


# Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

**TRABAJO FIN DE GRADO**

*Modelado digital de un scooter subacuático de buceo para visualización inmersiva mediante técnicas de realidad mixta*

**Grado en Ingeniería Mecánica**

**ALUMNO:** Javier Placer Martínez

**DIRECTORES:** Xavier Núñez Nieto

Francisco Troncoso Pastoriza

**CURSO ACADÉMICO:** 2025-2026

Universidade Vigo




Centro Universitario de la Defensa
en la Escuela Naval Militar

**TRABAJO FIN DE GRADO**

# *Modelado digital de un scooter subacuático de buceo para visualización inmersiva mediante técnicas de realidad mixta*

**Grado en Ingeniería Mecánica**

Intensificación en Tecnología Naval

Infantería de Marina

Universidade Vigo

# RESUMEN

El presente Trabajo Fin de Grado se centra en el diseño y modelado digital de un dispositivo de propulsión para buceadores (DPV) de uso militar, así como en su integración en un entorno de realidad mixta orientado a la visualización técnica del conjunto. Para ello, se ha realizado un estudio previo sobre la evolución, clasificación y aplicación operativa de estos sistemas, que ha servido como base para definir un modelo coherente con su contexto funcional. A partir de esa base, se ha desarrollado en Autodesk Inventor una maqueta digital tridimensional del DPV mediante un proceso de modelado por subconjuntos, ensamblaje progresivo y acabado visual, obteniendo un resultado técnicamente ordenado, visualmente consistente y apto para su documentación gráfica. Posteriormente, el modelo se ha incorporado a Unreal Engine 5.6, donde se ha preparado su visualización en realidad mixta con Meta Quest 3, logrando una representación estable, clara y espacialmente coherente. Como resultado, el trabajo no solo ofrece una representación fiel del dispositivo, sino también una herramienta útil para su observación, análisis y exposición técnica. De forma adicional, la incorporación de buzos operadores ha reforzado el contexto visual e interpretativo de la escena inmersiva

# PALABRAS CLAVE

Modelado digital, DPV, Unreal Engine, Realidad mixta, Visualización inmersiva

# AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis tutores, cuya ayuda, orientación y apoyo constante han sido fundamentales para que este Trabajo Fin de Grado pudiera salir adelante. Su dedicación, sus consejos y su confianza a lo largo de todo el proceso han sido decisivos en los momentos de mayor exigencia, y me llevo, además, un gran recuerdo del tiempo compartido en los laboratorios durante la realización del mismo.

Quiero agradecer también a la Promoción 156 de Infantería de Marina, por haber estado siempre al pie del cañón durante todo este curso, y lejos de este curso, todos estos años. El compañerismo, la unión y la forma de afrontar juntos cada dificultad han hecho de esta etapa una experiencia mucho más valiosa. Compartir el día a día con personas así ha sido, sin duda, una fuente continua de motivación y de mejora.

Del mismo modo, quiero dar las gracias a todas aquellas personas cercanas que, de una manera u otra, me ayudan cada día a seguir avanzando, muchas veces incluso sin ser plenamente conscientes de ello. A mi familia, a mis amigos, a mis compañeros y a todas las personas que han estado presentes durante este camino, por su apoyo constante.

Por último, quiero agradecer a todos el personal docente, militar y no militar, que ha contribuido a nuestra formación durante estos años. Gracias por vuestro esfuerzo, dedicación y compromiso con nuestra enseñanza.

# CONTENIDO

Contenido ..... 1

Índice de Figuras ..... 3

Índice de Tablas ..... 6

1 Introducción ..... 7

1.1 Descripción del apartado ..... 7

1.2 Antecedentes ..... 7

1.3 Motivación ..... 8

1.4 Objetivos ..... 9

1.5 Estructura del Trabajo ..... 9

2 Estado del arte ..... 11

2.1 Descripción del apartado ..... 11

2.2 Scooters Subacuáticos ..... 11

2.2.1 Historia y Evolución ..... 12

2.2.2 Incorporación a la Armada ..... 16

2.2.3 Clasificación y Características ..... 18

2.3 Realidad extendida ..... 21

2.3.1 Principales enfoques: RV, RA y RM ..... 22

2.3.2 Aplicaciones de la realidad extendida en el ámbito de la defensa ..... 24

2.3.3 Realidad mixta como herramienta de visualización técnica ..... 26

2.4 Informática gráfica ..... 28

2.4.1 Diseño asistido por ordenador como base del modelo digital ..... 29

2.4.2 Autodesk Inventor ..... 29

2.4.3 Motores gráficos y visualización inmersiva ..... 30

2.4.4 Unreal Engine 5.6 y entorno de realidad mixta ..... 30

2.4.5 Integración del modelo 3D en el entorno de realidad mixta ..... 30

2.4.6 Relación entre informática gráfica y realidad mixta ..... 31

3 Desarrollo ..... 33

3.1 Descripción del apartado ..... 33

3.2 Consideraciones Previas ..... 33

3.2.1 Proceso de Elección del Modelo DPV ..... 33

3.2.2 Representación del Modelo Elegido ..... 36

3.3 Modelado ..... 37

3.3.1 Dimensionamiento ..... 37

3.3.2 Diseño y modelado del DPV en Autodesk Inventor....39
3.4 Programación y visualización del entorno inmersivo....58
3.4.1 Exportación e importación del modelo....58
3.4.2 Realidad Mixta....61
3.4.3 Preparación de los buzos....63
3.4.4 Preparación del sistema de visualización con Meta Quest 3....67
4 Resultados....71
4.1 Descripción del apartado....71
4.2 Resultado del modelo CAD....72
4.2.1 Modelo digital....72
4.2.2 Planimetría....77
4.3 Informática gráfica y visualización inmersiva....82
5 Conclusiones y líneas futuras....87
5.1 Descripción del apartado....87
5.2 Conclusión de los objetivos iniciales....87
5.2.1 Diseño y modelado tridimensional del DPV en Autodesk Inventor....87
5.2.2 Implementación del entorno de realidad mixta y programación en Unreal Engine....87
5.2.3 Integración del modelo 3D en el entorno de realidad mixta....87
5.3 Objetivos adicionales....88
5.3.1 Incorporación de buzos operadores....88
5.4 Conclusión final....88
5.5 Líneas futuras....88
5.5.1 Corto plazo: Perfeccionamiento del entorno inmersivo de realidad mixta....88
5.5.2 Medio plazo: Estudio hidrodinámico y ergonómico....89
5.5.3 Largo plazo: Creación de un prototipo real....89
5.5.4 Largo plazo: Realidad mixta en para instrucción, mantenimiento y uso compartido....89
6 Bibliografía....91
Anexo I: Implicaciones Sociales, y/o Económicas, y/o Ambientales....95
Anexo II: Reflexiones Éticas y Sociales....99
Anexo III: Declaración de uso de inteligencia artificial....101
Anexo IV: Planimetría....103
Anexo V: Modelo digital interactivo....145

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Buzo militar británico equipado con aparato de respiración ....12
Figura 2-2 “Maiale” (SLC) italiano....13
Figura 2-3 Controles del Chariot Mk I....14
Figura 2-4 Operación con SDV desde submarino....14
Figura 2-5 Instagram *frogmen_atw* - “U.S. Navy SEAL Aquarius Dive Training” ....15
Figura 2-6 FREMER, diver con scooter (“loco-diver”)....16
Figura 2-7 Empleo DPV en FGNE. Fuente *Infodefensa* ....17
Figura 2-8 Buceadores del CBA empleando vehículos de propulsión DPV....18
Figura 2-9 Esquema conceptual de la realidad extendida – Generado a partir de IA ....22
Figura 2-10 Comparación entre RV, RA y RM - Generada a partir de IA ....23
Figura 2-11 Cajón de arena interactivo como herramienta de planeamiento....25
Figura 2-12 Sistema NAVANTIS de Navantia....25
Figura 2-13 Visores holográficos y tecnologías de RA en la empresa INDRA....26
Figura 2-14 Soldado del U.S. Army equipado con el visor IVAS ....26
Figura 2-15 Entorno aplicado de RM - Generada a partir de IA....27
Figura 2-16 Gafas de realidad mixta Meta Quest 3....28
Figura 2-17 Interfaz del software Autodesk Inventor Professional 2026....29
Figura 3-1 Esquema visual del desarrollo del proyecto ....33
Figura 3-2 Modelos de referencia empleados ....36
Figura 3-3 Componentes esenciales de un DPV - Generado a partir de IA....37
Figura 3-4 Modelos de referencia ....38
Figura 3-5 Instagram *frogmen_atw* - operadores fuerzas especiales *Kopaska*....38
Figura 3-6 Búsqueda de proporcionalidad para dimensionamiento del modelo ....39
Figura 3-7 Componentes del Subconjunto Proa *Nose*....41
Figura 3-8 Subconjunto Proa *Nose* con modelo de referencia ....41
Figura 3-9 Carcasa del tubo y tapón roscado ....42
Figura 3-10 Tubo principal renderizado....42
Figura 3-11 Conjunto batería de la empresa *Seacraft Special* ....43
Figura 3-12 Elementos de fijación de la batería....43
Figura 3-13 Subconjunto de la batería ....44
Figura 3-14 Lastre modular individual....44
Figura 3-15 Componentes principales del subconjunto propulsor....45
Figura 3-16 Rotor primario del subconjunto motor ....46

Figura 3-17 Ensamblaje del rotor primario ....47
Figura 3-18. Rotor secundario del subconjunto motor ....47
Figura 3-19 Componentes del manillar individual ....48
Figura 3-20 Componentes de la carcasa de acople bitubular ....49
Figura 3-21 Componentes del monitor principal ....50
Figura 3-22 Componentes del subconjunto regulador de posición del monitor principal ....50
Figura 3-23 Ensamblaje del subconjunto regulador de posición del monitor principal ....51
Figura 3-24 Disposición del sonar diseñado sobre la parte inferior del DPV ....51
Figura 3-25 Subconjunto sonar y elementos de fijación ....52
Figura 3-26 Base de boceto bidimensional en Autodesk Inventor ....52
Figura 3-27 Herramienta de Solevación ....53
Figura 3-28 Herramienta de superficie de contorno empleada sobre un boceto 3D ....53
Figura 3-29 Herramienta de empalme ....54
Figura 3-30 Herramienta de patrón circular ....55
Figura 3-31 Herramienta de Bobina ....55
Figura 3-32 Ensamblaje a partir de uniones ....56
Figura 3-33 Ensamblaje compartimentalizado por subconjuntos funcionales ....57
Figura 3-34 Renderizado de DPV Unitubular ....58
Figura 3-35 Exportación del archivo desde Autodesk Inventor ....59
Figura 3-36 Activación de plugins del Datasmith ....60
Figura 3-37 Importación archivo *.step* ....60
Figura 3-38 Transformación del entorno RV existente en la interfaz de RM ....61
Figura 3-39 Activación del plugin Meta XR ....62
Figura 3-40 Configuración de Meta XR ....62
Figura 3-41 Escena virtual simplificada con capa modo Underlay ....63
Figura 3-42 Edición de rasgos característicos de los actores secundarios ....64
Figura 3-43 Modificación de la jerarquía corporal del buceador ....65
Figura 3-44 Generación de nuevas animaciones y guardado en librería ....65
Figura 3-45 Blueprints que rigen el comportamiento de los actores secundarios ....66
Figura 3-46 Emplazamiento tridimensional de los operadores ....66
Figura 3-47 Previsualización VR de los componentes ....67
Figura 3-48 Aplicación Meta Horizon Link ....68
Figura 3-49 Configuración rápida, visualización desde las gafas Meta Quest 3 ....68
Figura 4-1 Vista isométrica general renderizada del DPV ensamblado ....72
Figura 4-2 Vista lateral renderizada del DPV ....73
Figura 4-3 Vista superior renderizada del DPV ....73

Figura 4-4 Vista frontal renderizada del DPV ..... 74
Figura 4-5 Monitor principal y manillar individual ..... 74
Figura 4-6 Vistas semitransparentes del DPV (1) ..... 75
Figura 4-7 Vistas semitransparentes del DPV (2) ..... 75
Figura 4-8. Sección longitudinal/transversal renderizada del DPV ..... 76
Figura 4-9 Vista explosionada general del conjunto del DPV ..... 76
Figura 4-10 Usuario visualizando el entorno RM con Meta Quest 3 ..... 83
Figura 4-11 Experiencia de inmersión en RM del usuario desde el PC ..... 84

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Tipos de DPV por configuración[1], [2], [18], [19], [20] ..... 19
Tabla 2-2 Clasificación por aplicación y prioridades de diseño[18], [19], [20], [21], [22] ..... 20
Tabla 2-3 Clases operativas por prestaciones ..... 20
Tabla 2-4 Características y su impacto[1], [2], [18], [19], [20], [21] ..... 21
Tabla 3-1 Modelos DPV descartados ..... 35
Tabla 4-1 Planos del conjunto general del DPV ..... 78
Tabla 4-2 Planos del conjunto proa-nose ..... 78
Tabla 4-3 Planos del conjunto tubo principal ..... 79
Tabla 4-4 Planos del conjunto propulsor ..... 79
Tabla 4-5 Planos del conjunto monitor principal ..... 80
Tabla 4-6 Planos del conjunto carcasa-acople bitubular ..... 80
Tabla 4-7 Plano del conjunto sonar ..... 81
Tabla 4-8 Plano de tornillería, arandelas y tuercas ..... 81

# 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 Descripción del apartado

En este apartado se presenta el marco general del Trabajo de Fin de Grado, contextualizando la evolución de los medios submarinos y la relevancia actual de los vehículos de propulsión para buceadores en el ámbito militar. Asimismo, se expone la motivación del proyecto, vinculada al interés de la Armada por las capacidades subacuáticas y por el empleo de tecnologías digitales aplicadas al análisis y representación de sistemas. Finalmente, se definen los objetivos generales y específicos del trabajo, orientados al diseño, modelado e integración del DPV en un entorno de realidad virtual, y se adelanta la estructura seguida en la memoria.

## 1.2 Antecedentes

A lo largo de la historia, el empleo de medios submarinos ha evolucionado de forma paralela a las necesidades operativas y al desarrollo tecnológico. En el ámbito militar, el medio subacuático ha ido adquiriendo una mayor importancia debido a su utilidad en misiones que exigen discreción, movilidad y capacidad de infiltración. Los buceadores han pasado a desempeñar cometidos cada vez más exigentes, lo que ha impulsado la mejora continua de los equipos utilizados para aumentar su alcance, su seguridad y eficacia durante la operación.

Dentro de esta evolución, los vehículos de propulsión para buceadores, conocidos como DPV (Diver Propulsion Vehicle), han supuesto un avance especialmente relevante. Por ello, su empleo se ha consolidado como una solución de gran utilidad en determinados escenarios operativos y de apoyo al buceo, convirtiéndose en un elemento representativo de la modernización de los medios submarinos individuales.

El presente trabajo se desarrolla en el marco de las tecnologías asociadas a la industria 4.0, donde los procesos de diseño, análisis y validación se apoyan cada vez más en herramientas digitales. La digitalización no solo permite representar un sistema con mayor precisión, sino también comprenderlo mejor antes de fabricar un prototipo físico o realizar modificaciones sobre él. De este modo, el uso de modelos tridimensionales se convierte en una herramienta útil tanto para el diseño como para el estudio técnico.

Para ello, se recurre a herramientas de diseño asistido por ordenador (CAD), que permiten generar una representación tridimensional detallada del vehículo y de sus componentes. Este tipo de modelado facilita el análisis de la geometría, la organización interna del sistema, la relación entre piezas y la coherencia general del ensamblaje. Además, el entorno digital permite trabajar con mayor flexibilidad,

ya que simplifica la corrección de errores, la introducción de cambios y la validación visual del diseño en fases tempranas del desarrollo.

Junto al modelado CAD, la realidad virtual aporta un valor añadido al proyecto al permitir una visualización inmersiva del modelo digital. Su utilidad no se limita a mostrar una representación atractiva del vehículo, sino que constituye una herramienta de apoyo para la revisión espacial, la interpretación del diseño y la interacción con el conjunto de una forma intuitiva. Gracias a este tipo de tecnologías, es posible observar el modelo con un mayor grado de realismo, analizar sus proporciones, identificar componentes y mejorar la comprensión global del sistema sin necesidad de disponer físicamente del vehículo.

En este sentido, la combinación entre modelado 3D y visualización inmersiva representa una forma actual de abordar proyectos de ingeniería, especialmente cuando se busca unir precisión geométrica y claridad visual. El uso de CAD, realidad virtual y realidad mixta se plantea como una herramienta para mejorar la comprensión, la validación del diseño y el modelo digital

A partir de este enfoque, este trabajo se centra en el diseño, modelado y representación digital de un scooter submarino de propulsión para buceadores. El objetivo es desarrollar una maqueta digital tridimensional que mantenga un equilibrio entre la geometría del modelo, la calidad visual de su representación y una visualización fluida y detallada en entorno virtual. Con ello, se pretende obtener un recurso útil tanto desde el punto de vista técnico como desde la perspectiva de la visualización y análisis del conjunto.

## 1.3 Motivación

La incorporación de sistemas tecnológicos avanzados en las Fuerzas Armadas constituye una tendencia cada vez más relevante dentro de los procesos de modernización y adaptación a los nuevos escenarios operativos. En este contexto, el medio acuático y, en particular, el entorno subacuático, representa un ámbito de especial interés por las posibilidades que ofrece para el desarrollo de misiones de infiltración, reconocimiento, apoyo técnico y otras actividades especializadas. Por ello, el estudio y desarrollo de dispositivos que mejoren la movilidad y las capacidades del personal en este entorno adquiere una importancia creciente.

Entre estos dispositivos, los DPV destacan por su utilidad para aumentar el alcance operativo del buceador, reducir el esfuerzo físico durante el desplazamiento y facilitar la ejecución de determinadas misiones en el medio subacuático. Su progresiva evolución tecnológica y su presencia cada vez más extendida en distintas unidades reflejan el interés existente por este tipo de sistemas y por las capacidades que pueden aportar en el ámbito militar.

Desde la perspectiva de la Armada, la comprensión técnica y funcional de estos dispositivos resulta de especial interés, ya que permite valorar con mayor criterio sus aplicaciones, sus posibilidades de integración y su utilidad dentro de futuros escenarios de empleo. En este sentido, el análisis de un DPV no solo tiene valor como estudio de un sistema concreto, sino también como aproximación a una capacidad subacuática con potencial operativo, logístico y tecnológico.

Desde el punto de vista académico, este trabajo se justifica por el desarrollo de una representación tridimensional detallada de un DPV de uso militar, concebida como una herramienta de apoyo al análisis, la visualización y la comprensión del sistema. La elaboración de un modelo digital permite estudiar de forma clara la disposición general del vehículo, la integración de sus componentes y su configuración espacial, aportando una visión más completa que la que puede obtenerse únicamente mediante descripciones teóricas o documentación convencional.

Además, el empleo de herramientas de modelado tridimensional y visualización facilita la generación de un entorno de representación realista, preciso y eficiente. Esto convierte el proyecto en un recurso útil tanto para el ámbito formativo como para el técnico, ya que permite presentar el sistema

de una manera accesible para ingenieros, alumnos o personal interesado en el desarrollo y evaluación de este producto.

En consecuencia, este trabajo busca aportar una base visual y técnica que contribuya a explorar la necesidad, el interés y la viabilidad de las capacidades subacuáticas asociadas al empleo de DPV en la Armada, ofreciendo una representación clara del sistema y favoreciendo su análisis académico.

## 1.4 Objetivos

Este Trabajo de Fin de Grado tiene como objetivo general el diseño, modelado y visualización inmersiva de un DPV mediante una maqueta digital tridimensional fiel y detallada, así como su incorporación a un entorno de realidad mixta que permita su exploración interactiva. Con ello, se persigue obtener una representación precisa del sistema que facilite la comprensión de su configuración general, de su disposición espacial y de la relación funcional entre sus distintos subconjuntos.

Para alcanzar este objetivo general, se plantean los siguientes objetivos específicos:

**Diseño y modelado tridimensional del DPV en Autodesk Inventor**

Desarrollar el modelo tridimensional del DPV seleccionado mediante Autodesk Inventor, empleando herramientas de diseño asistido por ordenador para definir con precisión su geometría, proporciones y configuración general. Para ello, se llevará a cabo el modelado individualizado de sus piezas y subconjuntos, así como su posterior ensamblaje, con el fin de obtener una representación digital completa, coherente y visualmente realista del dispositivo.

**Implementación del entorno de realidad mixta y programación en Unreal Engine 5.6**

Desarrollar el entorno de realidad mixta en Unreal Engine 5.6. Este objetivo contempla la construcción del escenario de visualización, la definición de los sistemas de interacción y la preparación del entorno inmersivo para permitir una experiencia de uso fluida, intuitiva y adaptada a la exploración técnica del modelo.

**Integración del modelo 3D y de los archivos asociados en el entorno de realidad mixta**

Integrar el modelo tridimensional generado en Autodesk Inventor, junto con los archivos necesarios para su funcionamiento, dentro del entorno desarrollado en Unreal Engine 5.6, asegurando su correcta importación, organización y visualización. Este proceso tiene como finalidad garantizar que el modelo pueda representarse de forma precisa y estable en realidad mixta, permitiendo al usuario examinar el DPV de manera clara, inmersiva y espacialmente coherente.

## 1.5 Estructura del Trabajo

El presente trabajo se organiza siguiendo los siguientes apartados:

1) **Introducción:** En este apartado se expone el contexto general en el que se desarrolla el trabajo, así como los antecedentes y la motivación que justifican su realización. También se presentan los objetivos principales que se pretenden alcanzar y la organización general de la memoria.
2) **Estado del Arte:** En este capítulo se recopila y analiza la información previa necesaria para contextualizar el proyecto, abordando la evolución de los DPV, sus características principales y su aplicación en el ámbito militar. Además, se introducen las herramientas y tecnologías relacionadas con el modelado 3D, la informática gráfica y la realidad extendida, que sirven de base para el desarrollo posterior.
3) **Desarrollo:** En este apartado se describe el proceso seguido para la realización del trabajo, detallando la metodología empleada, la elección del modelo base y las distintas fases del modelado tridimensional. También se explica el procedimiento de ensamblaje, renderizado e integración del modelo en el entorno inmersivo previsto.

4) **Resultados:** En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en cada una de las etapas del desarrollo, mostrando el modelo final alcanzado y su representación gráfica. Asimismo, se valora el grado de cumplimiento de los objetivos planteados y la utilidad del resultado final dentro del enfoque del proyecto.
5) **Conclusiones:** En este apartado se recogen las conclusiones principales derivadas del trabajo realizado, valorando los resultados obtenidos y el cumplimiento de los objetivos iniciales. Del mismo modo, se plantean posibles mejoras y líneas futuras de trabajo que podrían ampliar o complementar el proyecto.
6) **Bibliografía:** En este apartado se incluyen todas las fuentes consultadas y citadas a lo largo de la memoria. Su función es respaldar la base teórica del proyecto y dar validez académica a la información empleada.
7) **Anexos:** En este último apartado se incorpora el material complementario que amplía la información desarrollada en la memoria principal. En él pueden incluirse documentos técnicos, figuras adicionales, planimetría, esquemas o cualquier otro contenido relevante para facilitar una mejor comprensión del trabajo.

# 2 ESTADO DEL ARTE

## 2.1 Descripción del apartado

Este apartado tiene como objetivo contextualizar el diseño y modelado de un scooter subacuático destinado a prestar servicio en el ámbito militar. Se pretende establecer una base teórica y tecnológica que permita entender la evolución de estos dispositivos, sus capacidades, limitaciones y criterios de diseño.

Para ello, se analizará el origen de su aparición, su desarrollo histórico y la adaptación a su uso civil profesional y militar. Se analizarán sus requisitos de funcionalidad, operativos y de diseño para así proponer el diseño dentro de un marco operativo realista.

Será el punto de partida para el posterior desarrollo del modelo, asegurando que las decisiones de diseño adoptadas estén alineadas con el estado actual de la tecnología y las necesidades operativas del entorno militar al que pretende servir.

## 2.2 Scooters Subacuáticos

Los DPV son sistemas electromecánicos subacuáticos no autónomos destinados a proporcionar un empuje hidrodinámico directo a uno o varios buceadores, permitiendo su desplazamiento bajo el agua sin necesidad de nadar de manera autónoma continuamente [1], [2].

Es un equipo de propulsión asistida y operación manual, en el que el buceador actúa simultáneamente como operador, elemento de control y carga transportada, estando siempre en contacto con el agua [2].

Un DPV no constituye un vehículo submarino independiente, sino un sistema de movilidad personal subacuática, cuya función principal es aumentar el alcance, la velocidad y la eficiencia energética del operador bajo el agua, reduciendo el esfuerzo físico del mismo [2].

Un DDP permite:

- Aumentar el área de influencia en el que los operadores actúan.
- Mantener una velocidad de avance constante y controlada.
- Transportar equipo adicional sin comprometer el esfuerzo humano.
- Ejecutar desplazamientos prolongados manteniendo esfuerzos físicos mantenibles.

## *2.2.1 Historia y Evolución*

### *2.2.1.1 Planteamiento del problema: movilidad subacuática humana*

El desarrollo de los dispositivos de propulsión subacuática individual surge como respuesta a una limitación fundamental del buceo temprano: la reducida movilidad horizontal del operador cuando se desplaza únicamente mediante aletas. Durante la primera mitad del siglo XX, y especialmente en el contexto previo y durante la Segunda Guerra Mundial, varias armadas identificaron la necesidad de ampliar el alcance, la persistencia y la discreción de los buceadores en misiones de carácter ofensivo y de reconocimiento [3].

Estas necesidades se manifestaron principalmente en operaciones de infiltración y sabotaje portuario, donde la velocidad no constituía el factor determinante, sino la capacidad de desplazarse de forma silenciosa, controlada y con un consumo energético asumible durante periodos prolongados. Desde este momento inicial quedaron definidos los principales condicionantes que continúan vigentes en el diseño de estos sistemas: generación de empuje eficiente a baja velocidad, control direccional estable, autonomía energética limitada, integración ergonómica con el operador y fiabilidad en un entorno hostil [4].

En la Figura 2-1 se puede visualizar el equipo del que disponía el personal militar en el contexto de la Segunda Guerra Mundial.para realizar sus cometidos subacuáticos.




**Figura 2-1 Buzo militar británico equipado con aparato de respiración**

### *2.2.1.2 Primera generación de sistemas asistidos*

Las primeras soluciones técnicas al problema de la movilidad subacuática individual se materializaron en sistemas tripulados de tipo mojado, en los que el buceador permanecía en contacto directo con el agua. El ejemplo más representativo de esta etapa es el Siluro a Lenta Corsa (SLC) desarrollado por la Regia Marina italiana a finales de los años treinta, bajo la dirección de Teseo Tesei y Elios Toschi [5].

El SLC (Figura 2-2) empleaba propulsión eléctrica mediante baterías, control manual de velocidad y rumbo, y permitía el transporte de una carga útil destinada al sabotaje. Su empleo operativo, especialmente durante el ataque al puerto de Alejandría en 1941, demostró de forma empírica la viabilidad de la propulsión eléctrica subacuática y confirmó que la baja velocidad, combinada con la discreción acústica, resultaba más eficaz que soluciones orientadas al alto rendimiento [6].

En paralelo, el Reino Unido desarrolló el Chariot, un sistema inspirado directamente en el SLC. Aunque no supuso un salto tecnológico significativo, sí introdujo una mejora sustancial en términos de fiabilidad, repetibilidad y adaptación operativa [5]. Esta etapa consolidó la idea de que el valor del sistema no residía únicamente en el dispositivo mecánico, sino en su integración con el operador y el contexto de empleo.



**Figura 2-2 “Maiale” (SLC) italiano**

### *2.2.1.3 De artefacto experimental a sistema de empleo*

A medida que estas soluciones comenzaron a emplearse de forma continuada, se hizo evidente la necesidad de normalizar procedimientos, entrenamiento y mantenimiento. En el caso británico, el programa Chariot, (Figura 2-3) evolucionó hacia una estructura más sistemática, con operadores específicamente formados y versiones sucesivas del diseño basadas en la experiencia operativa [7].

Este proceso marcó un hito fundamental en la evolución de los dispositivos de propulsión subacuática, ya que supuso el paso de soluciones entendidas como artefactos aislados a sistemas completos concebidos de forma integrada. A partir de ese momento, el valor del dispositivo dejó de depender únicamente de sus características mecánicas o propulsivas, pasando a estar ligado también a su relación con el operador, a la forma de empleo prevista y al marco táctico o funcional en el que iba a utilizarse. En consecuencia, diseño, operador y doctrina de uso comenzaron a entenderse como elementos inseparables dentro de una misma realidad operativa. Esta concepción sistémica resultará determinante en los desarrollos posteriores, tanto en el ámbito militar como en el civil, al establecer una base común sobre la que evolucionarán las configuraciones, prestaciones y criterios de utilización de este tipo de vehículos.



**Figura 2-3 Controles del Chariot Mk I**

### *2.2.1.4 Escalada tecnológica y límites del concepto de vehículo subacuático*

Tras la Segunda Guerra Mundial, el interés militar se desplazó desde el sabotaje puntual hacia la proyección subacuática de buceadores en escenarios más amplios. En Estados Unidos, este desarrollo fue impulsado por la OSS Maritime Unit y, posteriormente, por los Underwater Demolition Teams (UDT) [7].

Durante este periodo, la aportación de Christian Lambertsen resultó clave, especialmente con el desarrollo de sistemas de respiración autónoma de circuito cerrado, que permitieron misiones más prolongadas y discretas [8]. Paralelamente, se experimentó con vehículos subacuáticos de mayor tamaño, orientados al transporte de nadadores encapsulados, dando lugar a los primeros Swimmer Delivery Vehicles (SDV), Figura 2-4.



**Figura 2-4 Operación con SDV desde submarino**

El resultado de esta evolución fue la entrada en servicio del SDV Mark VII en 1972 y, posteriormente, del Mark VIII, que incorporaban mejoras en navegación, capacidad de carga y fiabilidad [9]. No obstante, la experiencia acumulada puso de manifiesto los límites de este enfoque: el aumento de complejidad técnica conllevaba una elevada dependencia logística, necesidad de plataformas específicas de despliegue y una menor flexibilidad para misiones de corto alcance.

### *2.2.1.5 Retorno al operador: aparición del scooter subacuático moderno en el ámbito militar*

Como consecuencia de estas limitaciones, se produjo un retorno conceptual hacia sistemas más simples, ligeros y directamente acoplados al operador: los dispositivos de propulsión individual tipo scooter, Figura 2-5. Estos sistemas recuperaban muchas de las ideas fundamentales de la primera generación, pero integrando décadas de experiencia en fiabilidad eléctrica, ergonomía y control [10].

El scooter subacuático se consolidó, así como una solución complementaria al SDV, especialmente adecuada para misiones de corto y medio alcance, donde la rapidez de despliegue, la simplicidad mecánica y la flexibilidad táctica resultan prioritarias frente a la complejidad tecnológica.



**Figura 2-5 Instagram *frogmen_atw* - "U.S. Navy SEAL Aquarius Dive Training"**

### *2.2.1.6 Desarrollo civil y validación operacional prolongada*

De forma paralela al desarrollo militar, el ámbito civil y científico siguió una línea evolutiva propia, basada en la práctica continuada y la validación empírica en entornos reales. El punto de partida se sitúa a comienzos de la década de 1950 con los trabajos de Dimitri Rebikoff, quien desarrolló los primeros scooters eléctricos civiles destinados al buceo científico y cinematográfico [11].

Desde entonces, estos dispositivos se integraron progresivamente en actividades como la exploración subacuática (Figura 2-6), la documentación científica y, de manera especialmente relevante, el buceo técnico en cuevas. En estos entornos, la necesidad de recorrer largas distancias horizontales con un consumo de gas controlado convirtió al DPV en una herramienta operativa crítica, impulsando mejoras constantes en fiabilidad, estabilidad y ergonomía.

A partir de los años setenta y ochenta, fabricantes especializados comenzaron a desarrollar scooters robustos, con carenados hidrodinámicos optimizados empíricamente, hélices protegidas y configuraciones de remolque estables [12]. Desde los años noventa, la mejora de la densidad energética de las baterías y el uso de nuevos materiales permitieron optimizar diseños ya consolidados sin alterar el concepto base.

La experiencia acumulada en el ámbito civil ha demostrado que la simplicidad, la fiabilidad y la eficiencia energética son más determinantes que la velocidad o la complejidad tecnológica. Como resultado, muchas de las soluciones adoptadas por los DPV militares modernos proceden directamente de este entorno de validación operacional prolongada.




**Figura 2-6 FREMER, diver con scooter (“loco-diver”)**

### *2.2.1.7 Síntesis evolutiva*

En conjunto, la evolución de la propulsión subacuática individual muestra un patrón recurrente: fases de innovación motivadas por necesidades operativas concretas, seguidas de periodos de validación empírica donde se consolidan soluciones simples y robustas. Este proceso ha definido un modelo tecnológico que permanece esencialmente vigente en la actualidad y constituye la base conceptual sobre la que se apoya el diseño y modelado del scooter subacuático desarrollado en este trabajo.

## *2.2.2 Incorporación a la Armada*

La adopción de dispositivos de propulsión subacuática para buceadores en la Armada responde a una necesidad operativa común: aumentar el radio de acción y la seguridad del buceador (alcance real, consumo de gas, fatiga y tiempos de trabajo), manteniendo discreción y capacidad de navegación en entornos litorales o portuarios. Esta necesidad aparece de forma especialmente clara en dos ámbitos: operaciones especiales en el entorno marítimo-litoral, donde el DPV actúa como medio de inserción/extracción de equipos de buceadores; y buceo militar y de apoyo, donde el DPV amplía la eficacia de búsquedas, inspecciones y trabajos subacuáticos [13], [14], [15].

### *2.2.2.1 Antecedentes: del buceo de combate a la Guerra Naval Especial*

En España, el buceo de combate se consolida progresivamente a partir de unidades precursoras y desemboca en una capacidad orgánica especializada. En 1967 se impulsa la creación de una unidad de buceadores de combate en Cartagena y, en 1970, se formaliza la Unidad Especial de Buceadores de Combate (UEBC) por Orden Ministerial, fijando una estructura estable para el empleo táctico del buceo

Un hito organizativo clave llega en 2009, con la constitución de la Fuerza de Guerra Naval Especial (FGNE), integrando capacidades y personal procedentes del Mando de Guerra Naval Especial, la UEBC y la Unidad de Operaciones Especiales (UOE) de la BRIMAR. Este hecho es relevante porque, desde entonces, la capacidad de inserción subacuática de equipos de operaciones especiales queda centralizada en una unidad con misión explícita en el ámbito marítimo-litoral [16].

### *2.2.2.2 FGNE*

La FGNE define su misión en términos de operaciones especiales en el entorno marítimo y litoral, lo que incluye perfiles donde el buceo es un vector de aproximación discreta [14].

En este marco, el DPV se emplea como medio de inserción para equipos con buceadores: permite aproximaciones sostenidas con menor firma, mejor control de rumbo/profundidad y mayor margen de seguridad (consumo, tiempos y fatiga) [17].

En términos de adquisición y modernización, la información publicada en licitaciones/noticias sectoriales permite trazar una evolución reciente orientada a renovar flotas y mantener la operatividad [2], [17]:

- Se indica que la Armada contaba con seis DPD modelo SD414 adquiridos en 2012, y que se inicia un plan de renovación progresiva.
- Entre 2022–2023 se documentan compras y licitaciones asociadas a modelos más modernos (Divejet RD2), con requisitos operativos típicos de un DDP táctico: longitud y peso contenidos, propulsión eléctrica, operaciones a decenas de metros de profundidad, e incluso compatibilidad con despliegue/lanzamiento en escenarios expedicionarios.
- Además, existen evidencias gráficas públicas de entrenamiento con "mini-scooter" en el entorno de la GNE, que refuerzan la idea de que se trata de una capacidad realmente integrada en el adiestramiento.

En la FGNE, el DPV no se entiende como un vehículo aislado, sino como parte del sistema de inserción subacuática (equipo humano, procedimientos, navegación y sostenimiento), donde priman discreción, fiabilidad y control sobre la velocidad punta [14], [16]. En la Figura 2-7 se puede visualizar la interacción entre miembros de operaciones especiales y el dispositivo en cuestión.



**Figura 2-7 Empleo DPV en FGNE. Fuente *Infodefensa***

### *2.2.2.3 Centro de Buceo de la Armada*

El Centro de Buceo de la Armada (CBA) tiene misiones asociadas al apoyo técnico-operativo del buceo: reconocimiento (Figura 2-8), y reparación a buques, contribución al salvamento y rescate de submarinos, y apoyo en tareas de búsqueda, localización y protección en el ámbito subacuático. [15]

En este contexto, la adquisición de DPV se vincula directamente a operaciones complejas (profundidad, carga de trabajo y seguridad). Un ejemplo especialmente sólido es el expediente 2E-149-25, cuyo objeto es el "suministro de cinco scooters submarinos para el CBA" [2].

El pliego técnico especifica prestaciones coherentes con un perfil profesional/militar avanzado: accionamiento magnético silencioso, baterías extraíbles aptas para transporte aéreo, indicación precisa de batería, autonomía definida por régimen, preparación para consola de navegación y profundidad máxima de 150 m [2].



**Figura 2-8 Buceadores del CBA empleando vehículos de propulsión DPV**

### *2.2.2.4 TEAR/BRIMAR*

El Tercio de Armada (TEAR) constituye la fuerza expedicionaria de la Infantería de Marina y se articula orgánicamente en la BRIMAR lo que lo sitúa como actor central en escenarios anfibios y litorales [13].

Aunque la evidencia pública más directa de adquisición/renovación de DPV se concentra en FGNE y CBA, su valor operativo se alinea con necesidades típicas de una fuerza anfibia: reconocimiento y preparación del entorno litoral, inspección de áreas portuarias y apoyo subacuático a operaciones navales. En la práctica, esta demanda se articula mediante capacidades especializadas (GNE) y apoyos técnicos de buceo (CBA), en coordinación con los mandos responsables [13], [16].

## *2.2.3 Clasificación y Características*

Una vez definido qué es un DPV y revisada su evolución histórica, este apartado ordena el estado actual de la tecnología mediante una clasificación técnica y funcional. El objetivo no es enumerar modelos, sino identificar familias, compararlas con criterios homogéneos y extraer patrones de diseño.

La clasificación se articula en tres ejes: (i) configuración del vehículo (cómo se integra el buceador con el DPV), (ii) aplicación, diferenciando scooters tácticos de infiltración/combate y scooters civiles (profesionales, científicos y recreativos), y (iii) prestaciones operativas, entendidas como autonomía/alcance y perfil real de uso. A partir de esta base se describen las características técnicas clave que permiten comparar plataformas de forma coherente (propulsión y control, energía, ergonomía, seguridad y mantenibilidad), apoyándose en tablas de síntesis para facilitar la lectura.

### *2.2.3.1 Clasificación por configuración del vehículo*

La configuración del DPV condiciona de forma directa su comportamiento general y constituye uno de los criterios más útiles para su clasificación. La disposición de sus volúmenes principales, la posición del operador respecto al dispositivo y la forma en que se integran los sistemas de propulsión y control influyen en su hidrodinámica, estabilidad y maniobrabilidad bajo el agua. Del mismo modo, esta configuración también afecta a la ergonomía de uso, a la postura del buceador y a la manera en que se gobierna el equipo durante la navegación. Por ello, no se trata solo de una diferencia de forma, sino de un aspecto que repercute de manera clara en el empleo práctico del dispositivo. A partir de esta idea, puede establecerse una clasificación de los DPV en función de su configuración general. [14].

| Tipo | Descripción técnica | Rasgos característicos | Ventajas | Limitaciones / riesgos |
|---|---|---|---|---|
| **Scooter de remolque (tow-behind)** | Buceador remolcado sujetando el DPV y estabilizado con arnés | Posición alineada tras el DPV; el arnésforma parte del conjunto | Muy eficiente y extendido en buceo técnico; portable y modular | Requiere buena técnica de trimado y gestión del anclaje; posibles enganches y pérdida de control |
| **Scooter "ride-on"** | Buceador se apoya parcialmente en el DPV | Mayor superficie mojada y, por tanto, mayor arrastre | Control intuitivo; cómodo en perfiles recreativos | Menor eficiencia; puede penalizar autonomía en recorridos largos |
| **SDV / "wet sub"** | Vehículo húmedo tripulado para transportar equipo y buceadores a distancia | Operadores expuestos al agua (cabina inundada); integra navegación | Mayor alcance/carga útil y capacidad de inserción | Complejidad, coste y dependencia logística elevados; mantenimiento intensivo |
| **Trineo remolcado (towed sled)** | Plataforma sin propulsión remolcada por embarcación | Control de profundidad por ángulo/posición; útil para cobertura de áreas | Cobertura amplia en búsquedas | Ruta dependiente del barco; limitada maniobrabilidad y necesidad de condiciones adecuadas |

**Tabla 2-1 Tipos de DPV por configuración[1], [2], [18], [19], [20]**

### *2.2.3.2 Clasificación por aplicación: scooters tácticos vs civiles*

Aunque la tecnología base (motor eléctrico, hélice, batería y carcasa estanca) es común, los requisitos cambian de forma notable según el uso final. Por ello se diferencian dos ramas principales:

- *Scooters tácticos de combate e infiltración*

- **DPV táctico ligero**: orientado a aumentar el alcance de nadadores manteniendo discreción y simplicidad. En este perfil suelen primar la fiabilidad, la ergonomía con guantes/equipo y la reducción de fallos operativos (arranques involuntarios, pérdida de control, etc.) [1], [18].
- **SDV (entrega/recuperación):** plataforma "wet sub" para trasladar equipos y material a mayor distancia, con navegación integrada y procedimientos específicos de empleo. Se emplea en misiones clandestinas y requiere soporte logístico y personal especializado [19], [20]].

- *Scooters civiles: profesionales, científicos y recreativos*

- **Recreativo:** prioriza facilidad de uso, portabilidad y seguridad "de usuario" (manejo simple, dispositivos de corte/paro, operación conservadora) [2], [18].
- **Técnico (cuevas):** prioriza alcance real y fiabilidad repetitiva; el scooter se integra como parte del "sistema de inmersión" (configuración del buceador, procedimientos, contingencias). Los estándares de formación técnica describen configuraciones típicas: DPV de remolque con control de velocidad, uso de cordón/cord con mosquetón y puntos de anclaje en el arnés, además de procedimientos para remolcar un DPV inoperativo [1].
- **Profesional/científico:** prioriza robustez, repetibilidad de tareas (mapeo, documentación, inspección) y compatibilidad con equipos auxiliares; se emplea como multiplicador de alcance en actividades de levantamiento y evaluación ambiental [21], [22].

| Categoría | Objetivo | Prioridades (de mayor a menor) | Entorno típico |
|---|---|---|---|
| **Táctico – infiltración (DPV ligero)** | Ampliar alcance con discreción | Fiabilidad, ergonomía, control seguro, simplicidad | Litoral/puerto, aproximación discreta |
| **Táctico – entrega (SDV)** | Transportar equipo y carga | Navegación y operación de misión, alcance/carga | Inserción/recuperación |
| **Civil – recreativo** | Reducir esfuerzo y ampliar recorrido | Facilidad de uso, seguridad, portabilidad | Inmersión guiada, fotografía recreativa |
| **Civil – técnico** | Maximizar alcance y control de consumo | Eficiencia, fiabilidad, gestión de fallos, configuración con arné | Cuevas, pecios y corrientes marinas |
| **Civil – profesional/científico** | Trabajo repetitivo y cobertura | Robustez, autonomía práctica, compatibilidad módulos | Mapeo, documentación, inspección |

**Tabla 2-2 Clasificación por aplicación y prioridades de diseño[18], [19], [20], [21], [22]**

### *2.2.3.3 Clasificación por prestaciones operativas*

Más allá del "tipo", la comparación práctica suele hacerse por el perfil de misión (distancia, tiempo, carga, condiciones). En DPV, el alcance real no depende solo de la batería: también está limitado por la planificación de gas respirable, la navegación y la gestión de riesgos [1], [2].

| Clase | Perfil típico | Qué la define en la práctica | Usuarios habituales |
|---|---|---|---|
| **Corto alcance (portable)** | Trayectos moderados, operación simple | Prioriza peso/volumen; autonomía limitada | Recreativo y apoyo puntual |
| **Alcance medio (técnico estándar)** | Uso frecuente, recorridos largos | Compromiso empuje/autonomía; logística asumible | Buceo técnico (cuevas/pecios) |
| **Alto alcance (misión)** | Autonomía alta y carga adicional | Gestión energética y procedimientos estrictos | Profesional especializado / táctico |

**Tabla 2-3 Clases operativas por prestaciones**

### *2.2.3.4 Características técnicas comparables (criterios de análisis)*

La clasificación de los scooters subacuáticos también puede abordarse a partir de sus características técnicas, ya que estas permiten diferenciar los distintos modelos en función de sus prestaciones, capacidades y criterios de diseño. Aspectos como la potencia, la autonomía, el tipo de alimentación, la profundidad operativa o la capacidad de carga influyen directamente en el comportamiento del dispositivo y en su campo de aplicación. Este enfoque permite ir más allá de la forma externa o de la configuración general, centrando el análisis en parámetros objetivos que facilitan la comparación entre equipos. A partir de ello, puede plantearse una clasificación atendiendo a las principales características técnicas de los DPV.

| Característica | Qué representa | Por qué importa | Observaciones prácticas |
|---|---|---|---|
| **Arquitectura (tow-behind / ride-on / SDV)** | Relación operador–vehículo | Determina arrastre, control y fatiga | La configuración condiciona la técnica de uso [20-21] |
| **Sistema de control** | Mandos, selector de velocidad, paro | Evita pérdidas de control y facilita operación | Estándares técnicos exigen control fiable y procedimientos [21-22] |
| **Seguridad (advertencias)** | Mitigación de accidentes | Reduce riesgo de incidentes por mala operación o fallo | Manuales advierten explícitamente de riesgos graves por uso incorrecto |
| **Integración con arnés/cabos** | Unión DPV–buceador | Afecta eficiencia y rescate de contingencias | Estándares describen cordón trasero con enganche al arnés y elementos para remolque |
| **Energía y batería** | Autonomía y logística | Define tiempo de uso, peso y procedimientos | Elemento crítico de operación y mantenimiento |
| **Aplicación (táctica/civil)** | Requisitos dominantes | Cambia prioridades: discreción vs facilidad, etc. | SDV requiere soporte y formación especializada |
| **Uso científico/profesional** | Cobertura y repetibilidad | Multiplica alcance en tareas de mapeo/survey | Existen casos documentados de empleo en actividades de campo |

**Tabla 2-4 Características y su impacto[1], [2], [18], [19], [20], [21]**

Como evidencia del componente "operacional", existen casos reales reportados en seguridad de buceo donde el uso del scooter influye en la gestión de emergencias y en la evolución del incidente, destacando la importancia de técnica, supervisión y procedimientos [21].

## 2.3 Realidad extendida

La realidad extendida, habitualmente designada por las siglas XR (*Extended Reality*), constituye el conjunto de tecnologías de visualización e interacción que combinan, en distinto grado, elementos del entorno físico con contenido digital generado por ordenador. Bajo este término se agrupan la realidad virtual (RV), la realidad aumentada (RA) y la realidad mixta (RM), visible en la Figura 2-9, cuya principal diferencia radica en el modo en que el entorno real es sustituido, complementado o integrado dentro de la experiencia del usuario. La literatura técnica suele interpretar esta familia de tecnologías a partir del continuo realidad–virtualidad propuesto por Milgram y Kishino, donde el extremo de la realidad física se sitúa frente al extremo de la virtualidad completa, quedando entre ambos los distintos escenarios híbridos [23], [24], [25].

A partir de este marco conceptual, puede entenderse que las distintas tecnologías XR no se diferencian solo por el dispositivo empleado, sino por el grado de presencia del entorno real dentro de la experiencia generada. Por ello, resulta necesario distinguir con claridad las particularidades de la realidad virtual, la realidad aumentada y la realidad mixta, ya que cada una responde a una lógica de interacción diferente y presenta aplicaciones específicas dentro del ámbito técnico y militar.




**Figura 2-9 Esquema conceptual de la realidad extendida – Generado a partir de IA**

En los últimos años, el desarrollo de procesadores gráficos, sensores inerciales, cámaras RGB, técnicas de seguimiento espacial y motores de renderizado en tiempo real ha impulsado la madurez de estas tecnologías, favoreciendo su aplicación en campos como la medicina, la educación, la industria, la arquitectura, la simulación y la defensa. Ya no se trata únicamente de recursos de demostración visual, sino de herramientas útiles para comprender sistemas complejos, validar soluciones de diseño, mejorar la formación técnica y reforzar el adiestramiento en procedimientos de riesgo o de elevada complejidad espacial [24], [25].

En el presente Trabajo de Fin de Grado, la realidad extendida se aborda como una herramienta de apoyo a la representación técnica, al análisis geométrico y a la comunicación funcional del Dispositivo de Propulsión para Buceadores. Al tratarse de un sistema mecánico compacto, con una envolvente exterior hidrodinámica y una organización interna altamente condicionada por criterios de volumen, estanqueidad y accesibilidad, la visualización inmersiva permite comprender mejor la relación entre subconjuntos, interpretar el ensamblaje con mayor claridad y presentar el resultado final de un modo más intuitivo que el que ofrecen exclusivamente los planos o las vistas CAD convencionales. En este sentido, la XR no sustituye al diseño asistido por ordenador, sino que actúa como una extensión de éste, trasladando el modelo digital desde el ámbito del diseño al de la exploración espacial, la validación visual y la exposición técnica.

### *2.3.1 Principales enfoques: RV, RA y RM*

Aunque la realidad virtual, la realidad aumentada y la realidad mixta comparten fundamentos tecnológicos comunes como modelado tridimensional, renderizado en tiempo real, interfaces de interacción y sistemas de seguimiento, cada una responde a una lógica de uso diferente. La distinción entre ellas no debe establecerse únicamente en función del dispositivo empleado, sino del grado de inmersión, de la permanencia del entorno real dentro de la experiencia y del modo en que los objetos digitales se relacionan con el espacio físico, diferencias representadas gráficamente en la Figura 2-10 [23], [25].

Esta diferenciación resulta especialmente relevante cuando se analizan sus posibilidades de aplicación en entornos técnicos y operativos. En función de esa relación entre mundo físico y contenido digital, cada tecnología ofrece ventajas concretas para tareas de visualización, simulación, apoyo al mantenimiento o adiestramiento.




**Figura 2-10 Comparación entre RV, RA y RM - Generada a partir de IA**

### *2.3.1.1 Realidad virtual (RV)*

La realidad virtual es el enfoque más inmersivo dentro del conjunto XR, ya que sustituye la percepción visual del mundo físico por un entorno digital completo. El usuario accede a una escena sintética que puede reproducir un sistema real, un escenario ficticio o una simulación funcional, quedando aislado visualmente del entorno exterior mediante un visor específico. Esta inmersión permite centrar la atención sobre el contenido representado y facilita la comprensión espacial de modelos complejos, especialmente cuando se desea explorar geometrías internas, realizar secciones, comprobar relaciones dimensionales o recrear situaciones que no pueden reproducirse fácilmente en el entorno físico [24], [25].

Desde el punto de vista ingenieril, la RV presenta un valor notable en revisión de diseño, simulación de procedimientos, formación técnica y presentación de prototipos digitales. La posibilidad de visualizar un conjunto a escala real, rodearlo, inspeccionarlo desde distintos puntos de vista o interactuar con sus componentes mejora la percepción volumétrica y reduce la abstracción asociada a los planos bidimensionales. En productos mecánicos complejos, esta capacidad resulta especialmente útil para estudiar el reparto de volúmenes, la disposición de piezas, la secuencia de montaje y la accesibilidad a determinadas zonas del sistema [24], [25].

Aplicada al DPV, la realidad virtual permitiría, por ejemplo, recorrer visualmente el conjunto ensamblado, analizar el volumen general del cuerpo principal, interpretar la ubicación relativa del sistema de propulsión y de los elementos de mando, o mostrar despieces controlados que faciliten la comprensión de la arquitectura interna. Asimismo, puede utilizarse como herramienta expositiva para explicar el funcionamiento general del sistema a personal no familiarizado con software CAD, mejorando la capacidad de comunicación técnica del proyecto.

### *2.3.1.2 Realidad aumentada (RA)*

La realidad aumentada mantiene la percepción directa del mundo físico y superpone sobre él información digital contextual. A diferencia de la realidad virtual, en la RA el entorno real sigue siendo el marco principal de referencia, mientras que el contenido virtual se incorpora como una capa informativa adicional. Dicha información puede adoptar la forma de textos, indicadores, iconografía, trayectorias, parámetros, instrucciones o modelos tridimensionales simples alineados con el campo de visión del usuario [24], [25].

Su interés principal en aplicaciones técnicas reside en la asistencia contextual. La RA permite observar un sistema real mientras se recibe información complementaria sobre él, lo que la convierte en una tecnología especialmente adecuada para operaciones de mantenimiento, instrucción guiada, inspección, comprobación de procedimientos y apoyo a la maniobra. Desde un punto de vista cognitivo, ofrece la ventaja de no romper la referencia espacial con el entorno, lo que resulta útil en tareas donde el operador debe seguir interactuando con objetos físicos reales.

En el caso del DPV, la realidad aumentada podría emplearse para superponer sobre una maqueta física o sobre un entorno de trabajo información relativa a subconjuntos, trayectorias de montaje, ubicación de elementos internos, identificación de componentes o secuencias de desmontaje. Aunque no constituye el enfoque central del presente trabajo, sí resulta relevante como referencia tecnológica por su potencial futuro en apoyo a formación técnica, familiarización con sistemas y mantenimiento asistido.

#### *2.3.1.3 Realidad mixta (RM)*

La realidad mixta representa un nivel de integración más avanzado entre mundo físico y contenido digital. No se limita a superponer información sobre la escena real, sino que incorpora objetos virtuales que quedan posicionados espacialmente en el entorno, con coherencia de escala, orientación y anclaje. De este modo, el usuario no solo ve contenido digital "encima" del mundo real, sino "dentro" de él, pudiendo desplazarse alrededor del modelo, observarlo desde distintos ángulos e interactuar con él de forma más natural.

La diferencia esencial frente a la RA convencional radica en la calidad de la integración espacial. En la RM, el sistema reconoce el entorno físico y utiliza esa información para situar el modelo digital en una posición estable dentro del espacio, haciendo posible que el usuario perciba el objeto virtual como parte del escenario. Esto la convierte en una tecnología especialmente adecuada para visualización a escala real, revisión volumétrica, validación conceptual, formación técnica y presentación interactiva de sistemas complejos [24], [25].

En un trabajo como el presente, centrado en el modelado integral de un DDP para su posterior exploración inmersiva, la realidad mixta constituye el enfoque más adecuado. Permite situar el modelo CAD en el entorno del usuario, observarlo con escala coherente, explorar su disposición general, activar despieces o secciones y comprender mejor la arquitectura del sistema sin necesidad de fabricar un prototipo físico.

### *2.3.2 Aplicaciones de la realidad extendida en el ámbito de la defensa*

El ámbito de la defensa constituye uno de los entornos en los que la realidad extendida presenta un mayor potencial de aplicación, debido a la necesidad de adiestrar de forma continuada, ensayar procedimientos complejos sin exposición al riesgo real y mejorar la comprensión espacial de sistemas, escenarios y maniobras. En este contexto, la XR aporta ventajas especialmente relevantes en términos de seguridad, repetibilidad del entrenamiento, reducción de costes y mejora del proceso de aprendizaje, al permitir recrear situaciones operativas con un elevado grado de control y realismo, como se puede observar en laFigura 2-11 [26], [27], [28].

Uno de los desarrollos más representativos en este campo es el denominado cajón de arena digital o interactivo, empleado como herramienta de apoyo al planeamiento y a la conducción táctica. Su utilidad va más allá de la mera representación visual del terreno, ya que permite mostrar de forma intuitiva la configuración del espacio de operaciones, las líneas de acción, las medidas de coordinación y otros elementos relevantes para la preparación de una misión. Frente a los medios tradicionales, este tipo de soluciones facilita una interpretación más clara y directa del terreno y de la maniobra, convirtiéndose en un recurso de gran valor para el adiestramiento y la exposición de órdenes de operaciones. Además, la propia Armada ha publicado el desarrollo de un cajón de arena virtual orientado a que los alumnos de Infantería de Marina puedan planear ejercicios en un entorno inmersivo, lo que evidencia la transición desde soportes físicos convencionales hacia herramientas digitales de representación táctica.




**Figura 2-11 Cajón de arena interactivo como herramienta de planeamiento**

En el ámbito naval destaca también el sistema **NAVANTIS** (*Navantia Training Integrated System*), Figura 2-12, concebido como una plataforma de entrenamiento inmersivo para la formación de dotaciones. La documentación oficial de Navantia lo describe como un entorno de aprendizaje inmersivo y realista, basado en simulación avanzada y realidad virtual, que permite entrenar sin riesgos y mejorar la formación en operación y mantenimiento, optimizando además la respuesta ante emergencias y reduciendo los tiempos de aprendizaje. Su interés es especialmente notable en plataformas de elevada complejidad técnica, como los submarinos, donde la familiarización espacial, el conocimiento de equipos y la práctica de procedimientos resultan factores esenciales [27].




**Figura 2-12 Sistema NAVANTIS de Navantia**

Otro ámbito en el que la realidad extendida ha encontrado aplicación es el del sostenimiento aeronáutico. En publicaciones oficiales del entorno de defensa español se ha documentado el uso de realidad virtual y aumentada, incluyendo gafas holográficas, para mejorar la ejecución de tareas de mantenimiento y hacerlas más rápidas y precisas, Figura 2-13. Este tipo de sistemas permite disponer de información técnica en tiempo real durante la intervención sobre la aeronave y facilita la asistencia remota, convirtiendo la XR en una herramienta útil para la transferencia de conocimiento, la optimización de tiempos de intervención y la mejora de la eficacia en tareas de apoyo técnico [27].



