



# Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

## TRABAJO FIN DE GRADO

*Diseño y fabricación de una pizarra táctica retroiluminada para  
lanchas de instrucción*

## Grado en Ingeniería Mecánica

**ALUMNO:** Pedro Fernández de Benito

**DIRECTORES:** Araceli Regueiro Pereira

**CURSO ACADÉMICO:** 2024-2025

Universida<sub>de</sub>Vigo





# Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

## TRABAJO FIN DE GRADO

*Diseño y fabricación de una pizarra táctica retroiluminada para  
lanchas de instrucción*

**Grado en Ingeniería Mecánica**

Intensificación en Tecnología Naval

Cuerpo General

UniversidadeVigo



## **RESUMEN**

El adiestramiento práctico a bordo constituye un pilar fundamental de la formación en la Escuela Naval Militar. En ese marco, este Trabajo Fin de Grado aborda el diseño, fabricación e instalación de una pizarra táctica retroiluminada en las lanchas de instrucción A-120, concebida como herramienta de apoyo durante la navegación y los ejercicios tácticos.

La solución desarrollada integra tecnologías de diseño CAD con procesos de fabricación digital, combinando el corte láser de polipropileno multicapa para el marco con la impresión 3D de soportes personalizados en PLA. El sistema, concebido para una instalación no invasiva, se adapta a las restricciones estructurales del buque mediante abrazaderas que evitan modificaciones permanentes. La retroiluminación LED —conmutables entre luz blanca y roja— permite su uso en condiciones nocturnas sin comprometer la visión de la dotación.

El trabajo incluye además análisis estructural por simulación, validación funcional mediante pruebas reales a bordo y evaluación mediante encuesta al personal embarcado.

Más allá del desarrollo técnico, el proyecto busca enriquecer la experiencia formativa de las futuras promociones, empleando recursos propios del Centro Universitario de la Defensa. La pizarra se configura, así como un instrumento didáctico y operativo que refuerza la profesionalización, la autonomía y la cultura de innovación en la formación naval.

## **PALABRAS CLAVE**

Instrucción naval, Fabricación aditiva, Diseño CAD, Corte láser, Iluminación LED.



# AGRADECIMIENTOS

A la profesora D<sup>a</sup>. Araceli Regueiro Pereira, que se ha involucrado generosamente en la realización de este trabajo, ofreciendo siempre soluciones, siendo su apoyo y dirección determinantes. Por la confianza depositada en mí en todo momento, y el buen trato que ha tenido conmigo.

A los profesores D. Iván Iglesias Sánchez y D. Carlos Pérez Collazo, que sin ser mis tutores me han brindado su ayuda desinteresada en momentos clave del desarrollo del TFG, compartiendo su tiempo y experiencia.

Al TN D. Gonzalo M<sup>a</sup> Delgado Franco, JADFLOT y Jefe del Núcleo de Lanchas, que siempre se mostró dispuesto a la realización del trabajo, sin poner traba ninguna, así como a su personal, en especial al MRO Paulino Maquieira Rodil, colaborador esencial para la instalación eléctrica. También al TN Grigori Nicolaeff, que me ofreció su lancha con su amabilidad característica en un momento crítico de este proyecto, por su entusiasmo como profesor y su ejemplo como oficial, siendo un representante de primera de su Marina y de su país.

A la Escuela Naval Militar, y con ella su personal, que ha sido mi casa durante 5 intensos años, ha forjado mi carácter y manera de afrontar la vida y, sobre todo, ha impreso en mí los valores que me han de servir de guía por los derroteros de esta profesión. Especialmente, al CC D. Jorge Rivera Dodero, al CC Íñigo Franco Moreu, al TN D. Pablo Sánchez del Val Rodríguez, a mis brigadieres y a todos aquellos implicados directamente en mi formación como Aspirante y Guardiamarina.

A la promoción 425-155, mis queridos Húngaros, que son el bien más valioso que me ha dado la Naval, siendo para mí una segunda familia. Por todo lo vivido, bueno y malo, y por lo que nos queda. Ya saben, “Esto no es nada, que siga el fuego” que diría el gran Cosme Damián Churruca.

A mi madre, a quién le debo todo, a mis hermanos, abuelos y al resto de miembros de mi espectacular familia. No soy sin vosotros.

A todos ellos, gracias.

*Laus Deo*



## CONTENIDO

|                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Contenido .....                                                                                     | 1  |
| Índice de Figuras .....                                                                             | 3  |
| Índice de Tablas.....                                                                               | 5  |
| 1 Introducción y objetivos .....                                                                    | 6  |
| 1.1 Introducción y motivación .....                                                                 | 6  |
| 1.2 Objetivos .....                                                                                 | 7  |
| 1.3 Estructura de la memoria .....                                                                  | 7  |
| 2 Estado del arte .....                                                                             | 9  |
| 2.1 Tecnologías de fabricación aditiva .....                                                        | 9  |
| 2.1.1 Introducción a la fabricación aditiva .....                                                   | 9  |
| 2.1.2 Fused Deposition Modeling (FDM) .....                                                         | 10 |
| 2.1.3 Materiales para impresión 3D en entorno marítimo y comparativa técnica .....                  | 11 |
| 2.2 Técnicas de modelado CAD para fabricación aditiva.....                                          | 13 |
| 2.2.1 Introducción al modelado CAD.....                                                             | 13 |
| 2.2.2 Diferencias entre modelado para fabricación aditiva y otros procesos de fabricación.....      | 13 |
| 2.2.3 Softwares CAD más utilizados en impresión 3D .....                                            | 14 |
| 2.3 Uso y empleo de pizarras y paneles en el ámbito naval.....                                      | 17 |
| 2.3.1 Sistemas de señalización y comunicación en barcos .....                                       | 17 |
| 2.3.2 Función de la pizarra retroiluminada en la formación naval .....                              | 18 |
| 2.3.3 Consideraciones ambientales y normativa.....                                                  | 18 |
| 2.4 Iluminación y tecnología LED .....                                                              | 18 |
| 2.4.1 Iluminación es espacios de trabajo a bordo .....                                              | 18 |
| 2.4.2 Integración de la tecnología LED .....                                                        | 19 |
| 2.4.3 Consideraciones técnicas y normativa respectiva a la instalación de iluminación a bordo ..... | 20 |
| 2.5 Lanchas de instrucción A-120.....                                                               | 21 |
| 2.5.1 Consideraciones para la instalación .....                                                     | 22 |
| 3 Desarrollo del TFG.....                                                                           | 24 |
| 3.1 Planteamiento de soluciones y selección del diseño final.....                                   | 24 |
| 3.1.1 Análisis de requisitos .....                                                                  | 24 |
| 3.1.2 Opciones iniciales planteadas .....                                                           | 25 |
| 3.1.3 Solución elegida.....                                                                         | 25 |
| 3.1.4 Condiciones dinámicas a bordo y su impacto en el diseño .....                                 | 26 |

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.2 Diseño CAD en Autodesk Inventor .....                              | 27 |
| 3.2.1 Software Autodesk Inventor .....                                 | 27 |
| 3.2.2 Paneles .....                                                    | 27 |
| 3.2.3 Elementos de fijación .....                                      | 27 |
| 3.2.4 Análisis estructural .....                                       | 28 |
| 3.3 Proceso de fabricación de los componentes.....                     | 29 |
| 3.3.1 Corte láser del marco de polipropileno.....                      | 29 |
| 3.3.2 Impresión 3D de los soportes en PLA .....                        | 30 |
| 3.4 Ensamblaje e instalación en la Lancha de Instrucción A-121.....    | 34 |
| 3.4.1 Ensamblaje del conjunto marco-panel.....                         | 34 |
| 3.4.2 Montaje a bordo .....                                            | 36 |
| 4 Resultados / Validación / Prueba.....                                | 39 |
| 4.1 Resultados del análisis estructural de tensiones.....              | 39 |
| 4.2 Evaluación funcional del sistema a bordo.....                      | 40 |
| 4.2.1 Comportamiento estructural y mecánico del conjunto .....         | 40 |
| 4.2.2 Evaluación funcional del sistema de retroiluminación .....       | 42 |
| 4.3 Costes de fabricación .....                                        | 44 |
| 4.3.1 Costes impresión 3D.....                                         | 44 |
| 4.3.2 Costes del marco y panel .....                                   | 45 |
| 4.3.3 Costes del sistema de iluminación .....                          | 46 |
| 4.3.4 Costes totales .....                                             | 46 |
| 4.4 Encuesta de satisfacción.....                                      | 47 |
| 4.4.1 Metodología .....                                                | 47 |
| 4.4.2 Resultados.....                                                  | 47 |
| 5 Conclusiones y líneas futuras .....                                  | 49 |
| 5.1 Conclusiones .....                                                 | 49 |
| 5.2 Líneas futuras .....                                               | 49 |
| 5.2.1 Perfeccionamiento del sistema actual .....                       | 50 |
| 5.2.2 Proyectos derivados y ampliación de uso .....                    | 50 |
| 6 Bibliografía.....                                                    | 51 |
| Anexo I: Implicaciones Sociales, y/o Económicas, y/o Ambientales ..... | 54 |
| Anexo II: Reflexiones Éticas y Sociales .....                          | 55 |
| Anexo III: PLANOS.....                                                 | 56 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 2-1 Fabricación aditiva [4].....                                                                                            | 9  |
| Figura 2-2 Impresión FDM [8].....                                                                                                  | 10 |
| Figura 2-3 Figura afectada por <i>warping</i> [9] .....                                                                            | 11 |
| Figura 2-4 Diagrama proceso FDM [10].....                                                                                          | 11 |
| Figura 2-5 Software CAD ofrecido por la empresa AUTODESK [18] .....                                                                | 13 |
| Figura 2-6 Fabricación sustractiva [21].....                                                                                       | 14 |
| Figura 2-7 Modelo comercial de enfriador realizado en Inventor por Mammoth Inc. [22] .....                                         | 14 |
| Figura 2-8 Dibujo 2D y modelado 3D en AutoCAD [23].....                                                                            | 15 |
| Figura 2-9 Diferentes facetas de Fusión 360 [24] .....                                                                             | 15 |
| Figura 2-10 Modelo realizado en SolidWorks [25].....                                                                               | 16 |
| Figura 2-11 Módulo de aterrizaje lunar en TinkerCAD por Airbus Foundation [26].....                                                | 16 |
| Figura 2-12 Portaaviones USS Midway [Autoría GM2 Juan Díaz del Río Triguero] .....                                                 | 17 |
| Figura 2-13 Tira de luces LED para consumo particular [28].....                                                                    | 19 |
| Figura 2-14 GM Chereguini en la ría de Marín [Autoría AF Aznar de la Riera].....                                                   | 21 |
| Figura 2-15 Costado de estribor y cubierta principal de una lancha de instrucción [32] .....                                       | 21 |
| Figura 2-16 Esquema eléctrico de la lancha de instrucción [32].....                                                                | 23 |
| Figura 3-1 Aceleración de la gravedad a bordo de una lancha en una salida a la mar [Autoría propia]<br>.....                       | 26 |
| Figura 3-2 Abrazadera (izquierda) y apoyo (derecha) [Autoría propia] .....                                                         | 28 |
| Figura 3-3 Bisagras, a pizarra (izquierda) y a abrazadera (derecha) [Autoría propia] .....                                         | 28 |
| Figura 3-4 Disposición de la fuerza remota empleada [Autoría propia] .....                                                         | 29 |
| Figura 3-5 Cortado láser de la plancha de polipropileno gris [Autoría propia] .....                                                | 30 |
| Figura 3-6 Trazas de los ensayos previos al corte [Autoría propia].....                                                            | 30 |
| Figura 3-7 Abrazadera posimpresión con cama (izda) y con su homóloga limpia (dcha) [Autoría<br>propia] .....                       | 33 |
| Figura 3-8 Bisagra definitiva a marco (izda) y bisagra preliminar a abrazadera (dcha) [Autoría<br>propia] .....                    | 33 |
| Figura 3-9 Soporte inferior [Autoría propia].....                                                                                  | 34 |
| Figura 3-10 Pegado de panel y marcos con la resina, en negro [Autoría propia] .....                                                | 35 |
| Figura 3-11 Pegado de luces LED. Las rojas, con IP66 con recubrimiento plástico. [Autoría propia]<br>.....                         | 35 |
| Figura 3-12 Colocación de pesos tras el pegado del segundo marco exterior durante el secado de la<br>resina [Autoría propia] ..... | 36 |
| Figura 3-13 Detalle de abrazaderas entorno al puntal. [Autoría propia].....                                                        | 36 |

|                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 3-14 Detalle superior e inferior de bisagra, unida a abrazaderas y marco por tornillería [Autoría propia]..... | 37 |
| Figura 3-15 Bisagra y soporte inferiores, previamente a la fijación con tornillos del último [Autoría propia] .....   | 37 |
| Figura 3-16 Colocación de bridas al cableado [Autoría propia] .....                                                   | 38 |
| Figura 4-1 Tensión de Von Mises obtenida de la simulación [Autoría propia] .....                                      | 39 |
| Figura 4-2 Coeficiente de seguridad obtenidos de la simulación [Autoría propia].....                                  | 40 |
| Figura 4-3 Posición perpendicular a crujía.....                                                                       | 41 |
| Figura 4-4 Posición paralela a crujía .....                                                                           | 41 |
| Figura 4-5 Detalle de esquina inferior, donde se apoya la pizarra sobre el soporte [Autoría propia] .....             | 42 |
| Figura 4-6 Pizarra con iluminación blanca [Autoría propia] .....                                                      | 43 |
| Figura 4-7 Iluminación roja en posición perpendicular a crujía [Autoría propia] .....                                 | 43 |
| Figura 4-8 Iluminación roja en posición paralela a crujía [Autoría propia].....                                       | 44 |
| Figura 4-9 Resultado de la primera pregunta [Autoría propia] .....                                                    | 47 |
| Figura 4-10 Resultado de la segunda pregunta [Autoría propia] .....                                                   | 48 |
| Figura 4-11 Resultado de la tercera pregunta [Autoría propia].....                                                    | 48 |

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Comparación materiales empleables en FDM .....12

Tabla 3-1 Especificaciones Impresora Ultimaker 3D Extended .....31

Tabla 3-2 Parámetros impresión 3D.....32

Tabla 4-1 Costes impresión piezas 3D [Autoría propia] .....45

Tabla 4-2 Costes tornillería [Autoría propia] .....45

Tabla 4-3 Costes planchas polipropileno gris [Autoría propia] .....46

Tabla 4-4 Costes iluminación.....46

Tabla 4-5 Costes totales .....46

# 1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

## 1.1 Introducción y motivación

El traslado de la Escuela Naval Militar (ENM) a Marín se decidió en gran medida por las condiciones idóneas de la ría para las prácticas de navegación [1], llegando a ser definida, incluso, como la mejor de las aulas para la navegación que uno puede encontrar [2]. Se consideró entonces, como ahora, que eran objetivos indispensables en el plan de carrera de los futuros Oficiales el contacto del alumno con la mar, medio en el que ha de ejercer su profesión, su familiarización con los buques, tanto su organización, como la plataforma en sí y la vida a bordo; la práctica en condiciones reales de lo aprendido teóricamente y habituación al ejercicio del mando [3]. Por ello, era, y es, imprescindible disponer de los medios que permitan desarrollar las prácticas programadas para el adiestramiento a flote, en las que se tenga la posibilidad material de una participación y una plena integración por parte del alumnado.

Las lanchas de instrucción son la materialización definitiva de todos estos propósitos, siendo su razón de ser la simulación de un buque de guerra al uso de los que opera la Armada, con dotación y dimensiones significativamente menores, facilitando su manejo al objeto de adecuar la dificultad a las capacidades de un alumno en su etapa de formación, pero manteniéndose en la mayoría de los aspectos una fiel réplica a las unidades de la Flota. En este sentido, la filosofía de fondo no es otra que la de asemejar en todo lo posible el adiestramiento a la realidad, y para ello cualquier implementación que supla las pocas limitaciones en términos de equipamiento, tendrá un impacto positivo en la inmersión de las Damas y Caballeros en un ambiente cada vez menos distinguible del que se encontrarán una vez egresados.

En este marco de innovación educativa y práctica, la incorporación de la fabricación 3D se presenta como una herramienta clave para enriquecer la experiencia formativa. El uso de software de modelado, como Autodesk Inventor, y técnicas de impresión 3D no solo permite diseñar y realizar prototipos de componentes y dispositivos a medida para los buques, sino que también facilita la transición del concepto al producto final. Esta tecnología potencia la experimentación y la comprensión integral de los procesos de ingeniería, ofreciendo a los alumnos la oportunidad de aplicar de manera práctica los conocimientos teóricos adquiridos. Así, se fomenta un aprendizaje dinámico y adaptado a las exigencias del entorno naval actual.

En este trabajo se diseñará y fabricará una pizarra táctica mediante tecnologías de fabricación aditiva, analizando los diferentes materiales a emplear para su instalación en el puente de gobierno de las lanchas de instrucción, donde servirá como instrumento de ayuda en los ejercicios tácticos, sin necesidad de recurrir a las ventanas que dan a los combeses como tablón de oportunidad.

La motivación de este trabajo de fin de grado es tratar de dotar de mejores medios a las futuras generaciones de alumnos de esta Escuela, a través del uso de herramientas y tecnologías propias del

Centro Universitario de la Defensa en Marín (CUD-ENM). El principal motivo de elección fue la oportunidad para influir en los primeros contactos con la mar de las promociones que relevan a la actual Quinta Brigada, y sirva para ellos como motivación para no cesar nunca en su continuo adiestramiento y el de sus subordinados.

## 1.2 Objetivos

El objetivo central de este Trabajo Fin de Grado es el diseño, desarrollo e instalación a bordo de una lancha de instrucción de la Escuela Naval Militar de un sistema visual de apoyo táctico en forma de pizarra retroiluminada, concebido como una herramienta eficaz para la representación y actualización de información relevante durante la navegación. Esta pizarra está orientada a reflejar, de manera clara y flexible, datos como el calendario de acontecimientos (CALACA), el plan de control de emisiones (PLAN EMCON) o el dispositivo táctico en vigor, facilitando el adiestramiento práctico a flote de los alumnos.

Entre los objetivos específicos del proyecto se encuentra el desarrollo de una solución personalizada, adaptada a las particularidades del entorno naval, que garantice una instalación robusta, segura y compatible con las limitaciones estructurales de la embarcación sin comprometer su integridad ni operatividad.

Asimismo, se persigue la aplicación de herramientas de diseño asistido por ordenador (CAD), en particular Autodesk Inventor, tanto en la fase de ideación como en el análisis de viabilidad mecánica y estructural del conjunto, incluyendo la simulación de tensiones en los puntos críticos.

Se contempla también el empleo de tecnología de fabricación aditiva, concretamente impresión 3D mediante tecnología FDM, como método de producción principal para los elementos de fijación, prestando especial atención a la optimización geométrica y funcional de las piezas.

Otro objetivo es la integración de un sistema de iluminación LED de doble color —blanco y rojo— operable en condiciones nocturnas y conectado al sistema eléctrico del puente de gobierno, garantizando una visibilidad adecuada sin generar deslumbramientos.

Por último, se plantea la validación de la funcionalidad del conjunto mediante su instalación real y prueba durante una salida a la mar, evaluando su desempeño y posibles mejoras a partir de la observación directa y la recopilación de impresiones del personal embarcado.

## 1.3 Estructura de la memoria

Una vez referenciado el marco en el que se encuadra este trabajo, contextualizado y definidos los objetivos que se esperan lograr, se procede a detallar la estructura que sigue la memoria con el propósito de organizar la presentación de los trabajos realizados y de los resultados obtenidos con la mayor claridad posible. El documento se encuentra dividido en cinco capítulos con su correspondiente bibliografía en la que se recogen todas las fuentes empleadas y consultadas y, por último, una serie de anexos como apoyo al desarrollo del trabajo. La organización del TFG es la siguiente:

Capítulo 1: Introducción y objetivos. Se plantea la razón de ser de las lanchas de instrucción, el papel que juegan en la idiosincrasia de la ENM y la facilidad que presentan para introducir en ellas mejoras realizadas de manera autosuficiente desde la propia base usando la infraestructura que ofrece el CUD. Se expone el marco en el que se desarrolla este trabajo y se plantean tanto los objetivos que se desean alcanzar como la estructuración de la memoria.

Capítulo 2: Estado del arte. Se analizará el contexto técnico en el que existe este trabajo, tratando los diferentes campos en los que se ha basado, siendo estos un estudio de la situación de la fabricación aditiva actual, el concepto CAD y las diferentes técnicas y softwares, el uso de pizarras en el ámbito

naval, la tecnología de iluminación LED y la plataforma sobre la que se instalará el proyecto una vez finalizado.

Capítulo 3: Desarrollo del TFG. Se describen el estudio previo de la zona de instalación, las diferentes herramientas empleadas – tanto virtuales como manuales – en las distintas fases del proyecto, los diseños realizados, los modelos y piezas impresos, el ensamblado del conjunto de las partes de la pizarra y la instalación final a bordo de la lancha A-121 GM Rull

Capítulo 4: Resultados obtenidos y validación. Se plasma el resultado final del trabajo y su instalación efectiva a bordo de la lancha de instrucción A-123 GM Rull, analizándose los errores cometidos y sus diferentes causas (humanas, mecánicas, técnicas...). También se recoge el recibimiento que ha tenido por parte de la dotación que la ha utilizado de forma experimental.

Capítulo 5: Conclusiones y líneas futuras. Se resumen las conclusiones obtenidas tras la elaboración del trabajo. De la misma manera, se plantean las posibles líneas futuras que puedan mejorar el trabajo o complementarlo con el fin de seguir avanzando en los objetivos del proyecto, especialmente si responde a la motivación de mejorar el medio de adiestramiento de los venideros Aspirantes y Guardiamarinas.

Capítulo 6: Bibliografía. Se especifican las fuentes, ya sean académicas, empresariales o doctrinales, en las que se apoya este trabajo. Finalmente se adjunta una serie de anexos, con el fin de complementar y facilitar la comprensión del trabajo. Además, se añadirá información relevante que refuerza lo trabajado en el cuerpo de la memoria.

## 2 ESTADO DEL ARTE

En este apartado se analizarán las tecnologías, los materiales y los sistemas existentes que guardan relación con el diseño de una pizarra retroiluminada para su instalación en un buque. Se describirá la plataforma sobre la que se propone colocar, sus medidas y composición. Se explorarán soluciones previas en entornos similares, los materiales más adecuados y las normativas aplicables en el ámbito naval.

