marítima.	DESEABLE
Autonomía de al menos 1,5h	La maniobra está pensada para que dure en torno a 1h o menos, pero debe añadirse tiempo de margen por si surgiera algún imprevisto	OBLIGATORIO
GPS preciso	El GPS que se incorpore debe ofrecer un error mínimo de metros para su posicionamiento.	OBLIGATORIO

Reposicionamiento	El blanco debe de contraponerse a la deriva que puede sufrir y mantenerse fijo en las coordenadas que se indiquen.	OBLIGATORIO
Anclajes	Los elementos que se utilicen para fijar los diferentes componentes a la estructura deben aportar la seguridad necesaria, ser fáciles de manipular y sencillos de obtener.	INDISPENSABLE

4.3. Análisis de soluciones

4.3.1. Concepto 1

Para el primer concepto se opta por dividir las características técnicas del blanco en las siguientes partes:

A. Diseño de la electrónica para su posicionamiento GPS.
   - Usar un GPS de coste contenido y que ofrezca un error mínimo de metros para su posicionamiento en el mar.
   - Usar motores fuera borda eléctricos.
   - Batería de coche para la alimentación de los diferentes elementos electrónicos. La autonomía debe rondar las 2h.
   - Diseñar un sistema de control mediante Arduino para el reposicionamiento constante consecuencia de la deriva que pueda sufrir el dispositivo.

B. Diseño del sistema de flotabilidad.
   - Usar un kayak o elemento similar para la estructura del prototipo inicial.
   - Diseñar una estructura similar a la de un catamarán con dos motores.
   - Buscar elementos de anclajes simples que faciliten el montaje del prototipo.
   - Utilizar elementos comerciales y buscar la forma de integrarlos para no plantear una fabricación complicada.
   - Usar un material al que el viento no le influya para evitar su desplazamiento. También puede depender de la forma del blanco.

C. Visibilidad del blanco.
   - Dimensiones: 4x2.5x1.7 metros (largo x ancho x altura).
   - Recubrir la estructura con una malla tipo reja de algún color que facilite su visibilidad además de cubrir los componentes y protegerlos.

D. Fabricación y montaje del prototipo.
   - Pocas piezas a ensamblar que desemboquen en un montaje simple.
   - Producto del más bajo coste posible.
   - Piezas a comprar de fácil adquisición.
   - El prototipo debe ser lo más funcional posible, pudiéndose realizar la primera prueba real con él.
   - El producto debe ser fácilmente transportable por tierra y mar.

Con este desglose se generaron diversas ideas, pero se descartaron porque todas excedían el presupuesto y no eran realistas con los recursos con los que se contaban. Tras contactar con el ROA y trasladar las ideas, en cuanto a materiales se propuso el uso de reutilizar materiales con los que ya se contaban en sus instalaciones, como palés y bidones vacíos de agua para su estructura.

Con esto en mente, se reducían mucho los costes y el impacto medioambiental, por lo que se optó por fijar la estructura de palés con bidones para su flotabilidad y seguir desarrollando el resto de los aspectos.

