



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Diseño de un objeto simbólico que represente la etapa formativa
en la Escuela Naval Militar*

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Adrián Almansa Jiménez

DIRECTORA: Araceli Regueiro Pereira

CURSO ACADÉMICO: 2025-2026

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Diseño de un objeto simbólico que represente la etapa formativa
en la Escuela Naval Militar*

Grado en Ingeniería Mecánica

Intensificación en Tecnología Naval

Infantería de Marina

RESUMEN

El presente Trabajo Fin de Grado (TFG) desarrolla el diseño de un objeto conmemorativo modular destinado a representar, de manera física y perdurable, la etapa formativa del alumnado en la Escuela Naval Militar (ENM). El proyecto se fundamenta en el análisis del simbolismo institucional, el sentimiento de pertenencia y la personalización como criterios de diseño, abordando cómo la memoria colectiva y las experiencias características de la ENM —formación académica, disciplina, convivencia, instrucción militar y vivencias asociadas al entorno naval-militar— pueden traducirse en un producto físico coherente con la identidad de la Armada.

A partir de este marco, se define una propuesta de diseño basada en una arquitectura modular, compuesta por una base común, una placa identificativa y un sistema de módulos intercambiables. La solución final incorpora una base monumental inspirada formalmente en la Escalera Monumental de la ENM y adopta una configuración jerarquizada de cinco alojamientos funcionales: un módulo principal superior, asociado a la variante del Cuerpo General de la Armada (CGA) o de Infantería de Marina (IM), y cuatro módulos secundarios seleccionables, destinados a representar hitos, valores, empleos o experiencias relevantes del recorrido formativo del usuario.

El desarrollo del producto se realiza mediante modelado CAD paramétrico en Autodesk Inventor, incluyendo el diseño de piezas independientes, ensamblaje virtual, verificación dimensional, definición de encajes y generación de documentación técnica. La fabricación del prototipo principal se lleva a cabo mediante impresión 3D FDM en PLA con una impresora Bambu Lab P1P, preparando previamente las piezas en Bambu Studio y considerando parámetros como orientación de impresión, altura de capa, relleno, soportes, temperaturas y holguras de montaje.

De forma complementaria, se realizan pruebas de fabricación con materiales y tecnologías alternativas. En concreto, se fabrica una base monumental en ABS mediante una impresora Bambu Lab X1 Carbon, con el fin de valorar una alternativa con mayor resistencia térmica y potencial de durabilidad. Asimismo, se fabrica una versión de la base mediante impresión de resina a escala reducida, empleando una impresora Elegoo y software Chitubox, orientada principalmente a comparar acabado superficial y nivel de detalle. Estas pruebas permiten justificar la elección del PLA como material principal del prototipo completo, así como identificar posibles líneas de mejora para futuras versiones del producto.

Finalmente, se evalúa el objeto desde los puntos de vista funcional, estructural, económico y perceptivo. Se realiza una comprobación estructural simplificada de la base monumental, una estimación del coste unitario de fabricación considerando material, energía, amortización, mantenimiento, consumibles y mermas, y una encuesta de aceptación dirigida a usuarios potenciales del entorno de la ENM. Los resultados obtenidos permiten valorar la estabilidad, legibilidad, modularidad, viabilidad económica y aceptación visual y simbólica del objeto. El trabajo concluye proponiendo líneas futuras orientadas a la mejora de materiales, acabados, tolerancias, validación mecánica, documentación técnica y ampliación de la personalización.

PALABRAS CLAVE

Simbolismo Militar, Diseño Modular, Diseño CAD, Fabricación Aditiva, Personalización

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, deseo expresar mi más sincero agradecimiento a la profesora D.^a Araceli Regueiro Pereira, por su implicación, orientación y apoyo durante la realización de este Trabajo Fin de Grado.

Asimismo, quiero agradecer al AF Quelle Dacal su apoyo constante durante este proceso, especialmente en los momentos de mayor dificultad. Su disposición para ayudar, incluso en circunstancias exigentes, ha supuesto un respaldo muy valioso a lo largo de la elaboración de este trabajo. Del mismo modo, agradezco a mi compañero Monedero sus aportaciones, ideas y colaboración durante la carrera, que han contribuido de manera positiva tanto a mi formación como al desarrollo de este proyecto. Mención especial a Nico que me ayudo con la 2^a versión de los planos y a mejorarlos.

A Artimez, por haber sido un apoyo incondicional durante estos años en la Escuela Naval Militar. Su ayuda, disponibilidad y compañerismo han sido especialmente importantes en numerosas situaciones, y constituyen una parte significativa del camino recorrido durante esta etapa formativa.

Quiero dedicar también una mención especial a mi familia, en particular a mi madre, mi padre y mi hermano, por su apoyo permanente, comprensión y confianza. Sus ánimos y consejos han sido esenciales para afrontar las distintas etapas de mi formación y para llegar hasta este punto.

A Cristina, por su ayuda constante, paciencia y apoyo, especialmente durante la fase final de este trabajo, en la que su presencia ha sido especialmente importante.

Finalmente, deseo agradecer a todas aquellas personas que, de una forma u otra, se han preocupado por mí y me han acompañado durante esta etapa. Su apoyo ha contribuido a hacer más llevadero un camino exigente, que representa no solo el cierre de una fase académica, sino también el inicio de una nueva etapa personal y profesional.

Como cierre de estos agradecimientos, quisiera recordar una reflexión que resume la importancia del apoyo recibido durante los momentos de mayor dificultad:

“Todos tenemos periodos de flaqueza, por supuesto. En un mundo lleno de miseria e incertidumbre, es todo un consuelo saber que, en el fondo, hay un halo de luz entre tanta oscuridad. En momentos así, podemos recurrir al Señor. Pero es bueno tener amigos. Dios sabe que aquí hay mucho que hacer.”

— Joshua Graham

CONTENIDO

Contenido	1
Índice de Figuras	4
Índice de Tablas.....	7
1 Introducción, motivación y objetivos	8
1.1 Introducción	8
1.2 Motivación y objetivos.....	9
1.3 Disposición de la memoria.....	10
2 Estado del arte	12
2.1 Simbolismo e identidad única	13
2.1.1 Identidad institucional y sentimiento de pertenencia.....	13
2.1.2 Función de los objetos simbólicos y conmemorativos	14
2.1.3 Personalización como criterio de diseño	15
2.1.4 Psicología social del “nosotros”: cohesión, identidad y símbolos.....	16
2.2 La fabricación aditiva.....	17
2.2.1 Definición y evolución de la fabricación aditiva	17
2.2.2 Comparativa de tecnologías de fabricación aditiva	18
2.2.3 Materiales en fabricación aditiva: familias, propiedades y criterios de selección.....	20
2.2.4 Materiales disponibles para impresión 3D	22
2.3 Diseño CAD e Inventor 3D en la fabricación aditiva	24
2.3.1 Generalidades del CAD	24
2.3.2 Panorama de software CAD en ingeniería mecánica	24
2.3.3 Autodesk Inventor: origen, evolución y papel en el diseño mecánico y la fabricación aditiva	26
2.3.4 Intercambio de datos CAD–impresión 3D: formatos y criterios de exportación	27
3 Desarrollo del TFG.....	29
3.1 Metodología de desarrollo del producto	29
3.1.1 Definición de la necesidad de diseño.....	29
3.1.2 Requisitos de diseño	30
3.1.3 Alternativas conceptuales consideradas	31
3.1.4 Criterios de selección de la solución.....	32
3.2 Diseño mediante software CAD	34
3.2.1 Arquitectura general del conjunto	34
3.2.2 Diseño de la base modular inicial y evolución a base monumental	34

3.2.3	Diseño de la placa identificativa.....	36
3.2.4	Creación de módulos intercambiables principales (ancla CGA/IM).....	37
3.2.5	Diseño de los módulos intercambiables secundarios.....	39
3.3	Proceso de fabricación aditiva	41
3.3.1	Material principal de prototipado: PLA.....	42
3.3.2	Impresora empleada: Bambu Lab P1P	42
3.3.3	Preparación de los modelos en Bambu Studio	44
3.3.4	Parámetros de impresión (PLA – Bambu Lab P1P).....	46
3.3.5	Consideración de materiales y tecnologías alternativas	48
3.3.6	Conjunto de módulos impresos iniciales	52
3.3.7	Versión final con base monumental	53
3.3.8	Ensamblaje y sistema de encaje.....	54
4	Resultados, validación y costes	56
4.1	Resultados del análisis estructural de tensiones.....	56
4.1.1	Análisis estructural simplificado de la base monumental.....	56
4.2	Evaluación funcional del objeto conmemorativo.....	58
4.2.1	Base modular inicial	58
4.2.2	Base monumental.....	59
4.2.3	Placa identificativa con información del usuario.....	60
4.2.4	Módulos intercambiables principales	60
4.2.5	Módulos secundarios asociados a hitos formativos.....	61
4.2.6	Módulos secundarios de valores y empleos de la ENM	62
4.2.7	Ensamblaje completo virtual	63
4.2.8	Número de personalizaciones disponibles.....	64
4.2.9	Valoración comparativa de materiales y procesos de fabricación.....	66
4.3	Estudio económico de fabricación	67
4.3.1	Alcance y criterios de la estimación económica.....	67
4.3.2	Coste del material empleado.....	68
4.3.3	Coste energético del proceso de impresión	68
4.3.4	Amortización de la impresora, mantenimiento y consumibles.....	69
4.3.5	Operaciones auxiliares, postprocesado y residuos.....	70
4.3.6	Coste total estimado del prototipo	71
4.4	Evaluación de aceptación mediante encuestas.....	72
4.4.1	Herramienta empleada y diseño del cuestionario	72
4.4.2	Tratamiento estadístico de los resultados	72
4.4.3	Cuestiones planteadas en las encuestas y resultados	73

4.4.4 Análisis de resultados	75
4.4.5 Alcance de la encuesta.....	76
5 Conclusiones y líneas futuras	78
5.1 Conclusiones	78
5.2 Líneas futuras	79
5.2.1 Mejora del diseño actual.....	79
5.2.2 Personalización avanzada y creación de módulos por el usuario	80
5.2.3 Proyectos derivados y reutilización del diseño base.....	80
5.3 Síntesis de mejoras y consolidación de la versión final.....	80
6 Bibliografía.....	82
Anexo I: Implicaciones Sociales, y/o Económicas, y/o Ambientales	86
Anexo II: Reflexiones Éticas y Sociales	87
Anexo III: Presupuesto	88
Anexo IV: Planos	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 GuardiaMarinas a bordo del Juan Sebastián de Elcano [14]	13
Figura 2-2 Estandarte romano de Aquila [8]	14
Figura 2-3 Evolución del simbolismo como identidad de grupo [Autoría propia mediante IA]	15
Figura 2-4 GuardiaMarinas [Autoría AF Adrián Palacios Arce]	15
Figura 2-5 Imagen representativa del sentimiento de grupo [Autoría propia mediante IA]	16
Figura 2-6 Aplicaciones representativas de la fabricación aditiva [Autoría propia mediante IA] ...	17
Figura 2-7 Principales tecnologías de fabricación aditiva [Autoría propia mediante IA]	18
Figura 2-8 Relación entre familias de materiales, procesos de fabricación aditiva y formas de suministro del material precursor [33].	20
Figura 2-9 Materiales disponibles para impresión 3D [Autoría propia mediante IA]	22
Figura 2-10 Programa CAD [Autoría propia mediante IA]	24
Figura 2-11 Panorama de software CAD [Autoría propia mediante IA]	25
Figura 2-12 Imagen promocional de SOLIDWORKS [28]	25
Figura 2-13 Logo de Autodesk Inventor 3D [15]	26
Figura 2-14 Empleo de Inventor para modelado 3D [16]	26
Figura 2-15 Portada de aplicación de Software de Autodesk Inventor [Autoría propia]	27
Figura 2-16 Formatos de archivo para fabricación aditiva [Autoría propia mediante IA]	27
Figura 3-1 Diagrama de bloques de la metodología seguida para el desarrollo [Autoría propia]	30
Figura 3-2 Escalera Monumental característica de la ENM [Autoría propia]	30
Figura 3-3 Pruebas e idea inicial del soporte [Autoría propia]	31
Figura 3-4 Base modular inicial con alojamientos [Autoría propia]	35
Figura 3-5 Proceso de modelado de la base [Autoría propia]	35
Figura 3-6 Modelo CAD de la base monumental en Autodesk Inventor [Autoría propia]	36
Figura 3-7 Proceso de modelado de la placa identificativa [Autoría propia]	36
Figura 3-8 Extrusionado de letras de la placa identificativa [Autoría propia]	37
Figura 3-9 Proceso de modelado de la parte inferior del ancla 1 [Autoría propia]	37
Figura 3-10 Proceso de modelado de la parte inferior del ancla 2 [Autoría propia]	38
Figura 3-11 Proceso de modelado de la parte inferior del fusil para el ancla de IM [Autoría propia]	38
Figura 3-12 Detalle del machete del fusil de IM [Autoría propia]	39
Figura 3-13 Módulos principales CGA e IM y modelo del fusil Mauser empleado [Autoría propia]	39
Figura 3-14 Proceso de modelado de módulo secundario de sardinetas [Autoría propia]	40
Figura 3-15 Proceso de modelado de módulo secundario de valores ENM [Autoría propia]	40
Figura 3-16 Proceso de modelado de palas de empleos ENM [Autoría propia]	40

Figura 3-17 Muestra de los tres tipos de módulos secundarios finales [Autoría propia]	41
Figura 3-18 Representación esquemática del PLA [Autoría propia mediante IA]	42
Figura 3-19 Impresora 3D Bambu Lab P1P del laboratorio del CUD [Autoría propia]	43
Figura 3-20 Laminado de piezas en Bambu Studio [Autoría propia]	44
Figura 3-21 Preparación de modelados en Bambu Lab [Autoría propia]	45
Figura 3-22 Parámetros de impresión modificables en Bambu Studio [Autoría propia]	45
Figura 3-23 Impresora formando patrón de rejilla [Autoría propia]	47
Figura 3-24 Impresora llevando a cabo el calibrado sobre la placa [Autoría propia]	48
Figura 3-25 Impresora X1 Carbon del laboratorio del CUD [Autoría propia].....	49
Figura 3-26 Base monumental impresa en ABS [Autoría propia]	49
Figura 3-27 Impresora de resina ELEGOO [Autoría propia].....	50
Figura 3-28 Base monumental escalada (1:2) impresa con resina [Autoría propia]	50
Figura 3-29 Impresora 3D en funcionamiento [Autoría propia]	51
Figura 3-30 Impresora 3D durante la fabricación de componentes del prototipo final [Autoría propia]	52
Figura 3-31 Módulos variados de las impresiones 3D [Autoría propia]	52
Figura 3-32 Base monumental desarrollada como soporte definitivo del objeto conmemorativo [Autoría propia].....	53
Figura 3-33 Módulos principales IM y CGA reimpresos para su integración [Autoría propia]	54
Figura 3-34 Módulos secundarios reimpresos para su integración [Autoría propia]	54
Figura 3-35 Inserción de módulo principal de ancla en ambas bases [Autoría propia]	55
Figura 3-36 Inserción de los módulos de placa y secundario en ambas bases [Autoría propia]	55
Figura 4-1 Base monumental con cargas de módulos y gravedad aplicados [Autoría propia]	56
Figura 4-2 Distribución de tensiones de Von Mises en la base monumental [Autoría propia].....	57
Figura 4-3 Modelado de base modular inicial [Autoría propia].....	58
Figura 4-4 Modelado de base monumental [Autoría propia]	59
Figura 4-5 Modelado de placa personalizable con información [Autoría propia]	60
Figura 4-6 Módulos principales. Ancla CGA (A) e IM (B) [Autoría propia].....	60
Figura 4-7 Módulos secundarios asociados a hitos formativos de la ENM [Autoría propia]	61
Figura 4-8 Módulos variados de Valores de la ENM [Autoría propia].....	62
Figura 4-9 Módulos variados de Empleos de la ENM [Autoría propia]	63
Figura 4-10 Prueba de ensamblaje completo virtual (CGA) [Autoría propia].....	63
Figura 4-11 Configuración final IM del objeto conmemorativo [Autoría propia]	64
Figura 4-12 Configuración final CGA del objeto conmemorativo [Autoría propia]	64
Figura 4-13 Comparación de las configuraciones iniciales CGA e IM [Autoría propia]	65
Figura 4-14 Objeto simbólico definitivo (Versión IM y CGA respectivamente) [Autoría propia]	65

Figura 4-15 Comparación visual de las tres bases fabricadas en PLA, ABS y resina (1:2) [Autoría propia]	66
Figura 4-16 Impresora 3D Bambu Lab P1P [20]	69
Figura 4-17 Usuario no especializado empleando impresión 3D para uso personal [21]	70
Figura 4-18 Logo de la aplicación empleada para las encuestas Google Forms [24]	72
Figura 4-19 Resultados de la encuesta sobre atractivo visual y adecuación del objeto conmemorativo [Autoría propia].....	73
Figura 4-20 Resultados de la encuesta sobre representatividad de la etapa formativa [Autoría propia]	73
Figura 4-21 Resultados de la encuesta sobre sobriedad y coherencia del objeto con el ámbito naval-militar [Autoría propia].....	74
Figura 4-22 Resultados de la encuesta sobre adecuación del sistema de módulos intercambiables para la personalización del objeto [Autoría propia].....	74
Figura 4-23 Resultados de la encuesta sobre claridad en la diferenciación entre las variantes de Cuerpo General de la Armada e Infantería de Marina [Autoría propia]	75
Figura 4-24 Resultados de la encuesta sobre funcionalidad percibida, legibilidad y adecuación del prototipo para fabricación mediante impresión 3D [Autoría propia]	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Tabla comparativa de fabricación aditiva [9][10][11][12][13].....	19
Tabla 2-2 Comparación cualitativa de materiales habituales en impresión 3D FDM/FFF [34][35]23	
Tabla 3-1 Características de impresora Bambu Lab P1P [22]	44
Tabla 3-3 Parámetros base empleados para la impresión 3D en PLA mediante Bambu Lab P1P [Autoría propia].....	47
Tabla 3-4 Comparación cualitativa de los materiales y tecnologías de impresión considerados [Autoría propia].....	51
Tabla 4-1 Datos de las masas y pesos de los módulos [Autoría propia]	57
Tabla 4-2 Comparación de materiales y procesos empleados en las pruebas de fabricación [Autoría propia]	67
Tabla 4-3 Estimación del coste de material del prototipo [Autoría propia]	68
Tabla 4-4 Estimación del coste energético del proceso de impresión [Autoría propia].....	69
Tabla 4-5 Estimación del coste de amortización, mantenimiento y consumibles [Autoría propia].	70
Tabla 4-6 Estimación del coste asociado a mermas y residuos [Autoría propia].....	71
Tabla 4-7 Coste total estimado del prototipo [Autoría propia]	71
Tabla 4-8 Segmentación de resultados por curso o grupo de pertenencia [Autoría propia]	76
Tabla A-III Presupuesto estimado de fabricación [Autoría propia].....	84

1 INTRODUCCIÓN, MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Introducción

La Escuela Naval Militar (ENM) constituye el centro de formación de los oficiales de la Armada española. Fundada en 1717 en Cádiz y ubicada en Marín (Pontevedra) desde 1943, se trata de un entorno formativo singular por la combinación de exigencia académica, disciplina, convivencia y contacto permanente con el ámbito naval y militar [1]. Durante los años de formación se adquieren competencias técnicas, militares y personales que contribuyen al desarrollo progresivo del alumno como futuro oficial, dentro de un marco institucional caracterizado por la tradición, la responsabilidad y el sentimiento de pertenencia.