**Figura 2-13 Visores holográficos y tecnologías de RA en la empresa INDRA**

En el plano internacional, uno de los programas más significativos es el IVAS (*Integrated Visual Augmentation System*) del Ejército de los Estados Unidos, Figura 2-14. La documentación oficial del U.S. Army muestra este sistema como un visor de realidad mixta orientado tanto al entrenamiento como al apoyo al combatiente, y destaca su empleo en ejercicios de instrucción. Otras publicaciones oficiales del Ejército estadounidense subrayan que IVAS permite integrar información táctica, planificación, compartición de datos y entrenamiento en realidad aumentada, demostrando que la realidad extendida puede orientarse directamente a mejorar la preparación, la comprensión del entorno y la capacidad operativa del personal militar [28].



**Figura 2-14 Soldado del U.S. Army equipado con el visor IVAS**

En conjunto, estas aplicaciones muestran que la realidad extendida en defensa no debe entenderse como una tecnología meramente visual o divulgativa, sino como una herramienta con utilidad real en el adiestramiento, el planeamiento, la asistencia al mantenimiento, la familiarización con sistemas complejos y el apoyo a la toma de decisiones. Su principal valor reside en la capacidad de hacer comprensible, manipulable y repetible una información espacial y técnica que, mediante soportes convencionales, resultaría más difícil de transmitir y asimilar.

### *2.3.3 Realidad mixta como herramienta de visualización técnica*

Dentro del abanico XR, la realidad mixta destaca especialmente cuando el objetivo no es aislar al usuario del entorno, sino insertar en él un modelo digital con una presencia espacial creíble. Esta característica la convierte en una herramienta particularmente interesante en ingeniería, donde la

validación formal, la interpretación de volúmenes y la comprensión del conjunto pueden beneficiarse de una visualización tridimensional situada directamente en el espacio del usuario [23], [24], [25].

En aplicaciones de diseño mecánico, la RM permite colocar un modelo CAD en el entorno real y examinarlo como si se tratara de un objeto físico, tal y como se muestra en la Figura 2-15. Esto facilita la lectura volumétrica del sistema, la inspección desde múltiples posiciones, el análisis de accesibilidad visual y la presentación de subconjuntos sin necesidad de recurrir a prototipos físicos. Además, cuando el modelo ha sido preparado en un motor gráfico con funciones interactivas, la experiencia puede enriquecerse mediante explosionados, resaltado de componentes, menús contextuales o transiciones entre distintos modos de visualización.



**Figura 2-15 Entorno aplicado de RM - Generada a partir de IA**

En el presente TFG, la realidad mixta se plantea precisamente con ese propósito. No se busca simular el empleo operativo subacuático del DPV, sino convertir el modelo digital desarrollado en Autodesk Inventor en un recurso inmersivo de exploración técnica. La RM permite observar el conjunto a escala, comprender mejor la disposición general del cuerpo del dispositivo, distinguir sus principales subconjuntos y analizar visualmente su organización interna. Desde un punto de vista académico, esto refuerza el valor del trabajo como ejercicio de modelado, representación y comunicación técnica. Desde un punto de vista aplicado, abre la posibilidad de emplear el modelo como recurso de apoyo docente, divulgativo o de familiarización con la arquitectura del sistema.

### *2.3.3.1 Meta Quest 3*

Para la visualización en realidad mixta, uno de los dispositivos más extendidos en la actualidad es Meta Quest 3, Figura 2-16. Meta describe este visor como un equipo orientado tanto a experiencias de realidad virtual como de realidad mixta, incorporando paso a color del entorno real y cámaras RGB que mejoran notablemente la visualización del entorno físico en comparación con generaciones anteriores [29].

Además, su compatibilidad con entornos de desarrollo actuales y su uso cada vez más extendido en aplicaciones de visualización interactiva lo convierten en una opción especialmente adecuada para este tipo de trabajos. Por ello, se ha seleccionado como dispositivo de referencia para la implementación y comprobación del modelo desarrollado.



**Figura 2-16 Gafas de realidad mixta Meta Quest 3**

Estas capacidades lo convierten en un dispositivo especialmente adecuado para trabajos como el presente, donde interesa insertar el modelo digital del DPV en el entorno real del usuario y permitir su inspección interactiva sin perder la referencia espacial de la sala o superficie de trabajo. Desde el punto de vista académico y experimental, Meta Quest 3 ofrece una relación favorable entre accesibilidad, prestaciones de visualización y compatibilidad con ecosistemas de desarrollo ampliamente utilizados, lo que justifica su elección como plataforma de visualización inmersiva del modelo [29].

En consecuencia, la utilización de Meta Quest 3 no responde únicamente a una disponibilidad de hardware, sino a su adecuación funcional al objetivo del proyecto: integrar un modelo mecánico complejo dentro de un entorno de realidad mixta que permita comprender mejor su geometría, su ensamblaje y su lógica estructural.

## 2.4 Informática gráfica

La informática gráfica constituye la base tecnológica que permite transformar un diseño mecánico en una representación digital comprensible, visualmente coherente y susceptible de ser mostrada en entornos inmersivos. En el ámbito de la ingeniería, esta disciplina engloba tanto las herramientas de diseño asistido por ordenador como los motores gráficos empleados para la representación tridimensional en tiempo real. En el presente Trabajo de Fin de Grado, su papel es enlazar dos fases claramente diferenciadas pero complementarias: por un lado, el modelado tridimensional preciso del DPV y, por otro, su incorporación a un entorno de realidad mixta orientado a la visualización técnica del conjunto. Autodesk Inventor está concebido para diseño mecánico, documentación y simulación, mientras que Unreal Engine dispone de flujos específicos para importar y trabajar con contenido 3D y CAD en tiempo real [25], [30].

A diferencia de otros desarrollos orientados a la simulación funcional o a la interacción avanzada con el usuario, en este trabajo la informática gráfica no persigue convertir el modelo en un sistema de análisis dinámico ni en una aplicación interactiva compleja. Su finalidad es más concreta: permitir que el modelo digital del DPV, una vez diseñado y ensamblado, pueda visualizarse de forma estable, realista y espacialmente coherente dentro de un entorno de realidad mixta. De este modo, la informática gráfica actúa como medio para mejorar la comprensión volumétrica del sistema, la disposición de sus componentes y la percepción global de su diseño.

### *2.4.1 Diseño asistido por ordenador como base del modelo digital*

El diseño asistido por ordenador constituye el punto de partida de todo el flujo de trabajo gráfico desarrollado en este proyecto. Mediante herramientas CAD es posible definir con precisión la geometría de cada pieza, establecer relaciones de ensamblaje entre componentes y generar un modelo tridimensional coherente desde el punto de vista constructivo. En productos mecánicos con múltiples subconjuntos, como un DPV, esta fase resulta esencial, ya que condiciona tanto la fidelidad geométrica del modelo como su posterior representación visual. Autodesk define Inventor como una herramienta de CAD 3D para diseño mecánico, documentación y simulación, con capacidades de modelado paramétrico, directo, libre y basado en reglas [30], [31].

En este trabajo, el modelado CAD no se entiende únicamente como una etapa de dibujo técnico, sino como la creación del soporte geométrico completo sobre el que se apoya el resto del proceso. A través de Autodesk Inventor se genera el modelo tridimensional del DPV seleccionado, diseñando individualmente sus piezas, organizando los subconjuntos y completando el ensamblaje general del sistema. El resultado no es solo una representación visual aproximada, sino una maqueta digital estructurada que conserva coherencia dimensional, lógica de ensamblaje y correspondencia entre forma exterior y disposición interna [30], [31].

### *2.4.2 Autodesk Inventor*

Autodesk Inventor es el software de referencia empleado en la fase de diseño y modelado del presente trabajo. Su interés dentro del ámbito de la ingeniería mecánica reside en que integra en un mismo entorno herramientas de modelado tridimensional, ensamblaje, documentación técnica y preparación del diseño. Entre sus funcionalidades se incluyen el modelado paramétrico, el modelado directo (Figura 2-17), la generación de documentación y el trabajo con ensamblajes mecánicos complejos, lo que lo convierte en una herramienta especialmente adecuada para productos compuestos por múltiples piezas relacionadas entre sí [31].

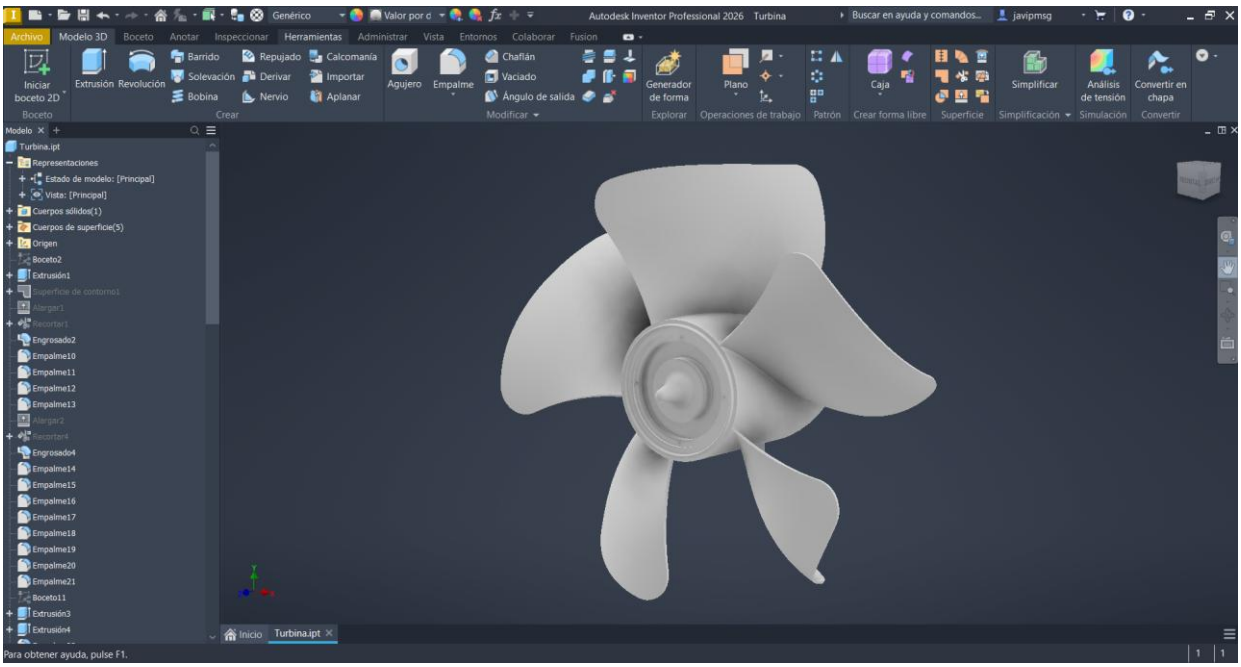



**Figura 2-17 Interfaz del software Autodesk Inventor Professional 2026**

La elección de este software resulta coherente con la naturaleza del proyecto, ya que el DPV presenta una configuración mecánica integrada en la que la carcasa exterior, los elementos de propulsión, los alojamientos internos y los componentes de interfaz deben mantener una relación espacial precisa. En consecuencia, Autodesk Inventor no solo permite modelar la geometría del conjunto, sino también

organizar el proceso de diseño de forma ordenada y preparar el modelo para sus fases posteriores de representación.

### *2.4.3 Motores gráficos y visualización inmersiva*

Una vez definido el modelo tridimensional en el entorno CAD, la siguiente etapa consiste en trasladarlo a una plataforma capaz de representarlo en tiempo real dentro de una escena digital. Esta función corresponde a los motores gráficos, cuya finalidad es gestionar geometría, materiales, iluminación, cámaras y visualización tridimensional interactiva. En el contexto del presente trabajo, el motor gráfico no se emplea para simular el comportamiento físico del DPV ni para desarrollar una lógica compleja de interacción, sino para construir un entorno de realidad mixta en el que el modelo pueda ser observado de manera inmersiva [29], [30], [31], [32].

Dentro de este marco, Unreal Engine constituye una de las plataformas más extendidas para la creación de escenas tridimensionales en tiempo real y para la integración de contenido procedente de aplicaciones de diseño. La propia documentación de Epic Games recoge flujos de importación específicos para contenido CAD y para contenido Datasmith, así como herramientas para organizar posteriormente los activos importados dentro del editor.

### *2.4.4 Unreal Engine 5.6 y entorno de realidad mixta*

En este trabajo se emplea Unreal Engine 5.6 como entorno de preparación y visualización del modelo en realidad mixta. Su utilización responde a la necesidad de disponer de una plataforma capaz de recibir el modelo generado en Autodesk Inventor, integrarlo en una escena tridimensional y adaptarlo a un visor inmersivo. A diferencia de otros proyectos donde Unreal Engine se utiliza para programar lógicas avanzadas de interacción, animaciones complejas o sistemas de selección de piezas, aquí su función principal se centra en la construcción del entorno visual y en la correcta representación del DPV dentro del mismo [29], [32].

Además, Unreal Engine cuenta con soporte específico para desarrollo XR y con integración con el ecosistema Meta mediante el Meta XR Plugin y plantillas orientadas a proyectos de realidad mixta. La documentación oficial de Meta describe tanto la integración con Unreal Engine como la existencia de una plantilla específica de MR para Quest, pensada como punto de partida para este tipo de desarrollos.

### *2.4.5 Integración del modelo 3D en el entorno de realidad mixta*

La transición entre el modelo CAD y su visualización inmersiva requiere una fase intermedia de preparación e importación. Los modelos procedentes de software de diseño mecánico no están pensados de forma directa para su representación en motores gráficos, por lo que deben incorporarse mediante flujos de intercambio adecuados. En Unreal Engine, uno de los procedimientos más habituales para este tipo de tareas es el uso de Datasmith y de los flujos de importación CAD asociados, que permiten trasladar geometría y generar los activos necesarios dentro del editor. La documentación oficial de Epic describe tanto la importación de contenido Datasmith como la importación de archivos CAD y la organización posterior de los elementos importados [31], [32].

Aplicado a este TFG, esta fase consiste en exportar el modelo generado en Autodesk Inventor, incorporarlo posteriormente a Unreal Engine 5.6 y ajustar los parámetros necesarios para su correcta visualización en el entorno de realidad mixta. En esta etapa adquieren especial importancia aspectos como la conservación de la escala, la organización jerárquica del conjunto, la correcta lectura de la geometría y la estabilidad visual del modelo una vez situado en escena. No se persigue desarrollar una interacción compleja sobre el DPV, sino garantizar que el modelo pueda observarse con claridad y fidelidad dentro del entorno inmersivo.

En consecuencia, la integración del modelo no debe entenderse como una simple transferencia de archivos entre programas, sino como una fase clave dentro de la cadena gráfica del trabajo. De ella depende que el resultado final conserve la coherencia del diseño original y pueda cumplir su propósito principal: servir como recurso de visualización técnica del DPV en un entorno de realidad mixta.

### *2.4.6 Relación entre informática gráfica y realidad mixta*

En el marco del presente proyecto, la informática gráfica y la realidad mixta no constituyen dos bloques independientes, sino dos partes consecutivas de un mismo proceso. La primera aporta las herramientas necesarias para construir y preparar el modelo digital; la segunda proporciona el medio en el que dicho modelo puede ser visualizado de manera inmersiva. Esta relación puede resumirse en una secuencia técnica clara: modelado del DPV en Autodesk Inventor, preparación del archivo digital, importación del modelo a Unreal Engine 5.6 y visualización final en un entorno de realidad mixta compatible con el visor utilizado. Autodesk y Epic documentan precisamente estos dos extremos del flujo: la generación del modelo mecánico por medio del CAD y la importación de activos 3D/CAD en el motor gráfico [30], [31], [32].

De este modo, el valor de la informática gráfica dentro del trabajo no radica en la creación de una experiencia interactiva compleja, sino en hacer posible una representación tridimensional clara y técnicamente útil del DPV. La integración en realidad mixta permite al usuario observar el conjunto desde una perspectiva espacial más intuitiva que la ofrecida por planos o vistas convencionales, reforzando así la comprensión del diseño general del sistema y de la relación entre sus distintos elementos.

# 3 DESARROLLO

## 3.1 Descripción del apartado

En este apartado se detalla el proceso seguido para completar el Trabajo de Fin de Grado. Se presenta el desarrollo en una fase inicial de diseño y modelado en CAD con la respectiva elección de modelo a representar y consideraciones previas, e implementación de la realidad mixta para la visualización del modelo digital en su conjunto, proceso esquematizado en la Figura 3-1.

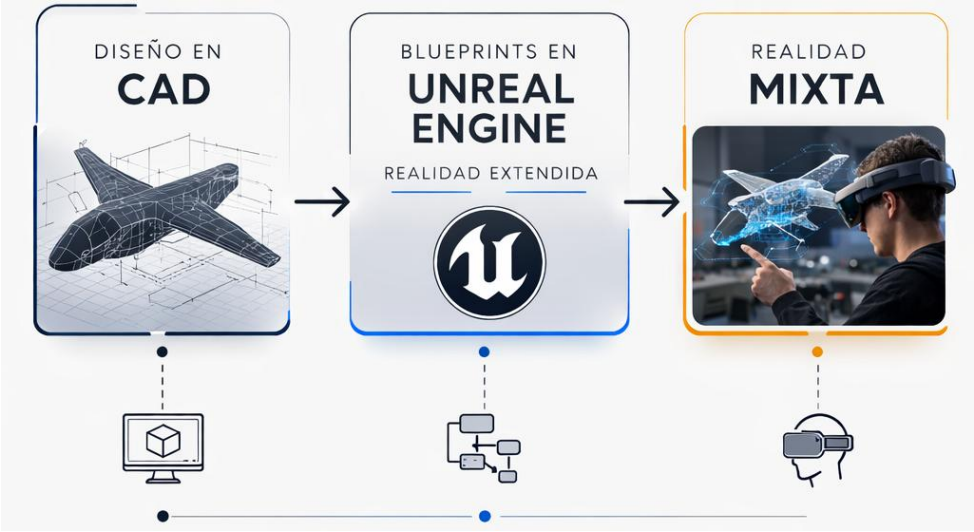



**Figura 3-1 Esquema visual del desarrollo del proyecto**

## 3.2 Consideraciones Previas

Previo al diseño del scooter subacuático se llevó a cabo un proceso en el cual se investigó cuál era la mejor manera de atacar el proyecto desde un punto de vista técnico, de análisis y desarrollo visual, etapa en la cual se sentaron las bases necesarias para poder realizar un diseño coherente, un análisis funcional, y una representación realista y visual.

### *3.2.1 Proceso de Elección del Modelo DPV*

Ante la dificultad del diseño de este tipo de dispositivos complejos cargados de numerosos elementos funcionales, se han tomado ciertos modelos ya existentes como referencia. Son numerosas las empresas que han desarrollado este tipo de productos de uso militar, así como cada unidad de cada país

emplea a su vez distintos de estos modelos indistintamente en sus operaciones, en función al tipo de misión, contrato existente con dichas empresas, etc.

Ante las numerosas prestaciones que aporta el mercado, este proyecto para la elección del modelo se ha basado en criterios que permiten partir de un modelo coherente con el empleo real de este tipo de dispositivos, al mismo tiempo que facilitan una representación clara, visual y útil para su análisis y posterior aplicación en el entorno tridimensional e inmersivo del trabajo.

1. **Hidrodinamismo.**

Uno de los criterios principales ha sido la elección de modelos con formas hidrodinámicas, diseñadas para desplazarse de manera eficiente en el medio subacuático. Se ha dado prioridad a configuraciones limpias y suavizadas, propias de dispositivos orientados a operaciones de infiltración o aproximación discreta.

2. **Funcionalidad operativa.**

También se ha buscado que el modelo seleccionado responda a soluciones reales empleadas por diferentes fuerzas militares. No se pretende representar un concepto teórico o futurista, sino un dispositivo que tenga sentido desde el punto de vista funcional y operativo.

3. **Ergonomía.**

Se han considerado modelos que mantengan una relación adecuada entre el dispositivo y el operador, favoreciendo un uso cómodo, lógico y eficiente. Esto incluye aspectos como la facilidad de manejo, el aprovechamiento del espacio y una mejor transmisión del empuje con el menor esfuerzo posible.

4. **Sencillez.**

Se ha valorado que el modelo mantenga una configuración clara y fácilmente comprensible, evitando elementos innecesarios o sistemas que compliquen su interpretación. La intención es mostrar un modelo visual y explicativo que recoja los aspectos esenciales del DPV.

5. **Modularidad.**

Por último, se ha tenido en cuenta la posibilidad de incorporar o retirar componentes en función de las necesidades de cada misión. Esta modularidad aporta flexibilidad al conjunto y aumenta su utilidad desde el punto de vista operativo.

Tras el análisis de los factores expuestos anteriormente, se selecciona el **DPV táctico bitubular** como modelo de referencia para el desarrollo del proyecto. Esta elección responde a que se trata de una configuración coherente con los criterios previamente establecidos. Además, su arquitectura permite representar de forma clara un dispositivo subacuático con sentido técnico y con una lógica de empleo realista dentro del ámbito militar. La propia definición funcional del DPV como sistema de movilidad personal subacuática orientado a aumentar el alcance, la velocidad y la eficiencia del buceador refuerza la idoneidad de esta elección.

Entre las principales ventajas y prestaciones que ofrece este tipo de configuración pueden destacarse las siguientes:

**Presencia en entornos tácticos y profesionales.**

El DPV bitubular responde a una tipología asociada a contextos de empleo exigentes, donde se priorizan la fiabilidad, la estabilidad y la capacidad de adaptación a diferentes perfiles de misión. Por ello, constituye una referencia adecuada para un modelo orientado al ámbito militar.

**Capacidad de apoyo al combate y a la infiltración.**

Su empleo resulta adecuado en misiones en las que se requiere aproximación discreta, aumento del radio de acción del operador y reducción del desgaste físico durante el desplazamiento. Esto permite

conservar mejores condiciones del buceador para la fase final de la misión. Esta idea encaja con la función general del DPV de reducir esfuerzo y ampliar alcance operativo.

**Capacidad de transporte y anclaje de equipos.**

La configuración bitubular ofrece una base estructural favorable para integrar puntos de fijación, transportar carga adicional o adaptar determinados elementos auxiliares en función de la misión. Esto incrementa la versatilidad del conjunto y mejora su utilidad operativa.

**Estabilidad y reparto del volumen.**

La disposición en dos cuerpos longitudinales permite un reparto más equilibrado del volumen y de los subsistemas principales, lo que favorece una geometría ordenada, estable y adecuada para integrar baterías, elementos de propulsión y componentes de control.

**Integración de sistemas de navegación y ayuda a la misión.**

Este tipo de plataforma permite incorporar equipos complementarios, como sistemas de navegación o sensores de apoyo, mejorando el control del desplazamiento y la orientación del operador en el medio subacuático.

**Propulsión redundante o mejor distribuida.**

La posibilidad de contar con dos hélices constituye una ventaja relevante, ya que permite un reparto más equilibrado del empuje, mejora la estabilidad direccional y ofrece mayores opciones de configuración del sistema propulsivo.

Así mismo, se muestra la razón de descarte de otros DPV funcionales de similares prestaciones y la razón de dicho descarte.

| Tipología | Ejemplo militar/comercial | Foto | Razón de descarte |
|---|---|---|---|
| DPV táctico monotubo de arrastre | Seacraft TAC 1000 |  | Ofrece menor interés en modularidad, reparto de subsistemas y capacidad de integración de carga. |
| DPV militar de propulsión por chorro | Rotinor Black Shadow |  | Poca sencillez formal y claridad visual buscada para el modelo de referencia. |
| Diver Propulsion Craft (DPC) | Seacraft DPC |  | Plataforma más compleja y menos adecuada como modelo base claro, compacto y modular. |

**Tabla 3-1 Modelos DPV descartados**

El modelo elegido para desarrollar se basa en el modelo Serie NERO DPD SUEX SX de la empresa Casco Antiguo y en el modelo DUAL TAC 1000 de la empresa Seacraft Especial, la cual servirá para todo tipo de consultas acerca de su producto, consulta de manuales, piezas, módulos, etc. Se presentan los modelos en los que se basa en diseño, Figura 3-2:

Ambos modelos se han tomado como referencia por presentar soluciones formales y funcionales de interés para el desarrollo del trabajo. A partir de ellos, se ha definido una base de diseño coherente sobre la que establecer la configuración general y algunos de los principales criterios constructivos del DPV.




**Figura 3-2 Modelos de referencia empleados**

### *3.2.2 Representación del Modelo Elegido*

Para iniciar el proceso de diseño, se definen en primer lugar los componentes principales que forman el modelo de un DPV táctico bitubular. Esta identificación previa permite establecer una base clara del conjunto, facilitando tanto la comprensión general del sistema como el desarrollo ordenado de las fases posteriores del proyecto. Además, sirve como apoyo para abordar con mayor claridad el diseño y ensamblaje del modelo en Autodesk Inventor.

De manera general, los DPV se componen de una serie de elementos esenciales que hacen posible su funcionamiento y determinan tanto sus prestaciones como su forma de empleo. Aunque su diseño puede variar según el modelo, el uso previsto o el nivel de complejidad del sistema, en la mayoría de los casos es posible identificar una serie de componentes básicos comunes, Figura 3-3:

**Sistema de propulsión.**

Es el conjunto encargado de generar el empuje del DPV. Está formado por el motor eléctrico y por el elemento impulsor, normalmente una hélice, cuya combinación determina la capacidad de avance y la eficiencia del dispositivo.

**Sistema energético.**

Aporta la energía necesaria para el funcionamiento del equipo. Suele estar basado en baterías recargables estancas, cuya capacidad depende de la autonomía requerida y de las limitaciones de tamaño y peso del conjunto.

**Sistema de gobierno.**

Incluye los mandos que permiten al operador activar, detener y regular el empuje del DPV. Su diseño debe facilitar un control sencillo y seguro durante la navegación.

**Estructura portante y estanqueidad.**

Constituye la carcasa del dispositivo y su función es alojar y proteger los sistemas internos frente a la presión, la entrada de agua y la corrosión. Además, aporta rigidez y continuidad estructural al conjunto.

**Interfaz de acoplamiento para el operador.**

Reúne los elementos mediante los que el buceador se sujeta al dispositivo y transmite el empuje a su cuerpo. En este grupo se incluyen asas, apoyos, puntos de anclaje o arneses, que deben favorecer un uso cómodo y estable.

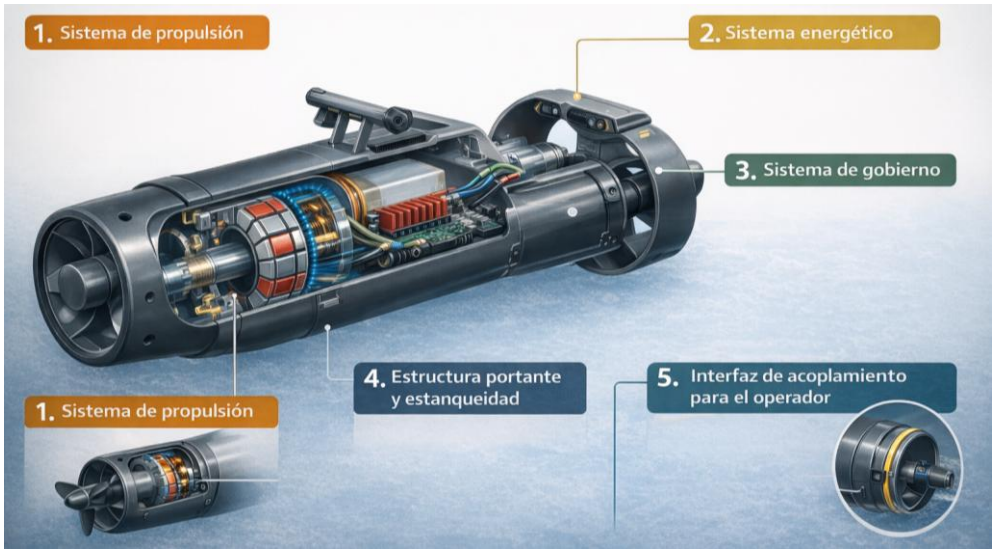



**Figura 3-3 Componentes esenciales de un DPV - Generado a partir de IA**

## 3.3 Modelado

En este apartado se desarrolla de forma detallada todo el proceso de modelado digital del scooter, utilizando para ello la herramienta de diseño asistido Autodesk Inventor. Este software permite generar en tres dimensiones todos y cada uno de los componentes del dispositivo con un nivel de definición suficiente para estudiar su forma, su disposición y su función dentro del conjunto. Además, posibilita el posterior ensamblaje de todas las piezas en un modelo final coherente y visualmente realista, lo que facilita una comprensión más completa del sistema diseñado. De este modo, no solo se representa la geometría individual de cada componente, sino también la relación estructural y funcional existente entre ellos. A lo largo de esta fase pueden diferenciarse varias etapas claramente definidas, que responden a la evolución progresiva del diseño, desde la identificación inicial de los elementos principales hasta la obtención del ensamblaje digital completo del DPV.

### *3.3.1 Dimensionamiento*

Uno de los principales condicionantes durante el proceso de modelado del DPV ha sido la falta de acceso a planos, cotas oficiales o documentación técnica completa del modelo de referencia. Al tratarse de un dispositivo de carácter táctico y profesional, gran parte de la información dimensional disponible públicamente es limitada. Por este motivo, el modelado no se ha basado en una toma de medidas directa, sino en un proceso de estimación dimensional por proporcionalidad a partir de referencias visuales y datos técnicos disponibles en fuentes abiertas.

Para ello, se consultaron imágenes y material gráfico procedente de páginas especializadas del sector, fabricantes y distribuidores de este tipo de sistemas, tomando como referencia modelos de características similares a los estudiados en el estado del arte. Entre las fuentes empleadas se encuentran páginas como *Casco Antiguo Pro* y *Seacraft Military & Special*, en las que es posible observar con claridad la configuración general de distintos DPV tácticos (Figura 3-4), así como la relación entre sus cuerpos cilíndricos, las hélices entubadas, las asas, la estructura central y otros elementos auxiliares. Estas referencias resultaron especialmente útiles para comprender la escala general del conjunto y la disposición relativa de sus componentes.



**Figura 3-4 Modelos de referencia**

Junto a estas fuentes, también se utilizaron imágenes oficiales de fuerzas armadas y de unidades de operaciones especiales en las que este tipo de dispositivos aparece en uso real. Estas imágenes permitieron apreciar la relación dimensional entre el DPV y el operador, su volumen general, la forma de agarre y transporte, así como la proporción existente entre el dispositivo y otros equipos asociados al entorno de empleo. De esta manera, la proporcionalidad del modelo no se definió a partir de una única imagen, sino mediante la comparación de varias referencias visuales de distinta procedencia, como es el caso de la Figura 3-5.

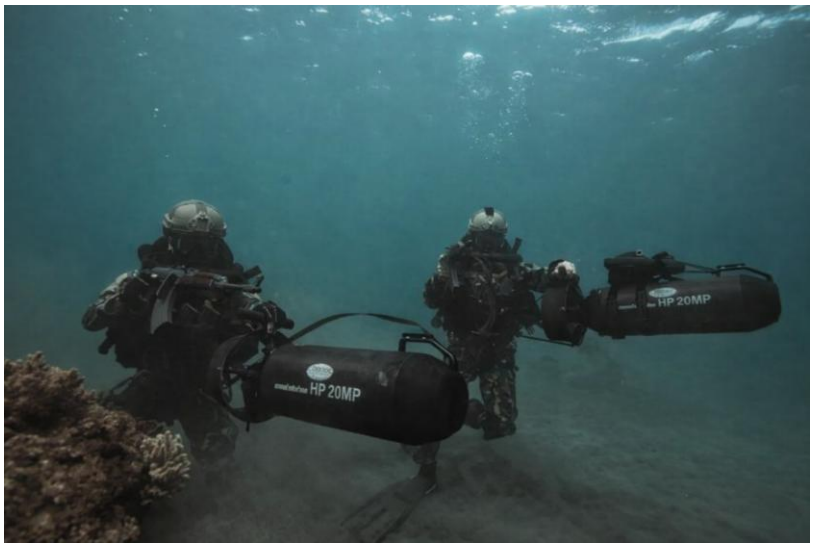



**Figura 3-5 Instagram *frogmen_atw* - operadores fuerzas especiales *Kopaska***

Como punto de partida para el modelado, se tomó una dimensión base correspondiente al tubo principal del conjunto, realizado en Autodesk Invento como se muestra en la Figura 3-6. A partir de esa primera referencia, el resto de elementos se fue desarrollando manteniendo relaciones de proporcionalidad coherentes entre longitud, diámetro, separación entre cuerpos, tamaño de las hélices, volumen de la zona central y posición de los elementos de control. Este procedimiento permitió mantener una escala visual homogénea durante todo el proceso de diseño en Inventor y asegurar la coherencia geométrica del conjunto.

Por tanto, en este trabajo no se ha buscado reproducir un DPV real con exactitud de fabricación, sino obtener una representación tridimensional proporcionada, coherente y visualmente fiel, adecuada para los objetivos del proyecto. La finalidad del modelo es servir como base para su análisis, interpretación espacial y posterior integración en un entorno inmersivo, por lo que el criterio principal durante esta fase ha sido mantener la consistencia formal y dimensional del dispositivo en su conjunto.

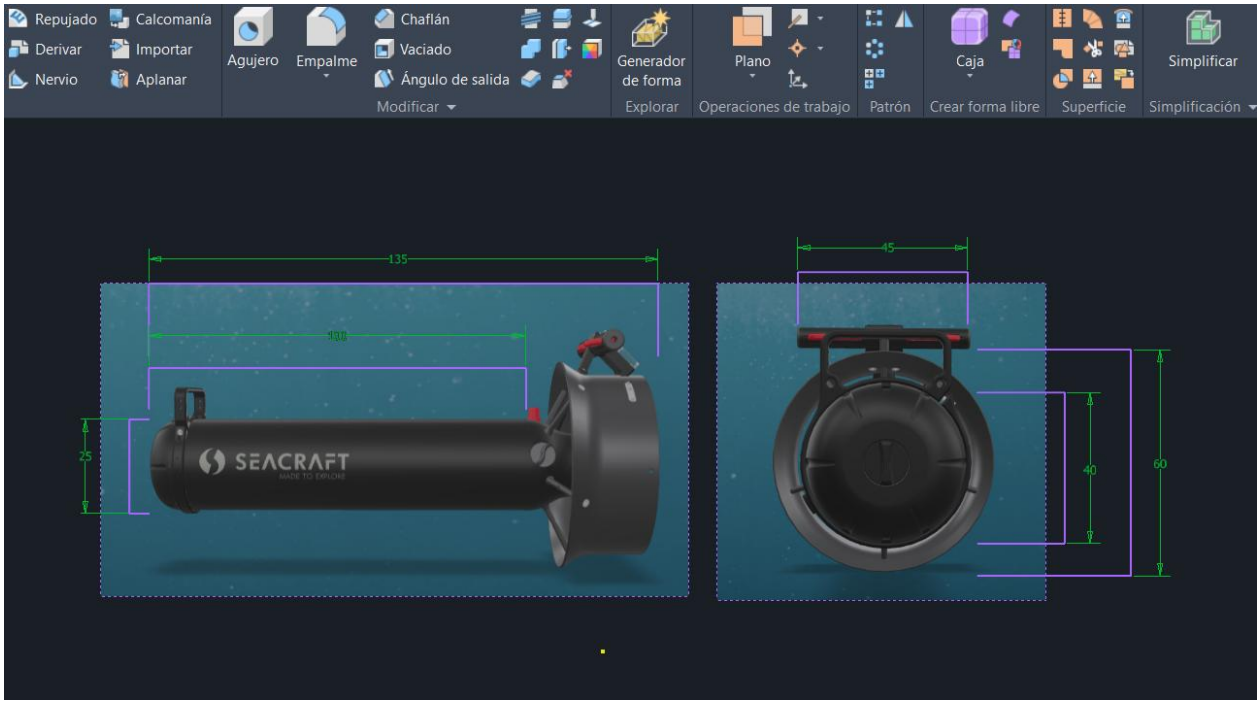



**Figura 3-6 Búsqueda de proporcionalidad para dimensionamiento del modelo**

## *3.3.2 Diseño y modelado del DPV en Autodesk Inventor*

El diseño del modelo tridimensional del DPV se ha desarrollado a partir del análisis visual y funcional de distintos dispositivos de propulsión para buceadores de orientación táctica presentes en el mercado. A partir de esa fase de observación se seleccionaron aquellas soluciones geométricas, constructivas y de integración que mejor respondían a los requisitos fijados para el proyecto, especialmente en términos de hidrodinamismo, discreción, modularidad, capacidad de carga y apoyo a la navegación. El resultado no reproduce de forma literal un modelo comercial concreto, sino que constituye una propuesta propia, construida mediante la combinación razonada de rasgos presentes en diversos DPV militares y profesionales, con el objetivo de obtener un modelo digital coherente, funcional y visualmente verosímil.

Todo el proceso de modelado se ha llevado a cabo en *Autodesk Inventor 2026*, empleando una metodología de diseño paramétrico basada en bocetos, operaciones y ensamblajes. Las piezas individuales se generaron en archivos de pieza *.ipt*, reservándose los documentos .iam para los subconjuntos y para el ensamblaje general del sistema. Esta forma de trabajo permite controlar con mayor precisión la evolución geométrica de cada componente, modificar parámetros dimensionales sin rehacer el modelo completo y detectar con rapidez interferencias o desajustes durante la fase de montaje. En Inventor, los archivos de pieza agrupan bocetos, operaciones y cuerpos para formar una pieza, mientras que los archivos de ensamblaje permiten posicionar componentes y definir su comportamiento relativo mediante uniones y restricciones.

Desde el punto de vista metodológico, el desarrollo del modelo siguió una lógica de descomposición funcional por subconjuntos. En lugar de abordar el DPV como un único volumen, se estructuró el trabajo en módulos con entidad propia: subconjunto de proa, tubo principal, propulsor, batería, carcasa de acople bitubular, monitor principal con regulador de posición y monitor, y conjunto sonar. Esta organización responde a un doble propósito. Por un lado, simplifica el modelado y el posterior ensamblaje. Por otro, reproduce de forma más fiel la arquitectura real de un equipo técnico modular, en el que cada subconjunto cumple una función concreta dentro del sistema global.

### *3.3.2.1 Criterio general de modelado*

La base geométrica de la mayor parte de las piezas ha partido de bocetos bidimensionales realizados sobre planos principales de referencia o sobre planos de trabajo generados por desfase, según las necesidades concretas de cada componente. A partir de dichos bocetos se definieron operaciones de extrusión, revolución, barrido, solevación y modelado de superficies, recurriendo a unas u otras en función de la complejidad geométrica y del tipo de forma que se pretendía obtener en cada caso. Este planteamiento permitió desarrollar las piezas de manera progresiva y ordenada, comenzando por volúmenes simples que posteriormente se completaron mediante detalles, vaciados, redondeos, chaflanes, taladros o elementos de unión. De este modo, el proceso de modelado mantuvo en todo momento una lógica constructiva clara y fácilmente revisable.

El enfoque seguido ha sido, por tanto, paramétrico e iterativo. Cada pieza se construyó a partir de operaciones encadenadas y no como una masa modelada de forma directa, lo que ha permitido conservar un mayor control sobre cotas, simetrías, concentricidades, espesores y relaciones geométricas entre elementos. Esta estrategia resulta especialmente útil cuando es necesario introducir cambios durante el desarrollo, ya que facilita correcciones posteriores de proporción, ajuste o ensamblaje sin necesidad de rehacer por completo la pieza. Además, permite mantener una mayor coherencia entre componentes que comparten criterios de diseño o relaciones dimensionales comunes. En aquellos casos en los que la forma debía responder no solo a criterios visuales, sino también a una determinada lógica hidrodinámica, se priorizó la continuidad superficial, la reducción de aristas vivas y la progresividad en las transiciones entre secciones, buscando así una geometría más limpia, coherente y funcional dentro del conjunto general del DPV.

### *3.3.2.2 Modelado por subconjuntos*

#### *Subconjunto de proa*

El subconjunto de proa constituye el módulo delantero del DPV y actúa como primera zona de contacto entre el dispositivo y el agua durante el desplazamiento. Su elemento principal es un carenado de proa con una geometría suavizada de forma progresiva, diseñado para favorecer un reparto más uniforme del flujo alrededor del eje longitudinal del vehículo y reducir cambios bruscos de forma en la parte frontal. En este cuerpo se integran varios orificios de paso y evacuación, cuya función es permitir el tránsito controlado del agua a través de la cavidad interior sin alterar la continuidad del conjunto. La cara de unión con el tubo principal incorpora cuatro alojamientos roscados para los pernos guía de acoplamiento, así como dos resaltes anulares de centrado que mejoran el montaje y aseguran el correcto posicionamiento entre ambos módulos.

En el interior del subconjunto se aloja una hélice captadora de flujo, planteado como un elemento sensor indirecto de velocidad. Su funcionamiento se basa en que el agua que atraviesa la cavidad provoca el giro de esta hélice, pudiéndose relacionar su velocidad de rotación con la velocidad de avance del DPV. Desde el punto de vista constructivo, esta pieza se ha modelado como una pequeña turbina tripala montada sobre un buje central y fijada mediante un tornillo pasante a un soporte estructural en cruz integrado en la propia cavidad. La separación del sistema en tornillo, buje y rotor facilita la comprensión del montaje y de su funcionamiento.

El cierre del módulo de proa se completa mediante un tapón de fijación roscado pasante, diseñado para atravesar axialmente el subconjunto y roscarse directamente en el tubo principal. Este elemento actúa como sistema principal de bloqueo del conjunto de proa, asegurando la unión entre ambas partes y contribuyendo a mantener la estabilidad del montaje. Además, incorpora una superficie sobreelevada que mejora el agarre manual y facilita su manipulación durante las operaciones de apertura o cierre. Su diseño busca que el operador pueda montar o desmontar el módulo sin necesidad de herramientas específicas, favoreciendo así unas tareas de mantenimiento, acceso o reconfiguración más rápidas.

Los distintos componentes que forman este subconjunto pueden observarse de manera conjunta en la Figura 3-7., donde se presenta una vista general de las piezas que lo integran. Esta representación facilita la identificación visual de cada elemento y sirve como apoyo para la explicación desarrollada.

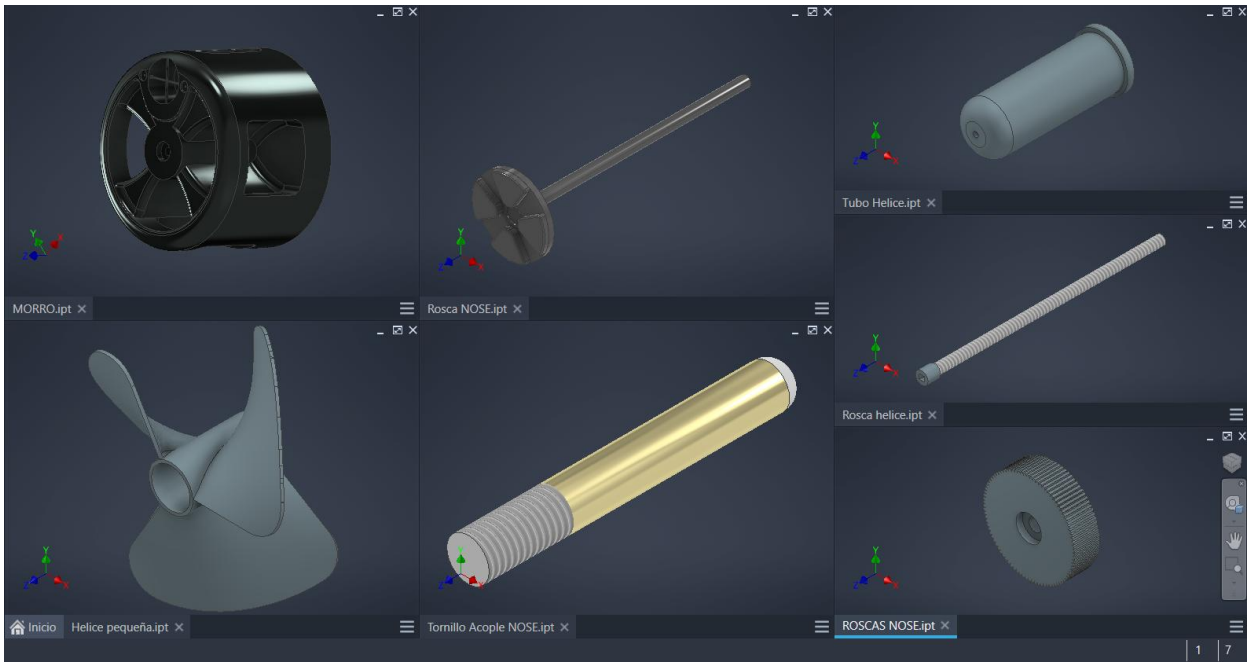



**Figura 3-7 Componentes del Subconjunto Proa *Nose***

El subconjunto de proa *Nose* se ha desarrollado tomando como referencia el diseño del módulo comercial *Proa Capto Nose* de la firma Casco Antiguo Pro. En concreto, se han considerado su configuración general, la geometría exterior de la proa y algunos rasgos formales característicos, adaptándolos al diseño global del DPV modelado en este trabajo. A continuación, se muestra una figura comparativa entre ambos, Figura 3-8.

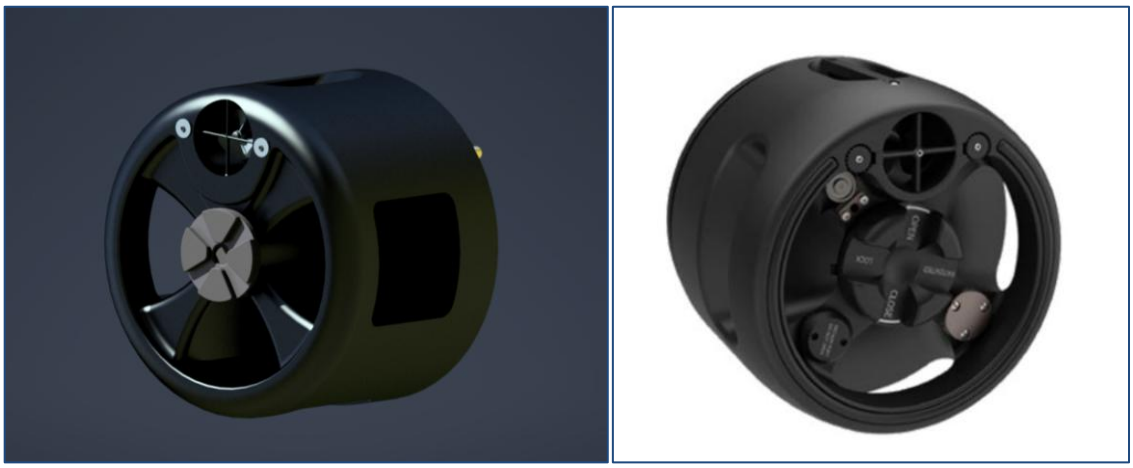


**Figura 3-8 Subconjunto Proa *Nose* con modelo de referencia**

## *Subconjunto del tubo principal*

El tubo principal, Figura 3-9 y Figura 3-10, se ha concebido como el núcleo estructural del DPV. Geométricamente se trata de un cuerpo cilíndrico hueco que actúa simultáneamente como volumen portante, carcasa envolvente y espacio funcional para la integración del sistema energético y de los elementos de compensación. Su cara de proa incorpora los cuatro orificios de recepción de los pernos guía procedentes del módulo frontal, además del alojamiento roscado axial correspondiente al tapón de

cierre de dicho subconjunto. Asimismo, presenta dos rebajes anulares concéntricos que trabajan conjuntamente con los resaltes del módulo de proa, generando una unión guiada y repetible. En el interior, el tubo se escalona mediante distintos diámetros funcionales para alojar batería, barra soporte, sistema de fijación y subconjunto propulsor.

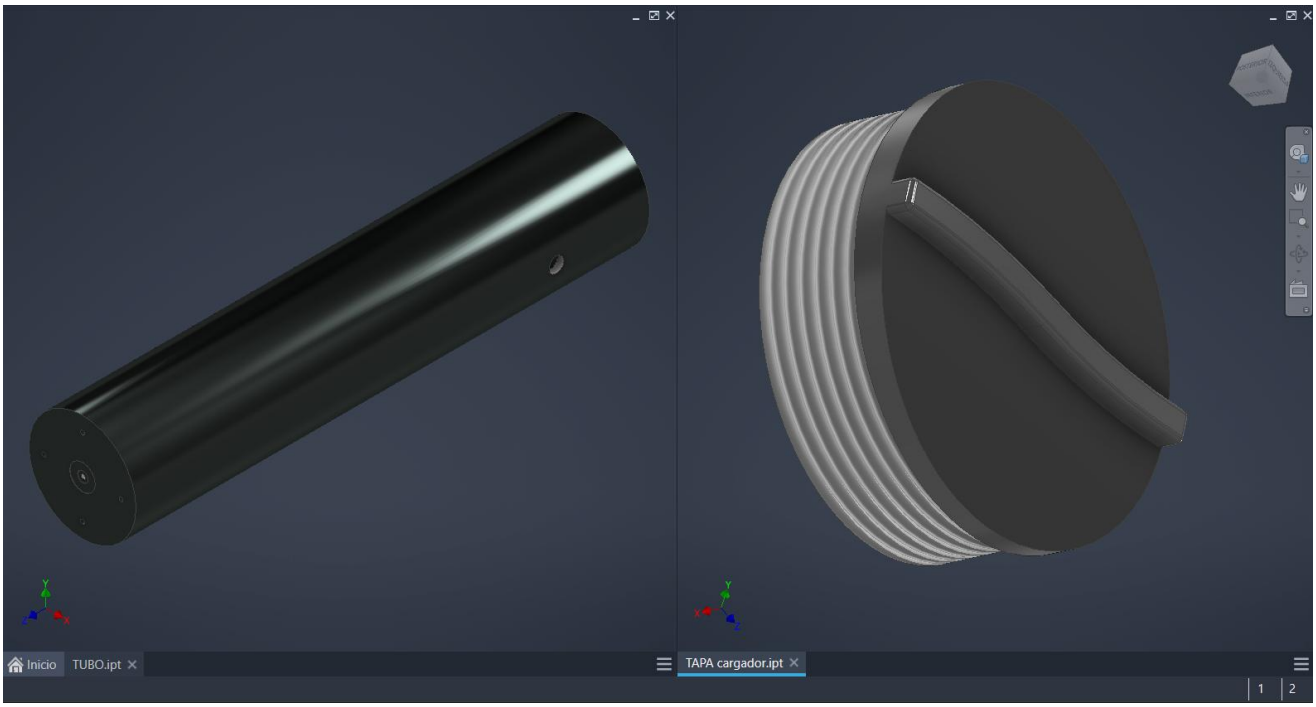



**Figura 3-9 Carcasa del tubo y tapón roscado**

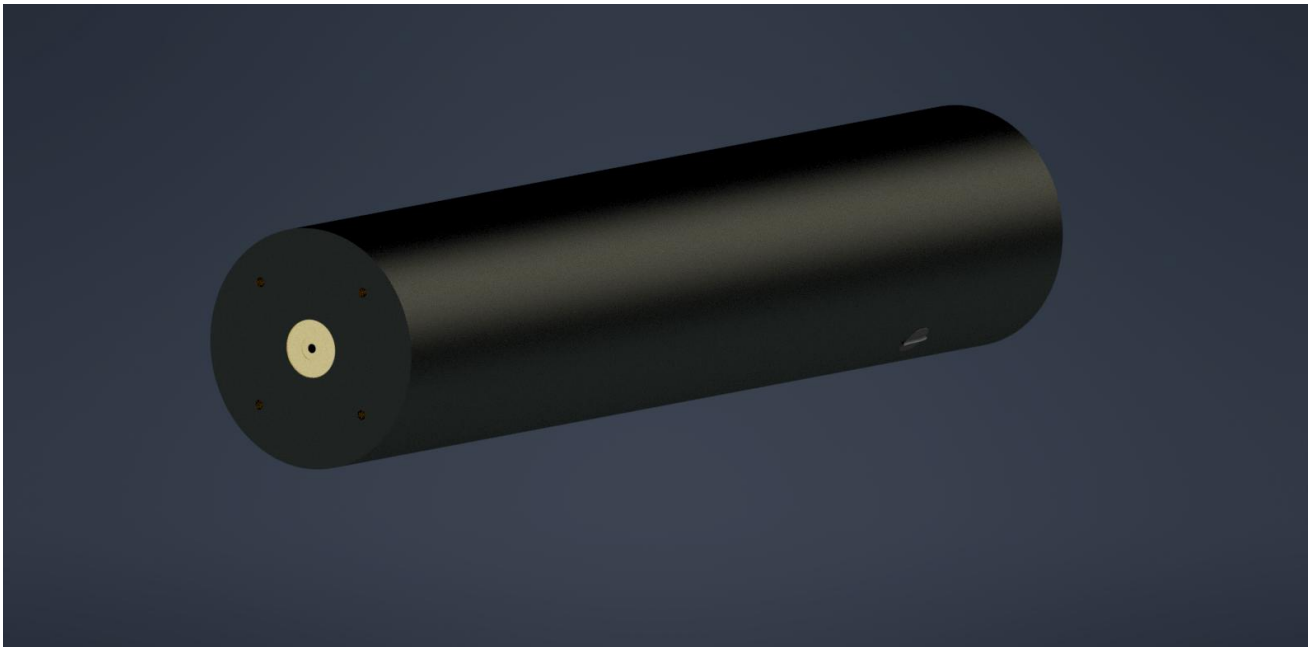


**Figura 3-10 Tubo principal renderizado**

La batería de litio adoptada como referencia corresponde a la solución propuesta por la firma Seacraft Special en su catálogo de ámbito militar. Del mismo modo, la disposición e integración de los elementos que conforman el subconjunto batería se ha definido conforme a la arquitectura observada en dicha propuesta. A continuación, se muestran dos figuras correspondientes a la batería (derecha) y al subconjunto ofrecidos por la empresa (izquierda), Figura 3-11.




**Figura 3-11 Conjunto batería de la empresa *Seacraft Special***

Es por ello que la batería se ha modelado como una geometría cilíndrica adaptada al interior del tubo. El rasgo más característico de este componente es el paso central para una barra axial roscada, que sirve como eje de posicionamiento y soporte interno. Esta barra se fija por un extremo al interior del tubo principal y por el opuesto al subconjunto propulsor, de modo que queda definida una línea estructural longitudinal que organiza el interior del sistema. La batería puede desplazarse sobre dicha barra y quedar inmovilizada mediante un conjunto de apriete compuesto por tornillo, arandela, tuerca y pieza fijadora. Esta decisión de diseño no es meramente geométrica: responde a la necesidad de representar un sistema de ajuste del reparto de masas, con el que se pueda modificar la posición longitudinal del centro de gravedad del equipo en función de la configuración táctica, la carga transportada o la compensación deseada.

Los componentes de sujeción de la batería del subconjunto se muestran en la Figura 3-12, y posteriormente, en la Figura 3-13, se muestra el subconjunto ensamblado.

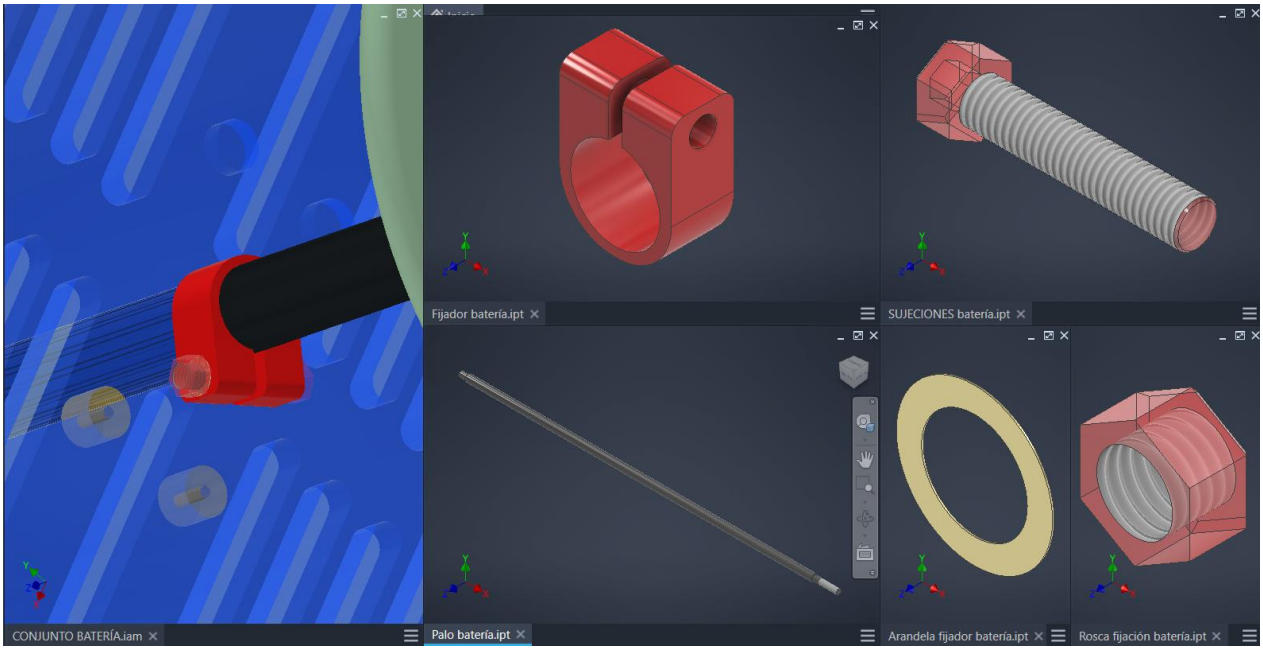



**Figura 3-12 Elementos de fijación de la batería**

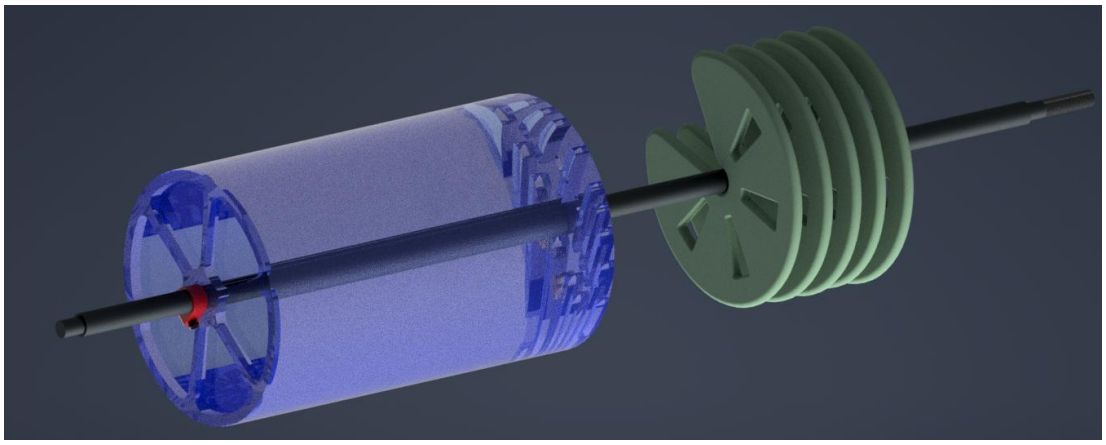


**Figura 3-13 Subconjunto de la batería**

Junto a la batería se han diseñado lastres anulares regulables, Figura 3-14. Su función es representar un sistema de compensación de masas y flotabilidad fina compatible con diferentes profundidades de empleo, configuraciones de carga o posicionamientos de la batería. Cada lastre adopta una geometría circular con taladro central y abertura lateral, de modo que pueda introducirse o retirarse de la barra interior sin necesidad de desmontar completamente el sistema. La incorporación de orificios auxiliares mejora la manipulabilidad de la pieza y refuerza su lectura visual como elemento técnico de ajuste. El acceso al sistema energético se resuelve mediante un tapón roscado de carga, de superficie exterior curva y relieve irregular de agarre, diseñado para garantizar estanqueidad y facilitar la apertura manual.