### 2.1 Tecnologías de fabricación aditiva

#### 2.1.1 Introducción a la fabricación aditiva

La fabricación aditiva (*Additive Manufacturing*, AM) ha demostrado ser una tecnología revolucionaria en la industria naval, permitiendo la creación de componentes personalizados, optimización estructural y reducción de costes en repuestos. Su capacidad para fabricar piezas ligeras y funcionales con geometrías complejas sin necesidad de moldes la convierte en una herramienta clave para la ingeniería moderna. En este trabajo, para la fabricación de la pizarra de policarbonato (PC) retroiluminada, la fabricación aditiva se utilizará para producir los soportes de fijación, de tal manera que tengan las características específicas requeridas, sin recurrir totalmente a las soluciones normalizadas que puede ofrecer el mercado (Figura 2-1).

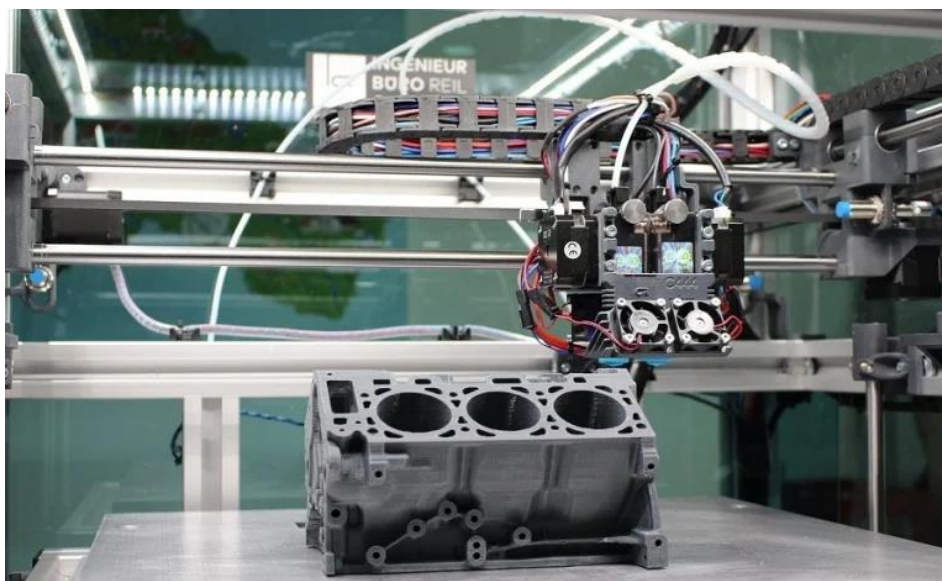


Figura 2-1 Fabricación aditiva [4]

### 2.1.2 Fused Deposition Modeling (FDM)

El Modelado por Deposición Fundida (*Fused Deposition Modeling*, FDM) es una tecnología de impresión 3D que pertenece a los procesos de fabricación aditiva. Consiste en la construcción de objetos tridimensionales mediante la deposición sucesiva de material termoplástico fundido, capa por capa, hasta formar la pieza completa.

El proceso básico de FDM implica: la alimentación de material a través de un filamento termoplástico desde una bobina hasta el cabezal de impresión [5]; la extrusión y el calentamiento del filamento que se funde al pasar por una boquilla calentada en el cabezal como se observa en la Figura 2-2; la deposición de material fundido extruido por la boquilla sobre una plataforma de construcción, siguiendo trayectorias determinadas por un modelo digital formando cada capa de la pieza [6]; y la solidificación de cada capa depositada que se enfría y adhiere a la capa anterior hasta completar la pieza [7].



**Figura 2-2 Impresión FDM [8]**

Una impresora FDM consta de elementos fundamentales que trabajan en conjunto para garantizar la precisión y calidad de las piezas impresas. En primer lugar, el sistema de alimentación de filamento es el encargado de suministrar el material desde la bobina hasta el cabezal de impresión, asegurando un flujo constante y uniforme. Una vez que el filamento llega al cabezal de impresión, este se calienta y se funde en la boquilla de extrusión, permitiendo su deposición capa por capa sobre la plataforma de construcción.

La plataforma de construcción, también conocida como cama de impresión, es la superficie sobre la cual se fabrica la pieza. Dependiendo del material utilizado, esta plataforma puede ser calefactada para mejorar la adhesión de la primera capa y minimizar problemas como el *warping*, apreciado en la Figura 2-3, (problema común en impresión 3D FDM en el que las esquinas o los bordes de la pieza impresa se despegan de la base de impresión y se curvan hacia arriba, afectando la precisión dimensional y la adherencia de la pieza) o deformaciones térmicas. El movimiento del cabezal de impresión y, en algunos casos, de la propia plataforma, está regulado por un sistema de control de movimiento, compuesto por motores y guías que desplazan los elementos en los ejes X, Y y Z con alta precisión.



Figura 2-3 Figura afectada por *warping* [9]

Finalmente, el proceso se completa con el sistema de enfriamiento, que incluye ventiladores estratégicamente ubicados para acelerar la solidificación del material depositado, mejorando la estabilidad estructural de cada capa antes de la deposición de la siguiente. La correcta sincronización de estos componentes es esencial para obtener piezas impresas con una alta calidad dimensional y sin defectos estructurales (Figura 2-4).

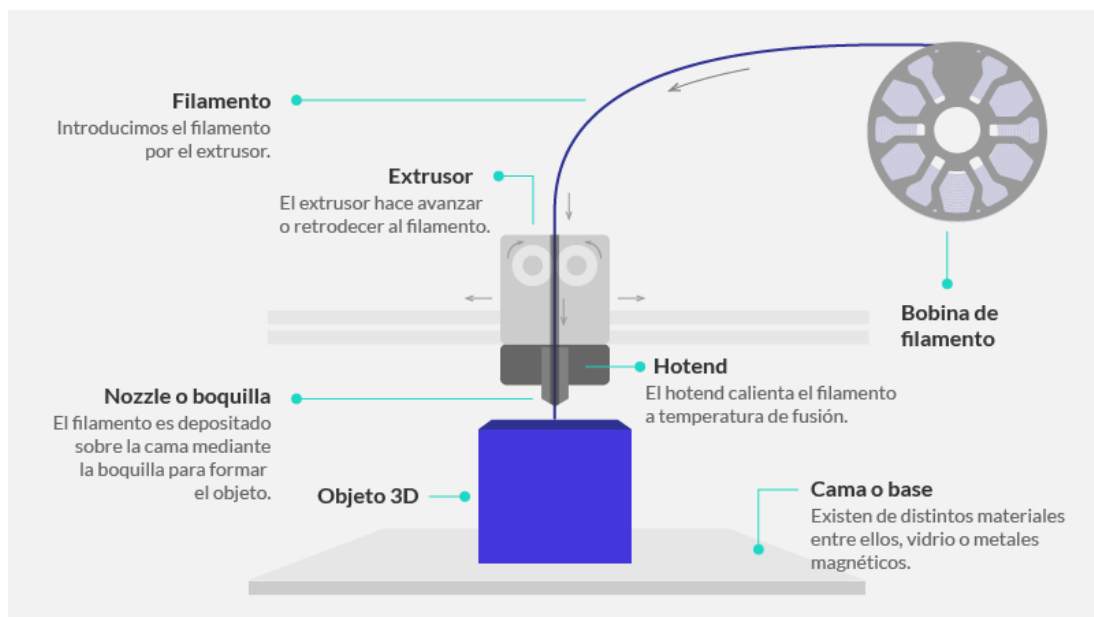


Figura 2-4 Diagrama proceso FDM [10]

### 2.1.3 Materiales para impresión 3D en entorno marítimo y comparativa técnica

Es determinante la selección cuidadosa del material a emplear, especialmente cuando se trata de aplicaciones en entornos exigentes como el naval. La elección del polímero adecuado no solo influye en la resistencia mecánica de la pieza final, sino también en su capacidad para soportar humedad, variaciones térmicas y exposición a la radiación UV. Según estudios sobre materiales para impresión 3D

realizados por empresas del sector [11] y [12], existen diversos polímeros con propiedades específicas que los hacen más o menos adecuados para aplicaciones en exteriores y ambientes marinos.

La pizarra de PC retroiluminada que se pretende instalar a bordo de un buque requiere soportes impresos en 3D que combinen resistencia mecánica, estabilidad dimensional y baja absorción de agua [13]. De acuerdo con las investigaciones, los materiales como PLA, ABS, PETG, Nylon y el propio PC (adaptado a la impresión) presentan características mecánicas distintas [14], recogidas en la Tabla 2-1, por lo que, es fundamental realizar una comparación exhaustiva para determinar cuál es la mejor opción para este proyecto.

| <b>Material</b> | <b>Resistencia mecánica</b> | <b>Resistencia a la humedad</b> | <b>Estabilidad dimensional</b> | <b>Resistencia a temperatura (°C)</b> | <b>Facilidad de impresión</b> |
|-----------------|-----------------------------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|
| PLA             | Media                       | Media                           | Alta                           | 55-60                                 | Muy alta                      |
| ABS             | Alta                        | Media                           | Media                          | 80-100                                | Media                         |
| PTG             | Alta                        | Alta                            | Alta                           | 75-85                                 | Baja                          |
| Nylon           | Muy alta                    | Alta                            | Baja                           | 100-120                               | Baja                          |
| PC              | Muy alta                    | Alta                            | Media                          | 110-130                               | Muy baja                      |

**Tabla 2-1 Comparación materiales empleables en FDM**

A partir del análisis de materiales, la opción ideal para la fabricación de los soportes debería equilibrar resistencia estructural, facilidad de impresión y estabilidad dimensional. A pesar de que otros materiales como ABS o PETG presentan mayores ventajas en términos de resistencia mecánica y térmica, la elección de PLA para este proyecto se fundamenta en los siguientes aspectos:

- Precisión dimensional y estabilidad en la impresión: el PLA es el material más estable en impresión FDM, con una baja contracción térmica y mínima deformación, lo que garantiza que las piezas impresas conserven dimensiones exactas y sin distorsión. Esto es crucial para la correcta fijación y alineación de la pizarra en el buque.
- Buena relación resistencia-peso: si bien no es el polímero más fuerte, su resistencia es suficiente para soportar las cargas estructurales esperadas en los soportes de la pizarra, siempre que se optimicen parámetros de impresión como relleno y grosor de paredes.
- Facilidad de impresión y bajo costo: es el material más fácil de imprimir, sin necesidad de cama tan caliente ni extrusores de muy alta temperatura como el resto de las opciones. Esto permite la producción rápida y eficiente de los soportes sin necesidad de ajustes complejos, reduciendo costes de fabricación y tiempos de producción.
- Sostenibilidad y baja emisión de vapores: a diferencia de ABS, que genera vapores nocivos durante la impresión, el PLA es un polímero biodegradable y seguro para la impresión en entornos cerrados. Esto es especialmente relevante para la fabricación dentro de un espacio controlado como el laboratorio D. Carlos Casqueiro del CUD-ENM, donde se deben minimizar emisiones contaminantes.

En conclusión, si bien ABS o PETG podrían haber sido opciones viables debido a su mayor resistencia mecánica[15], su dificultad de impresión y tendencia a deformaciones térmicas hacen que no sean la opción más eficiente para este proyecto. En cambio, PLA ofrece la mejor combinación entre estabilidad dimensional [16], precisión en impresión, facilidad de fabricación y resistencia suficiente para cumplir con los requerimientos de los soportes de la pizarra retroiluminada en un entorno naval.

## 2.2 Técnicas de modelado CAD para fabricación aditiva

### 2.2.1 Introducción al modelado CAD

El diseño asistido por ordenador (CAD, *Computer-Aided Design*) desempeña un papel esencial en la fabricación aditiva, ya que permite la creación de modelos digitales precisos que posteriormente serán materializados mediante impresión 3D. A diferencia de otros procesos de fabricación como el mecanizado CNC o la inyección de plástico, donde las piezas pueden ser producidas a partir de bloques de material o mediante moldes, en la fabricación aditiva el diseño CAD define directamente la estructura capa por capa del objeto a imprimir [17].



Figura 2-5 Software CAD ofrecido por la empresa AUTODESK [18]

El modelado en CAD no solo facilita la representación geométrica de los componentes, sino que también permite optimizar el diseño en función de las características del proceso de impresión. Gracias a herramientas avanzadas de modelado paramétrico, es posible modificar dimensiones y geometrías de manera sencilla, lo que resulta crucial en iteraciones de diseño y mejoras estructurales.

### 2.2.2 Diferencias entre modelado para fabricación aditiva y otros procesos de fabricación

El diseño para impresión 3D presenta diferencias significativas respecto a otros métodos de fabricación. Mientras que en procesos tradicionales como el mecanizado sustractivo se parte de un bloque de material que es tallado hasta obtener la forma deseada, en la fabricación aditiva las piezas se construyen capa por capa, lo que implica una serie de consideraciones de diseño específicas y un ahorro de material [19].

Al comparar el modelado para fabricación aditiva con otros procesos de fabricación, se observan diferencias significativas. En la fabricación aditiva, las piezas se construyen capa por capa, lo que permite la creación de geometrías complejas que serían difíciles o imposibles de lograr con métodos tradicionales. Además, este enfoque reduce el desperdicio de material, ya que solo se utiliza la cantidad necesaria para construir la pieza. Por otro lado, los procesos de fabricación sustractiva, como el mecanizado CNC, implican la eliminación de material de un bloque sólido para obtener la forma deseada, lo que puede generar una cantidad considerable de residuos, como se aprecia en la Figura 2-6. Aunque la fabricación sustractiva ofrece una alta precisión y es adecuada para la producción en masa, la

fabricación aditiva destaca por su capacidad para producir piezas personalizadas de manera eficiente y con menor desperdicio de material [20].



Figura 2-6 Fabricación sustractiva [21]

### 2.2.3 Softwares CAD más utilizados en impresión 3D

Dentro del ecosistema de software CAD, existe una amplia variedad de herramientas que permiten modelar, analizar y preparar archivos para impresión 3D. No obstante, la selección de un software específico depende de las necesidades del proyecto, el nivel de detalle requerido y la facilidad de integración con las tecnologías de fabricación disponibles. En el presente trabajo, se ha optado por el uso de Autodesk Inventor, dadas sus capacidades avanzadas de modelado paramétrico, análisis estructural y automatización mediante *iLogic*. Sin embargo, es conveniente realizar una revisión de las principales soluciones CAD utilizadas en fabricación aditiva para contextualizar esta elección.

Uno de los programas más empleados en el ámbito de la ingeniería mecánica es el elegido Autodesk Inventor, el cual permite la creación de modelos paramétricos que pueden ser modificados con facilidad sin necesidad de rehacer el diseño desde cero. Esta característica resulta de especial relevancia en fabricación aditiva, ya que permite realizar ajustes rápidos en función de las restricciones de impresión o los requerimientos específicos del componente. Además, Inventor incorpora herramientas de análisis de interferencias y simulación estructural, lo que posibilita la optimización del diseño antes de su producción. Una de sus funcionalidades más destacadas en este contexto es *iLogic*, un sistema de automatización basado en reglas que facilita la personalización de diseños mediante la modificación dinámica de dimensiones, restricciones y propiedades de los modelos sin intervención manual (Figura 2-7).

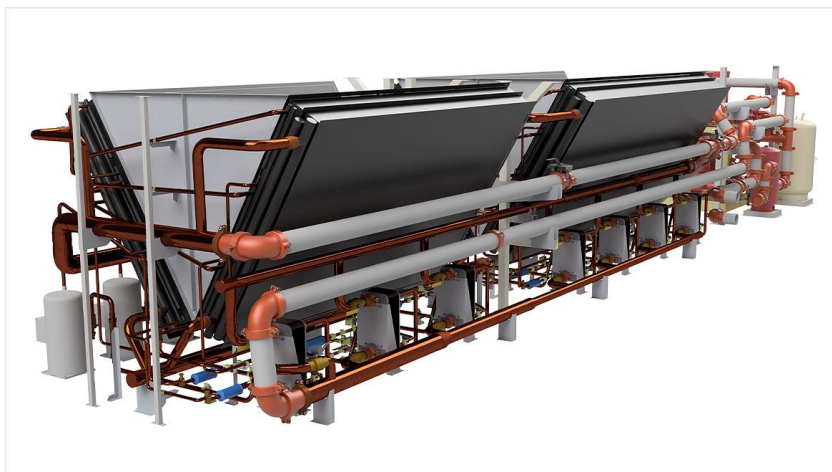


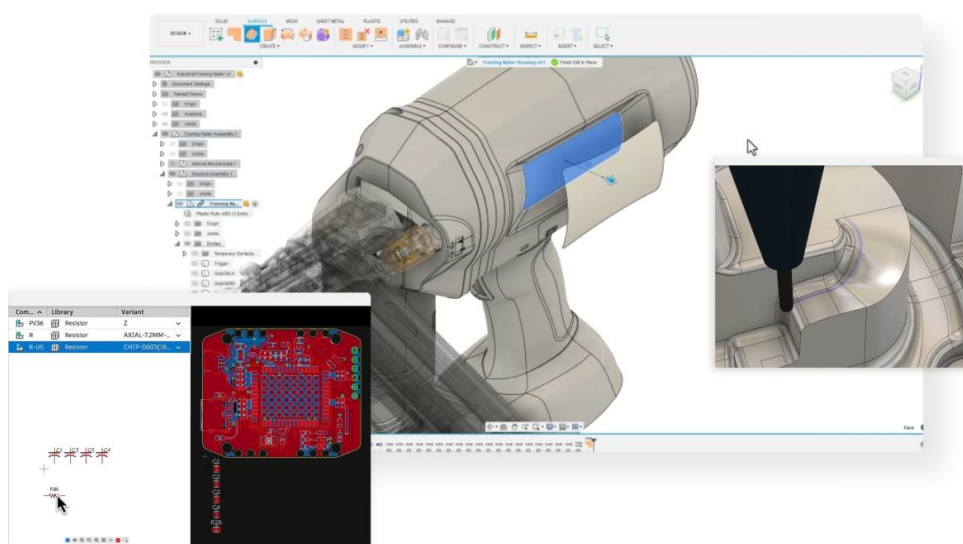
Figura 2-7 Modelo comercial de enfriador realizado en Inventor por Mammoth Inc. [22]

Por otro lado, AutoCAD, también desarrollado por Autodesk, es una herramienta ampliamente reconocida en el ámbito del diseño técnico y la ingeniería. Aunque tradicionalmente se ha utilizado para la creación de planos en 2D, en los últimos años ha incorporado funciones avanzadas para modelado en 3D, lo que lo hace una opción viable para la impresión aditiva. Sin embargo, debido a su enfoque inicial en el dibujo técnico, su curva de aprendizaje en modelado tridimensional puede ser más pronunciada en comparación con otras soluciones más intuitivas para fabricación aditiva (Figura 2-8).



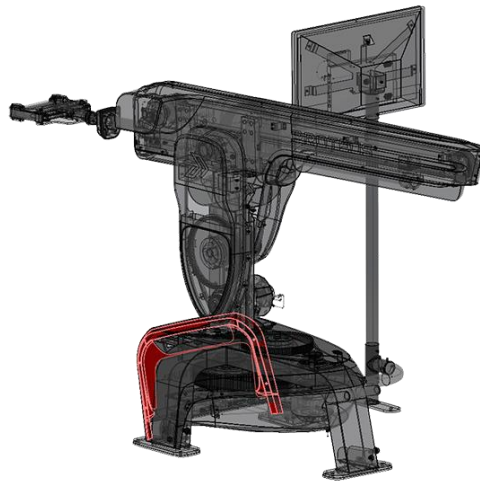
**Figura 2-8 Dibujo 2D y modelado 3D en AutoCAD [23]**

Dentro de las herramientas más modernas, Fusion 360 ha emergido como una alternativa versátil para la fabricación aditiva, integrando en una única plataforma funciones de diseño, simulación y manufactura. Su capacidad para realizar modelado generativo permite optimizar piezas en función de restricciones estructurales y minimizar el uso de material sin comprometer la resistencia mecánica. Además, al ser un software basado en la nube, facilita la colaboración entre diferentes equipos de trabajo, permitiendo acceso remoto a los archivos desde cualquier ubicación (Figura 2-9).



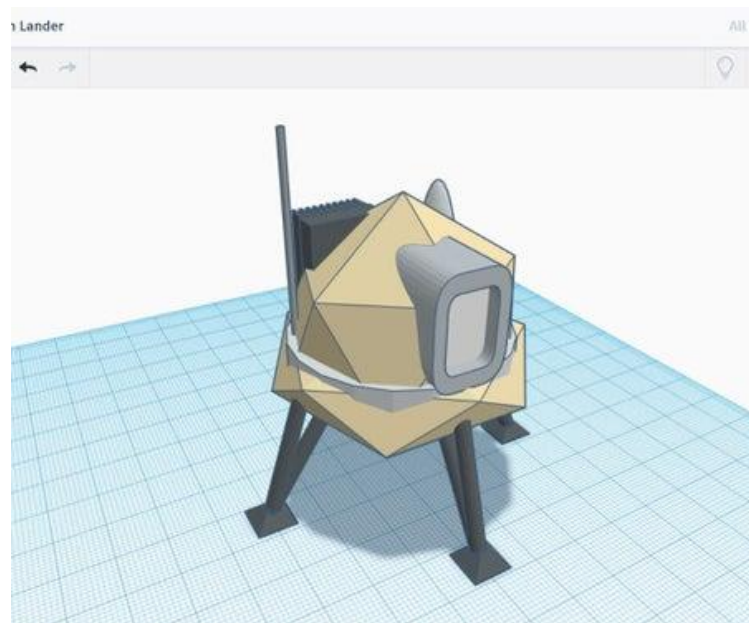
**Figura 2-9 Diferentes facetas de Fusión 360 [24]**

En el ámbito del diseño mecánico y estructural, SolidWorks continúa siendo una referencia debido a su robusto sistema de modelado paramétrico y su integración con herramientas de análisis de elementos finitos (FEA, *Finite Element Analysis*). Esta capacidad lo hace particularmente útil para proyectos donde se requiere validar la resistencia y durabilidad de los componentes antes de su fabricación. Sin embargo, al igual que en el caso de AutoCAD, su enfoque tradicional en procesos de manufactura sustractiva puede hacer que algunas funcionalidades no sean completamente optimizadas para la fabricación aditiva (Figura 2-10).