En paralelo, la formación de Ingeniería Mecánica impartida por la Universidad de Vigo a través del Centro Universitario de la Defensa proporciona un marco técnico adecuado para transformar necesidades en soluciones de ingeniería: definición de requisitos, generación y selección de alternativas, modelado geométrico, selección de materiales, documentación técnica y verificación de viabilidad [2][3]. Bajo este enfoque, el diseño de un objeto simbólico que represente la etapa formativa en la ENM se aborda como un desarrollo de producto, en el que deben integrarse criterios funcionales, geométricos, fabricativos, económicos y simbólicos [31][32].

Para su desarrollo, el trabajo se apoya en herramientas de diseño asistido por ordenador y fabricación aditiva. El modelado CAD permite definir la geometría de las piezas, controlar dimensiones, establecer interfaces de ensamblaje y generar documentación técnica del producto [17][18]. Posteriormente, la fabricación mediante impresión 3D requiere una fase de preparación del modelo en software de laminado, donde se definen aspectos como la orientación de impresión, altura de capa, relleno, soportes, temperaturas, velocidades y trayectorias de fabricación [9][21][22].

En este trabajo, el prototipo principal se fabrica mediante impresión 3D FDM en PLA, empleando una impresora Bambu Lab P1P y el software Bambu Studio para la preparación de los modelos. De forma complementaria, se realizan pruebas con ABS mediante una impresora Bambu Lab X1 Carbon y con resina mediante una impresora Elegoo, con el fin de comparar alternativas de material y proceso en términos de acabado, estabilidad dimensional, complejidad operativa y adecuación al uso previsto. Estas pruebas permiten justificar la solución principal adoptada y plantear posibles mejoras futuras del producto.

1.2 Motivación y objetivos

La etapa formativa en la Escuela Naval Militar constituye un periodo de elevada intensidad académica, militar y personal, en el que el alumno adquiere competencias técnicas propias de su titulación universitaria, desarrolla capacidades profesionales vinculadas al ejercicio del mando y consolida una identidad institucional asociada a la Armada [1][2][3]. Esta combinación de formación académica, instrucción militar, convivencia, disciplina y pertenencia genera una experiencia singular que, una vez finalizada, suele conservarse mediante recuerdos, fotografías, distintivos o elementos conmemorativos de carácter genérico.

La motivación del presente Trabajo Fin de Grado surge de la posibilidad de transformar dicha experiencia en un producto físico, personalizable y reproducible, concebido desde una perspectiva propia de la Ingeniería Mecánica. Por tanto, el interés del trabajo no se limita al diseño estético de un objeto simbólico, sino que se centra en desarrollar un proceso completo de diseño de producto: identificación de necesidades, definición de requisitos, generación y selección de alternativas, modelado CAD, fabricación mediante impresión 3D, verificación funcional, estimación económica y evaluación de la aceptación por parte de usuarios potenciales. Este planteamiento es coherente con metodologías sistemáticas de diseño y desarrollo de producto [31][32].

De este modo, el objeto propuesto se plantea como un producto conmemorativo modular destinado a representar la etapa formativa del alumno en la Escuela Naval Militar. La solución debe permitir mantener una base común vinculada a la identidad institucional de la ENM y, al mismo tiempo, incorporar elementos intercambiables que posibiliten la personalización del conjunto en función del cuerpo, promoción, datos identificativos e hitos relevantes del recorrido formativo del usuario [1][31].

El objetivo general de este TFG es diseñar, desarrollar y evaluar un objeto conmemorativo modular y personalizable, representativo de la etapa formativa en la Escuela Naval Militar, mediante modelado CAD paramétrico, fabricación aditiva por deposición de filamento fundido y análisis técnico, funcional y económico de su viabilidad como producto reproducible en series cortas [9][17][18].

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

1. Definir los requisitos funcionales, simbólicos, geométricos, fabricativos y económicos que debe cumplir el objeto conmemorativo, considerando tanto su finalidad representativa como su viabilidad de fabricación.
2. Analizar distintas alternativas de diseño y seleccionar una solución final mediante criterios razonados de modularidad, personalización, estabilidad, fabricabilidad, coste y coherencia institucional.
3. Desarrollar el modelo tridimensional del conjunto mediante Autodesk Inventor, incluyendo la base común, la placa identificativa, los módulos principales intercambiables y los módulos secundarios asociados al recorrido formativo del alumno [15][16].
4. Diseñar una arquitectura modular que permita diferenciar variantes correspondientes al Cuerpo General de la Armada y a la Infantería de Marina, manteniendo una interfaz común de ensamblaje y reduciendo la necesidad de rediseñar el conjunto completo.
5. Establecer el proceso de fabricación mediante impresión 3D FDM, justificando la selección del material, la tecnología empleada, la orientación de impresión, los parámetros principales de laminado, las tolerancias de encaje y las limitaciones propias del proceso. Asimismo, comparar de forma complementaria el prototipo principal en PLA con pruebas realizadas en ABS y resina, valorando su acabado, complejidad de fabricación y adecuación al uso previsto [9][20][22].
6. Fabricar prototipos representativos del objeto y comprobar su montaje, estabilidad, legibilidad, facilidad de intercambio de módulos y coherencia visual del conjunto final.

7. Realizar una validación estructural simplificada de los elementos principales, definiendo de forma explícita las hipótesis de cálculo, cargas, restricciones, propiedades del material y limitaciones del modelo empleado.
8. Elaborar una estimación económica del coste unitario de fabricación, incorporando no solo el consumo de material, sino también el tiempo de impresión, consumo eléctrico, amortización de la máquina, mantenimiento, mermas y posibles escenarios de producción en serie corta.
9. Evaluar la aceptación del concepto mediante una encuesta dirigida a usuarios potenciales, interpretando los resultados como una valoración de percepción, atractivo y representatividad, y no como una validación técnica absoluta del producto [24].
10. Identificar las principales limitaciones del diseño desarrollado y proponer líneas futuras de mejora relacionadas con materiales, acabados, tolerancias, métodos de fabricación, personalización y documentación técnica.

El alcance del trabajo comprende el diseño conceptual y técnico del objeto, su modelado CAD, la fabricación de prototipos mediante impresión 3D FDM en PLA, la comprobación funcional del sistema modular, una validación estructural básica, una estimación económica orientativa y una evaluación de aceptación mediante encuesta. Quedan fuera del alcance del presente TFG la certificación industrial del producto, la producción comercial definitiva, el estudio experimental avanzado de propiedades mecánicas del material impreso y la validación estructural frente a condiciones severas de servicio, al tratarse de un objeto de carácter conmemorativo y de exposición [9][31][32].

En consecuencia, el trabajo se plantea como el desarrollo de una plataforma modular fabricable mediante fabricación aditiva, capaz de integrar significado institucional, personalización y criterios técnicos de diseño mecánico. Esta orientación permite abordar el objeto no como una pieza decorativa aislada, sino como el resultado de un proceso de ingeniería aplicado al diseño, fabricación y evaluación de un producto conmemorativo personalizado [31][32].

1.3 Disposición de la memoria

Una vez presentados el contexto, la motivación, los objetivos y el alcance del trabajo, la memoria se estructura con el fin de exponer de forma ordenada el proceso seguido para el diseño, desarrollo, fabricación y evaluación del objeto conmemorativo modular propuesto. La organización adoptada permite relacionar la necesidad inicial con las decisiones de diseño, el modelado CAD, la fabricación mediante impresión 3D, la validación funcional y la estimación económica del producto.

La memoria se divide en seis capítulos principales, además de los anexos correspondientes:

Capítulo 1. Introducción, motivación y objetivos. Presenta el contexto académico y naval-militar del trabajo, así como la motivación, los objetivos y el alcance del TFG.

Capítulo 2. Estado del arte. Analiza los fundamentos relacionados con el simbolismo institucional, la pertenencia, el diseño modular, la fabricación aditiva, los materiales empleados en impresión 3D, el diseño CAD y el flujo digital CAD–slicer–fabricación. Este capítulo permite justificar las decisiones técnicas adoptadas posteriormente en el desarrollo del producto.

Capítulo 3. Desarrollo del TFG. Describe la metodología de diseño aplicada, la definición de requisitos, la comparación de alternativas, la selección de la solución modular, el modelado CAD de los componentes, el proceso de fabricación aditiva y el ensamblaje del prototipo.

Capítulo 4. Resultados, validación y costes. Recoge la evaluación estructural simplificada, la comprobación funcional del objeto conmemorativo, el estudio económico de fabricación y el análisis descriptivo de la encuesta de aceptación realizada a usuarios potenciales.

Capítulo 5. Conclusiones y líneas futuras. Sintetiza las principales aportaciones del trabajo, valora el grado de cumplimiento de los objetivos planteados y propone mejoras futuras relacionadas con materiales, acabados, tolerancias, validación mecánica, personalización y documentación técnica.

Capítulo 6. Bibliografía. Reúne las fuentes empleadas para la elaboración del trabajo, incluyendo referencias institucionales, normas, documentación técnica, bibliografía académica y publicaciones relacionadas con diseño de producto, fabricación aditiva, materiales, CAD y validación de piezas impresas.

Anexos. Incluyen información complementaria al contenido principal de la memoria, incorporando consideraciones sociales, económicas, ambientales y éticas, el presupuesto detallado y la documentación técnica del diseño.

2 ESTADO DEL ARTE

El presente capítulo establece el marco técnico y conceptual necesario para el desarrollo del objeto conmemorativo modular propuesto. Dado que el trabajo combina una finalidad simbólica con un proceso de diseño, fabricación y evaluación propio de la Ingeniería Mecánica, el estado del arte no se organiza como una recopilación independiente de temas, sino como una revisión orientada a justificar las decisiones adoptadas posteriormente en el desarrollo del producto.

En primer lugar, se analiza el papel de los objetos conmemorativos, la identidad institucional y la personalización como elementos que permiten transformar una experiencia colectiva en un soporte físico individualizado. Este enfoque resulta necesario para definir la función representativa del objeto y justificar que el producto no se limite a una pieza decorativa genérica, sino que actúe como soporte material de memoria, pertenencia y reconocimiento.

A continuación, se revisa el concepto de diseño modular y su interés en productos personalizables fabricados en series cortas. La modularidad permite mantener una arquitectura común y concentrar la variación en piezas intercambiables, reduciendo el rediseño y facilitando la fabricación de distintas versiones del producto. Este planteamiento conecta directamente con la solución adoptada en el presente TFG, basada en una base común, una placa identificativa y módulos intercambiables.

Posteriormente, se estudia la fabricación aditiva como tecnología adecuada para el prototipado y la producción de objetos personalizados. Se comparan las principales tecnologías disponibles, se describen sus ventajas y limitaciones, y se justifica el interés de la tecnología FDM para un producto de sobremesa fabricado en series cortas. Asimismo, se revisan los materiales más empleados en impresión 3D por filamento, prestando especial atención al PLA y comparándolo con otras alternativas como PETG, ABS, ASA o poliamidas.

Finalmente, se analiza el flujo digital que permite pasar del modelo CAD a la pieza fabricada, incluyendo el papel del diseño paramétrico, los formatos de intercambio de datos, el uso de programas de laminado o slicers y las restricciones propias del proceso FDM. Estas restricciones —tolerancias, orientación de impresión, soportes, resolución de detalle, acabado superficial y anisotropía— condicionan directamente el diseño de las piezas, los encajes y la interpretación de cualquier validación estructural realizada sobre componentes impresos.

De este modo, el estado del arte proporciona la base necesaria para justificar el desarrollo del objeto conmemorativo como un producto modular, personalizable, fabricable mediante impresión 3D y documentado mediante herramientas propias del diseño mecánico.

2.1 Simbolismo e identidad única

El diseño de un producto conmemorativo no puede entenderse únicamente como la generación de una forma estética. En este tipo de objetos, la función principal consiste en representar una experiencia, una pertenencia o una etapa vital mediante un soporte físico. Por ello, el diseño debe integrar criterios simbólicos, funcionales y materiales, de forma que el producto sea capaz de transmitir un significado reconocible y, al mismo tiempo, pueda fabricarse, conservarse y utilizarse de forma adecuada.

En el caso del presente TFG, el objeto propuesto se vincula a la etapa formativa del alumno en la Escuela Naval Militar. Dicha etapa combina formación académica, instrucción militar, convivencia, disciplina, tradición institucional y progresiva adquisición de responsabilidades. Por tanto, el producto no debe limitarse a reproducir un emblema o una forma visualmente reconocible, sino que debe sintetizar una experiencia colectiva y, a la vez, permitir cierta adaptación a la trayectoria individual del usuario.

2.1.1 Identidad institucional y sentimiento de pertenencia

La identidad institucional puede entenderse como el conjunto de símbolos, valores, normas y experiencias compartidas que permiten a los miembros de una organización reconocerse como parte de un mismo colectivo. En instituciones con fuerte carga histórica y jerárquica, como las Fuerzas Armadas (o más específicamente la Armada), esta identidad se expresa mediante emblemas, uniformes, tradiciones, actos, lemas, distintivos y objetos conmemorativos.

Durante la etapa formativa en la ENM, el sentimiento de pertenencia se construye de manera progresiva a través de la convivencia diaria, la formación académica, la instrucción militar, los embarques, las actividades de adiestramiento y los hitos propios de cada curso. Estos elementos no solo forman parte del aprendizaje profesional del alumno, sino que también contribuyen a consolidar una memoria compartida y una identidad colectiva.



Figura 2-1 GuardiaMarinas a bordo del Juan Sebastián de Elcano [14]

Desde esta perspectiva, el símbolo actúa como un medio de condensación. Su función no consiste únicamente en decorar, sino en representar de forma simplificada un conjunto de significados más amplio. Un emblema, una placa, una insignia o un objeto conmemorativo permiten asociar una forma material a una experiencia institucional, facilitando su recuerdo y su reconocimiento por parte del grupo.

Aplicado al presente trabajo, este planteamiento justifica que el objeto diseñado incorpore referencias reconocibles a la ENM y a la Armada, pero evitando que el resultado dependa exclusivamente de la reproducción directa de símbolos. El diseño debe apoyarse en una composición formal sobria, coherente con el entorno institucional y compatible con su fabricación. Por ello, la identidad institucional se traduce en requisitos de diseño relacionados con la geometría general, la elección de elementos representativos, la disposición de los módulos y la legibilidad del conjunto.

2.1.2 Función de los objetos simbólicos y conmemorativos

Los objetos simbólicos y conmemorativos cumplen una función distinta a la de un producto puramente utilitario. Su valor principal no reside únicamente en su resistencia, coste o complejidad formal, sino en su capacidad para representar una experiencia y conservar su significado en el tiempo [4][5]. No obstante, para que un objeto de este tipo pueda considerarse un producto diseñado de forma adecuada, debe cumplir también requisitos funcionales y técnicos propios de un desarrollo de producto [31][32].

En primer lugar, un objeto conmemorativo debe ser reconocible. El usuario debe poder identificar con claridad qué etapa, institución o experiencia representa. En segundo lugar, debe ser estable y duradero dentro de las condiciones de uso previstas. En este caso, al tratarse de un objeto de sobremesa o exposición, no se requieren prestaciones estructurales elevadas, pero sí estabilidad, resistencia suficiente frente a manipulación ocasional y una calidad visual compatible con su finalidad representativa.

En tercer lugar, debe existir coherencia entre el significado del objeto y su forma física. La geometría, los relieves, las placas, los colores, la proporción de los elementos y la disposición de los módulos influyen en la percepción final del producto. Por ello, el diseño no puede basarse únicamente en criterios subjetivos, sino que debe justificar por qué se seleccionan determinados elementos y cómo se integran en el conjunto [31].

Un ejemplo histórico de la función cohesionadora de los símbolos puede encontrarse en los estandartes militares de la Antigua Roma, como el Aquila de las legiones. Este elemento no solo cumplía una función identificativa, sino que actuaba como referencia moral y colectiva para la unidad, hasta el punto de que su pérdida se consideraba una deshonra para el conjunto de la legión [8].



Figura 2-2 Estandarte romano de Aquila [8]

En el presente TFG, el objeto conmemorativo se plantea como una pieza física destinada a representar el recorrido formativo del alumno en la ENM. Su función principal es actuar como soporte material de memoria, pertenencia y reconocimiento. Sin embargo, esta función simbólica se aborda mediante un proceso técnico de diseño: definición de requisitos, desarrollo CAD, selección de material, fabricación aditiva, ensamblaje modular, validación funcional y estimación económica. De este modo, el producto no se concibe como un simple recuerdo decorativo, sino como el resultado de un proceso de diseño de producto aplicado a un contexto institucional.



**Figura 2-3 Evolución del simbolismo
como identidad de grupo [Autoría propia mediante IA]**

Se puede afirmar, por tanto, que simbolismo y pertenencia se refuerzan mutuamente. El símbolo permite hacer tangible la identidad de un grupo, mientras que la pertenencia aporta al símbolo significado, valor y continuidad en el tiempo. Esta relación justifica el interés de desarrollar un diseño capaz de representar la etapa formativa en la Escuela Naval Militar, manteniendo una relación coherente con la identidad institucional y con la vocación de permanencia propia de un objeto conmemorativo.



Figura 2-4 GuardiaMarinas [Autoría AF Adrián Palacios Arce]

En este sentido, el objeto diseñado busca conservar de forma material el recuerdo de una etapa caracterizada por la convivencia, la formación académica, la instrucción militar y las experiencias compartidas en el entorno de la ENM. La incorporación de elementos modulares permite, además, vincular esa memoria colectiva con la trayectoria particular de cada usuario, evitando que el producto se limite a un recuerdo genérico.