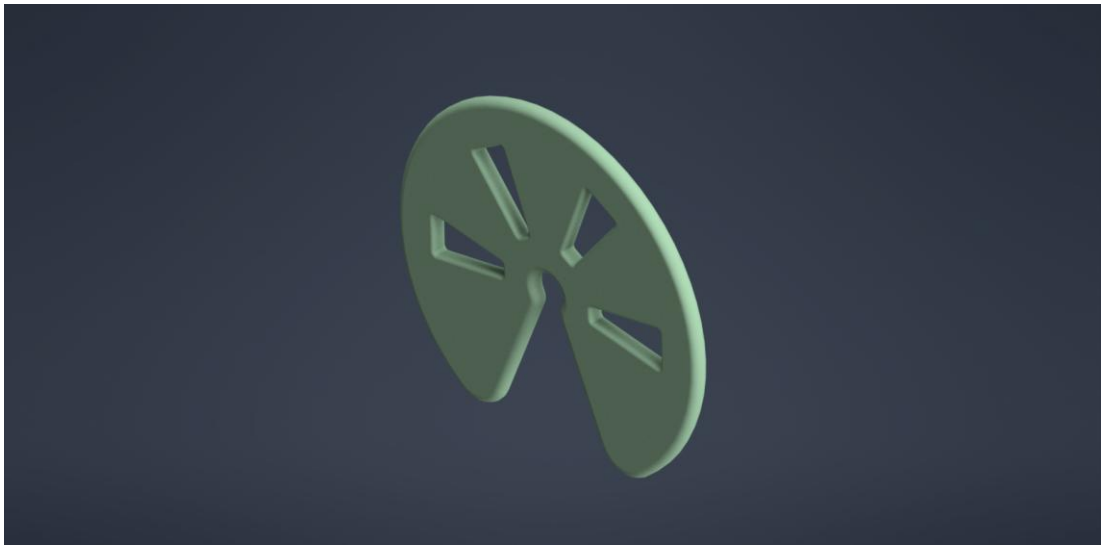


**Figura 3-14 Lastre modular individual**

### *Subconjunto propulsor*

El subconjunto propulsor, Figura 3-15, ocupa la región de popa y constituye el sistema más crítico del modelo, ya que integra el elemento impulsor, la carcasa protectora y la arquitectura general de accionamiento. Desde el punto de vista funcional, se trata de la zona encargada de transformar la energía disponible en empuje útil para el desplazamiento del DPV, por lo que su diseño condiciona de manera directa el comportamiento global del conjunto. Formalmente se ha planteado como un volumen de transición entre el diámetro del tubo principal y la sección final de la hélice, recurriendo a una geometría convergente y suavizada que busca ordenar la salida del flujo, reducir discontinuidades geométricas y mantener una continuidad formal con el resto del dispositivo. Esta parte trasera es además la más próxima al operador, por lo que no solo debe responder a criterios hidrodinámicos, sino también a

exigencias ergonómicas y de seguridad, especialmente relevantes por la proximidad de la hélice y por su influencia en la manipulación y uso del equipo.

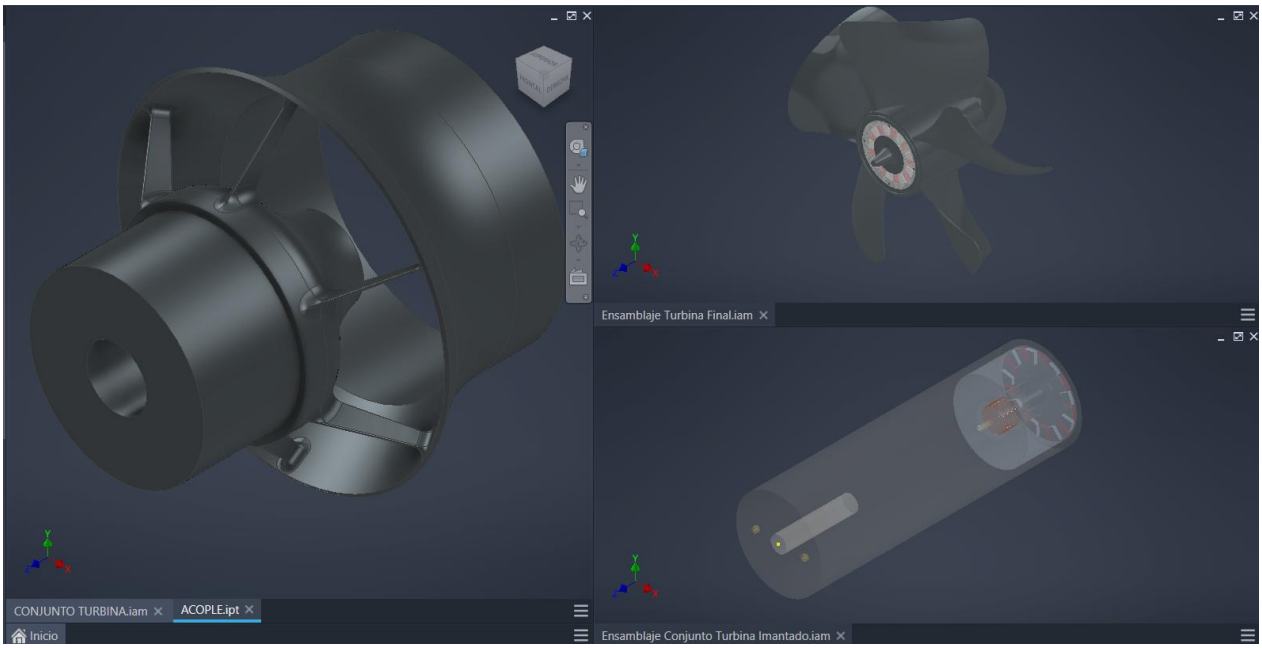



**Figura 3-15 Componentes principales del subconjunto propulsor**

La hélice principal se ha modelado con seis palas y un buje posterior cerrado mediante una tapa atornillada. La elección de una hélice multipala responde, dentro del lenguaje formal del proyecto, a una búsqueda de realismo visual y a la representación de una solución orientada a generar empuje con una distribución relativamente uniforme. La tapa posterior permite, además, justificar constructivamente el alojamiento interior del sistema de acoplamiento. La transición entre el cubo de la hélice y el resto del subconjunto se resuelve mediante superficies cónicas enlazadas con empalmes, evitando cambios bruscos de sección y mejorando la continuidad del conjunto.

La carcasa protectora se ha concebido como una envolvente posterior de doble función. En primer lugar, sirve de soporte y cierre del sistema de accionamiento, sellando el volumen interior respecto al resto del tubo principal. En segundo lugar, protege al operador frente al elemento impulsor en rotación. Esta carcasa se conecta a la zona exterior mediante riostras radiales de unión que, además de su papel estructural, se han pensado como superficies que ayudan a ordenar parcialmente la estela de salida. Sobre la propia carcasa se han dispuesto los puntos roscados de fijación del manillar posterior y de los módulos auxiliares de navegación.

### *Subconjunto motor*

Con la información definida en el diseño conceptual, la solución más coherente para este subsistema es la de un accionamiento electromagnético estanco con transmisión de par mediante acoplamiento magnético axial, dentro de una arquitectura cercana a la de un motor síncrono de imanes permanentes de tipo brushless. En este tipo de motores, el rotor incorpora imanes permanentes y el estator está formado por bobinados que, al ser alimentados eléctricamente, generan un campo magnético giratorio. Ese campo es el que provoca el arrastre del rotor y, con ello, la rotación del sistema. Cuando esa transmisión de movimiento no se realiza mediante contacto mecánico directo, sino a través de discos o anillos magnéticos separados por una barrera estanca, el principio de funcionamiento pasa a responder al de un acoplamiento magnético, en el que dos rotores enfrentados giran de manera sincronizada gracias a la interacción del flujo magnético.

Aplicado al modelo desarrollado en este trabajo, el funcionamiento del sistema puede interpretarse del siguiente modo. La batería de litio suministra energía eléctrica al conjunto motor a través de los terminales de conexión representados en el modelo como puertos roscados. Esa energía alimenta el subsistema inductor interior, compuesto por un núcleo conductor y un arrollamiento o bobina dispuesto a su alrededor. Esta parte constituye la etapa electromagnética primaria del sistema, es decir, la encargada de generar el campo magnético necesario para producir el arrastre. Asociado a ella se sitúa un rotor primario de imanes permanentes, configurado en forma de disco con dieciocho polos alternos distribuidos circularmente. Frente a este rotor, y separado por una pared estanca no magnética integrada en la carcasa, se dispone un segundo disco magnético unido al cubo de la hélice.

De esta manera, el par se transmite desde el volumen seco interior hasta el volumen húmedo en el que trabaja la hélice, sin necesidad de recurrir a un eje pasante con cierre dinámico. Esta solución resulta especialmente interesante desde el punto de vista conceptual, ya que permite representar un sistema de propulsión compatible con la lógica de estanqueidad del dispositivo y evita introducir en la zona de popa un punto crítico de sellado rotativo. Además, mejora la comprensión del conjunto desde el punto de vista funcional, al separar claramente la zona protegida del sistema electromagnético interno y la zona exterior donde se produce el empuje.

Puede entenderse, por tanto, que el subsistema se divide en dos partes relacionadas entre sí: una etapa electromagnética primaria, encargada de generar el campo responsable del movimiento, y una etapa secundaria acoplada magnéticamente, cuya función es transmitir ese movimiento al impulsor. En el presente trabajo, este conjunto debe interpretarse como una representación conceptual funcional, suficientemente clara para mostrar un principio de accionamiento estanco coherente con el tipo de dispositivo modelado. No se ha abordado un dimensionamiento electromagnético detallado ni un cálculo preciso de prestaciones, pero sí se ha buscado que la solución representada mantenga una base técnica razonable y una lectura constructiva lógica dentro del modelo general del DPV.

En la Figura 3-16, Figura 3-17 y Figura 3-18 se representa la disposición general de los elementos que conforman los distintos componentes del subconjunto. Esta vista permite identificar de forma clara las piezas que lo integran y la relación existente entre ellas dentro del ensamblaje.

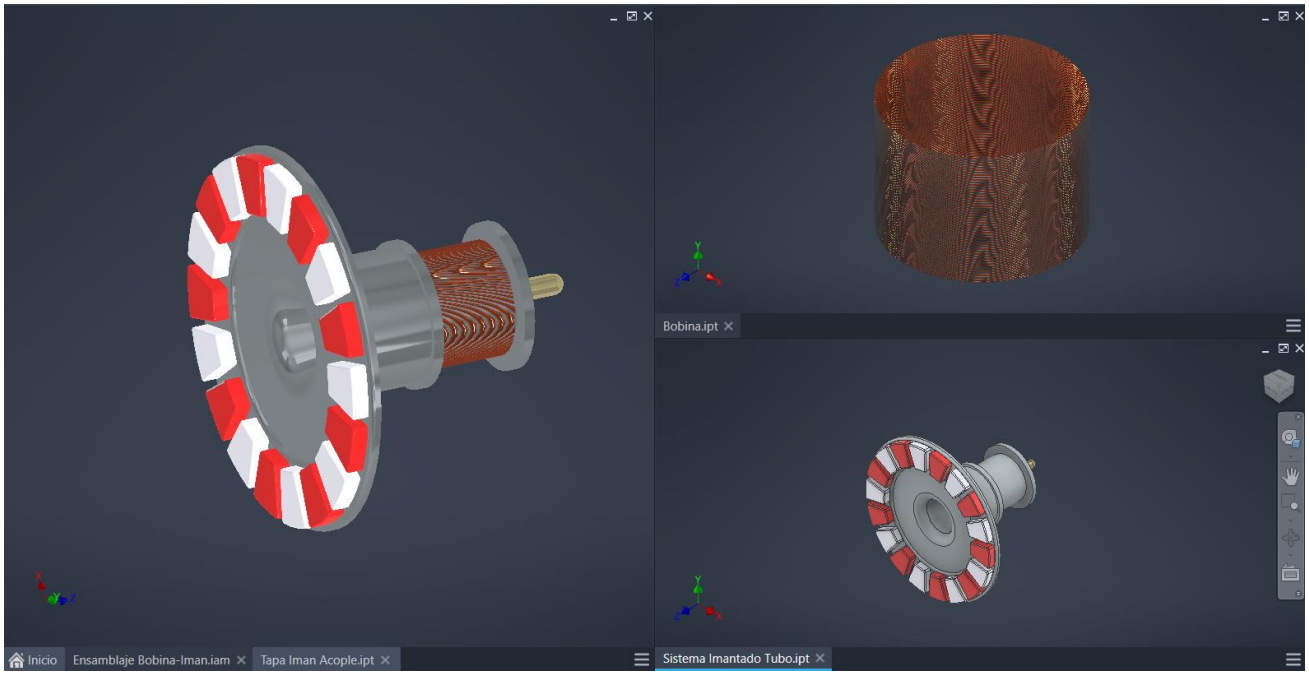



**Figura 3-16 Rotor primario del subconjunto motor**

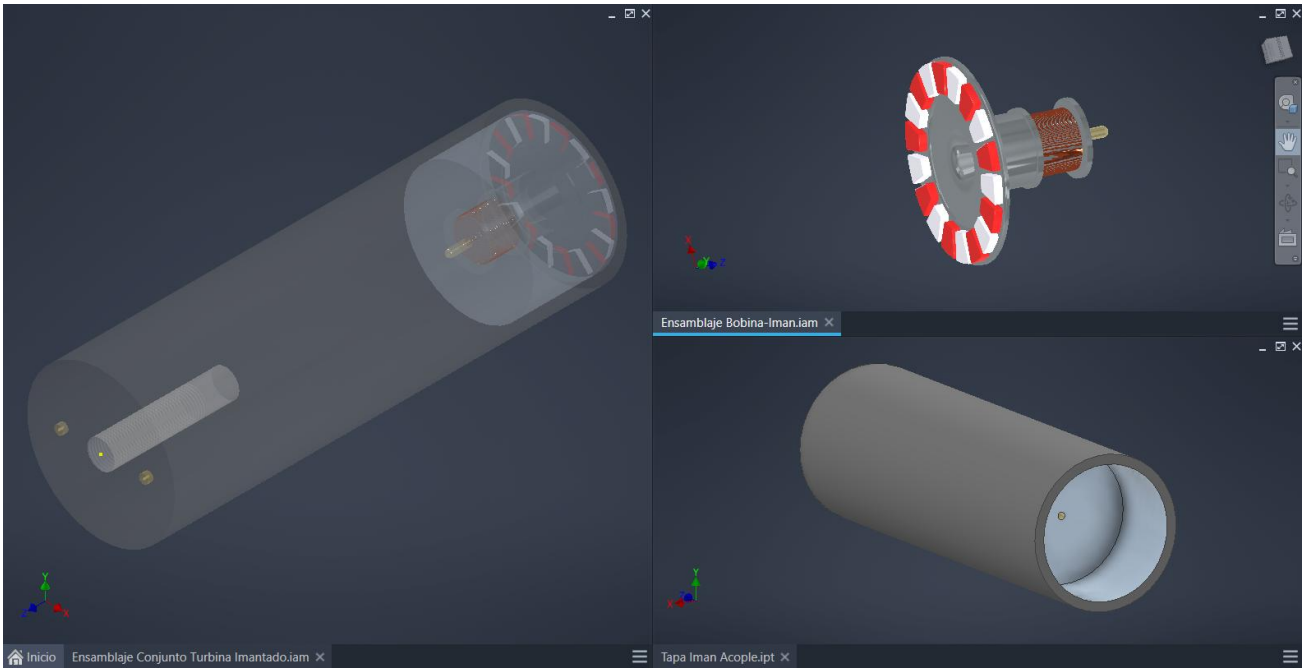



**Figura 3-17 Ensamblaje del rotor primario**

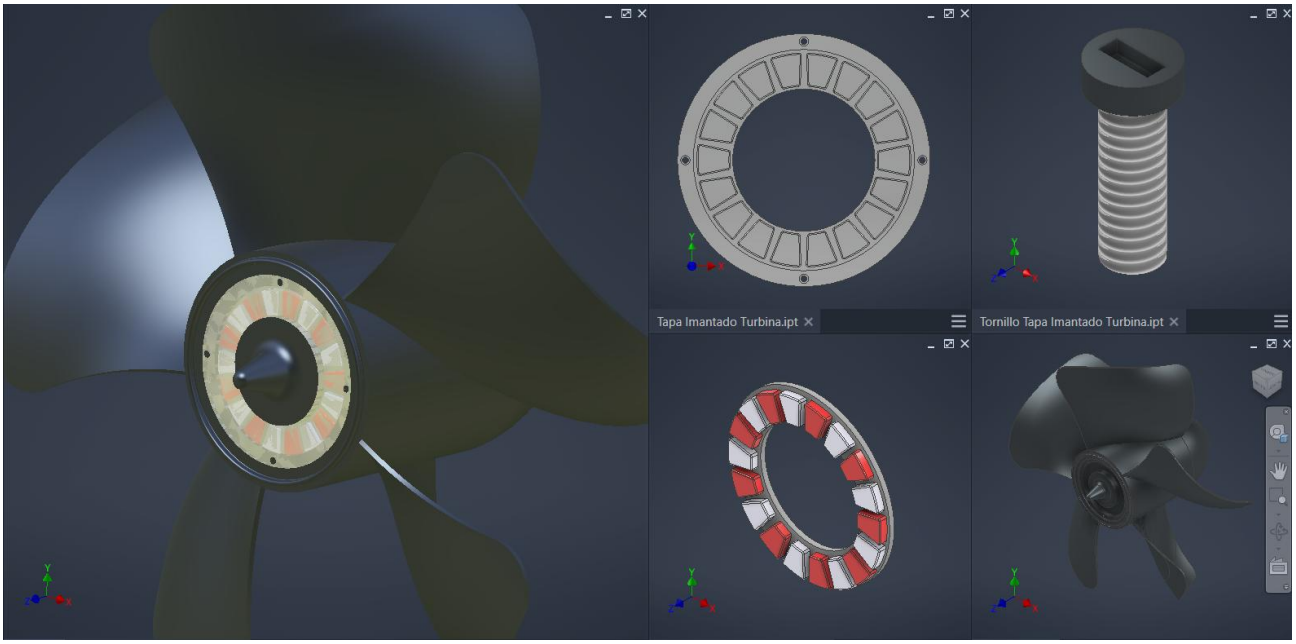



**Figura 3-18. Rotor secundario del subconjunto motor**

### *Subconjunto de manillar y dispositivos auxiliares de navegación*

El manillar posterior se ha diseñado como una pieza de mando y apoyo ergonómico fijada a la carcasa protectora mediante cuatro tornillos. Su geometría se adapta al diámetro de la envolvente trasera y se ha resuelto con superficies suaves para minimizar su impacto sobre el flujo. En la zona de agarre se generaron relieves negativos repetitivos de sección cilíndrica, con el fin de simular una superficie antideslizante y mejorar la lectura visual de un recubrimiento de caucho texturizado. Desde el punto de vista formal, el componente cumple tanto una función estructural como ergonómica.

Asociados a este manillar se sitúan los dispositivos auxiliares de navegación individual, modelados como pequeñas unidades de visualización atornilladas al soporte. Su misión es representar instrumentos de apoyo inmediato al desplazamiento del operador, mostrando parámetros como rumbo, deriva,

profundidad, corriente o velocidad relativa. Para la pantalla se definió una cavidad específica sobre la carcasa del módulo y posteriormente se aplicó una imagen de interfaz mediante la herramienta de calcomanía. En Inventor, la calcomanía permite aplicar un archivo de imagen sobre una cara del modelo para aumentar el realismo o incorporar etiquetados y grafismos. En este caso, la imagen empleada se generó externamente con fines exclusivamente visuales, buscando una estética táctica coherente con la misión del sistema.

La disposición de los elementos se muestra en la Figura 3-19.

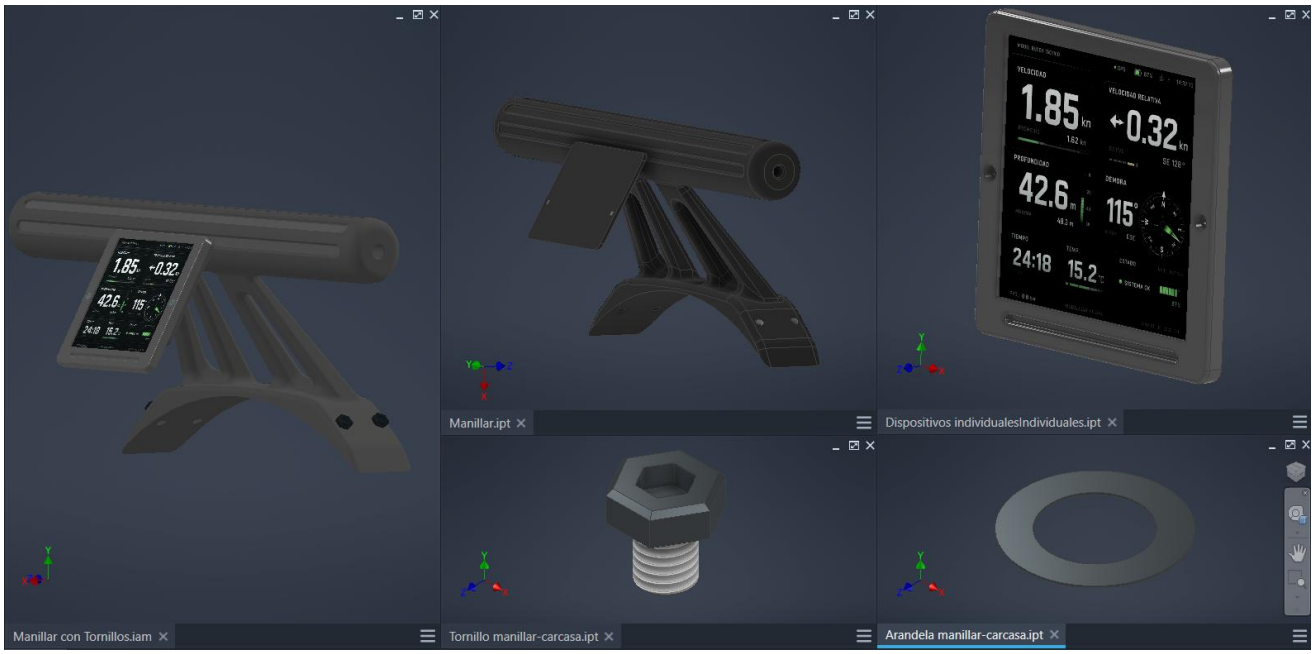



**Figura 3-19 Componentes del manillar individual**

### *Subconjunto de carcasa de acople bitubular*

La carcasa de acople bitubular se ha diseñado como una pieza de unión entre dos tubos DPV, permitiendo representar una configuración bitubular con mayores capacidades de transporte, navegación y autonomía, visible en la Figura 3-20. Su función principal es actuar como elemento intermedio entre ambos cuerpos, proporcionando una solución de unión coherente con la lógica modular del conjunto y con la idea de un sistema ampliable. El elemento central de esta pieza es un tubo guía hueco, planteado como un pequeño conducto estanco destinado al almacenamiento de material de reducido tamaño. El cierre de este conducto se resuelve mediante un tapón de inserción a presión con anilla de extracción, una solución sencilla, fácil de manipular y coherente con el uso previsto del sistema, ya que permite un acceso rápido al interior sin complicar en exceso la geometría del conjunto.

Alrededor de este tubo central se disponen cuatro anillos de fijación, dimensionados con el mismo diámetro que los tubos que deben alojar, con el fin de asegurar un acoplamiento correcto y una sujeción estable. Cada uno de estos anillos incorpora una abertura y un sistema de apriete mediante tornillos, reproduciendo el funcionamiento básico de una abrazadera estructural con cierre regulable. De este modo, la pieza no solo cumple una función de unión formal entre ambos tubos, sino que también transmite una lógica constructiva creíble dentro del modelo general. Los brazos de unión entre los anillos y el tubo central se modelaron con transiciones suavizadas y con algunos vaciados parciales, buscando reducir el volumen visual de la pieza, aligerar su presencia dentro del conjunto y mantener una geometría continua y ordenada. El diseño se completa con un asa superior integrada, que refuerza su carácter como pieza manipulable, facilita su transporte y mejora la lectura funcional del subconjunto dentro de la configuración bitubular representada.




**Figura 3-20 Componentes de la carcasa de acople bitubular**

### *Subconjunto de monitor principal y regulador de posición*

El sistema de visualización principal se organiza en tres componentes: regulador guía, regulador de posición y monitor principal, mostrados en la Figura 3-21, Figura 3-22 y Figura 3-23

. Este conjunto se ha planteado como un subsistema independiente dentro del modelo, encargado de reunir los elementos de consulta visual y de control más directamente relacionados con la navegación del DPV. Su disposición responde no solo a criterios de integración geométrica en el conjunto bitubular, sino también a la necesidad de ofrecer una posición de lectura y manejo razonable para el operador durante el uso. Por ello, el diseño de cada una de las piezas no se ha limitado a resolver su forma exterior, sino también su relación con los demás componentes del sistema.

El regulador guía se fija en la parte superior del tubo central de la carcasa bitubular y presenta una superficie inferior curvada para adaptarse geométricamente al tubo sobre el que se apoya. Esta solución permite una unión más coherente entre ambas piezas y mejora su integración dentro del conjunto. Sobre este regulador se levantan dos nervios o raíles longitudinales que actúan como guías de deslizamiento, permitiendo el movimiento controlado del componente siguiente. De este modo, esta primera pieza cumple una doble función: por un lado, sirve de base estructural para el sistema de visualización y, por otro, establece el mecanismo necesario para ajustar su posición de forma sencilla y ordenada.

El regulador de posición se ha diseñado como una pieza de enlace estructural entre el DPV y el monitor. En su parte inferior incorpora unas hendiduras que se corresponden con los raíles del regulador guía, haciendo posible modificar la posición longitudinal del monitor en función del espacio disponible o de la ergonomía deseada para el operador. Esta posibilidad de ajuste aporta mayor flexibilidad al conjunto y mejora la lógica funcional del sistema, ya que permite adaptar la ubicación del monitor sin alterar el resto de la estructura. Además, esta pieza actúa como soporte intermedio entre el carril inferior y la carcasa del monitor, absorbiendo la transición geométrica entre ambos y aportando continuidad al diseño.

Sobre esta pieza se atornilla la carcasa del monitor principal, cuya envolvente externa se ha resuelto atendiendo a un doble criterio: mantener una continuidad formal con el resto del dispositivo y evitar geometrías innecesariamente bruscas en una zona muy visible del conjunto. El alojamiento frontal de la

pantalla se ha mecanizado como un hueco específico dentro de la propia carcasa, fijándose el display mediante una tornillería perimetral que refuerza la lectura constructiva de la pieza. A nivel visual, esta solución permite identificar claramente la zona de visualización y diferencia el cuerpo estructural del monitor respecto al elemento de lectura. Sobre la parte superior del monitor se integra, además, el manillar principal de gobierno, diseñado con una geometría orientada al agarre y con acabado de caucho, lo que refuerza su función como punto principal de interacción manual entre el operador y el sistema.

El contenido gráfico del display principal también se resolvió mediante una imagen aplicada como calcomanía, reproduciendo información de navegación más amplia que la de los módulos auxiliares, como perfil del fondo, profundidad, corriente, rumbo y otros parámetros de situación. Esta solución permite representar de forma clara la función del monitor sin necesidad de modelar en tres dimensiones cada detalle de la interfaz. La decisión de integrar dicha gráfica como recurso visual, y no como modelado geométrico tridimensional, responde a un criterio de eficiencia de modelado, simplificación del proceso y realismo visual, ya que reproduce de manera más directa el aspecto real de una pantalla activa dentro del conjunto.




**Figura 3-21 Componentes del monitor principal**

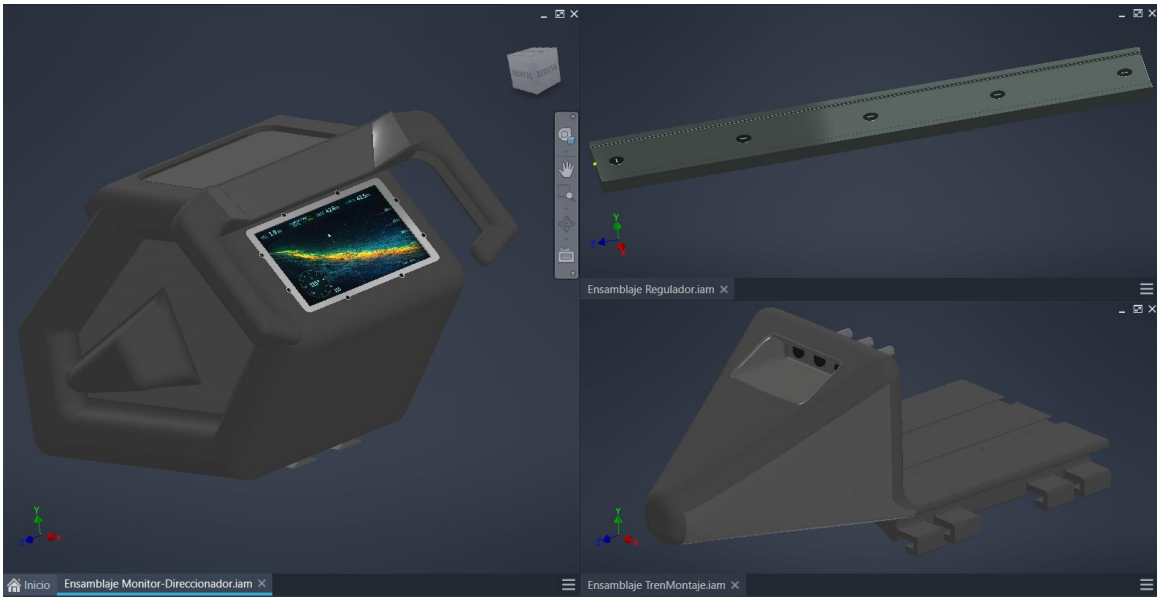



**Figura 3-22 Componentes del subconjunto regulador de posición del monitor principal**



**Figura 3-23 Ensamblaje del subconjunto regulador de posición del monitor principal**

### *Subconjunto sonar*

El sonar, Figura 3-24, se ha situado en la parte inferior del tubo, alojado en un compartimento específico cuya geometría se ha dimensionado para integrarlo correctamente en el conjunto sin interferir con el campo de emisión y recepción del sensor. Esta ubicación responde a una lógica funcional, ya que permite orientar el dispositivo hacia la zona inferior del entorno subacuático, coherente con su papel dentro del sistema de navegación y detección. El soporte incorpora dos pletinas laterales con taladro pasante, de modo que el sensor pueda fijarse mediante perno, arandela y tuerca en una unión articulada simple. El propio sonar se modeló con pletinas superiores de acople compatibles con ese mismo eje de fijación, lo que facilita la lectura del montaje y refuerza la coherencia constructiva del subconjunto.



**Figura 3-24 Disposición del sonar diseñado sobre la parte inferior del DPV**

Dado que la denominación comercial recogida en el borrador no ha podido verificarse con suficiente fiabilidad, se ha tomado como referencia funcional un sonar compacto de imagen equivalente a un Tritech Micron. Esta elección resulta coherente con la escala del modelo, ya que se trata de un sonar extremadamente compacto, con dimensiones aproximadas de 79 × 56 × 50 mm, frecuencia CHIRP centrada en 700 kHz, resolución del orden de 7,5 mm y alcance máximo de 75 m. Estas características lo convierten en una referencia adecuada para justificar, dentro del modelo, un subsistema orientado a navegación en baja visibilidad, evasión de obstáculos y apoyo a la conciencia situacional del buceador.

En la Figura 3-25 se muestran los componentes que integran este subconjunto, presentados de forma que pueda apreciarse con claridad su disposición general.

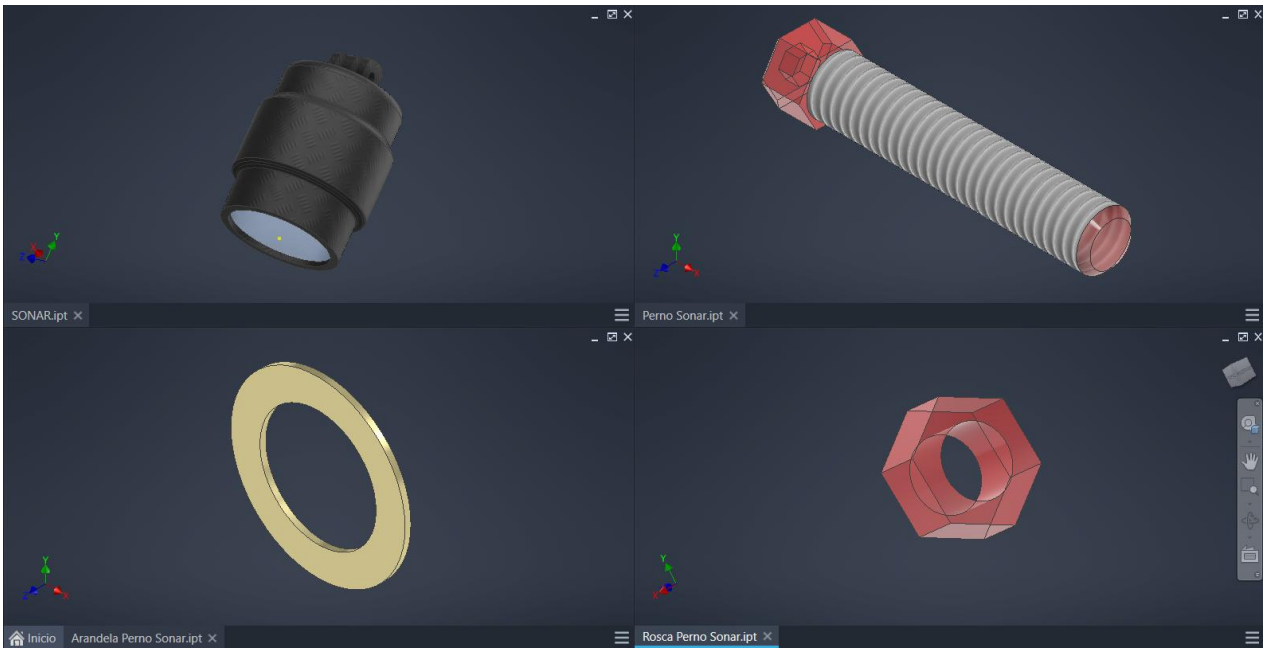



**Figura 3-25 Subconjunto sonar y elementos de fijación**

### *3.3.2.3 Técnicas de modelado y herramientas empleadas*

La herramienta más utilizada a lo largo del proceso ha sido el boceto 2D, que en Inventor constituye la base de numerosas operaciones paramétricas. La mayoría de las piezas se iniciaron definiendo perfiles cerrados sobre planos XY, XZ, YZ (Figura 3-26) o sobre planos de trabajo desfasados, para después transformarlos en volumen mediante extrusión o revolución. Inventor define la extrusión como una operación que crea una entidad sólida o superficial a partir de un perfil; la revolución, por su parte, genera el sólido al girar el perfil alrededor de un eje. Ambas han sido esenciales para la construcción del tubo principal, tapones, carcasas, cubos y otros cuerpos de geometría axial o prismática.

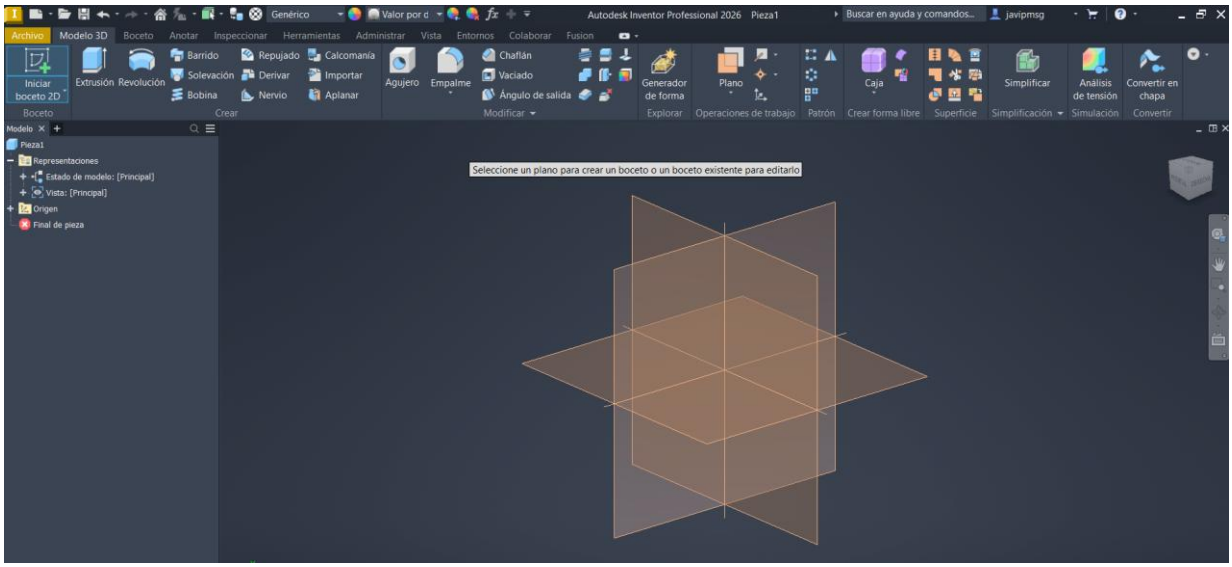



**Figura 3-26 Base de boceto bidimensional en Autodesk Inventor**

Para las transiciones geométricas complejas se recurrió al barrido y a la solevación, Figura 3-27. El barrido permitió proyectar perfiles a lo largo de trayectorias definidas, especialmente en componentes donde la sección debía seguir una directriz espacial. La solevación se empleó cuando era necesario generar un cambio progresivo entre varias secciones distintas, como en ciertos elementos de carcasa o en transiciones de la zona propulsora. Según la ayuda oficial de Inventor, la solevación conecta dos o

más perfiles o secciones para construir una transición suave, mientras que el barrido proyecta un perfil a lo largo de una trayectoria, pudiendo además controlarse con carriles o superficies guía.

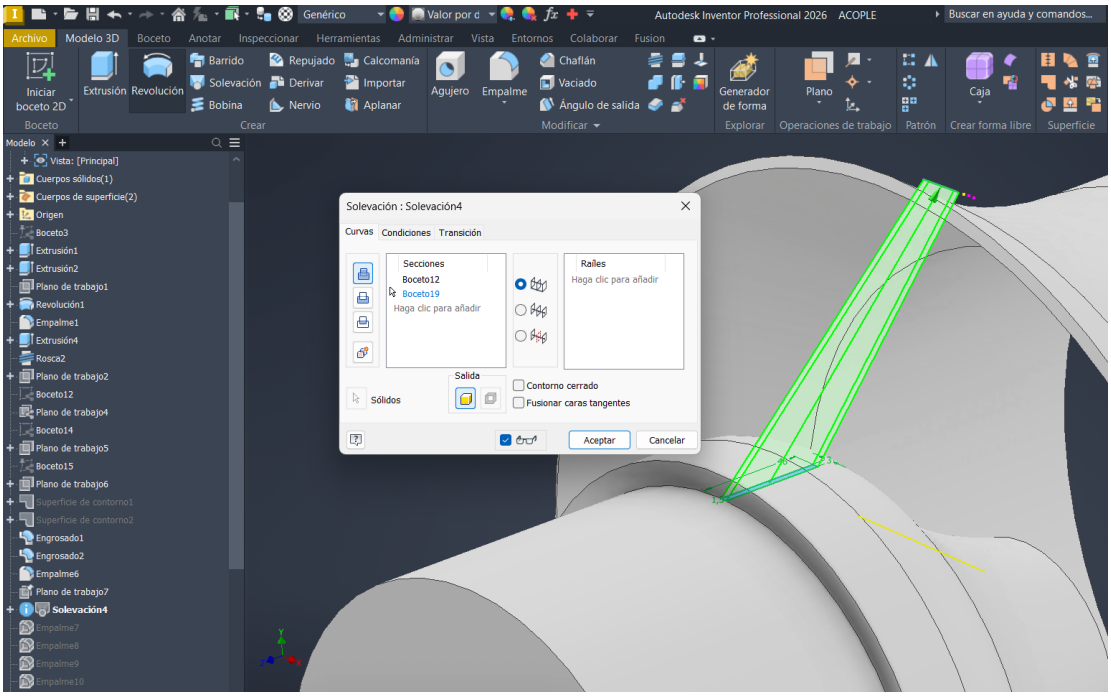



**Figura 3-27 Herramienta de Solevación**

En las piezas de mayor complejidad geométrica, como las palas del impulsor, fue necesario recurrir a bocetos 3D y modelado de superficies. El boceto 3D se utilizó para definir geometrías espaciales que no podían resolverse de forma eficiente en un único plano, especialmente cuando la pala exigía variar sección, orientación y ángulo de ataque a lo largo del radio. A partir de dichas curvas se construyeron superficies de contorno (Figura 3-28), que posteriormente se recortaron o prolongaron según convenía y finalmente se transformaron en volumen mediante operaciones de engrosado.

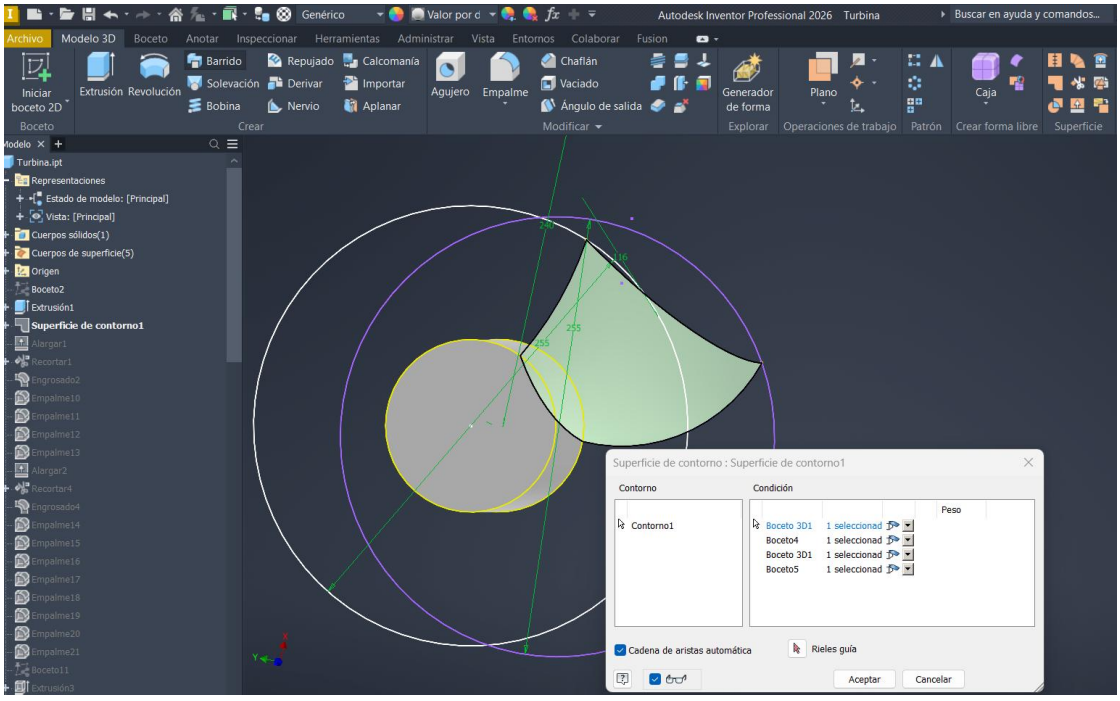



**Figura 3-28 Herramienta de superficie de contorno empleada sobre un boceto 3D**

El acabado formal de numerosas piezas se consiguió mediante el uso de empalmes (Figura 3-29) y chaflanes, dos operaciones que tuvieron un papel importante en la definición final de la geometría. El empalme fue especialmente relevante no solo como recurso visual, sino también como una decisión coherente con la naturaleza hidrodinámica del DPV, ya que permite suavizar intersecciones, reducir cambios bruscos en la dirección del flujo y mejorar la continuidad general del conjunto. Por su parte, el chaflán se reservó sobre todo para tornillería, aristas de acceso y detalles concretos en los que interesaba reproducir un acabado más próximo al de una pieza mecanizada o a una terminación constructiva realista.

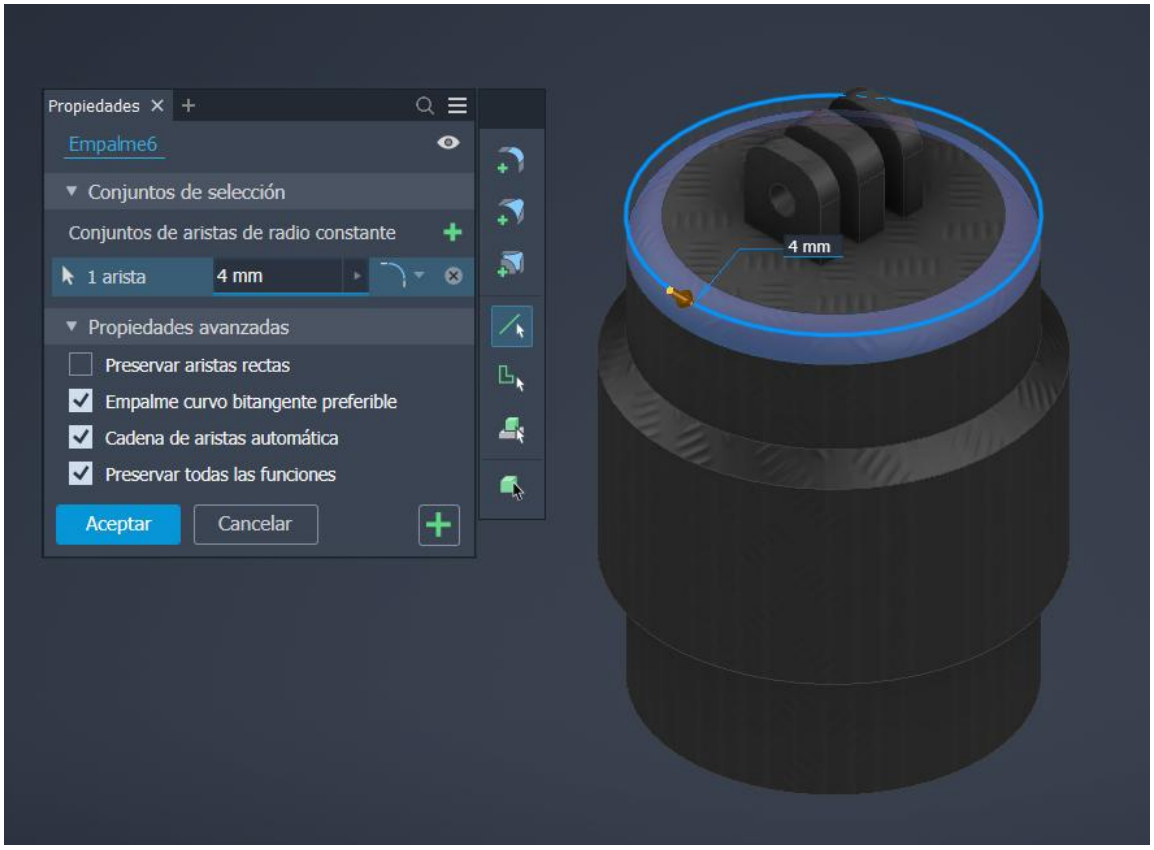



**Figura 3-29 Herramienta de empalme**

Las operaciones de roscado y de repetición geométrica también tuvieron un papel importante a lo largo del modelado, ya que permitieron dotar a muchas piezas de una lógica constructiva más clara, ordenada y coherente con el funcionamiento general del conjunto. Las roscas se aplicaron en aquellas uniones desmontables en las que interesaba reflejar un comportamiento mecánico, como ocurre en tapones, fijaciones, pernos guía y distintos elementos de cierre. Su inclusión no solo mejora la lectura técnica del modelo, sino que también facilita la comprensión de cómo se produciría el montaje y desmontaje de determinadas partes, reforzando la idea de un conjunto compuesto por piezas realmente ensamblables.

Por su parte, los patrones rectangular y circular permitieron replicar con precisión distintos elementos repetitivos sin necesidad de reconstruirlos manualmente uno a uno, lo que aportó mayor agilidad al proceso y redujo posibles errores de colocación. Esta herramienta resultó especialmente útil en la generación de orificios, imanes, aligeramientos, anillos de sujeción y otros detalles distribuidos de forma regular sobre determinadas piezas. Gracias a ello, se consiguió mantener una mayor precisión geométrica, ahorrar tiempo de modelado y asegurar una distribución uniforme de estos elementos. Además, su uso contribuyó a conservar la simetría y la regularidad en componentes donde estos aspectos eran importantes tanto desde el punto de vista visual como funcional, tal y como puede apreciarse en la Figura 3-30.

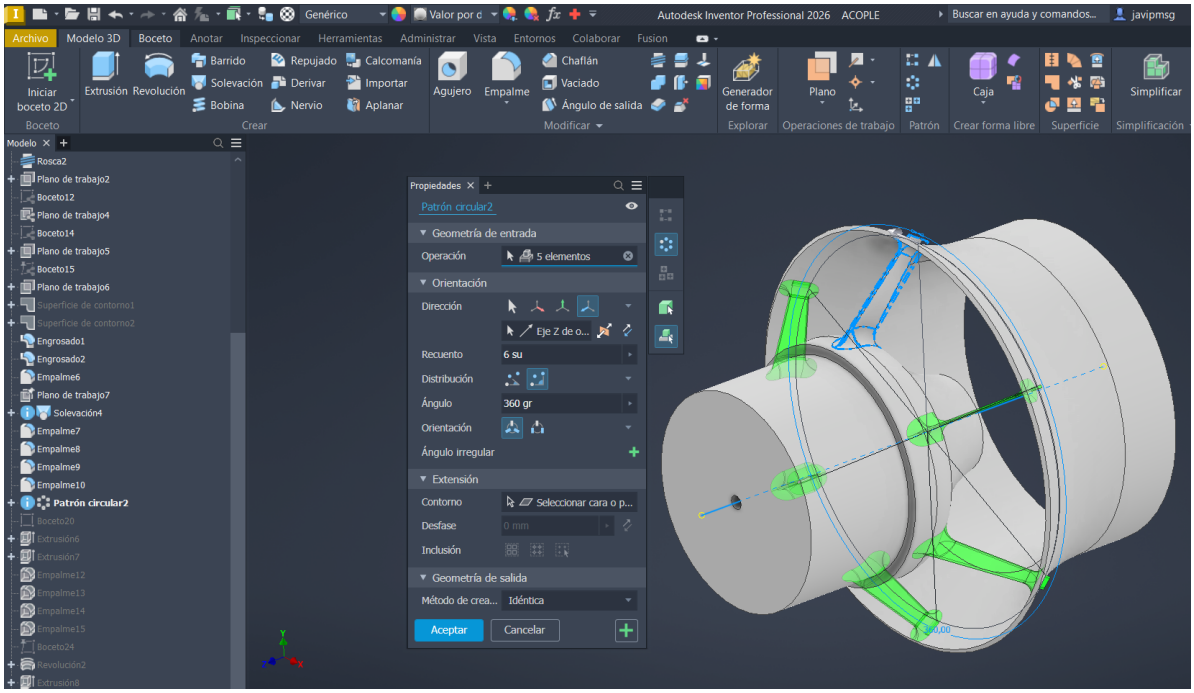



**Figura 3-30 Herramienta de patrón circular**

Para la bobina del conjunto propulsor se utilizó la operación específica de *Bobina*. Inventor describe esta herramienta como una operación basada en un perfil cerrado y un eje, útil para modelar muelles o roscas físicas reales. En este trabajo su empleo no persiguió un cálculo electromagnético real, sino la representación geométrica verosímil de un devanado técnico asociado al subsistema de accionamiento. Del mismo modo, la inserción de imagen y la calcomanía se usaron para los displays, aprovechando que Inventor permite aplicar archivos de imagen sobre las caras del modelo como recurso de realismo visual o etiquetado.

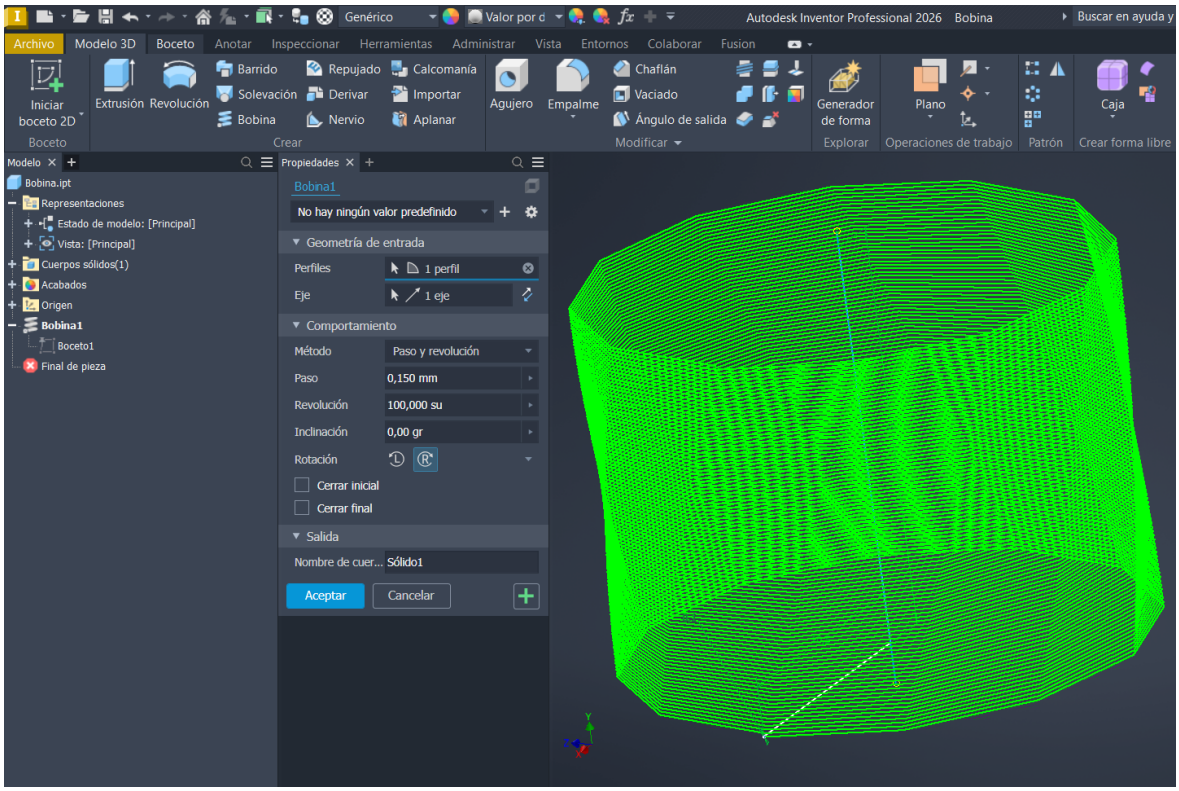



**Figura 3-31 Herramienta de Bobina**

### *3.3.2.4 Ensamblaje de subconjuntos*

Una vez modeladas las piezas individuales, se procedió al ensamblaje progresivo por subconjuntos. Esta fase no se entendió como una simple unión final de piezas ya terminadas, sino como una etapa adicional de validación geométrica, constructiva y funcional del modelo. El montaje parcial permitió detectar desproporciones, conflictos de espacio, incoherencias entre roscas o apoyos, y desviaciones de forma que no resultaban tan evidentes durante el modelado aislado de cada componente. Además, facilitó comprobar de manera más clara la relación entre unas piezas y otras, así como la lógica de su posición dentro del conjunto general. Esta estrategia redujo el coste de corrección, ya que los errores podían localizarse en el subconjunto correspondiente sin comprometer el conjunto completo ni obligar a rehacer fases ya avanzadas del diseño.

Desde el punto de vista técnico, en Inventor se emplearon principalmente uniones y restricciones de ensamblaje, Figura 3-32. Las uniones controlan la posición y el movimiento relativo entre componentes y pueden llegar a definir completamente sus grados de libertad. Las restricciones, por su parte, eliminan grados de libertad entre componentes seleccionados y los posicionan de manera relativa. En consecuencia, las uniones resultaron especialmente útiles allí donde interesaba conservar una lógica cinemática o de acoplamiento explícita, mientras que las restricciones se emplearon para fijaciones, alineaciones, apoyos y contactos sin movimiento relativo previsto.