**Figura 2-10 Modelo realizado en SolidWorks [25]**

Finalmente, en el segmento de herramientas más accesibles y orientadas a usuarios principiantes, TinkerCAD representa una opción intuitiva y eficiente para la introducción al modelado 3D. Su interfaz basada en navegador permite a los usuarios crear modelos tridimensionales a partir de formas geométricas básicas, como se puede ver en la Figura 2-11, lo que lo convierte en una alternativa ideal para prototipado rápido y educación. No obstante, debido a su simplicidad, presenta limitaciones en términos de precisión y capacidades avanzadas de diseño en comparación con las soluciones anteriormente mencionadas.



**Figura 2-11 Módulo de aterrizaje lunar en TinkerCAD por Airbus Foundation [26]**

La elección del software CAD más adecuado para un proyecto de impresión 3D depende de múltiples factores, incluyendo la complejidad del diseño, la necesidad de simulaciones estructurales y la integración con herramientas de manufactura. En este caso, se ha seleccionado Autodesk Inventor, debido a su capacidad para modelado paramétrico avanzado, análisis estructural y su sistema de

automatización iLogic, el cual permitirá adaptar los diseños a diferentes configuraciones sin necesidad de rediseñar cada pieza manualmente. Esta combinación de herramientas optimiza el flujo de trabajo en la fabricación aditiva y garantiza un mayor control sobre los parámetros geométricos de los componentes que serán fabricados mediante impresión 3D.

## 2.3 Uso y empleo de pizarras y paneles en el ámbito naval

El uso de sistemas de señalización y comunicación a bordo de buques ha sido una constante en la navegación marítima, tanto en el ámbito civil como en el militar. Desde los métodos más rudimentarios, como banderas y señales luminosas, hasta los sistemas digitales actuales, la evolución de estos dispositivos ha estado condicionada por la necesidad de mejorar la eficiencia operativa y garantizar una adecuada transmisión de información en entornos dinámicos y de alta exigencia. En este contexto, la incorporación de pizarras retroiluminadas representa una solución versátil que permite a las dotaciones y alumnos acceder a información visual de manera clara y efectiva, incluso en condiciones de iluminación reducida.

### 2.3.1 Sistemas de señalización y comunicación en barcos

A lo largo de la historia, la comunicación y la señalización en los buques han desempeñado un papel fundamental en la coordinación de operaciones, el entrenamiento de dotaciones y la seguridad a bordo. Tradicionalmente, los sistemas de señalización incluían paneles fijos con información esencial, pizarras convencionales y documentación impresa, los cuales cumplían funciones específicas como la planificación de maniobras, organización de guardias, o transmisión de órdenes y mensajes operativos, como se ve en la Figura 2-12.



Figura 2-12 Portaaviones USS Midway [Autoría GM2 Juan Díaz del Río Triguero]

En la actualidad, el desarrollo tecnológico ha permitido la incorporación de pantallas digitales, paneles electrónicos y pizarras interactivas, que proporcionan una mayor flexibilidad y permiten actualizar la información en tiempo real. Sin embargo, en el contexto naval, donde la fiabilidad y resistencia de los materiales son factores clave, los sistemas electrónicos no siempre son la mejor opción. Los paneles de policarbonato retroiluminados combinan la ventaja de una alta visibilidad con la durabilidad necesaria para operar en un entorno marítimo, convirtiéndose en una alternativa eficaz a las soluciones completamente digitales.

### *2.3.2 Función de la pizarra retroiluminada en la formación naval*

En la formación de futuros oficiales, el uso de pizarras y paneles informativos es una herramienta didáctica clave. En el caso de la Escuela Naval Militar de Marín, los alumnos deben familiarizarse con las condiciones operativas reales de los buques, desarrollando habilidades de navegación, gestión de recursos y toma de decisiones en escenarios de entrenamiento. La incorporación de una pizarra retroiluminada en un buque de instrucción permite reforzar el proceso de aprendizaje, facilitando la comunicación entre los alumnos y el oficial evaluador en situaciones prácticas.

Uno de los principales beneficios de este sistema es que permite escribir, borrar y actualizar información rápidamente, lo que resulta ideal para la enseñanza de procedimientos de navegación, análisis de maniobras y planificación táctica. Además, su iluminación integrada permite la visibilidad en situaciones sin luz, es decir, en navegaciones nocturnas, asegurando que la información pueda ser consultada en cualquier momento sin depender de fuentes de luz externas.

### *2.3.3 Consideraciones ambientales y normativa*

El diseño e instalación de cualquier elemento en un buque debe responder a criterios específicos de resistencia y seguridad, asegurando su correcto funcionamiento en un entorno caracterizado por vibraciones, cambios de temperatura, humedad y exposición a la salinidad del agua de mar. En este sentido, la selección de materiales y métodos de fijación adecuados es fundamental para evitar problemas de deterioro prematuro o desprendimientos accidentales durante la navegación.

En términos normativos, la instalación de la pizarra retroiluminada está sujeta a regulaciones específicas de la Armada Española o de estándares internacionales de seguridad marítima, como los establecidos por la Organización Marítima Internacional (OMI, o IMO por sus siglas en inglés) [27]. Aspectos como la fijación de estructuras a bordo, la resistencia a impactos y la protección contra incendios deben ser considerados en el diseño final del sistema.

Además, la elección del sistema de iluminación juega un papel crucial en la eficiencia energética y la seguridad operativa del buque. La implementación de luces LED de bajo consumo garantiza una iluminación uniforme y eficiente, reduciendo el impacto en el consumo eléctrico de la embarcación y prolongando la vida útil del sistema sin generar calor excesivo.

## **2.4 Iluminación y tecnología LED**

### *2.4.1 Iluminación es espacios de trabajo a bordo*

La iluminación en un buque no es solo un complemento visual; es una necesidad operativa que afecta la seguridad, la eficiencia y la comodidad de la dotación a bordo. En una embarcación, la luz natural no siempre es suficiente. La exposición prolongada al sol puede provocar reflejos que dificultan la visibilidad, mientras que durante la navegación nocturna o en condiciones de baja visibilidad, contar con una iluminación artificial adecuada es clave para garantizar la legibilidad de información crítica.

Este principio aplica tanto a los sistemas de señalización y comunicación como a los elementos auxiliares de trabajo. En el caso de la pizarra retroiluminada, su función principal es proporcionar una superficie de escritura perfectamente visible en cualquier circunstancia, sin depender de la iluminación

ambiental. Para lograrlo, la distribución de la luz dentro del panel debe estar cuidadosamente diseñada, evitando sombras parciales, zonas con exceso de brillo o reflejos que dificulten la lectura.

El uso del PC como material base plantea un reto adicional. A diferencia de otros materiales similares, como el metacrilato, que permite una propagación homogénea de la luz a través de su estructura, el PC es un material con menor capacidad de transmisión lumínica, lo que obliga a reconsiderar la forma en que los LEDs serán integrados. En lugar de optar por una iluminación perimetral, donde los puntos de luz se encuentran en los bordes del panel, la opción más efectiva es una iluminación trasera mediante una matriz de LEDs, lo que garantiza una distribución uniforme sin necesidad de depender de la transparencia del material.

Además de la necesidad de asegurar una iluminación homogénea y libre de reflejos, este sistema de retroiluminación debe ofrecer flexibilidad para adaptarse a distintas condiciones operativas. Por esta razón, se ha previsto la posibilidad de alternar entre luz blanca y luz roja, seleccionables según la necesidad del entorno. La luz blanca neutra (4000K-5000K) garantiza un alto nivel de contraste y claridad, facilitando la lectura y el uso en condiciones estándar de trabajo. Sin embargo, la luz roja es fundamental en operaciones nocturnas o en situaciones donde se busca minimizar la pérdida de adaptación de la visión a la oscuridad. En la navegación nocturna, la luz roja es ampliamente utilizada en puentes de mando y áreas operativas, debido a su menor impacto en la visión de la tripulación, reduciendo el deslumbramiento y permitiendo una transición más rápida entre la lectura de la pizarra y la observación del entorno.

Esta dualidad de iluminación no solo mejora la versatilidad de la pizarra, sino que también optimiza su integración en distintos escenarios de uso a bordo del buque, permitiendo que la dotación seleccione la opción más adecuada en cada momento.

#### *2.4.2 Integración de la tecnología LED*

El uso de tecnología LED en embarcaciones se ha consolidado como la opción más eficiente y fiable, gracias a su bajo consumo energético, durabilidad y resistencia a las condiciones ambientales. Sin embargo, la instalación de un sistema de iluminación a bordo requiere una planificación meticulosa para garantizar que no solo cumpla con su función, sino que también resista la humedad, las vibraciones y los cambios de temperatura propios del entorno naval (Figura 2-13).



**Figura 2-13 Tira de luces LED para consumo particular [28]**

En este sentido, los LEDs seleccionados deben contar con un grado de protección IP65 o superior, lo que garantiza su resistencia al agua y al polvo. Además, el sistema de fijación debe incorporar materiales resistentes a la corrosión, preferiblemente con recubrimientos anticorrosivos que eviten la degradación por la exposición constante a la salinidad. En cuanto a la conexión eléctrica, el cableado debe ser estanco, con conexiones protegidas contra la condensación de humedad y posibles filtraciones de agua.

Otro aspecto técnico relevante es la gestión del consumo eléctrico. Aunque los LEDs tienen una alta eficiencia energética, en un buque cualquier elemento adicional conectado al sistema eléctrico debe ser evaluado en términos de impacto en el balance energético de la embarcación. La solución más adecuada para esta aplicación es la alimentación a 12V o 24V, compatible con la infraestructura eléctrica de las lanchas de instrucción, minimizando la necesidad de conversiones de voltaje que puedan generar pérdidas de eficiencia.

Pero más allá de la eficiencia y la resistencia, cualquier sistema eléctrico instalado en un buque debe garantizar la compatibilidad electromagnética (EMC). En una embarcación, conviven múltiples sistemas electrónicos sensibles, desde equipos de navegación y radares hasta sistemas de comunicación por radio. La interferencia electromagnética es un problema real, y cualquier nuevo sistema eléctrico a bordo debe cumplir con normativas específicas para evitar la generación de ruido que pueda afectar el rendimiento de otros dispositivos. Para ello, el sistema de iluminación puede incorporar filtros EMC y utilizar cableado apantallado, reduciendo al mínimo la emisión de interferencias.

### *2.4.3 Consideraciones técnicas y normativa respectiva a la instalación de iluminación a bordo*

En el ámbito naval, la instalación de cualquier sistema de iluminación no solo debe responder a criterios de funcionalidad y eficiencia, sino que también debe cumplir con normativas internacionales que garanticen la seguridad a bordo. Entre ellas, destaca el Convenio SOLAS (*Safety of Life at Sea*) de la OMI, que establece regulaciones estrictas sobre los sistemas eléctricos en embarcaciones [29]. Estas normas incluyen requisitos sobre protección contra incendios, aislamiento eléctrico y resistencia a condiciones extremas de humedad y temperatura.

En el caso de buques de la Armada Española [30], la instalación de cualquier sistema eléctrico adicional debe seguir las directrices que dicta la doctrina nacional [31], que especifica criterios de seguridad, consumo y compatibilidad con los sistemas electrónicos de la embarcación. Estas normativas incluyen regulaciones específicas sobre métodos de fijación, resistencia estructural y prevención de interferencias electromagnéticas, asegurando que cualquier modificación en la infraestructura eléctrica no comprometa la operatividad del buque.

## 2.5 Lanchas de instrucción A-120

Las Lanchas de Instrucción A-120 [32], como la capturada en la Figura 2-14, son embarcaciones diseñadas específicamente para la formación de alumnos en la Escuela Naval Militar de Marín. Estas unidades tienen como objetivo familiarizar a los futuros oficiales con la navegación, el manejo de buques y la operativa a bordo en un entorno que simula las condiciones reales de la Flota.



Figura 2-14 GM Chereguini en la ría de Marín [Autoría AF Aznar de la Riera]

Con una eslora total de 20,5 metros, manga de 4,9 metros y una capacidad para 16 personas, estas lanchas han sido concebidas para la instrucción intensiva en navegación y maniobras a flote. Su construcción en Poliéster Reforzado en Fibra de Vidrio (PRFV) les otorga ligereza y resistencia a las condiciones marinas, mientras que su diseño con casco en "V" facilita una navegación estable incluso en aguas agitadas (Figura 2-15).

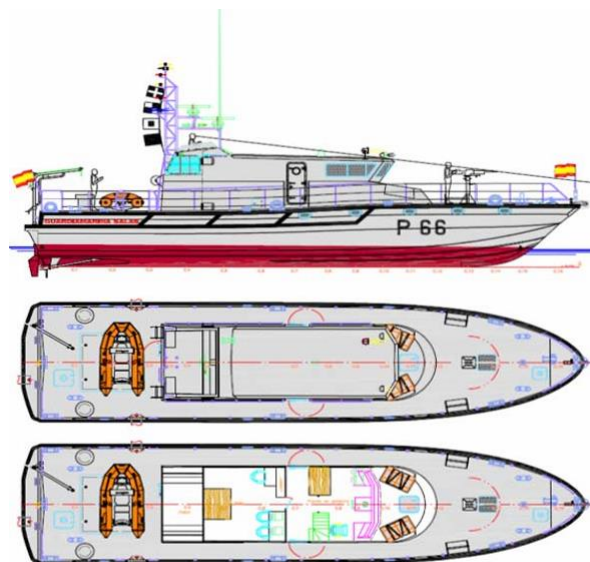


Figura 2-15 Costado de estribor y cubierta principal de una lancha de instrucción [32]

En el contexto de la formación naval, especialmente en ejercicios tácticos y navegación aplicada, la posibilidad de representar visualmente la situación del entorno, las maniobras a ejecutar y las decisiones a tomar es un recurso imprescindible. En las Lanchas de Instrucción A-120, donde los alumnos deben

actuar como parte de una dotación real, la necesidad de un espacio físico donde plasmar información no responde solo a un propósito didáctico, sino que es una herramienta táctica esencial.

La planificación de rutas, la anotación de datos de navegación, la representación de formaciones navales y el registro de órdenes de combate requieren un soporte accesible y visible en todo momento. Hasta ahora, estas tareas han dependido de documentación impresa, anotaciones sobre cartas de navegación y sistemas digitales en el puente de gobierno. Sin embargo, estos métodos tienen limitaciones en términos de flexibilidad y rapidez de actualización.

Es aquí donde la incorporación de una pizarra retroiluminada cobra especial relevancia. No solo facilita la enseñanza, proporcionando una plataforma donde instructores y alumnos pueden estructurar la información de manera dinámica, sino que además se integra como un recurso operativo, permitiendo a la dotación representar y modificar esquemas tácticos al instante, sin necesidad de recurrir a equipos electrónicos más complejos o a soportes de papel con menor durabilidad.

Al conjugar la enseñanza y la operativa táctica, este sistema se adapta perfectamente a las exigencias de una lancha de instrucción, proporcionando un elemento de trabajo versátil y resistente, optimizado para su uso en condiciones reales de navegación.

### *2.5.1 Consideraciones para la instalación*

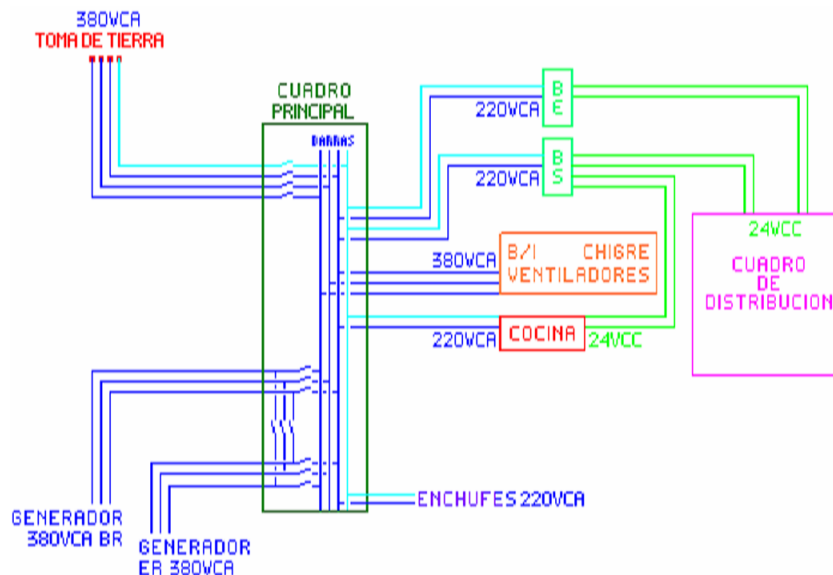
Como cualquier dispositivo que se integre en una embarcación de instrucción, debe cumplir con una serie de requisitos mecánicos, eléctricos y ergonómicos. En el caso de las lanchas de instrucción, la instalación de una pizarra retroiluminada plantea varios desafíos técnicos que deben abordarse.

En el contexto de la instrucción naval, disponer de un soporte donde registrar y visualizar información en tiempo real es una práctica habitual a bordo de cualquier embarcación, ya sea para anotar datos de navegación, representar esquemas tácticos o realizar cálculos de derrota. En las A-120, donde los alumnos deben familiarizarse con la operativa de un buque en condiciones reales, esta necesidad se hace aún más evidente. Actualmente, la enseñanza y la planificación a bordo se apoyan en medios tradicionales como cartas náuticas, anotaciones en papel, sistemas electrónicos del puente y, como solución de fortuna, los mamparos de las ventanas laterales de puente, cada uno con sus particularidades y limitaciones.

El uso de cartas y documentación impresa permite una visualización clara de la información y facilita su consulta rápida, pero su actualización es manual y, en muchos casos, irreversible. Además, en un entorno de continuo movimiento como el de una embarcación, el uso de papel puede verse afectado por la humedad, la falta de espacio o la necesidad de mantener registros reutilizables. Por otro lado, los sistemas digitales del puente ofrecen herramientas avanzadas de navegación y planificación, pero no siempre permiten la interacción ágil y directa que requieren ciertos ejercicios tácticos o de formación.

Otro aspecto relevante es la estabilidad y fijación del sistema en un entorno en movimiento. En una lancha de instrucción, sometida a maniobras constantes y posibles condiciones de mar adversas, cualquier dispositivo debe contar con una estructura que garantice su estabilidad y resistencia a vibraciones. La forma en que se sujete a la embarcación es un punto crucial, especialmente si se pretende que sea accesible en todo momento sin afectar la movilidad de la dotación dentro del puente.

Por último, si el sistema incorpora elementos adicionales, como iluminación integrada, será necesario considerar su compatibilidad con la red eléctrica del buque, reflejada en la Figura 2-16, y su impacto en la visibilidad. La posibilidad de operar en distintos niveles de luz sin comprometer la visión nocturna de la dotación es un aspecto que suele tomarse en cuenta en los sistemas de visualización a bordo.



**Figura 2-16 Esquema eléctrico de la lancha de instrucción [32]**

En definitiva, la incorporación de una superficie de trabajo en una lancha A-120 debe responder tanto a las exigencias del espacio disponible como a la necesidad de ofrecer un soporte resistente, funcional y adaptado a la operativa del buque. Estos aspectos condicionarán cualquier solución que se plantee para mejorar la representación y el registro de información en el puente de mando.

## 3 DESARROLLO DEL TFG

Tras haber analizado en detalle el contexto en el que se desarrolla este TFG —abarcando desde la selección del software y las tecnologías de fabricación hasta la necesidad, viabilidad y aportación del proyecto, en este capítulo se recoge el proceso completo llevado a cabo para la materialización de la pizarra retroiluminada.

Desde las primeras propuestas de solución hasta su instalación definitiva en la Lancha de Instrucción A-121, se detallará cada una de las fases clave del desarrollo. Esto incluye el diseño CAD en Autodesk Inventor, el corte de los marcos de polipropileno, la impresión 3D de los soportes utilizando Ultimaker Cura y la impresora Ultimaker 3 Extended, el ensamblaje final con todos sus componentes y su integración a bordo del buque.

Además, se presentará una exposición más específica de los entornos de trabajo seleccionados, analizando aquellas herramientas que han resultado esenciales para la correcta ejecución del proyecto, asegurando un enfoque técnico y riguroso en cada una de las etapas.

### 3.1 Planteamiento de soluciones y selección del diseño final

#### 3.1.1 *Análisis de requisitos*

El diseño y desarrollo de la pizarra retroiluminada para la Lancha de Instrucción A-121 parte de un conjunto de requisitos técnicos y operativos que han determinado las decisiones tomadas en cada fase del proyecto. Dado que se trata de un sistema a instalar en un buque de instrucción naval, es fundamental que cumpla con criterios de ergonomía, resistencia mecánica, facilidad de instalación, iluminación efectiva y compatibilidad eléctrica.

Uno de los aspectos más relevantes en el diseño es su ubicación dentro del puente de mando. La pizarra tiene que integrarse en un espacio donde su uso no interfiera con otros sistemas, ni dificulte la operativa del buque. En el puente, junto a la mesa de cartas, y en el lado opuesto al asiento del comandante, se identificó como la ubicación óptima, ya que permite su consulta y uso por la dotación sin obstrucciones.

En términos de resistencia mecánica, el sistema tiene que ser capaz de soportar las vibraciones y aceleraciones del buque en navegación, evitando desajustes o desprendimientos accidentales. Esto implica el uso de un sistema de fijación robusto y materiales con estabilidad dimensional, asegurando que la pizarra permanezca en su posición bajo condiciones adversas.

La facilidad de instalación es otro de los factores clave. Dado que la lancha está diseñada para la instrucción y su estructura no debe modificarse permanentemente, cualquier sistema que implicara perforaciones o modificaciones estructurales quedaba descartado. Esto llevó a optar por un sistema de abrazaderas al puntal, que permite una instalación firme sin afectar la integridad del puente.

El sistema de iluminación también debe cumplir con ciertos criterios técnicos. La pizarra tiene que ofrecer una visibilidad óptima en distintos entornos de iluminación, desde luz diurna intensa hasta navegación nocturna. La solución propuesta integra iluminación LED con doble opción de color (blanca y roja), permitiendo adaptarse a diferentes condiciones sin afectar la visión del entorno.

Por último, la compatibilidad eléctrica del sistema con la alimentación disponible en la lancha era un requisito esencial. Dado que la A-121 cuenta con varias fuentes de energía (24V CC, 220V CA y 380V CA), la selección de los componentes eléctricos debía ajustarse a estos valores para garantizar su integración sin necesidad de convertidores adicionales o modificaciones en la instalación eléctrica existente.

En definitiva, la solución planteada responde a un conjunto de condicionantes operativos y técnicos, asegurando que el sistema pueda instalarse de manera segura, funcionar eficientemente y proporcionar una herramienta útil en la instrucción naval sin comprometer la operativa del buque.