4.3.2. Concepto 2

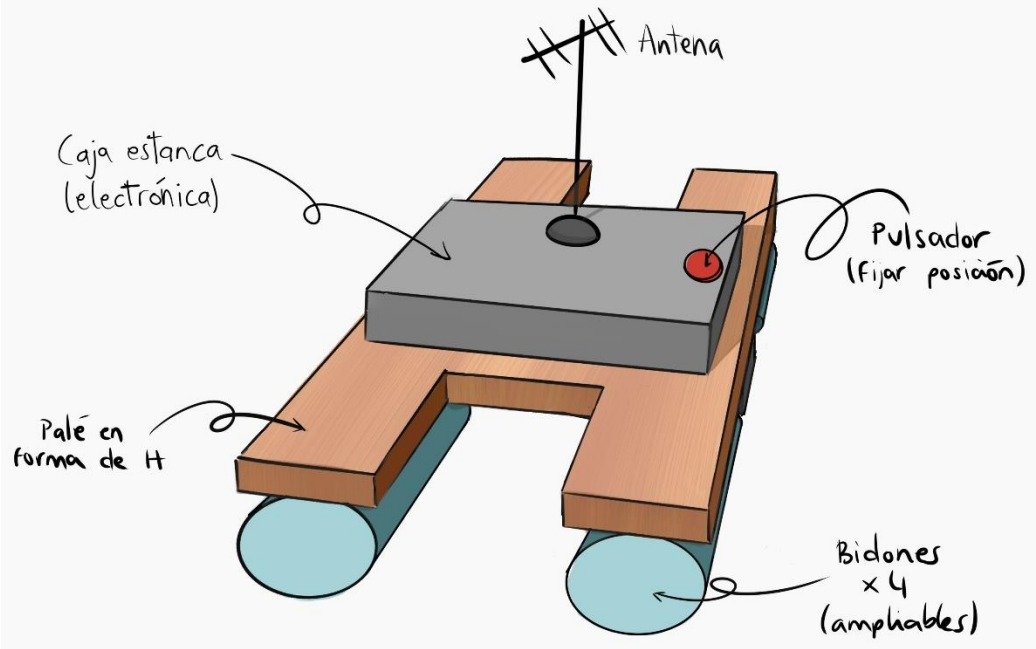

Figura 4. Boceto del concepto 2.

En el segundo concepto se empiezan a barajar ideas para intentar recuperar componentes del blanco tras el ensayo. Para ello se baraja la opción de usar una batería que pudiera estar sumergida y tenerla colgada hacia la suficiente profundidad para que no se vea afectada en el impacto.

La batería debería estar envuelta en un hinchable que se active e infle al producirse el impacto del misil con el blanco. Esto por ejemplo podría conseguirse mediante programación electrónica, conectando dos cables a ambos lados y que éstos en su otro extremo estén conectados sobre el blanco y cuando se produzca la explosión y se separen se active el hinchable.

Con esto se conseguiría que tras la explosión la batería saliera a flote y pudiera ser recuperada con cierta facilidad con el resto de los residuos consecuencia del ensayo.

En este concepto se utilizarían dos motores fuera borda que irían sujetos a la plataforma del blanco. Sobre esta plataforma se montaría la electrónica para el control remoto del blanco, tal y como se indica en la Figura 5.

Todo iría controlado a través de un Arduino, al cual le llegaría la posición a través del GPS montado y una brújula. Para enviar sus coordenadas concretas en todo momento se le montaría un módulo WiFi.

El funcionamiento de este blanco sería el siguiente: se descargaría en el mar en la posición y coordenadas que se acuerden para el ensayo y se usaría un pulsador que le dijera al blanco que debe fijarse en esa posición. Después de esto, el blanco debe mantenerse en esta posición fijada a través de la información que les mande el Arduino a los controladores de los motores, bien recibida de las coordenadas fijadas con el pulsador o la información que le llegue vía WiFi.

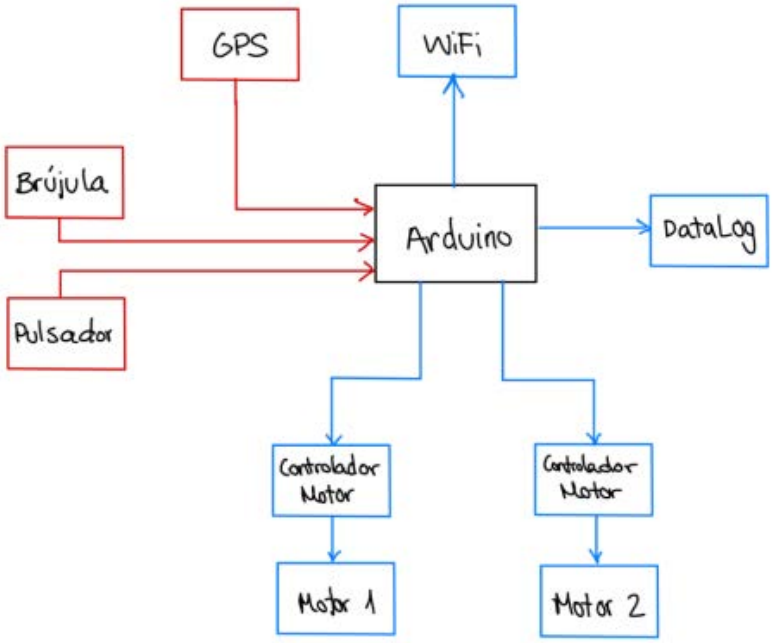

Figura 5. Diagrama electrónico del concepto 2.