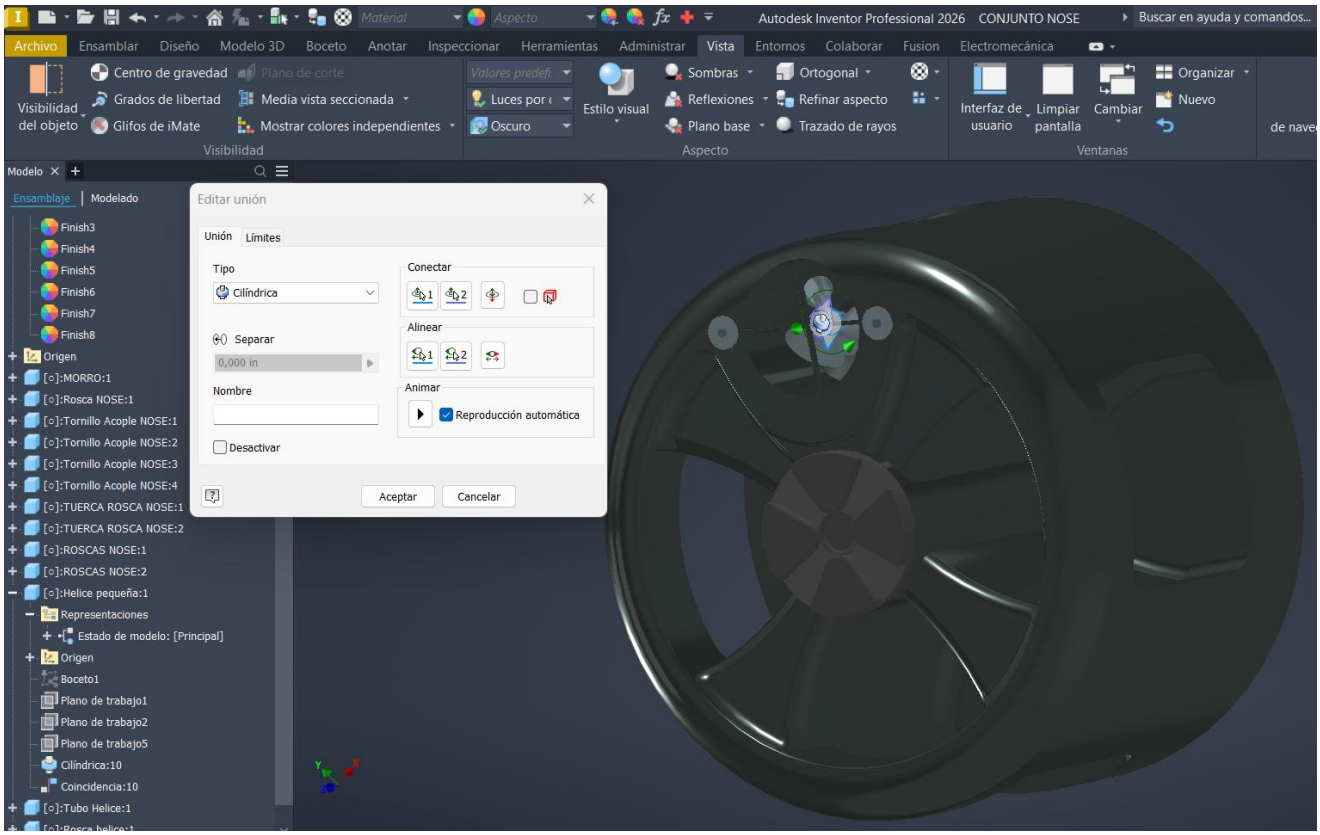



**Figura 3-32 Ensamblaje a partir de uniones**

La fase de ensamblaje permitió además verificar la coherencia del despiece modular del DPV. Al trabajar con subconjuntos independientes (Figura 3-33) se facilitó la lectura del sistema, la depuración de relaciones y la estabilidad del modelo general frente a cambios posteriores.

Esta forma de proceder resulta especialmente adecuada en proyectos de modelado mecánico complejo, en los que la claridad estructural del árbol de ensamblaje es tan importante como la calidad geométrica de las propias piezas.

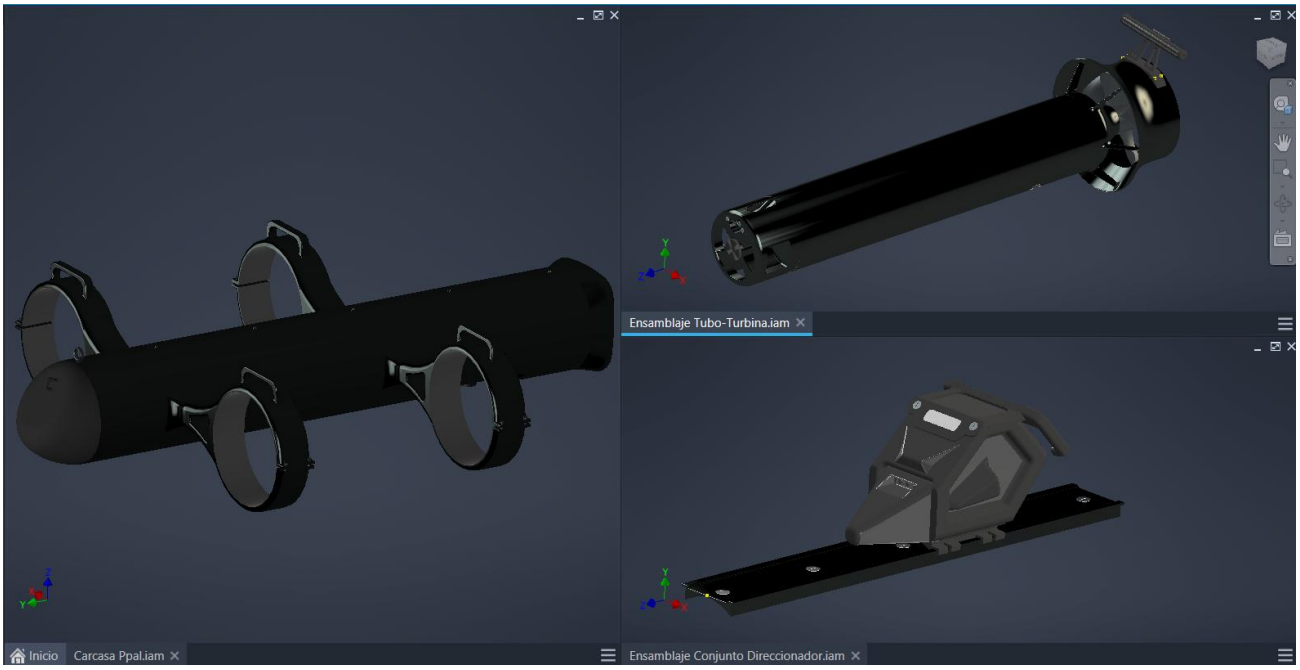



**Figura 3-33 Ensamblaje compartimentalizado por subconjuntos funcionales**

### *3.3.2.5 Acabados, apariencias y renderizado*

Una vez finalizado el modelado y estabilizado el ensamblaje, se abordó la fase de acabados visuales. En esta etapa no se buscó representar con exactitud todos los materiales físicos del sistema, sino asignar apariencias compatibles con la lógica táctica y el lenguaje visual del dispositivo. En Inventor, las apariencias controlan la respuesta visual del objeto, mientras que los materiales se asocian a propiedades físicas. Por ello, en el presente trabajo la prioridad se situó en la apariencia visual y no en la caracterización físico-mecánica exacta de cada pieza.

La gama cromática elegida se concentró en tonos oscuros, grises apagados y acabados poco reflectantes. Esta elección responde directamente al contexto táctico subacuático en el que se inscribe el diseño: un equipo concebido para operar con bajo perfil visual, sin reflejos innecesarios y con una presencia material compatible con fondos oscuros y entornos de iluminación reducida. Los acabados opacos y semimates contribuyen además a reforzar la percepción de robustez técnica y a evitar que el modelo adquiera un aspecto excesivamente plástico o conceptual.

La fase de renderizado tuvo como finalidad generar imágenes de presentación capaces de mostrar con claridad la geometría, las transiciones entre piezas y la coherencia visual del conjunto, como se representa en la Figura 3-34. Para ello se ajustaron estilos de iluminación, sombras y vistas de forma específica para cada escena. En Inventor, el trazado de rayos puede ejecutarse en modo CPU o GPU y se basa en principios de renderizado físicamente fundamentados, de modo que la interacción entre iluminación y apariencias produce resultados más realistas. El proceso de render mejora progresivamente con el tiempo de cálculo, resolviendo ruido y refinando materiales, reflejos y transparencia aparente.

Por tanto, el renderizado no se ha entendido como una fase meramente estética, sino como una herramienta de validación visual del diseño. Gracias a ella fue posible comprobar la legibilidad de las superficies, la correcta percepción volumétrica de las piezas, la integración de pantallas y elementos secundarios, y la imagen final del DPV como producto técnico coherente. En un trabajo de modelado digital orientado a posterior visualización inmersiva, esta etapa resulta clave para asegurar que el modelo no solo está bien construido geométricamente, sino también bien comunicado visualmente.

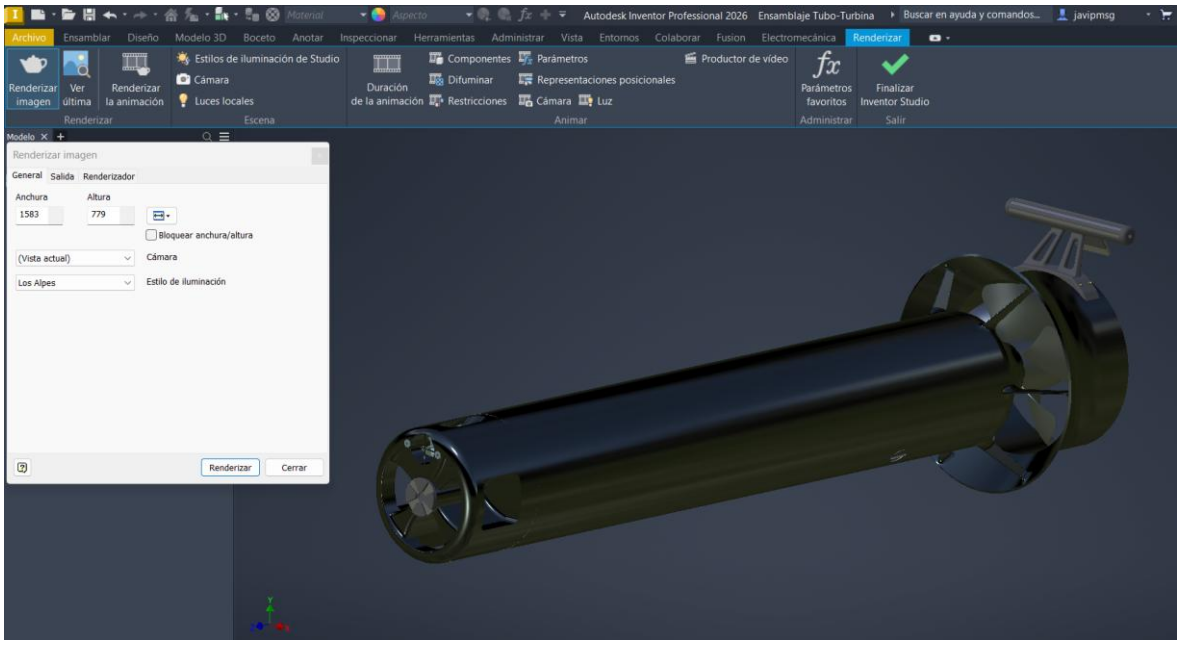



**Figura 3-34 Renderizado de DPV Unitubular**

### *3.3.2.6 Síntesis del proceso de diseño*

En conjunto, el diseño del DPV en Autodesk Inventor se ha desarrollado como un proceso de construcción modular, paramétrica e iterativa, en el que cada subconjunto ha sido definido de acuerdo con su función dentro del sistema global. El resultado es una maqueta digital técnicamente ordenada, visualmente consistente y adecuada para mostrar, con suficiente grado de detalle, la arquitectura funcional de un DPV táctico. Lejos de limitarse a una simple envolvente exterior, el modelo integra lógica de montaje, sistemas de cierre, distribución de masas, instrumentación de navegación y una interpretación técnicamente fundamentada del sistema propulsor, lo que refuerza su valor como soporte de comprensión estructural y funcional del dispositivo.

## 3.4 Programación y visualización del entorno inmersivo

Para poder visualizar el modelo 3D desarrollado en Autodesk Inventor dentro de un entorno inmersivo, fue necesario realizar una fase posterior de preparación y programación en Unreal Engine. En este trabajo no se trató tanto de una programación tradicional basada en código, sino de un proceso de configuración del proyecto, importación técnica del modelo y desarrollo de la lógica visual necesaria para su visualización e interacción. Para ello se emplearon principalmente Unreal Engine 5.6 y el entorno de conexión Link de Meta, utilizado para lanzar la escena desde el editor al visor y comprobar su funcionamiento directamente en las Meta Quest 3.

El flujo general seguido consistió en importar el modelo al entorno de Unreal Engine, organizar sus componentes dentro del proyecto y adaptar posteriormente la escena para su ejecución en realidad mixta. A partir de ahí, el entorno pudo completarse con los elementos visuales, interacciones y funciones que se consideraron de interés. En este sentido, Blueprints resultó especialmente útil, ya que Unreal lo define como un sistema de scripting visual basado en nodos que permite construir la lógica de funcionamiento del proyecto sin necesidad de desarrollar todo el proceso mediante programación textual.

A continuación, se describen de forma detallada los pasos seguidos para llevar a cabo esta fase.

### *3.4.1 Exportación e importación del modelo*

La transferencia del modelo desde Autodesk Inventor a Unreal Engine (Figura 3-35) puede realizarse de distintas formas. Sin embargo, para este trabajo se optó por exportar el conjunto en formato .step, ya que se trata de un formato CAD neutro compatible con la importación técnica de Datasmith, y

permite trasladar el ensamblaje a Unreal con un nivel alto de fidelidad geométrica y estructural. Esta elección resultó más adecuada que otras opciones menos estables para este tipo de flujo, ya que el objetivo no era solo abrir el archivo en el motor gráfico, sino conservar de la forma más coherente posible la organización y naturaleza técnica del modelo original.

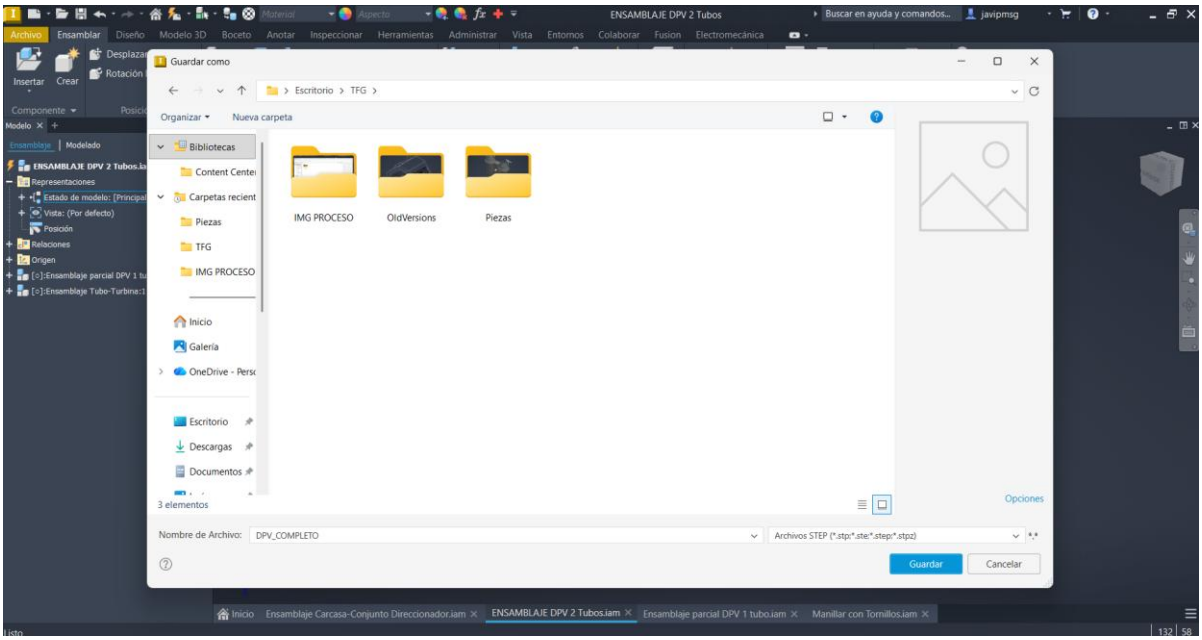



**Figura 3-35 Exportación del archivo desde Autodesk Inventor**

Ya dentro de Unreal Engine 5.6, la incorporación del modelo se llevó a cabo mediante Datasmith, la herramienta de Epic diseñada para importar contenido procedente de programas de diseño, CAD y visualización al entorno de trabajo del motor. Su empleo resultó especialmente adecuado en este proyecto, ya que el modelo desarrollado en Autodesk Inventor no estaba compuesto únicamente por geometrías aisladas, sino por un conjunto completo de piezas, subconjuntos y relaciones de ensamblaje que interesaba conservar en la medida de lo posible durante el cambio de software. Frente a una importación más básica, Datasmith ofrece un flujo de trabajo específicamente orientado a este tipo de casos, permitiendo trasladar el modelo al editor de Unreal de una forma más ordenada y más fiel al archivo de origen.

La principal ventaja de utilizar Datasmith en este contexto es que facilita la transferencia de información importante del modelo, como la geometría de las piezas, parte de los materiales asignados y la estructura jerárquica de la escena original. Esto resulta de especial interés cuando se trabaja con ensamblajes complejos, ya que permite mantener una organización interna más clara dentro de Unreal Engine, algo muy útil para localizar piezas, agrupar componentes y preparar posteriormente la programación visual del modelo. En un trabajo como este, donde no se buscaba únicamente mostrar una forma exterior, sino también manipular el conjunto, separar piezas y aplicar interacciones sobre elementos concretos, conservar esa estructura durante la importación tenía un valor importante. Por ello, esta herramienta permitió reducir problemas habituales en la transferencia entre programas, como la pérdida de organización del ensamblaje, la alteración de la geometría o una simplificación excesiva del modelo.

Antes de realizar la importación fue necesario habilitar en el proyecto los complementos correspondientes. En concreto, se activó el plugin Datasmith Importer, ya que sin este complemento Unreal Engine no permite utilizar este flujo de trabajo de importación. Esta activación se llevó a cabo desde el menú de plugins del propio editor, habilitando la herramienta y reiniciando posteriormente el proyecto para aplicar los cambios. Una vez hecho esto, la carga del modelo se realizó mediante la opción de importación de Datasmith disponible en el editor de Unreal. A partir de ese momento, el archivo

exportado desde Inventor pudo incorporarse al proyecto y generar automáticamente la estructura de carpetas, activos y elementos necesarios para empezar a trabajar con el modelo dentro del entorno de Unreal Engine. De esta manera, se consiguió trasladar el ensamblaje al motor de una forma suficientemente ordenada y coherente como para continuar con las siguientes fases del proyecto. En la Figura 3-36 y Figura 3-37 se muestra la interfaz de trabajo del programa en esta fase inicial, así como la activación previa de los plugins necesarios para comenzar el proceso.

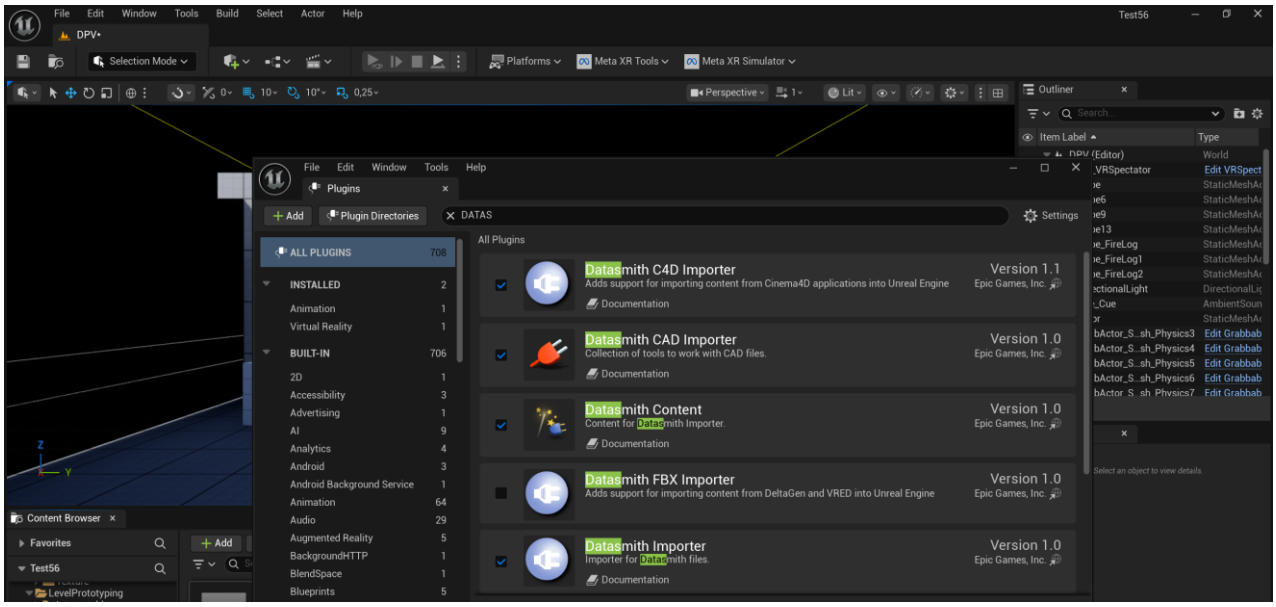



**Figura 3-36 Activación de plugins del Datasmith**

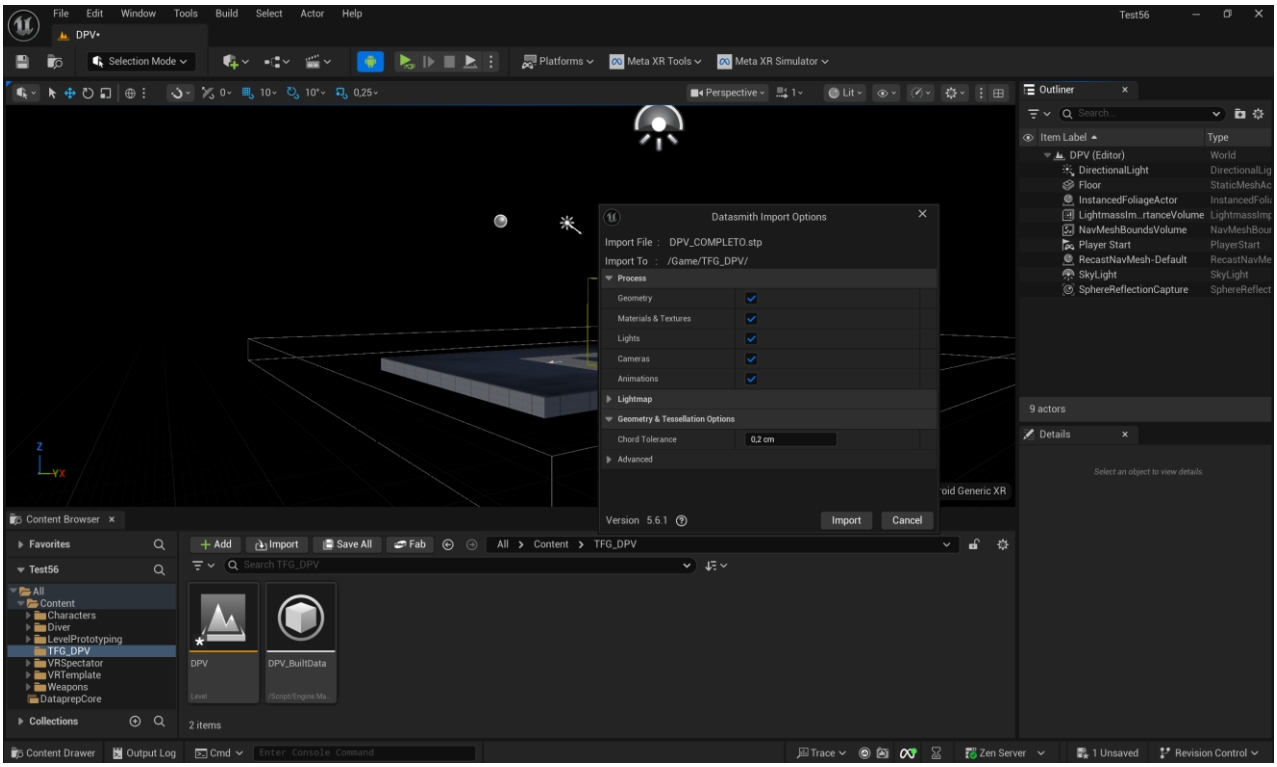



**Figura 3-37 Importación archivo *.step***

Tras importar el archivo, Unreal genera dentro del proyecto una estructura de contenido propia asociada a la escena importada. En ella quedan organizados los diferentes recursos que forman parte del

modelo, incluyendo las geometrías, los materiales y el archivo de escena de Datasmith que permite reconstruir en el nivel una representación ensamblada del conjunto original. De esta forma, no solo se obtiene una visualización del modelo completo, sino también un acceso ordenado a sus distintas piezas y elementos, lo que facilita tanto la revisión individual de componentes como su ajuste posterior dentro del entorno de trabajo.

Desde el punto de vista práctico, esta organización resultó especialmente útil porque permitió identificar con claridad las partes del ensamblaje, comprobar el aspecto de los materiales importados y mantener una estructura de trabajo ordenada desde las primeras fases del proyecto. Así, una vez completada la importación, el modelo quedó preparado para su posterior integración en la escena inmersiva y para las adaptaciones necesarias en las siguientes etapas del desarrollo.

### *3.4.2 Realidad Mixta*

Una vez importado el modelo 3D en Unreal Engine y preparada la escena inicial en realidad virtual, se llevó a cabo su adaptación a un entorno de realidad mixta, Figura 3-38. El objetivo de esta fase fue permitir que el usuario pudiera ver al mismo tiempo el modelo virtual y el espacio real que le rodea, de manera que ambos quedasen integrados en una misma experiencia. Para ello se utilizó Unreal Engine 5.6 junto con la integración Meta XR.

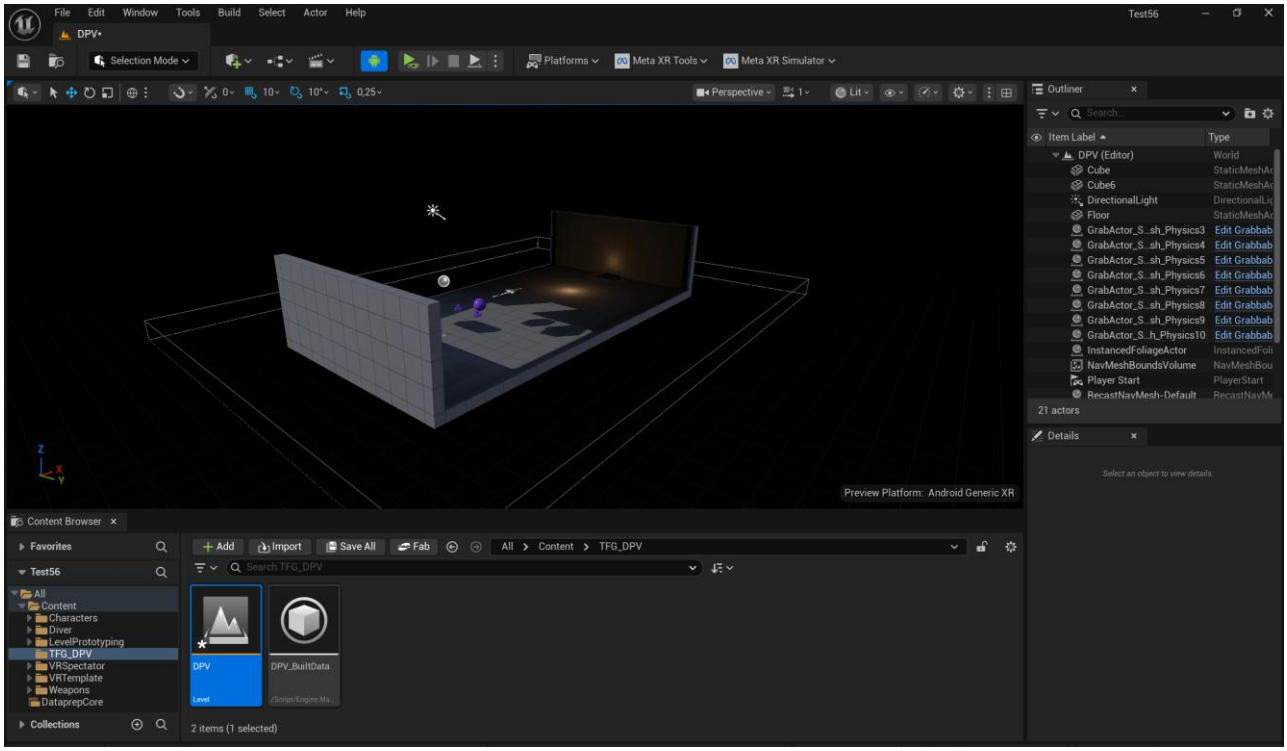



**Figura 3-38 Transformación del entorno RV existente en la interfaz de RM**

Es importante señalar que esta fase ya no depende directamente de Datasmith, ya que dicha herramienta se emplea principalmente en la importación del modelo CAD al motor gráfico. A partir de ese momento, la adaptación a realidad mixta se realiza mediante las herramientas propias de Meta para Unreal. En primer lugar, fue necesario comprobar que el plugin Meta XR estuviese activado dentro del proyecto. Una vez habilitado, se ajustaron los parámetros generales del sistema para su uso con las Meta Quest 3. Entre estos ajustes, resultó especialmente importante seleccionar el *backend XR* recomendado y activar la opción *Passthrough Enabled*, ya que esta permite que el visor muestre el entorno real junto con los elementos virtuales, tal y como se muestra en la Figura 3-39.

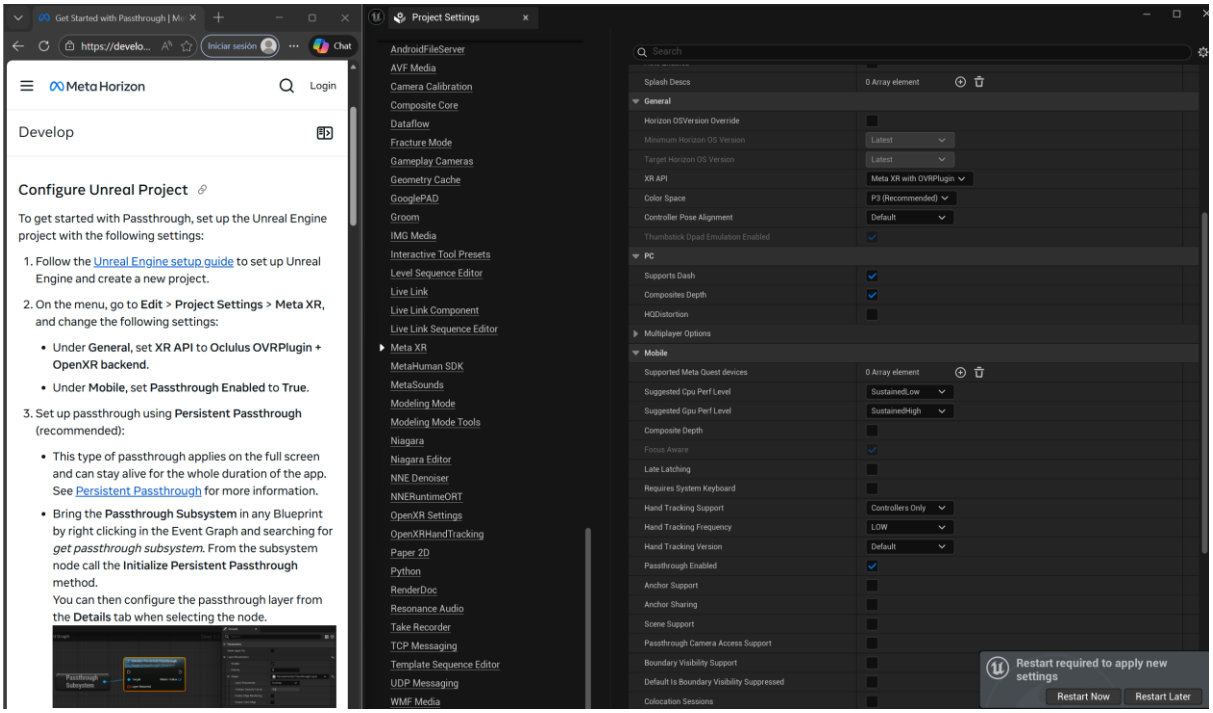



**Figura 3-39 Activación del plugin Meta XR**

Además de esta configuración general, se empleó la herramienta *Meta XR Project Setup Tool* (Figura 3-40), incluida en el propio entorno de configuración del plugin. Esta utilidad permite revisar de forma automática si el proyecto cumple los requisitos recomendados para ejecutarse correctamente en dispositivos Meta Quest, aplicando los ajustes necesarios de compatibilidad, renderizado y configuración general. Su uso resultó útil para dejar preparado el proyecto antes de la fase de prueba con visor.

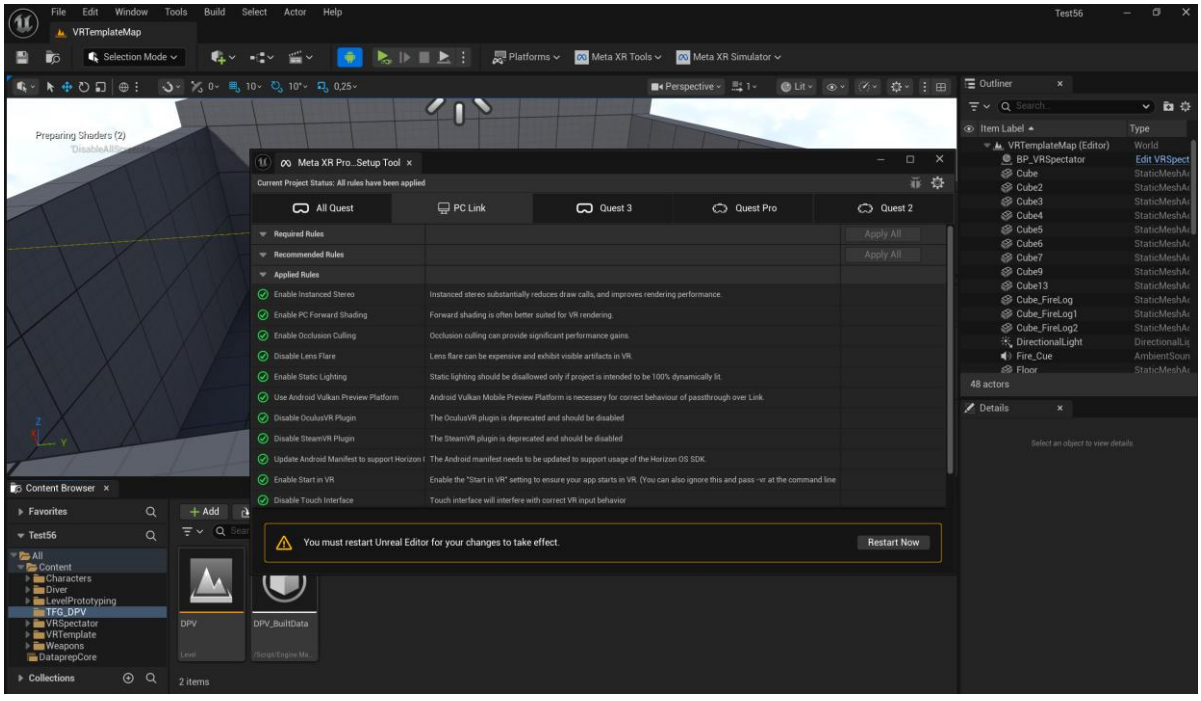



**Figura 3-40 Configuración de Meta XR**

Una vez completada esta parte, la activación de la realidad mixta se resolvió mediante *Level Blueprint*, ya que se trataba de una lógica general que debía ejecutarse al comenzar el nivel. Para ello se partió del nodo *Event BeginPlay*, que se activa automáticamente al iniciar la escena. Desde ese punto, se obtuvo el *Passthrough Subsystem* y se llamó a la función *Initialize Persistent Passthrough*, recomendada por la propia documentación de Meta para habilitar un "passthrough" persistente durante toda la experiencia. De esta forma, el entorno real del usuario permanece visible de manera continua mientras el modelo 3D se muestra superpuesto dentro de la escena.

La configuración visual del "passthrough" también requirió varios ajustes para obtener un resultado claro y útil. En este caso, la capa se configuró en modo *Underlay* (Figura 3-41), lo que permite que el entorno físico aparezca como fondo y que el modelo virtual quede en primer plano. Esta disposición resulta especialmente adecuada cuando se quiere destacar el objeto tridimensional sin perder la referencia del espacio real en el que se encuentra el usuario. Por este motivo, la escena virtual se simplificó, eliminando elementos innecesarios y conservando únicamente aquellos que ayudaban a la visualización del modelo, como la iluminación o determinados apoyos visuales. Con ello se consiguió una experiencia más limpia, más comprensible y visualmente más coherente.

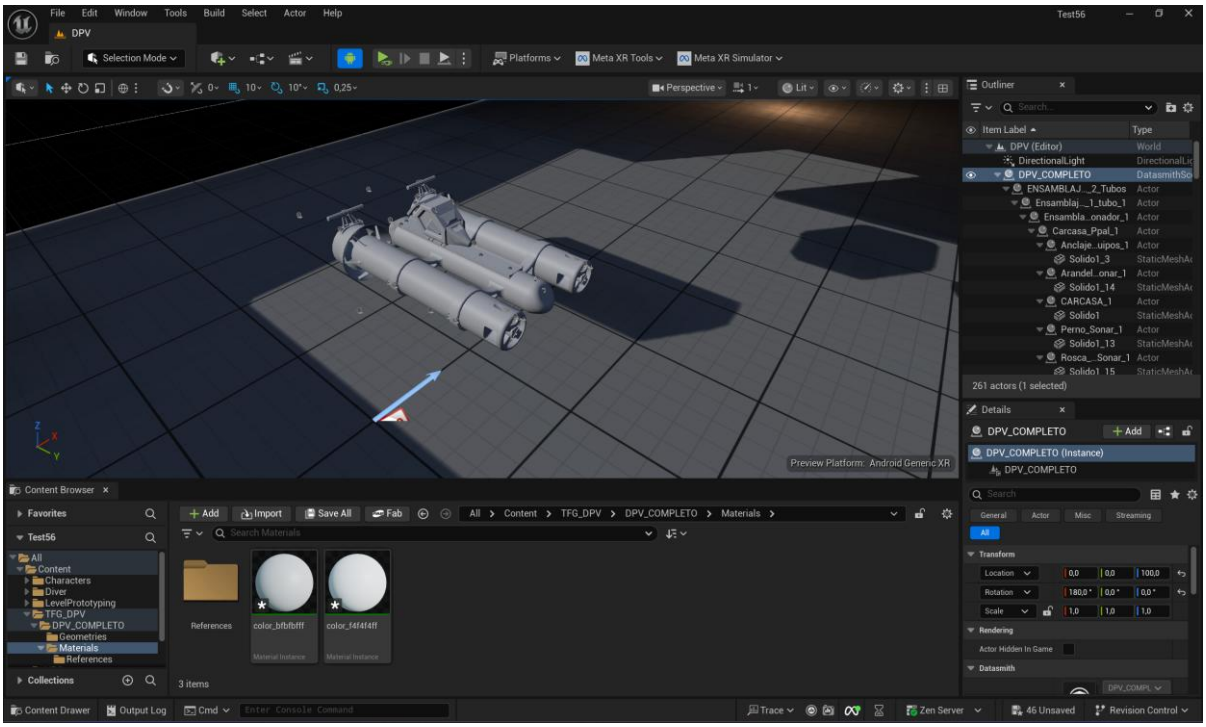



**Figura 3-41 Escena virtual simplificada con capa modo Underlay**

## *3.4.3 Preparación de los buzos*

Con el propósito de enriquecer la escena y aportar contexto operativo al modelo tridimensional del DPV, se incorporaron al entorno varios buzos (Figura 3-42) con una función visual complementaria. Para ello se empleó un paquete comercial compatible con Unreal Engine 5.6, adquirido con cargo al presupuesto del proyecto, que incluía personajes submarinos ya preparados para su uso en escena. Este tipo de paquete suele integrar *Skeletal Meshes*, su correspondiente *Skeleton*, materiales, elementos accesorios, bibliotecas de animación y clases Blueprint ya configuradas, lo que permite acelerar notablemente la integración de personajes animados dentro del proyecto.

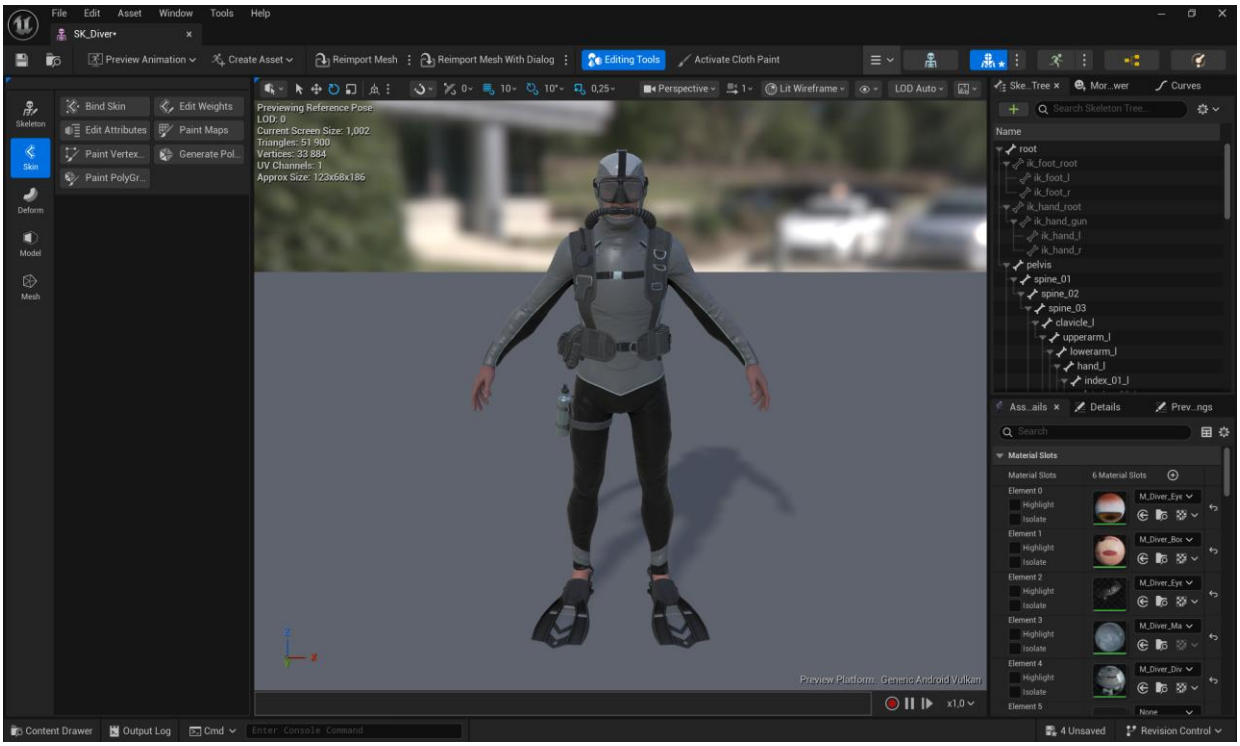



**Figura 3-42 Edición de rasgos característicos de los actores secundarios**

La incorporación de estos actores no se limitó a su simple inserción directa en el nivel, sino que exigió una fase previa de selección, revisión y adaptación para que su presencia resultara coherente con la situación táctica que se quería representar en la escena. En primer lugar, se revisaron las bibliotecas de animación incluidas en el paquete con el fin de identificar aquellas Animation Sequences que mejor se ajustaban a la composición final. En Unreal Engine, estas secuencias son activos de animación asociados a un personaje esquelético y permiten reproducir movimientos concretos sobre su esqueleto digital. Además, pueden abrirse, visualizarse y editarse desde las herramientas de animación del propio motor, lo que facilita tanto su análisis como su ajuste antes de integrarlas en la escena definitiva.

A partir de estas animaciones base, se estudió el comportamiento de cada buzo de manera individual, valorando si su postura, orientación y gesto general resultaban adecuados para la narrativa visual buscada. Cuando la animación original no encajaba del todo con la composición prevista, se realizaron modificaciones puntuales sobre la postura del personaje. Estas correcciones se llevaron a cabo actuando directamente sobre la jerarquía ósea del modelo, es decir, sobre los distintos huesos que estructuran el esqueleto del actor y controlan la posición relativa de sus extremidades y del tronco. Gracias a ello, fue posible ajustar la colocación de brazos, manos, cabeza o torso para obtener poses más naturales y más acordes con la interacción prevista entre el buzo, el DPV y el entorno inmediato.

Una vez obtenida la variante deseada, esta no se dejó como una modificación puntual dentro del visor de animación, sino que se guardó como un nuevo activo de animación dentro del contenido del proyecto. Este paso resultó importante, ya que permitió reutilizar posteriormente esa pose o animación ajustada en distintos momentos del trabajo sin tener que repetir el proceso de edición. De este modo, se garantizó una mayor coherencia entre escenas, se facilitó la organización interna del proyecto y se dispuso de versiones adaptadas específicamente al contexto visual que se quería construir. Las acciones descritas pueden observarse en la Figura 3-43 y Figura 3-44, donde se muestra de forma gráfica el proceso seguido para la selección y modificación de los actores animados..

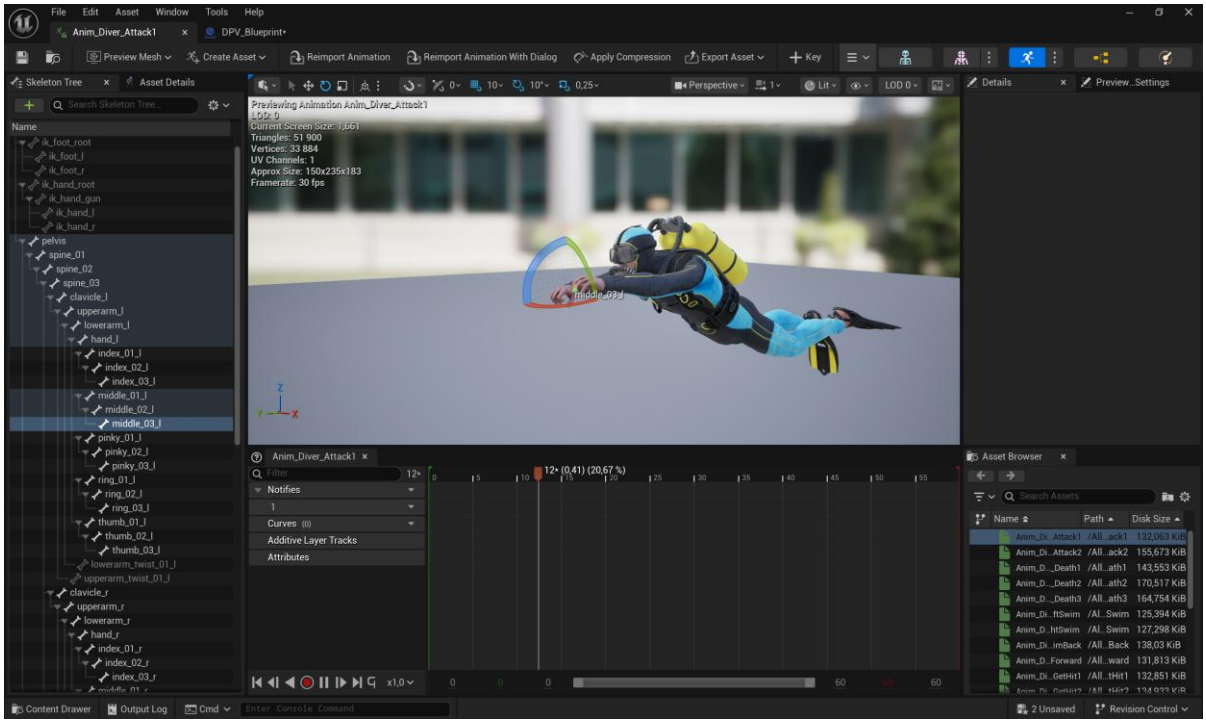


**Figura 3-43 Modificación de la jerarquía corporal del buceador**

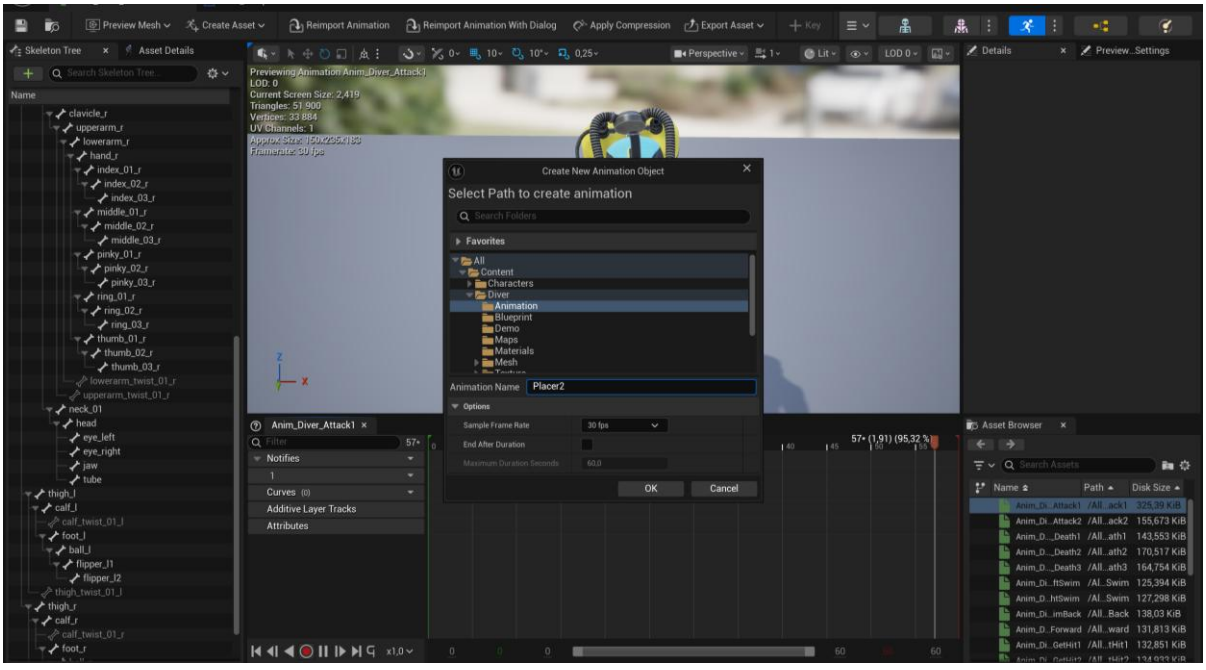



**Figura 3-44 Generación de nuevas animaciones y guardado en librería**

Además de la adaptación de las animaciones, también se individualizaron los rasgos visuales de cada personaje. Para ello se accedió a los activos correspondientes y se modificaron aquellos elementos que resultaban necesarios, como materiales, accesorios o componentes opcionales del personaje. Esta fase permitió diferenciar a unos buzos de otros y reducir la sensación de repetición visual en pantalla. Del mismo modo, se mantuvo la lógica de movimiento incluida por defecto en el paquete mediante sus clases Blueprint (Figura 3-45) y, en su caso, las clases de animación asociadas al personaje, de forma que el sistema original de reproducción y control de movimientos pudo aprovecharse sin necesidad de desarrollar una lógica completa desde cero.

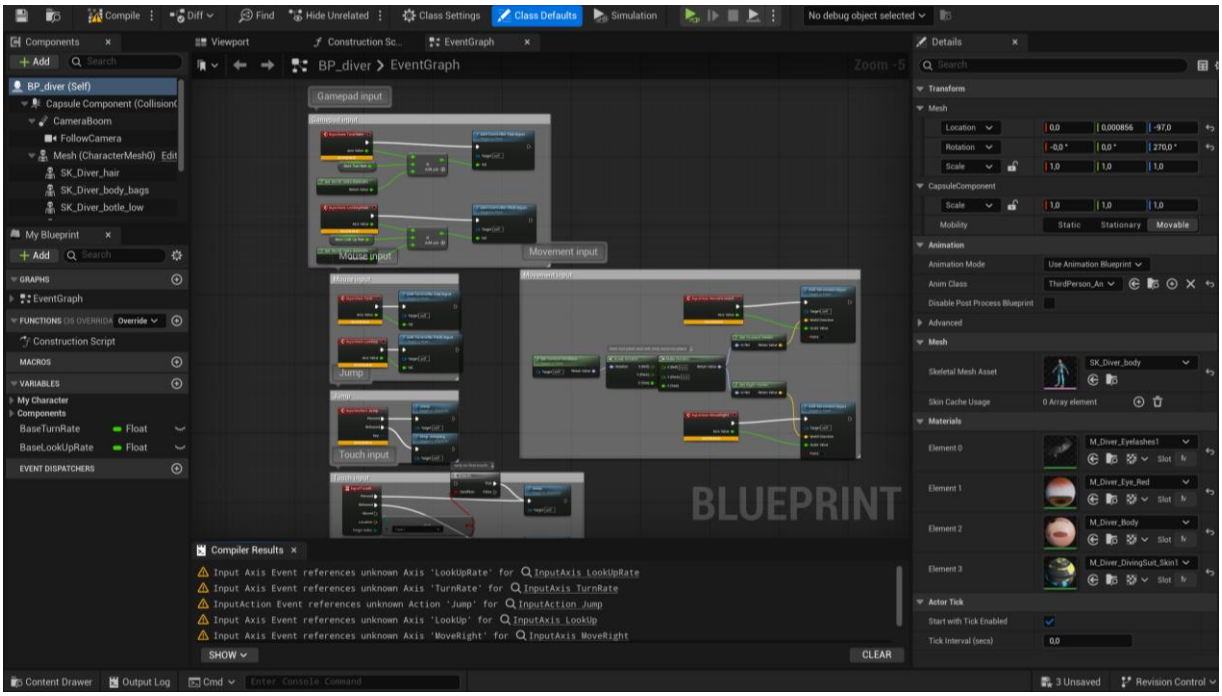



**Figura 3-45 Blueprints que rigen el comportamiento de los actores secundarios**

Una vez configurados individualmente los cuatro buzos, se procedió a su incorporación al nivel como actores independientes. Esta operación se realizó en el *Level Editor,* utilizando el *Viewport* como herramienta principal de comprobación espacial y el World Outliner para gestionar de forma ordenada cada uno de los elementos de la escena. La colocación final se ajustó mediante los parámetros de transformación del actor, especialmente *Location* y *Rotation*, con el objetivo de integrarlos de forma precisa respecto al DPV y entre sí. Para ello se recurrió a distintas vistas de trabajo y a la manipulación en los tres ejes del espacio, lo que permitió armonizar la orientación, separación y proximidad de los personajes dentro de la composición general, mostrado en la Figura 3-46.

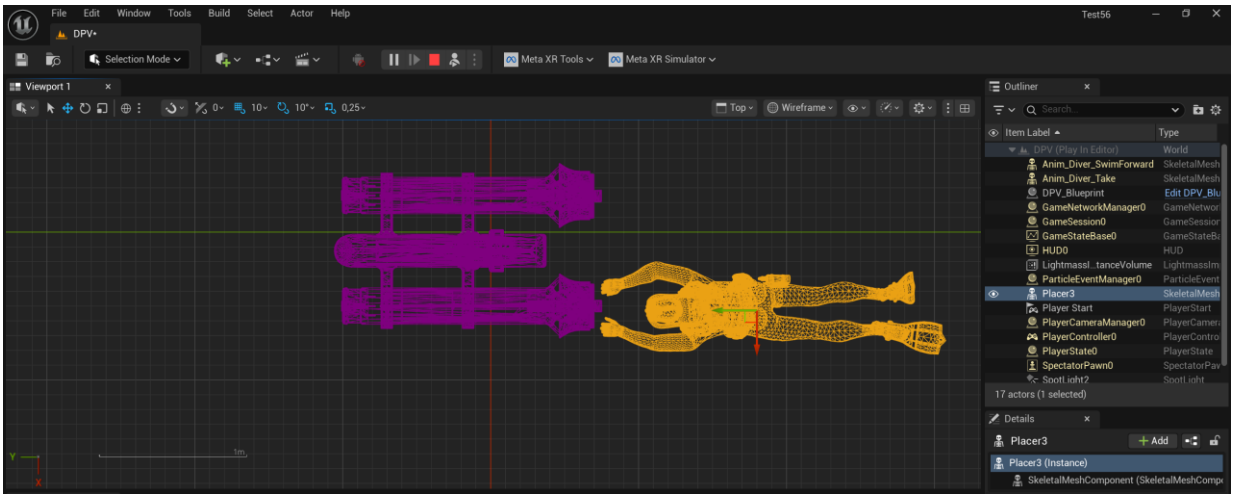


**Figura 3-46 Emplazamiento tridimensional de los operadores**

La disposición final de los buzos respondió a una intención táctica concreta. Se situaron dos operadores en una posición más adelantada y próxima al DPV, adoptando una actitud más activa en relación con el manejo del dispositivo. Uno de ellos representa la consulta o manipulación de un equipo de navegación, mientras que el otro aparece orientado al control directo del vehículo, con ambas manos dispuestas sobre la zona de guiado. Por detrás de ellos se colocaron otros dos buzos en una posición más

pasiva, vinculados al conjunto de forma que simulan ser arrastrados por el DPV. Esta configuración permite representar una situación en la que el dispositivo no solo actúa como medio de propulsión principal, sino también como elemento de apoyo al desplazamiento del equipo, contribuyendo al ahorro de esfuerzo físico de parte de los operadores durante la aproximación subacuática.