2.1.3 Personalización como criterio de diseño

La personalización constituye un aspecto relevante en el diseño de productos conmemorativos, ya que permite adaptar un objeto común a la experiencia particular de cada usuario. En el caso de una promoción o colectivo, todos los miembros comparten una identidad institucional, pero no todos recorren exactamente la misma trayectoria ni atribuyen el mismo valor a los mismos hitos. Por ello, un producto conmemorativo eficaz debe ser capaz de combinar elementos comunes, asociados a la identidad colectiva, con elementos variables que permitan representar la trayectoria individual [4][7].

En este trabajo, la personalización se plantea en varios niveles. El primer nivel corresponde a la información identificativa del usuario, como nombre, promoción, cuerpo o escala. El segundo nivel se asocia a la diferenciación entre Cuerpo General de la Armada e Infantería de Marina. El tercer nivel permite incorporar módulos relacionados con empleos, valores, hitos o experiencias concretas de los años de permanencia en la Escuela Naval Militar. Esta estructura responde a la necesidad de representar

una etapa formativa común, pero con recorridos personales diferenciados dentro del mismo marco institucional [1][6].

Desde el punto de vista técnico, esta necesidad de personalización condiciona directamente la arquitectura del producto. Una solución completamente fija obligaría a rediseñar gran parte del objeto para cada variante, aumentando el tiempo de modelado y dificultando la fabricación repetible. En cambio, una solución modular permite mantener una base común y concentrar la variación en piezas intercambiables, facilitando la producción de distintas versiones a partir de una misma plataforma [31][32].

Por tanto, la personalización no se entiende en este TFG como un añadido estético posterior, sino como un requisito de diseño que afecta a la geometría, al ensamblaje, a la documentación técnica y al proceso de fabricación. Esta consideración justifica la adopción de una arquitectura modular, en la que la base fija proporciona unidad institucional y los módulos intercambiables permiten adaptar el objeto a cada usuario sin modificar la estructura completa del conjunto [31][32].

2.1.4 Psicología social del “nosotros”: cohesión, identidad y símbolos

Desde la psicología social, la pertenencia a un grupo se considera una necesidad relevante en la construcción de la identidad individual y colectiva. Baumeister y Leary señalan que las personas tienden a buscar vínculos estables y duraderos con otros individuos, de modo que la pertenencia no constituye un aspecto secundario, sino un elemento que influye en la motivación, el bienestar y la integración dentro de un colectivo [6].

En esta misma línea, la teoría de la identidad social desarrollada por Tajfel y Turner plantea que una parte del autoconcepto individual se construye a partir de la pertenencia a determinados grupos. Esta identificación permite diferenciar entre el grupo propio y otros grupos externos, reforzando la cohesión interna y la percepción de compartir valores, normas y objetivos comunes [7]. En instituciones jerarquizadas y con fuerte tradición histórica, como las Fuerzas Armadas, este proceso se ve reforzado mediante símbolos, uniformes, distintivos, emblemas, actos y objetos conmemorativos [4][5].

Los símbolos actúan como elementos de condensación de significado. Su función no se limita a representar visualmente una organización, sino que permiten agrupar valores, experiencias y referencias compartidas en una forma reconocible por los miembros del colectivo. Un ejemplo histórico de esta función puede encontrarse en los estandartes militares, como el *Aquila* de las legiones romanas, que no solo cumplía una función identificativa, sino también moral y cohesionadora para la unidad [8]. De forma similar, en contextos militares contemporáneos, los emblemas, distintivos, parches, condecoraciones o placas conmemorativas permiten reconocer pertenencia, trayectoria y vinculación con una institución.

Aplicado al caso de la Escuela Naval Militar, la etapa formativa genera una identidad compartida mediante la convivencia diaria, la formación académica, la instrucción militar, los embarques, los hitos de curso y la progresiva adquisición de responsabilidades [1]. Estos elementos construyen un “nosotros” asociado a la promoción, al cuerpo de pertenencia y a la institución.



Figura 2-5 Imagen representativa del sentimiento de grupo [Autoría propia mediante IA]

Por tanto, la psicología social del “nosotros” no se incorpora al presente trabajo como un contenido aislado, sino como fundamento para definir requisitos de diseño. La pertenencia, la cohesión y el uso de símbolos se traducen en decisiones técnicas: selección de elementos representativos, organización formal del conjunto, definición de módulos personalizables, legibilidad de la información y coherencia entre significado, geometría y fabricación. De este modo, el objeto conmemorativo se plantea como un soporte físico capaz de integrar memoria colectiva, identidad institucional y personalización individual dentro de un producto fabricable y documentable.

2.2 La fabricación aditiva

La fabricación aditiva, conocida habitualmente como impresión 3D, comprende un conjunto de procesos de fabricación en los que las piezas se obtienen mediante la adición sucesiva de material a partir de un modelo digital tridimensional. A diferencia de los procesos sustractivos, en los que la geometría final se consigue eliminando material de un bloque inicial, la fabricación aditiva construye el componente mediante la incorporación controlada de material, normalmente capa a capa [9].

De acuerdo con la norma ISO/ASTM 52900, la fabricación aditiva no constituye una única tecnología, sino una familia de procesos que incluye distintos métodos de fabricación basados, entre otros, en la extrusión de material, la fotopolimerización de resinas, la fusión o sinterizado de lechos de polvo y la fabricación de piezas metálicas mediante aportación o fusión localizada de material [9]. Esta variedad de procesos hace necesario analizar las principales tecnologías disponibles antes de seleccionar la más adecuada para un producto concreto.

2.2.1 Definición y evolución de la fabricación aditiva

La fabricación aditiva (Additive Manufacturing, AM) se define como el proceso de unión de materiales para fabricar piezas a partir de datos de un modelo tridimensional, normalmente capa a capa, en contraposición a los métodos de fabricación sustractivos [9]. Esta definición resulta importante porque permite diferenciar el principio general de fabricación de las tecnologías concretas que lo desarrollan.

En sus primeras aplicaciones, la fabricación aditiva se utilizó principalmente como herramienta de prototipado rápido. Su objetivo principal era obtener modelos físicos en poco tiempo para comprobar geometrías, volúmenes, interferencias o aspectos visuales de un diseño. Sin embargo, la mejora de las máquinas, de los materiales y de los programas de preparación de impresión ha ampliado progresivamente su aplicación hacia piezas funcionales, utillajes, productos personalizados y fabricación en series cortas [9].



Figura 2-6 Aplicaciones representativas de la fabricación aditiva [Autoría propia mediante IA]

Esta evolución resulta especialmente relevante en el ámbito del diseño de producto. La posibilidad de fabricar prototipos físicos permite evaluar aspectos que no siempre pueden comprobarse de forma completa en el entorno CAD, como la ergonomía, el montaje, la percepción visual, la rigidez aparente, el acabado superficial o la facilidad de manipulación. De este modo, la fabricación aditiva favorece un proceso iterativo de diseño, fabricación, prueba y corrección, coherente con metodologías de desarrollo de producto [31][32].

Esta capacidad resulta especialmente útil porque el diseño no se reduce a una forma visual. El producto está compuesto por varias piezas que deben relacionarse entre sí mediante encajes y alojamientos. Por tanto, la fabricación del prototipo permite comprobar si la arquitectura modular propuesta funciona correctamente y si las dimensiones adoptadas en el modelo CAD son compatibles con el montaje real.

2.2.2 Comparativa de tecnologías de fabricación aditiva

Antes de comparar las principales tecnologías de fabricación aditiva, resulta conveniente aclarar el significado de las siglas empleadas con mayor frecuencia, así como describir brevemente el principio de funcionamiento de cada una de ellas:

- FDM significa Fused Deposition Modeling (modelado por deposición fundida) y FFF significa Fused Filament Fabrication (fabricación por filamento fundido).
- SLA significa Stereolithography (estereolitografía) y DLP significa Digital Light Processing (procesamiento digital de luz).
- SLS significa Selective Laser Sintering (sinterizado selectivo por láser) y MJF significa Multi Jet Fusion (fusión multichorro).
- DMLS significa Direct Metal Laser Sintering (sinterizado directo de metal por láser) y SLM significa Selective Laser Melting (fusión selectiva por láser).



Figura 2-7 Principales tecnologías de fabricación aditiva [Autoría propia mediante IA]

La selección de una tecnología de fabricación aditiva condiciona directamente el acabado superficial, la precisión dimensional, las tolerancias alcanzables, las propiedades mecánicas, el coste de producción y la viabilidad de fabricación, tanto en prototipos como en series cortas [9].

De forma general, estas tecnologías pueden agruparse según su principio de funcionamiento y su ámbito de aplicación. Las tecnologías FDM/FFF destacan por su bajo coste, accesibilidad y adecuación al prototipado rápido. Las tecnologías SLA/DLP permiten obtener mayor resolución y mejor acabado superficial, especialmente en piezas pequeñas, relieves o elementos visuales. Las tecnologías SLS/MJF ofrecen mayor libertad geométrica y mejores propiedades funcionales en polímeros, aunque suelen implicar costes más elevados. Finalmente, los procesos DMLS/SLM se orientan a componentes metálicos de altas prestaciones, con mayores exigencias de proceso, coste y postprocesado [9].

A continuación, se presenta una tabla comparativa de estas tecnologías, considerando sus ventajas, limitaciones y adecuación al desarrollo de un producto físico fabricable.

Tecnología	Funcionamiento	Ventajas	Limitaciones	Uso recomendado
FDM	Extrusión de termoplástico derretido capa por capa	Coste bajo, equipos accesibles, materiales variados (PLA, PETG, ABS, ASA, Nylon)	Acabado superficial visible (capas), precisión media, anisotropía (debilidad entre capas), soportes y deformaciones en materiales técnicos, tolerancias más amplias	Prototipos de forma/ensamble, utillajes simples, piezas no críticas, primeras iteraciones de módulos
SLA/DLP	Fotopolimerización de resina líquida (láser o proyector)	Alta resolución y detalle, excelente acabado superficial, ideal para relieves, textos pequeños, emblemas, precisión superior a FDM en piezas pequeñas	Resinas más frágiles (según tipo), postprocesos obligatorios (lavado/curado), soportes siempre presentes y pueden marcar, sensibilidad a UV/temperatura, coste por pieza mayor que FDM	Prototipos estéticos, medallones/relieves, validación visual, másteres para moldes, piezas pequeñas de alta calidad
SLS / MJF	Fusión/sinterizado de polvo polimérico en cama	No requiere soportes (gran libertad geométrica), piezas resistentes y relativamente isotrópicas, buena repetibilidad, apta para series cortas.	Superficie granulada (requiere acabado si se busca estética premium), máquinas/costes altos (normalmente servicio externo), limitación de colores (habitual negro/gris), tolerancias buenas	Piezas funcionales, series cortas de módulos, prototipos finales con buen comportamiento mecánico
DMLS/SLM	Fusión selectiva de polvo metálico con láser	Alta resistencia, piezas metálicas funcionales	Muy costosa, postprocesos intensivos (retirada de soportes y tratamientos varios)	Componentes metálicos de alto valor, series muy limitadas, piezas de metal requerido

Tabla 2-1 Tabla comparativa de fabricación aditiva [9][10][11][12][13]

apariciencia superficial, aunque suelen exigir mayor control del proceso y pueden incrementar el coste de fabricación [33].

Además de clasificar los materiales por su naturaleza, también debe considerarse la forma del material precursor, ya que cada tecnología de fabricación aditiva requiere una presentación concreta. En los procesos de extrusión de material, como FDM/FFF, se emplean normalmente filamentos termoplásticos. En los procesos de fotopolimerización, como SLA o DLP, se utilizan resinas líquidas fotosensibles. En tecnologías de lecho de polvo, como SLS, MJF, SLM o DMLS, el material se suministra en forma de partículas poliméricas o metálicas. Por tanto, no debe confundirse la forma del precursor con el tipo de material: un polvo puede ser polimérico o metálico, una resina pertenece generalmente a la familia de los polímeros termoestables fotopolimerizables y un filamento suele corresponder a un termoplástico [9][33].

La selección del material debe realizarse atendiendo a varios criterios. Entre los más relevantes se encuentran la función de la pieza, las condiciones de uso, la resistencia mecánica requerida, la estabilidad dimensional, la resistencia térmica, la exposición ambiental, el acabado superficial, la facilidad de impresión, la disponibilidad, el coste y la compatibilidad con la tecnología seleccionada. En piezas de carácter estructural o sometidas a solicitaciones exigentes, las propiedades mecánicas y la dirección de fabricación tienen un papel determinante. En cambio, en objetos de exposición, prototipos o productos conmemorativos, pueden adquirir mayor importancia la facilidad de fabricación, el acabado visual, la estabilidad geométrica y el coste unitario.

En el caso del presente TFG, el objeto diseñado tiene una finalidad principalmente conmemorativa y de exposición. No se trata de una pieza sometida a cargas elevadas ni a condiciones severas de servicio, sino de un producto de sobremesa que debe presentar estabilidad, buena legibilidad, facilidad de montaje, coste contenido y posibilidad de personalización. Por ello, la familia de materiales más adecuada para el prototipo inicial es la de los polímeros termoplásticos procesados mediante FDM/FFF, debido a su disponibilidad, bajo coste, sencillez de fabricación y compatibilidad con impresoras 3D de escritorio [9][19][23].

Dentro de esta familia, el PLA se considera una opción adecuada para el prototipado inicial por su facilidad de impresión, baja deformación durante el proceso, disponibilidad comercial y buen acabado visual. No obstante, esta elección no implica que sea el material óptimo para todas las condiciones de uso. Otros termoplásticos como PETG, ABS, ASA o poliamidas pueden resultar más adecuados cuando se requieren mayor resistencia térmica, mejor comportamiento frente a impactos, mayor durabilidad exterior o mejores prestaciones mecánicas. Por tanto, la elección del PLA debe entenderse como una decisión adecuada para la fase de prototipado y validación funcional del diseño, mientras que una versión final del producto podría requerir la comparación experimental con otros materiales.

En consecuencia, la selección de materiales en fabricación aditiva no puede limitarse a identificar el formato de suministro del material, sino que debe relacionar la naturaleza del material, la tecnología de fabricación, las propiedades requeridas y las condiciones reales de uso de la pieza. Esta distinción resulta esencial para justificar técnicamente la elección del material empleado en el objeto conmemorativo y para evitar confusiones entre familias de materiales y formas de presentación del precursor.

2.2.4 Materiales disponibles para impresión 3D

A continuación, se muestra la Figura 2-9, que contiene algunos de los diferentes materiales empleados:



Figura 2-9 Materiales disponibles para impresión 3D [Autoría propia mediante IA]

En la impresión 3D por deposición de filamento fundido, FDM/FFF, los materiales empleados son principalmente polímeros termoplásticos suministrados en forma de filamento. Durante el proceso, el filamento se funde parcialmente en el cabezal de extrusión y se deposita capa a capa hasta formar la pieza. Por tanto, la elección del material condiciona de forma directa la facilidad de impresión, la estabilidad dimensional, el acabado superficial, la resistencia mecánica, la resistencia térmica, el comportamiento frente a la humedad y la durabilidad del producto final [9][34][35].

Entre los materiales más utilizados se encuentra el PLA, ácido poliláctico, debido a su facilidad de impresión, baja tendencia a la deformación, buena calidad superficial y amplia disponibilidad comercial. Estas características lo convierten en un material adecuado para prototipos, maquetas, piezas de exposición, elementos decorativos y productos de sobremesa. No obstante, presenta limitaciones en aplicaciones sometidas a temperaturas elevadas, esfuerzos mecánicos importantes o exposición exterior prolongada, por lo que su uso debe justificarse en función de las condiciones reales de servicio [19][23][34].

El PETG, polietilentereftalato glicol-modificado, constituye una alternativa habitual cuando se busca mayor tenacidad, mejor resistencia al impacto y mayor resistencia química que el PLA, manteniendo una dificultad de impresión moderada. Suele emplearse en piezas funcionales, carcasas, soportes y elementos que requieren cierta resistencia mecánica sin llegar a las exigencias de materiales técnicos más complejos. En comparación con el PLA, puede presentar mayor tendencia a formar hilos durante la impresión y requiere un ajuste más cuidadoso de temperatura, retracción y ventilación [34][35].

El ABS, acrilonitrilo butadieno estireno, es un termoplástico empleado tradicionalmente en aplicaciones industriales por su resistencia al impacto, resistencia térmica y posibilidad de postprocesado. Sin embargo, su impresión resulta más exigente que la del PLA, debido a su mayor contracción térmica y a la posibilidad de deformaciones o levantamiento de las esquinas durante la fabricación. Por este motivo, suele requerir cama caliente, control de temperatura y, preferentemente, una impresora cerrada. Estas características lo hacen adecuado para piezas funcionales, carcasas y elementos sometidos a mayores exigencias térmicas o mecánicas, pero menos conveniente para prototipos sencillos cuando se prioriza la facilidad de fabricación [34][35].

El ASA, acrilonitrilo estireno acrilato, presenta propiedades similares al ABS, pero destaca por su mejor comportamiento frente a la radiación ultravioleta y la intemperie. Por ello, se emplea con frecuencia en piezas destinadas a exteriores o aplicaciones donde se requiere mayor estabilidad frente al envejecimiento ambiental. Al igual que el ABS, su impresión exige mayor control del proceso, especialmente en lo relativo a temperatura, contracción y deformaciones, por lo que resulta más adecuado para piezas finales que para prototipos iniciales de baja exigencia [34][35].

Las poliamidas, conocidas habitualmente como nylon o PA, se utilizan cuando se requiere elevada tenacidad, resistencia al desgaste y buen comportamiento mecánico. Son materiales adecuados para

piezas funcionales, engranajes, bisagras, uniones, componentes sometidos a fricción o elementos que deban soportar cierta deformación sin romper. No obstante, presentan una elevada sensibilidad a la humedad, tanto durante el almacenamiento como durante la impresión, por lo que suelen requerir secado previo y condiciones de fabricación más controladas. Además, su coste y dificultad de impresión son superiores a los del PLA o PETG [34][35].

El TPU, poliuretano termoplástico, pertenece a la familia de los elastómeros flexibles. Se utiliza para fabricar piezas que requieren deformabilidad, amortiguación, agarre o resistencia a la flexión, como juntas, protectores, apoyos elásticos o elementos antideslizantes. Su principal limitación es que la impresión suele ser más lenta y delicada, ya que la flexibilidad del filamento puede dificultar su avance por el sistema de extrusión. En el caso de un objeto conmemorativo rígido, su uso no resulta prioritario, aunque podría ser útil en futuras versiones para incorporar apoyos o elementos de contacto flexible [34][35].