Finalmente, esta idea no es viable, ya que el ahorro que supone el poder recuperar la batería no es el suficiente como para justificar la adquisición de una batería que pueda sumergirse y todo el sistema hinchable. Además, también se descarta la idea del pulsador para fijar la posición ya que su acceso no sería sencillo para nadie de la tripulación.

4.4. Solución propuesta

Tras diversas comunicaciones con el ROA y presentarle los dos conceptos anteriores se definieron los siguientes parámetros/requisitos:

- El tiempo de la maniobra es de en torno a 1 h, por lo que se debería buscar una batería que de una autonomía de 1,5 h para tener cierto margen.
- El lanzamiento del misil se realiza a muchísima distancia de la diana por lo que la visión del piloto pasa a un segundo plano. Se convierte en requisito indispensable y mucho más importante que el GPS que aporte la posición del blanco tenga la mayor precisión posible (máximo 6 m de error).
- El prototipo no va a necesitar montaje y desmontaje para su transporte, sino que se transportará ya ensamblado.

Con todo esto, se opta por pasar a una idea totalmente diferente. Con el objetivo de minimizar al máximo el número de componentes a adquirir y a montar, se hace una investigación del mercado y se consulta a diversos profesionales de la industria náutica para buscar los materiales definitivos.

Los profesionales también nos recomiendan descartar la opción de la compra del GPS, los motores y sus controladores por separado, ya que tan solo un GPS individual con la precisión requerida haría el producto inviable económicamente. En vez de esto, nos recomiendan que busquemos acerca de motores

eléctricos que ya poseen control remoto con geolocalización instalado, dispositivos que han avanzado mucho y que poseen una precisión más que aceptable.

Tras hacer una búsqueda sobre este tipo de dispositivos, se selecciona un modelo de motor (posteriormente detallado) que posee un modo ancla. Este modo ancla viene a cumplir con el objetivo principal del blanco: mantener la posición en una coordenadas concretas. Además, el motor es capa de seleccionar automáticamente la velocidad necesaria para moverse dependiendo de la agitación del mar.

Figura 6. Motor Haswing Cayman con geoposicionamiento incluido.

De este modelo de motor hay diferentes alternativas, dependiendo de la fuerza de arrastre que se desee. Se ha realizado un presupuesto para cualquiera de los dos casos necesarios, para un mayor o un menor arrastre.

En la búsqueda de las baterías que irían con respecto a cada uno de los motores que componen ambas alternativas, se opta por utilizar baterías de litio simples. Se supone que estos ensayos se van a realizar en condiciones idóneas, no con la mar brava, por lo que no debería de suponer un problema que se pueda mojar o no la batería.

Tabla 3. Presupuesto de alternativas.

ALTERNATIVA 1	**ALTERNATIVA 2**
Motor Haswing Cayman 50736 (25kg de arrastre) 714,90€	Motor Haswing Cayman 50737 (36kg de arrastre) 825,80€
Batería 12V 100A 759,88€	2 Baterías 12V 100A 759,88€ x2
1474,78€	*2345,56€*

5. Diseño final y fabricación

A continuación, se va a describir el diseño final escogido en base al cumplimiento de los requisitos y se van a mostrar algunas imágenes del prototipo fabricado.

5.1. Diseño

Finalmente, tras trasladar las opciones al ROA, se selecciona la Alternativa 1 porque cumple con las propiedades necesarias con lo que se requiere. Una vez fijados los componentes se pasa al diseño en CAD del blanco (Figura 7) para poder llevar a cabo su fabricación.

Se reutilizará un palé de 3x2.10 m para la superficie. A este se le añadirán por debajo entre las vigas 8 bidones vacíos que irán sujetos con bridas a la estructura. A esta se le hará un hueco por el que se bajará el motor cuando el blanco se encuentre en el agua, ya que es replegable para facilitar su transporte.