### *3.1.2 Opciones iniciales planteadas*

Antes de definir el diseño definitivo, hubo un proceso de exploración en el que se valoraron diferentes opciones para la instalación de la pizarra. No se trataba solo de encontrar un soporte físico, sino de integrar el sistema en el entorno operativo de la lancha sin comprometer la funcionalidad del espacio ni afectar la estructura del buque. La solución final no apareció de inmediato, sino que surgió tras descartar otras alternativas que, sobre el papel, parecían viables pero que, al analizarlas en detalle, presentaban inconvenientes significativos.

Uno de los primeros planteamientos fue fijar la pizarra en el mamparo de babor del aula de CIC, justo a popa del puente. La idea era aprovechar una superficie estable que permitiera montar el panel sin elementos adicionales, asegurando una fijación firme y directa. Sin embargo, esta opción presentaba un problema evidente: la necesidad de perforar la estructura del mamparo. En un buque, cualquier intervención sobre la obra muerta debe justificarse con mucho cuidado, ya que puede afectar su integridad a largo plazo. En este caso, la simple posibilidad de alterar la estructura de la lancha fue motivo suficiente para descartar esta alternativa. Además, aunque en un principio la ubicación parecía conveniente, lo cierto es que la pizarra quedaba demasiado apartada de la mesa de cartas y del puesto de mando, lo que reducía su utilidad en la operativa del puente.

Otra opción que se estudió fue la instalación en el mamparo situado a popa del puente, dentro del mismo espacio de trabajo, pero en una posición distinta. En teoría, este emplazamiento tenía la ventaja de mantener la pizarra dentro del puente sin necesidad de estructuras adicionales. Sin embargo, al analizar su viabilidad, surgieron varios inconvenientes. Por un lado, la instalación no era sencilla, ya que el acceso a esta zona para el montaje era más complejo de lo previsto. Pero lo que realmente la hacía poco funcional era su ubicación: no estaba en una posición cómoda para su consulta y uso en maniobras, lo que restaba eficacia a su propósito.

Tras evaluar estas opciones, quedaba claro que la pizarra necesitaba un sistema de fijación que fuera seguro, sin modificar la estructura del buque, fácil de instalar y que garantizara accesibilidad dentro del puente.

### *3.1.3 Solución elegida*

Tras analizar las distintas posibilidades de instalación, la fijación de la pizarra al puntal de puente de babor mediante un sistema de abrazaderas se presentó como la opción más adecuada en términos de estabilidad, funcionalidad e integración en el entorno de trabajo del puente de mando. Uno de los aspectos clave en la elección fue la preservación de la estructura del buque. Modificar un mamparo con perforaciones habría supuesto una alteración permanente en la obra muerta, lo que se descartó de inmediato. No obstante, se consideró viable una intervención mínima en la mesa de cartas para fijar los

soportes inferiores de la pizarra, dado que esta modificación no comprometía la estructura principal del buque y aseguraba un punto de apoyo estable.

La estabilidad mecánica fue otro factor determinante. En un entorno naval, cualquier elemento instalado debe soportar vibraciones, inclinaciones y movimientos bruscos sin comprometer su funcionalidad. La combinación de soportes inferiores anclados a la mesa de cartas y abrazaderas fijadas al puntal proporciona un sistema de doble fijación que evita oscilaciones y desplazamientos no deseados. Además, la incorporación de un mecanismo de giro permite ajustar la posición de la pizarra según las necesidades de la dotación, facilitando su uso en diferentes circunstancias y optimizando el espacio en el puente.

En términos de integración funcional en el puente de mando, la ubicación de la pizarra debía garantizar accesibilidad sin interferir con otros equipos. Su colocación junto a la mesa de cartas y en el lado opuesto a la silla del comandante permite su consulta rápida sin obstaculizar la operativa del buque, tanto por el comandante, como por el oficial de guardia en puente, que de manera habitual se encontrará entre el taxímetro de puente y la caña. Además, el uso de abrazaderas en lugar de fijaciones permanentes permite una posible reubicación en el futuro si fuera necesario.

El diseño adoptado también facilitó la integración del sistema de iluminación LED, asegurando una visibilidad adecuada tanto en condiciones diurnas como nocturnas. La elección de iluminación blanca y roja permite su uso sin comprometer la visión periférica de la dotación en navegación nocturna.

En conjunto, la solución desarrollada responde a los requisitos técnicos y operativos del entorno en el que se instalará, asegurando un equilibrio entre facilidad de instalación, estabilidad estructural y funcionalidad en el uso diario a bordo.

#### 3.1.4 Condiciones dinámicas a bordo y su impacto en el diseño

El comportamiento dinámico de un buque en la mar influye directamente en la estabilidad y resistencia de cualquier sistema instalado a bordo. En este proyecto, era fundamental evaluar las condiciones de aceleración y variaciones gravitatorias que experimenta la lancha de instrucción durante la navegación, con el objetivo de diseñar una pizarra y un sistema de fijación capaces de soportar los esfuerzos mecánicos sin comprometer su funcionalidad.

Para obtener datos cuantificables, se llevó a cabo un análisis experimental, mostrado en la Figura 3-1, utilizando el software *Phyphox*, con el que se midieron las variaciones de la aceleración de la gravedad en función del tiempo durante una salida a la mar. La gráfica obtenida, que representa los valores de aceleración vertical registrados, refleja la influencia del movimiento del buque sobre los objetos sujetos a bordo.

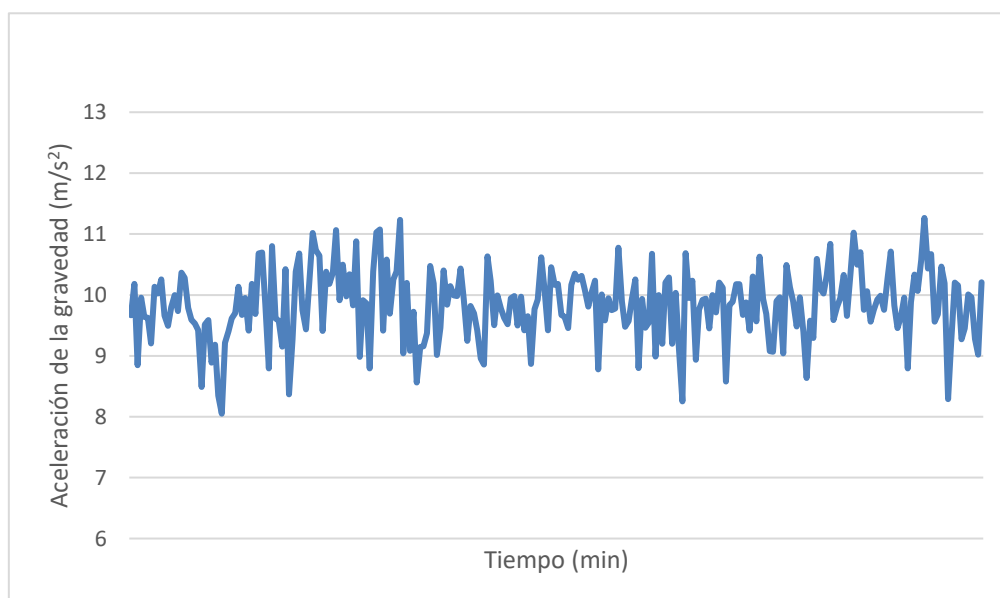


Figura 3-1 Aceleración de la gravedad a bordo de una lancha en una salida a la mar [Autoría propia]

En la gráfica puede observarse cómo la aceleración gravitatoria varía en función del tiempo, oscilando en torno a los  $9.8 \text{ m/s}^2$ , con fluctuaciones que alcanzan valores máximos superiores a  $11 \text{ m/s}^2$  y mínimos cercanos a  $8 \text{ m/s}^2$ . Estas variaciones se deben a los efectos del oleaje, la velocidad del buque y las condiciones de mar en el momento de la medición. Las oscilaciones rápidas evidencian la influencia de la vibración de la estructura, mientras que las tendencias más suaves responden a movimientos de cabeceo y balance del casco. Los valores de la aceleración en los ejes del plano horizontal, que se tratarán más adelante en el análisis de tensiones del conjunto, oscilan en un rango significativamente menor, alcanzando un máximo de  $2,5 \text{ m/s}^2$ , distante de los observados en la vertical.

La existencia de estos cambios en la aceleración implica que la pizarra y su sistema de sujeción estarán sometidos a esfuerzos dinámicos variables. Para garantizar su estabilidad, se ha diseñado una estructura que combina soportes inferiores anclados a la mesa de cartas con abrazaderas fijadas al puntal de puente de babor, evitando puntos de fijación únicos que pudieran generar concentraciones de esfuerzo. Además, el uso de bisagras con enclavamiento mecánico permite bloquear la pizarra en su posición final, minimizando movimientos indeseados en caso de aceleraciones bruscas.

### **3.2 Diseño CAD en Autodesk Inventor**

Para la correcta integración de la pizarra en el puente de mando de la lancha de instrucción, se ha llevado a cabo un modelado detallado en Autodesk Inventor, donde se han definido con precisión los distintos elementos que componen el sistema. Este proceso ha permitido no solo establecer las dimensiones y geometrías adecuadas, sino también prever su resistencia y ensamblaje, asegurando que la instalación final cumpla con los requisitos funcionales del entorno naval.

#### *3.2.1 Software Autodesk Inventor*

El modelado y desarrollo de los componentes de la pizarra se llevó a cabo en Autodesk Inventor, un software CAD de modelado paramétrico ampliamente utilizado en el ámbito de la ingeniería mecánica y el diseño industrial. A diferencia de los programas de diseño geométrico tradicionales, Inventor permite definir cada pieza mediante un conjunto de parámetros editables, lo que facilita la iteración y optimización del diseño sin necesidad de reconstruir los modelos desde cero.

Desde el inicio del proyecto, una de las necesidades clave era garantizar que todas las piezas encajaran con precisión en el ensamblaje final. Para ello, Inventor ofrece herramientas que permiten no solo modelar las piezas individualmente, sino también comprobar su ajuste en un entorno virtual antes de la fabricación. La función de ensamblajes dinámicos fue especialmente útil en el caso del sistema de giro, ya que permitió simular el movimiento de la bisagra y verificar que no existían interferencias entre los distintos componentes. Este enfoque minimizó la necesidad de modificaciones posteriores, asegurando que el sistema funcionaría correctamente una vez instalado.

Además, Inventor permitió generar la documentación técnica necesaria para la fabricación de las piezas. Se elaboraron planos detallados con cotas exactas y vistas normalizadas, lo que facilitó la producción de los elementos en corte láser y la impresión 3D con tolerancias precisas.

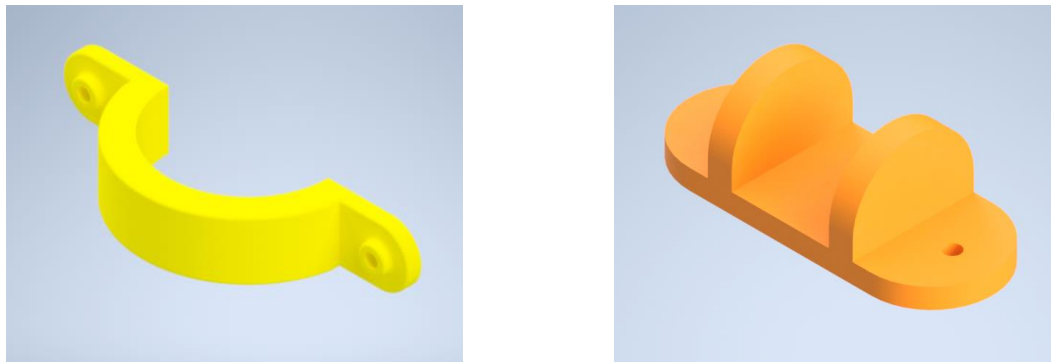
#### *3.2.2 Paneles*

El diseño de la pizarra se compone de un panel de policarbonato y un marco de polipropileno multicapa. El policarbonato se ha seleccionado por su alta resistencia al impacto, transparencia y durabilidad, características esenciales para garantizar una buena visibilidad y estabilidad estructural en el puente de mando. Sus dimensiones son  $500 \times 440 \text{ mm}$ , con un espesor de  $3 \text{ mm}$ .

#### *3.2.3 Elementos de fijación*

El sistema de fijación ha sido diseñado para proporcionar estabilidad sin modificar la estructura del buque. Para ello, se han incorporado soportes inferiores fijados a la mesa de cartas, que permiten que la

pizarra repose con firmeza sobre la superficie, mientras que unas abrazaderas sujetan la parte superior al puntal de puente de babor (Figura 3-2).



**Figura 3-2 Abrazadera (izquierda) y apoyo (derecha) [Autoría propia]**

Uno de los aspectos clave en el diseño ha sido la incorporación de un mecanismo de giro. Este sistema permite modificar la posición de la pizarra según las necesidades de uso y facilita su plegado cuando no está en uso, optimizando el espacio disponible en el puente. Se han realizado ajustes en el diseño de la bisagra para garantizar que el mecanismo mantenga la estabilidad en cada una de sus posiciones, evitando desplazamientos accidentales durante la navegación (Figura 3-3).



**Figura 3-3 Bisagras, a pizarra (izquierda) y a abrazadera (derecha) [Autoría propia]**

### 3.2.4 Análisis estructural

Como paso previo al montaje definitivo, se realizó un análisis de tensiones sobre uno de los componentes críticos del sistema: la bisagra giratoria. Para ello se empleó el módulo de simulación estática de Autodesk Inventor, configurando un modelo que reproducía las condiciones de carga previsibles durante el uso. La carga aplicada se obtuvo a partir de los datos experimentales recogidos durante una salida a la mar, en la que se midió una aceleración máxima de aproximadamente  $2,5 \text{ m/s}^2$  en los ejes X e Y. Considerando una masa total de 4 kg para el conjunto del panel, se estimó una fuerza resultante de 10 N aplicada en el centro del marco. Con el fin de introducir un margen adicional de seguridad, la simulación se realizó con una carga de 15 N.

En el modelo, las zonas de contacto con el marco y las abrazaderas se fijaron como restricciones, y se asignaron las propiedades mecánicas correspondientes al PLA empleado en la fabricación. El objetivo principal de esta simulación era verificar que las zonas más comprometidas del diseño, especialmente los alojamientos del eje y las uniones roscadas, no superaban el umbral de tensión admisible para este material (Figura 3-4).

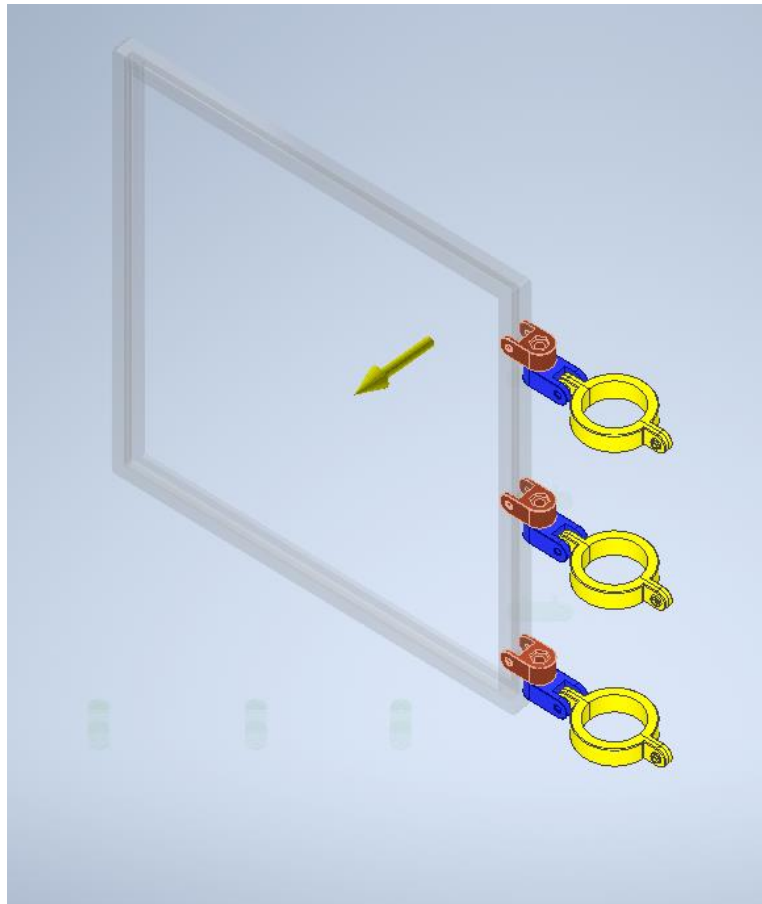


Figura 3-4 Disposición de la fuerza remota empleada [Autoría propia]

### 3.3 Proceso de fabricación de los componentes

El proceso de fabricación de la pizarra ha requerido la combinación de dos tecnologías de producción complementarias: corte láser y fabricación aditiva. Mientras que el marco de polipropileno ha sido obtenido mediante corte láser para asegurar precisión dimensional y un ajuste perfecto entre las piezas, los soportes de fijación han sido fabricados mediante impresión 3D en PLA, permitiendo su diseño a medida y optimización para el entorno de trabajo en la lancha.

#### 3.3.1 Corte láser del marco de polipropileno

El marco de la pizarra se construyó a partir de tres láminas de polipropileno gris, con espesores de 5 mm para las capas exteriores y 12 mm para la intermedia. Esta disposición multicapa no solo buscaba conferir al conjunto una estructura ligera y resistente, sino también facilitar el ensamblaje posterior con el panel de policarbonato, que debía alojarse de forma precisa en el hueco central.

La fabricación de estas piezas se realizó mediante corte láser, reflejado en la Figura 3-5, un procedimiento especialmente adecuado para materiales termoplásticos como el polipropileno, que permite obtener bordes limpios y bien definidos sin necesidad de posprocesado adicional. Para ello se utilizó una máquina CNC de Maquinaria Láser, capaz de ofrecer cortes con alta precisión sobre polímeros técnicos, manteniendo la estabilidad dimensional del material incluso en zonas de contorno interior más delicadas.



**Figura 3-5 Cortado láser de la plancha de polipropileno gris [Autoría propia]**

El diseño previo, modelado en Autodesk AutoCAD y exportado a formato DXF, sirvió de base para el trazado de corte. Cada pieza fue cortada de forma independiente, comprobando posteriormente su fidelidad dimensional respecto al modelo virtual. La exactitud del proceso permitió ensamblar las tres capas sin ajustes adicionales, lo que no solo redujo tiempos de montaje, sino que también aseguró un encaje firme y sin holguras del panel de policarbonato.

Entre las ventajas del corte láser frente a alternativas como el fresado CNC, destaca la ausencia de rebabas, la menor generación de calor y la alta resolución en curvas cerradas o detalles interiores, aspectos críticos en un material como el polipropileno, que puede mostrar deformaciones térmicas si se procesa de forma inadecuada. Fue determinante la realización de ensayos, mostrados en la Figura 3-6, previos al corte para ajustar los dos parámetros principales del corte láser: la potencia y la velocidad. Los mejores resultados para el marco interior se obtuvieron con una potencia del 60% y una velocidad de avance del láser de 1 mm/s, tardando 64 minutos en realizarse. Los exteriores, al ser más finos, se realizaron con la misma potencia y se aumentó la velocidad a 3 mm/s, en un tiempo de 21 minutos por marco.



**Figura 3-6 Trazas de los ensayos previos al corte [Autoría propia]**

### **3.3.2 Impresión 3D de los soportes en PLA**

#### **3.3.2.1 Ultimaker 3 Extended**

La Ultimaker 3 Extended es una impresora de tecnología FDM diseñada para la fabricación de piezas con alta precisión y fiabilidad. Su principal característica diferenciadora respecto a modelos anteriores

es la incorporación de un sistema de doble extrusión, lo que permite imprimir en dos materiales distintos o utilizar soportes solubles (PVA) para la fabricación de piezas con geometrías más complejas.

| Especificación                             | Valor                                            |
|--------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Tecnología de impresión                    | FDM                                              |
| Volumen máximo de impresión                | 215 x 215 x 300 mm                               |
| Diámetro de filamento compatible           | 2,85 mm                                          |
| Sistema de extrusión                       | Doble extrusor con cambio automático de boquilla |
| Diámetro de la boquilla                    | Estándar 0,4 mm<br>Opcionales: 0,25 y 0,8 mm     |
| Resolución de capa                         | 20 – 200 $\mu$ m                                 |
| Precisión en el posicionamiento ejes X e Y | 12,5 $\mu$ m                                     |
| Precisión en el posicionamiento eje Z      | 2,5 $\mu$ m                                      |
| Materiales compatibles                     | PLA, ABS, Nylon, CPE, TPU                        |
| Rango de temperatura del extrusor          | 180 – 200 °C                                     |

**Tabla 3-1 Especificaciones Impresora Ultimaker 3D Extended**

La temperatura del extrusor elegida es 200 °C y la base calefactada de la impresora, que puede alcanzar hasta 100°C, para PLA se ha configurado en torno a 60°C, asegurando una correcta adhesión sin riesgo de deformaciones (*warping*). La impresora también cuenta con un sistema de nivelación automática que ajusta la distancia entre la boquilla y la base en cada impresión, mejorando la adherencia de la primera capa y reduciendo la posibilidad de fallos.

Para garantizar la calidad de las piezas, se han empleado boquillas de 0.4 mm en la impresión de los soportes, obteniendo un buen compromiso entre resolución y velocidad de fabricación. Además, se han aplicado estrategias de impresión como el uso de refuerzos y soportes en las zonas de forma irregular y la optimización del relleno para reducir peso sin comprometer la resistencia estructural.

### 3.3.2.2 Ultimaker Cura

Para la preparación de los modelos antes de su impresión en la Ultimaker 3 Extended, se ha utilizado el software Ultimaker Cura, una de las soluciones más avanzadas en laminado de archivos 3D para tecnología FDM. Este software permite transformar modelos tridimensionales en un conjunto de instrucciones interpretables por la impresora, generando un código G-Code que define el recorrido de la boquilla, las velocidades de impresión y los ajustes de material.