Material	Ventajas principales	Limitaciones principales	Aplicaciones habituales
PLA	Fácil impresión, buena estabilidad dimensional, buen acabado superficial y bajo coste.	Baja resistencia térmica y menor idoneidad para exteriores o cargas elevadas.	Prototipos, maquetas, piezas decorativas, objetos de exposición.
PETG	Mayor tenacidad que PLA, buena resistencia química y al impacto.	Puede generar hilos y requiere mayor ajuste de parámetros.	Piezas funcionales, soportes, carcasas, elementos de uso moderado.
ABS	Buena resistencia al impacto y mayor resistencia térmica.	Mayor contracción, riesgo de deformación y necesidad de entorno controlado.	Carcasas, piezas funcionales, componentes sometidos a temperatura moderada.
ASA	Buena resistencia térmica y mejor comportamiento en exteriores que ABS.	Impresión exigente y necesidad de control térmico.	Piezas exteriores, carcasas, componentes expuestos a radiación UV.
PA / Nylon	Alta tenacidad, resistencia al desgaste y buen comportamiento mecánico.	Sensible a la humedad, mayor coste y mayor dificultad de impresión.	Engranajes, bisagras, piezas sometidas a fricción o esfuerzos.
TPU	Flexibilidad, amortiguación y resistencia a deformaciones repetidas.	Impresión más lenta y dificultad de avance del filamento.	Juntas, apoyos, protectores, elementos flexibles o antideslizantes.
Compuestos	Mejora de rigidez, acabado o propiedades específicas.	Mayor coste, posible abrasión de boquilla y necesidad de ajustes específicos.	Piezas técnicas, acabados especiales, componentes reforzados.

Tabla 2-2 Comparación cualitativa de materiales habituales en impresión 3D FDM/FFF [34][35]

También existen filamentos compuestos, en los que una matriz polimérica se combina con fibras, partículas o cargas de otro material. Entre ellos se encuentran filamentos reforzados con fibra de carbono o fibra de vidrio, materiales con carga de madera, metal o cerámica, y filamentos diseñados para mejorar propiedades específicas como rigidez, apariencia superficial o resistencia al desgaste. Estos materiales

pueden aportar mejoras funcionales o estéticas, pero también suelen requerir boquillas resistentes a la abrasión, mayor control de impresión y un coste superior [34].

2.3 Diseño CAD e Inventor 3D en la fabricación aditiva

2.3.1 Generalidades del CAD

El término CAD procede de Computer-Aided Design, es decir, diseño asistido por ordenador. Hace referencia al conjunto de herramientas informáticas utilizadas para generar, modificar, analizar y documentar representaciones digitales de piezas, conjuntos o sistemas destinados al desarrollo de productos. En el ámbito de la ingeniería mecánica, el CAD se emplea principalmente para crear geometrías 2D y 3D con precisión, incorporar información técnica asociada —como dimensiones, tolerancias, materiales o relaciones de ensamblaje— y generar documentación necesaria para la fabricación y verificación del producto [17].

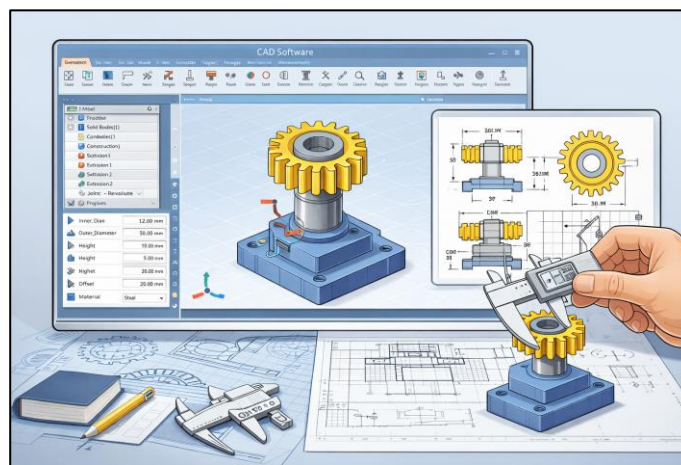


Figura 2-10 Programa CAD [Autoría propia mediante IA]

En un contexto industrial actual, el CAD no se limita a la elaboración de planos o modelos geométricos aislados, sino que forma parte de un flujo digital más amplio en el que el modelo tridimensional actúa como fuente principal de información del producto. Este modelo facilita la comunicación entre diseño, fabricación, montaje, inspección y documentación técnica, permitiendo mantener coherencia entre las distintas fases del desarrollo [18].

En fabricación aditiva, el papel del CAD resulta especialmente relevante, ya que la pieza física se obtiene directamente a partir del modelo digital. Por ello, la calidad del modelado —dimensiones, geometría, detalles, espesores, holguras, tolerancias y orientación prevista de fabricación— condiciona de forma directa el resultado final obtenido mediante impresión 3D. En consecuencia, el CAD constituye una herramienta esencial para transformar una necesidad inicial en una pieza física fabricable, documentada y reproducible.

2.3.2 Panorama de software CAD en ingeniería mecánica

En el ámbito del diseño mecánico, la elección del software CAD condiciona de forma directa el flujo de trabajo de desarrollo de producto, ya que determina las herramientas disponibles para el modelado, la gestión de ensamblajes, la documentación técnica y la integración con fabricación y simulación. En la industria existen múltiples soluciones consolidadas que, aunque comparten capacidades básicas (modelado 3D, ensamblajes y planos 2D), se diferencian en su orientación principal, ecosistema y nivel de integración con otras etapas del ciclo de vida del producto.

		
SOLIDWORKS	NX	Creo
Diseño y document. de componentes	Entorno integrado, productos complejos	Suite paramétrica y validación
 Amplia base industrial y educativa	 Alto nivel, integr. y simulación avanzada	 Diseño, análisis y validación de producto
3ds.com →	siemens.com →	ptc.com →

Figura 2-11 Panorama de software CAD [Autoría propia mediante IA]

Entre las opciones más extendidas se encuentran plataformas de CAD paramétrico orientadas a diseño mecánico general, como SOLIDWORKS, que se emplea ampliamente para crear piezas, ensamblajes y documentación de fabricación en entornos industriales y educativos [28]. En un segmento de alto nivel industrial también destacan Siemens NX y CATIA. Siemens NX se caracteriza por ofrecer un entorno integrado para diseño avanzado y por su aplicación habitual en sectores con productos complejos y grandes ensamblajes [29]. Por su parte, CATIA, desarrollado por Dassault Systèmes, es una solución CAD/CAM/CAE empleada en sectores como el aeroespacial, automoción e ingeniería industrial, especialmente en proyectos que requieren modelado avanzado, gestión de grandes conjuntos e integración con entornos de ciclo de vida del producto [40]. De forma similar, PTC Creo se presenta como una suite CAD orientada al diseño, análisis y validación, con herramientas paramétricas y módulos complementarios para necesidades específicas [30].

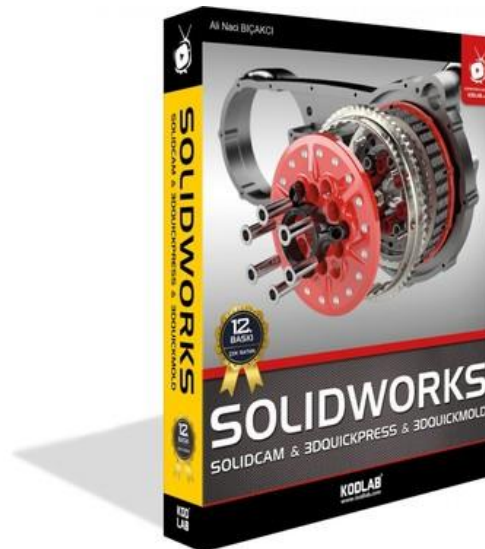


Figura 2-12 Imagen promocional de SOLIDWORKS [28]

Además de estas soluciones, existen programas con enfoques complementarios: herramientas de CAD orientadas a la colaboración en la nube, soluciones centradas en modelado directo o híbrido, y programas con fuerte integración con PLM (gestión del ciclo de vida del producto). En cualquier caso, el criterio de selección no se limita a la “capacidad de modelar”, sino a su adecuación al tipo de proyecto: complejidad geométrica, necesidad de control de variantes, generación de planos, exportación a fabricación aditiva y disponibilidad de recursos de aprendizaje.

En este TFG se adopta Autodesk Inventor como herramienta principal por su orientación al diseño mecánico, su capacidad de modelado paramétrico y su soporte para ensamblajes y documentación técnica, aspectos especialmente relevantes en un objeto modular con piezas intercambiables y fabricación mediante impresión 3D.

2.3.3 Autodesk Inventor: origen, evolución y papel en el diseño mecánico y la fabricación aditiva

Autodesk Inventor es una herramienta CAD tridimensional orientada al diseño mecánico y al desarrollo de productos. El programa permite crear modelos paramétricos de piezas, generar ensamblajes, comprobar interferencias, elaborar planos técnicos y asociar información geométrica y dimensional al modelo digital. Por ello, se considera una herramienta adecuada para proyectos en los que resulta necesario mantener coherencia entre diseño, montaje, documentación técnica y fabricación.



Figura 2-13 Logo de Autodesk Inventor 3D [15]

En el ámbito de la ingeniería mecánica, Inventor permite trabajar con prototipos digitales antes de su fabricación física. Esta capacidad resulta especialmente útil en productos compuestos por varias piezas, ya que permite verificar relaciones de posición, alineaciones, interferencias, sistemas de unión y compatibilidad dimensional entre componentes. Además, la generación de planos a partir del propio modelo 3D facilita la documentación técnica necesaria para definir la geometría de las piezas y apoyar su posterior fabricación.

Según la documentación de Autodesk, Inventor integra funciones de modelado 3D, simulación, visualización y documentación técnica, orientadas a validar la forma, el ajuste y la función de un producto antes de su materialización física [15][16].



Figura 2-14 Empleo de Inventor para modelado 3D [16]

En el contexto de la fabricación aditiva, el papel del CAD resulta especialmente relevante, ya que el modelo tridimensional constituye el punto de partida del proceso de fabricación. La geometría generada en Inventor debe exportarse posteriormente a un formato compatible con el software de laminado, donde se definirán la orientación de impresión, altura de capa, soportes, relleno y demás parámetros del proceso. Por tanto, la precisión del modelo, la definición de interfaces de montaje, las holguras y el control de detalles geométricos condicionan directamente la calidad y funcionalidad de la pieza impresa.

En el presente TFG, Autodesk Inventor se emplea como herramienta principal de diseño por su capacidad para desarrollar piezas independientes, ensamblajes y documentación técnica de forma integrada. Esta elección resulta coherente con la arquitectura modular del objeto conmemorativo, compuesta por base, placa identificativa, módulos principales y módulos secundarios intercambiables. El uso de Inventor permite mantener la relación dimensional entre los componentes, comprobar su integración en el conjunto y generar la información necesaria para su fabricación mediante impresión 3D.

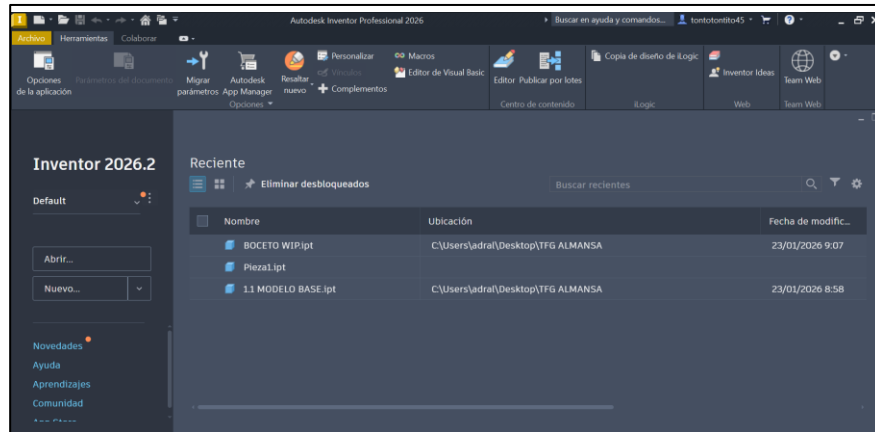


Figura 2-15 Portada de aplicación de Software de Autodesk Inventor [Autoría propia]

2.3.4 Intercambio de datos CAD–impresión 3D: formatos y criterios de exportación

Para fabricar una pieza mediante impresión 3D, el modelo generado en el programa CAD debe transferirse a un software de laminado o *slicer*. Este programa interpreta la geometría del modelo, permite definir los parámetros de impresión y genera las trayectorias que seguirá la impresora durante el proceso de fabricación. Por tanto, la elección del formato de archivo y la preparación del modelo no son aspectos secundarios, ya que pueden influir en la precisión geométrica, en la conservación de información del diseño y en la calidad final de la pieza fabricada [9][18].

El flujo general seguido en fabricación aditiva parte del modelado CAD de la pieza, continúa con la exportación a un formato compatible, prosigue con la importación del archivo en el *slicer*, la orientación del modelo sobre la cama de impresión, la definición de parámetros de laminado y la generación del código máquina. Finalmente, dicho código es enviado a la impresora para fabricar la pieza capa a capa [15][16][21][22].

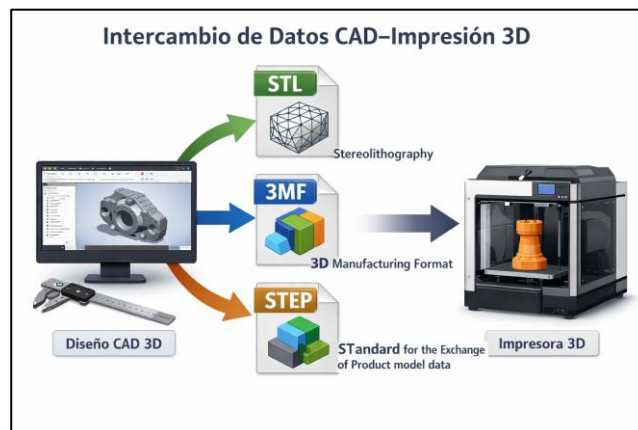


Figura 2-16 Formatos de archivo para fabricación aditiva [Autoría propia mediante IA]

El formato STL, *Stereolithography*, ha sido tradicionalmente el formato más empleado en impresión 3D. Su funcionamiento se basa en representar la superficie exterior del modelo mediante una malla de triángulos. Esta simplicidad facilita su compatibilidad con numerosos programas CAD y *slicers*, pero también implica ciertas limitaciones. El archivo STL no almacena información paramétrica, historial de operaciones, unidades de trabajo, colores, materiales ni estructura de ensamblaje. Además, al convertir superficies curvas en una malla triangular, la calidad geométrica depende directamente de la resolución empleada durante la exportación [9].

En la práctica, una resolución de malla insuficiente puede generar faceteado visible en superficies curvas, pérdida de detalle en textos o relieves y pequeñas desviaciones respecto a la geometría diseñada. Por el contrario, una resolución excesivamente alta puede generar archivos innecesariamente pesados sin aportar una mejora apreciable en la pieza final, especialmente si la resolución de la impresora o la altura de capa empleada no permiten reproducir ese nivel de detalle. Por ello, cuando se utiliza STL, resulta necesario comprobar las unidades, la orientación, la integridad de la malla y la resolución de exportación antes de iniciar el laminado.

El formato 3MF, *3D Manufacturing Format*, surge como una alternativa más moderna y orientada específicamente a la fabricación aditiva. A diferencia del STL, permite almacenar información adicional asociada al modelo y al proceso de fabricación, como unidades, materiales, colores, texturas, disposición de piezas, metadatos e información de ensamblaje. Esta capacidad mejora la interoperabilidad entre programas y reduce ciertos errores habituales asociados al STL, especialmente en proyectos con varias piezas, distintos materiales o configuraciones de impresión más complejas [9].

No obstante, en el flujo CAD–impresión 3D también debe considerarse el formato STEP, *Standard for the Exchange of Product model data*. A diferencia de STL, que describe una malla triangulada, STEP permite intercambiar información geométrica más precisa del modelo CAD, conservando entidades como superficies, sólidos y aristas de forma más fiel al diseño original. Por este motivo, resulta especialmente útil cuando se desea mantener una geometría de mayor calidad durante el intercambio entre programas CAD y herramientas de preparación de fabricación [18][41].

En conclusión, el intercambio de datos entre CAD e impresión 3D no debe entenderse como una simple exportación de archivo. La calidad final de la pieza depende del conjunto del flujo digital: modelado CAD, formato de intercambio, importación en el *slicer*, definición de parámetros de laminado y fabricación en la impresora. Para el presente trabajo, se considera recomendable emplear STEP cuando se busque conservar con mayor fidelidad la geometría CAD en Bambu Studio, reservando STL para casos sencillos o de máxima compatibilidad y 3MF para situaciones en las que resulte útil almacenar información adicional del proyecto de impresión [41].

3 DESARROLLO DEL TFG

El presente capítulo describe el proceso seguido para el diseño, desarrollo y fabricación del objeto conmemorativo modular propuesto. A diferencia de una exposición meramente cronológica, el desarrollo se organiza como un proceso de diseño de producto, en el que cada decisión adoptada responde a una necesidad previamente identificada o a un requisito técnico, funcional, simbólico, fabricativo o económico.

El planteamiento seguido parte de la definición de la necesidad de diseño y de los requisitos del producto, continúa con la generación y comparación de alternativas conceptuales, y culmina con la selección de una arquitectura modular desarrollada mediante modelado CAD paramétrico. Posteriormente, se detalla el diseño de los distintos componentes del conjunto, la preparación para fabricación aditiva mediante FDM, la impresión de los prototipos y la comprobación funcional del sistema de ensamblaje.

De este modo, el capítulo no se limita a describir las piezas diseñadas, sino que justifica la relación entre los objetivos del trabajo, las decisiones de diseño adoptadas y las restricciones propias del proceso de fabricación seleccionado.

Asimismo, el proceso contempla la evolución del diseño a partir de una primera versión funcional de la base hacia una versión posterior denominada base monumental, desarrollada con el objetivo de mejorar la representatividad formal del objeto sin modificar la arquitectura modular ni la compatibilidad de los módulos ya diseñados.

3.1 Metodología de desarrollo del producto

3.1.1 Definición de la necesidad de diseño

La necesidad de diseño identificada consiste en desarrollar un objeto físico, conmemorativo y personalizable que permita representar de forma material la etapa formativa del alumno en la Escuela Naval Militar. Esta necesidad surge de la ausencia de un producto específico que integre, en un único conjunto, la identidad institucional común, la trayectoria individual del alumno y la posibilidad de fabricación mediante medios accesibles y reproducibles.