De esta forma se consigue minimizar los componentes a adquirir y montar, lo que convierte el producto en viable económicamente. El palé apenas sufriría modificación, más allá del hueco del motor y los amarres pertinentes para agarrar los diferentes componentes a la estructura.

Es fácil de modular, es decir, primeramente, se diseña con 8 bidones, pero posteriormente durante la fabricación y probado del prototipo puede verse si son necesarios más o menos y adaptarse en base a eso sin afectar de ninguna forma el resto de la estructura.

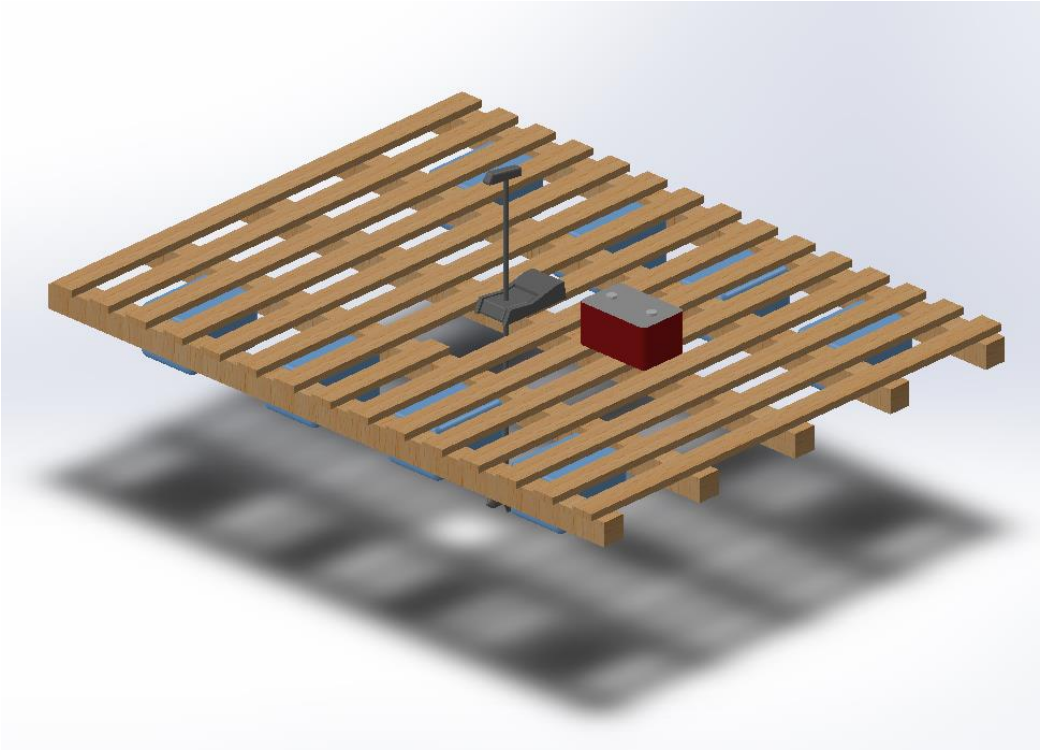

Figura 7. Modelo 3D de la propuesta.