Ultimaker Cura es compatible con más de 60 modelos de impresoras 3D, incluyendo tanto equipos de la gama Ultimaker como dispositivos de terceros. Su motor de laminado está basado en perfiles optimizados que ajustan automáticamente parámetros críticos para mejorar la precisión y la calidad de impresión. Además, cuenta con un sistema de interpolación avanzada del movimiento, lo que reduce errores y optimiza el acabado de las superficies. Soporta múltiples formatos de archivo, como STL (el utilizado), OBJ, 3MF y AMF, y permite la impresión con doble extrusión, facilitando la fabricación de estructuras con materiales de soporte solubles (PVA). También ofrece herramientas de optimización de trayectorias, minimizando los tiempos de desplazamiento y reduciendo el desperdicio de material. Otra

de sus funciones clave es la vista previa detallada de capas, que proporciona una simulación precisa de la impresión, permitiendo detectar posibles fallos antes de iniciar el proceso. Además, Ultimaker Cura integra bibliotecas de perfiles de materiales preconfigurados, que ajustan automáticamente los parámetros de impresión según el tipo de filamento empleado, garantizando resultados óptimos sin necesidad de configuraciones manuales complejas (Tabla 3-2).

| Parámetro                | Valor   |
|--------------------------|---------|
| Resolución de capa       | 0,1 mm  |
| Densidad de relleno      | 40 %    |
| Velocidad de impresión   | 60 mm/s |
| Temperatura del extrusor | 200 °C  |
| Temperatura de la base   | 60 °C   |
| Soportes                 | >70° C  |

**Tabla 3-2 Parámetros impresión 3D**

El software también ha permitido realizar simulaciones previas a la impresión, detectando posibles conflictos en la trayectoria de la boquilla o zonas de acumulación de material. Esto ha reducido la necesidad de iteraciones y ha optimizado el proceso de fabricación, minimizando tiempos de impresión y posibles fallos.

### 3.3.2.3 Abrazaderas de sujeción al puntal

Las abrazaderas constituyen el sistema principal de fijación del conjunto al puntal vertical de estribor, frente a la mesa de cartas. Su diseño responde a la necesidad de sujetar el marco sin alterar estructuralmente el mobiliario del puente, por lo que se optó por un sistema envolvente que no requiere perforaciones ni anclajes permanentes.

Cada abrazadera, como las de la Figura 3-7, consta de dos mitades simétricas impresas en PLA, ajustadas al diámetro específico del puntal. Estas se cierran mediante cuatro tornillos M5 distribuidos en puntos opuestos, lo que permite una presión uniforme y un agarre firme sin dañar la superficie del tubo. En su parte lateral, se ha integrado una superficie plana de unión directa con la bisagra giratoria, que a su vez se conecta al marco de la pizarra. Esta interfaz ha sido diseñada para asegurar una transición estable entre el punto de anclaje y el elemento móvil, permitiendo el giro del conjunto sin pérdida de rigidez. Se priorizó la resistencia mecánica en sentido transversal al plano de apertura, evitando orientaciones que pudieran comprometer la durabilidad del cierre. El resultado fue satisfactorio, con buen ajuste dimensional y sin necesidad de posprocesado adicional. Durante las pruebas de instalación, el sistema de abrazadera mostró un comportamiento sólido, soportando adecuadamente las vibraciones del entorno sin desplazamientos ni holguras perceptibles.

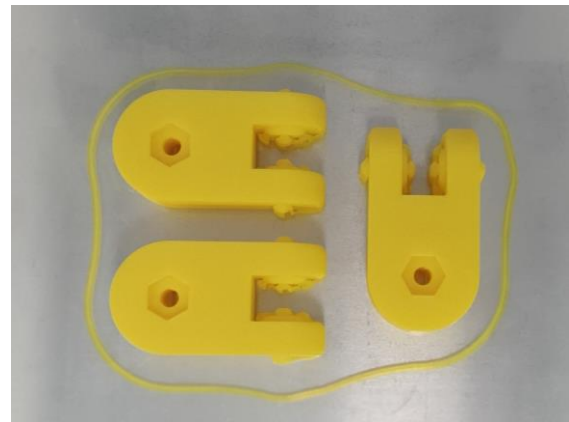
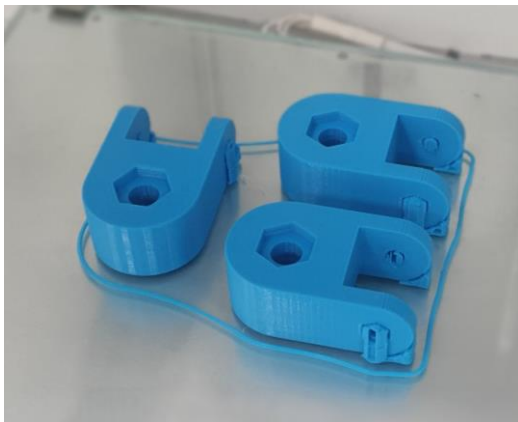


**Figura 3-7 Abrazadera posimpresión con cama (izda) y con su homóloga limpia (dcha) [Autoría propia]**

#### 3.3.2.4 Bisagras

La bisagra es el elemento que permite el movimiento de giro lateral del conjunto de la pizarra, conectando el marco con las abrazaderas sujetas al puntal. Su función principal es permitir que el panel pueda abatirse lateralmente para facilitar su lectura o escritura desde diferentes posiciones del puente, sin necesidad de desmontarlo.

Una vez completado el diseño en Inventor, la bisagra se fabricó mediante impresión 3D en PLA, dividiéndola en dos cuerpos articulados: uno anclado a la cara interna de la abrazadera y otro unido al marco de la pizarra (Figura 3-8).



**Figura 3-8 Bisagra definitiva a marco (izda) y bisagra preliminar a abrazadera (dcha) [Autoría propia]**

El montaje se realizó en seco tras la impresión, verificando que la rotación fuera fluida, pero sin holguras. El conjunto no incluye sistemas de bloqueo intermedio, pero la fricción generada por el ajuste entre materiales y la geometría del montaje es suficiente para mantener estable la posición de uso.

#### 3.3.2.5 Soportes inferiores fijados a la mesa

Los soportes inferiores cumplen una función esencial en la estabilidad del sistema, ya que actúan como punto de apoyo del marco de la pizarra sobre la mesa de cartas. A diferencia de las abrazaderas, que sujetan el conjunto al puntal y permiten el giro, estos elementos sirven para recibir el peso vertical del marco y mantenerlo alineado en la posición de uso, evitando oscilaciones y desplazamientos involuntarios.

Se diseñaron como piezas específicas adaptadas a la forma de la base del marco, de forma que el apoyo se produzca con continuidad y sin concentraciones de carga. Están fijados de forma directa a la superficie superior de la mesa mediante tornillería, lo que constituye la única perforación realizada en un elemento del mobiliario del buque. Esta decisión se tomó con precaución, eligiendo una zona que no afecta a la integridad estructural de la mesa ni interfiere con otros equipos o accesos. Se prestó especial atención a la planitud de las caras en contacto con la mesa y el marco, para evitar movimientos residuales tras la instalación (Figura 3-9).



**Figura 3-9 Soporte inferior [Autoría propia]**

Una vez fijados, los soportes ofrecieron una base firme y estable, contribuyendo significativamente al comportamiento sólido del sistema en la práctica. Su instalación fue sencilla y precisa, gracias al diseño a medida y a la calidad de impresión obtenida.

### **3.4 Ensamblaje e instalación en la Lancha de Instrucción A-121**

El ensamblaje del sistema se desarrolló en dos fases bien diferenciadas. La primera, realizada en taller, permitió consolidar el cuerpo principal de la pizarra: el marco, el panel y el sistema de retroiluminación. La segunda fase se ejecutó ya a bordo de la lancha de instrucción, donde se fijaron los elementos impresos al mobiliario y se integró todo el conjunto en su ubicación definitiva.

#### ***3.4.1 Ensamblaje del conjunto marco-panel***

La construcción del marco comenzó con el pegado de la capa interior de polipropileno sobre una de las capas exteriores de 5 mm, empleando para ello una resina adhesiva estructural que garantizaba una unión sólida y duradera. Antes de fraguar, se insertó cuidadosamente el panel de policarbonato compacto, adherido por la misma resina en el rebaje diseñado para tal fin (Figura 3-10). La tolerancia entre piezas fue precisa, de modo que el panel quedó fijado sin holguras ni tensiones.



**Figura 3-10 Pegado de panel y marcos con la resina, en negro [Autoría propia]**

La diferencia de grosor entre la capa interior y el panel dejó un canal perimetral, específicamente previsto para alojar el sistema de iluminación LED. En ese hueco se dispusieron las tiras LED blanca y roja ocupando tres costados y uno, respectivamente, asegurándolas con la misma resina empleada para el marco y, en algunos tramos, con protección añadida mediante perfil de cobertura transparente. Como se observa en la Figura 3-11, se emplearon elementos para ejercer presión vertical y horizontal, con el fin de obtener un pegado continuo sin fisuras.



**Figura 3-11 Pegado de luces LED. Las rojas, con IP66 con recubrimiento plástico. [Autoría propia]**

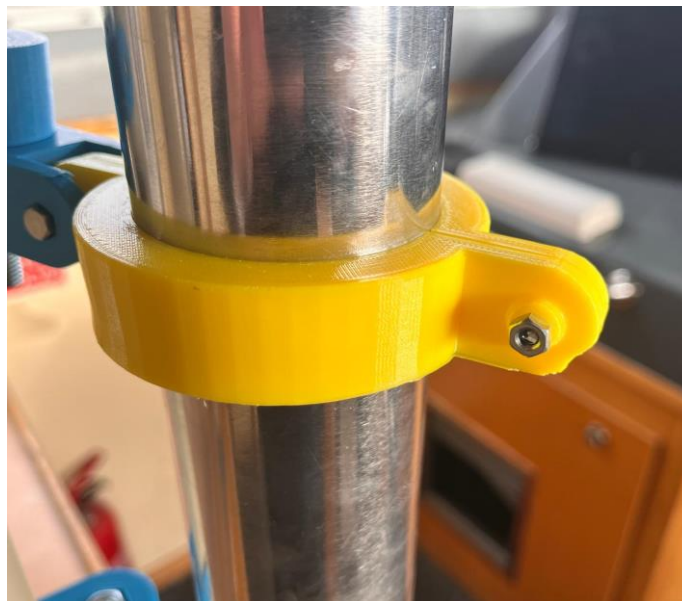
Una vez colocadas las tiras y asegurado el cableado, se procedió a cerrar el marco con la segunda capa exterior, completando así una estructura tipo “sándwich”, en la que el panel y las LED quedaron embebidos entre las capas del marco (Figura 3-12). La presión durante el secado fue prácticamente homogénea, cuidando la alineación para que el conjunto final resultara monolítico, limpio y sin relieves molestos.



**Figura 3-12 Colocación de pesos tras el pegado del segundo marco exterior durante el secado de la resina [Autoría propia]**

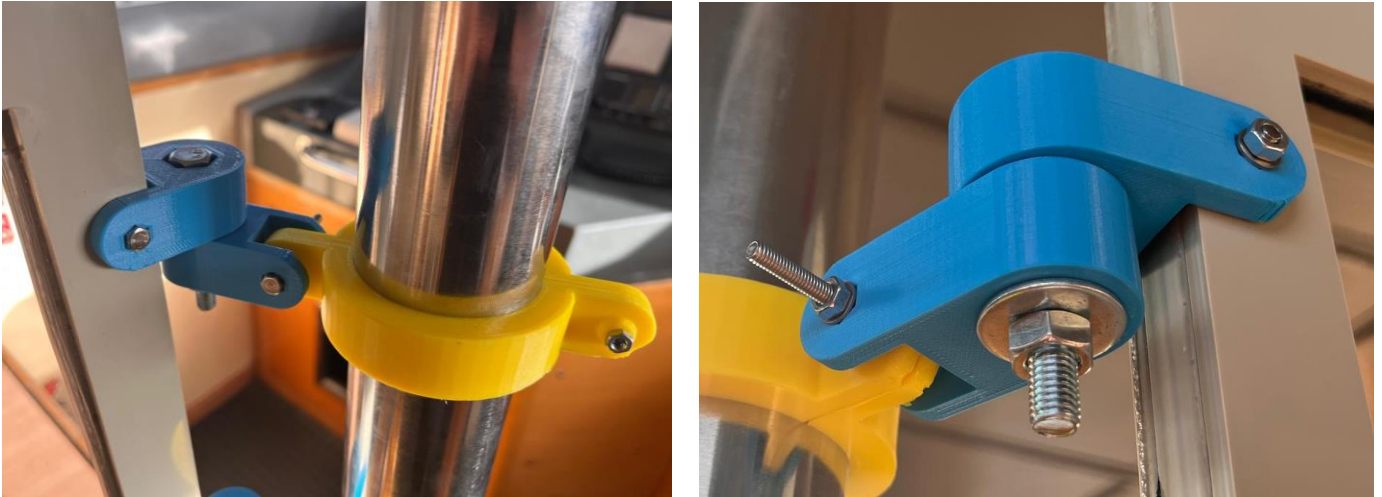
### 3.4.2 Montaje a bordo

La instalación a bordo se inició con la presentación del conjunto ya montado frente al puntal de babor. Allí se fijaron primero las abrazaderas amarillas, abrazando el tubo metálico que conforma el puntal (Figura 3-13). Sobre ellas se instalaron las bisagras azules, atornilladas directamente al lateral del marco, completando así el sistema de unión giratoria.



**Figura 3-13 Detalle de abrazaderas entorno al puntal. [Autoría propia]**

El siguiente paso fue apoyar la parte inferior del marco sobre la mesa de cartas, donde se atornillaron los soportes bajos impresos, que ofrecen una base física de apoyo sin afectar a la estabilidad del mueble (Figura 3-14). Una vez asentado el conjunto, se comprobó que el sistema de giro funcionaba correctamente, sin interferencias con la mesa ni con el mobiliario adyacente.



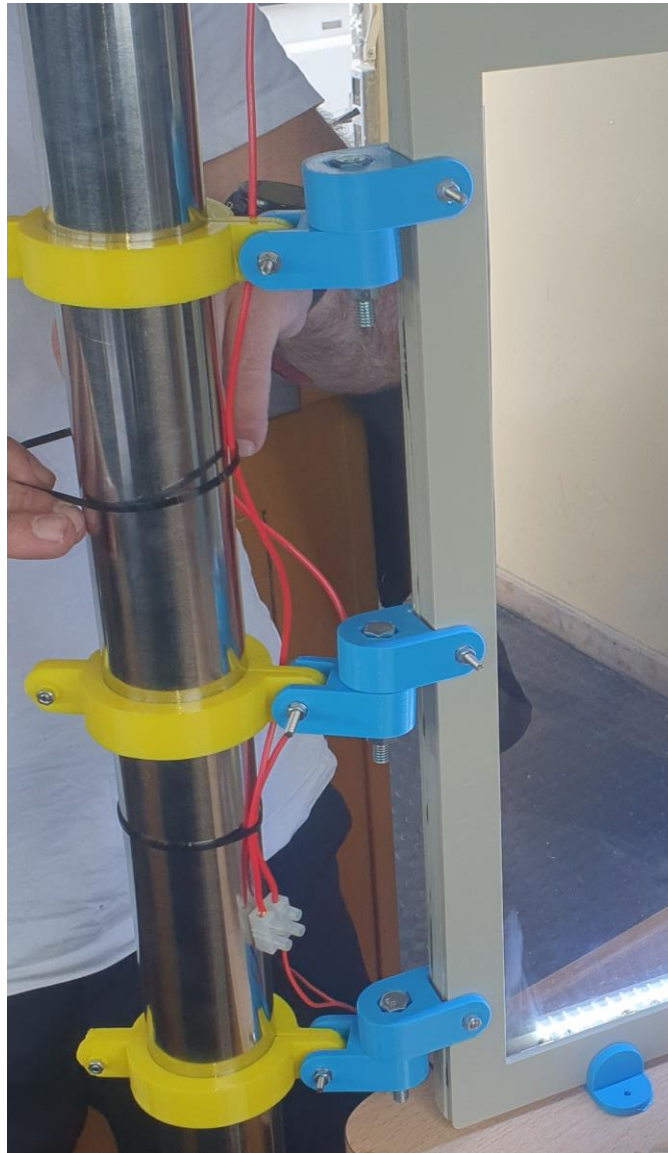
**Figura 3-14 Detalle superior e inferior de bisagra, unida a abrazaderas y marco por tornillería [Autoría propia]**

El siguiente paso fue apoyar la parte inferior del marco sobre la mesa de cartas, donde se atornillaron los soportes bajos impresos, que ofrecen una base física de apoyo sin afectar a la estabilidad del mueble. Una vez asentado el conjunto, se comprobó que el sistema de giro funcionaba correctamente, sin interferencias con la mesa ni con el mobiliario adyacente (Figura 3-15).



**Figura 3-15 Bisagra y soporte inferiores, previamente a la fijación con tornillos del último [Autoría propia]**

Por último, se llevó a cabo la conexión eléctrica. Los cables de alimentación fueron canalizados hasta el techo mediante bridas y funda protectora, y conectados a la línea de 24V del alumbrado de puente, sustituyendo una luminaria existente (Figura 3-16). En este punto, la tira blanca quedó plenamente operativa, mientras que la roja inicialmente presentó un fallo de conexión, por lo que hubo que repetir el montaje para lograr su correcto funcionamiento.



**Figura 3-16 Colocación de bridas al cableado [Autoría propia]**

## 4 RESULTADOS / VALIDACIÓN / PRUEBA

### 4.1 Resultados del análisis estructural de tensiones

El análisis por elementos finitos (FEA) realizado sobre la bisagra permitió evaluar la respuesta del componente frente a una carga horizontal de 15 N, aplicada perpendicular al plano del marco. Esta simulación, ejecutada en Autodesk Inventor, reprodujo las condiciones de uso más desfavorables observadas durante la navegación, introduciendo un margen adicional sobre la carga real estimada.

Los resultados del análisis, en la Figura 4-1, muestran una distribución de tensiones concentrada en la zona de unión entre la bisagra y la abrazadera, donde se alcanza el valor máximo de tensión de Von Mises: 18,31 MPa. Cabe mencionar que se alcanza en un módulo del mallado de la simulación que concentra más esfuerzos que en la realidad. Aun así, esta tensión es significativamente inferior al límite elástico del material utilizado, PLA, que puede estimarse en torno a los 60 MPa, lo cual indica que la pieza no se encuentra en riesgo de rotura o deformación permanente en las condiciones de carga consideradas. Como se ve en la Figura 2-1, se somete a la pieza a 3 MPa en su punto más crítico.

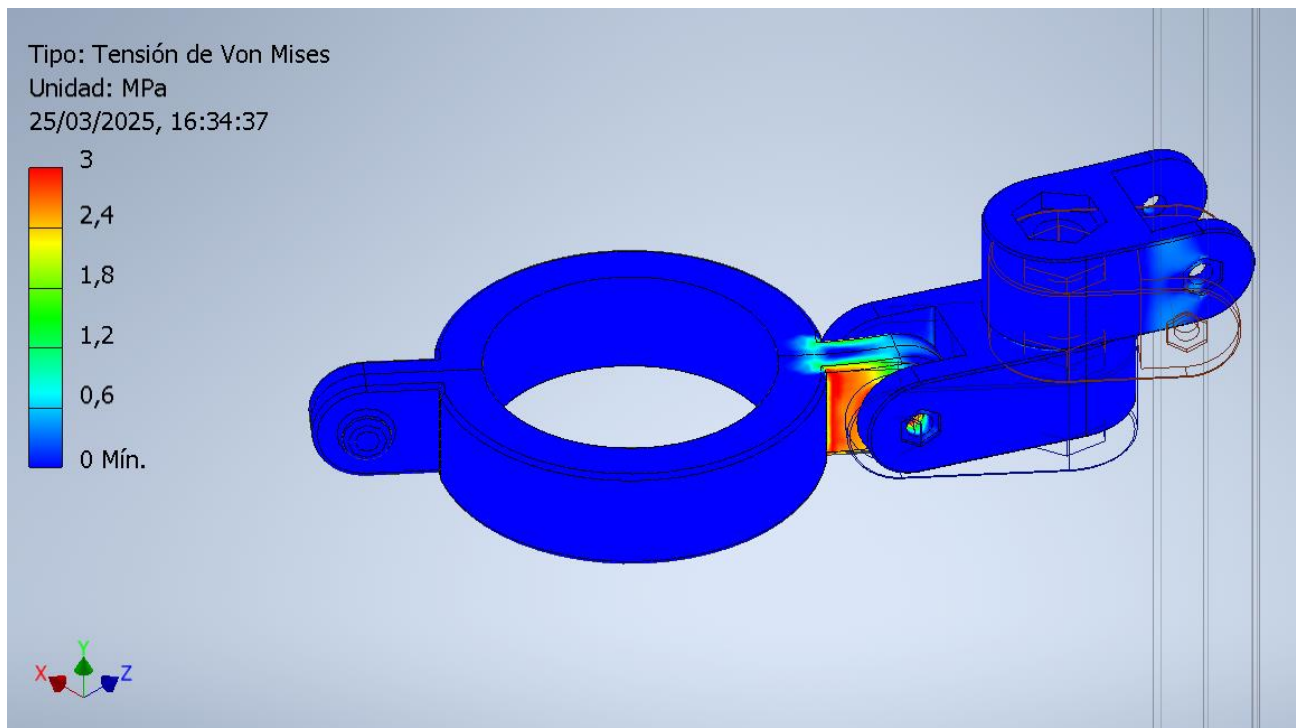
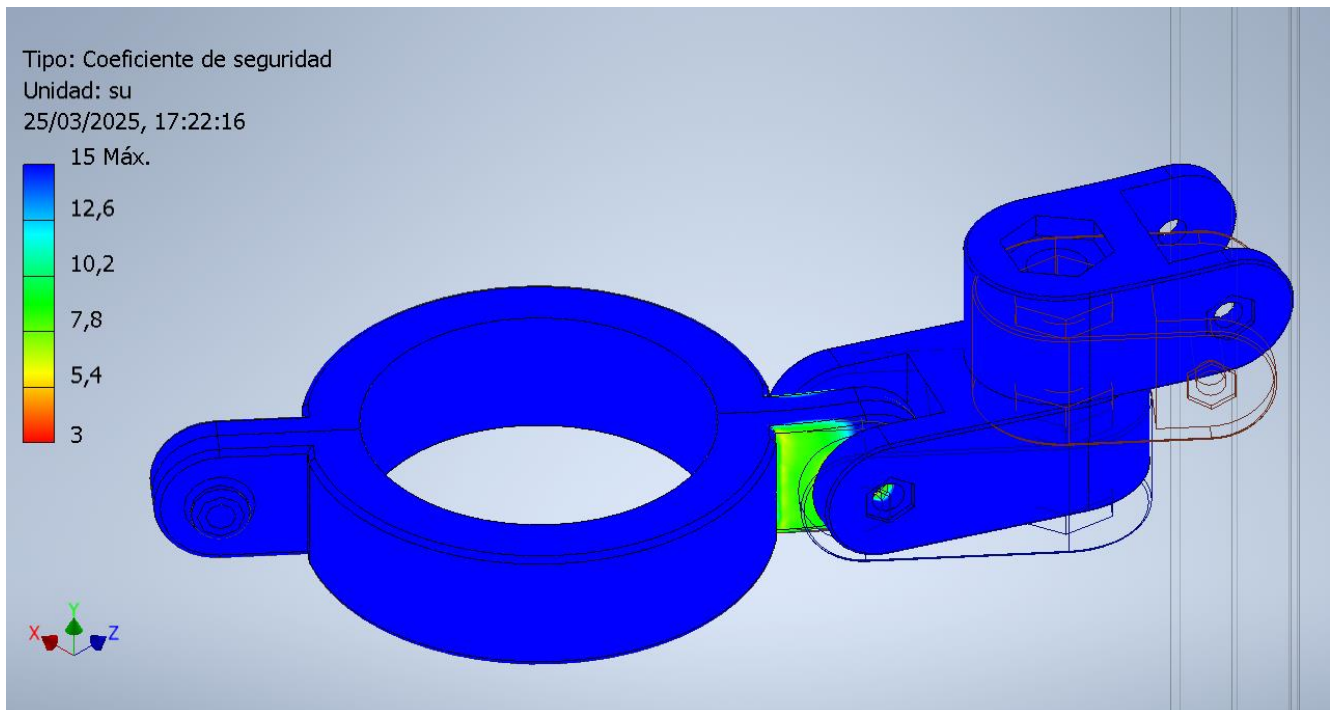


Figura 4-1 Tensión de Von Mises obtenida de la simulación [Autoría propia]

Por otro lado, el estudio también proporciona el coeficiente de seguridad, cuya mínima localización se encuentra precisamente en la zona más solicitada de la pieza. Se alcanza ampliamente el coeficiente de 3 considerado ideal como umbral de seguridad, por lo que el margen existente es suficiente teniendo en cuenta el carácter no crítico del componente, la carga moderada a la que está sometido y la posibilidad de intervención y sustitución sencilla en caso de desgaste (Figura 4-2).