Desde el punto de vista funcional, el objeto debe actuar como un elemento de sobremesa estable, legible y fácilmente interpretable. Su finalidad no es soportar cargas significativas ni cumplir una función estructural exigente, sino constituir un soporte físico de representación, recuerdo y pertenencia. Por ello, los criterios principales de diseño se centran en la estabilidad, la coherencia formal, la facilidad de montaje, la personalización y la viabilidad de fabricación.

Desde el punto de vista técnico, el problema se plantea como el desarrollo de un producto modular fabricable mediante impresión 3D FDM. Esta elección condiciona el diseño de las piezas, las dimensiones mínimas de los relieves, las holguras de los encajes, la orientación de impresión, el empleo de soportes, el material seleccionado y los parámetros de laminado. En consecuencia, el objeto debe diseñarse teniendo en cuenta desde el inicio las limitaciones y posibilidades propias de la fabricación aditiva.

La necesidad de personalización constituye uno de los aspectos principales del diseño. El objeto debe permitir diferenciar al usuario mediante una placa identificativa y mediante módulos intercambiables asociados a su cuerpo, promoción, empleos, hitos o experiencias relevantes durante su permanencia en la ENM. Para evitar rediseñar el conjunto completo en cada variante, se adopta como principio de diseño una arquitectura de plataforma común, compuesta por una base fija y una serie de piezas intercambiables con interfaces geométricas normalizadas.

De esta forma, la necesidad inicial se traduce en un problema de diseño mecánico: desarrollar una solución con geometría definida, piezas diferenciadas, sistema de ensamblaje, documentación técnica, proceso de fabricación y criterios básicos de validación. El objeto conmemorativo se aborda, por tanto, como un producto modular destinado a series cortas, y no únicamente como una pieza decorativa aislada.

El proceso se sintetiza en el siguiente diagrama de bloques:

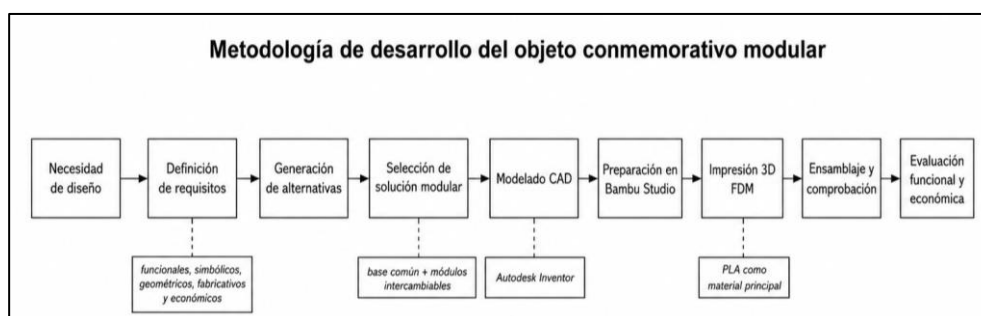


Figura 3-1 Diagrama de bloques de la metodología seguida para el desarrollo [Autoría propia]

3.1.2 Requisitos de diseño

A partir de la necesidad de diseño definido en el apartado anterior, se establecen los requisitos que debe cumplir el objeto conmemorativo. Estos requisitos permiten transformar una idea inicial de carácter simbólico en un problema técnico de diseño de producto, acotando las condiciones que deben guiar el modelado CAD, la selección de materiales, la fabricación mediante impresión 3D y la posterior evaluación del conjunto. Se busca que el diseño sea reconocible de forma inmediata, tomando como referencia elementos arquitectónicos y simbólicos característicos de la ENM.

El diseño debe ser reconocible desde el punto de vista institucional y, al mismo tiempo, suficientemente sobrio y proporcionado para funcionar como objeto de sobremesa.



Figura 3-2 Escalera Monumental característica de la ENM [Autoría propia]

Los requisitos se han clasificado en cinco grupos: funcionales, simbólicos, geométricos, fabricativos y económicos. Esta clasificación permite relacionar cada decisión de diseño con una necesidad concreta, evitando que la solución final responda únicamente a criterios estéticos o subjetivos. Asimismo, dichos requisitos servirán posteriormente como referencia para justificar la arquitectura modular seleccionada, el sistema de encaje, la elección del proceso de fabricación y la evaluación funcional del prototipo.

Estos requisitos condicionan directamente la solución adoptada. En particular, la necesidad de combinar una identidad común con personalización individual conduce a una arquitectura de plataforma modular: una base fija compartida, una placa identificativa modificable y distintos módulos intercambiables. De este modo, el diseño permite mantener una estructura general constante y modificar únicamente las piezas necesarias para adaptar el objeto a cada usuario.

Desde el punto de vista técnico, los requisitos relacionados con fabricación y montaje resultan especialmente relevantes. La elección de fabricación mediante FDM obliga a considerar holguras de encaje, orientación de impresión, necesidad de soportes, espesores mínimos, resolución de relieves y estabilidad dimensional. Por ello, el diseño de cada pieza no se plantea únicamente desde su apariencia final, sino también desde su capacidad para ser fabricada, ensamblada y reproducida con medios disponibles.

Por último, los requisitos económicos y documentales permiten orientar el proyecto hacia una posible producción en series cortas. La modularidad reduce el número de piezas que deben rediseñarse para cada variante, mientras que la documentación técnica facilita la repetibilidad del proceso. En consecuencia, los requisitos establecidos constituyen la base para comparar alternativas de diseño y justificar la propuesta finalmente seleccionada.

3.1.3 Alternativas conceptuales consideradas

Una vez definidos los requisitos de diseño, se plantearon distintas alternativas conceptuales para materializar el objeto conmemorativo. El objetivo de esta fase fue comparar posibles soluciones desde un punto de vista técnico y funcional, considerando no solo su capacidad simbólica, sino también su viabilidad de fabricación, estabilidad, grado de personalización, complejidad geométrica, facilidad de documentación y posible reproducción en series cortas.

La primera alternativa considerada fue una placa conmemorativa plana, basada en un elemento bidimensional con texto, emblemas o relieves superficiales. Esta opción presentaba ventajas desde el punto de vista de la sencillez de fabricación, el bajo coste y la facilidad para incorporar información textual. Sin embargo, su interés técnico resultaba limitado, al tratarse de una solución de escasa complejidad geométrica, sin sistema de ensamblaje y con poca capacidad para representar de forma diferenciada los distintos hitos del recorrido formativo del alumno.

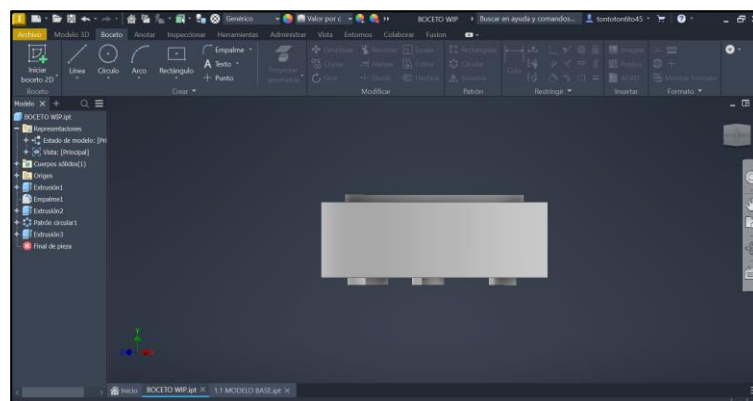


Figura 3-3 Pruebas e idea inicial del soporte [Autoría propia]

También se valoró la posibilidad de diseñar un medallón o insignia conmemorativa. Esta solución permitía concentrar una elevada carga simbólica en una pieza compacta, fácilmente fabricable y con posibilidad de alcanzar un acabado visual adecuado. No obstante, su reducido tamaño limitaba la superficie disponible para incluir información personalizada y dificultaba la integración de varios elementos representativos de la etapa formativa. Por ello, aunque resultaba adecuada como objeto simbólico simple, no respondía de forma suficiente a los requisitos de modularidad, personalización y desarrollo técnico planteados en el trabajo.

Una tercera alternativa consistió en un mural o panel expositivo de mayor tamaño, en el que pudieran integrarse diferentes símbolos, textos o elementos asociados a la Escuela Naval Militar. Esta opción ofrecía una mayor capacidad narrativa, al permitir representar numerosos aspectos de la etapa formativa en una misma superficie. Sin embargo, presentaba inconvenientes relacionados con el volumen, la menor adecuación como objeto individual de sobremesa y la fabricación mediante impresión 3D. Además, su carácter estático reducía la posibilidad de intercambio de elementos y dificultaba su adaptación a distintos usuarios sin modificar de forma significativa el diseño completo.

Otra opción estudiada fue un objeto tridimensional de sobremesa no modular, concebido como una pieza única personalizada para cada usuario. Esta alternativa mejoraba la presencia física del producto y permitía una representación formal más elaborada que una placa plana o un medallón. Sin embargo, al depender de una geometría cerrada, cada variante requeriría modificar una parte importante del modelo CAD, lo que aumentaría el tiempo de diseño, dificultaría la repetibilidad y limitaría su viabilidad para una fabricación en series cortas. Esta solución tampoco resolvía de manera eficiente la necesidad de diferenciar cuerpos, promociones, hitos o experiencias individuales sin rediseñar el conjunto completo.

Finalmente, se planteó una solución basada en un objeto de sobremesa modular, compuesto por una base común, una placa identificativa y una serie de módulos intercambiables. Esta alternativa permitía combinar una identidad institucional común con un alto grado de personalización individual. La base actuaría como soporte estructural y elemento de unidad formal, mientras que los módulos permitirían adaptar el producto al cuerpo de pertenencia, a la promoción, a los datos personales del usuario y a distintos hitos o valores asociados a su recorrido formativo.

Desde el punto de vista técnico, la alternativa modular resultó la más adecuada porque permitía desarrollar una arquitectura de producto compuesta por varias piezas independientes, interfaces de ensamblaje, criterios de tolerancia, compatibilidad dimensional y documentación técnica diferenciada. Además, reducía la necesidad de rediseñar el conjunto completo para cada variante, ya que las modificaciones podían concentrarse en módulos concretos manteniendo una base común. Esta característica resulta especialmente relevante para una posible fabricación en series cortas, donde la repetibilidad, la reducción de tiempos de modelado y la estandarización de componentes son aspectos fundamentales.

Por estos motivos, se seleccionó como concepto final el objeto de sobremesa modular. Esta solución permite abordar el proyecto no como una pieza decorativa aislada, sino como un producto conmemorativo desarrollado mediante criterios de diseño mecánico, fabricación aditiva y personalización. En consecuencia, la alternativa elegida constituye la base para el posterior desarrollo CAD, la definición del sistema de encaje, la evolución de la base hacia una geometría más representativa, la fabricación de prototipos y la evaluación funcional del conjunto.

3.1.4 Criterios de selección de la solución

Para seleccionar la alternativa conceptual más adecuada se definieron una serie de criterios de valoración derivados de los requisitos de diseño establecidos previamente. El objetivo de esta comparación no fue escoger únicamente la opción más atractiva desde el punto de vista visual, sino identificar la solución que integrase de forma más equilibrada la representación institucional, la

personalización individual, la viabilidad de fabricación, el desarrollo técnico y la posibilidad de reproducción en series cortas.

Los criterios empleados fueron los siguientes:

- Capacidad simbólica e institucional: grado en que la solución permite representar la etapa formativa en la Escuela Naval Militar y mantener una estética coherente con el entorno naval-militar.
- Personalización individual: posibilidad de adaptar el producto a cada usuario mediante información identificativa, cuerpo de pertenencia, promoción, empleos, valores o hitos formativos.
- Interés técnico desde el punto de vista de la Ingeniería Mecánica: capacidad de la alternativa para incorporar diseño de piezas, ensamblajes, interfaces, tolerancias, documentación técnica y criterios de fabricación.
- Compatibilidad con fabricación aditiva FDM: facilidad para fabricar la solución mediante impresión 3D por deposición de filamento fundido, considerando dimensiones, voladizos, soportes, espesores mínimos y repetibilidad.
- Estabilidad y funcionalidad como objeto de sobremesa: adecuación del producto para permanecer expuesto de forma estable, legible y segura en condiciones normales de uso.
- Viabilidad económica y reproducción en series cortas: posibilidad de fabricar varias unidades con costes contenidos, reduciendo el tiempo de rediseño y aprovechando componentes comunes.

A partir de estos criterios, las alternativas planteadas se compararon de forma cualitativa. La placa conmemorativa plana y el medallón presentaban una fabricación sencilla y un coste reducido, pero su aportación técnica era limitada, al no requerir un sistema de ensamblaje ni permitir un desarrollo relevante de interfaces, tolerancias o variantes. El mural o panel expositivo ofrecía mayor capacidad narrativa, pero presentaba inconvenientes relacionados con el tamaño, la integración como objeto individual de sobremesa y la fabricación mediante FDM. Por su parte, el objeto tridimensional de sobremesa no modular mejoraba la presencia física y el interés formal, pero obligaba a rediseñar gran parte del modelo CAD para cada usuario o variante.

La alternativa modular fue la que presentó un equilibrio más favorable entre los distintos criterios. En primer lugar, permitía conservar una base común asociada a la identidad institucional de la ENM, manteniendo una composición reconocible y coherente. En segundo lugar, hacía posible incorporar personalización individual mediante una placa identificativa y módulos intercambiables. En tercer lugar, aportaba mayor contenido técnico al proyecto, al requerir la definición de piezas independientes, alojamientos, holguras, interfaces de montaje, ensamblaje virtual, fabricación diferenciada de componentes y documentación técnica.

Desde el punto de vista de fabricación, la arquitectura modular también resultaba ventajosa. Al dividir el conjunto en varias piezas, se facilita la impresión de componentes de menor tamaño, se reducen los riesgos asociados a impresiones largas y se permite repetir o sustituir únicamente aquellos módulos que presenten defectos o requieran modificación. Asimismo, la existencia de una base común permite mantener constante la arquitectura principal del diseño y concentrar la variación en elementos secundarios, lo que resulta adecuado para una posible producción en series cortas.

La selección de la solución modular responde, por tanto, a una combinación de criterios simbólicos, funcionales, técnicos y económicos. Esta alternativa permite abordar el objeto conmemorativo como una plataforma de producto adaptable, fabricable y documentable, y no únicamente como una pieza decorativa individual. Además, su arquitectura permite introducir posteriores mejoras en la base o en los módulos sin modificar completamente el conjunto, lo que refuerza su interés como solución evolutiva.

En consecuencia, la solución seleccionada para el desarrollo del TFG es un objeto conmemorativo de sobremesa basado en una arquitectura modular, compuesto por una base común, una placa identificativa personalizable y distintos módulos intercambiables. Esta configuración permite integrar identidad institucional, personalización, fabricación aditiva y desarrollo técnico en una misma propuesta de diseño.

3.2 Diseño mediante software CAD

El diseño del objeto conmemorativo se desarrolló mediante modelado tridimensional en Autodesk Inventor, empleando una metodología basada en piezas independientes y ensamblaje final del conjunto. Esta forma de trabajo resulta adecuada para un producto modular, ya que permite definir por separado la base, la placa identificativa, los módulos principales y los módulos secundarios, comprobando posteriormente su integración en un ensamblaje común.

El empleo de CAD paramétrico permitió controlar las dimensiones principales de cada pieza, definir alojamientos y superficies de contacto, establecer holguras de montaje y verificar la compatibilidad entre componentes antes de la fabricación mediante impresión 3D. De este modo, el modelo digital no se utilizó únicamente como representación visual del objeto, sino como herramienta de diseño mecánico para asegurar la coherencia geométrica, la repetibilidad de los módulos y la generación posterior de documentación técnica.

Para evitar una exposición meramente descriptiva del proceso de modelado, en los apartados siguientes se presentan las piezas principales del conjunto atendiendo a su función dentro del producto, su relevancia técnica y su integración con el resto de los componentes.

3.2.1 Arquitectura general del conjunto

El objeto conmemorativo se organiza como un sistema modular compuesto por cuatro grupos principales de elementos: base, placa identificativa, módulo principal y módulos secundarios intercambiables. La base actúa como elemento estructural y soporte común; la placa identificativa permite introducir información personalizada del usuario; el módulo principal diferencia la variante correspondiente al Cuerpo General de la Armada o a la Infantería de Marina; y los módulos secundarios permiten representar hitos, valores, empleos o experiencias asociadas al recorrido formativo del alumno.

Esta arquitectura permite mantener una plataforma común y concentrar la personalización en piezas intercambiables. Desde el punto de vista técnico, esta decisión reduce el número de componentes que deben rediseñarse para cada usuario, facilita la fabricación en series cortas y permite sustituir o modificar módulos concretos sin alterar la estructura general del producto.

La integración de los componentes se realiza mediante alojamientos y encajes por inserción definidos en la base. Estos encajes se diseñaron considerando las limitaciones propias de la impresión 3D FDM, especialmente en lo relativo a holguras, repetibilidad dimensional, orientación de impresión y posibles desviaciones asociadas al material. Por ello, la arquitectura del conjunto no depende de adhesivos ni tornillería, sino de interfaces geométricas simples que permiten el montaje y desmontaje de los módulos.

En la versión final, esta arquitectura modular se organiza de forma jerarquizada. Los módulos secundarios permiten representar hitos, valores o experiencias concretas del recorrido formativo, mientras que el módulo principal ocupa una posición superior y actúa como elemento de coronación simbólica del conjunto. De este modo, la personalización no se basa únicamente en la acumulación de módulos, sino en la selección y ordenación de elementos con distinta relevancia dentro de la composición final.

3.2.2 Diseño de la base modular inicial y evolución a base monumental

La base constituye el componente principal del conjunto, ya que organiza la posición del resto de piezas y garantiza la estabilidad del objeto como elemento de sobremesa. En una primera fase se

desarrolló una base modular inicial, concebida para validar la disposición de los alojamientos, la compatibilidad de los encajes y la estabilidad general del conjunto.