Por último, no fue necesario aplicar modificaciones de escala a los personajes incorporados. Ello se debe a que, durante la fase de modelado y dimensionado del DPV, ya se había realizado un estudio suficientemente detallado de sus proporciones, de manera que la relación dimensional entre el vehículo y los actores humanos resultó visualmente coherente desde el primer momento. En consecuencia, la integración de los buzos en la escena se resolvió mediante ajustes de animación, pose, posición y orientación, sin necesidad de alterar las dimensiones originales de los modelos, cuya visualización final en la interfaz corresponde a la Figura 3-47.

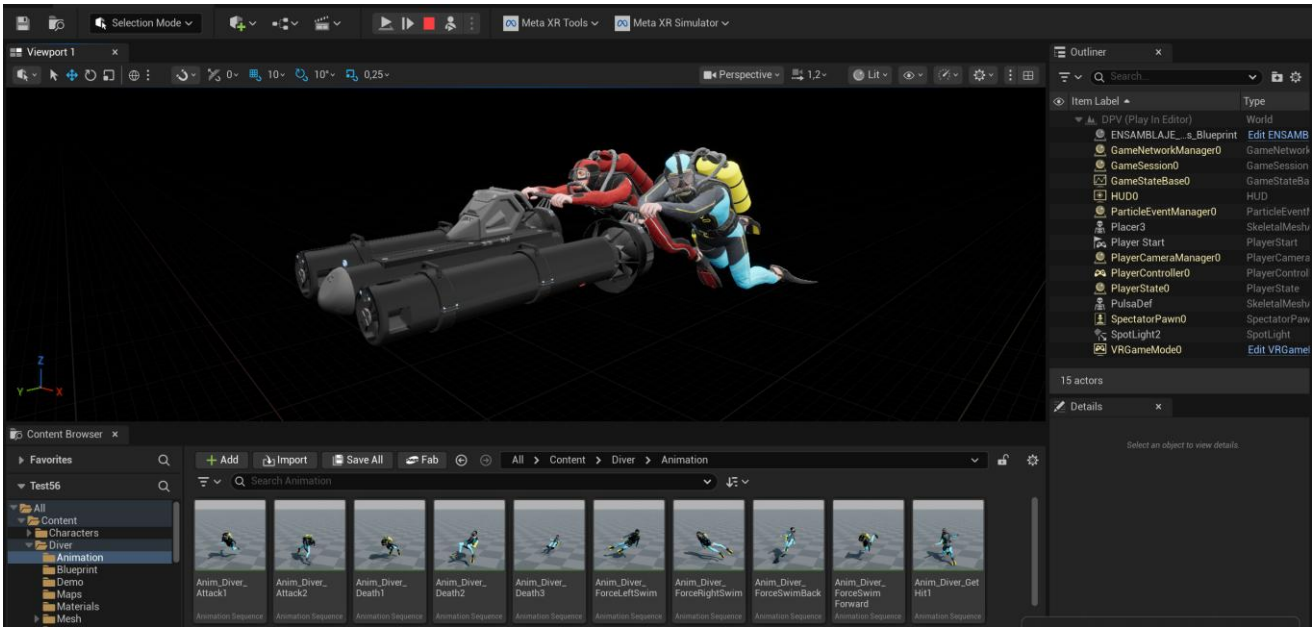



**Figura 3-47 Previsualización VR de los componentes**

## *3.4.4 Preparación del sistema de visualización con Meta Quest 3*

Una vez incorporados al proyecto tanto el modelo CAD del DPV como los actores secundarios que completan la escena, fue necesario preparar el sistema de visualización inmersiva que permitiera comprobar el resultado directamente en visor. Para ello se empleó el ecosistema de conexión de Meta Quest 3 con ordenador (Figura 3-48), utilizando la aplicación de escritorio de Meta, actualmente denominada Meta Horizon Link, y el acceso a Quest Link desde el propio visor. La documentación oficial de Meta indica que este flujo permite enlazar las gafas con el equipo de desarrollo y ejecutar la aplicación directamente desde Unreal Engine en modo de prueba, lo que resulta especialmente útil durante las fases de ajuste y validación visual del entorno.

El procedimiento seguido comenzó en el ordenador de desarrollo, donde se abrió la aplicación de Meta y se comprobó que el visor se encontraba correctamente reconocido y disponible para la conexión. En paralelo, se encendieron las gafas Meta Quest 3 y, desde el menú de configuración rápida del visor (Figura 3-49), se accedió a la opción Quest Link para inicializar la conexión con el equipo. Meta describe este proceso como el mecanismo habitual para lanzar una sesión de enlace entre el ordenador y las gafas, de forma que ambos dispositivos compartan el mismo entorno de ejecución durante el desarrollo.

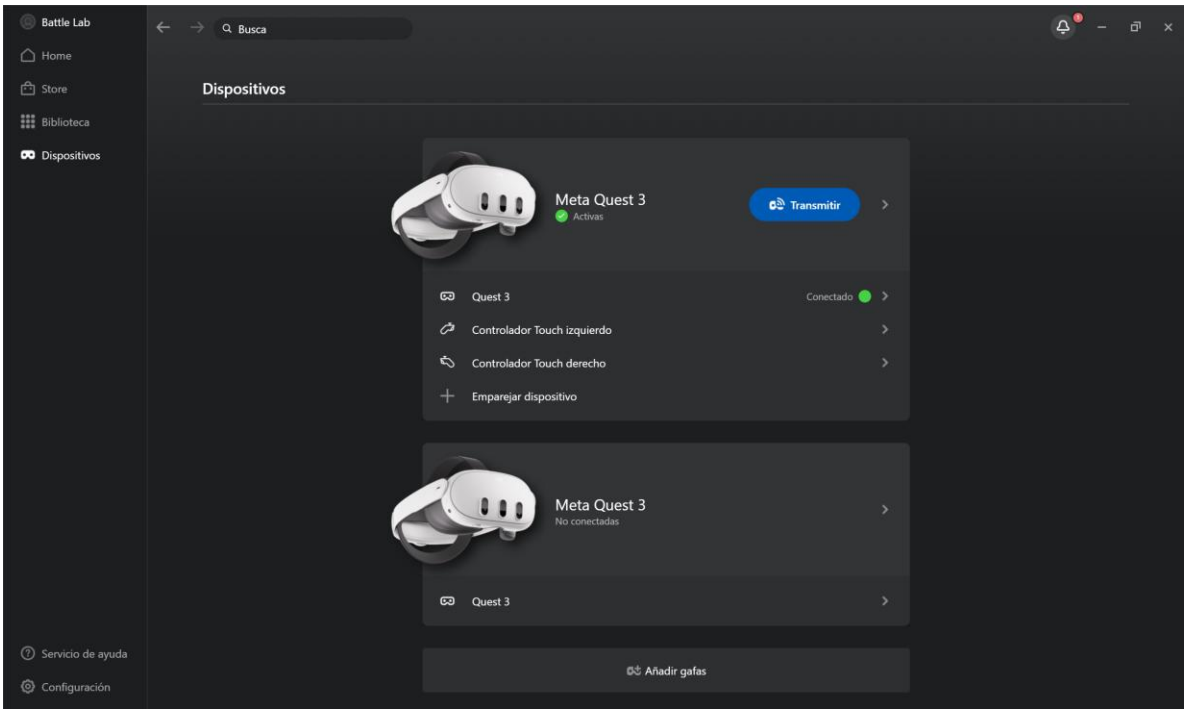



**Figura 3-48 Aplicación Meta Horizon Link**




**Figura 3-49 Configuración rápida, visualización desde las gafas Meta Quest 3**

Una vez establecida la conexión entre visor y ordenador, la escena se ejecutó desde Unreal Engine 5.6 mediante la opción *VR Preview*, que permite comprobar en tiempo real el comportamiento de la aplicación dentro del casco. Este procedimiento hizo posible cargar en las gafas la interfaz programada en Unreal, incluyendo el modelo tridimensional del DPV y los buzos incorporados a la escena, y verificar así su presencia, escala, posición relativa y comportamiento visual en un entorno inmersivo. Su principal

ventaja es que evita compilar y desplegar la aplicación completa tras cada modificación menor, agilizando notablemente el proceso de iteración durante el desarrollo.

En las pruebas de realidad mixta resultó especialmente importante habilitar la funcionalidad de Passthrough over Meta Quest Link desde la aplicación de PC. Esta configuración permite superponer la escena generada en Unreal al entorno físico captado por las cámaras del visor, haciendo posible observar el contenido digital dentro del espacio real del usuario sin necesidad de desplegar de inmediato una versión final empaquetada.

No obstante, la comprobación de este tipo de experiencias no puede realizarse de forma completa solo desde la ventana del editor. La propia documentación de Meta indica que la percepción real del *passthrough*, de la profundidad espacial y de la integración entre entorno físico y contenido virtual debe validarse directamente desde el visor. Por ello, la fase de pruebas con Meta Quest 3 fue necesaria para confirmar que la escena preparada en Unreal se mostraba con la fidelidad esperada.

Una vez lanzada la escena y establecida la conexión mediante Quest Link, el usuario puede acceder directamente al entorno de realidad mixta generado y recorrerlo desde el espacio físico en el que se encuentra. La visualización deja así de limitarse a una observación frontal y pasa a convertirse en una experiencia espacial completa, en la que es posible desplazarse alrededor del DPV, examinarlo desde distintos ángulos y variar el punto de vista dentro de la sala. La interacción puede realizarse mediante los mandos del visor o, cuando la configuración lo permite, mediante seguimiento de manos. Este desplazamiento queda condicionado por los límites del sistema *boundary* de Meta, que define una zona segura de movimiento. En configuración *roomscale*, Meta recomienda un espacio aproximado de 2 × 2 m, por lo que la escala y posición del modelo deben ajustarse a estas restricciones para garantizar una visualización correcta y una exploración fluida.

Desde el punto de vista metodológico, esta fase no añadió contenido nuevo al nivel, pero sí fue esencial para cerrar el ciclo de desarrollo entre diseño, programación visual y validación inmersiva. Gracias al uso de Meta Quest 3 como dispositivo de salida y de Quest Link como medio de conexión con el entorno de desarrollo, fue posible trasladar de forma inmediata la escena preparada en Unreal a una experiencia visual directa, facilitando su evaluación antes de abordar los ajustes específicos de realidad mixta.

# 4 RESULTADOS

## 4.1 Descripción del apartado

Una vez descrito en el capítulo anterior el proceso seguido para el diseño, modelado, ensamblaje, renderizado e integración del DPV en un entorno de realidad mixta, en el presente apartado se exponen los resultados obtenidos a lo largo de dicho desarrollo. El objetivo de este capítulo no es repetir el procedimiento ya explicado, sino presentar el resultado final alcanzado en cada una de sus fases y valorar su utilidad dentro del enfoque general del trabajo.

En primer lugar, se muestra el resultado correspondiente al modelo CAD, prestando especial atención al aspecto final del ensamblaje, a la coherencia formal del conjunto, a la lectura visual de sus principales subconjuntos y a la calidad de su representación gráfica. En este sentido, se recogen distintas vistas renderizadas del modelo, seleccionadas con el propósito de facilitar una comprensión global del DPV y de poner de manifiesto aquellos detalles geométricos y constructivos que resultan más significativos desde el punto de vista técnico.

En segundo lugar, se incorpora la planimetría generada a partir del modelo tridimensional en el anexo correspondiente, cuya organización y estructura se presentan en este apartado. La inclusión de esta documentación permite demostrar que el trabajo desarrollado no se limita a la elaboración de una maqueta visual de carácter expositivo, sino que da lugar a un modelo suficientemente definido y ordenado como para producir documentación técnica estructurada. De este modo, el resultado del modelado trasciende la mera representación gráfica y se proyecta también sobre el terreno de la documentación mecánica.

Por último, se presenta el resultado correspondiente a la informática gráfica y a la visualización inmersiva del modelo. En este caso, el interés del resultado no reside en la simulación funcional del dispositivo ni en la implementación de interacciones complejas, sino en la posibilidad de trasladar el modelo CAD al entorno de realidad mixta y observarlo con estabilidad, escala coherente y buena legibilidad espacial. De este modo, se permite valorar hasta qué punto el objetivo principal del trabajo ha sido alcanzado: obtener una representación técnica y visual del DPV apta para su exploración inmersiva.

En conjunto, este capítulo actúa como cierre material del desarrollo expuesto previamente. A través de él se comprueba que las decisiones adoptadas durante el modelado, la definición de subconjuntos, el tratamiento visual del ensamblaje y la integración en el entorno inmersivo han dado lugar a un resultado coherente con la finalidad del TFG. El valor del resultado no se encuentra únicamente en la existencia de un modelo final, sino en el hecho de que dicho modelo responde de manera consistente a los objetivos planteados desde el inicio: representar el DPV con suficiente fidelidad visual, documentarlo con criterios

propios de la ingeniería mecánica y hacerlo accesible mediante una visualización inmersiva capaz de reforzar su comprensión espacial.

## 4.2 Resultado del modelo CAD

### *4.2.1 Modelo digital*

El principal resultado obtenido en esta fase del trabajo ha sido la generación de un modelo digital tridimensional completo del scooter subacuático seleccionado, desarrollado en Autodesk Inventor y organizado de manera coherente desde el punto de vista geométrico, espacial y constructivo. El conjunto final reproduce la configuración general del DPV estudiado y permite identificar con claridad su volumen principal, la distribución de sus elementos externos, la relación entre subconjuntos y la lógica general del ensamblaje.

A diferencia de una representación conceptual, el modelo alcanzado presenta un nivel de definición suficiente como para reflejar no solo la envolvente exterior del dispositivo, sino también la estructura general de sus componentes principales y su integración dentro del conjunto. Esto confiere al resultado un valor doble. Por un lado, permite representar visualmente el DPV con una apariencia cercana a la de un producto real. Por otro, facilita la lectura técnica del sistema, ya que hace posible distinguir el cuerpo principal, la zona de propulsión, los elementos de interfaz con el usuario y los principales volúmenes funcionales del dispositivo.

La Figura 4-1 muestra la vista isométrica general renderizada del DPV ensamblado. Esta imagen actúa como figura de referencia principal del capítulo, ya que resume el resultado global del modelado y permite apreciar la configuración completa del dispositivo. En ella se observa con claridad la morfología general del conjunto, la continuidad entre sus diferentes zonas y la coherencia formal alcanzada tras el ensamblaje. La elección de esta vista como apertura del apartado responde a su capacidad para condensar en una sola imagen la lectura más completa del modelo, ofreciendo al lector una visión global a partir de la cual interpretar el resto de las figuras.



**Figura 4-1 Vista isométrica general renderizada del DPV ensamblado**

A partir de esta vista global, la Figura 4-2 presenta una vista lateral renderizada del conjunto completo. Esta representación resulta especialmente adecuada en un producto como el DPV, cuya morfología queda fuertemente condicionada por su desarrollo en el eje de avance. La vista lateral permite valorar de forma más precisa la relación entre proa y popa del conjunto, la transición entre cuerpo

principal y sistema propulsivo y la proporción relativa entre longitud total, altura y zona de agarre del dispositivo. Gracias a esta figura, el lector puede comprender mejor la lógica longitudinal del modelo y la forma en que sus partes se articulan a lo largo del eje principal.

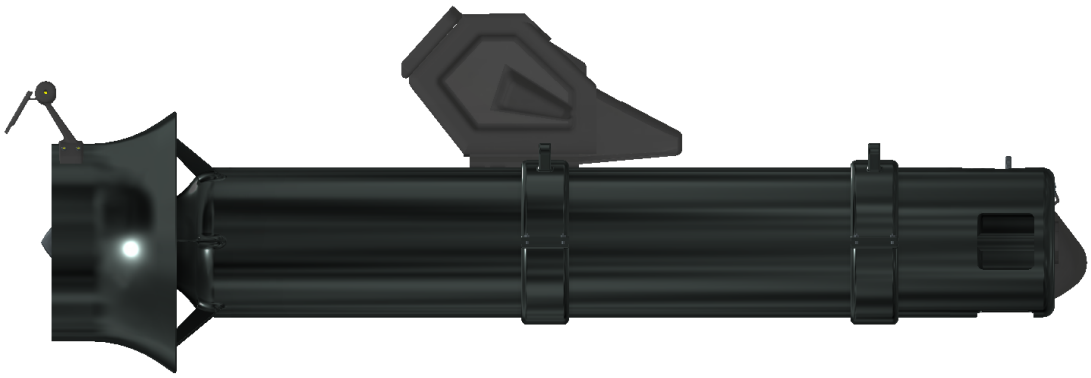


**Figura 4-2 Vista lateral renderizada del DPV**

La Figura 4-3 recoge la vista superior del modelo y está orientada a mostrar la geometría en planta y la simetría general del conjunto. Esta vista permite poner de manifiesto la anchura útil del cuerpo principal, la disposición de las empuñaduras o zonas de control y la manera en que el modelo reparte sus volúmenes laterales alrededor del eje central. En un vehículo de estas características, donde la percepción hidrodinámica del conjunto posee una gran relevancia visual, la vista en planta contribuye además a reforzar la idea de continuidad formal, integración y compacidad. Su inclusión completa la lectura geométrica del modelo desde las tres perspectivas fundamentales: visión general, desarrollo lateral y configuración superior.



**Figura 4-3 Vista superior renderizada del DPV**

La Figura 4-4 se centra en el sistema propulsivo y en la zona posterior del DPV. Esta parte del modelo concentra uno de los principales focos de interés técnico y funcional, ya que en ella se materializa la capacidad de propulsión del dispositivo. La imagen permite apreciar con mayor claridad la resolución formal del subconjunto de propulsión, la transición entre carcasa y cola del dispositivo y el tratamiento geométrico de la zona donde se genera el empuje. La incorporación de esta figura demuestra que el modelado no se ha limitado a definir una silueta exterior general, sino que ha atendido también a aquellos puntos en los que el sistema adquiere mayor significado mecánico.



**Figura 4-4 Vista frontal renderizada del DPV**

La Figura 4-5 muestra la zona de interacción entre el dispositivo y el buceador. En ella se representa con mayor proximidad el área correspondiente a empuñaduras, mandos o superficies principales de contacto. Esta imagen desplaza la atención desde la escala del conjunto hasta la escala de uso, lo que permite poner de manifiesto que el modelo no se ha concebido únicamente como una carcasa exterior, sino como un sistema organizado en torno a su relación física con el operador. De este modo, la figura refuerza el valor funcional del modelado y muestra cómo la resolución formal del producto se vincula también con su empleo previsto.



**Figura 4-5 Monitor principal y manillar individual**

Además de las vistas sólidas, la Figura 4-6 y Figura 4-7 incorporan una representación semitransparente del conjunto. Esta imagen permite observar simultáneamente la envolvente exterior y la disposición relativa de determinados subconjuntos internos o volúmenes funcionales. Su presencia en el capítulo resulta especialmente útil porque hace visible la lógica espacial del diseño sin necesidad de recurrir todavía a una descomposición completa del sistema. Desde el punto de vista académico, esta figura posee un valor expositivo notable, ya que permite al lector entender mejor cómo se organiza el volumen interno del DPV y cómo se relacionan entre sí las principales zonas funcionales del modelo.

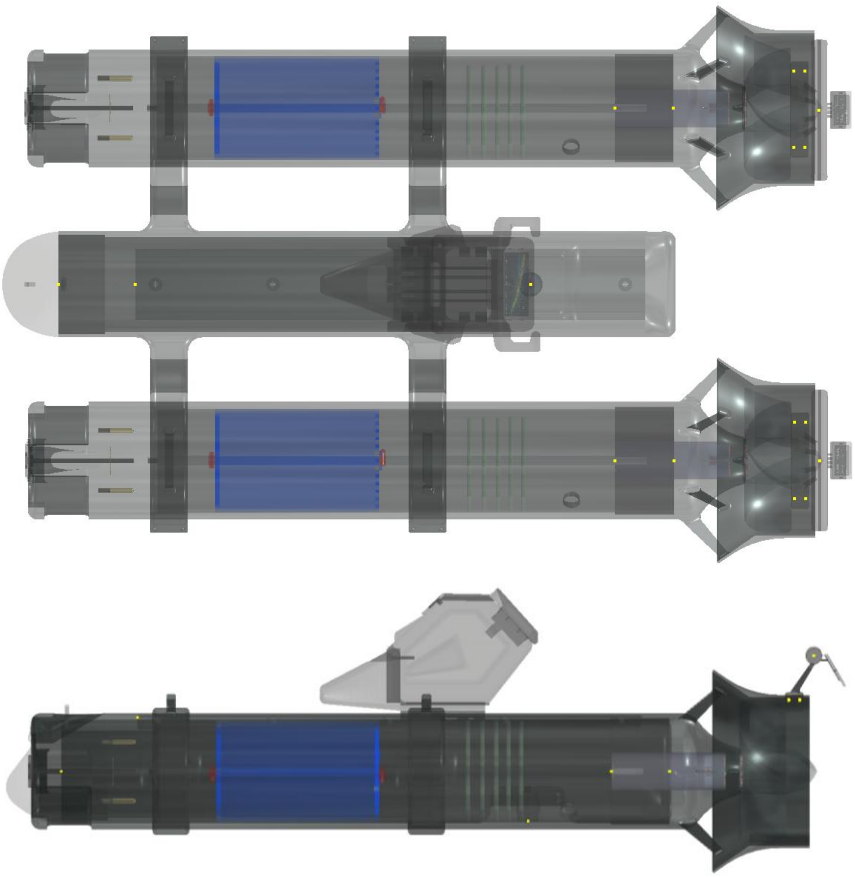


**Figura 4-6 Vistas semitransparentes del DPV (1)**

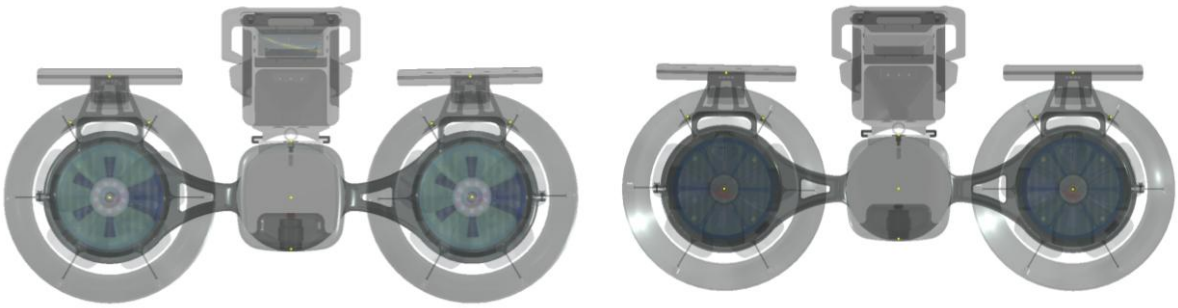


**Figura 4-7 Vistas semitransparentes del DPV (2)**

La Figura 4-8 recoge una sección del modelo digital del DPV, longitudinal o transversal, según la que haya resultado más expresiva para la lectura del conjunto. Esta representación pone de manifiesto la relación entre carcasa exterior, espacio interno útil, posición de componentes y coherencia general del reparto volumétrico. Su interés reside en que muestra el modelo como una geometría susceptible de análisis y no únicamente como una visualización exterior de carácter estético. La sección refuerza el carácter técnico del trabajo y permite comprobar que el volumen desarrollado posee consistencia espacial y sentido constructivo.



**Figura 4-8. Sección longitudinal/transversal renderizada del DPV**

La Figura 4-9 presenta la vista explosionada general del conjunto. A través de ella se aprecia la descomposición ordenada de los principales subconjuntos del modelo, así como la relación jerárquica que existe entre las diferentes piezas que integran el sistema. Esta imagen posee un valor especialmente relevante dentro del capítulo porque enlaza de forma directa con la dimensión didáctica y explicativa del modelo digital. El explosionado permite interpretar con claridad cómo se organiza el DPV, qué función ocupa cada subconjunto dentro del conjunto global y de qué manera se articula el ensamblaje completo.

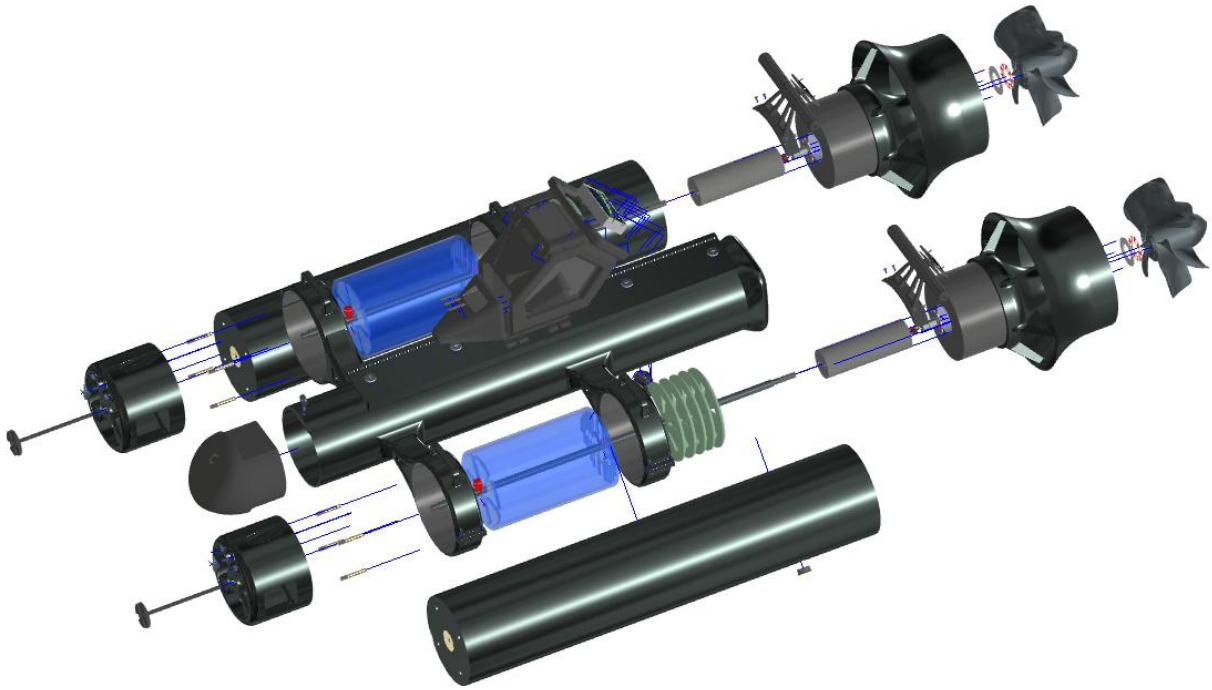


**Figura 4-9 Vista explosionada general del conjunto del DPV**

La lectura conjunta de las figuras anteriores permite valorar el resultado del modelo CAD como satisfactorio desde el punto de vista de los objetivos planteados en el trabajo. El modelo final no solo presenta una apariencia suficientemente realista y coherente con el dispositivo de referencia, sino que además permite una lectura técnica clara del sistema. Esto significa que el resultado obtenido cumple con dos requisitos esenciales: representar con fidelidad razonable el producto seleccionado y servir de base sólida para su documentación gráfica y su posterior incorporación al entorno inmersivo.

Desde un punto de vista más concreto, el resultado del modelado presenta varias fortalezas. En primer lugar, el conjunto mantiene una coherencia formal clara entre sus distintas partes, evitando la percepción de piezas inconexas o volúmenes añadidos sin continuidad geométrica. En segundo lugar, el modelo permite una identificación inmediata de los subconjuntos principales, lo que favorece su lectura como sistema técnico y no solo como objeto visual. En tercer lugar, el tratamiento gráfico aplicado mediante el renderizado aporta al conjunto una presencia visual convincente, reforzando la calidad expositiva del resultado y mejorando su legibilidad en memoria.

Debe señalarse, no obstante, que el valor principal del resultado no reside en la exactitud dimensional absoluta de cada uno de sus detalles, sino en la coherencia global del conjunto, en la correcta proporción entre sus partes y en la capacidad del modelo para funcionar como recurso de análisis y representación. En un trabajo como el presente, orientado al modelado digital y a la visualización inmersiva, esta coherencia formal y espacial resulta más relevante que una reproducción estrictamente industrial del sistema real, y constituye precisamente el criterio que permite considerar el resultado alcanzado como técnicamente válido y académicamente útil.

En consecuencia, el modelo digital desarrollado puede entenderse como un resultado plenamente satisfactorio dentro del marco real del TFG. No se trata de una simple reconstrucción gráfica, sino de una maqueta digital estructurada, visualmente consistente y suficientemente madura como para sostener tanto la documentación mecánica del sistema como su posterior exploración en realidad mixta.

### *4.2.2 Planimetría*

Otro de los resultados derivados del modelado tridimensional ha sido la generación de la planimetría asociada al modelo desarrollado. Esta documentación constituye una prolongación directa del trabajo realizado en Autodesk Inventor, ya que traduce la geometría obtenida en el entorno CAD a un formato técnico ordenado, interpretable y apto para su inclusión en el anexo correspondiente de la memoria.

La relevancia de esta fase no debe entenderse únicamente desde el punto de vista formal. La elaboración de planos confirma que el modelo digital alcanzado dispone de una estructura suficientemente coherente como para producir vistas normalizadas, explosionados, representaciones de conjunto y despieces de piezas individuales. En este sentido, la planimetría actúa también como una forma de validación del propio modelado, puesto que obliga a que la geometría se encuentre correctamente definida, a que las relaciones entre componentes sean consistentes y a que el ensamblaje global pueda descomponerse de manera clara y ordenada.

Además, la documentación planimétrica refuerza el carácter técnico del trabajo. Mientras que las vistas renderizadas y la visualización inmersiva permiten comunicar el resultado desde una perspectiva gráfica y espacial, los planos trasladan ese mismo resultado al ámbito propio de la representación mecánica. De este modo, el modelo desarrollado no se limita a ser una maqueta digital con valor expositivo, sino que adquiere también una dimensión documental plenamente integrada dentro del enfoque del proyecto.

La planimetría generada se ha elaborado empleando escalas normalizadas 1:1, 1:2 y 1:5, recurriéndose además, cuando la disposición de la pieza o del conjunto lo ha requerido, a la relación 1:4 mediante escalímetro. Todos los planos realizados tienen carácter proyectivo y documental, no constructivo, por lo que su finalidad es representar de forma clara la geometría del modelo, la organización de sus subconjuntos y la identificación de sus componentes, sin incorporar cotas de fabricación propias de una otro tipo de documentación.

La planimetría elaborada consta de un total de 40 planos, organizados en varios bloques bien diferenciados. En primer lugar, se incluyen cinco planos dedicados al conjunto general del DPV, orientados a ofrecer una lectura global del ensamblaje completo. A continuación, se desarrollan los planos correspondientes a los distintos subconjuntos que componen el sistema: conjunto proa-nose, conjunto tubo principal, conjunto propulsor, conjunto monitor principal y conjunto carcasa-acople

bitubular. Finalmente, se incorporan un plano específico correspondiente al explosionado del conjunto sonar y un último plano dedicado a la tornillería, arandelas y tuercas empleadas en el ensamblaje.

La Tabla 4-1 recoge la planimetría general del conjunto DPV, correspondiente a los planos 1 a 5. Este primer bloque reúne la documentación básica necesaria para interpretar el sistema como un todo antes de descender al detalle de sus subconjuntos. Se incluyen dos vistas isométricas del ensamblaje completo, una en color y otra en línea, que permiten presentar el modelo desde una perspectiva general tanto con una lectura visual más representativa como con una lectura más técnica. A continuación, se incorporan las vistas principales del ensamblaje completo, también en versión a color y en línea, con el fin de mostrar el DPV según las proyecciones fundamentales. Finalmente, el quinto plano recoge el explosionado general del conjunto, lo que permite comprender la organización global del sistema y la relación jerárquica entre sus principales bloques funcionales.

| Designación | Plano |
|---|---|
| Vista isométrica del ensamblaje completo a color | 1 |
| Vista isométrica del ensamblaje completo a línea | 2 |
| Vistas principales del ensamblaje completo a color | 3 |
| Vistas principales del ensamblaje completo a línea | 4 |
| Explosionado general del DPV | 5 |

**Tabla 4-1 Planos del conjunto general del DPV**

Este primer bloque actúa como síntesis planimétrica del proyecto, ya que proporciona una visión completa del modelo antes de abordar el análisis detallado de cada subconjunto. Su función dentro del anexo es equivalente a la que desempeñan las vistas generales dentro del apartado de modelo digital: fijar una referencia clara del resultado global y situar al lector dentro de la arquitectura general del dispositivo.

La Tabla 4-2 corresponde al conjunto proa-nose, desarrollado en los planos 6 a 12. En este bloque se incluye, en primer lugar, el explosionado del subconjunto, seguido por los despieces de cada una de las piezas que lo integran. De este modo, el conjunto queda documentado tanto desde una perspectiva de ensamblaje como desde el punto de vista individual de cada componente. Las piezas representadas son: proa nose, tornillo de acople nose, hélice pequeña, tubo hélice, tuerca nose y rosca nose.

| Designación | Plano |
|---|---|
| Explosionado del conjunto proa-nose | 6 |
| Despiece de la proa nose | 7 |
| Despiece del tornillo de acople nose | 8 |
| Despiece de la hélice pequeña | 9 |
| Despiece del tubo hélice | 10 |
| Despiece de la tuerca nose | 11 |
| Despiece de la rosca nose | 12 |

**Tabla 4-2 Planos del conjunto proa-nose**

La representación de este subconjunto posee un interés especial porque documenta la zona delantera del DPV, una parte relevante tanto desde el punto de vista formal como funcional. El hecho de presentar primero el explosionado y después el detalle de cada pieza permite comprender la lógica de montaje del

conjunto y, al mismo tiempo, documentar con precisión la geometría individual de cada uno de sus elementos.

La Tabla 4-3 recoge la planimetría del conjunto tubo principal, desarrollada entre los planos 13 y 19. Este subconjunto se organiza del mismo modo que el anterior: un primer plano de explosionado seguido de los despieces de las piezas que lo componen. En este caso, se documentan la batería, el lastre, la barra de sujeción, la tapa del cargador, la sujeción y el tubo principal.

| Designación | Plano |
|---|---|
| Explosionado del conjunto tubo principal | 13 |
| Despiece de la batería | 14 |
| Despiece del lastre | 15 |
| Despiece de la barra de sujeción | 16 |
| Despiece de la tapa del cargador | 17 |
| Despiece de la sujeción | 18 |
| Despiece del tubo principal | 19 |

**Tabla 4-3 Planos del conjunto tubo principal**

Este bloque tiene una importancia notable dentro de la planimetría general, ya que documenta la parte central del DPV, es decir, el volumen principal sobre el que se articula el resto del sistema. En él se integran componentes que no solo poseen relevancia estructural, sino también funcional, como es el caso del compartimento energético y de los elementos de fijación y reparto interno. Por ello, esta documentación permite comprender mejor la lógica constructiva del núcleo principal del dispositivo.

La Tabla 4-4 está dedicada al conjunto propulsor, desarrollado entre los planos 20 y 28. Se trata de uno de los subconjuntos más importantes del modelo, ya que concentra la función principal del DPV. El bloque comienza con el explosionado del subconjunto propulsor y continúa con los despieces de todas las piezas que lo integran: acople rotor, rotor primario, rotor secundario, tapa turbina, acople popa, turbina, manillar individual y dispositivo individual de navegación.

| Designación | Plano |
|---|---|
| Explosionado del conjunto propulsor | 20 |
| Despiece del acople rotor | 21 |
| Despiece del rotor primario | 22 |
| Despiece del rotor secundario | 23 |
| Despiece de la tapa turbina | 24 |
| Despiece del acople popa | 25 |
| Despiece de la turbina | 26 |
| Despiece del manillar individual | 27 |
| Despiece del dispositivo individual de navegación | 28 |

**Tabla 4-4 Planos del conjunto propulsor**

La amplitud de este bloque dentro de la planimetría refleja su peso específico dentro de la arquitectura del modelo. Su documentación permite analizar con detalle la zona posterior y funcional del DPV, así como la forma en que los diferentes elementos del subconjunto se integran entre sí. El explosionado inicial facilita la comprensión del sistema como conjunto, mientras que los planos individuales permiten documentar cada componente desde un enfoque estrictamente mecánico.

La Tabla 4-5 recoge los planos correspondientes al conjunto monitor principal, distribuidos entre los planos 29 y 34. Como en los subconjuntos anteriores, el primer plano muestra el explosionado del conjunto, seguido de los despieces de cada una de las piezas que lo componen: regulador guía, regulador de posición, carcasa monitor, pantalla principal y monitor principal.

| Designación | Plano |
|---|---|
| Explosionado del conjunto monitor principal | 29 |
| Despiece del regulador guía | 30 |
| Despiece del regulador de posición | 31 |
| Despiece de la carcasa monitor | 32 |
| Despiece de la pantalla principal | 33 |
| Despiece del monitor principal | 34 |

**Tabla 4-5 Planos del conjunto monitor principal**

Este subconjunto posee un interés particular dentro del trabajo porque documenta uno de los elementos más directamente vinculados a la lectura, control o interpretación del sistema por parte del usuario. Su representación refuerza la dimensión funcional del modelo y evidencia que el trabajo ha prestado atención no solo a las zonas estructurales o propulsivas, sino también a aquellos elementos que intervienen en la interfaz y en la capacidad de navegación o guiado del dispositivo.

La Tabla 4-6 agrupa la planimetría correspondiente al conjunto carcasa-acople bitubular, desarrollada en los planos 35 a 38. Este bloque comienza con el explosionado general del subconjunto y continúa con los despieces de las piezas que lo integran: carcasa acople bitubular, tapa proa acople bitubular y anclaje-equipos.

| Designación | Plano |
|---|---|
| Explosionado del conjunto carcasa-acople bitubular | 35 |
| Despiece de la carcasa acople bitubular | 36 |
| Despiece de la tapa proa acople bitubular | 37 |
| Despiece del anclaje-equipos | 38 |

**Tabla 4-6 Planos del conjunto carcasa-acople bitubular**

La documentación de este subconjunto resulta especialmente útil porque permite representar la lógica de unión entre diferentes zonas del DPV y la forma en que ciertos elementos auxiliares o estructurales contribuyen a la configuración global del ensamblaje. Su presencia en la planimetría completa la lectura modular del diseño y refuerza la idea de que el modelo ha sido concebido a partir de una organización por subconjuntos con funciones bien definidas.

La Tabla 4-7 recoge el plano 39, correspondiente al explosionado del conjunto sonar. A diferencia de los bloques anteriores, en este caso se ha representado exclusivamente el explosionado del

subconjunto, lo que permite mostrar de forma directa su composición y su lógica de integración dentro del DPV.

| Designación | Plano |
|---|---|
| Explosionado conjunto sonar | 39 |

**Tabla 4-7 Plano del conjunto sonar**

Aunque este bloque queda representado mediante un único plano, su incorporación resulta significativa porque documenta un subconjunto con identidad propia dentro del sistema y contribuye a completar la visión global de la arquitectura del modelo. Su tratamiento individualizado dentro de la planimetría refuerza la claridad del anexo y evita diluir esta parte del dispositivo dentro de otros subconjuntos de mayor tamaño.

Por último, la Tabla 4-8 recoge el plano 40, dedicado a la tornillería, arandelas y tuercas empleadas en el conjunto DPV. En este caso, toda esta documentación se reúne en un único folio en formato A2, donde se representan los diferentes tipos de elementos normalizados utilizados en el ensamblaje mediante varias vistas que permiten identificar su geometría y distinguir sus distintas clases.

| Designación | Plano |
|---|---|
| Tornillos-Arandelas-Tuercas DPV | 40 |

**Tabla 4-8 Plano de tornillería, arandelas y tuercas**

La inclusión de este último plano tiene un valor especialmente técnico dentro del anexo, ya que completa la documentación del ensamblaje no solo a nivel de subconjuntos y piezas principales, sino también en lo relativo a los elementos de unión. De este modo, la planimetría alcanza un grado mayor de detalle y cierra de manera ordenada la representación documental del conjunto. Dichos elementos se han modelado de forma propia y no normalizada, de manera consciente, con el fin de mantener el control completo del diseño y asegurar su integración visual en el conjunto. Se trata, por tanto, de una decisión de carácter representativo dentro del modelo digital, y no de una propuesta orientada a fabricación normalizada.

Como complemento a este apartado, en el Anexo V: Modelo digital interactivo. se ha incorporado un modelo tridimensional del DPV, accesible por el usuario sin necesidad de disponer de ningún programa específico, con el fin de reforzar la interpretación visual del conjunto más allá de las figuras estáticas incluidas en la memoria. Este recurso permite al lector explorar el ensamblaje de forma dinámica a través de las vistas transparente, isométrica, alzado posterior, planta, inferior, perfil izquierdo, perfil derecho e ilustración, además de la representación sólida predeterminada. La inclusión de este anexo aporta un valor añadido al trabajo, ya que amplía las posibilidades de observación del modelo y facilita una comprensión más completa de su geometría, de la relación entre sus subconjuntos y de la configuración general del DPV.

En conjunto, la planimetría elaborada constituye un resultado de gran interés dentro del trabajo. Su organización en bloques claramente diferenciados permite documentar el modelo de forma progresiva, pasando de la visión general del DPV a la representación específica de cada subconjunto y finalizando con los elementos normalizados de unión. Esta estructura facilita la lectura del anexo y refuerza la comprensión técnica del diseño desarrollado.

Desde una perspectiva de valoración, la planimetría confirma varios aspectos esenciales del resultado alcanzado. En primer lugar, que la geometría del modelo se encuentra lo suficientemente definida como para dar lugar a documentación proyectiva completa. En segundo lugar, que la organización interna del ensamblaje responde a una lógica modular clara, en la que cada subconjunto

posee identidad propia y puede documentarse de manera autónoma. En tercer lugar, que el trabajo desarrollado puede interpretarse también como un ejercicio de representación técnica y no únicamente como una propuesta de modelado visual o de visualización inmersiva.

Por ello, la planimetría no constituye un anexo accesorio, sino uno de los resultados que mejor evidencian la solidez del modelo alcanzado. Su existencia amplía de manera notable el valor del TFG, ya que demuestra que el modelo digital del DPV no solo puede ser mostrado y explorado visualmente, sino también descrito, descompuesto y documentado con criterios propios de la ingeniería mecánica.

## 4.3 Informática gráfica y visualización inmersiva

La informática gráfica constituye la fase final del flujo de trabajo desarrollado en este proyecto, ya que es el medio que permite trasladar el modelo digital del DPV desde el entorno CAD a una representación inmersiva comprensible, estable y visualmente coherente. En el marco de este Trabajo Fin de Grado, su interés no se encuentra en la simulación funcional del dispositivo ni en la creación de una aplicación compleja de interacción avanzada, sino en la posibilidad de mostrar el modelo tridimensional dentro de un entorno de realidad mixta de forma clara y espacialmente creíble. Esta función encaja con el propio planteamiento del trabajo, cuyo objetivo es que el modelo pueda representarse en realidad mixta de manera precisa, estable e inmersiva.

A diferencia de otros desarrollos en los que el motor gráfico se utiliza para programar menús, sistemas de selección, animaciones complejas o lógicas avanzadas de exploración, en este proyecto la informática gráfica se pone al servicio de la representación técnica del modelo. Su finalidad es que el usuario pueda observar el DPV con mayor naturalidad espacial que la ofrecida por las vistas renderizadas convencionales o por la consulta de planos, reforzando así la comprensión del volumen general del conjunto, la relación entre sus partes y la percepción de escala. Esa misma idea aparece también en tu memoria cuando se define la relación entre informática gráfica y realidad mixta como dos fases consecutivas de un mismo proceso: modelado en CAD, preparación del archivo digital, importación en Unreal Engine 5.6 y visualización final en un entorno compatible con el visor empleado.

El resultado de esta fase pone de manifiesto que el modelo generado en Autodesk Inventor ha podido incorporarse correctamente al entorno desarrollado en Unreal Engine 5.6 y visualizarse mediante el visor Meta Quest 3. En consecuencia, la informática gráfica no debe entenderse aquí como un bloque independiente del modelado, sino como la prolongación natural de éste. Si el CAD aporta la geometría, la estructura y la lógica del ensamblaje, la informática gráfica aporta la capacidad de situar ese modelo en una escena inmersiva en la que pueda ser observado de forma más intuitiva. En tu propio texto ya se recoge esta idea al señalar que el valor de la informática gráfica no radica en una experiencia interactiva compleja, sino en hacer posible una representación tridimensional clara y técnicamente útil del DPV.

La Figura 4-10 recoge de forma sintética el resultado principal de esta fase. Se trata de una figura compuesta que reúne, por un lado, la imagen del usuario utilizando las gafas Meta Quest 3 y, por otro, la imagen correspondiente a la visualización que recibe a través del visor durante la experiencia de realidad mixta. La inclusión conjunta de ambas vistas permite mostrar de manera directa la relación entre el dispositivo físico empleado para la visualización inmersiva y el contenido digital proyectado en él, estableciendo un vínculo claro entre la interacción real del usuario y la representación virtual del modelo.

Esta composición resulta especialmente útil dentro del capítulo, ya que no solo documenta la utilización efectiva del sistema en condiciones reales de uso, sino que también ayuda a entender de forma visual cómo se materializa la integración entre el entorno físico del usuario y el modelo digital del DPV. De este modo, la figura no se limita a ilustrar un resultado técnico, sino que también sirve para evidenciar la finalidad de esta fase del proyecto: comprobar que el modelo puede visualizarse de forma coherente en un contexto de realidad mixta, manteniendo una relación espacial clara con el entorno y con la experiencia del usuario.

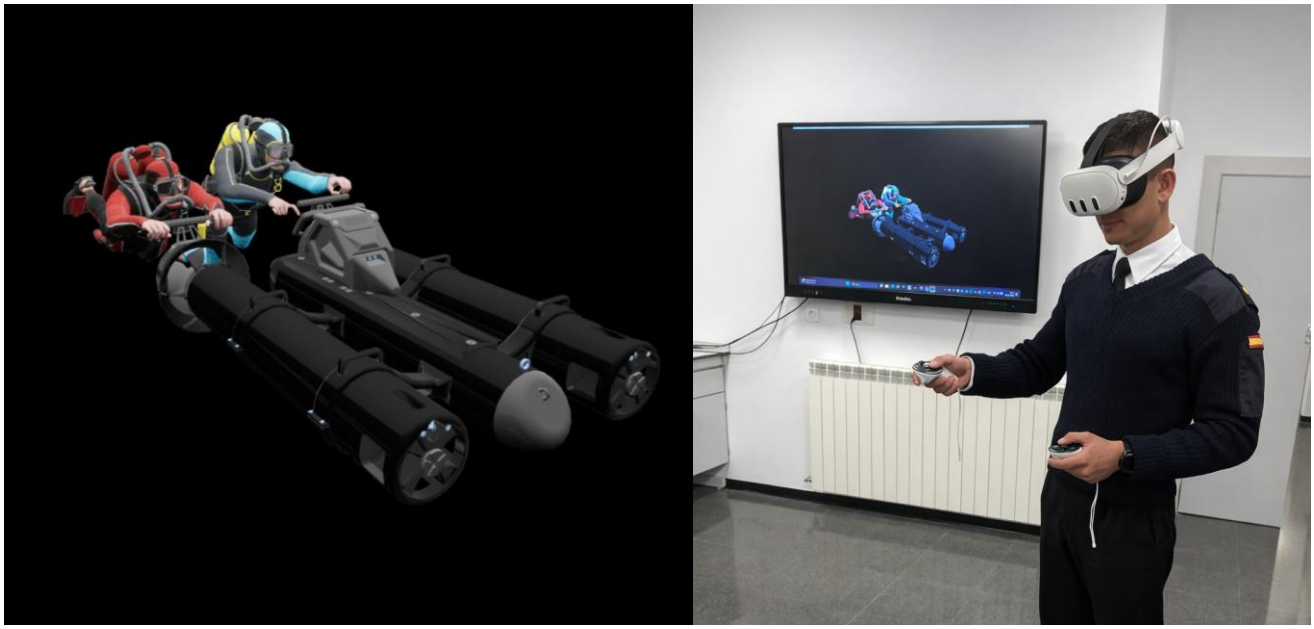


**Figura 4-10 Usuario visualizando el entorno RM con Meta Quest 3**

La primera imagen de esta figura, en la que aparece el usuario equipado con las gafas Meta Quest 3, tiene valor documental dentro del trabajo porque evidencia el uso real del visor como medio de acceso a la experiencia inmersiva. No se trata únicamente de mostrar el hardware empleado, sino de dejar constancia del contexto en el que se produce la visualización del modelo. Esta imagen sitúa el resultado en un marco de uso concreto y hace visible que la representación del DPV no se limita a una escena virtual aislada en el ordenador, sino que se experimenta directamente a través de un sistema de realidad mixta.

La segunda imagen de la figura muestra el entorno de realidad mixta tal y como es percibido por el usuario a través del visor. Su interés principal reside en que permite observar el modelo del DPV ya integrado en el espacio de visualización, evidenciando la forma en que el objeto digital se presenta dentro del entorno real. Esta parte de la figura es especialmente significativa, ya que muestra de manera inmediata el resultado visual alcanzado: un modelo tridimensional estable, legible y con una presencia espacial coherente. En ella se aprecia que el DPV no aparece como una imagen plana o como un recurso meramente decorativo, sino como un elemento virtual situado con sentido dentro del campo de visión del usuario.

La lectura conjunta de ambas imágenes refuerza una de las ideas centrales del trabajo: la realidad mixta no se incorpora como un elemento accesorio, sino como una herramienta que mejora la comprensión espacial del modelo. La posibilidad de observar el DPV desde el visor, integrado en el entorno real y a una escala visualmente creíble, aporta una percepción mucho más directa de su volumen, de sus proporciones y de la relación entre sus subconjuntos. Esta mejora de la lectura espacial constituye precisamente una de las aportaciones más relevantes del resultado inmersivo, ya que transforma el modelo CAD en un recurso visual más intuitivo y más eficaz desde el punto de vista expositivo.

La Figura 4-11 complementa esta lectura mediante una captura del entorno de realidad mixta visualizado en el ordenador. A diferencia de la figura anterior, aquí el interés no se centra tanto en la experiencia del usuario con el visor como en la representación del entorno gráfico desde el puesto de control en el PC. Esta imagen permite mostrar con claridad el escenario desde el que se supervisa y ejecuta la experiencia inmersiva, así como la forma en que el modelo del DPV queda representado en pantalla durante el uso del sistema.



**Figura 4-11 Experiencia de inmersión en RM del usuario desde el PC**

La inclusión de esta figura resulta relevante porque añade una segunda lectura del resultado gráfico. Mientras la figura anterior pone el foco en la experiencia inmersiva del usuario, la captura del PC muestra el entorno desde una perspectiva de seguimiento y control. De este modo, el capítulo no presenta solo el resultado "visto" por el usuario final, sino también la representación del mismo entorno desde el sistema que lo soporta. Esto contribuye a reforzar la idea de continuidad entre el trabajo realizado en el motor gráfico y su materialización efectiva en la experiencia de realidad mixta.

Desde el punto de vista del análisis de resultados, la informática gráfica desarrollada en este TFG puede considerarse satisfactoria por varias razones. En primer lugar, porque ha permitido conservar la coherencia del modelo CAD una vez trasladado al entorno gráfico. El DPV mantiene en realidad mixta la identidad formal definida durante el modelado, sin perder legibilidad ni claridad en la lectura de sus volúmenes principales. En segundo lugar, porque la representación obtenida resulta estable y comprensible, lo que permite que el modelo pueda ser examinado en un entorno inmersivo sin que se diluya su valor técnico. En tercer lugar, porque el uso de Meta Quest 3 como visor de realidad mixta se demuestra adecuado al objetivo del proyecto, al facilitar una observación directa del modelo dentro del entorno del usuario. En tu memoria ya se justifica precisamente que la elección de este visor responde a su adecuación funcional al objetivo del trabajo: integrar un modelo mecánico complejo en un entorno de realidad mixta que permita comprender mejor su geometría, su ensamblaje y su lógica estructural.

Más allá del valor puramente visual, esta fase aporta también un valor académico claro. El proyecto no persigue el desarrollo de un gemelo digital operativo ni la simulación dinámica del comportamiento real del DPV, sino la construcción de una representación digital rigurosa que permita comprenderlo mejor. En este contexto, la informática gráfica actúa como puente entre la precisión geométrica del modelado mecánico y la capacidad de observación espacial que proporciona la realidad mixta. El resultado no sustituye a la documentación técnica ni al análisis del diseño, pero sí amplía de forma notable la capacidad de interpretar el modelo, especialmente en lo relativo a su escala aparente, a la relación entre sus partes y a su presencia volumétrica en el espacio.

En consecuencia, el resultado alcanzado en esta fase puede considerarse plenamente coherente con los objetivos del trabajo. La informática gráfica ha permitido transformar el modelo digital del DPV en una representación inmersiva clara, visualmente estable y espacialmente útil. Gracias a ello, el trabajo no concluye únicamente con una maqueta digital bien resuelta en CAD, sino con una visualización en

realidad mixta que refuerza su valor didáctico, comunicativo y expositivo. Desde este punto de vista, la fase de informática gráfica cierra de forma consistente el desarrollo del proyecto y confirma que la combinación entre modelado mecánico y visualización inmersiva constituye una vía válida para la representación técnica de sistemas complejos.

# 5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

## 5.1 Descripción del apartado

En este apartado se recogen las conclusiones principales derivadas del trabajo realizado, valorando el grado de cumplimiento de los objetivos planteados al inicio del TFG. Asimismo, se proponen varias líneas futuras de trabajo orientadas a ampliar y perfeccionar el alcance técnico y aplicado del proyecto desarrollado.

## 5.2 Conclusión de los objetivos iniciales

### *5.2.1 Diseño y modelado tridimensional del DPV en Autodesk Inventor*

El primer objetivo del trabajo se ha cumplido satisfactoriamente mediante el desarrollo de una maqueta digital tridimensional del DPV en Autodesk Inventor. El modelo obtenido presenta una geometría coherente, un nivel de detalle adecuado y una organización clara de sus principales subconjuntos, lo que permite comprender con precisión la configuración general del dispositivo.

Además, el resultado alcanzado no se limita a una representación exterior del vehículo, sino que constituye una base técnica suficientemente consistente como para generar ensamblajes, vistas renderizadas y documentación planimétrica asociada. En este sentido, el modelado realizado cumple tanto una función visual como una función de análisis y representación técnica del sistema.

### *5.2.2 Implementación del entorno de realidad mixta y programación en Unreal Engine*

El segundo objetivo también puede considerarse alcanzado. Se ha desarrollado un entorno de realidad mixta en Unreal Engine 5.6, preparando la escena de visualización y configurando los elementos necesarios para que el modelo pudiera ser representado de forma inmersiva.

Este resultado demuestra la viabilidad de trasladar un modelo diseñado en un entorno CAD a un motor gráfico orientado a la exploración espacial, manteniendo una visualización clara, estable y funcional. De este modo, la fase de informática gráfica ha actuado como una extensión del proceso de modelado y no como un elemento accesorio del trabajo.

### *5.2.3 Integración del modelo 3D en el entorno de realidad mixta*

El tercer objetivo se ha cumplido al lograrse la correcta integración del modelo tridimensional en el entorno de realidad mixta. El DPV ha podido ser visualizado con coherencia espacial, escala adecuada y suficiente claridad formal, permitiendo al usuario observar el conjunto desde diferentes posiciones y comprender mejor su volumen y distribución general.

Esta integración constituye uno de los resultados más relevantes del trabajo, ya que materializa el propósito principal del proyecto: transformar el modelo digital en una herramienta de observación, análisis y comunicación técnica más intuitiva que la ofrecida únicamente por planos o vistas CAD convencionales.

## 5.3 Objetivos adicionales

### *5.3.1 Incorporación de buzos operadores*

Durante el desarrollo del trabajo se alcanzó un objetivo adicional que no había sido planteado de forma inicial: la incorporación de buzos operadores como actores secundarios dentro de la interfaz de realidad mixta. Esta decisión surgió en una fase posterior del proyecto, con el propósito de enriquecer la escena, aportar contexto operativo al modelo tridimensional del DPV y mejorar la comprensión visual de su empleo en un entorno inmersivo. Para ello, los personajes fueron integrados en Unreal Engine 5.6 y ajustados específicamente para su interacción con el conjunto principal, superponiéndose de forma coherente al modelo 3D dentro de la escena de realidad mixta. Además, se modificaron sus apariencias y determinados rasgos corporales para lograr una integración visual más adecuada con el DPV modelado, y se seleccionaron y adaptaron animaciones acordes con la situación representada. De este modo, los buzos dejaron de ser un mero elemento decorativo para convertirse en actores secundarios funcionales dentro de la interfaz, reforzando el realismo, la lectura espacial del conjunto y el valor expositivo del resultado final.

## 5.4 Conclusión final

De forma global, puede concluirse que el Trabajo Fin de Grado ha permitido alcanzar el objetivo general planteado: desarrollar una maqueta digital tridimensional fiel y técnicamente coherente de un DPV de uso militar, así como integrarla en un entorno de realidad mixta que mejore su comprensión espacial y su valor expositivo. A ello se suma, además, la consecución de un objetivo adicional surgido durante el desarrollo del proyecto, consistente en la incorporación de buzos operadores como actores secundarios dentro de la interfaz inmersiva, lo que ha contribuido a reforzar el contexto visual y la interpretación funcional del conjunto.

El trabajo muestra que la combinación entre modelado CAD, documentación gráfica y visualización inmersiva constituye una vía válida para representar, analizar y comunicar sistemas mecánicos complejos sin necesidad de recurrir en una primera fase a un prototipo físico. En este sentido, el proyecto aporta una base sólida desde el punto de vista técnico.