**Figura 4-2 Coeficiente de seguridad obtenidos de la simulación [Autoría propia]**

En definitiva, los resultados confirman que el sistema de sujeción diseñado resiste adecuadamente las solicitaciones previstas durante la navegación, tanto por el valor absoluto de las tensiones como por el margen de seguridad disponible.

## 4.2 Evaluación funcional del sistema a bordo

Una vez completada la fabricación e instalación del conjunto, se procedió a su validación en condiciones reales de uso durante una navegación con alumnos. Esta evaluación abarcó tanto el comportamiento mecánico del conjunto como la funcionalidad del sistema de retroiluminación, permitiendo verificar si los requisitos iniciales del proyecto se cumplían de forma efectiva y segura.

### 4.2.1 Comportamiento estructural y mecánico del conjunto

Desde un punto de vista mecánico, el sistema ha demostrado una gran solidez estructural. La fijación mediante los soportes impresos en PLA, reforzados con tornillería de acero inoxidable, permitió una unión firme entre el marco y el pasamanos, incluso durante las aceleraciones y vibraciones propias de la navegación. La integración de bisagras en el lateral derecho aportó una funcionalidad adicional, permitiendo replegar la pizarra cuando no se usa o cuando se requiere liberar espacio sobre la mesa de cartas. (Véase Figura 4-3 y Figura 4-4)



**Figura 4-3 Posición perpendicular a crujía**



**Figura 4-4 Posición paralela a crujía**

La incorporación de resina adhesiva para unir las capas del marco y el panel de policarbonato fue clave para garantizar la rigidez del conjunto. Este método de ensamblaje demostró una resistencia adecuada incluso bajo sollicitaciones dinámicas. Por otra parte, los soportes inferiores, que descansan sobre la mesa de cartas, contribuyen al reparto de cargas sin comprometer la estructura del mobiliario, respetando sus elementos originales, ilustrado en la Figura 4-5.



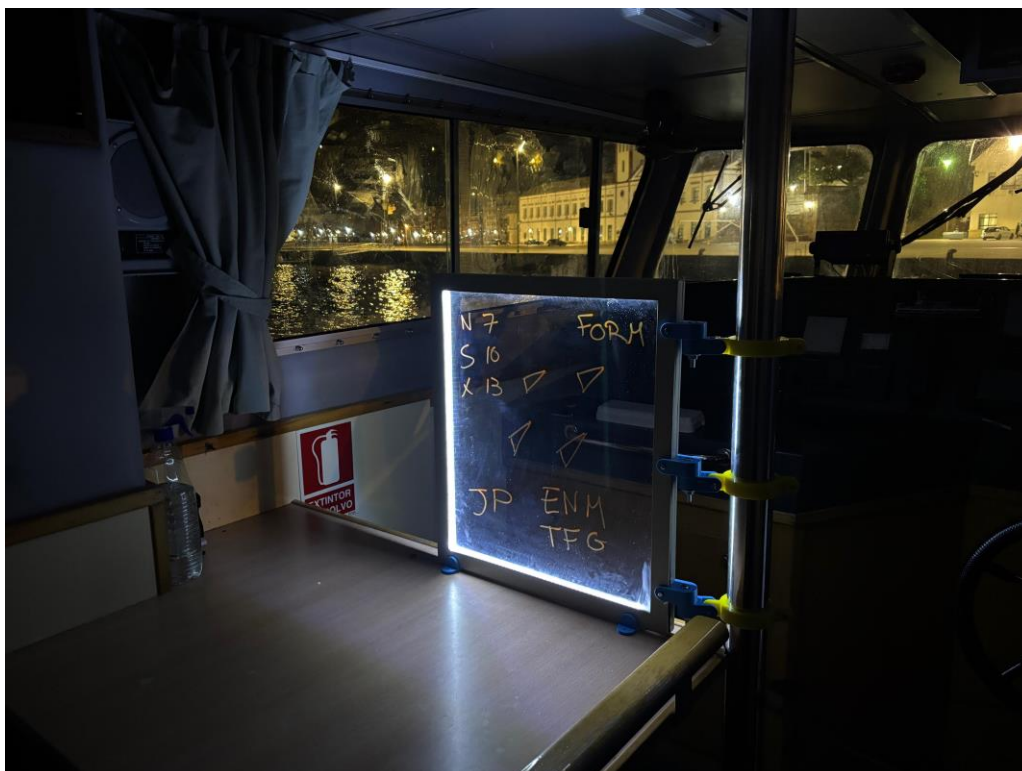
**Figura 4-5 Detalle de esquina inferior, donde se apoya la pizarra sobre el soporte [Autoría propia]**

La estructura completa mostró un comportamiento sólido y coherente con lo esperado. La unión entre los distintos materiales —polipropileno, PLA y policarbonato— se mantuvo firme, sin deformaciones ni desviaciones perceptibles tras la instalación.

Los soportes inferiores, anclados sobre la superficie superior de la mesa, proporcionaron una base estable. Las abrazaderas al puntal, junto con la bisagra, aseguraron una fijación fiable sin necesidad de realizar modificaciones estructurales en el buque. La rotación lateral se realizó con suavidad, demostrando la eficacia del diseño de la bisagra impresa y el correcto dimensionado de los anclajes.

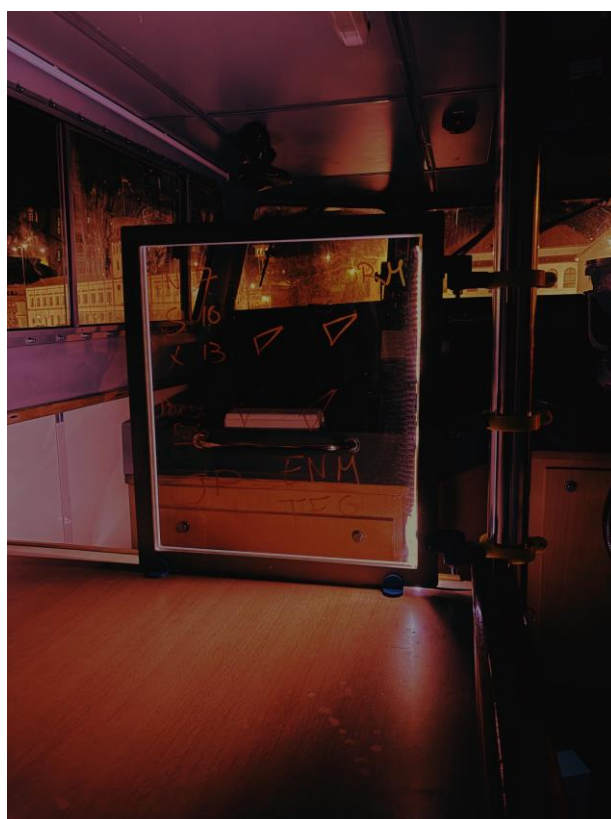
#### *4.2.2 Evaluación funcional del sistema de retroiluminación*

En cuanto al sistema eléctrico, el circuito de retroiluminación se conectó a la sección “Alumbrado de puente” del cuadro eléctrico de la lancha, alimentado por una red de 24V. Se reemplazó una luminaria existente para aprovechar la instalación ya disponible. La tira LED blanca se adhirió en el interior del marco, quedando oculta a la vista y emitiendo luz de forma uniforme sobre el panel. Su funcionamiento fue inmediato y constante durante la navegación nocturna, generando una iluminación eficaz y cómoda para el usuario (Figura 4-6).



**Figura 4-6 Pizarra con iluminación blanca [Autoría propia]**

Posteriormente, y tras resolver un problema en el conector de la tira LED roja, esta también pudo ser encendida con éxito. La luz roja, de menor intensidad y menos intrusiva, resultó especialmente adecuada para su uso en condiciones de baja visibilidad, respetando la visión nocturna en el puente. (Véase Figura 4-7 y Figura 4-8)



**Figura 4-7 Iluminación roja en posición perpendicular a crujía [Autoría propia]**

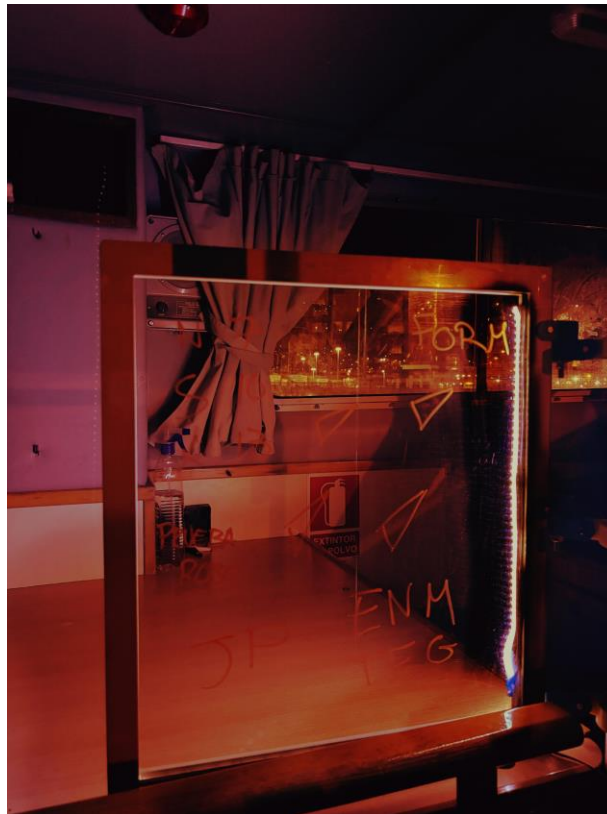


Figura 4-8 Iluminación roja en posición paralela a cruzía [Autoría propia]

### 4.3 Costes de fabricación

El desarrollo de este proyecto ha estado condicionado, entre otros factores, por la necesidad de mantener un equilibrio entre funcionalidad, durabilidad y viabilidad económica. Desde el principio se planteó como objetivo que los materiales seleccionados y los procesos de fabricación empleados no supusieran un coste desproporcionado, especialmente teniendo en cuenta que la pizarra forma parte de un entorno de instrucción susceptible de ser replicado o ampliado en el futuro.

Por ello, se ha optado por soluciones que, sin comprometer la calidad del resultado, permitieran mantener los costes bajo control. El uso de impresión 3D, materiales plásticos de fácil mecanizado, y componentes LED de bajo consumo, ha permitido desarrollar una estructura funcional, resistente y técnicamente solvente, con un gasto contenido. A continuación, se presenta un desglose por bloques diferenciados, para el análisis del impacto económico de cada grupo de elementos empleados en el proyecto.

#### 4.3.1 Costes impresión 3D

Las piezas impresas incluyen abrazaderas, soportes inferiores fijados a la mesa de carta, la bisagra con sistema de giro de dos componentes y varios elementos desechados. Todas ellas se han fabricado en las impresoras Ultimaker 3 y Ultimaker 3 Extended, utilizando filamento PLA de 2,85 mm, con los parámetros ya descritos en el apartado correspondiente del desarrollo. A continuación, se presenta un desglose estimado de las piezas impresas, su consumo de material y el coste asociado, calculado en base a un precio medio de 22 €/kg de filamento PLA.

$$\text{Coste por gramo de PLA} = \frac{22 \text{ €}}{750 \text{ g PLA}} = 0,03 \text{ €/g} \quad (1)$$

En la se presentan los costes de cada impresión, relacionando el peso de la pieza, la longitud de cable de PLA que consume, el tiempo de fabricación y su coste explicado en la expresión (1). Nótese las filas relativas a piezas desechadas para el conjunto final están escritas en rojo (Tabla 4-1).

| Pieza                      | Peso (g) | Longitud (m) | Tiempo (h:min) | Coste (€) |
|----------------------------|----------|--------------|----------------|-----------|
| <b>Abrazaderas</b>         | 70       | 8,83         | 8:11           | 2,10      |
| <b>Soporte Bajo 1</b>      | 39       | 4,96         | 4:58           | 1,17      |
| <b>Soporte Bajo 2</b>      | 41       | 5,02         | 5:01           | 1,23      |
| <b>Soporte Bajo Final</b>  | 44       | 5,10         | 5:06           | 1,30      |
| <b>Bisagra a Puntal 1</b>  | 52       | 6,76         | 6:40           | 1,56      |
| <b>Bisagra a Puntal 2</b>  | 54       | 6,83         | 6:48           | 1,62      |
| <b>Bisagra a Pizarra 1</b> | 49       | 6,15         | 6:07           | 1,47      |
| <b>Todas</b>               | 349      | 43,65        | 42:51          | 10,45     |

**Tabla 4-1 Costes impresión piezas 3D [Autoría propia]**

Este coste representa únicamente el material consumido, sin tener en cuenta el coste horario de impresión o mantenimiento de la máquina, dado que el uso ha sido particular. En caso de externalizar la impresión, el coste podría multiplicarse significativamente, lo que refuerza el valor añadido de contar con medios propios en la ejecución de proyectos técnicos de este tipo.

A este bloque hay que añadir los elementos de sujeción metálicos, como tornillos, tuercas, arandelas y bulones, necesarios para el montaje de las piezas impresas y su fijación a los puntos estructurales de la lancha. Todos ellos se adquirieron en ferretería técnica y su coste, aunque modesto, resulta esencial para el correcto funcionamiento del sistema (Tabla 4-2).

| Elemento                       | Precio (€)  |
|--------------------------------|-------------|
| <b>8 x Tornillo M4</b>         | 8 x 0,10    |
| <b>9 x Arandelas M5</b>        | 9 x 0,05    |
| <b>6 x Tornillo Pasante M5</b> | 6 x 0,12    |
| <b>3x Tornillo pasante M10</b> | 3 x 0,21    |
| <b>6 x Tuerca M5</b>           | 6 x 0,10    |
| <b>3 x Tuerca M10</b>          | 3 x 0,14    |
| <b>Total</b>                   | <b>3,62</b> |

**Tabla 4-2 Costes tornillería [Autoría propia]**

#### *4.3.2 Costes del marco y panel*

El conjunto estructural de la pizarra está compuesto por un panel interior de policarbonato compacto obtenido del CUD y un marco perimetral multicapa fabricado en polipropileno gris, adquirido a la empresa asturiana especializada Transglass [33].

Las dos capas exteriores del marco, de 5 mm de espesor, y la intermedia, de 12 mm, fueron cortadas mediante CNC láser en el laboratorio de mecánica, a partir de un archivo generado en AutoCAD y exportado en formato DXF. Este proceso no supuso coste económico directo para el proyecto, por haber sido realizado con medios cedidos. Aun así, si fuera necesario, podría valorarse también el servicio en caso de replicación.

La Tabla 4-3 refleja los materiales clave del cuerpo principal de la pizarra, sobre el que se integran tanto el sistema de fijación como el sistema de iluminación.

| <b>Plancha Polipropileno Gris</b> | <b>Coste (€)</b> |
|-----------------------------------|------------------|
| <b>2 x 600x500x5 mm</b>           | 2 x 13,07        |
| <b>600x500x12 mm</b>              | 21,20            |
| <b>Total</b>                      | <b>47,34</b>     |

**Tabla 4-3 Costes planchas polipropileno gris [Autoría propia]**

#### 4.3.3 Costes del sistema de iluminación

Uno de los elementos diferenciales del proyecto ha sido la incorporación de un sistema de retroiluminación LED integrado en el marco de la pizarra. Se han empleado dos tiras LED monocolor blanca [34] y roja [35] de 24V, adquiridas a través de la tienda especializada LEDBOX.

La tira LED blanca corresponde a un modelo SMD2835, 120 LED/m, con 80W de potencia en total, adecuada para iluminación continua en interiores semicerrados. Para la luz roja, se utilizó una versión similar, pero en formato de 1 metro, con clasificación IP66, más que suficiente para asegurar su durabilidad en entornos con salpicaduras. El cableado y conectores que lo unen a la red de 24V de la lancha de instrucción fueron proporcionados por el núcleo de lanchas de instrucción, por lo que relacionará un coste de 0,32 €/m (Tabla 4-4).

| <b>Componente</b>                     | <b>Descripción Técnica</b> | <b>Coste (€)</b> |
|---------------------------------------|----------------------------|------------------|
| <b>Tira LED blanca 5m SMD2835 24V</b> | 120 LED/m, 80W, IP65       | 16,95            |
| <b>Tira LED roja 1m SMD2835 24V</b>   | 120 LED/m, 500W, IP66      | 3,95             |
| <b>Cableado</b>                       | 2 m                        | 0,62             |
| <b>Total</b>                          |                            | <b>21,52</b>     |

**Tabla 4-4 Costes iluminación**

#### 4.3.4 Costes totales

Una vez desglosados los distintos grupos de materiales y componentes empleados en el proyecto, se presenta a continuación una estimación global de los costes de fabricación, en la Tabla 4-5. Esta suma incluye tanto los elementos impresos en 3D como el marco, panel, tornillería e iluminación LED. En los casos en los que se han utilizado recursos propios o cedidos —como la impresora o el servicio de corte láser—, no se ha asignado un coste económico directo, aunque sí se ha valorado el consumo de materiales.

| <b>Causa</b>       | <b>Coste (€)</b> |
|--------------------|------------------|
| <b>Impresión</b>   | 10,45            |
| <b>Tornillería</b> | 3,62             |
| <b>Paneles</b>     | 47,34            |
| <b>Iluminación</b> | 21,52            |
| <b>Total</b>       | <b>82,93</b>     |

**Tabla 4-5 Costes totales**

Esta cifra, 82,93€ representa el coste de fabricación del sistema completo en su versión final, tal y como ha sido implementado a bordo de la lancha de instrucción. El resultado económico se mantiene en niveles muy razonables teniendo en cuenta la personalización del diseño, el uso de tecnologías de fabricación digital y la adaptabilidad al entorno naval.

## 4.4 Encuesta de satisfacción

Para evaluar la aceptación y funcionalidad de la pizarra retroiluminada instalada en la lancha de instrucción, se realizó una encuesta de satisfacción dirigida a los alumnos que participaron en una salida a la mar en la que se utilizó el sistema. El objetivo era recopilar impresiones sobre su utilidad, integración a bordo y grado de acogida.

### 4.4.1 Metodología

El sondeo fue realizado mediante un cuestionario anónimo a través de Google Forms, respondiendo a tres preguntas sobre diferentes aspectos de la pizarra. Se recogieron respuestas de 9 participantes, todos ellos alumnos en formación que han utilizado la lancha como parte de su adiestramiento.

### 4.4.2 Resultados

Para evaluar la utilidad de la pizarra, se preguntó a los participantes si consideraban que había tenido un impacto positivo en el desarrollo de los ejercicios a bordo. Como se observa en la Figura 4-9, estos resultados reflejan que la mayoría de los encuestados percibieron la pizarra como un elemento beneficioso, aunque un pequeño porcentaje consideró que su impacto no fue tan significativo.

La pizarra ha tenido un impacto positivo en el desarrollo de los ejercicios  
9 responses

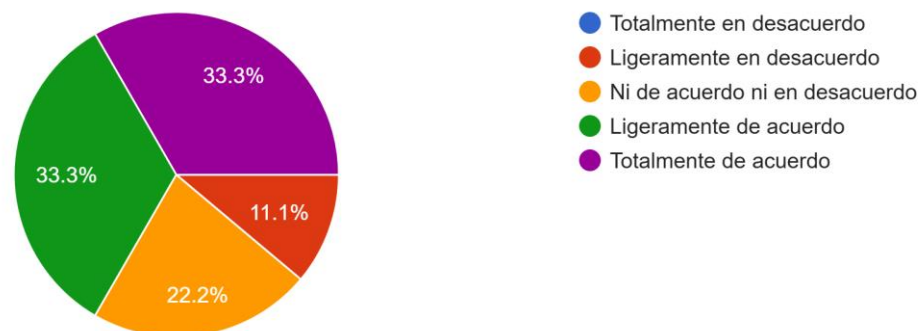
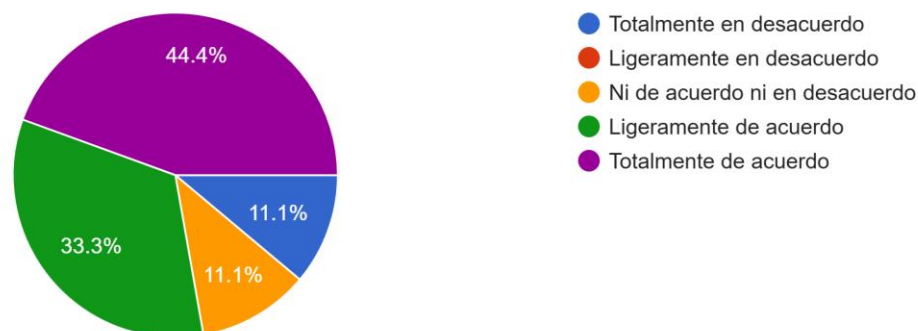


Figura 4-9 Resultado de la primera pregunta [Autoría propia]

Con el fin de sondear las incomodidades que puede suponer el proyecto en el lugar elegido, y si este lugar ha sido la mejor opción, se realizó una segunda pregunta. En la Figura 4-10 queda de manifiesto la correcta elección de colocación espacial, con el apoyo de más de un 75% de los encuestados.