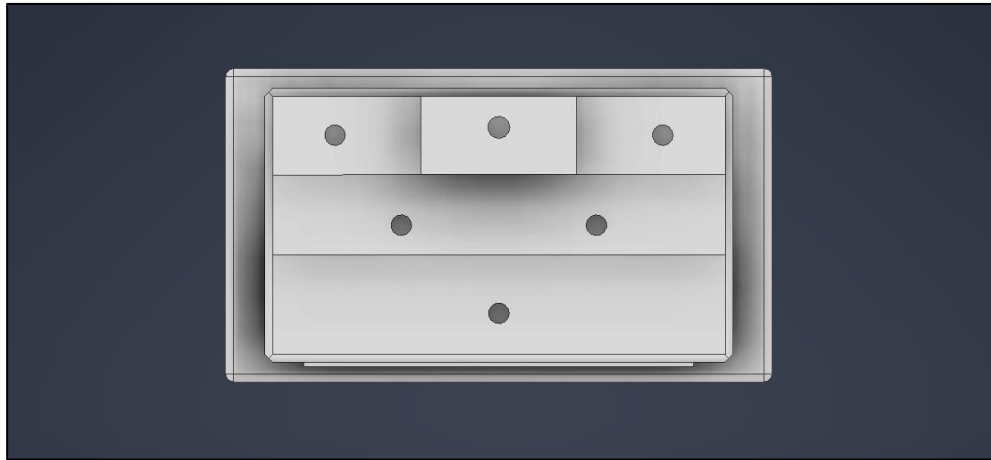


Figura 3-4 Base modular inicial con alojamientos [Autoría propia]

Esta primera versión permitió comprobar la viabilidad del concepto modular y verificar que los módulos podían insertarse y sustituirse manteniendo una disposición ordenada. Sin embargo, desde el punto de vista formal, su geometría resultaba más sencilla y no aprovechaba plenamente la posibilidad de reforzar la relación simbólica con el entorno de la Escuela Naval Militar.

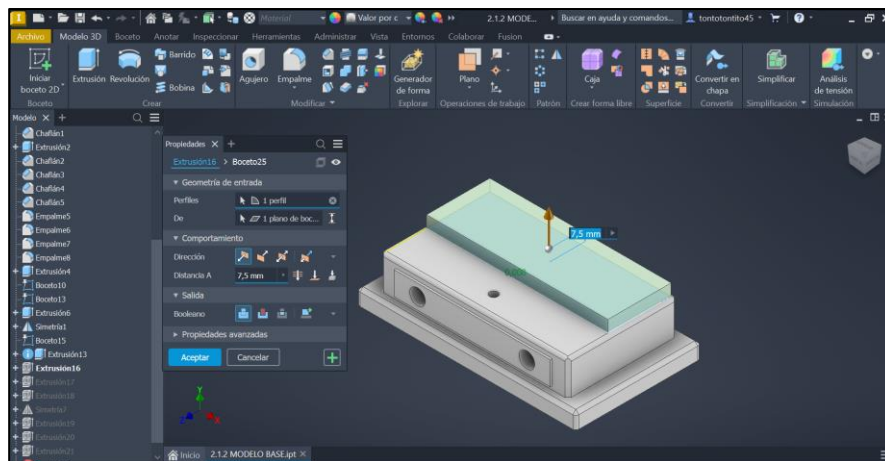


Figura 3-5 Proceso de modelado de la base [Autoría propia]

A partir de esta primera iteración se desarrolló una segunda versión (Figura 3-6), denominada base monumental. El rediseño introduce mayor volumen, una composición más elaborada y una lectura visual más próxima al elemento arquitectónico de referencia.

Durante esta evolución se revisó también la distribución de alojamientos. La base modular inicial se planteó como una solución de validación funcional, con una disposición orientada a comprobar el intercambio de módulos. En cambio, la base monumental final adopta una composición más compacta y jerarquizada, formada por un alojamiento superior para el módulo principal y cuatro alojamientos destinados a módulos secundarios. Esta reorganización permite mejorar la proporción general del conjunto, evitar una saturación visual excesiva y reforzar la lectura simbólica del módulo principal como culminación del recorrido formativo.

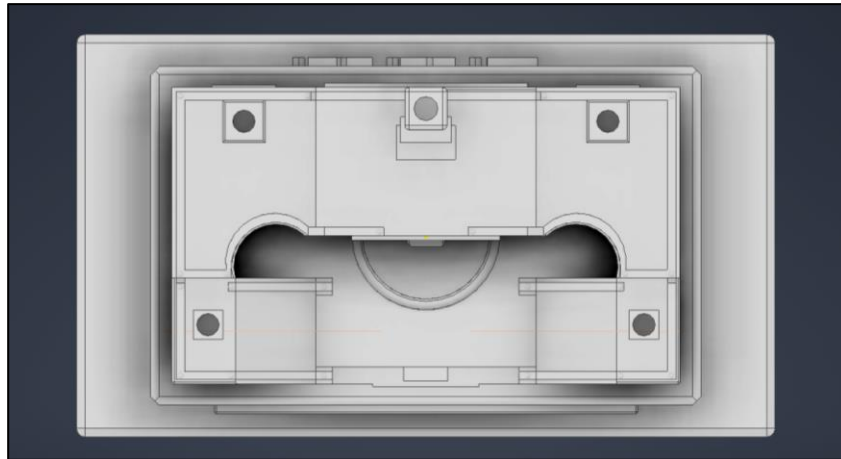


Figura 3-6 Modelo CAD de la base monumental en Autodesk Inventor [Autoría propia]

El incremento de masa asociado a la base monumental se considera asumible, ya que contribuye a mejorar la sensación de robustez y la estabilidad del conjunto. Además, la mayor complejidad geométrica y mayor nivel de detalle permite responder mejor al objetivo del proyecto, al integrar en una misma pieza soporte estructural, organización modular y referencia simbólica a la Escuela Naval Militar.

3.2.3 Diseño de la placa identificativa

La placa identificativa, mostrada en la Figura 3-7, se modeló como una pieza independiente del conjunto. Esta decisión permite modificar la información personalizada del usuario, como el nombre, la promoción o el año, sin alterar la geometría de la base ni del resto de módulos.

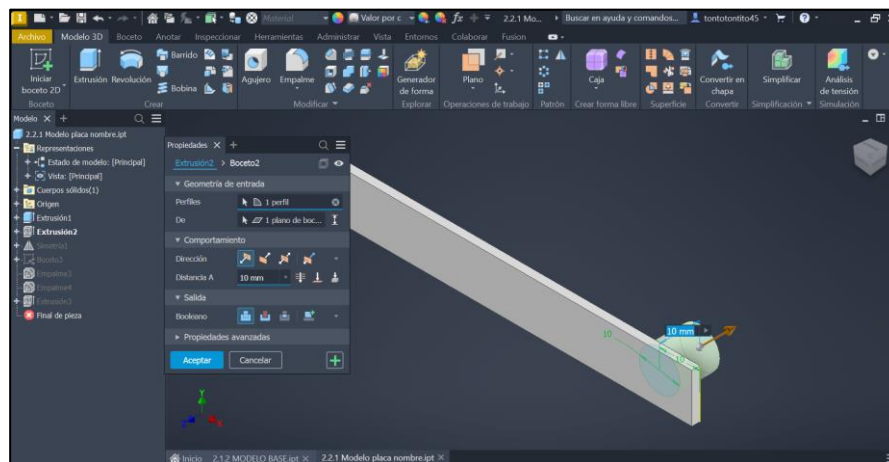


Figura 3-7 Proceso de modelado de la placa identificativa [Autoría propia]

El texto se generó mediante herramientas de boceto y operaciones de relieve, adaptando sus dimensiones a la superficie disponible de la placa para asegurar su legibilidad tras la fabricación mediante impresión 3D. Asimismo, se incorporaron pivotes de inserción con aristas suavizadas, con el fin de facilitar el acoplamiento de la placa en los alojamientos correspondientes de la base.

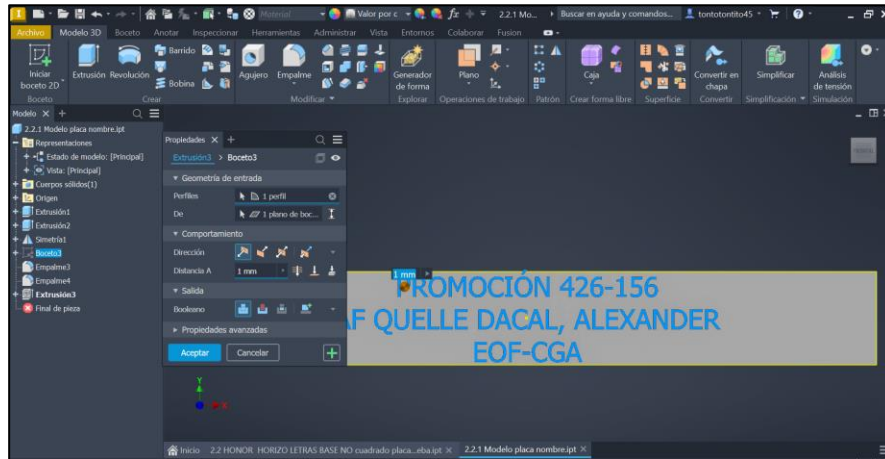


Figura 3-8 Extrusión de letras de la placa identificativa [Autoría propia]

La placa se desarrolló con dimensiones compatibles con la zona frontal de la base y con un sistema de inserción ajustado a las tolerancias previstas para impresión 3D en PLA.

La placa cumple, por tanto, una doble función: por un lado, permite identificar de forma individualizada el objeto; por otro, refuerza la personalización del conjunto.

3.2.4 Creación de módulos intercambiables principales (ancla CGA/IM)

Los módulos principales se sitúan en la parte superior del conjunto y constituyen el elemento de diferenciación entre las variantes correspondientes al Cuerpo General de la Armada y a la Infantería de Marina. Ambos módulos se diseñaron a partir de una interfaz común, de forma que pudieran insertarse en el mismo alojamiento de la base sin modificar el resto del conjunto.

La variante correspondiente al Cuerpo General de la Armada se basa en el ancla como elemento principal. Por su parte, la variante de Infantería de Marina mantiene la misma geometría de referencia e incorpora fusiles cruzados como elemento diferenciador, reproduciendo de forma simplificada el emblema característico de dicho cuerpo. Este planteamiento permite conservar unidad formal entre ambas versiones, al mismo tiempo que introduce una diferenciación simbólica clara.

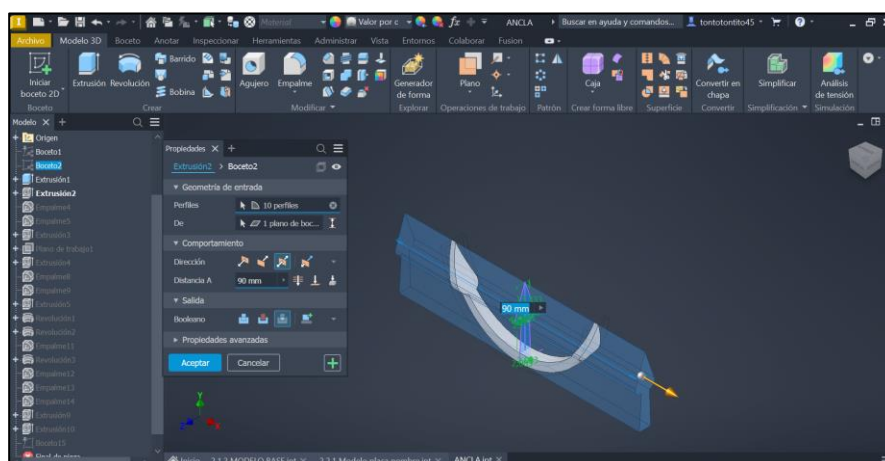


Figura 3-9 Proceso de modelado de la parte inferior del ancla 1 [Autoría propia]

Durante el diseño del módulo principal se incorporó un saliente inferior destinado a actuar como elemento de inserción en el alojamiento correspondiente de la base. Además, se añadió un resalte de apoyo que funciona como tope, permitiendo controlar la profundidad de inserción y mejorar la estabilidad del módulo una vez montado. La geometría inferior se adaptó mediante pequeñas curvaturas

y superficies suavizadas para facilitar el montaje y mantener la coherencia visual con el resto del conjunto.

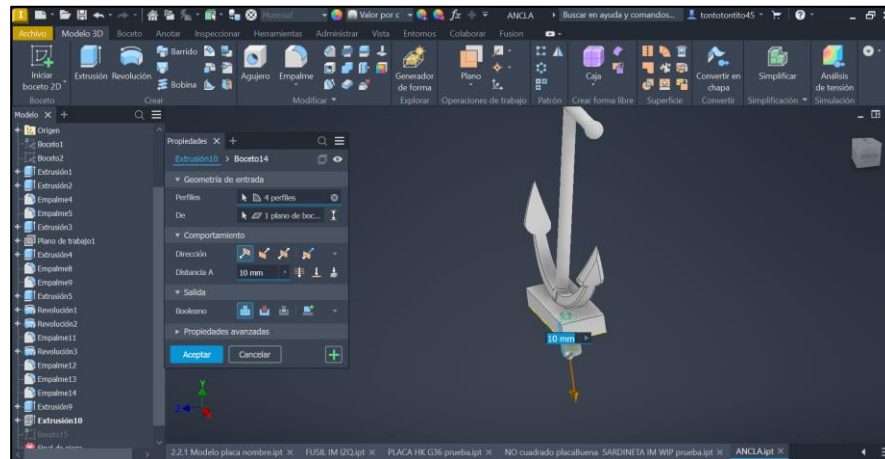


Figura 3-10 Proceso de modelado de la parte inferior del ancla 2 [Autoría propia]

El módulo correspondiente al Cuerpo General de la Armada se desarrolló a partir de un modelado independiente del ancla, tomando como referencia formal el símbolo presente en el emblema de la Armada. Su geometría se adaptó a las dimensiones generales del conjunto, a la escala de fabricación mediante impresión 3D y a la necesidad de conservar una lectura visual clara tras el proceso FDM.

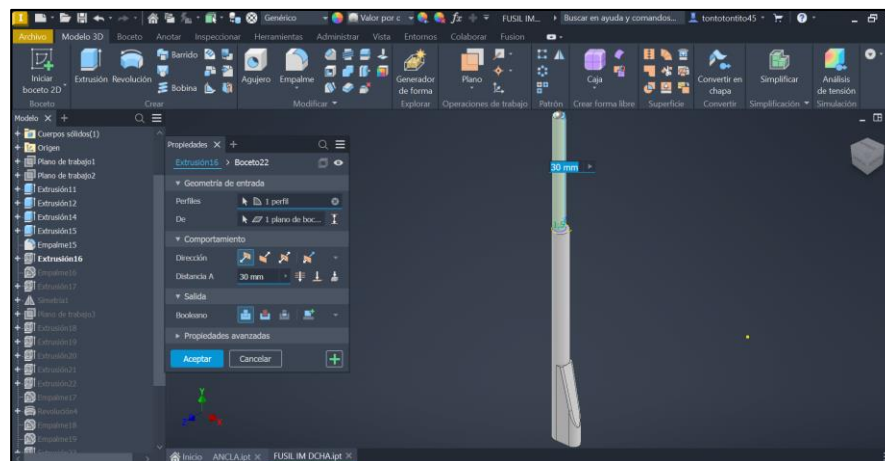


Figura 3-11 Proceso de modelado de la parte inferior del fusil para el ancla de IM [Autoría propia]

Para la variante de Infantería de Marina se modelaron los fusiles tomando como referencia formal el fusil Mauser empleado en actos y desfiles de la ENM. Estos elementos se diseñaron mediante bocetos 2D y operaciones sucesivas de extrusión, simplificando la geometría original para hacerla compatible con la escala del módulo y con las limitaciones propias de la impresión 3D.

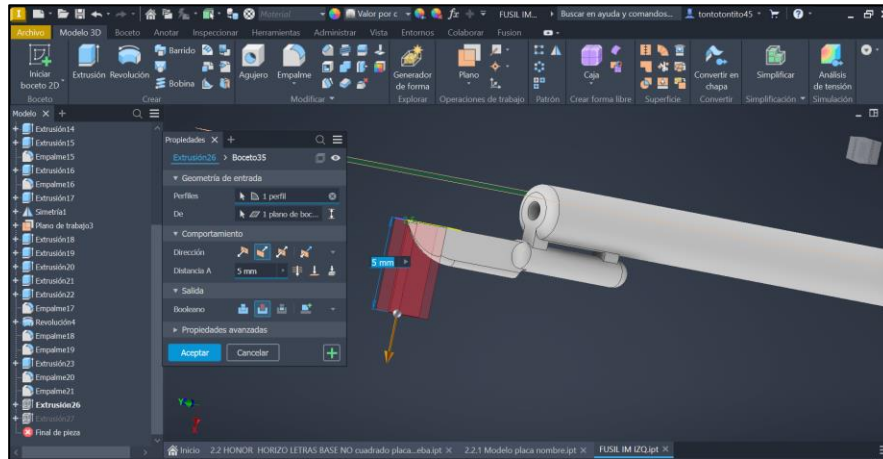


Figura 3-12 Detalle del machete del fusil de IM [Autoría propia].

Una vez finalizado el modelado del fusil, este se duplicó y se dispuso de forma cruzada sobre el ancla para generar la variante correspondiente a Infantería de Marina. De este modo, se obtuvo un módulo principal diferenciado respecto a la versión del Cuerpo General, pero manteniendo la misma interfaz de inserción, dimensiones de montaje y coherencia formal dentro del conjunto modular.

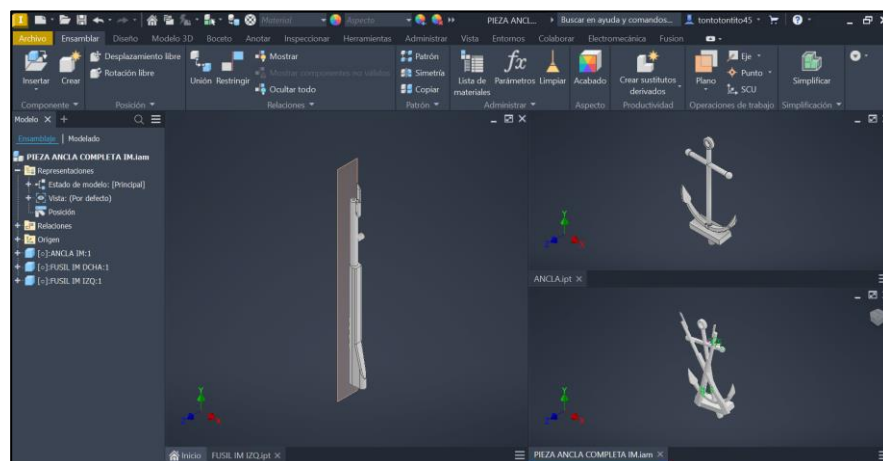


Figura 3-13 Módulos principales CGA e IM y modelo del fusil Mauser empleado [Autoría propia]

3.2.5 Diseño de los módulos intercambiables secundarios

Los módulos secundarios se diseñaron como piezas intercambiables destinadas a representar hitos, valores, empleos o experiencias asociadas a la etapa formativa del alumno en la Escuela Naval Militar. Todos ellos parten de una geometría base común, manteniendo constante la interfaz de acoplamiento con la base y modificando únicamente la simbología superior.