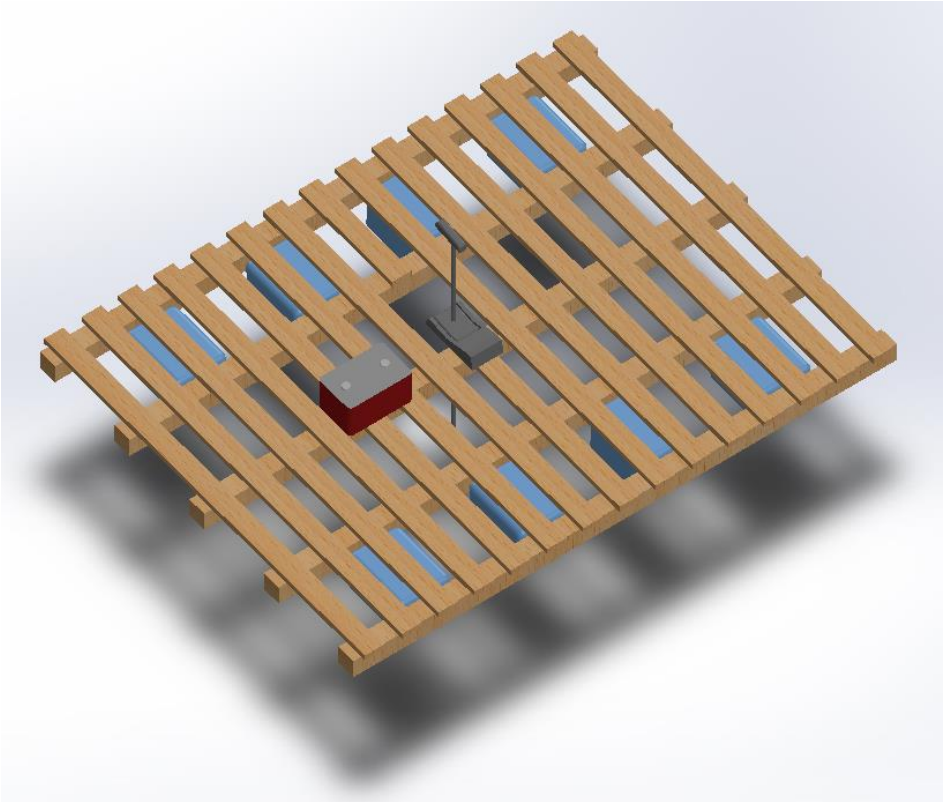

Figura 8. Modelo 3D de la propuesta.

A continuación, en la siguiente tabla (Tabla 4) se va a presentar la lista de requisitos expuestos en el apartado anterior 4.2. Requisitos de diseño y cómo se van a cumplir con el diseño elegido.

Tabla 4. Cumplimiento de los requisitos por el diseño final.

REQUISITO	CÓMO SE CUMPLE	EVALUACIÓN
Flotabilidad	Los materiales de la estructura son perfectamente flotables y no deberían presentarse problemas a la hora de la navegación del blanco por este punto.	OBLIGATORIO
Integración	Todos los materiales propuestos son reutilizados o de fácil compra.	INDISPENSABLE
Fabricación sencilla	La fabricación que se plantea no es compleja, no presenta operaciones complicadas ni una lista larga de operaciones.	INDISPENSABLE
Estabilidad	La estructura no presenta elementos verticales que puedan dificultar la estabilidad del blanco.	OBLIGATORIO

Visibilidad	El palé puede ser pintado de un color vivo que contraste con el mar y que pueda facilitar su visión. Además, también podría recubrirse con una malla de red que sea de algún color para complementar.	OBLIGATORIO
Mínimo número de piezas	Tan solo serían necesarios el palé y los bidones, con los que ya cuenta el ROA, el motor, la batería y los anclajes, que serían las piezas a comprar.	DESEABLE
Coste reducido	El presupuesto final se encuentra en torno a los 1500€, un coste asumible para el tipo de producto que se busca.	INDISPENSABLE
Fácil de transportar	El blanco no presenta dificultades para transportarse. De forma adicional podría barajarse la opción de añadirle unas ruedas desmontables para facilitar su desplazamiento.	DESEABLE
Autonomía de al menos 1,5h	La batería, junto con el motor seleccionado, ofrece una autonomía de 2h.	OBLIGATORIO
GPS preciso	El GPS está pendiente de ser comprobado en las pruebas a las que se va a someter el prototipo. Aun así, el fabricante del motor promete una precisión muy alta.	OBLIGATORIO
Reposicionamiento	La función “ancla” que posee el motor seleccionado viene a suplir este requisito.	OBLIGATORIO
Anclajes	Se pretenden usar bridas anchas para el anclaje.	INDISPENSABLE

Con esta tabla se puede observar cómo se han cumplido con todos los requisitos, incluso con los indispensables y deseables establecidos anteriormente.

5.2. Fabricación

La fabricación comienza partiendo de la recopilación de los materiales necesarios. El palé de 3x2.10 metros y los bidones a añadirle para darle la flotabilidad son elementos con los que ya contaba el ROA. Por esta parte tan solo se requería cortar el hueco en el espacio donde se produciría la bajada del motor y agarrar los distintos bidones a esa estructura.