Asimismo, el resultado final confirma la utilidad de la realidad mixta como herramienta de apoyo a la ingeniería gráfica, ya que permite observar el modelo en el espacio del usuario, mejorar la percepción del conjunto y reforzar la interpretación de sus principales subconjuntos. Por ello, el trabajo puede valorarse de forma positiva como un proyecto equilibrado, coherente con los objetivos definidos y con capacidad para servir de base a futuras ampliaciones.

## 5.5 Líneas futuras

### *5.5.1 Corto plazo: Perfeccionamiento del entorno inmersivo de realidad mixta*

Una primera línea futura consiste en ampliar las capacidades del entorno inmersivo desarrollado. Aunque el modelo ya ha sido integrado correctamente en realidad mixta, todavía existe margen para incorporar funciones adicionales que mejoren su utilidad técnica y didáctica, como sistemas de etiquetado de componentes, secciones dinámicas o menús interactivos más completos.

Este perfeccionamiento permitiría que la experiencia de visualización no se limitase a la observación del modelo, sino que evolucionase hacia una herramienta de análisis, explicación y familiarización técnica del DPV.

### *5.5.2 Medio plazo: Estudio hidrodinámico y ergonómico*

Otra línea futura especialmente interesante sería utilizar el modelo desarrollado como base para estudios de validación digital. A partir de la geometría obtenida, podrían plantearse análisis orientados al comportamiento hidrodinámico del conjunto, evaluando aspectos como su forma, el reparto de volúmenes o la influencia de determinadas decisiones de diseño sobre el desplazamiento bajo el agua.

De forma complementaria, también resultaría de interés profundizar en la ergonomía del dispositivo, estudiando con mayor detalle la disposición de mandos, apoyos y zonas de interacción con el operador. Esta línea ampliaría el trabajo desde la representación técnica hacia una evaluación más próxima al comportamiento funcional del producto.

### *5.5.3 Largo plazo: Creación de un prototipo real*

Una tercera línea futura sería la fabricación de un prototipo físico a partir del modelo digital desarrollado. La existencia de una maqueta CAD completa y estructurada facilitaría una posible materialización del diseño mediante técnicas de prototipado rápido, fabricación aditiva o procesos de mecanizado adaptados al nivel de detalle deseado.

La creación de un prototipo permitiría comprobar de forma tangible aspectos relacionados con dimensiones, ensamblaje, accesibilidad y percepción real del volumen, además de constituir un paso natural hacia una validación más práctica del diseño. Esta línea supondría, por tanto, el paso desde la representación digital hacia una fase inicial de materialización.

### *5.5.4 Largo plazo: Realidad mixta en para instrucción, mantenimiento y uso compartido*

Por último, una línea futura de especial valor consistiría en evolucionar el proyecto hacia un entorno de realidad mixta más orientado a la instrucción técnica. En esta ampliación podrían integrarse funciones de guiado para familiarización con el sistema, identificación de componentes, secuencias básicas de desmontaje o mantenimiento, todo ello dentro de una experiencia inmersiva más estructurada.

A su vez, esta evolución podría complementarse con un uso multiusuario, permitiendo que varios usuarios compartiesen simultáneamente la visualización del mismo modelo y participasen en sesiones de explicación, análisis o instrucción colectiva. De este modo, el proyecto pasaría de ser una herramienta individual de observación a convertirse en un recurso colaborativo de apoyo a la formación y al análisis técnico del DPV.

# 6 BIBLIOGRAFÍA

[1] «Informe final de valoración. JAT. Suministro de cinco (5) scooters submarinos para el CBA». 2025. Accedido: 19 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://contrataciondelestado.es/FileSystem/servlet/GetDocumentByIdServlet?DocumentIdParam=NG

[2] Defensa.com, «Drivejet RD2, el nuevo scooter submarino de la FGNE», 30 de agosto de 2022. Accedido: 19 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.defensa.com/defensa-naval/drivejet-rd2-nuevo-vehiculo-infiltracion-submarina-para-fuerza

[3] C. C. Aceto, «Combat Swimmers», Combat Swimmers, Naval Institute Press, 2003.

[4] R. Morris, «Underwater Warfare», Brassey's, 1998.

[5] J. J. Sadkovich, The Italian Navy in World War II. Greenwood Press, 1994. Accedido: 18 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://search.worldcat.org/es/title/italian-navy-in-world-war-ii/oclc/28063538

[6] «Alexandria Harbour Attacks», Royal Navy Historical Branch. Accedido: 20 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.usni.org/magazines/proceedings/1956/february/italian-attack-alexandria-naval-base

[7] U.S. Navy, «Underwater Demolition Teams (UDT) - WWII», Naval History and Heritage Command, Accedido: 18 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.navsea.navy.mil/Media/News/Article-View/Article/1253017/navsea-recognizes-carderock-innovators-partners-for-unprecedented-naval-asset/

[8] C. J. Lambertsen, «Underwater Physiology». Accedido: 18 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://search.worldcat.org/es/title/1480234187

[9] «Mark 8 Mod 1 SEAL Delivery Vehicle (SDV)», Naval Sea Systems Command, Accedido: 20 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.navsea.navy.mil/Media/News/Article-View/Article/1253017/navsea-recognizes-carderock-innovators-partners-for-unprecedented-naval-asset/.

[10] J. Davies, «Military Diver Propulsion Systems», 2001.

[11] D. Rebikoff, Underwater Photography and Exploration. 1958.

[12] S. Exley y National Speleological Society Cave Diving Section, Basic Cave Diving: A Blueprint for Survival. Best Pub. Co., 1986. Accedido: 20 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://search.worldcat.org/title/Basic-cave-diving-%3A-a-blueprint-for-survival/oclc/25690159

[13] Armada Española, «Tercio de Armada (TEAR) / BRIMAR - Organización», Accedido: 18 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspannola/conocenosorganizacion/prefLang-es/03Flota--05FIM--09Tercio-Armada

[14] Armada Española, «Fuerza de Guerra Naval Especial (FGNE) - Organización / misión», Accedido: 20 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspannola/conocenosorganizacion/prefLang-es/03Flota--05FIM--11Fuerza-Guerra-Naval-Especial

[15] Armada Española, «Centro de Buceo de la Armada (CBA) - Misiones / Organización», Accedido: 20 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspannola/buquessuperficie/prefLang-es/16UBC--04centrobuceoarmada

[16] «Fuerza de Guerra Naval Especial (FGNE) - Reseña histórica», 2009, Accedido: 20 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspannola/conocenosnoticias/prefLang-es/00noticias--2009--06--NT-131-CREACION-FGNE-es?_pageAction=selectItem&_pageNum=300&_selectedNodeID=226010&paramNo=000000

[17] InfoDefensa, «La Armada comprará más escúteres submarinos de buceo para la FGNE», may 2023, Accedido: 13 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.infodefensa.com/texto-diario/mostrar/4280677/armada-comprara-escuteres-submarinos-buceo-fgne

[18] Wikipedia, «Diver propulsion vehicle», Accedido: 13 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://en.wikipedia.org/wiki/Diver_propulsion_vehicle

[19] Divers Alert Network (DAN, «Savvy Diver Prevents Uncontrolled Ascent». Accedido: 23 de enero de 2016. [En línea]. Disponible en: https://dan.org/safety-prevention/diver-safety/case-summaries/savvy-diver-prevents-uncontrolled-ascent/

[20] NOAA, «From Driving Underwater Scooters to Texting, Hawaii Students Learn Skills for Science Under the Sea», Accedido: 23 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://response.restoration.noaa.gov/about/media/driving-underwater-scooters-texting-hawaii-students-learn-skills-science-under-sea.html

[21] Global Underwater Explorers (GUE), «Technical DPV Diver». 2026. Accedido: 26 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.gue.com/files/Standards_and_Procedures/standards10/DPV1-Standards-v10.1.pdf

[22] SUEX, «Warnings / Instruction Manual». 2021. Accedido: 12 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.suex.it/app/uploads/2021/04/warnings.pdf

[23] M. S. Pratchett et al., «Great Barrier Reef Foundation, CCIP-EIP-02 Early Investment Project COTS Surveys Final Report», Artículo técnico, 2023. Accedido: 26 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.barrierreef.org/uploads/CCIP-EIP-02-Early-Investment-Project-COTS-Surveys-Final-Report.pdf

[24] T. Hawkins, «SEAL Delivery Vehicle Teams: Operations and Innovations | National Navy UDT-SEAL Museum», Accedido: 1 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.navysealmuseum.org/outside-the-wire/article-4

[25] Paul Milgram y Fumio Kishino, «A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays», IEICE Transactions on Information and Systems, 1994, Accedido: 2 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://globals.ieice.org/en_transactions/information/10.1587/e77-d_12_1321/_p

[26] Autodesk, «Autodesk Inventor: 3D CAD software for designers and engineers». Accedido: 15 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.autodesk.com/products/inventor/overview

[27] Epic Games, «Blueprints Visual Scripting in Unreal Engine». Accedido: 4 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/blueprints-visual-scripting-in-unreal-engine

[28] Meta, «Meta Quest 3 manual». Accedido: 3 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.meta.com/quest/quest-3/

[29] Tomas Akenine-Möller, Eric Haines y Naty Hoffman, Real-Time Rendering, 4th ed. CRC Press, 2018. Accedido: 25 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://books.google.com/books/about/Real_Time_Rendering_Fourth_Edition.html?id=0g1mDwAAQBAJ

[30] Mel Slater y Maria V. Sanchez-Vives, «Frontiers in Robotics and AI», Enhancing Our Lives with Immersive Virtual Reality, 2016, Accedido: 4 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.frontiersin.org/journals/robotics-and-ai/articles/10.3389/frobt.2016.00074/full

[31] Somaiieh Rokhsaritalemi, Abolghasem Sadeghi-Niaraki y Soo-Mi Choi, «A Review on Mixed Reality: Current Trends, Challenges and Prospects», Applied Sciences, 2020, Accedido: 13 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.mdpi.com/2076-3417/10/2/636

[32] John F. Hughes, Andries van Dam, Morgan McGuire, David F. Sklar, James D. Foley, Steven K. Feiner y Kurt Akeley, Computer Graphics: Principles and Practice. Addison-Wesley, 2013. Accedido: 24 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: https://books.google.es/books?id=OVpsAQAAQBAJ

# ANEXO I: IMPLICACIONES SOCIALES, Y/O ECONÓMICAS, Y/O AMBIENTALES

Las consideraciones recogidas en este anexo están relacionadas con distintos apartados desarrollados a lo largo de la memoria, especialmente con la motivación del trabajo, el estado del arte de los DPV y de la realidad extendida, el proceso de modelado y visualización inmersiva y los resultados obtenidos. No obstante, se considera conveniente reunir aquí estas ideas para dejar reflejada de forma específica la dimensión social, económica y ambiental del proyecto.

Desde el punto de vista social, este Trabajo Fin de Grado aporta valor al facilitar una mejor comprensión técnica de un sistema subacuático especializado mediante herramientas digitales claras y accesibles. La elaboración de una maqueta digital tridimensional del DPV y su integración en un entorno de realidad mixta permiten que alumnos, personal técnico o futuros usuarios puedan entender mejor la configuración general del sistema, la relación entre sus subconjuntos y la distribución espacial del diseño. De esta forma, el trabajo adquiere una utilidad formativa real, ya que ayuda a explicar un sistema que no siempre resulta fácil de interpretar únicamente mediante planos, imágenes o documentación escrita.

A ello se suma una aportación relevante en términos de seguridad. La posibilidad de familiarizarse inicialmente con el dispositivo a través de un modelo digital hace que la primera aproximación al sistema no tenga que realizarse directamente sobre un equipo real ni en un entorno más exigente. En el caso de los medios de propulsión para buceadores, el contexto de uso presenta condicionantes específicos ligados a la inmersión, a la interacción entre operador y sistema propulsivo y al propio medio subacuático. Aunque este trabajo no sustituye al adiestramiento práctico ni a la validación real del dispositivo, sí permite analizar de forma segura parte del proceso de estudio, comprensión y análisis visual del sistema.

Además, el proyecto favorece la accesibilidad al conocimiento técnico dentro de un entorno multidisciplinar. La combinación de modelado CAD, documentación gráfica y visualización inmersiva permite que perfiles distintos puedan aproximarse al DPV desde una base común. Esto refuerza la utilidad social del trabajo como apoyo a la docencia, a la explicación técnica y a la difusión académica del proyecto.

Desde la perspectiva económica, el desarrollo de un modelo digital detallado constituye una solución eficiente para las fases iniciales de estudio, presentación y análisis. Frente a la necesidad de recurrir a equipos reales, maquetas físicas o montajes demostrativos, la maqueta digital puede reutilizarse muchas veces sin generar costes de fabricación, desgaste, transporte o preparación. Del mismo modo, posibles modificaciones de forma, proporción o distribución pueden evaluarse en el entorno digital antes de plantear cualquier actuación material, lo que reduce errores y optimiza el uso de recursos.

A esta ventaja se añade otra de interés a medio plazo: el archivo digital generado no queda limitado al presente TFG, sino que puede servir como base para trabajos posteriores. El modelo puede emplearse en documentación técnica adicional, presentaciones, recursos docentes o futuros desarrollos relacionados con simulación, mantenimiento o fabricación. De este modo, el resultado obtenido no se agota en el propio trabajo, sino que puede seguir teniendo utilidad más allá de su entrega.

En cuanto al plano ambiental, el impacto positivo del proyecto debe entenderse en términos relativos, pero sigue siendo relevante. El uso de un flujo de trabajo digital permite sustituir parte de la representación física y de las revisiones tempranas del sistema por un entorno virtual. Esto reduce el consumo de materiales asociado a maquetas o prototipos, limita la generación de residuos derivados de iteraciones de diseño y disminuye la necesidad de emplear medios físicos con fines únicamente expositivos.

De la misma manera, una representación digital facilita detectar problemas de organización, proporción o disposición espacial antes de que se traduzcan en correcciones posteriores sobre elementos físicos. Por ello, el valor ambiental del trabajo no radica en eliminar completamente el impacto asociado al desarrollo técnico, sino en favorecer una metodología más eficiente y contenida en las primeras fases del estudio y diseño. Debe tenerse en cuenta, no obstante, que las herramientas digitales también

implican consumo energético y uso de equipos electrónicos, por lo que el beneficio ambiental no es absoluto, sino más eficiente respecto a otras alternativas.

En conjunto, puede afirmarse que este proyecto incorpora criterios sociales, económicos y ambientales coherentes con su naturaleza académica y técnica. Aunque se trata de un trabajo centrado en el modelado digital y en la visualización inmersiva de un DPV, su alcance va más allá de la representación formal, ya que aporta valor docente, favorece una aproximación inicial más segura al sistema, optimiza recursos y refuerza la utilidad del entorno digital como apoyo al análisis previo.

# ANEXO II: REFLEXIONES ÉTICAS Y SOCIALES

El presente Trabajo Fin de Grado, centrado en el modelado digital de un DPV y en su visualización mediante realidad mixta, también presenta una dimensión ética y social que conviene considerar. Aunque el trabajo se desarrolla desde un enfoque técnico y académico, el sistema representado está vinculado al ámbito militar, por lo que su estudio no debe entenderse únicamente desde el punto de vista del diseño, sino también desde el contexto en el que podría emplearse.

En este sentido, debe tenerse en cuenta que un DPV no es un arma en sí misma, pero sí un medio que puede integrarse en determinadas capacidades operativas dentro del entorno subacuático. Por ello, la valoración ética del sistema no depende solo de su diseño, sino también de la finalidad con la que se utilice, de los procedimientos que regulen su empleo y del marco normativo en el que se encuadre. Un mismo dispositivo puede emplearse en tareas de apoyo al buceo, reconocimiento, inspección o seguridad, pero también en misiones de carácter militar, por lo que su análisis debe hacerse desde una visión responsable y no aislada del contexto.

Por otra parte, el enfoque adoptado en este TFG tiene un valor positivo desde el punto de vista ético, ya que no se orienta al desarrollo operativo de un sistema real, sino a su representación digital con fines de estudio, comprensión y visualización. El uso de herramientas CAD y de realidad mixta permite analizar el dispositivo de forma detallada sin necesidad de recurrir a medios físicos reales ni a entornos de riesgo. En este sentido, el trabajo se sitúa en un plano formativo y técnico, facilitando una aproximación más segura y accesible al sistema.

También resulta importante la dimensión humana del diseño. En un medio como el subacuático, aspectos como la ergonomía, la disposición de los mandos, la interacción entre el operador y el dispositivo o la reducción del esfuerzo físico tienen una relación directa con la seguridad del usuario. Por ello, representar correctamente la organización general del DPV no responde solo a una intención visual, sino también a la necesidad de comprender mejor un sistema cuyo diseño influye en el empleo seguro y eficaz del mismo.

Por último, también debe mencionarse la necesidad de actuar con prudencia en la difusión de información técnica relacionada con sistemas de posible aplicación militar. Aunque el trabajo tiene una finalidad académica, conviene mantener una presentación responsable del contenido, evitando que la visualización inmersiva descontextualice el sistema o lo convierta en una simple representación atractiva sin tener en cuenta su marco de uso real.

En conjunto, este trabajo permite afirmar que el empleo de herramientas de modelado y realidad mixta en el estudio de sistemas de interés para la defensa puede desarrollarse de forma responsable, siempre que se mantenga una visión técnica, formativa y consciente de sus implicaciones. De este modo, el proyecto no solo aporta un resultado gráfico y funcional, sino también una aproximación más reflexiva al papel de la ingeniería en el análisis y representación de medios vinculados al ámbito militar.

# ANEXO III: DECLARACIÓN DE USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Durante la realización del presente Trabajo Fin de Grado se ha empleado inteligencia artificial como herramienta de apoyo en determinadas tareas concretas, siempre de forma complementaria y bajo supervisión directa del alumno. Su uso se ha planteado como un recurso de ayuda para mejorar la eficiencia en algunas fases del trabajo, pero en ningún caso ha sustituido la labor personal, la toma de decisiones ni la autoría del contenido desarrollado.

En primer lugar, la inteligencia artificial se ha utilizado como apoyo en la búsqueda inicial de información relacionada con los dispositivos estudiados, así como para resolver dudas puntuales sobre conceptos técnicos y sobre el empleo de distintas herramientas y programas utilizados a lo largo del proyecto. Esto incluye consultas orientadas a comprender mejor determinadas funciones de software de modelado, visualización o programación, así como a localizar posibles líneas de información útiles para el desarrollo del trabajo. En todo caso, dicha información ha sido posteriormente revisada, contrastada y seleccionada por el alumno antes de su incorporación a la memoria.

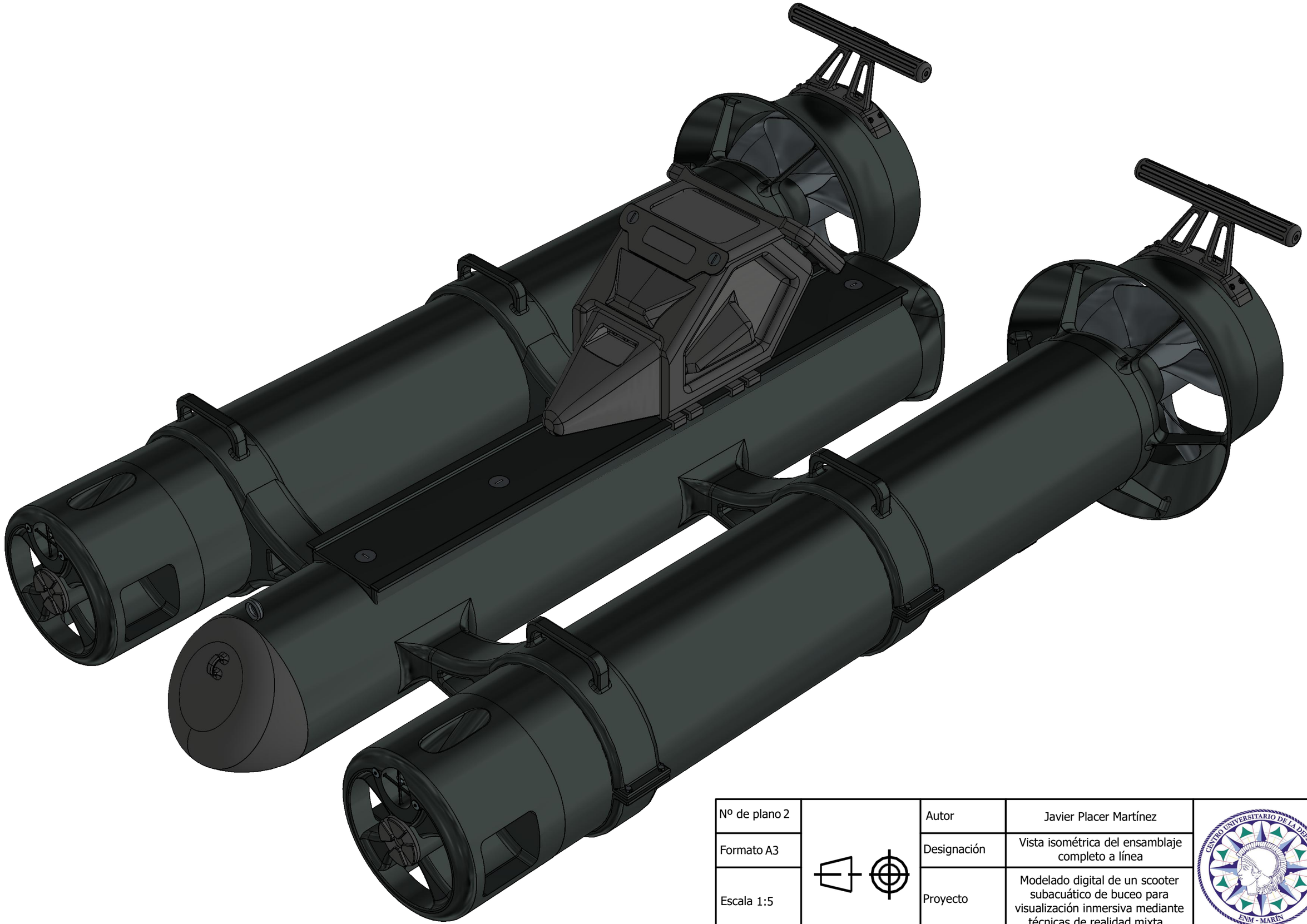
En segundo lugar, la inteligencia artificial se ha empleado como ayuda para estructurar algunas partes del trabajo. Su intervención en este sentido se ha limitado a proponer posibles formas de organizar apartados, ordenar ideas o plantear esquemas de redacción más claros. No obstante, la elección final de la estructura, del enfoque del contenido y de la organización definitiva de la memoria ha correspondido siempre al alumno.

En tercer lugar, también se ha utilizado como herramienta de reformulación y mejora del texto. A partir de ideas, explicaciones, borradores o contenidos previamente elaborados por el alumno, la inteligencia artificial se ha empleado para reescribir determinados fragmentos con una redacción más formal, clara y correcta desde el punto de vista ortográfico y gramatical. Su función, por tanto, ha sido la de asistir en la expresión escrita de contenidos propios, pero no la de generar de forma autónoma el trabajo ni sustituir la aportación intelectual del autor.

Asimismo, la inteligencia artificial también se ha utilizado para la generación de imágenes de interés incluidas como apoyo visual dentro del trabajo. En estos casos, su empleo ha tenido una finalidad principalmente ilustrativa y complementaria, orientada a reforzar la explicación de determinados conceptos o apartados. En cualquier caso, estas imágenes no sustituyen el contenido técnico desarrollado, sino que actúan como recurso gráfico de apoyo a la exposición del trabajo.

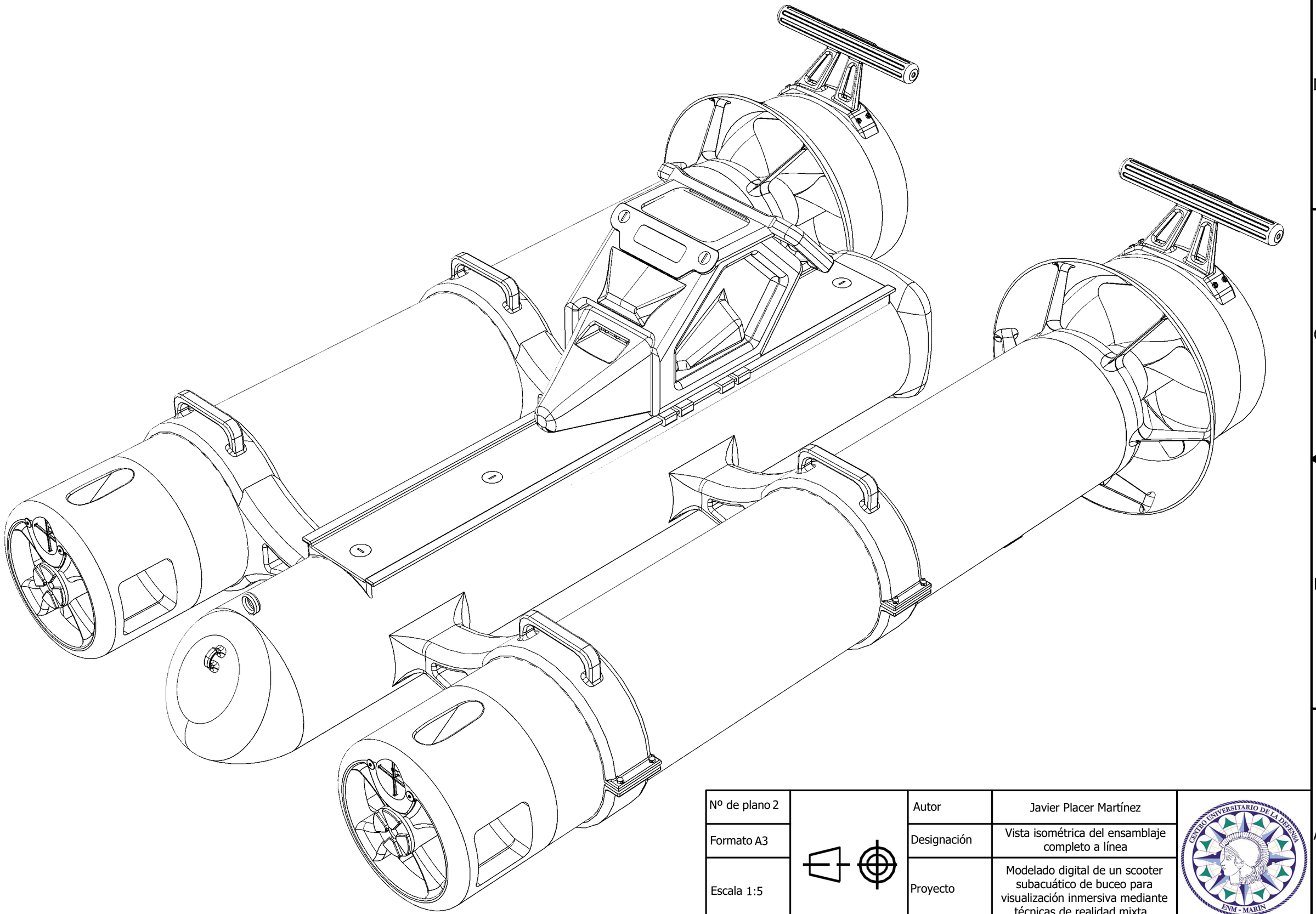
Por ello, se hace constar expresamente que la autoría del Trabajo Fin de Grado, la selección de la información empleada, las decisiones técnicas adoptadas, el análisis desarrollado y la redacción final revisada corresponden al alumno. El uso de inteligencia artificial se ha realizado de manera responsable, como apoyo puntual dentro del proceso de trabajo, y de forma coherente con el carácter individual, original y supervisado que debe tener un TFG.

# ANEXO IV: PLANIMETRÍA



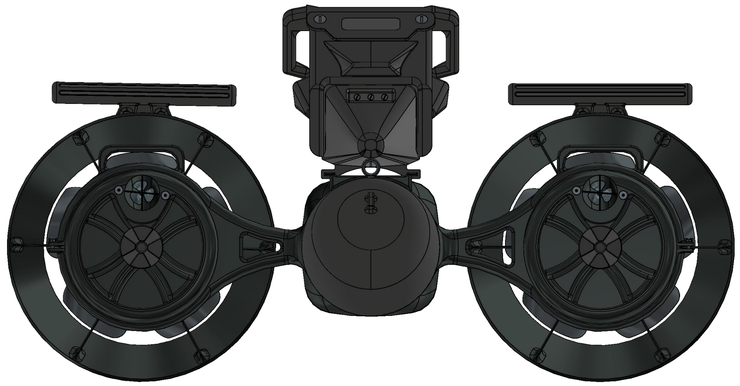
| | | | |
|---|---|---|---|
| Nº de plano 2 | | Autor | Javier Placer Martínez |
| Formato A3 | | Designación | Vista isométrica del ensamblaje completo a línea |
| Escala 1:5 | | Proyecto | Modelado digital de un scooter subacuático de buceo para visualización inmersiva mediante técnicas de realidad mixta |

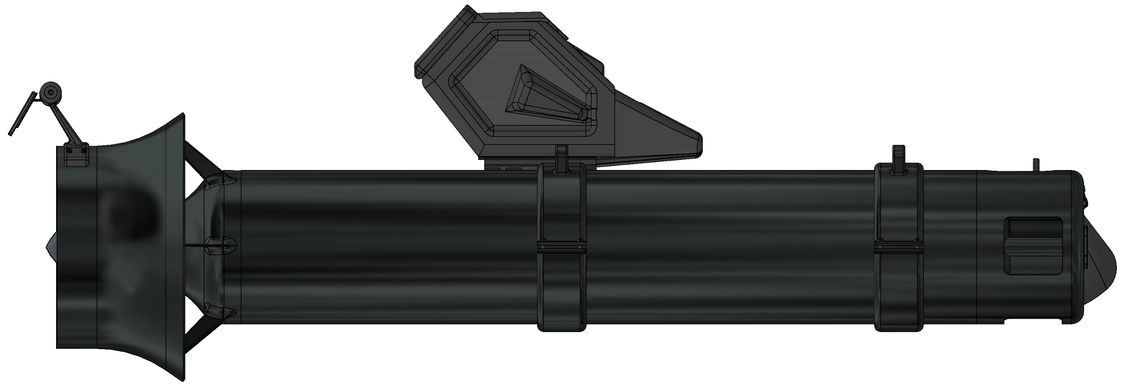
CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA
ENM - MARÍN



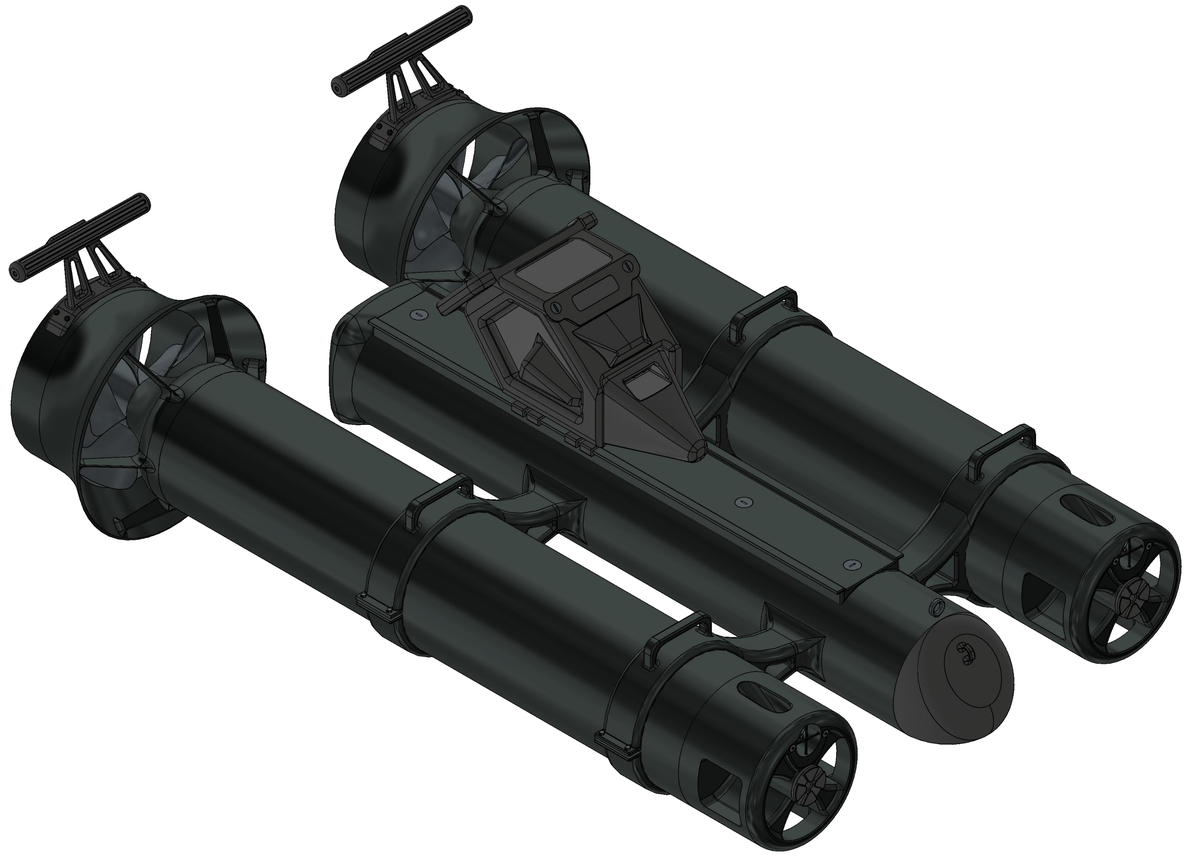
| | | | |
|---|---|---|---|
| Nº de plano 2 | Autor | Javier Placer Martínez | |
| Formato A3 | Designación | Vista isométrica del ensamblaje completo a línea | |
| Escala 1:5 | Proyecto | Modelado digital de un scooter subacuático de buceo para visualización inmersiva mediante técnicas de realidad mixta | |

CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA
ENM - MARÍN

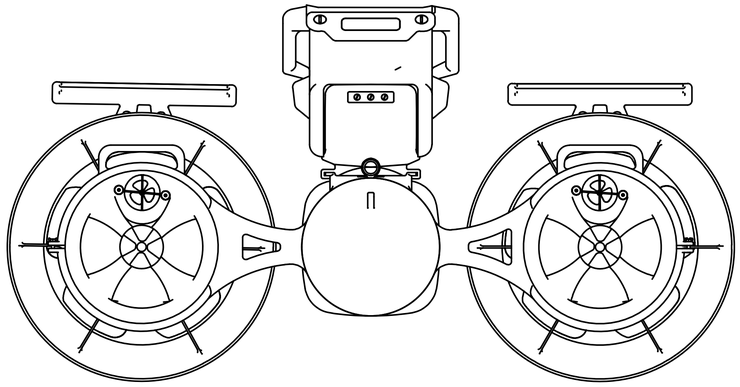


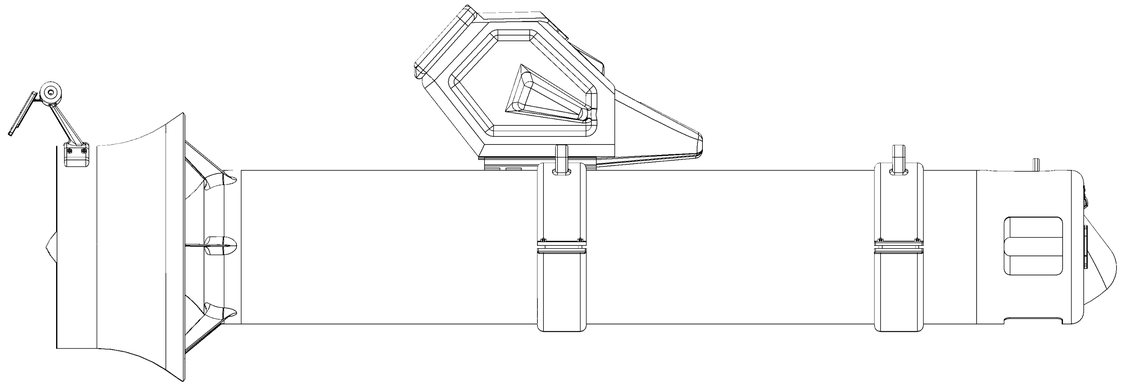


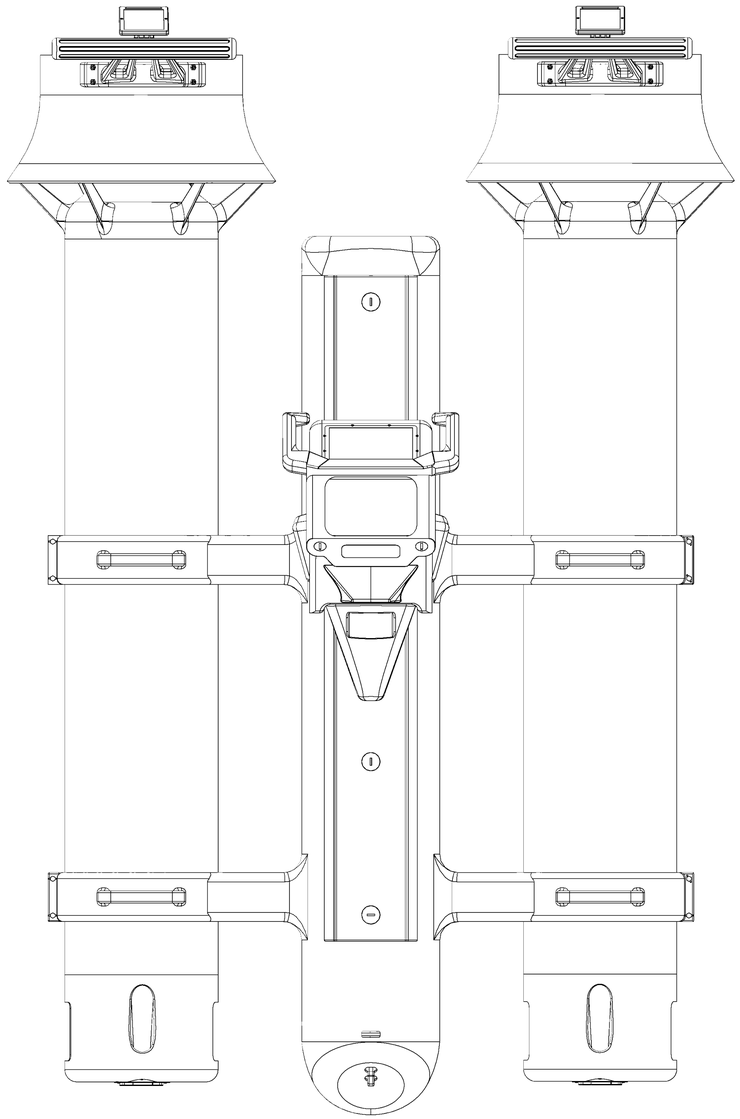


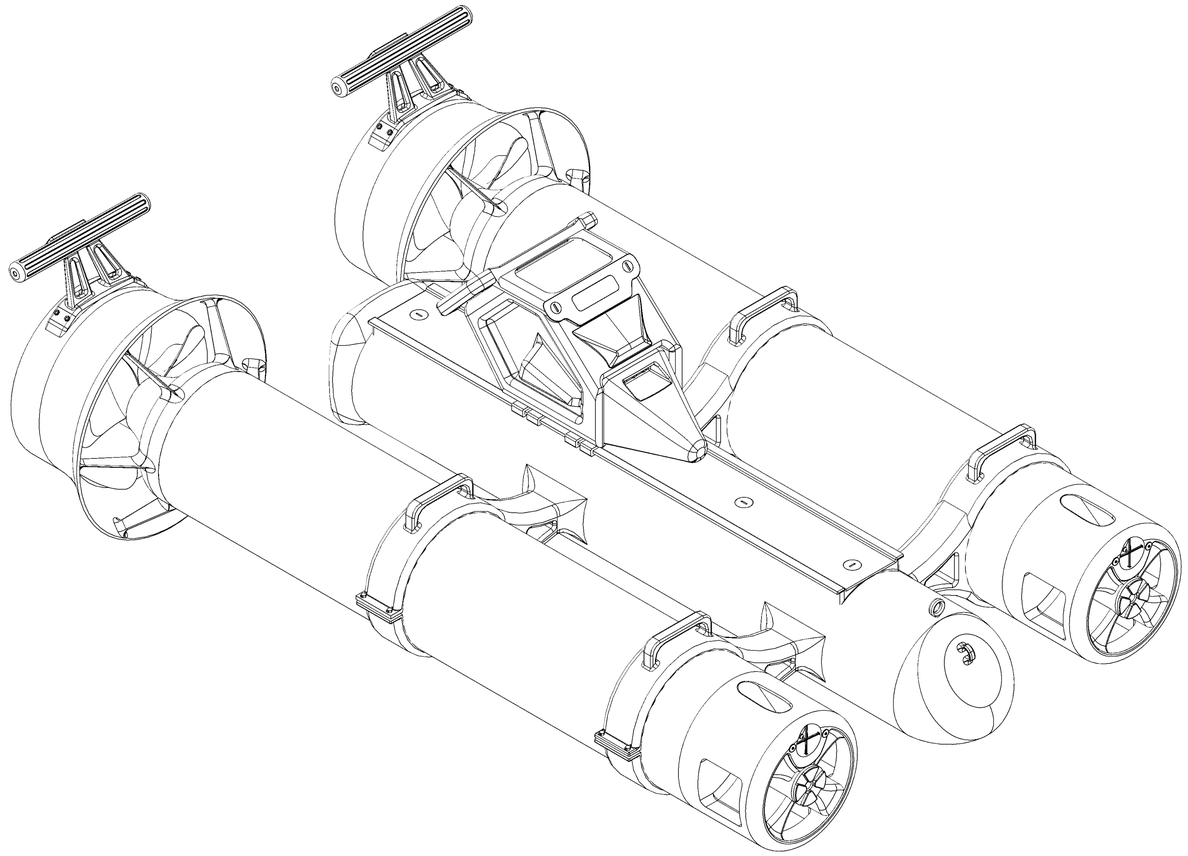


| | | | |
|---|---|---|---|
| Nº de plano 3 | | Autor | Javier Placer Martínez |
| Formato A1 | | Designación | Vistas principales del ensamblaje completo a color |
| Escala 1:5 | | Proyecto | Modelado digital de un scooter subacuático de buceo para visualización inmersiva mediante técnicas de realidad mixta |



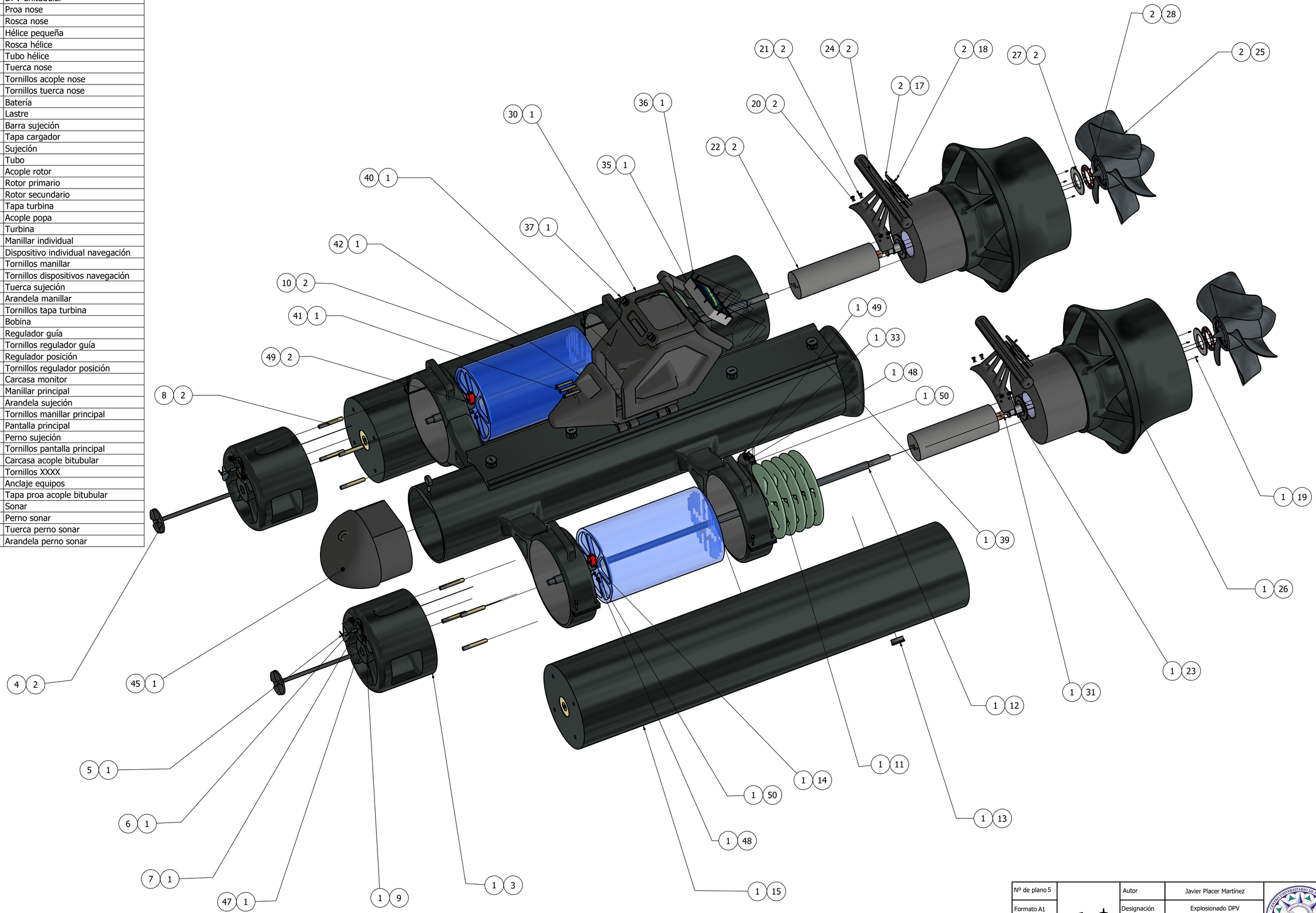






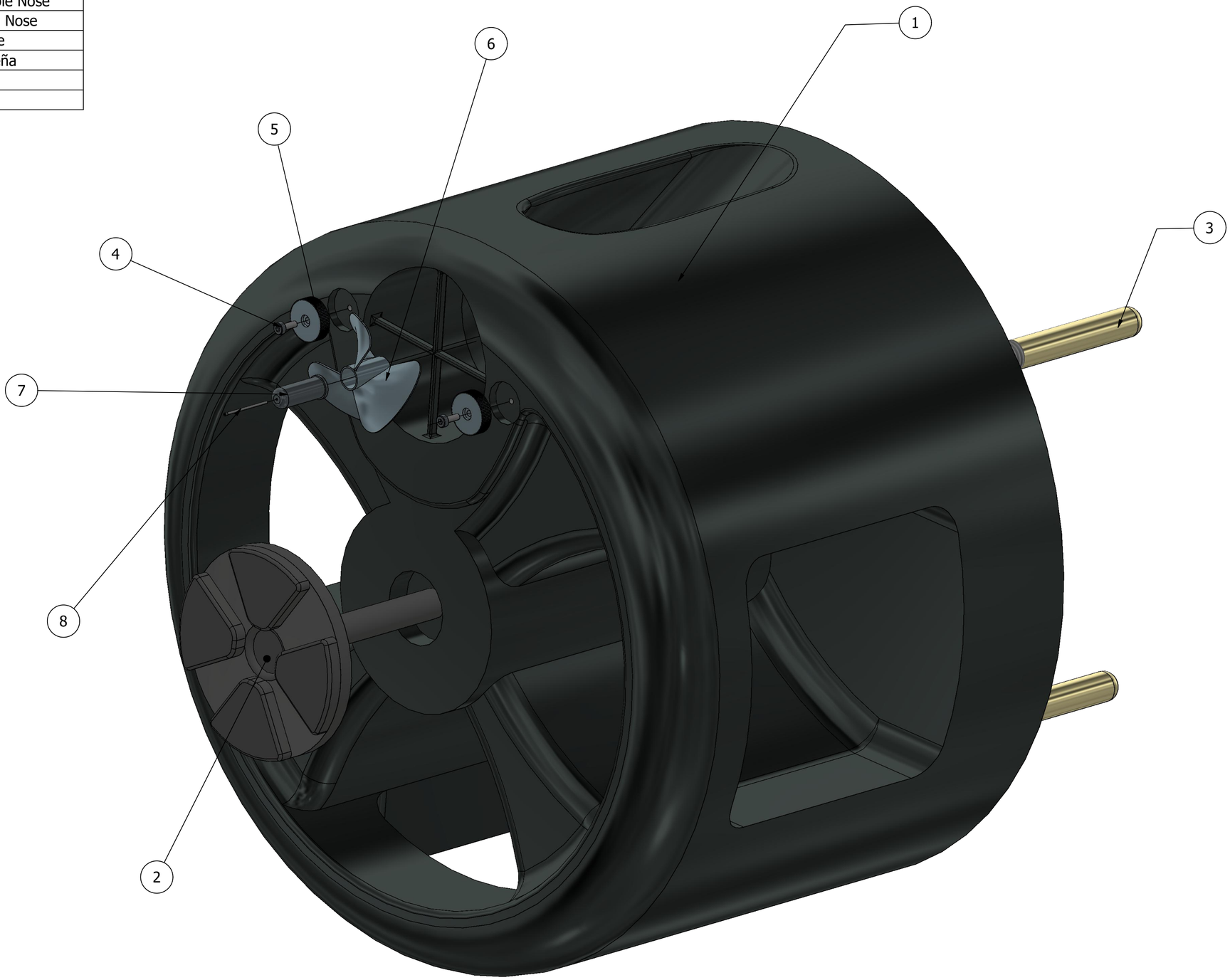
| | | | |
|---|---|---|---|
| Nº de plano 3 | Autor | Javier Placer Martínez | |
| Formato A1 | Designación | Vistas principales del ensamblaje completo a color | |
| Escala 1:5 | Proyecto | Modelado digital de un scooter subacuático de buceo para visualización inmersiva mediante técnicas de realidad mixta | |

| LISTA DE PIEZAS | | |
|---|---|---|
| ELEMENTO | CTDAD | Nº DE PIEZA |
| 1 | 1 | Carcasa acople-DPV unitubular |
| 2 | 1 | DPV unitubular |
| 3 | 2 | Proa nose |
| 4 | 2 | Rosca nose |
| 5 | 2 | Hélice pequeña |
| 6 | 2 | Rosca hélice |
| 7 | 2 | Tubo hélice |
| 9 | 4 | Tuerca nose |
| 8 | 8 | Tornillos acople nose |
| 47 | 4 | Tornillos tuerca nose |
| 10 | 2 | Batería |
| 11 | 10 | Lastre |
| 12 | 2 | Barra sujeción |
| 13 | 2 | Tapa cargador |
| 14 | 4 | Sujeción |
| 15 | 2 | Tubo |
| 22 | 2 | Acople rotor |
| 23 | 2 | Rotor primario |
| 28 | 2 | Rotor secundario |
| 27 | 2 | Tapa turbina |
| 26 | 2 | Acople popa |
| 25 | 2 | Turbina |
| 24 | 2 | Manillar individual |
| 17 | 2 | Dispositivo individual navegación |
| 21 | 8 | Tornillos manillar |
| 18 | 4 | Tornillos dispositivos navegación |
| 50 | 1 | Tuerca sujeción |
| 20 | 8 | Arandela manillar |
| 19 | 8 | Tornillos tapa turbina |
| 31 | 2 | Bobina |
| 38 | 1 | Regulador guía |
| 39 | 5 | Tornillos regulador guía |
| 42 | 1 | Regulador posición |
| 41 | 3 | Tornillos regulador posición |
| 40 | 1 | Carcasa monitor |
| 30 | 1 | Manillar principal |
| 48 | 1 | Arandela sujeción |
| 37 | 2 | Tornillos manillar principal |
| 35 | 1 | Pantalla principal |
| 49 | 1 | Perno sujeción |
| 36 | 8 | Tornillos pantalla principal |
| 29 | 1 | Carcasa acople bitubular |
| 34 | 8 | Tornillos XXXX |
| 43 | 2 | Anclaje equipos |
| 45 | 1 | Tapa proa acople bitubular |
| 33 | 1 | Sonar |
| 44 | 1 | Perno sonar |
| 32 | 1 | Tuerca perno sonar |
| 46 | 1 | Arandela perno sonar |



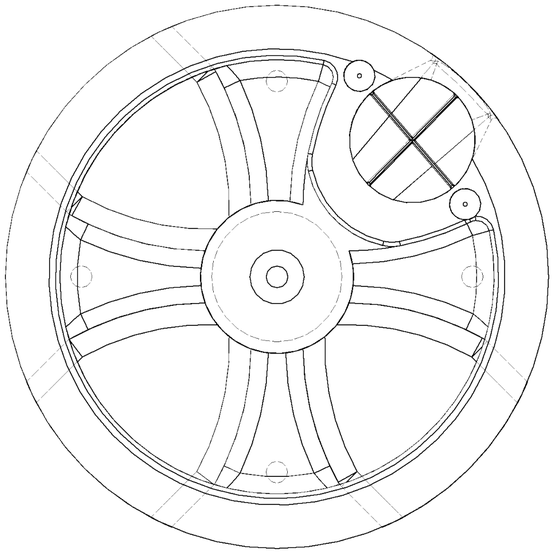

| | | | |
|---|---|---|---|
| Nº de plano 5 | | Autor | Javier Placer Martínez |
| Formato A1 | | Designación | Explosionado DPV |
| Escala 1:5 | | Proyecto | Modelado digital de un scooter subacuático de buceo para visualización inmersiva mediante técnicas de realidad mixta |

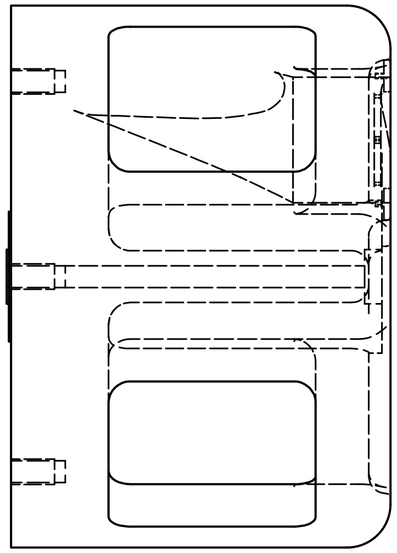
| LISTA DE PIEZAS | | |
|---|---|---|
| ELEMENTO | CTDAD | Nº DE PIEZA |
| 1 | 1 | Proa Nose |
| 2 | 1 | Rosca Nose |
| 3 | 4 | Tornillo Acople Nose |
| 4 | 2 | Tuerca rosca Nose |
| 5 | 2 | Tuercas Nose |
| 6 | 1 | Helice pequeña |
| 7 | 1 | Tubo Helice |
| 8 | 1 | Rosca helice |

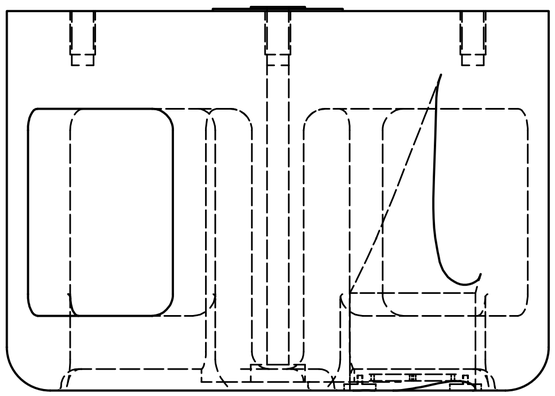


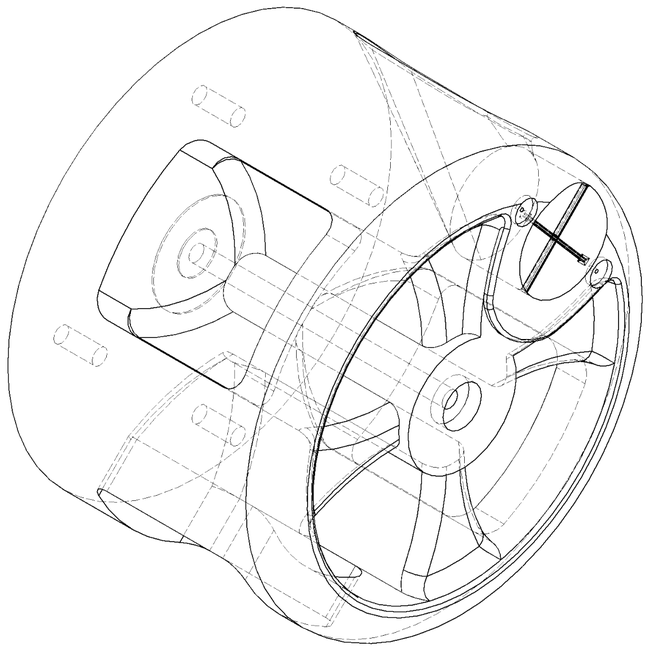

| | | | |
|---|---|---|---|
| Nº de plano 6 | Autor | Javier Placer Martínez | |
| Formato A2 | Designación | Explosionado conjunto proa nose | |
| Escala 1:2 | Proyecto | Modelado digital de un scooter subacuático de buceo para visualización inmersiva mediante técnicas de realidad mixta | |

CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA
ENM - MARÍN



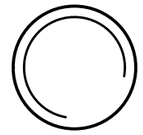




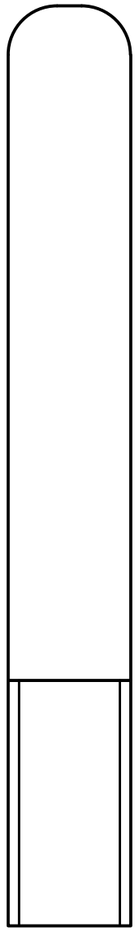


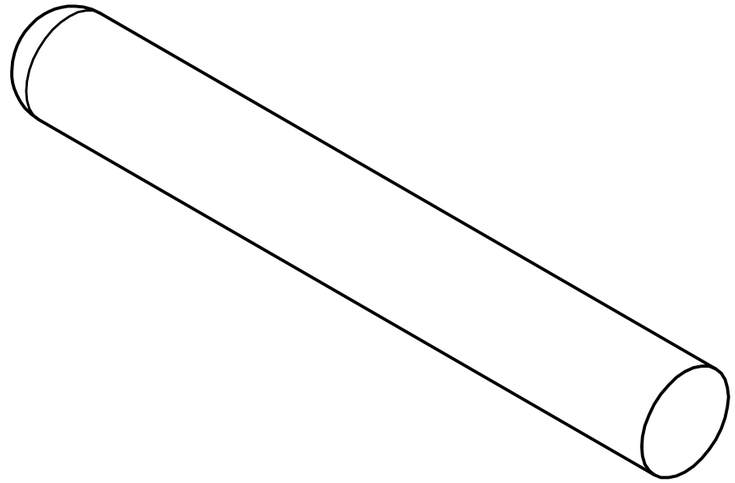
| | | | |
|---|---|---|---|
| Nº de plano 7 | | Autor | Javier Placer Martínez |
| Formato A2 | | Designación | Proa nose |
| Escala 1:2 | | Proyecto | Modelado digital de un scooter subacuático de buceo para visualización inmersiva mediante técnicas de realidad mixta |

CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA
ENM - MARÍN

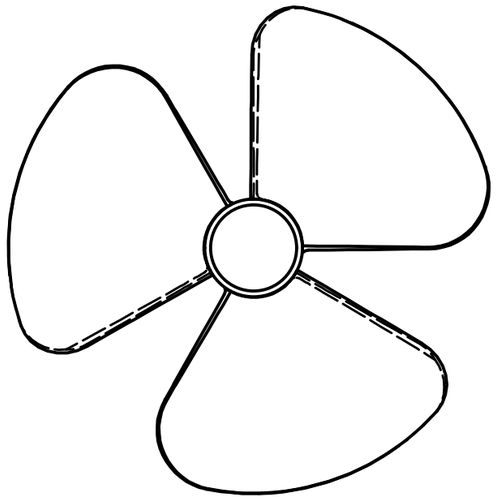


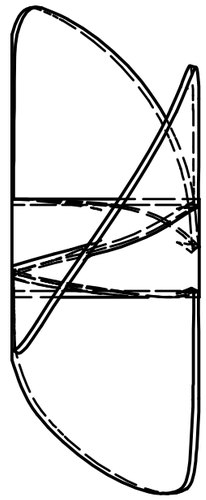


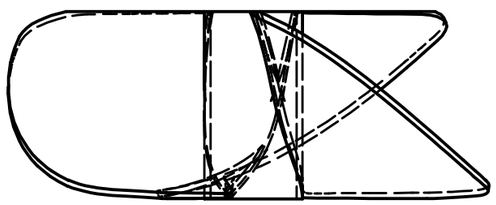


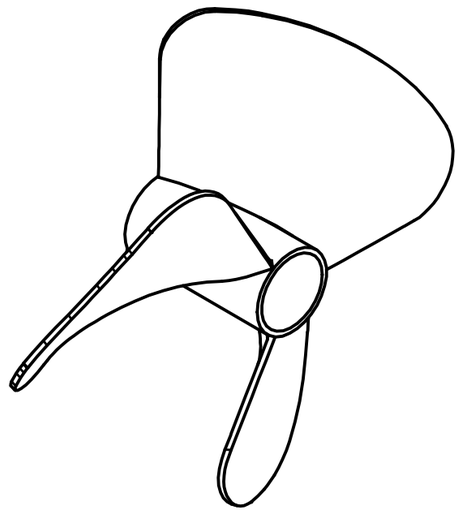


| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Nº de plano 8 | | Autor | Javier Placer Martínez | CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA ENM - MARÍN |
| Formato A3 | | Designación | Tornillo acople nose | |
| Escala 2:1 | | Proyecto | Modelado digital de un scooter subacuático de buceo para visualización inmersiva mediante técnicas de realidad mixta | |



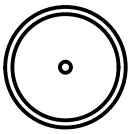


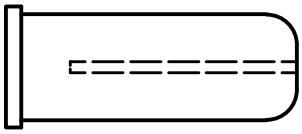


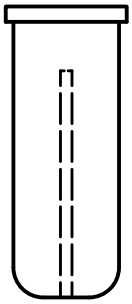


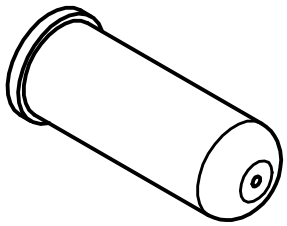
| | | | |
|---|---|---|---|
| Nº de plano 9 | Autor | Javier Placer Martínez | |
| Formato A3 | Designación | Hélice pequeña | |
| Escala 2:1 | Proyecto | Modelado digital de un scooter subacuático de buceo para visualización inmersiva mediante técnicas de realidad mixta | |

CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA
ENM - MARÍN

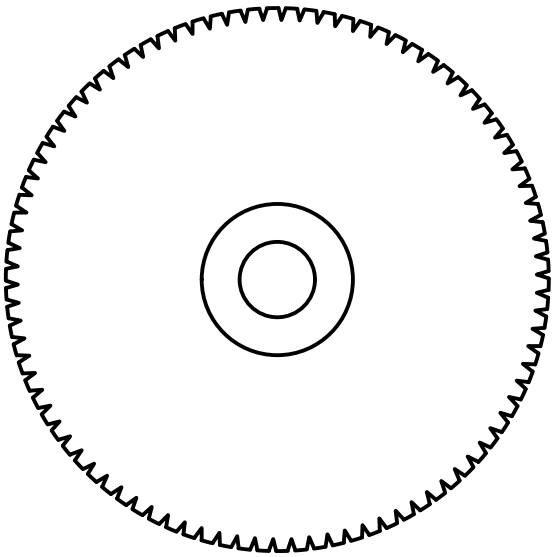


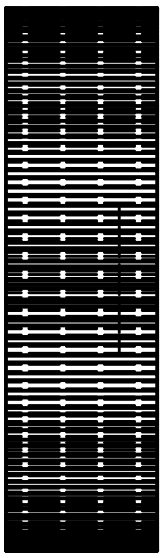


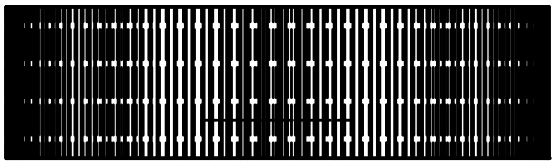


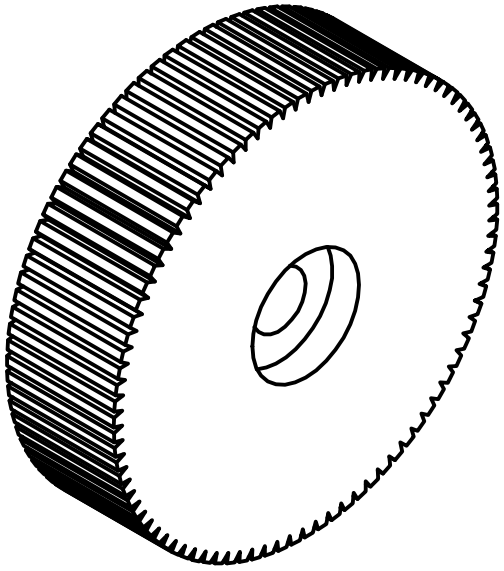


| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Nº de plano 10 | | Autor | Javier Placer Martínez | CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA ENM - MARÍN |
| Formato A4 | | Designación | Tubo hélice | |
| Escala 2:1 | | Proyecto | Modelado digital de un scooter subacuático de buceo para visualización inmersiva mediante técnicas de realidad mixta | |



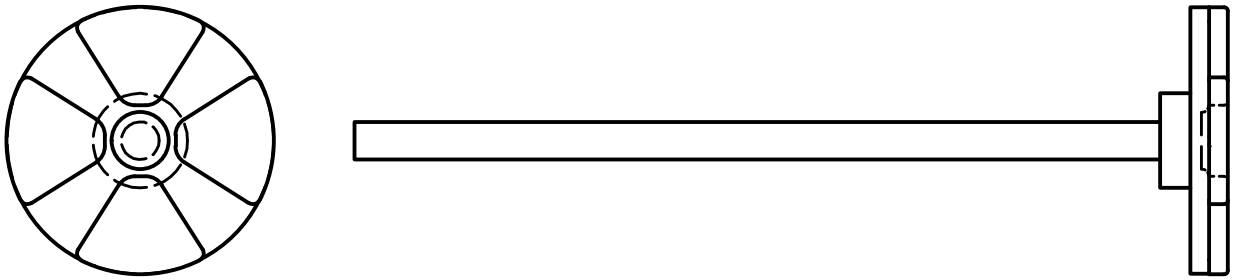


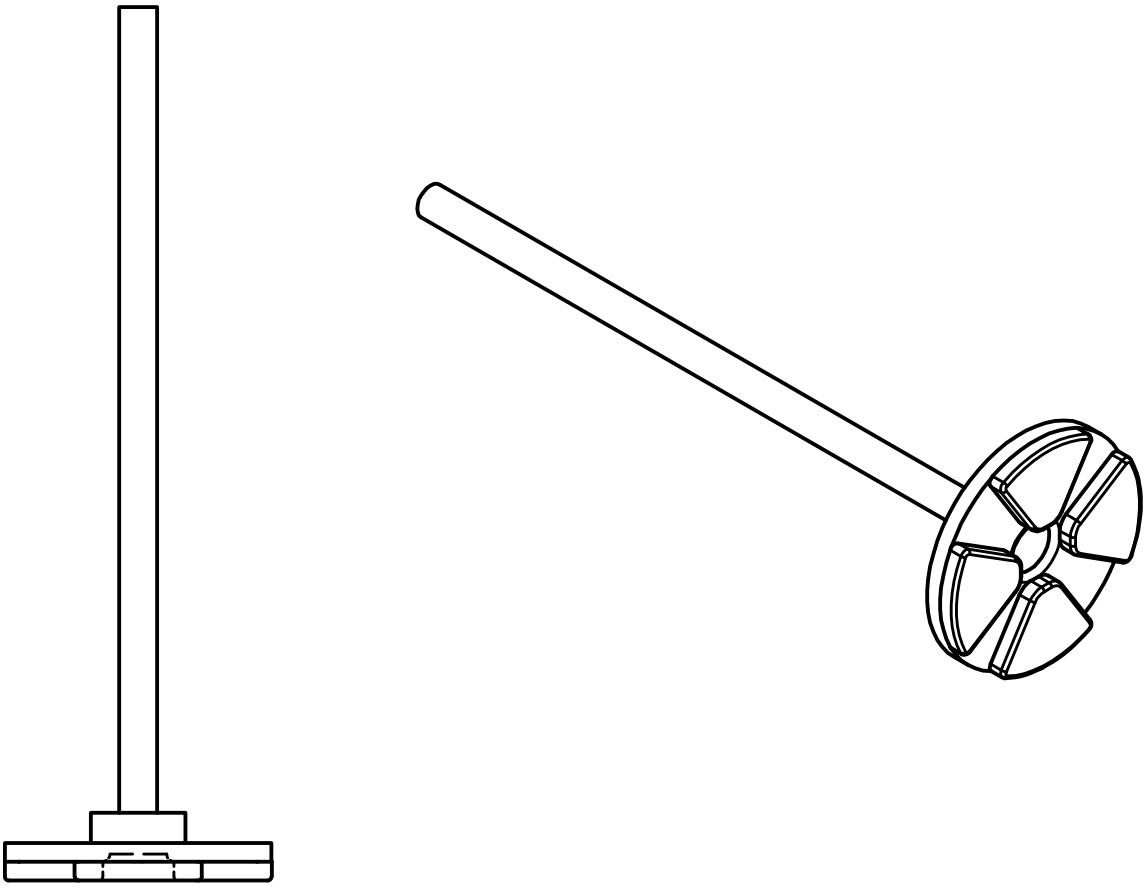




| | | | |
|---|---|---|---|
| Nº de plano 11 | | Autor | Javier Placer Martínez |
| Formato A4 | | Designación | Tuerca nose |
| Escala 5:1 | | Proyecto | Modelado digital de un scooter subacuático de buceo para visualización inmersiva mediante técnicas de realidad mixta |

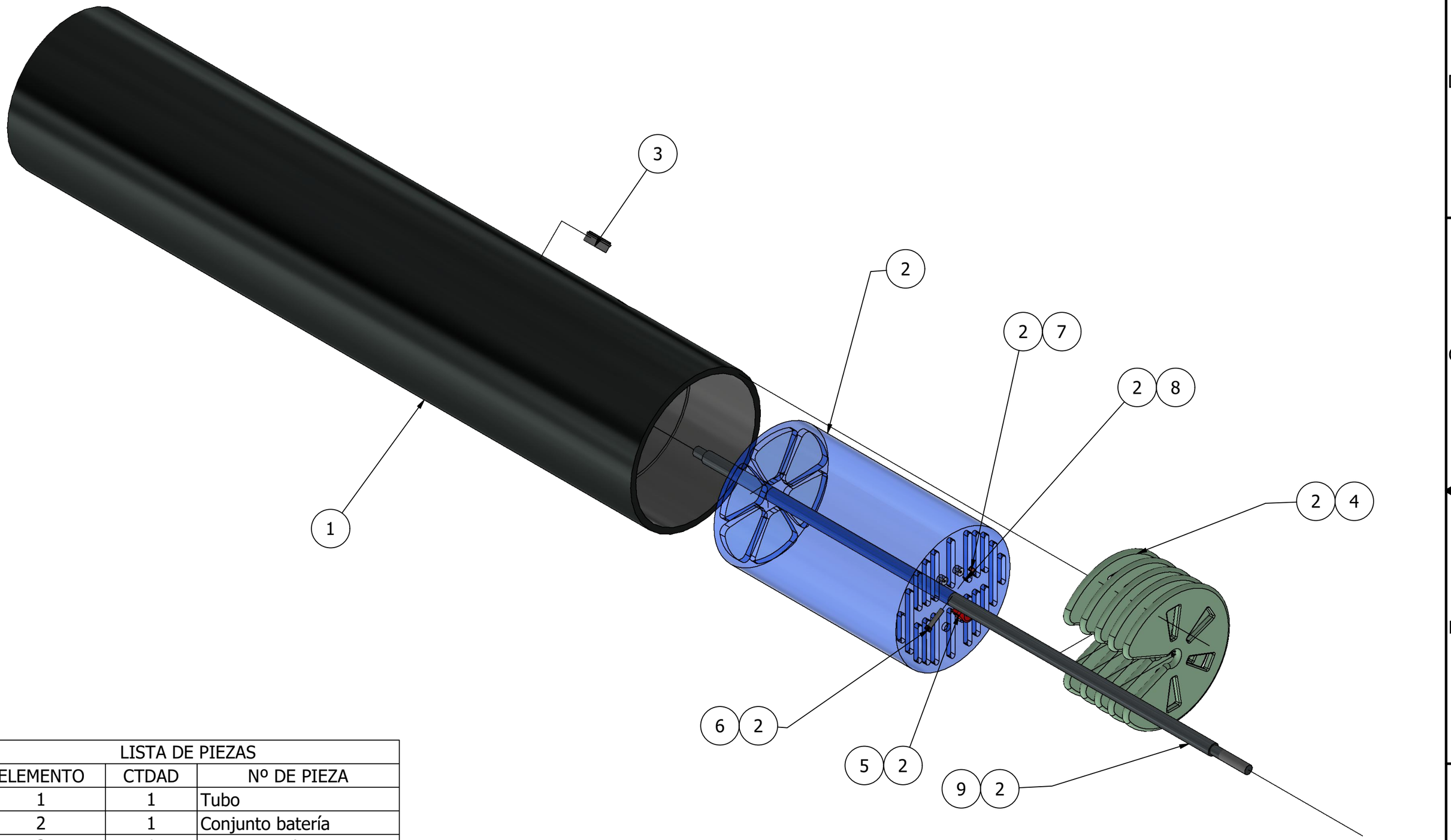
CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA
ENM - MARÍN





| | | | |
|---|---|---|---|
| Nº de plano 12 | | Autor | Javier Placer Martínez |
| Formato A4 | | Designación | Rosca nose |
| Escala 1:2 | | Proyecto | Modelado digital de un scooter subacuático de buceo para visualización inmersiva mediante técnicas de realidad mixta |

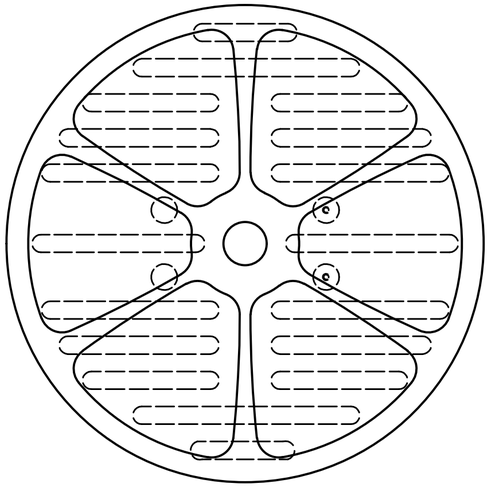
CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA
ENM - MARÍN

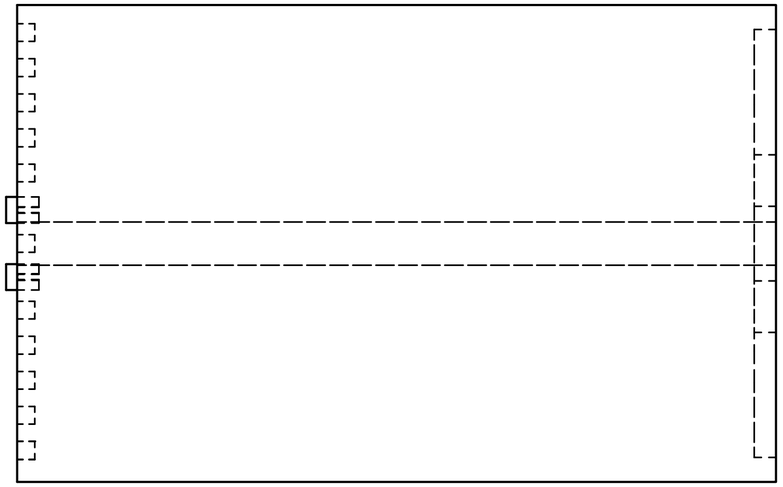



| LISTA DE PIEZAS | | |
|---|---|---|
| ELEMENTO | CTDAD | Nº DE PIEZA |
| 1 | 1 | Tubo |
| 2 | 1 | Conjunto batería |
| 3 | 1 | Tapa cargador |
| 4 | 1 | Lastre individual |
| 5 | 1 | Sujeción |
| 6 | 1 | Tornillo sujeción |
| 7 | 1 | Tuerca sujeción |
| 8 | 1 | Arandela sujeción |
| 9 | 1 | Barra |

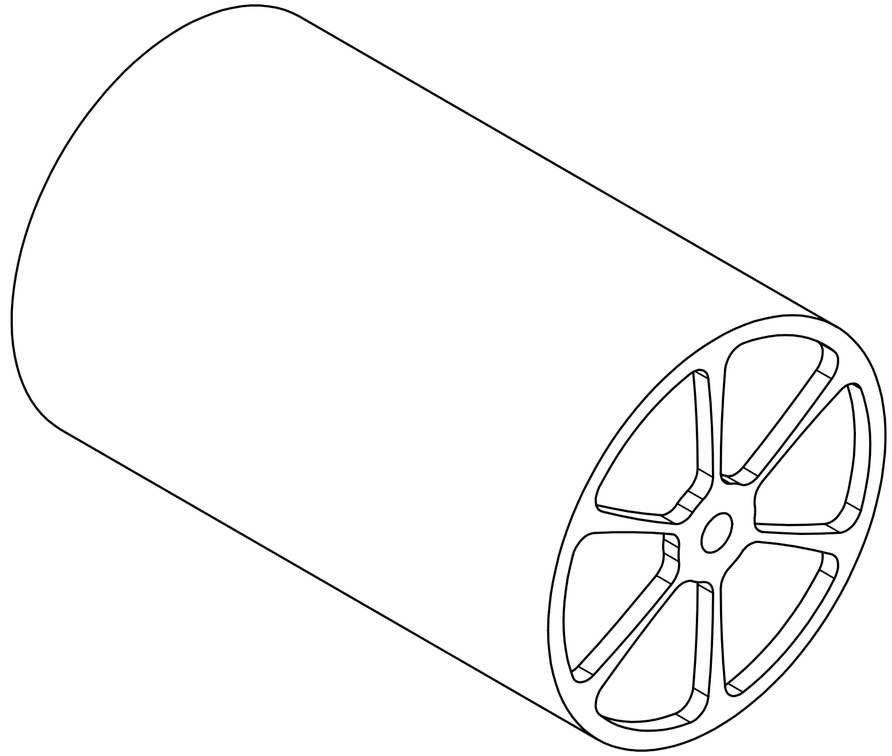
| | | | |
|---|---|---|---|
| Nº de plano 13 | | Autor | Javier Placer Martínez |
| Formato A3 | | Designación | Explosionado subconjunto tubo principal |
| Escala 1:2 | | Proyecto | Modelado digital de un scooter subacuático de buceo para visualización inmersiva mediante técnicas de realidad mixta |

CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA
ENM - MARÍN



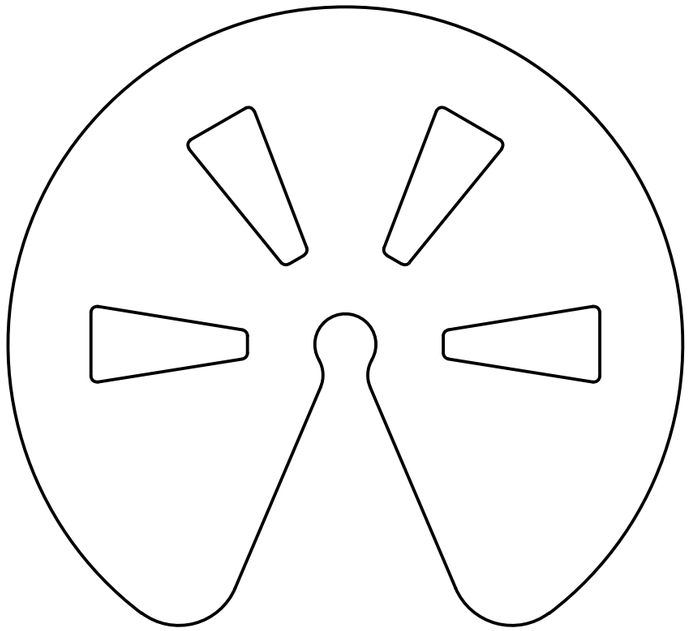




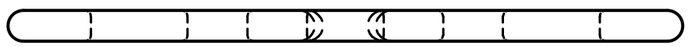


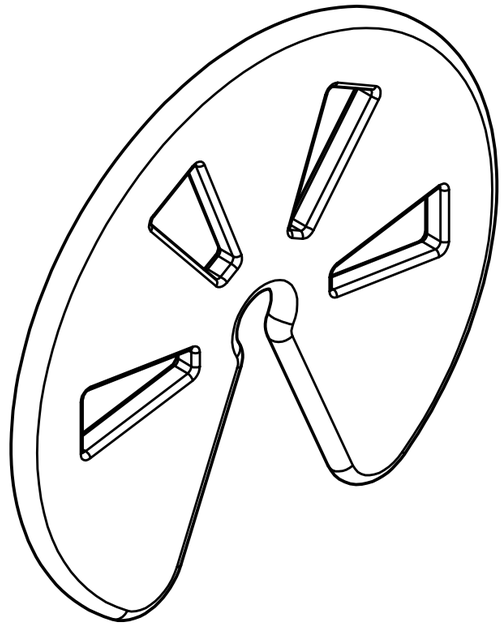
| | | | |
|---|---|---|---|
| Nº de plano 14 | | Autor | Javier Placer Martínez |
| Formato A2 | | Designación | Batería |
| Escala 1:2 | | Proyecto | Modelado digital de un scooter subacuático de buceo para visualización inmersiva mediante técnicas de realidad mixta |

CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA
ENM - MARÍN

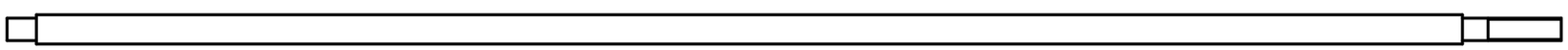




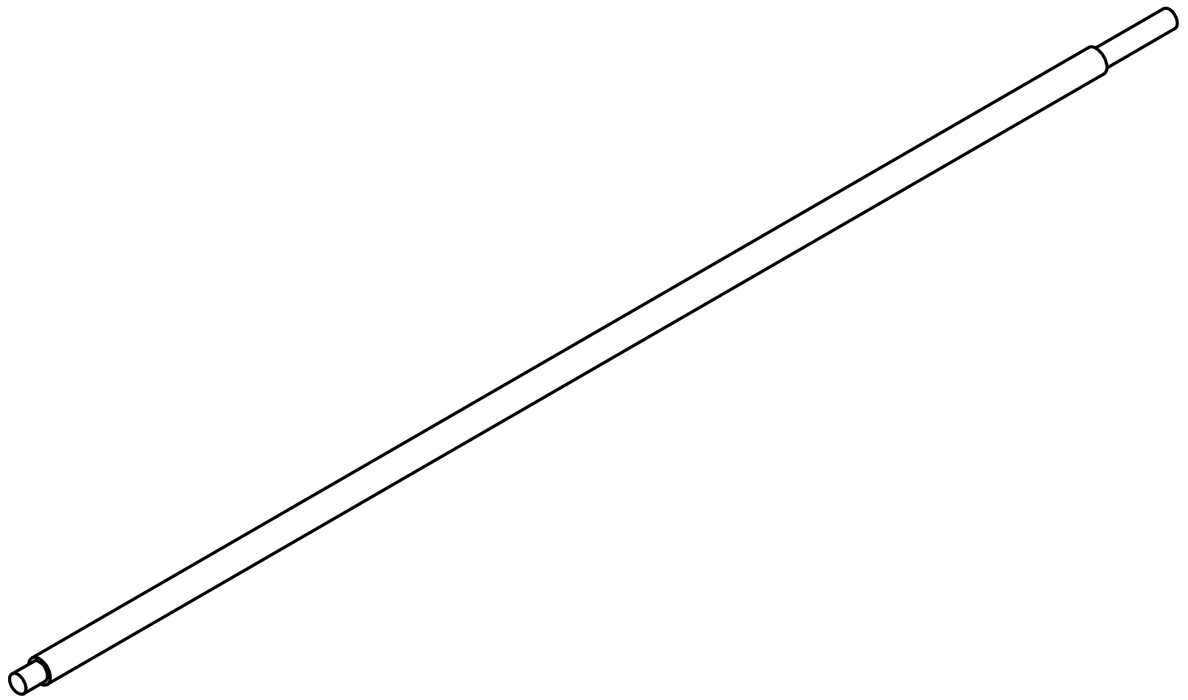




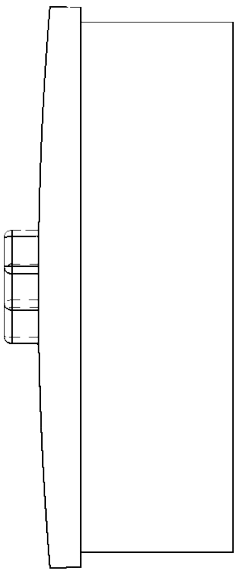
| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Nº de plano 15 | | Autor | Javier Placer Martínez | CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA ENM - MARÍN |
| Formato A3 | | Designación | Lastre | |
| Escala 1:2 | | Proyecto | Modelado digital de un scooter subacuático de buceo para visualización inmersiva mediante técnicas de realidad mixta | |

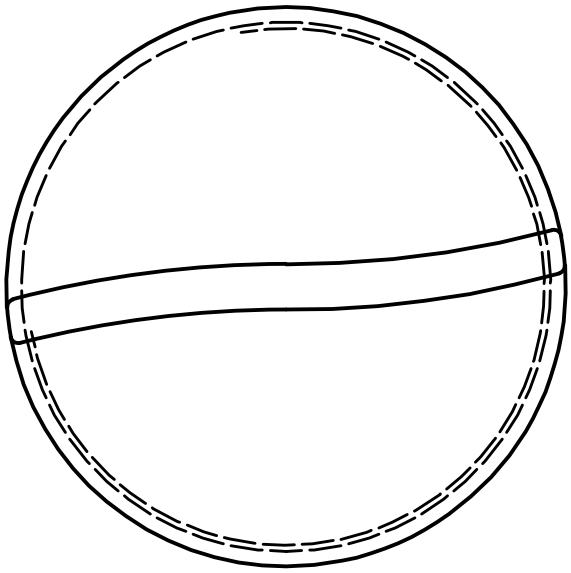


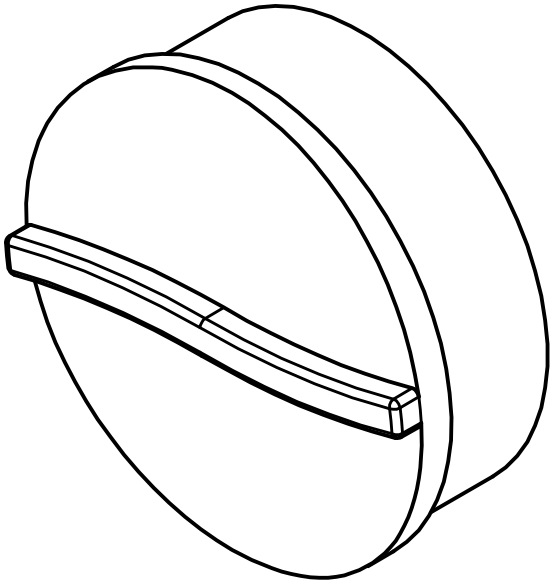




| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Nº de plano 16 | | Autor | Javier Placer Martínez | CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA ENM - MARÍN |
| Formato A3 | | Designación | Barra sujeción | |
| Escala 1:4 | | Proyecto | Modelado digital de un scooter subacuático de buceo para visualización inmersiva mediante técnicas de realidad mixta | |

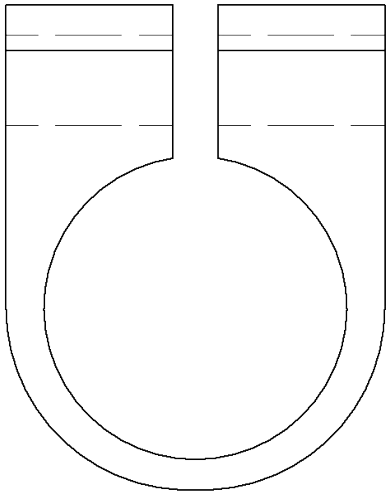


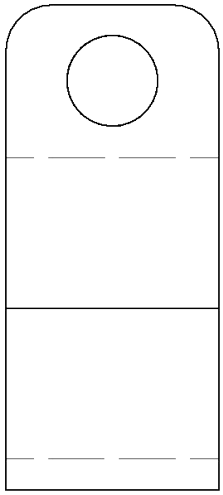


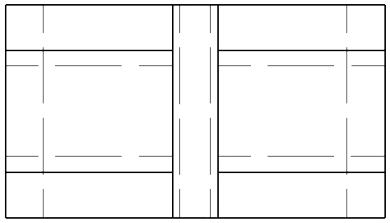


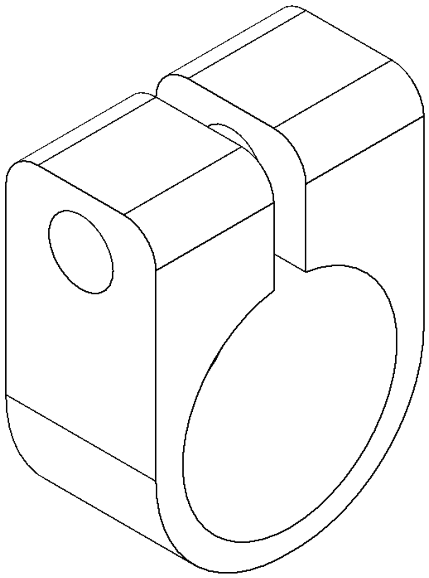
| | | | |
|---|---|---|---|
| Nº de plano 17 | | Autor | Javier Placer Martínez |
| Formato A4 | | Designación | Tapa cargador |
| Escala 2:1 | | Proyecto | Modelado digital de un scooter subacuático de buceo para visualización inmersiva mediante técnicas de realidad mixta |

CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA
ENM - MARÍN



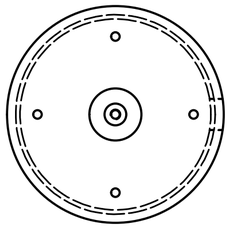




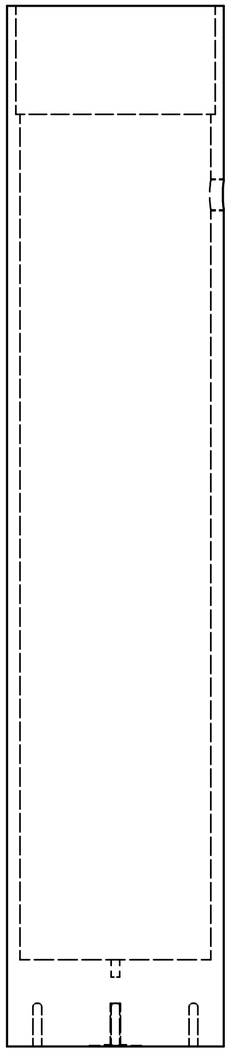


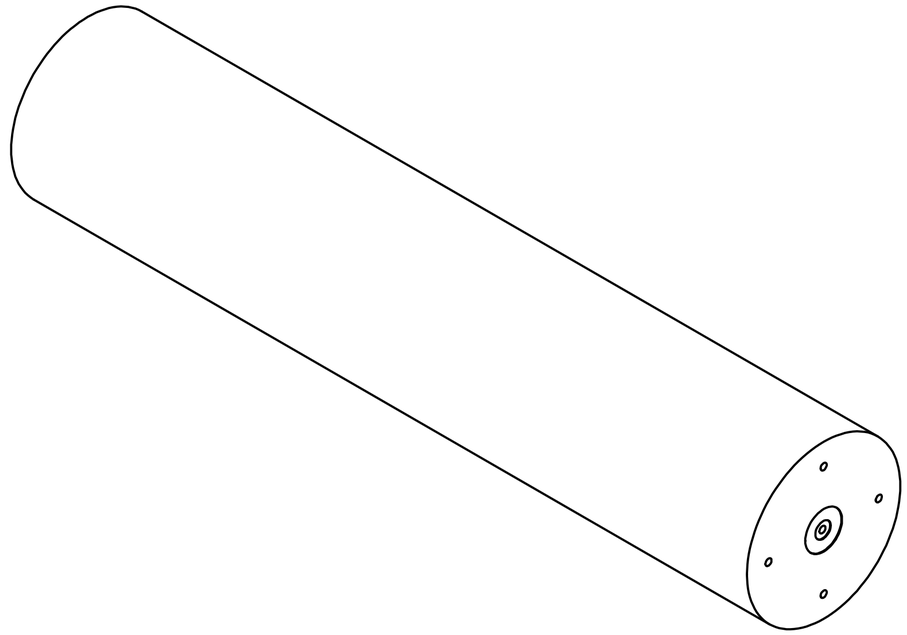
| | | | |
|---|---|---|---|
| Nº de plano 18 | | Autor | Javier Placer Martínez |
| Formato A4 | | Designación | Sujeción |
| Escala 2:1 | | Proyecto | Modelado digital de un scooter subacuático de buceo para visualización inmersiva mediante técnicas de realidad mixta |

CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA
ENM - MARÍN



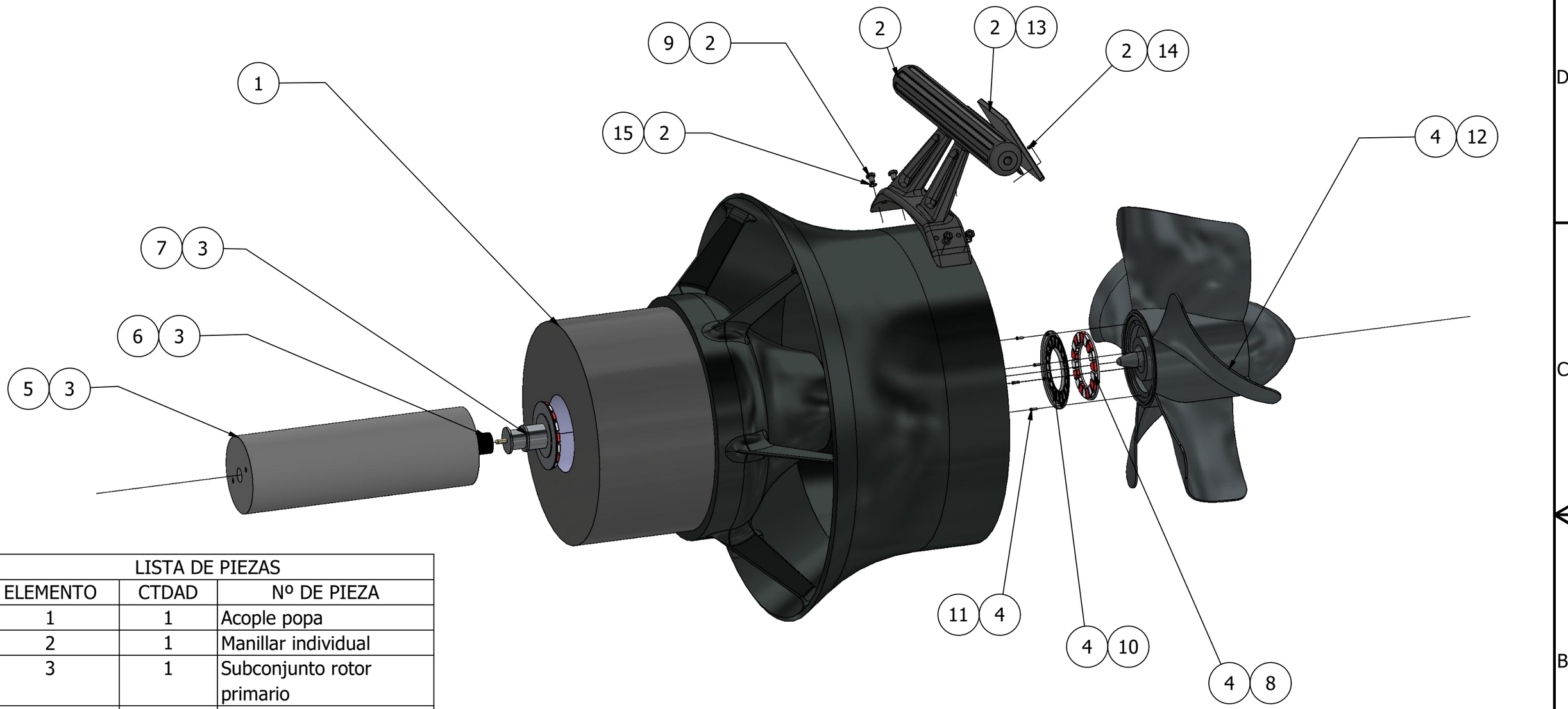






| | | | |
|---|---|---|---|
| Nº de plano 19 | | Autor | Javier Placer Martínez |
| Formato A2 | | Designación | Tubo |
| Escala 1:5 | | Proyecto | Modelado digital de un scooter subacuático de buceo para visualización inmersiva mediante técnicas de realidad mixta |

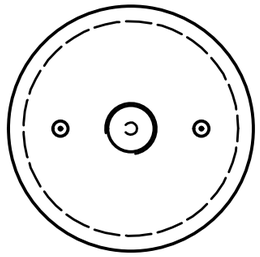
CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA
ENM - MARÍN



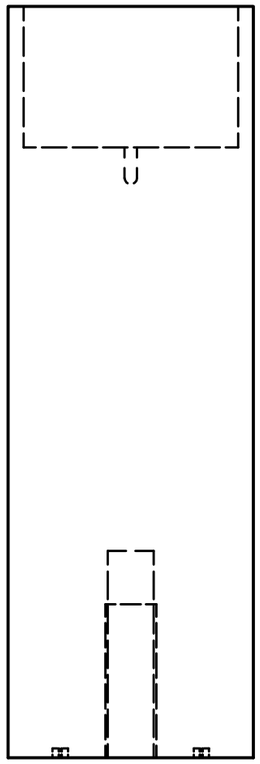

| LISTA DE PIEZAS | | |
|---|---|---|
| ELEMENTO | CTDAD | Nº DE PIEZA |
| 1 | 1 | Acople popa |
| 2 | 1 | Manillar individual |
| 3 | 1 | Subconjunto rotor primario |
| 4 | 1 | Subconjunto Turbina |
| 5 | 1 | Acople rotor |
| 6 | 1 | Bobina |
| 7 | 1 | Rotor primario |
| 8 | 1 | Rotor secundario |
| 9 | 4 | Tornillos manillar |
| 10 | 1 | Tapa turbina |
| 11 | 4 | Tornillos tapa turbina |
| 12 | 1 | Turbina |
| 13 | 1 | Dispositivo individual navegación |
| 15 | 4 | Arandela tornillo manillar |
| 14 | 2 | Tornillos dispositivo individual |

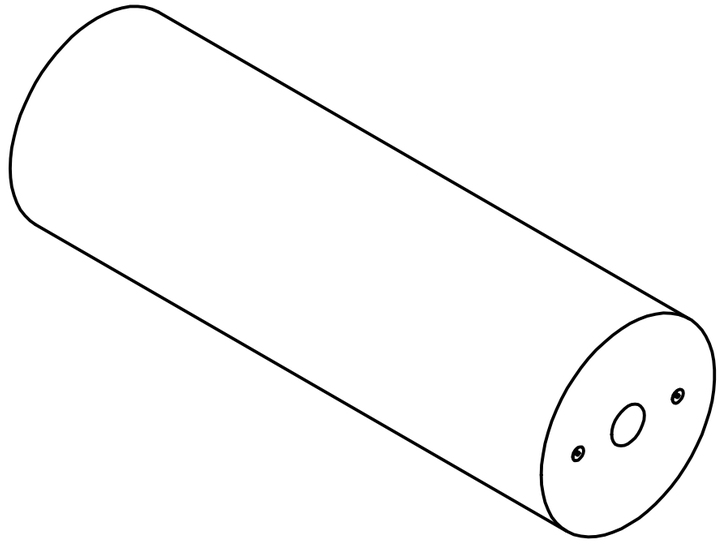
| | | | |
|---|---|---|---|
| Nº de plano 20 | | Autor | Javier Placer Martínez |
| Formato A3 | | Designación | Explosionado subconjunto propulsor |
| Escala 1:4 | | Proyecto | Modelado digital de un scooter subacuático de buceo para visualización inmersiva mediante técnicas de realidad mixta |

CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA ENM - MARÍN



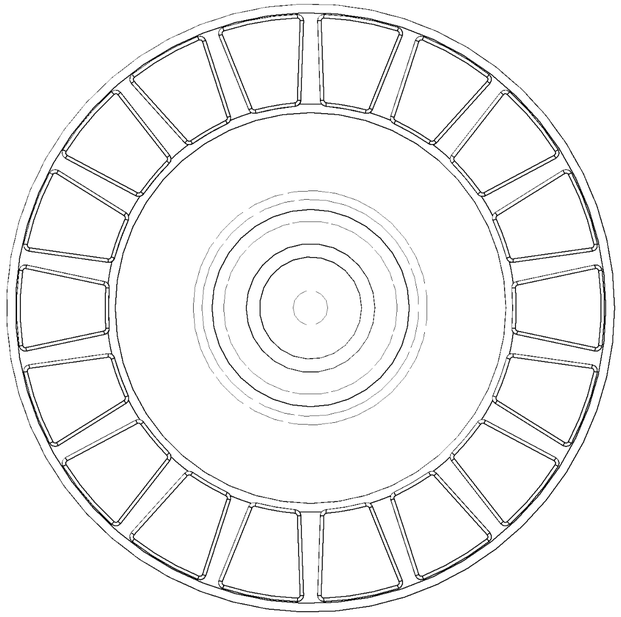


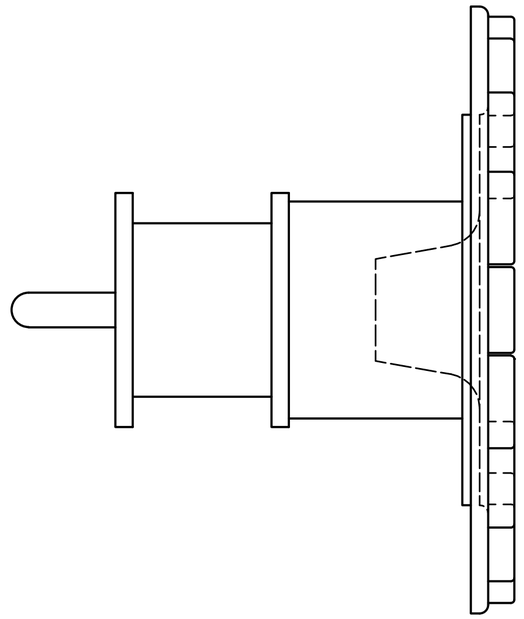


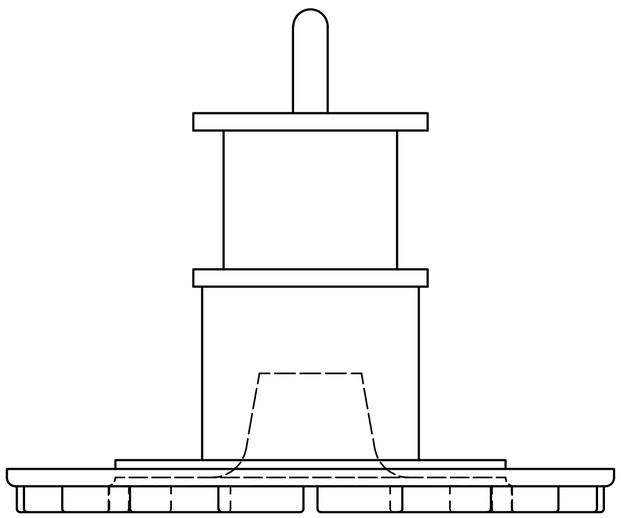


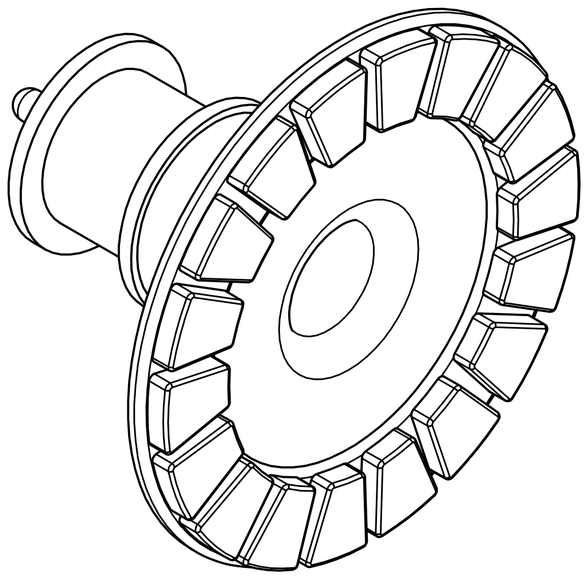
| | | | |
|---|---|---|---|
| Nº de plano 21 | | Autor | Javier Placer Martínez |
| Formato A3 | | Designación | Acople rotor |
| Escala 1:2 | | Proyecto | Modelado digital de un scooter subacuático de buceo para visualización inmersiva mediante técnicas de realidad mixta |

CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA
ENM - MARÍN



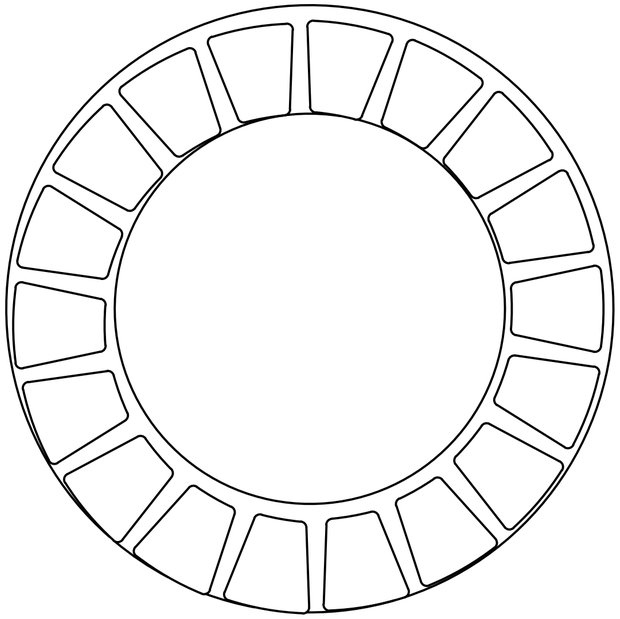


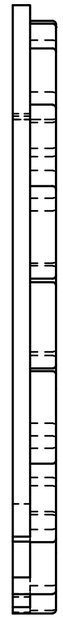




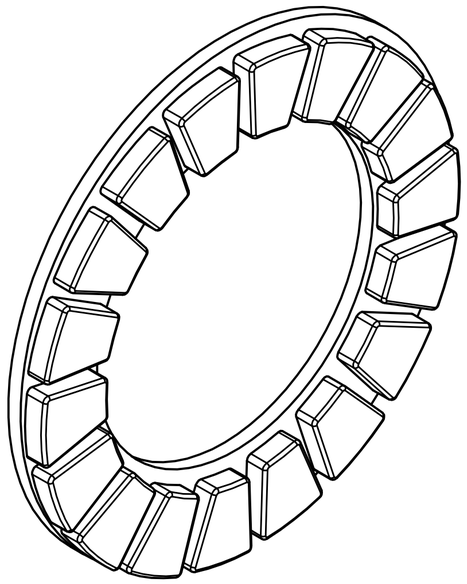
| | | | |
|---|---|---|---|
| Nº de plano 22 | | Autor | Javier Placer Martínez |
| Formato A2 | | Designación | Rotor primario |
| Escala 2:1 | | Proyecto | Modelado digital de un scooter subacuático de buceo para visualización inmersiva mediante técnicas de realidad mixta |

CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA
ENM - MARÍN



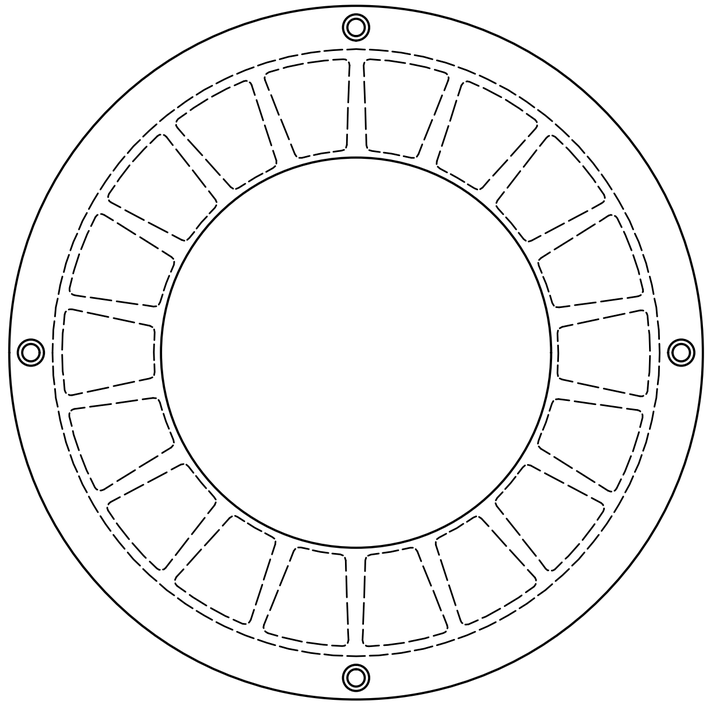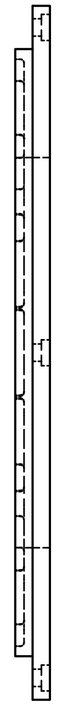






| | | | |
|---|---|---|---|
| Nº de plano 23 | | Autor | Javier Placer Martínez |
| Formato A2 | | Designación | Rotor secundario |
| Escala 2:1 | | Proyecto | Modelado digital de un scooter subacuático de buceo para visualización inmersiva mediante técnicas de realidad mixta |

CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA
ENM - MARÍN



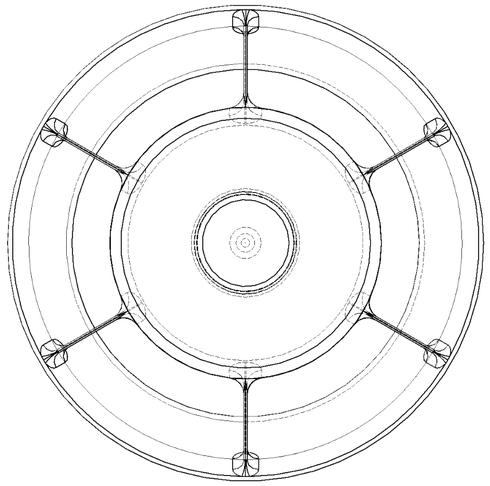


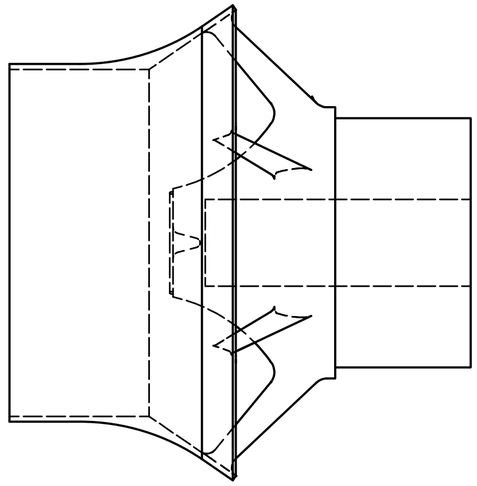


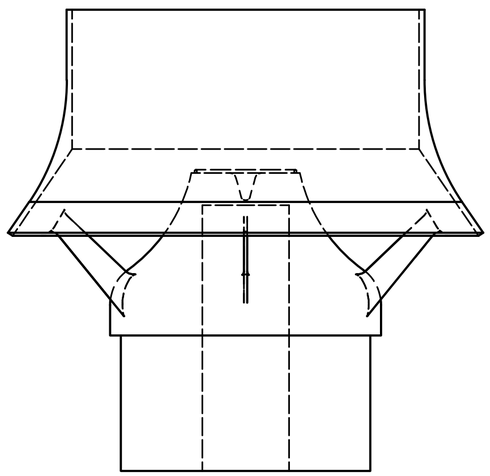


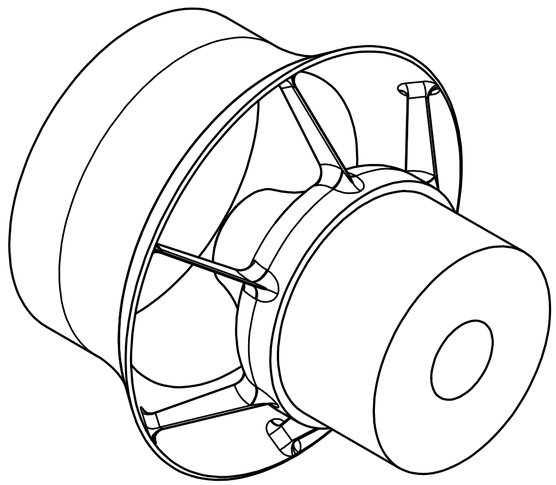
| | | | |
|---|---|---|---|
| Nº de plano 24 | | Autor | Javier Placer Martínez |
| Formato A2 | | Designación | Tapa turbina |
| Escala 2:1 | | Proyecto | Modelado digital de un scooter subacuático de buceo para visualización inmersiva mediante técnicas de realidad mixta |

CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA
ENM - MARÍN



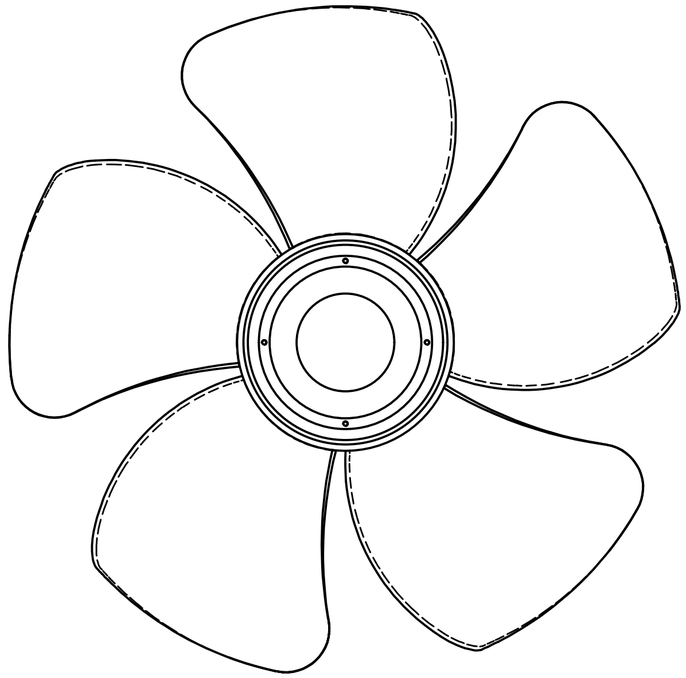


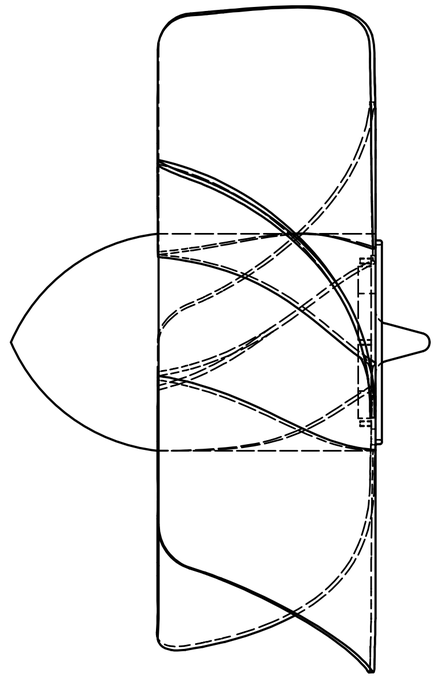


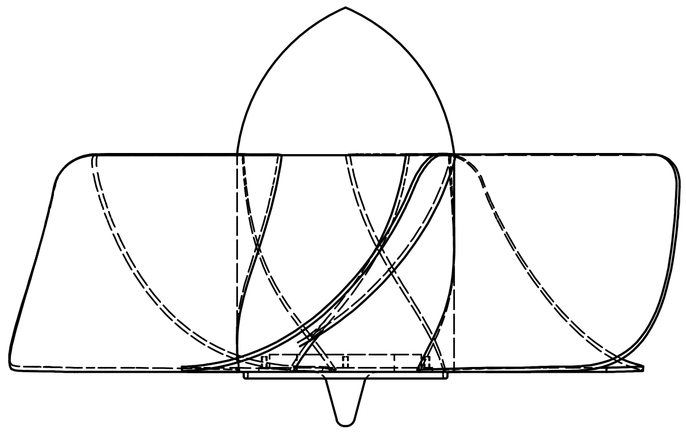


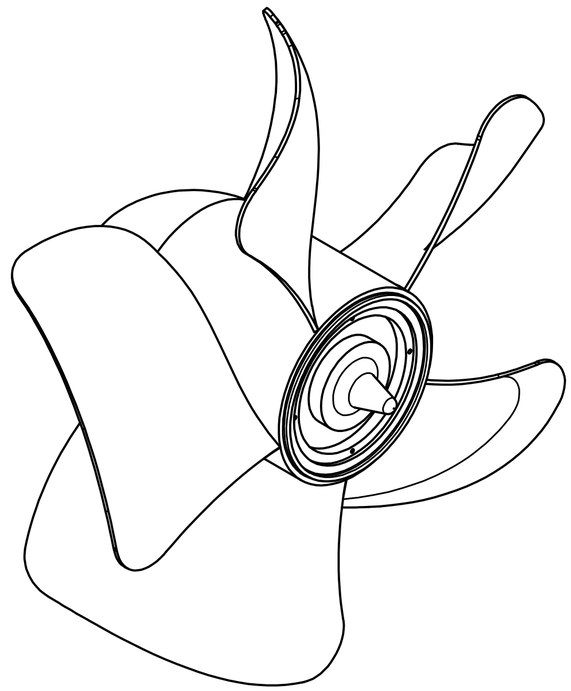
| | | | |
|---|---|---|---|
| Nº de plano 25 | | Autor | Javier Placer Martínez |
| Formato A2 | | Designación | Acople popa |
| Escala 1:4 | | Proyecto | Modelado digital de un scooter subacuático de buceo para visualización inmersiva mediante técnicas de realidad mixta |

CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA
ENM - MARÍN

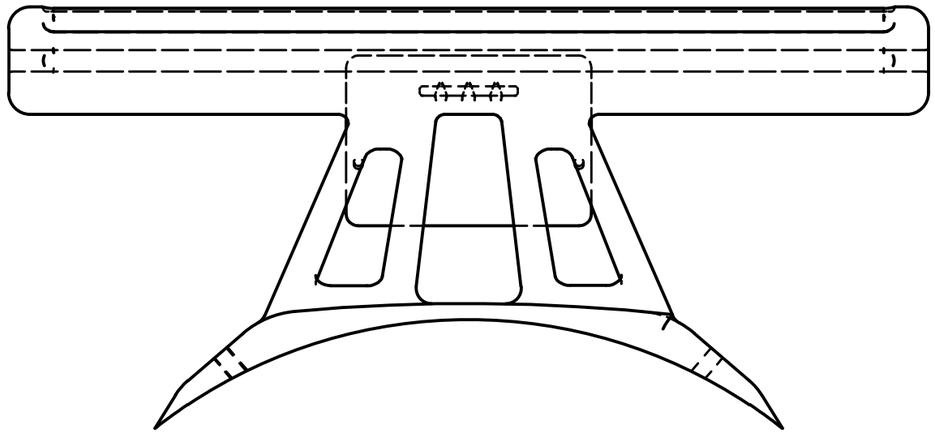


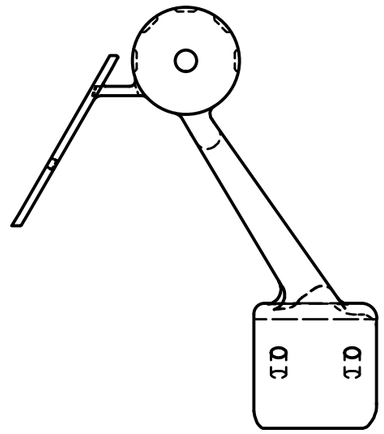


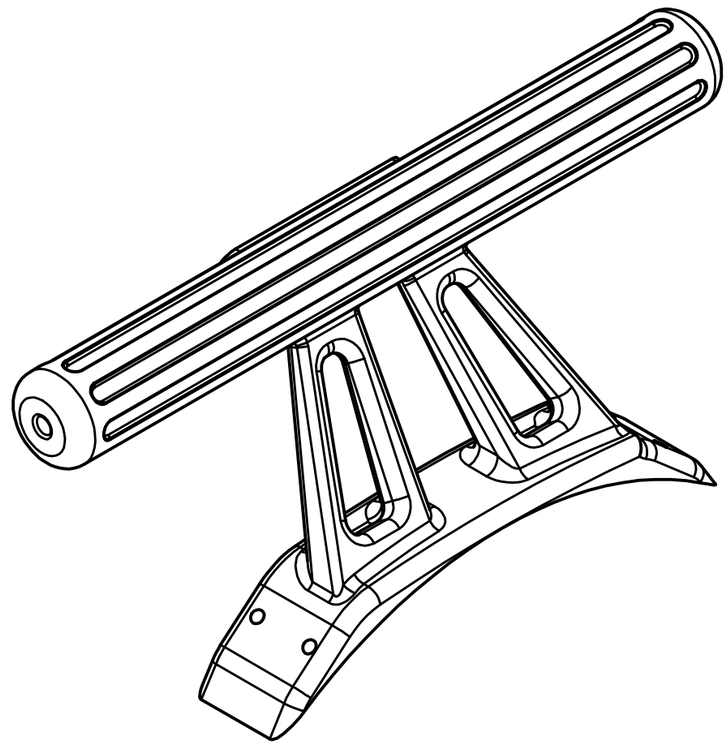


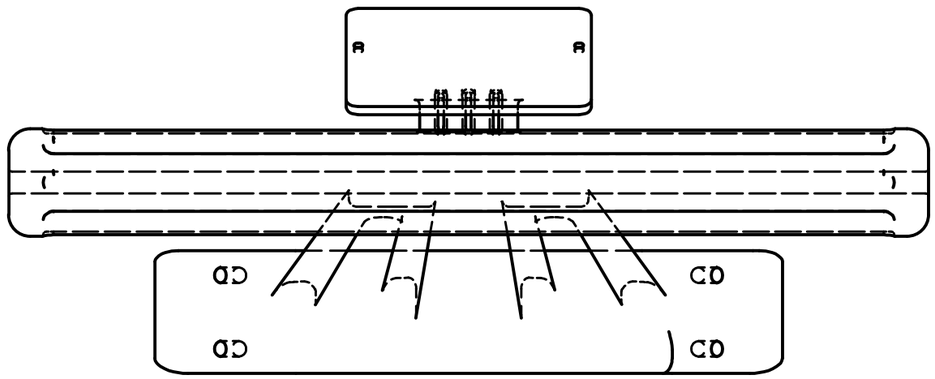


| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Nº de plano 26 | | Autor | Javier Placer Martínez | CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA ENM - MARÍN |
| Formato A2 | | Designación | Turbina | |
| Escala 1:2 | | Proyecto | Modelado digital de un scooter subacuático de buceo para visualización inmersiva mediante técnicas de realidad mixta | |



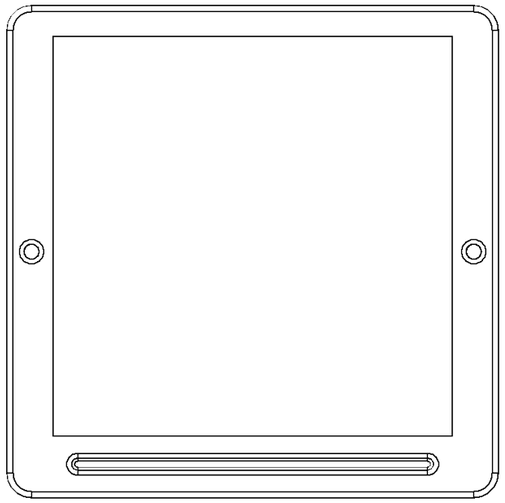




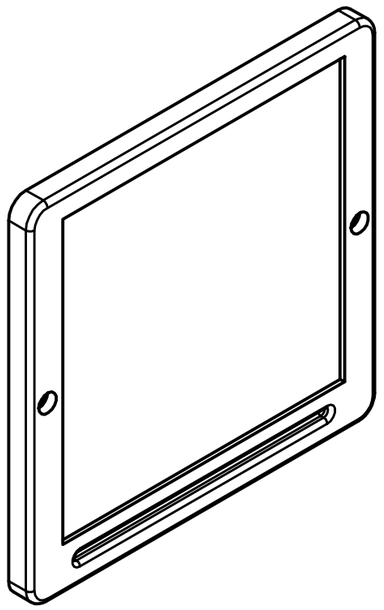


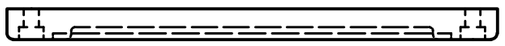
| | | | |
|---|---|---|---|
| Nº de plano 27 | | Autor | Javier Placer Martínez |
| Formato A3 | | Designación | Manillar individual |
| Escala 1:2 | | Proyecto | Modelado digital de un scooter subacuático de buceo para visualización inmersiva mediante técnicas de realidad mixta |

CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA
ENM - MARÍN

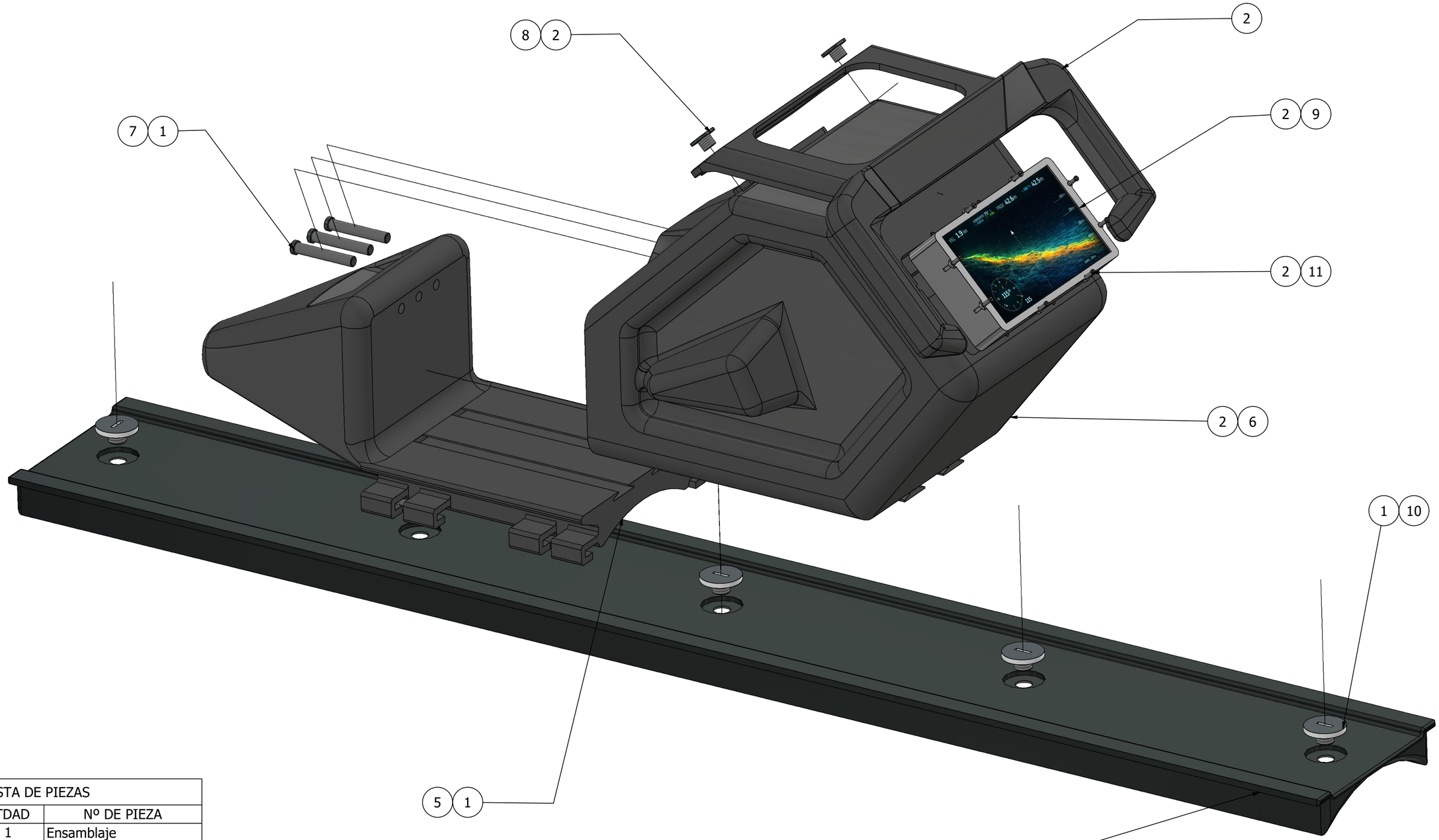








| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Nº de plano 28 | | Autor | Javier Placer Martínez | CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA ENM - MARÍN |
| Formato A3 | | Designación | Dispositivo individual navegación | |
| Escala 1:1 | | Proyecto | Modelado digital de un scooter subacuático de buceo para visualización inmersiva mediante técnicas de realidad mixta | |



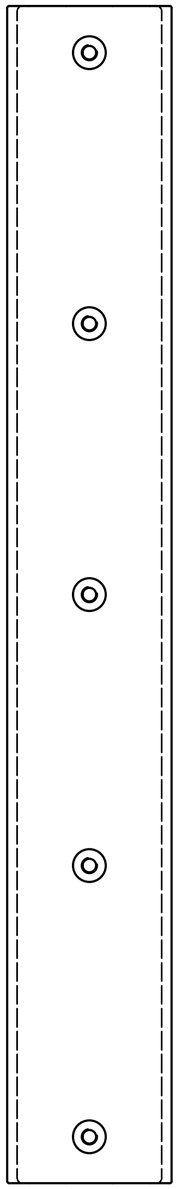

| LISTA DE PIEZAS | | |
|---|---|---|
| ELEMENTO | CTDAD | Nº DE PIEZA |
| 1 | 1 | Ensamblaje Tren-Regulador |
| 2 | 1 | Ensamblaje Monitor-Direccionador |
| 4 | 1 | Regulador guía |
| 5 | 1 | Regulador posición |
| 6 | 1 | Carcasa monitor |
| 3 | 1 | Manillar principal |
| 7 | 3 | Tornillos regulador posición |
| 8 | 2 | Tornillos manillar principal |
| 9 | 1 | Pantalla principal |
| 10 | 5 | Tornillos regulador guía |
| 11 | 8 | Tornillos pantalla |

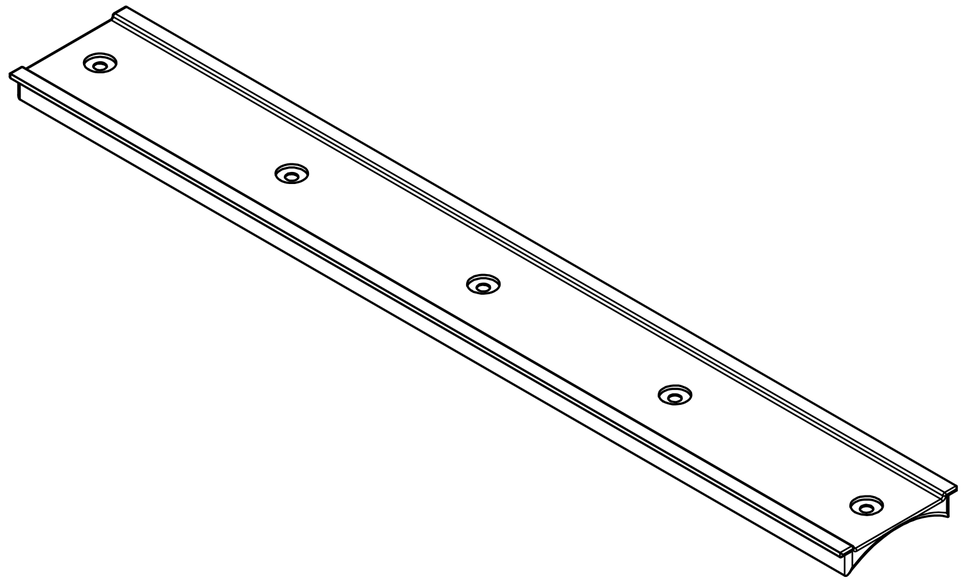
| | | | |
|---|---|---|---|
| Nº de plano 29 | | Autor | Javier Placer Martínez |
| Formato A2 | | Designación | Explosionado conjunto monitor principal |
| Escala 1:2 | | Proyecto | Modelado digital de un scooter subacuático de buceo para visualización inmersiva mediante técnicas de realidad mixta |

CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA ENM - MARÍN



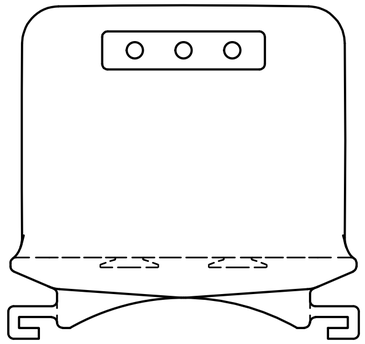


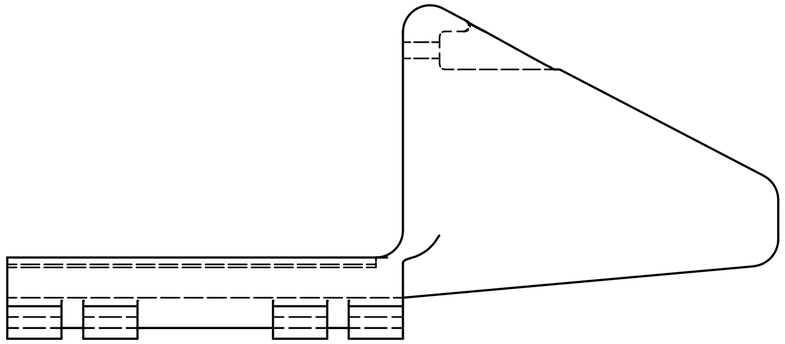




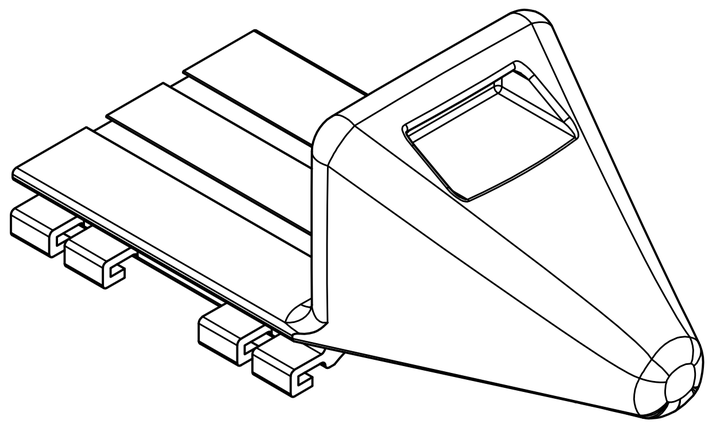
| | | | |
|---|---|---|---|
| Nº de plano 30 | | Autor | Javier Placer Martínez |
| Formato A2 | | Designación | Regulador guía |
| Escala 1:4 | | Proyecto | Modelado digital de un scooter subacuático de buceo para visualización inmersiva mediante técnicas de realidad mixta |

CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA
ENM - MARÍN



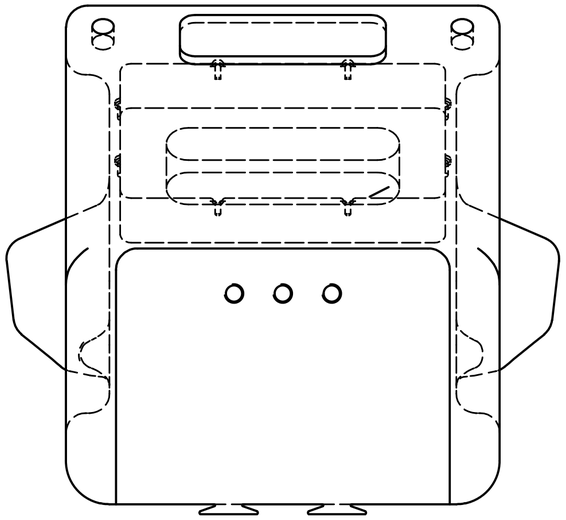


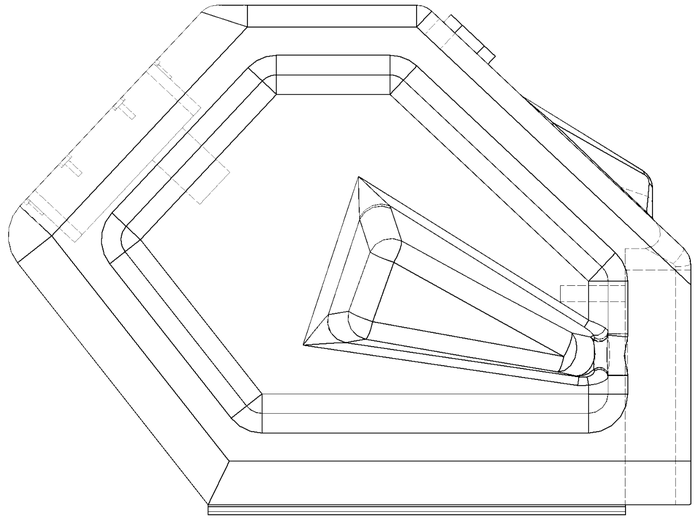


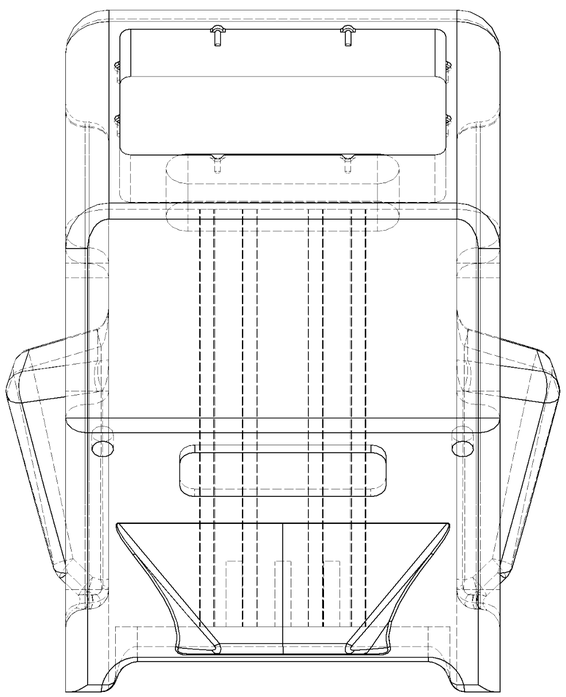


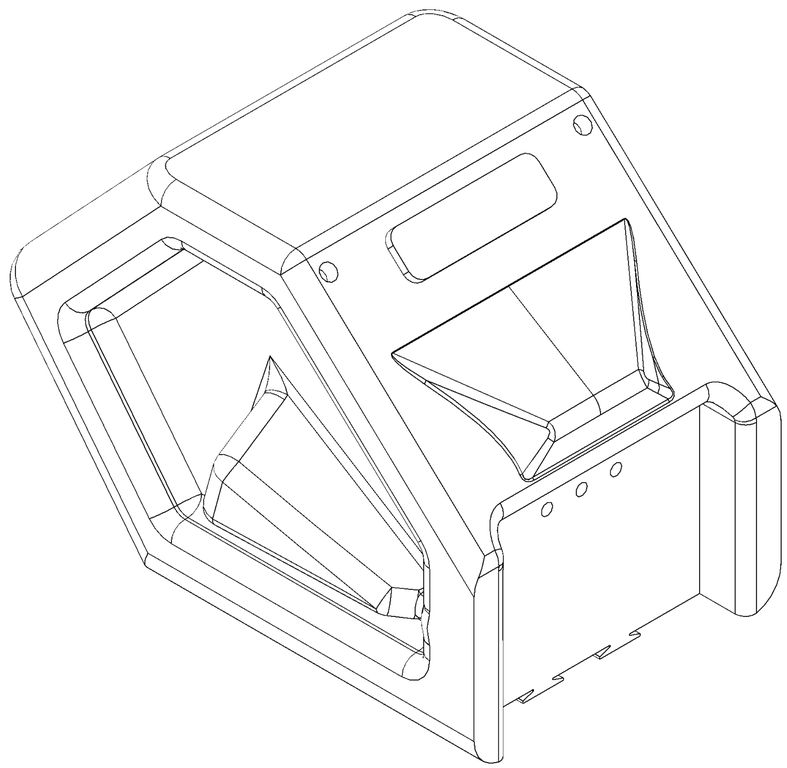
| | | | |
|---|---|---|---|
| Nº de plano 31 | | Autor | Javier Placer Martínez |
| Formato A2 | | Designación | Regulador de posición |
| Escala 1:2 | | Proyecto | Modelado digital de un scooter subacuático de buceo para visualización inmersiva mediante técnicas de realidad mixta |

CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA
ENM - MARÍN



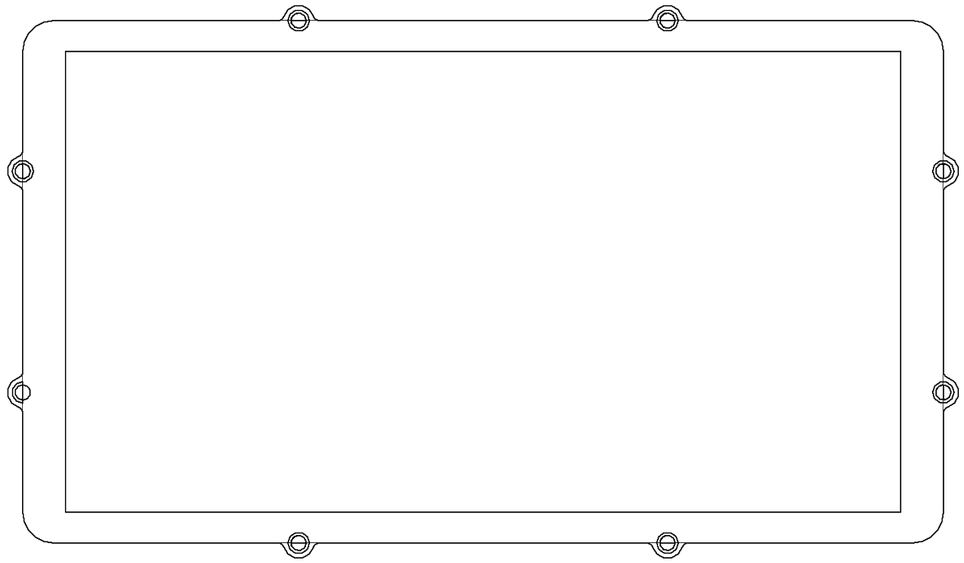


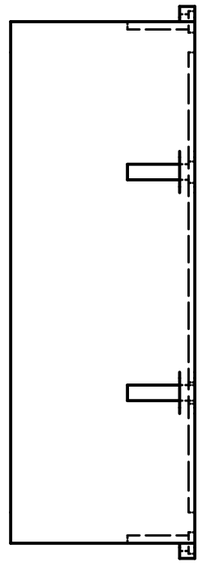


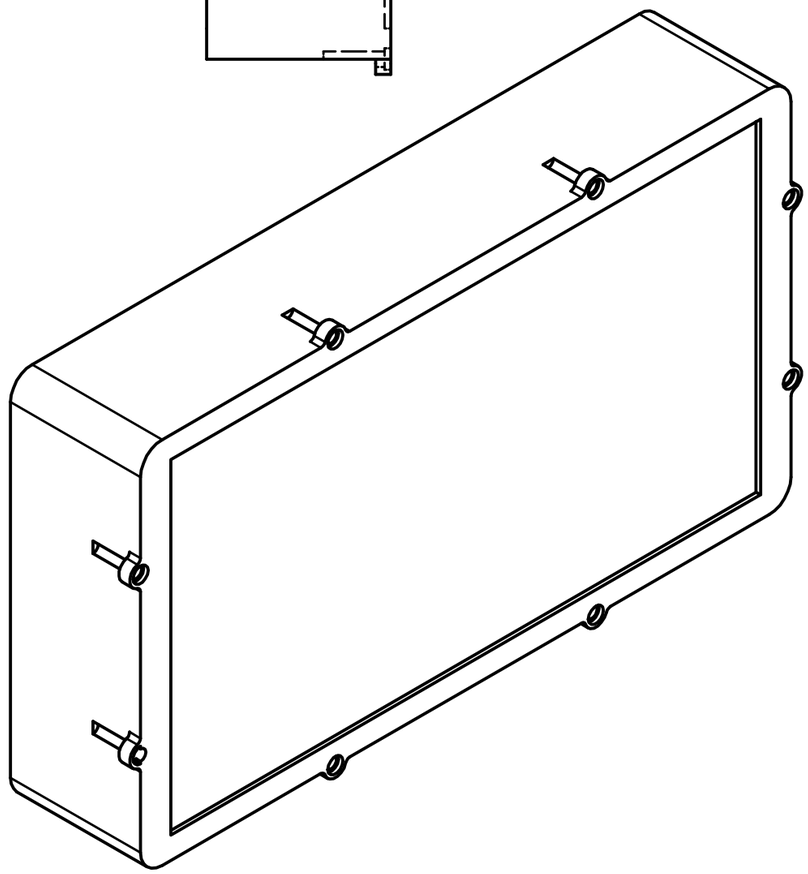


| | | | |
|---|---|---|---|
| Nº de plano 32 | | Autor | Javier Placer Martínez |
| Formato A2 | | Designación | Carcasa monitor |
| Escala 1:2 | | Proyecto | Modelado digital de un scooter subacuático de buceo para visualización inmersiva mediante técnicas de realidad mixta |

CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA
ENM - MARÍN



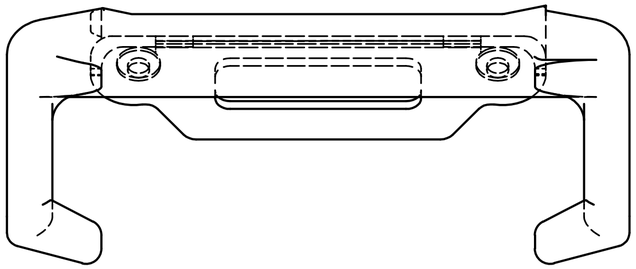


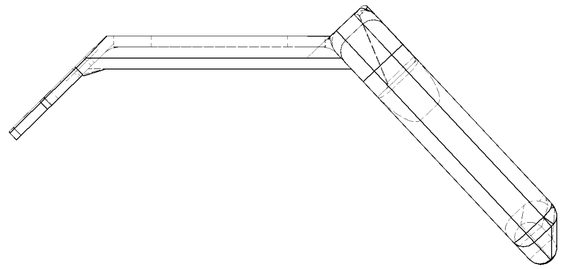


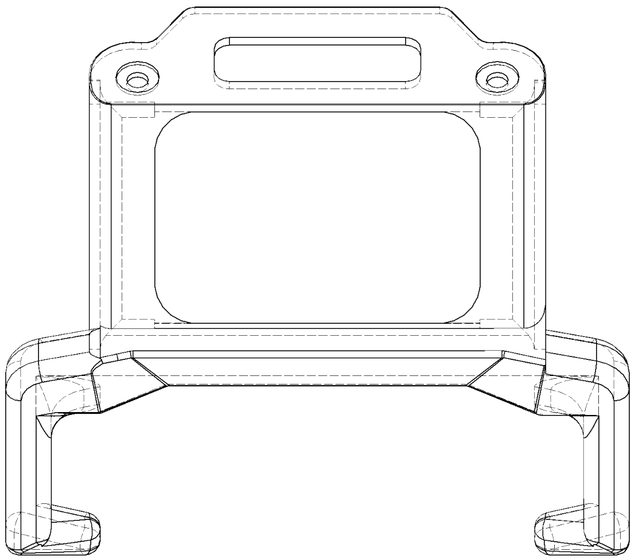


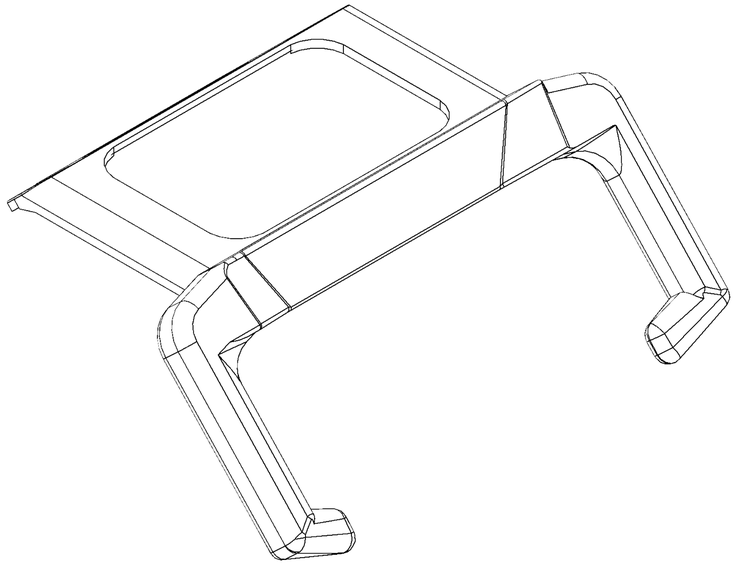
| | | | |
|---|---|---|---|
| Nº de plano 33 | | Autor | Javier Placer Martínez |
| Formato A3 | | Designación | Pantalla principal |
| Escala 1:1 | | Proyecto | Modelado digital de un scooter subacuático de buceo para visualización inmersiva mediante técnicas de realidad mixta |

CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA
ENM - MARÍN



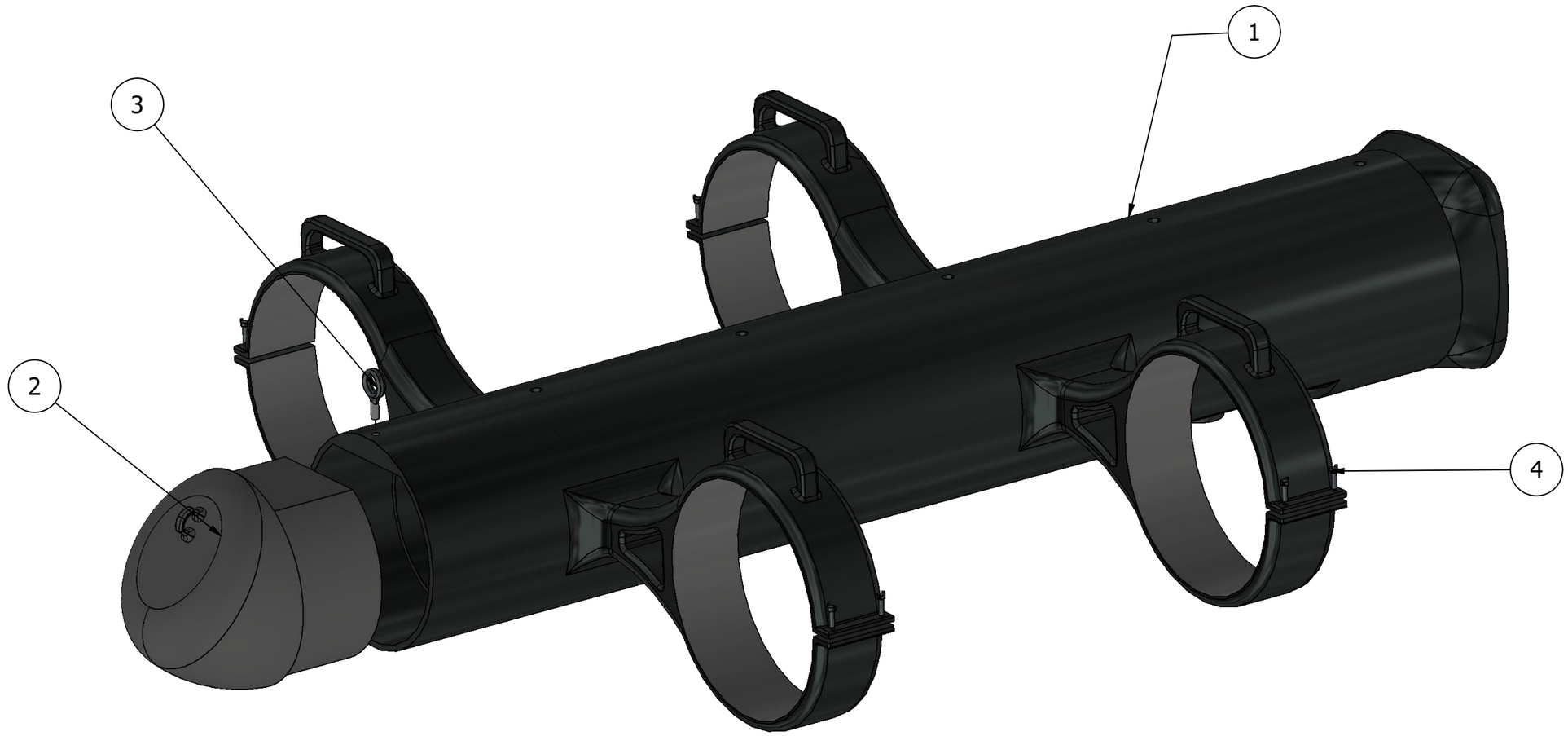






| | | | |
|---|---|---|---|
| Nº de plano 34 | | Autor | Javier Placer Martínez |
| Formato A2 | | Designación | Manillar principal |
| Escala 1:2 | | Proyecto | Modelado digital de un scooter subacuático de buceo para visualización inmersiva mediante técnicas de realidad mixta |

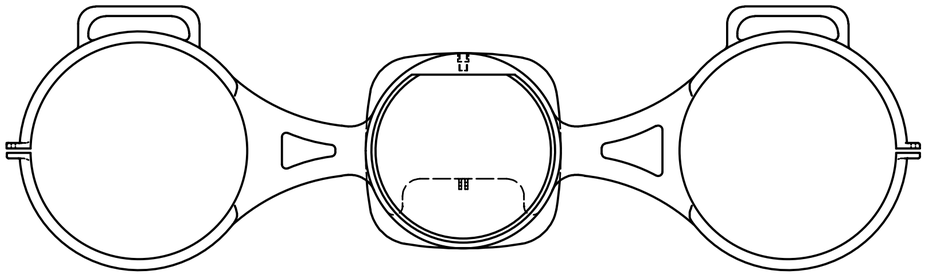
CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA
ENM - MARÍN

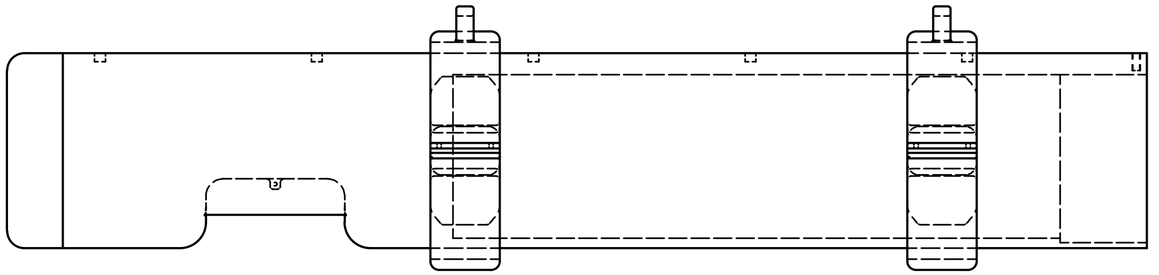


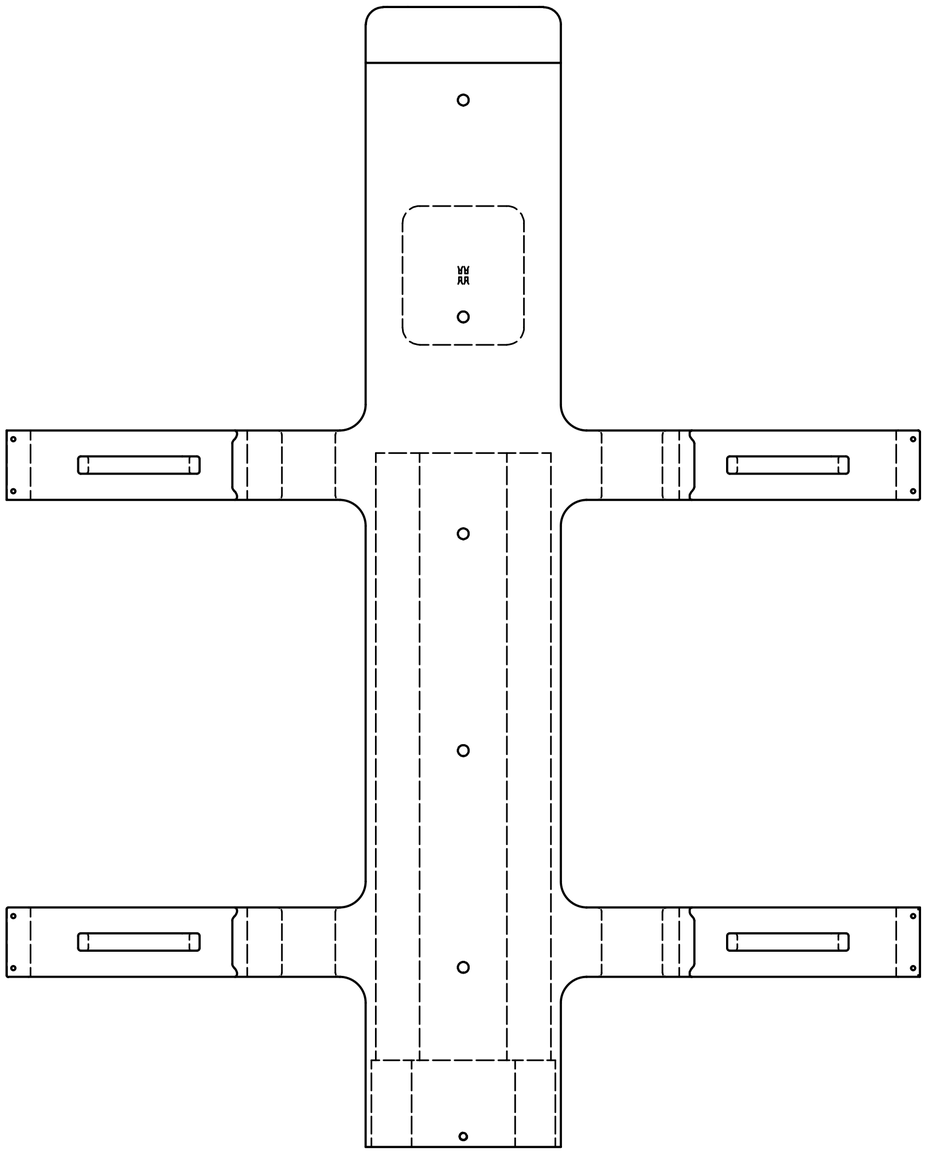

| LISTA DE PIEZAS | | |
|---|---|---|
| ELEMENTO | CTDAD | Nº DE PIEZA |
| 1 | 1 | Carcasa acople bitubular |
| 2 | 1 | Tapon carcasa proa |
| 3 | 1 | Anclaje equipos |
| 4 | 8 | Tornillos sujeciones |

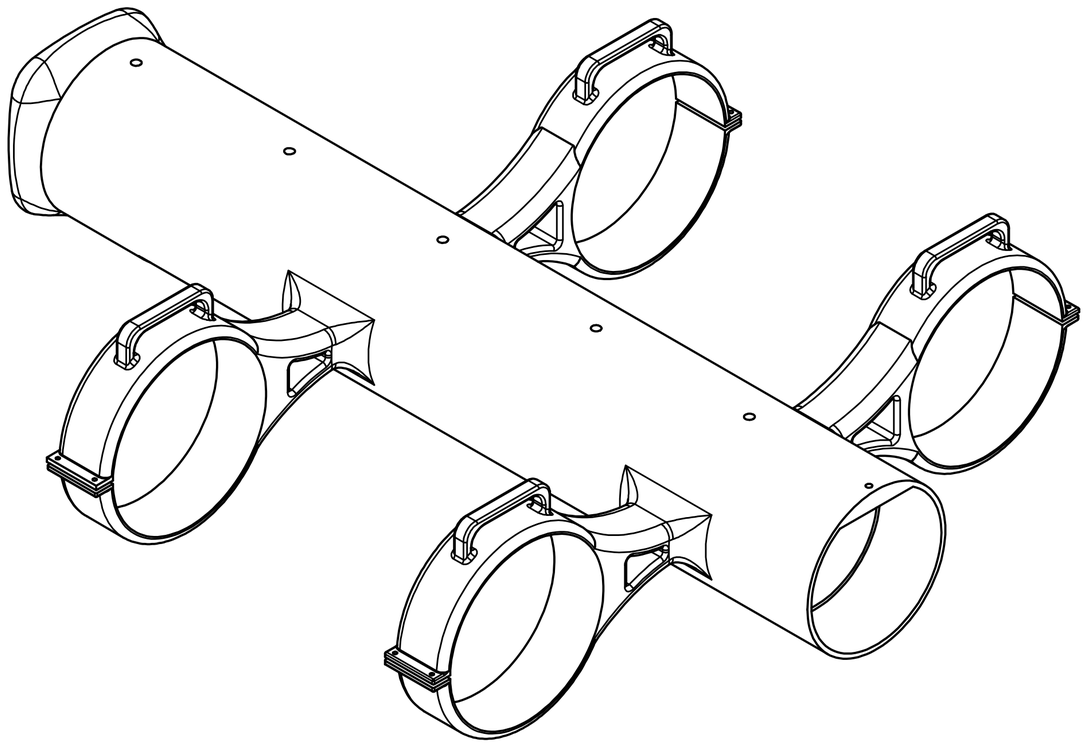
| | | | |
|---|---|---|---|
| Nº de plano 35 | | Autor | Javier Placer Martínez |
| Formato A3 | | Designación | Explosionado conjunto carcasa acople bitubular |
| Escala 1:5 | | Proyecto | Modelado digital de un scooter subacuático de buceo para visualización inmersiva mediante técnicas de realidad mixta |

CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA
ENM - MARÍN



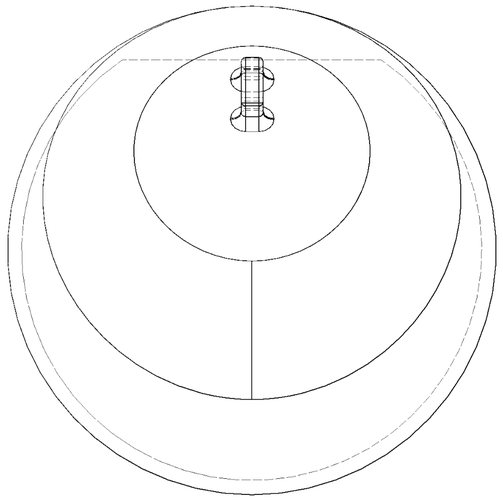


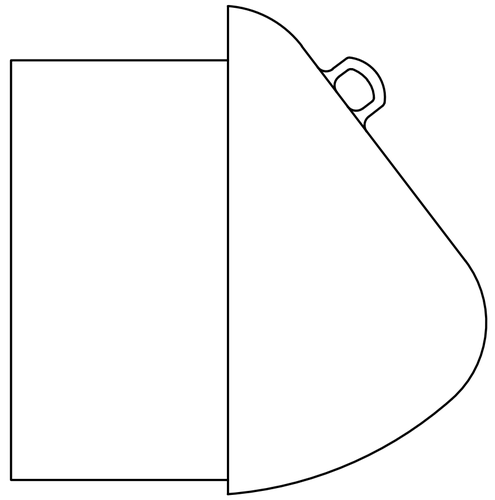


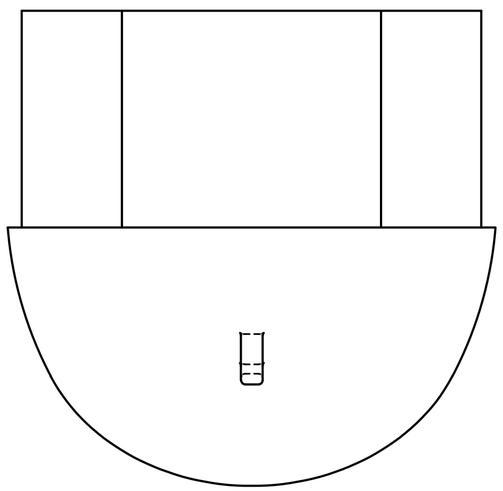


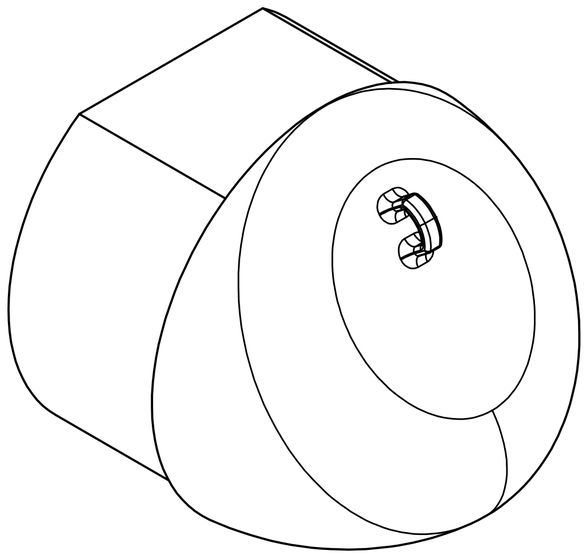
| | | | |
|---|---|---|---|
| Nº de plano 36 | | Autor | Javier Placer Martínez |
| Formato A2 | | Designación | Carcasa acople bitubular |
| Escala 1:5 | | Proyecto | Modelado digital de un scooter subacuático de buceo para visualización inmersiva mediante técnicas de realidad mixta |

CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA
ENM - MARÍN



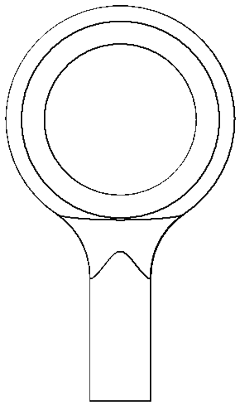


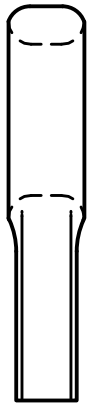




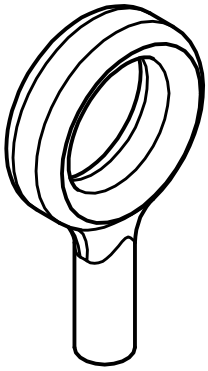
| | | | |
|---|---|---|---|
| Nº de plano 37 | | Autor | Javier Placer Martínez |
| Formato A2 | | Designación | Tapa proa acople bitubular |
| Escala 1:2 | | Proyecto | Modelado digital de un scooter subacuático de buceo para visualización inmersiva mediante técnicas de realidad mixta |

CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA
ENM - MARÍN









| | | | |
|---|---|---|---|
| Nº de plano 38 | | Autor | Javier Placer Martínez |
| Formato A4 | | Designación | Anclaje equipos |
| Escala 1:1 | | Proyecto | Modelado digital de un scooter subacuático de buceo para visualización inmersiva mediante técnicas de realidad mixta |

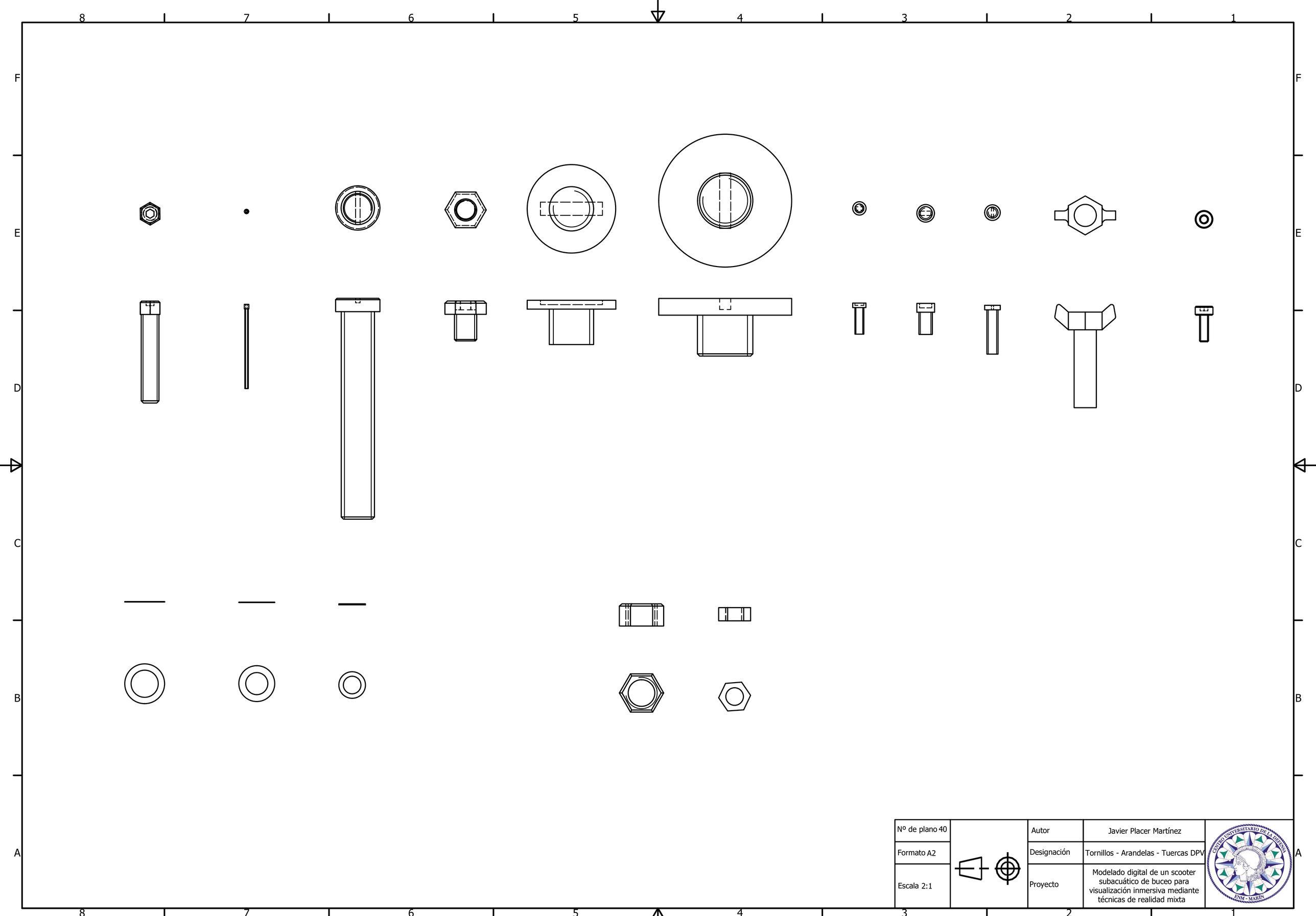
CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA
ENM - MARÍN

| LISTA DE PIEZAS | | |
|---|---|---|
| ELEMENTO | CTDAD | Nº DE PIEZA |
| 1 | 1 | Sonar |
| 2 | 1 | Arandela perno sonar |
| 3 | 1 | Perno sonar |
| 4 | 1 | Rosca perno sonar |




| | | | |
|---|---|---|---|
| Nº de plano 39 | | Autor | Javier Placer Martínez |
| Formato A4 | | Designación | Explosionado conjunto sonar |
| Escala 2:1 | | Proyecto | Modelado digital de un scooter subacuático de buceo para visualización inmersiva mediante técnicas de realidad mixta |

CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA ENM - MARÍN



| | | | |
|---|---|---|---|
| Nº de plano 40 | Autor | Javier Placer Martínez | |
| Formato A2 | Designación | Tornillos - Arandelas - Tuercas DPV | |
| Escala 2:1 | Proyecto | Modelado digital de un scooter subacuático de buceo para visualización inmersiva mediante técnicas de realidad mixta | |

CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA
ENM - MARÍN

# ANEXO V: MODELO DIGITAL INTERACTIVO

| | |
|---|---|
| TÍTULO | Scooter subacuático |
| DESIGNACIÓN | Modelo interactivo |
| AUTOR | Javier Placer Martínez |
| MATERIA | Trabajo Fin de Grado |
| CENTRO | CUD / ENM |

NOTAS

LA INFORMACIÓN Y LOS MATERIALES DE ESTE DOCUMENTO SON PROPIEDAD E INFORMACIÓN RESTRINGIDA O MATERIALES DEL AUTOR. ESTA INFORMACIÓN NO SE PUEDE UTILIZAR, REPRODUCIR, PUBLICAR O REVELAR A TERCEROS SIN AUTORIZACIÓN POR ESCRITO.

VISTAS DE MODELO

Imprimir vistas seleccionadas

Por defecto



LISTA DE PIEZAS

| NÚMERO DE PIEZ | DESCRIPCIÓN | CANTIDAD |
|---|---|---|
| Ensamblaj | N/A | 1 |
| Ensamblaj | N/A | 1 |

MOSTRAR TODO | AISLAR | OCULTAR | MOSTRAR | APLICAR ZOOM