Esta solución permite generar múltiples configuraciones a partir de una misma plataforma dimensional. Los módulos pueden adaptarse a distintos recorridos formativos sin modificar la estructura principal del objeto, lo que facilita la personalización y la fabricación en series cortas. Desde el punto de vista técnico, el uso de una plantilla común favorece la repetibilidad, simplifica la documentación técnica y permite mantener criterios dimensionales homogéneos entre piezas.

El primer grupo corresponde a los módulos asociados a hitos o símbolos formativos, como la Cruz de Borgoña, el buque escuela Juan Sebastián de Elcano, las sardinetas de Infantería de Marina u otros elementos representativos de la etapa en la ENM. Estos módulos se desarrollaron mediante bocetos 2D y operaciones de extrusión o relieve, adaptando cada símbolo a la escala disponible y a las limitaciones propias de la impresión 3D.

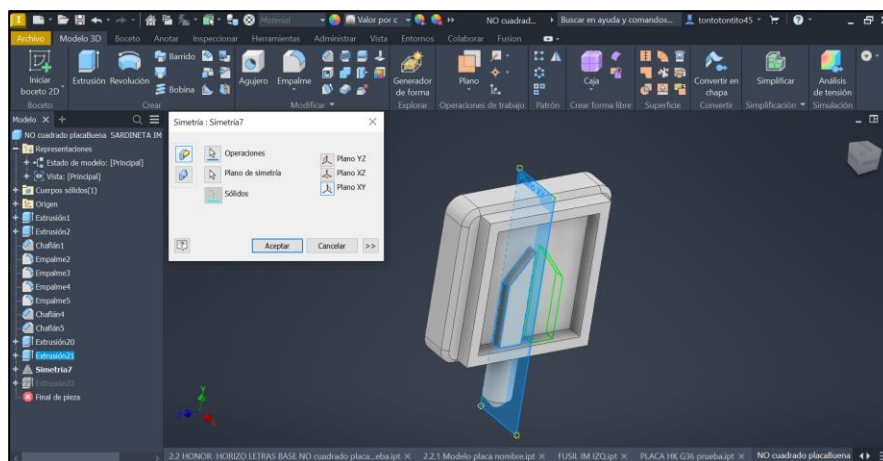


Figura 3-14 Proceso de modelado de módulo secundario de sardinetas [Autoría propia]

El segundo grupo está formado por módulos con textos en relieve, orientados a representar valores de la ENM. Su modelado siguió un procedimiento similar al empleado en la placa identificativa, aunque adaptado a un formato de menor tamaño. En este caso, se priorizó la legibilidad del texto y la correcta definición del relieve, con el fin de que el mensaje pudiera apreciarse adecuadamente tras la fabricación mediante FDM.

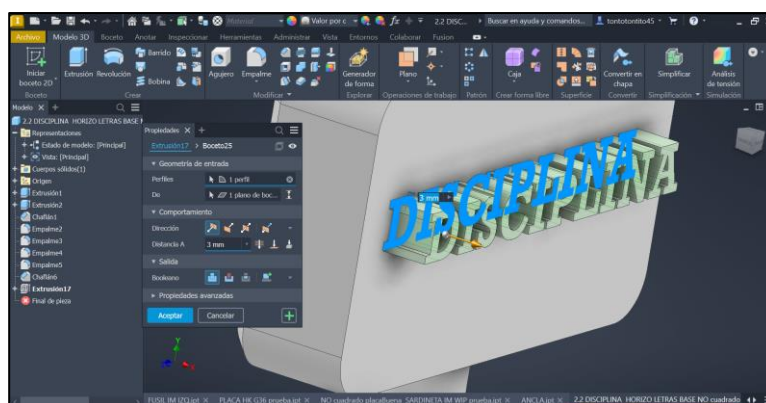


Figura 3-15 Proceso de modelado de módulo secundario de valores ENM [Autoría propia]

El tercer grupo corresponde a los módulos asociados a los empleos de la ENM, representados mediante palas simplificadas. Para su desarrollo se emplearon bocetos simétricos, planos auxiliares y operaciones de extrusión, buscando una geometría reconocible y compatible con el tamaño de los módulos secundarios. La simplificación de estos elementos permitió mantener una lectura visual clara y evitar detalles excesivamente finos que pudieran dificultar la fabricación.

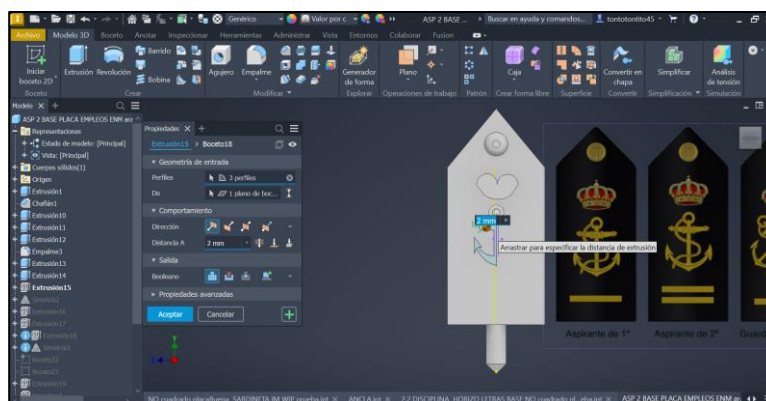


Figura 3-16 Proceso de modelado de palas de empleos ENM [Autoría propia]

Como resultado, se obtuvieron distintos tipos de módulos secundarios compatibles con una misma base de inserción, lo que permite combinar símbolos, valores y empleos dentro de la arquitectura modular del objeto.

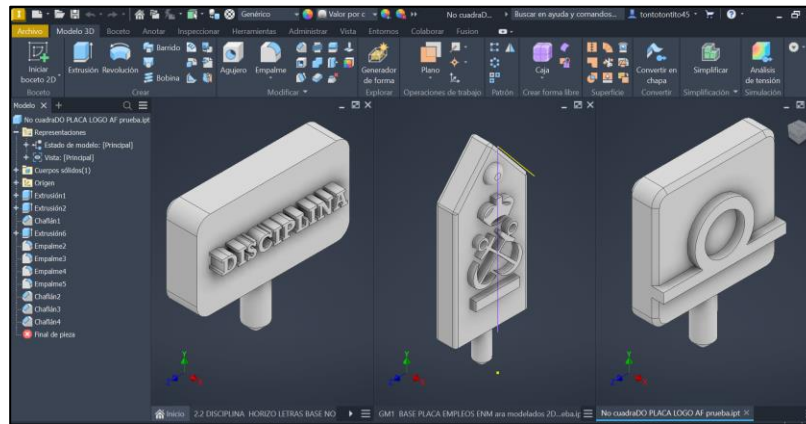


Figura 3-17 Muestra de los tres tipos de módulos secundarios finales [Autoría propia]

Durante el modelado de estos módulos se tuvieron en cuenta las limitaciones del proceso FDM, especialmente en relación con el espesor mínimo de los relieves, la legibilidad de detalles, la orientación de impresión y la resistencia de elementos pequeños. Por ello, las geometrías se simplificaron cuando fue necesario, con el objetivo de asegurar su fabricación y conservar una lectura visual adecuada en el prototipo final.

3.3 Proceso de fabricación aditiva

Una vez definido el modelo CAD del objeto conmemorativo, se procedió a la fabricación de prototipos mediante tecnologías de fabricación aditiva. El proceso principal seleccionado fue la impresión 3D FDM en PLA, empleando una impresora Bambu Lab P1P y el software Bambu Studio para la preparación de las piezas. Esta elección se justifica por la disponibilidad del equipo, la facilidad de impresión del material, la rapidez del proceso, el bajo coste y la adecuación del PLA para validar geometrías, comprobar encajes, evaluar la estabilidad del conjunto y verificar la legibilidad de relieves y textos.

La fabricación se planteó como una fase de validación funcional del diseño, no como una producción industrial definitiva. Por ello, los parámetros de impresión se seleccionaron atendiendo a la función de cada pieza: estabilidad y rigidez en la base, definición de detalle en placas y módulos, compatibilidad dimensional en los encajes y reducción de soportes innecesarios. De este modo, el proceso de impresión permitió comprobar en piezas físicas aspectos que no pueden evaluarse completamente en el entorno CAD, como el ajuste real entre componentes, la facilidad de montaje, el acabado superficial y la percepción visual del conjunto.

De forma complementaria, se realizaron pruebas con otros materiales y tecnologías de fabricación. En concreto, se fabricó una base monumental en ABS mediante una impresora Bambu Lab X1 Carbon, con el fin de valorar una alternativa con mayor resistencia térmica y mejor comportamiento potencial frente a determinadas condiciones ambientales. Asimismo, se fabricó una versión de la base mediante impresión de resina empleando una impresora Elegoo y el software Chitubox. En este caso, debido a las limitaciones de volumen de impresión, fue necesario reducir la escala del modelo a 1:2, por lo que la prueba se considera principalmente orientada a comparar acabado y nivel de detalle.

A partir de estas pruebas, el PLA se mantuvo como material principal para el prototipo completo, al ofrecer el equilibrio más adecuado entre facilidad de fabricación, repetibilidad, tiempo de impresión, coste y suficiencia funcional para un objeto de sobremesa destinado a exposición interior. Las pruebas con ABS y resina se interpretan como alternativas complementarias que permiten valorar posibles

mejoras futuras, pero no sustituyen al proceso principal seleccionado para el desarrollo del prototipo final.

3.3.1 Material principal de prototipado: PLA

Para la fabricación del prototipo principal del objeto conmemorativo se empleó PLA, ácido poliláctico, como material de referencia. Su elección se justifica por su facilidad de impresión, buena estabilidad dimensional, baja tendencia al alabeo, disponibilidad en el laboratorio y calidad superficial suficiente para piezas de sobremesa destinadas a exposición interior. Estas características lo convierten en un material adecuado para validar la geometría del conjunto, comprobar los encajes, evaluar la legibilidad de los relieves y verificar el montaje de los distintos módulos [19][23].

La selección del PLA debe entenderse dentro del alcance del presente TFG, orientado al prototipado y a la validación funcional del diseño. Aunque el PLA no constituye necesariamente el material más adecuado para aplicaciones sometidas a radiación solar directa, temperaturas elevadas, humedad o ambientes exteriores prolongados, dichas condiciones no se consideran críticas para el uso previsto del objeto. El producto se concibe como un elemento conmemorativo de sobremesa, destinado principalmente a exposición interior en un despacho, vitrina o estancia similar, donde las solicitaciones mecánicas y ambientales son reducidas.



Figura 3-18 Representación esquemática del PLA [Autoría propia mediante IA]

No obstante, en caso de plantearse una versión destinada a condiciones más exigentes, materiales como ABS, ASA, PETG o poliamidas podrían ofrecer mejores prestaciones en términos de resistencia térmica, comportamiento frente al impacto o durabilidad ambiental [34][35]. Esta consideración resulta relevante para futuras iteraciones del producto, especialmente si se pretendiera aumentar su vida útil en entornos con mayor exposición solar, humedad o variaciones térmicas.

Para la fase de desarrollo del producto, el PLA presenta ventajas relevantes frente a materiales más exigentes. Permite realizar iteraciones rápidas, reduce la probabilidad de fallos de impresión, facilita el ajuste de tolerancias y ofrece una relación adecuada entre coste, acabado superficial, repetibilidad y tiempo de fabricación. Por estos motivos, se adoptó como material principal para la fabricación del prototipo completo. Las pruebas realizadas con ABS y resina se consideran complementarias y permiten valorar alternativas de mejora, pero no sustituyen al PLA como material más adecuado para la fase de prototipado rápido desarrollada en este trabajo.

3.3.2 Impresora empleada: Bambu Lab P1P

Para la fabricación principal de los prototipos en PLA se empleó una impresora Bambu Lab P1P, basada en tecnología FDM. Su elección se justifica por la disponibilidad del equipo en el entorno de trabajo, su volumen útil de fabricación, la rapidez del proceso, la repetibilidad obtenida y su adecuación a piezas modulares fabricadas en PLA. Estas características resultan coherentes con el objetivo del

presente TFG, orientado a obtener un prototipo completo, funcional y representativo del diseño desarrollado.

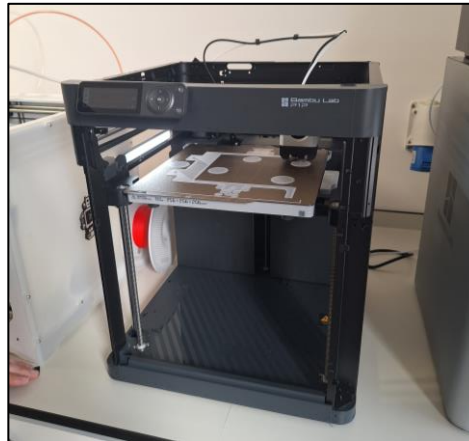


Figura 3-19 Impresora 3D Bambu Lab P1P del laboratorio del CUD [Autoría propia]

Según las especificaciones del fabricante, la Bambu Lab P1P dispone de un volumen de fabricación de $256 \times 256 \times 256$ mm, suficiente para imprimir la mayoría de los componentes del objeto sin necesidad de dividir excesivamente las piezas [20]. Este aspecto resulta especialmente relevante en el caso de la base y de los módulos principales, ya que permite mantener la continuidad geométrica del diseño y reducir operaciones posteriores de unión o ensamblaje entre partes impresas por separado.

Especificación	Valor
Tecnología de impresión	FDM
Volumen máximo de impresión (X × Y × Z)	$256 \times 256 \times 256$ mm
Diámetro de filamento compatible	1,75 mm
Tipo de arquitectura	CoreXY
Hotend	All-metal
Temperatura máxima del hotend	300 °C
Material de boquilla	Acero inoxidable
Diámetro de boquilla (incluida)	0,4 mm
Boquillas opcionales	0,2 / 0,6 / 0,8 mm
Temperatura máxima de cama	100 °C
Superficie de impresión (incluida)	Placa PEI texturizada de doble cara
Superficies de impresión compatibles (opcionales)	Cool Plate / Engineering Plate / High Temperature Plate
Velocidad máxima del cabezal	500 mm/s
Aceleración máxima del cabezal	20 m/s ²
Materiales recomendados (ideal)	PLA, PETG, TPU, PVA, PET

Especificación	Valor
Materiales posibles (requiere cerramiento)	PA, PC, ABS, ASA
Materiales no recomendados	Polímeros reforzados con fibra de carbono/vidrio

Tabla 3-1 Características de impresora Bambu Lab P1P [22]

Desde el punto de vista técnico, el empleo de una impresora FDM resulta adecuado para este proyecto porque permite fabricar por separado la base, la placa identificativa, el módulo principal y los módulos secundarios. Esta fabricación independiente facilita la sustitución de piezas, la repetición de componentes defectuosos y la realización de iteraciones sucesivas sin necesidad de rehacer el conjunto completo. Además, se adapta correctamente a la arquitectura modular definida en el diseño CAD.

Aunque la P1P admite distintos materiales, el PLA se seleccionó como material principal por su facilidad de impresión, baja tendencia al alabeo y compatibilidad con perfiles de fabricación estables. Otros materiales, como ABS o ASA, pueden ofrecer mejores prestaciones frente a temperatura o condiciones ambientales exigentes, pero requieren mayor control térmico y, preferentemente, equipos cerrados o condiciones de impresión más controladas. Por ello, su uso se reservó para pruebas complementarias, mientras que la P1P con PLA se mantuvo como solución principal para el prototipado completo.

Como complemento al hardware, el flujo de fabricación se apoyó en Bambu Studio, software de laminado del entorno Bambu. Este programa permitió importar los modelos, orientar las piezas, definir los parámetros de impresión, generar soportes cuando fue necesario, estimar tiempos y consumo de material, y comprobar visualmente la trayectoria de fabricación antes de iniciar la impresión. Esta fase resulta especialmente importante en piezas con alojamientos, relieves o zonas de inserción, ya que permite anticipar posibles problemas y ajustar la preparación del modelo antes de fabricar.

Bambu Studio está basado en PrusaSlicer, derivado a su vez de Slic3r, lo que proporciona un entorno de laminado contrastado dentro de la impresión FDM [21]. En el presente trabajo se empleó principalmente por su integración directa con la impresora Bambu Lab P1P, la disponibilidad de perfiles preconfigurados para PLA y la facilidad para realizar ajustes de forma iterativa durante el desarrollo del prototipo.

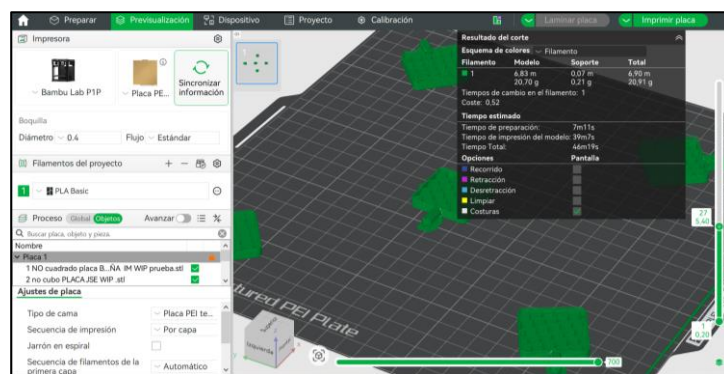


Figura 3-20 Laminado de piezas en Bambu Studio [Autoría propia]

3.3.3 Preparación de los modelos en Bambu Studio

Una vez finalizado el modelado CAD, cada componente se exportó desde Autodesk Inventor en un formato compatible con el software de laminado, empleándose principalmente archivos STL por motivos de compatibilidad con el flujo de impresión utilizado. Posteriormente, los modelos se importaron en Bambu Studio para su preparación previa a la fabricación mediante la impresora Bambu Lab P1P.

Esta fase resulta fundamental, ya que permite adaptar el modelo digital a las condiciones reales de impresión. En Bambu Studio se comprobó la escala de cada pieza, su posición dentro del volumen útil de fabricación, la orientación sobre la cama, la necesidad de soportes y la configuración general del proceso. De este modo, el laminado no se planteó como una conversión automática del archivo CAD, sino como una etapa de ajuste técnico previa a la fabricación física.