Finalmente, por las dimensiones y volumen de los bidones se ha optado por utilizar 6 a cada lado, haciendo grupos de 3 en cada una de las esquinas, dando un total de 12 bidones.

Después de eso, se coloca el motor y la batería, cada uno sobre una plataforma de madera adicional. Esto se hace para que la sujeción al palé sea más sencilla, ya que se unen ambas tablas y el palé mediante uniones mecánicas en vez de usar bridas como en el caso de los bidones.

Posteriormente se decide añadir unos mástiles verticales para poder facilitar la sujeción del banco a los muelles en las maniobras, y también facilita la colocación de la red que recubre el blanco. Se comenzó colocando solo dos mástiles, uno a cada lado, pero para hacer que la estructura fuera más robusta y todos estos componentes estuvieran más sujetos y protegidos, se opta por colocar dos más.

Por último, se pinta el blanco de amarillo, un color muy llamativo y que hace contraste con el profundo azul del mar.

5.3. Futuras mejoras de diseño

Como posibles mejoras futuras, se presentan las primeras opciones:

- Realizar un estudio de ecodiseño donde se obtengan como resultado materiales que sean biodegradables y no perjudiciales para la fabricación de la estructura del blanco. Este material podría ser uno que se degrade con el agua, pero al haber transcurrido al menos el tiempo de la maniobra, en torno a 2h.

- Encontrar la manera de recuperar la batería, que podría ser de los materiales que más contaminen de todos lo que componen el prototipo del blanco actualmente. Se podría recurrir a la idea definida en uno de los conceptos iniciales y desarrollarla.

- Estudiar la forma en la que se podría programar que el blanco fuera a unas coordenadas determinadas antes de iniciar la maniobra, y que se mantuviera allí sin tener que realizar una monitorización en tiempo real.

- Se propone la idea de que se produzca una recogida de residuos a posteriori de la realización de la maniobra, para reducir la contaminación producida por la misma al mínimo. Si se implementan los dos primeros puntos expuestos en este apartado, esta recogida de residuos tendría más sentido porque también se pasaría a recoger elementos útiles como la batería.

6. Pruebas

6.1. Base Naval de Puntales

Tras el montaje del prototipo se realiza la primera prueba de flotabilidad y movimiento del blanco. En esta prueba se pretendía ver si el blanco presentaba algún problema a la hora de flotar, para ver si era necesario añadir algún bidón adicional.

Además, en esta también se probó por primera vez el motor y su función de ancla, para observar si cumple con los requisitos que se pretendían. Todo salió satisfactoriamente, el blanco flotó sin ningún tipo de problema y además la función de ancla demostró mantenerlo en una posición fija con facilidad. Todavía en esta prueba no se pudo observar si el GPS era lo suficientemente preciso como requeriría el piloto del caza que realizaría el ensayo de tiro.