La pizarra no supone ningún estorbo y su colocación espacial es óptima

9 responses

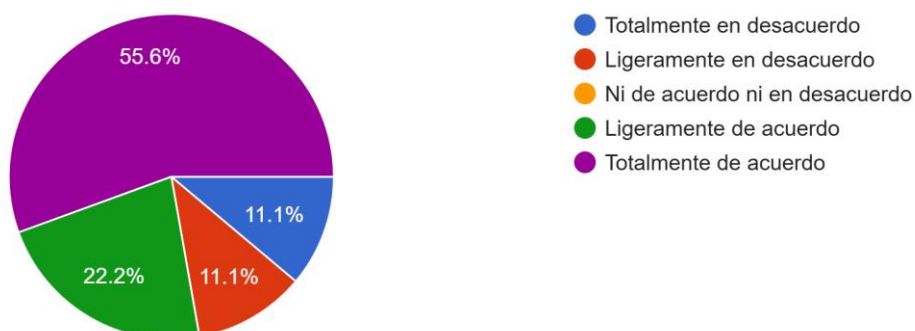


**Figura 4-10 Resultado de la segunda pregunta [Autoría propia]**

Por último, se preguntó si había entre los alumnos que habían navegado con ella interés en seguir utilizándola en sus futuras salidas, como baremo de aceptación de su implementación en la plataforma. En esta ocasión, se observa en la Figura 4-11 un resultado muy favorable, con más de la mitad de la muestra totalmente de acuerdo con la opción de navegar de nuevo con ella y otro quinto está también conforme, manifestando su aportación valiosa a la formación marinera y militar.

Prefiero salir en una lancha con pizarra, aporta un extra a mi adiestramiento

9 responses



**Figura 4-11 Resultado de la tercera pregunta [Autoría propia]**

## 5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

### 5.1 Conclusiones

El desarrollo de este trabajo ha permitido constatar de primera mano el potencial que encierra la fabricación aditiva como herramienta al servicio de la ingeniería. Lejos de ser una solución de carácter únicamente experimental o de laboratorio, ha demostrado su capacidad para materializar propuestas concretas, adaptadas a entornos reales, con requerimientos específicos. En este caso, ha servido no solo para dar forma a una idea funcional, sino también para responder a una necesidad existente a bordo, con una solución concebida desde el detalle y pensada para su uso inmediato.

Más allá de lo técnico, uno de los elementos más reveladores ha sido comprobar cómo una propuesta de este tipo, surgida en el marco académico, ha sido bien acogida por el responsable de las lanchas de instrucción. El oficial al mando, el Jefe de Adiestramiento a Flote (JADFLOT), tras valorar la utilidad y solidez del sistema, ha considerado la posibilidad de extrapolar esta implementación a todas unidades. Este gesto, más allá de su posible ejecución futura, constituye ya un reconocimiento implícito del valor del trabajo realizado.

En cuanto al cumplimiento de los objetivos planteados al inicio de la memoria, puede afirmarse que el proyecto ha seguido con fidelidad el propósito original. Se ha logrado diseñar, fabricar e instalar un sistema de pizarra retroiluminada plenamente funcional, adaptado al entorno naval específico en el que debía integrarse.

Uno de los puntos clave era asegurar la compatibilidad del diseño con el espacio reducido y condicionado del puente de la lancha, algo que se ha conseguido mediante un sistema de fijación no invasivo, fácilmente desmontable, y con posibilidad de rotación.

Otro objetivo esencial pasaba por incorporar tecnologías actuales del ámbito de la ingeniería mecánica, como el modelado paramétrico, la fabricación aditiva y el corte por láser. No solo como medios técnicos, sino como parte integral de la lógica de diseño.

La fabricación en PLA, la elección del policarbonato para el panel y la integración del sistema de iluminación LED han respondido tanto a criterios de funcionalidad como de viabilidad práctica, consolidando un proceso de trabajo coherente desde la concepción inicial hasta la instalación final a bordo.

### 5.2 Líneas futuras

El desarrollo de este proyecto no se considera un punto final, sino una base funcional sobre la que pueden plantearse futuras mejoras o nuevas aplicaciones. A partir de esta primera implementación, han

surgido diversas consideraciones técnicas y de diseño que permiten identificar líneas de trabajo complementarias, tanto orientadas al perfeccionamiento del sistema actual como a su posible adaptación a otros contextos del entorno naval.

### *5.2.1 Perfeccionamiento del sistema actual*

Entre los aspectos mejorables del diseño actual, uno de los puntos más relevantes es el comportamiento del polipropileno durante el corte láser. Aunque ha demostrado una buena rigidez y resistencia, las planchas sufren una ligera deformación térmica que obliga a realizar ajustes posteriores en el montaje. En este sentido, sería conveniente estudiar otros materiales que mantengan la compatibilidad con la tecnología láser, pero con mayor estabilidad dimensional, sobre todo si se desea replicar el sistema en otras lanchas.

Por otro lado, el propio planteamiento estructural de la pizarra podría revisarse para prescindir del apoyo directo sobre la mesa de cartas. Un sistema en voladizo, inspirado en el funcionamiento de una puerta o ventanal abatible, permitiría una mayor libertad de uso del espacio de trabajo y una instalación aún más limpia, sin necesidad de anclajes a la superficie horizontal. Esta modificación debería ir acompañada, naturalmente, de un refuerzo del conjunto de sujeción lateral y un análisis estructural más detallado, que garantice su integridad bajo las condiciones dinámicas de la navegación.

También se han detectado oportunidades de mejora en el sistema eléctrico asociado a la iluminación. Actualmente, las luces LED se alimentan directamente desde el cuadro eléctrico del puente, lo que limita la autonomía de control del sistema. Sería recomendable que versiones futuras incluyeran un piloto independiente, con interruptor local próximo a la propia pizarra, y preferiblemente con un regulador de intensidad. Esta última opción permitiría adaptar la iluminación a las condiciones nocturnas de navegación, minimizando el deslumbramiento y mejorando la visibilidad del entorno.

### *5.2.2 Proyectos derivados y ampliación de uso*

La metodología empleada en este trabajo, desde el diseño en entorno CAD hasta la fabricación final por medios digitales, abre la puerta a una línea de proyectos aplicables no solo a bordo de las lanchas de instrucción, sino en otros ámbitos de la Escuela que compartan las necesidades de versatilidad, resistencia y bajo coste.

En el contexto de las propias lanchas, más allá de la réplica directa de esta pizarra, podrían desarrollarse accesorios complementarios como soportes para tabletas, paneles de señalización rápida o módulos informativos desmontables, todos ellos fabricados mediante impresión 3D y adaptados a los espacios disponibles. Asimismo, se podrían explorar versiones del soporte actual pensadas para su uso exterior, con materiales y acabados resistentes al agua salina y la radiación ultravioleta, lo que ampliaría notablemente las posibilidades operativas.

En tierra, el concepto de pizarra retroiluminada puede encontrar utilidad tanto en aulas como en espacios de formación práctica. El sistema modular y desmontable resulta especialmente útil en contextos donde se requiera flexibilidad, como en simuladores, talleres de maniobra o exposiciones temporales. Incluso podría adaptarse como herramienta de apoyo visual para visitas guiadas o actividades divulgativas, con ligeras modificaciones orientadas al entorno civil.

Más allá del objeto en sí, este proyecto demuestra que la combinación entre herramientas digitales accesibles (como Inventor o Cura) y tecnologías de fabricación distribuida puede ser un vehículo eficaz para responder a necesidades concretas sin depender de soluciones industriales genéricas. Fomentar este enfoque dentro de la Escuela, a través de talleres, seminarios o colaboración entre el CUD y la ENM, podría traducirse en una cultura técnica más abierta, autónoma e innovadora.

## 6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Armada, «Saber más de Historia - Escuela Naval Militar - Armada - Ministerio de Defensa - Gobierno de España». Accedido: 1 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/personalenm/prefLang-es/01bienvenida--02historia--01historiasm>
- [2] «Ignacio Cuartero: “Las Rías Baixas son la mejor aula del mundo para la navegación”», La Voz de Galicia. Accedido: 1 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: [https://www.lavozdegalicia.es/noticia/pontevedra/marin/2018/07/24/rias-baixas-mejor-aula-mundo-navegacion/0003\\_201807P24C3991.htm](https://www.lavozdegalicia.es/noticia/pontevedra/marin/2018/07/24/rias-baixas-mejor-aula-mundo-navegacion/0003_201807P24C3991.htm)
- [3] «Manual de las Lanchas de Instrucción A-121». abril de 2016.
- [4] S. Xiang, «Injection Molding vs. Additive Manufacturing Explained [2025]». Accedido: 11 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://hitopindustrial.com/es/es-la-fabricacion-aditiva-por-moldeo-por-inyeccion/>
- [5] «FDM - Modelado por deposición fundida», Dassault Systèmes. Accedido: 4 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.3ds.com/es/make/service/3d-printing-service/fdm-fused-deposition-modeling>
- [6] A. Cano-Vicent *et al.*, «Fused deposition modelling: Current status, methodology, applications and future prospects», *Addit. Manuf.*, vol. 47, p. 102378, nov. 2021, doi: 10.1016/j.addma.2021.102378.
- [7] A. Cano Vicent y Á. Serrano Aroca, «Impresión 3D por modelado por deposición fundida: Manejo, funcionamiento y aplicaciones biomédicas», *Nereis Interdiscip. Ibero-Am. J. Methods Model. Simul.*, n.º 13, pp. 227-238, nov. 2021, doi: 10.46583/nereis\_2021.13.809.
- [8] e.berthon, «L’impression 3D FDM et ses multiples utilisations», 3Design Product. Accedido: 11 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.3designproduct.fr/limpression-3d-multiples-utilisations/>
- [9] A. M, «¿Cómo se produce el “warping” en la impresión 3D y qué puedes hacer al respecto?», 3Dnatives. Accedido: 11 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.3dnatives.com/es/warping-impresion-3d-que-hacer-100120232/>

- [10] «La impresión 3D en FDM – Academia». Accedido: 11 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://academia.hellbot.xyz/lecciones/la-impresion-3d-en-fdm/>
- [11] «Guía de materiales de impresión 3D: Tipos, aplicaciones y propiedades», Formlabs. Accedido: 6 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://formlabs.com/es/blog/materiales-impresion-3d/?srsltid=AfmBOooOncCk0L2GcDNtjIa9siTOwIDd10S61WTetyvaktRDyJA160uJ>
- [12] «Impresión 3D e impresoras 3D: Noticias, Comparativas, Mejor precio...», 3Dnatives. Accedido: 6 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.3dnatives.com/es/>
- [13] «Humedad: El gran enemigo de los filamentos para la impresión 3D», Filament2Print. Accedido: 6 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://filament2print.com/es/blog/filament2print.com/es/blog/problemas-humedad-filamentos-3d?slug=problemas-humedad-filamentos-3d&module=smartblog>
- [14] «PETG vs PLA», Filament2Print. Accedido: 6 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: [https://filament2print.com/es/blog/filament2print.com/es/blog/petg-vs-pla?gad\\_source=1&gclid=CjwKCAiAiaC-BhBEEiwAjY99qNVWNRLka-UBsAjVpChfXV8-wW5\\_OEvBaoOuJgkMFfBaOzimYncaCxoCYq0QAvD\\_BwE](https://filament2print.com/es/blog/filament2print.com/es/blog/petg-vs-pla?gad_source=1&gclid=CjwKCAiAiaC-BhBEEiwAjY99qNVWNRLka-UBsAjVpChfXV8-wW5_OEvBaoOuJgkMFfBaOzimYncaCxoCYq0QAvD_BwE)
- [15] R. Mendenhall y B. Eslami, «Experimental Investigation on Effect of Temperature on FDM 3D Printing Polymers: ABS, PETG, and PLA», *Appl. Sci.*, vol. 13, n.º 20, p. 11503, oct. 2023, doi: 10.3390/app132011503.
- [16] D. E. Cuenca Pérez, E. G. Zumba Novay, H. P. Castillo Mazón, y J. P. Quinchuela Llamuca, «Elasticity and plasticity of PLA, PETG, ABS polymers for printing automotive parts», *Espiraes Rev. Multidiscip. Investig.*, vol. 8, n.º 4, oct. 2024, doi: 10.31876/er.v8i4.875.
- [17] I. Gibson, D. Rosen, B. Stucker, y M. Khorasani, *Additive Manufacturing Technologies*. Cham: Springer International Publishing, 2021. doi: 10.1007/978-3-030-56127-7.
- [18] «CAD Software | 2D and 3D Computer-Aided Design | Autodesk». Accedido: 11 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.autodesk.com/solutions/cad-software>
- [19] J. Huang, Q. Qin, y J. Wang, «A Review of Stereolithography: Processes and Systems», *Processes*, vol. 8, n.º 9, p. 1138, sep. 2020, doi: 10.3390/pr8091138.
- [20] Y. Lee, «La diferencia entre la fabricación aditiva y la fabricación sustractiva», Primer molde. Accedido: 8 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://firstmold.com/es/guides/additive-manufacturing-vs-subtractive-manufacturing/>
- [21] Aditiva 3d, «Manufactura Aditiva vs Manufactura Sustractiva», Aditiva 3D. Accedido: 11 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://aditiva3d.mx/manufactura-aditiva/>
- [22] «Software Autodesk Inventor | Obtener precios y comprar el producto oficial Inventor 2025». Accedido: 11 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.autodesk.com/es/products/inventor/overview>
- [23] «Autodesk AutoCAD 2025 | Obtener precios y comprar el software de AutoCAD oficial». Accedido: 11 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.autodesk.com/es/products/autocad/overview>

- [24] «Autodesk Fusion | 3D CAD, CAM, CAE, & PCB Cloud-Based Software | Autodesk». Accedido: 11 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.autodesk.com/es/products/fusion-360/overview>
- [25] «The Proven Solution for 3D Design and Product Development | SOLIDWORKS». Accedido: 11 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.solidworks.com/>
- [26] «Tinkercad», Tinkercad. Accedido: 11 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.tinkercad.com/>
- [27] «Introducción a la OMI». Accedido: 10 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.imo.org/es/About/Paginas/Default.aspx>
- [28] ledbox, «Tira LED Monocolor SMD2835, DC24V, 5m (120Led/m), 80W, IP65». Accedido: 12 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: [https://www.ledbox.es/tiras-de-led/tira-led-monocolor-smd2835-dc24v-5m-\(120led-m\)-80w-ip65](https://www.ledbox.es/tiras-de-led/tira-led-monocolor-smd2835-dc24v-5m-(120led-m)-80w-ip65)
- [29] «SOLAS 1974».
- [30] «BOD\_20ENE16».
- [31] M. D. Sánchez, «Introducción a la organización y la logística en la Armada».
- [32] «Manual de las Lanchas de Instrucción A-121».
- [33] «▷ Productos Plásticos», Transglass. Accedido: 23 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.transglass.es/>
- [34] ledbox, «Tira LED Monocolor SMD2835, DC24V, 5m (120Led/m), 80W, IP65». Accedido: 23 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: [https://www.ledbox.es/tiras-de-led/tira-led-monocolor-smd2835-dc24v-5m-\(120led-m\)-80w-ip65](https://www.ledbox.es/tiras-de-led/tira-led-monocolor-smd2835-dc24v-5m-(120led-m)-80w-ip65)
- [35] ledbox, «Tira LED Monocolor SMD2835, DC24V, 1 metro (120Led/m), 10W, IP66». Accedido: 23 de marzo de 2025. [En línea]. Disponible en: [https://www.ledbox.es/tiras-de-led/tira-led-monocolor-smd2835-dc24v-1-metro-\(120led-m\)-500w-ip66](https://www.ledbox.es/tiras-de-led/tira-led-monocolor-smd2835-dc24v-1-metro-(120led-m)-500w-ip66)

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

El desarrollo del presente proyecto ha implicado no solo un ejercicio técnico de diseño y fabricación, sino también una reflexión sobre su impacto potencial en distintos niveles del entorno formativo en el que se enmarca.

Desde una perspectiva social, la instalación de este sistema de pizarra retroiluminada contribuye directamente a mejorar la calidad de la formación en la ENM. Su presencia en el puente de gobierno permite representar de manera clara y actualizable información relevante para el ejercicio táctico, como los dispositivos en uso o el calendario de acontecimientos. Este soporte visual complementa la instrucción oral y escrita, facilitando el seguimiento por parte del alumnado y reforzando su inmersión en un entorno profesionalizado. Además, el hecho de que el sistema haya sido concebido y desarrollado por un alumno en formación crea un vínculo directo entre el aprendizaje teórico y su aplicación práctica, promoviendo una cultura técnica participativa.

En el plano económico, el proyecto pone de manifiesto la eficiencia de las tecnologías de fabricación digital en contextos de recursos limitados. Mediante el uso de herramientas accesibles como la impresión 3D FDM y el corte láser, ha sido posible producir un sistema completamente funcional a un coste significativamente inferior al que supondría la adquisición o fabricación por medios tradicionales. El modelo desarrollado es fácilmente replicable, lo que permitiría su implementación en otras unidades sin necesidad de rediseño, reduciendo tiempos y gastos en fases futuras. Asimismo, el carácter modular y reparable de las piezas impresas garantiza un mantenimiento sencillo, con reposiciones parciales sin recurrir a proveedores externos.

Por último, en cuanto a las implicaciones ambientales, se ha procurado minimizar el impacto de los materiales y procesos empleados. El uso de PLA —un polímero de origen biológico— permite reducir la huella de carbono respecto a otros plásticos de síntesis, y el diseño ha evitado cualquier modificación estructural en el mobiliario del buque, eliminando la necesidad de taladros u obras irreversibles. Al tratarse de un sistema desmontable y adaptable, su vida útil puede prolongarse sin generar residuos innecesarios. El hecho de poder producir localmente las piezas, sin transporte intermedio ni embalajes industriales, refuerza su perfil sostenible dentro de las posibilidades reales del entorno de aplicación.

## ANEXO II: REFLEXIONES ÉTICAS Y SOCIALES

La ingeniería no se limita al desarrollo de soluciones técnicas; cada decisión tomada en un proyecto conlleva implicaciones que trascienden el ámbito puramente mecánico o funcional. En este caso, la instalación de una pizarra retroiluminada en un buque de instrucción no solo ha supuesto un reto desde el punto de vista del diseño y la fabricación, sino que también ha planteado cuestiones relativas a la responsabilidad en la ejecución, la integración de nuevas tecnologías en entornos tradicionales y la utilidad real del trabajo realizado.

Una de las primeras consideraciones ha sido el impacto del diseño sobre el entorno en el que se implementa. En un espacio tan optimizado y condicionado como el puente de gobierno de una lancha de instrucción, cualquier elemento añadido debe respetar la ergonomía y la operatividad de la dotación. La decisión de utilizar un sistema de fijación no invasivo, evitando perforaciones o alteraciones permanentes en la estructura del buque, responde a este criterio. A nivel ético, esto implica una aproximación respetuosa con el medio existente, priorizando la reversibilidad del sistema sin comprometer su funcionalidad.

En segundo lugar, el proyecto ha servido como ejemplo de cómo la fabricación aditiva y el diseño digital pueden emplearse en la resolución de problemas prácticos dentro de un entorno formativo. Más allá de la pizarra en sí, el proceso seguido ha puesto en valor la capacidad de desarrollar soluciones personalizadas sin depender de medios industriales costosos o procesos externos. Esto refuerza la idea de que la tecnología no solo debe entenderse como un recurso externo que se incorpora a las prácticas tradicionales, sino como una herramienta integrada en la propia formación, permitiendo a los usuarios intervenir en la mejora de sus propios medios.