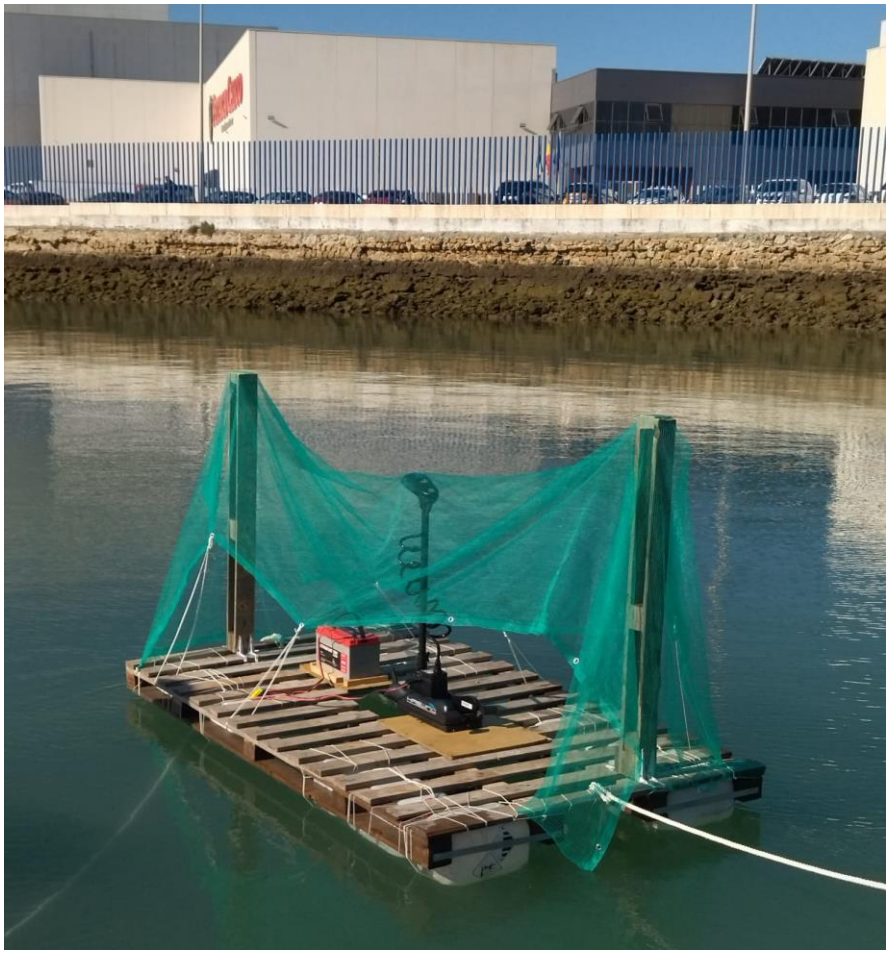

Figura 9. Blanco en la BN de Puntales.

6.2. Base Naval de Rota

En la BN de Rota se buscaba realizar una prueba más realista con el uso final del blanco. Para ello se trasladó hasta allí en un camión de transporte (Figura 10) y se desembarcó en uno de los muelles con ayuda de una grúa. Aquí también pudo apreciarse la robustez del dispositivo, ya que no sufrió ningún desperfecto en ninguno de los dos casos.

Figura 10. Blanco descargado del transporte terrestre.

Una vez en el mar, se procede a bajar y activar el motor. Este motor viene con un control remoto, pero también puede ser manejado de forma incluso más sencilla a través de una aplicación móvil.

El blanco comienza a navegar y se le manda a una posición bastante alejada a la costa del muelle, comprobándose así el alcance del dispositivo para su control. Una vez en ese punto se activa la función de “ancla” que mantuvo fijo al blanco el resto de la maniobra. Las coordenadas que mandaba el motor al móvil fueron las que se trasladaron al piloto del caza que se debía encargar de localizarlo y marcarlo.

El caza consiguió marcarlo con existo y trasladó que las coordenadas reales del blanco que le marcaba su dispositivo aéreo no superaban los 6 metros, por lo que la precisión del GPS que incorpora el motor es correcta para que se vuelva a realizar en los ensayos reales.

Figura 11. Blanco en el mar siendo dirigido al punto acordado para la maniobra.

7. Conclusiones

Se ha conseguido desarrollar un prototipo funcional que va a probarse de forma definitiva y que ha demostrado cumplir con todos los requisitos establecidos inicialmente en el proyecto. Además, todo se ha llevado a cabo desde el punto de vista de la viabilidad económica, dando como resultado un dispositivo asequible para ser destruido y re-fabricado de nuevo sucesivas ocasiones, tantas como entrenamientos sean necesarios.

Durante todo el proceso del proyecto he aprendido a comunicar mis ideas y recibir el feedback que ha sido necesario para llegar a la solución final del producto. Además, he aprendido acerca del mercado de la navegación, de las prácticas que se llevan a cabo en la Armada y sobre cómo se desarrollan los ensayos de tiro y cómo quieren desarrollarse de aquí en adelante.

La experiencia ha sido muy enriquecedora, diferente y útil para mi crecimiento personal y laboral. Me encantaría mantener el contacto con el ROA y ser conocedora de las demás actividades que vayan desarrollando en un futuro.

PUBLICACIONES DE DEFENSA

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE DEFENSA
SUBSECRETARÍA DE DEFENSA
SECRETARÍA GENERAL TÉCNICA
SUBDIRECCIÓN GENERAL DE PUBLICACIONES Y PATRIMONIO CULTURAL

9 788490 918166