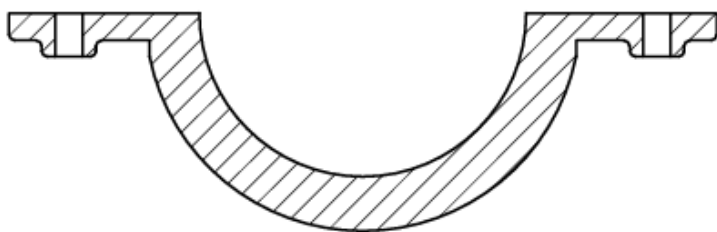
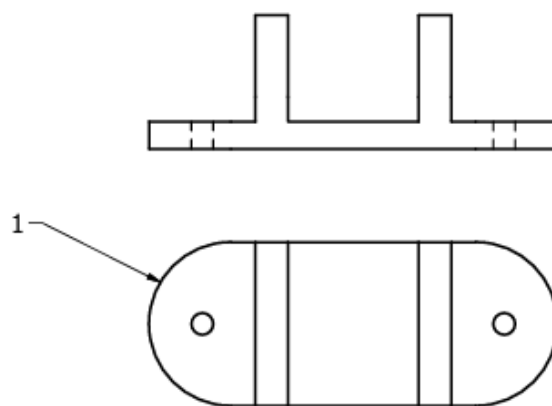
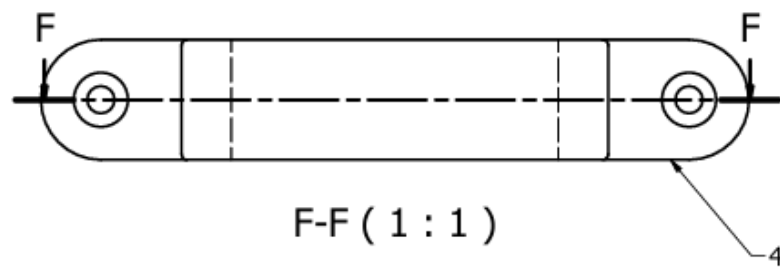
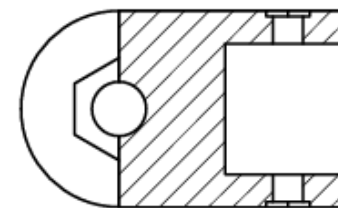
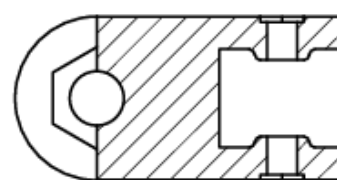
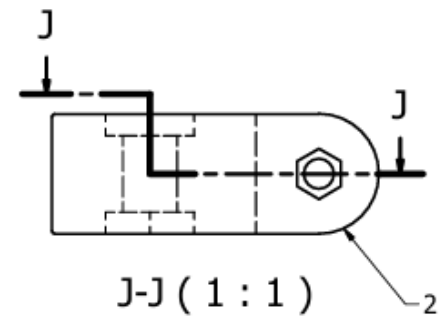
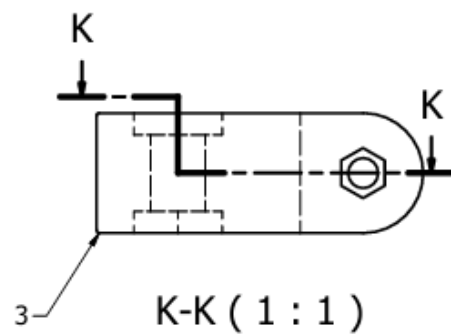
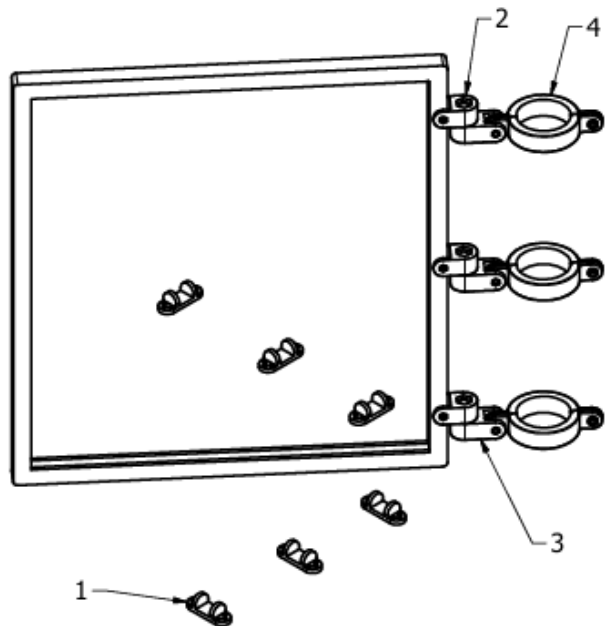
Desde el punto de vista social, este trabajo refleja un modelo de aprendizaje aplicado, en el que la ingeniería no se concibe únicamente como un conjunto de conocimientos teóricos, sino como una disciplina orientada a la solución de problemas reales. La interacción con el personal encargado de las lanchas y la validación del sistema en un entorno operativo han sido claves para comprender la importancia de adaptar el diseño a las necesidades del usuario final. Además, el interés mostrado por la posible implementación del sistema en otras unidades confirma que este tipo de iniciativas pueden generar un impacto más allá del ámbito académico.

Por último, este proyecto ha puesto de manifiesto la importancia de considerar la sostenibilidad y eficiencia en el desarrollo de soluciones técnicas. El hecho de poder fabricar componentes de manera local, reduciendo costes y optimizando recursos, no solo representa una ventaja operativa, sino que también plantea una reflexión sobre la manera en que la ingeniería puede contribuir a un uso más racional de los materiales y la producción. Integrar este enfoque en el ámbito formativo permite no solo mejorar los medios disponibles, sino también inculcar una mentalidad de optimización y mejora continua entre los futuros oficiales.

## ANEXO III: PLANOS

En el presente anexo se adjuntan los planos necesarios para la fabricación de las piezas definitivas que conforman el sistema de la pizarra. Las medidas están expresadas en mm.

| Registro | Plano             |
|----------|-------------------|
| 1        | Abrazadera        |
| 2        | Bisagra a puntal  |
| 3        | Bisagra a pizarra |
| 4        | Soporte bajo      |
| 5        | Conjunto          |



| LISTADO DE PIEZAS |          |          |
|-------------------|----------|----------|
| PIEZA             | ELEMENTO | MATERIAL |
| Soporte bajo      | 1        | PLA      |
| Bisagra a pizarra | 2        | PLA      |
| Bisagra a puntal  | 3        | PLA      |
| Abrazadera        | 4        | PLA      |

Diseño y fabricación de una pizarra táctica retroiluminada para lanchas de instrucción

Fecha:  
16/03/2025

Diseñado por:

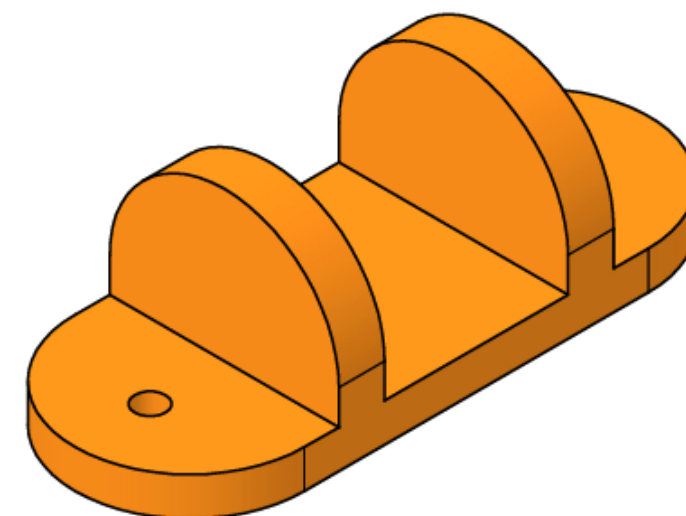
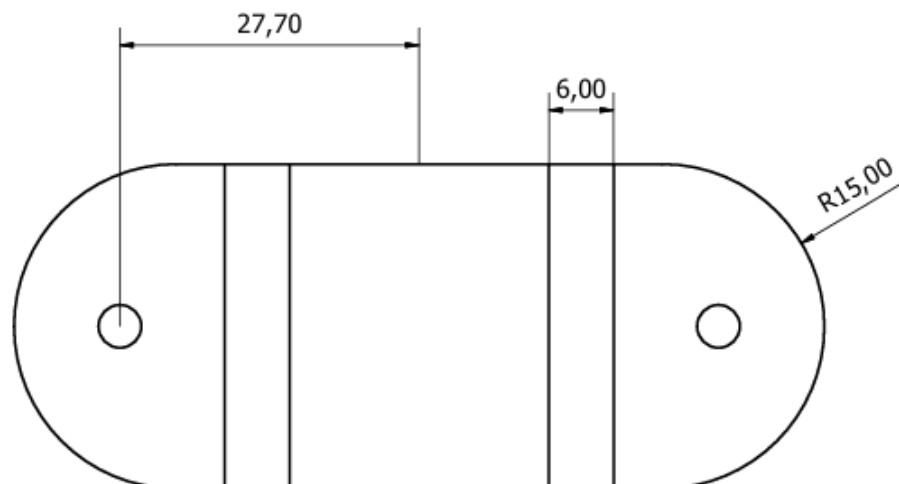
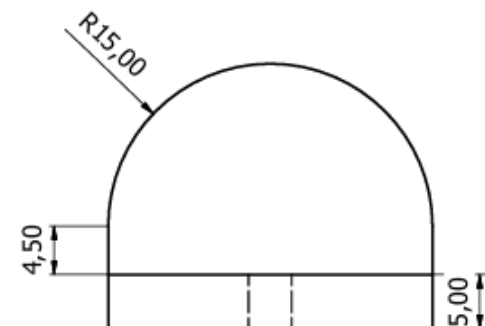
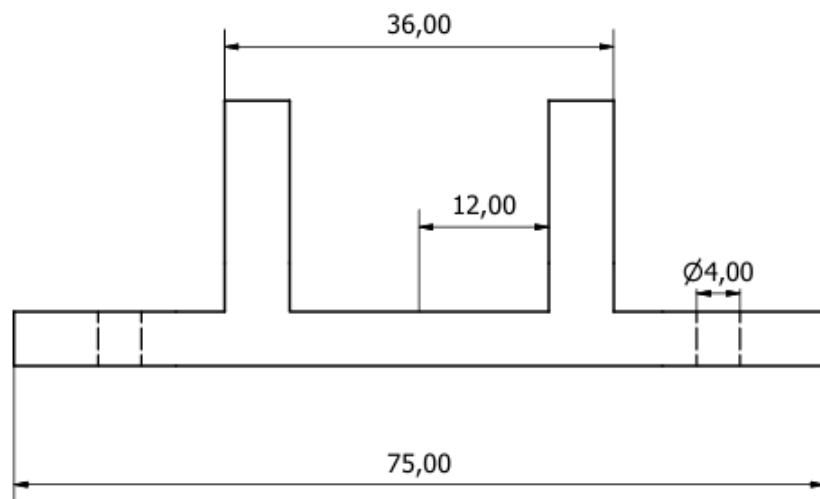
Pedro Fernández de Benito

Conjunto

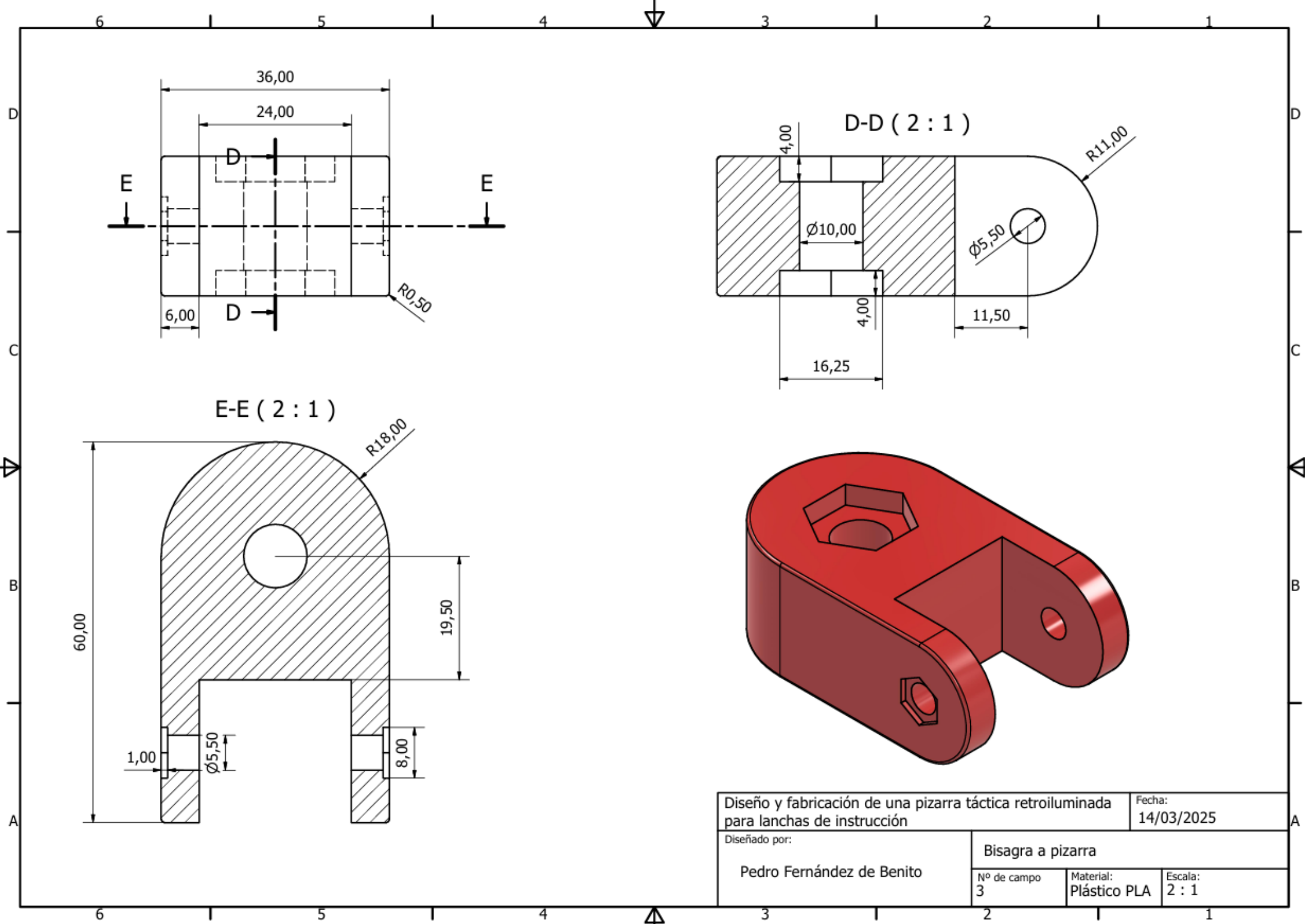
Nº de campo  
5

Material:

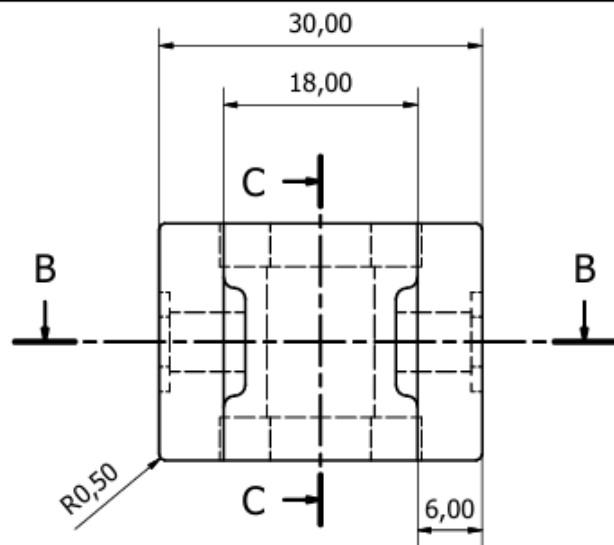
Escala:  
1 : 6



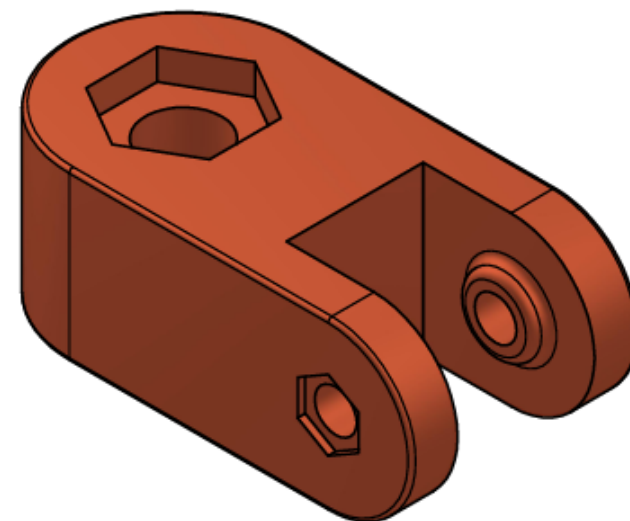
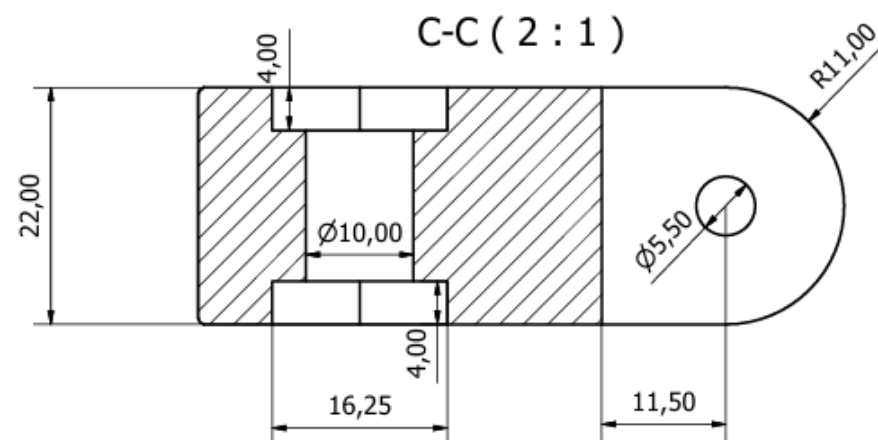
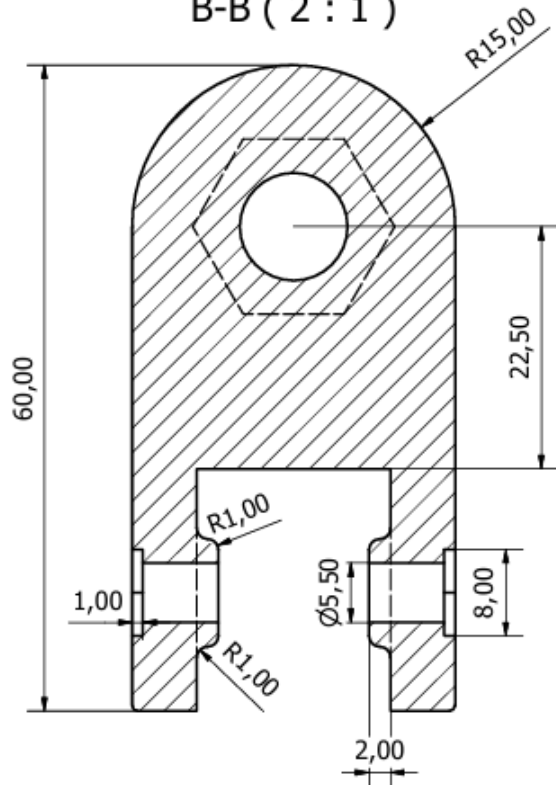
|                                                                                        |  |                  |                           |                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------|--|------------------|---------------------------|------------------|
| Diseño y fabricación de una pizarra táctica retroiluminada para lanchas de instrucción |  |                  | Fecha:<br>15/03/2025      |                  |
| Diseñado por:<br><br>Pedro Fernández de Benito                                         |  | Soporte bajo     |                           |                  |
|                                                                                        |  | Nº de campo<br>4 | Material:<br>Plástico PLA | Escala:<br>2 : 1 |



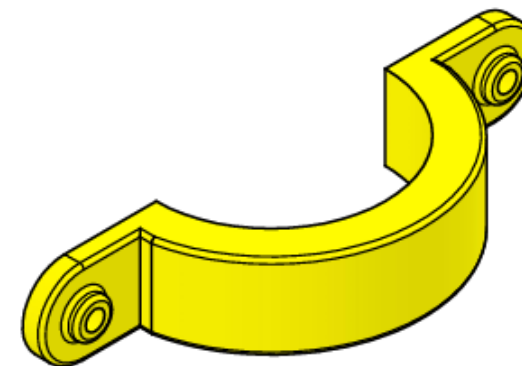
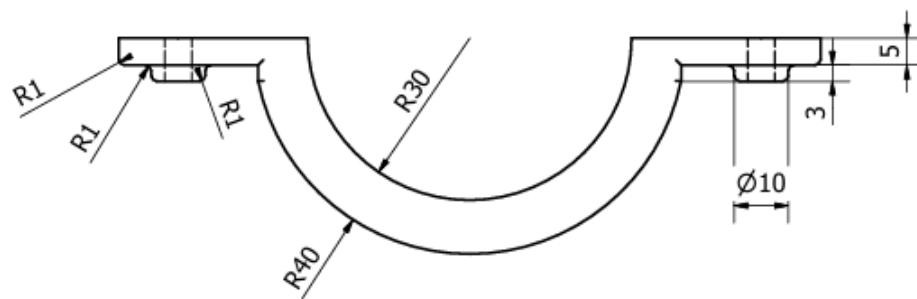
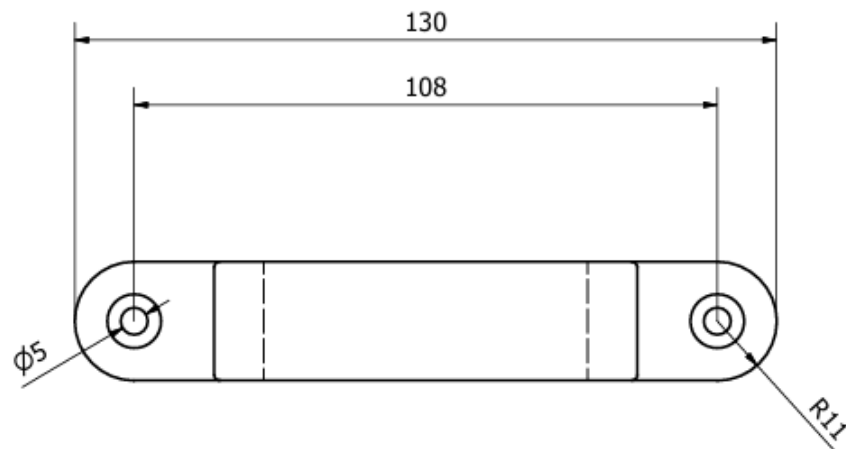
|                                                                                        |  |                   |                        |
|----------------------------------------------------------------------------------------|--|-------------------|------------------------|
| Diseño y fabricación de una pizarra táctica retroiluminada para lanchas de instrucción |  | Fecha: 14/03/2025 |                        |
| Diseñado por:                                                                          |  | Bisagra a pizarra |                        |
| Pedro Fernández de Benito                                                              |  | Nº de campo 3     | Material: Plástico PLA |
|                                                                                        |  | Escala: 2 : 1     |                        |



B-B ( 2 : 1 )



|                                                                                        |  |                  |              |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------|--|------------------|--------------|------------|
| Diseño y fabricación de una pizarra táctica retroiluminada para lanchas de instrucción |  |                  | Fecha:       | 13/03/2025 |
| Diseñado por:                                                                          |  | Bisagra a Puntal |              |            |
| Pedro Fernández de Benito                                                              |  | Nº de campo      | Material:    | Escala:    |
|                                                                                        |  | 2                | Plástico PLA | 2 : 1      |



|                                                                                        |  |                      |                           |
|----------------------------------------------------------------------------------------|--|----------------------|---------------------------|
| Diseño y fabricación de una pizarra táctica retroiluminada para lanchas de instrucción |  | Fecha:<br>12/03/2025 |                           |
| Diseñado por:<br><br>Pedro Fernández de Benito                                         |  | Abrazadera           |                           |
|                                                                                        |  | Nº de campo<br>1     | Material:<br>Plástico PLA |
|                                                                                        |  | Escala:<br>1 : 1     |                           |