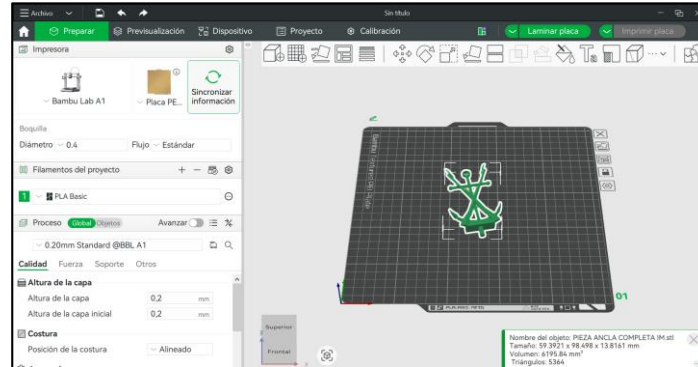


Figura 3-21 Preparación de modelados en Bambu Lab [Autoría propia]

En primer lugar, se definió la orientación de cada componente buscando un equilibrio entre estabilidad de impresión, calidad superficial y funcionalidad de las zonas de encaje. En el caso de la base, se priorizó una posición estable sobre la cama que redujese deformaciones y evitase soportes en superficies funcionales. En la placa identificativa y en los módulos, se prestó especial atención a las caras visibles, a la legibilidad de relieves y textos, y a la correcta definición de los detalles.

A continuación, se ajustaron los principales parámetros de fabricación. La altura de capa se seleccionó considerando el compromiso entre definición superficial y tiempo de impresión. El número de perímetros y el porcentaje de relleno se configuraron atendiendo a la rigidez necesaria de cada pieza y al consumo de material. Asimismo, se revisaron los parámetros de soporte, incluyendo tipo, densidad e interfaz, especialmente en aquellas geometrías con voladizos o zonas susceptibles de fallo durante la impresión.

En las piezas que lo requerían se empleó soporte arbolado, al permitir sostener voladizos con menor consumo de material y facilitar su retirada frente a soportes convencionales. No obstante, su uso se limitó o se orientó de forma que no afectase a las superficies de encaje ni a las zonas visibles principales, ya que la retirada de soportes puede provocar ligeras marcas o pérdida de acabado superficial en determinadas caras.

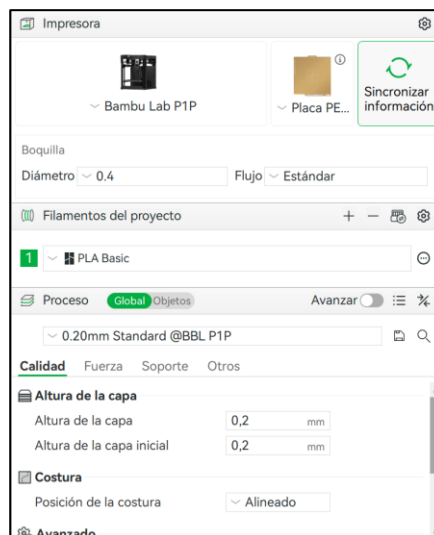


Figura 3-22 Parámetros de impresión modificables en Bambu Studio [Autoría propia]

Para las piezas fabricadas en PLA se utilizó un perfil de filamento específico, manteniendo una configuración orientada a la estabilidad dimensional y a la repetibilidad del proceso. Se controlaron los parámetros térmicos principales, como la temperatura de boquilla y de cama, así como las condiciones de adhesión a la superficie de impresión. Esta configuración permitió reducir el riesgo de alabeo, mejorar la regularidad dimensional de las piezas y facilitar el ajuste posterior de los encajes.

Antes de iniciar cada impresión se revisó la vista de laminado generada por Bambu Studio, comprobando la trayectoria de las capas, el tiempo estimado de fabricación, el consumo de material y la posible aparición de zonas problemáticas. Esta información resultó útil para comparar variantes, planificar la fabricación de cada componente y alimentar la estimación económica del prototipo, especialmente en piezas como la base, el módulo principal y los módulos secundarios.

El uso de Bambu Studio facilitó también la fabricación modular del conjunto. Al tratarse de piezas independientes, fue posible repetir únicamente aquellos componentes que presentasen defectos, modificar módulos concretos y realizar ajustes sucesivos en las tolerancias de encaje sin necesidad de rehacer el objeto completo. Por tanto, esta fase de preparación contribuyó directamente a la repetibilidad del proceso y a la validación física del diseño modular.

3.3.4 Parámetros de impresión (PLA – Bambu Lab P1P)

Para la fabricación de los prototipos principales en PLA se definió un conjunto de parámetros base en Bambu Studio, adaptados a las características de cada pieza. Estos parámetros no se plantearon como una configuración única e invariable, sino como un perfil de partida ajustado según la función del componente, su geometría, la presencia de relieves, la necesidad de soportes y la importancia de las superficies de encaje.

Parámetro	Valor empleado / criterio aplicado
Boquilla	0,4 mm
Altura de capa	0,20 mm general / 0,16 mm en placas o piezas con texto y relieve
Anchura de línea	0,42 mm
Perímetros	3 paredes
Capas superiores / inferiores	5 / 5
Patrón de superficie superior	Línea continua, priorizando uniformidad visual
Patrón de superficie inferior	Monotónico, favoreciendo regularidad en la cara de apoyo
Relleno sólido	Rectilíneo
Relleno poco denso	Rejilla
Porcentaje de relleno poco denso	15 % general / hasta 20 % en la base si se requiere mayor rigidez
Velocidad	Perfil Standard, priorizando estabilidad y acabado
Soportes	Solo cuando la geometría lo requiere
Tipo de soporte	Arbolado preferente / normal según geometría
Ángulo de voladizo	55°
Interfaz de soporte	Activada cuando resulta necesaria

Adhesión a la cama	Brim de 5 mm en piezas con riesgo de despegue
Temperatura de boquilla	210 °C
Temperatura de cama	55 °C
Ventilación	100 % a partir de la tercera capa
Retracción	Perfil de Bambu Studio, sin modificación específica
Holgura para encajes	0,2 mm

Tabla 3-2 Parámetros base empleados para la impresión 3D en PLA mediante Bambu Lab P1P [Autoría propia]

El número de perímetros, las capas superiores e inferiores y el porcentaje de relleno se definieron atendiendo a la función de cada componente. De forma general se emplearon tres perímetros y cinco capas superiores e inferiores, valores suficientes para proporcionar rigidez exterior, mejorar el acabado de las superficies visibles y evitar que el patrón interno de relleno se apreciase en la pieza terminada.

En las superficies superiores se empleó un patrón de línea continua, priorizando la uniformidad visual y la regularidad del acabado en las caras vistas del objeto. En las superficies inferiores se utilizó un patrón monotónico, adecuado para obtener una cara de apoyo ordenada y regular sobre la cama de impresión. Para el relleno sólido se empleó un patrón rectilíneo, por tratarse de una solución estable, rápida y predecible en zonas macizas o próximas a superficies exteriores.

El relleno poco denso se configuró principalmente con patrón de rejilla y un porcentaje general del 15 %. Esta configuración permite reducir el consumo de material y el tiempo de fabricación manteniendo una rigidez suficiente para piezas de carácter expositivo y con bajas solicitaciones mecánicas. En el caso de la base, al tratarse del elemento de soporte del conjunto, se contempló un aumento del relleno hasta el 20 % cuando fue necesario mejorar la rigidez, la estabilidad y la sensación de robustez del objeto.

La elección de estos patrones responde, por tanto, a un compromiso entre acabado superficial, estabilidad dimensional, tiempo de impresión y consumo de material. En un objeto conmemorativo de sobremesa, donde las cargas previstas son reducidas, no resulta necesario emplear porcentajes de relleno elevados. Sin embargo, sí es importante asegurar una buena calidad exterior, una base suficientemente rígida y un comportamiento dimensional repetible en las zonas de encaje.



Figura 3-23 Impresora formando patrón de rejilla [Autoría propia]

En relación con la velocidad de impresión, se empleó el perfil Standard de Bambu Studio, evitando configuraciones orientadas exclusivamente a reducir tiempos. Esta decisión se adoptó para favorecer la repetibilidad, limitar defectos superficiales y mejorar la precisión dimensional en zonas de encaje.

Aunque la impresora permite velocidades elevadas, en este trabajo se priorizó la fiabilidad del proceso y la calidad del prototipo frente a la reducción máxima del tiempo de fabricación.

Los soportes se configuraron únicamente cuando resultaron necesarios por la existencia de voladizos o geometrías que no podían fabricarse correctamente sin apoyo. Se empleó preferentemente soporte arbolado por su menor consumo de material y facilidad de retirada, aunque en determinadas geometrías se mantuvo el soporte normal cuando ofrecía mayor estabilidad. En todos los casos se procuró evitar la presencia de soportes sobre superficies funcionales de encaje o sobre caras visibles principales, ya que su retirada puede generar marcas, rebabas o pérdida de acabado superficial.

La temperatura de boquilla de 210 °C y la temperatura de cama de 55 °C se seleccionaron dentro del rango habitual de impresión para PLA, buscando una extrusión estable y una buena adhesión inicial sin incrementar innecesariamente el riesgo de deformación. La ventilación completa a partir de las primeras capas favorece la solidificación del material y la definición de detalles, especialmente en relieves, textos y elementos de menor tamaño.

Finalmente, los alojamientos se diseñaron con una holgura aproximada de 0,2 mm respecto a la pieza insertada, teniendo en cuenta las desviaciones dimensionales propias del proceso FDM y la necesidad de permitir un montaje manual sin esfuerzos excesivos. Esta consideración resultó especialmente importante en la base, los módulos secundarios y la placa identificativa, ya que el correcto funcionamiento del objeto depende de la inserción y sustitución de piezas sin necesidad de adhesivos ni herramientas.



Figura 3-24 Impresora llevando a cabo el calibrado sobre la placa [Autoría propia]

Cuando fue necesario, se recurrió a las funciones de calibración disponibles en el entorno Bambu para mejorar la consistencia entre impresiones. Estas operaciones permitieron reducir la variabilidad del proceso, mejorar el comportamiento del filamento y obtener prototipos comparables durante las sucesivas iteraciones del diseño.

3.3.5 Consideración de materiales y tecnologías alternativas

Con el fin de ampliar la justificación del proceso de fabricación, se realizaron pruebas complementarias con materiales y tecnologías alternativas al prototipo principal fabricado en PLA mediante FDM. Estas pruebas no se plantearon como sustitución directa del proceso principal, sino como una comparación técnica orientada a valorar posibles mejoras de acabado, durabilidad, comportamiento dimensional y complejidad operativa. En concreto, se fabricó una base monumental en ABS mediante tecnología FDM y una versión reducida de la base mediante impresión de resina.

La primera prueba complementaria se realizó con ABS, empleando una impresora Bambu Lab X1 Carbon disponible en el laboratorio. La elección de este material se justifica porque, frente al PLA, el ABS presenta generalmente mayor resistencia térmica y mejor comportamiento frente a impactos y

solicitaciones moderadas, aunque su impresión resulta más exigente debido a su mayor contracción térmica y a su tendencia al alabeo [34][35]. Por tanto, la comparación con ABS permite valorar una posible alternativa para futuras versiones del objeto si se desea aumentar la durabilidad o mejorar el comportamiento frente a condiciones ambientales más exigentes.

El procedimiento seguido fue similar al empleado para el prototipo principal en PLA. En primer lugar, se exportó el modelo CAD de la base monumental desde Autodesk Inventor y se importó en el software de laminado correspondiente. A continuación, se comprobó la escala del modelo, su orientación sobre la cama de impresión y la posible necesidad de soportes. En el caso de la base, se mantuvo una orientación estable sobre su superficie inferior, priorizando la reducción de deformaciones y la conservación de las zonas funcionales de apoyo y alojamiento.

Durante la preparación de la impresión en ABS se tuvo en cuenta que este material requiere un mayor control térmico que el PLA. Por ello, resultan especialmente relevantes la temperatura de la cama, la adhesión inicial de la pieza y la estabilidad térmica durante el proceso. La impresora Bambu Lab X1 Carbon permitió realizar esta prueba en condiciones más controladas que una impresora abierta, lo que resulta adecuado para materiales con mayor tendencia a la contracción. Aun así, el ABS exige mayor atención durante la preparación y puede presentar mayor riesgo de deformación, especialmente en piezas de cierto tamaño o con geometrías amplias en contacto con la cama.



Figura 3-25 Impresora X1 Carbon del laboratorio del CUD [Autoría propia]

La base monumental fabricada en ABS permitió comprobar que el diseño era reproducible con un material alternativo al PLA. Desde el punto de vista funcional, la pieza mantuvo la geometría general y permitió valorar la viabilidad de fabricar el soporte definitivo con un material de mayor resistencia térmica.



Figura 3-26 Base monumental impresa en ABS [Autoría propia]

No obstante, la mayor complejidad del proceso, el control térmico requerido y el riesgo de deformaciones hicieron que el ABS no se seleccionase como material principal del prototipo completo. Por tanto, esta prueba se considera una alternativa válida para futuras iteraciones, pero no la opción más adecuada para la fase principal de prototipado desarrollada en el TFG.

La segunda prueba complementaria se realizó mediante impresión de resina, empleando una impresora Elegoo y el software de laminado Chitubox. A diferencia del proceso FDM, en el que el material se deposita capa a capa en forma de filamento fundido, la impresión de resina se basa en la fotopolimerización selectiva de una resina líquida fotosensible. Esta tecnología resulta especialmente interesante cuando se busca mayor definición de detalle, mejor acabado superficial y reproducción más precisa de relieves o geometrías ornamentales [9].

El flujo de trabajo seguido en esta prueba comenzó con la exportación del modelo CAD de la base monumental y su importación en Chitubox. En el software de laminado se revisó la escala del modelo, la orientación de la pieza, la generación de soportes y la disposición sobre la plataforma de impresión. Debido al volumen útil de la impresora empleada, no fue posible fabricar la base monumental a escala real, por lo que se redujo el modelo a escala 1:2. Esta decisión permitió realizar una prueba representativa del acabado y del nivel de detalle, aunque impide considerar la pieza resultante como prototipo funcional equivalente al modelo final.



Figura 3-27 Impresora de resina ELEGOO [Autoría propia]

La impresión en resina permitió obtener una pieza con buena definición superficial y una reproducción adecuada de detalles pequeños, lo que confirma el interés de esta tecnología para componentes ornamentales, módulos secundarios o piezas en las que prime la calidad visual. Sin embargo, el proceso presentó también limitaciones importantes. En primer lugar, requiere operaciones posteriores de lavado y curado, así como la retirada cuidadosa de soportes. En segundo lugar, la manipulación de resina líquida exige mayores precauciones de limpieza y seguridad. Por último, el menor volumen de impresión disponible en la máquina empleada limitó la fabricación de la base a escala completa.

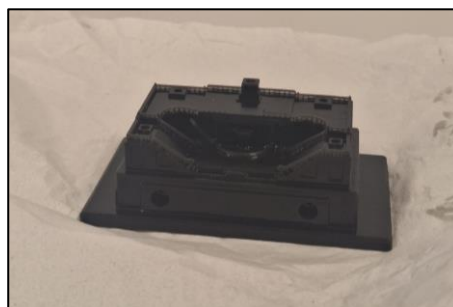


Figura 3-28 Base monumental escalada (1:2) impresa con resina [Autoría propia]

A partir de estas pruebas, se mantiene el PLA como material principal para el prototipo completo del objeto conmemorativo. Esta decisión se justifica por su equilibrio entre facilidad de fabricación, estabilidad dimensional, disponibilidad, coste, rapidez de impresión y adecuación al uso previsto del producto como objeto de sobremesa para exposición interior. El ABS ofrece interés como alternativa futura cuando se requiera mayor resistencia térmica o durabilidad, mientras que la resina resulta especialmente adecuada para estudiar acabados de mayor detalle o piezas de menor tamaño. En consecuencia, las pruebas con ABS y resina refuerzan la justificación técnica del proceso principal seleccionado y permiten identificar posibles líneas de mejora para futuras versiones del diseño.

Solución de fabricación	Ventajas principales	Limitaciones principales	Aplicación en el TFG
PLA mediante FDM	Rapidez, facilidad de impresión, bajo coste, buena estabilidad dimensional y compatibilidad directa con Bambu Studio	Menor resistencia térmica y menor durabilidad frente a condiciones ambientales severas	Prototipo principal completo
ABS mediante FDM	Mayor resistencia térmica y mejor potencial de durabilidad	Mayor contracción, riesgo de alabeo y necesidad de mayor control térmico	Base monumental fabricada como prueba complementaria
Resina	Mayor definición de detalle y mejor acabado superficial	Menor volumen útil disponible, necesidad de lavado, curado y postprocesado	Base monumental fabricada a escala 1:2 como prueba comparativa

Tabla 3-3 Comparación cualitativa de los materiales y tecnologías de impresión considerados [Autoría propia]

Una vez comparadas las alternativas de material y proceso, se describe a continuación la fabricación del prototipo final y de los módulos que integran el conjunto conmemorativo.

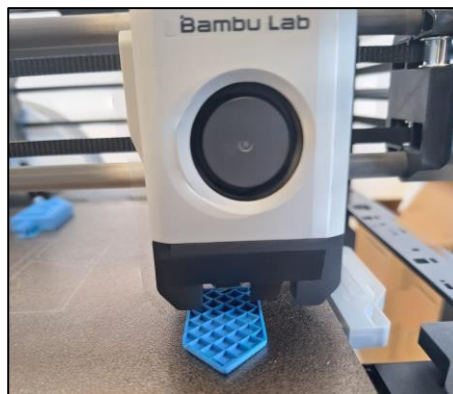


Figura 3-29 Impresora 3D en funcionamiento [Autoría propia]

La fabricación del prototipo final se realizó principalmente en PLA, siguiendo los criterios de preparación y los parámetros de impresión descritos en el apartado anterior. Tras la evolución de la base inicial hacia la base monumental, fue necesario reimprimir los módulos principales y secundarios para obtener un conjunto final coherente desde el punto de vista dimensional, funcional y visual. Esta reimpresión permitió verificar nuevamente la compatibilidad de los encajes y asegurar la correcta integración de todos los componentes en la nueva base.

Para el prototipo final se empleó un PLA con un acabado visual más adecuado para una pieza conmemorativa de exposición. Esta elección permitió mejorar la presencia estética del conjunto y

reforzar su carácter representativo. No obstante, se observó que, en una inspección próxima, determinados detalles podían presentar una definición superficial ligeramente inferior respecto a otros filamentos de PLA más estándar. Aun así, el resultado se consideró adecuado para el objetivo del trabajo, ya que el objeto está destinado a exposición interior y su valoración principal se realiza como conjunto completo de sobremesa.

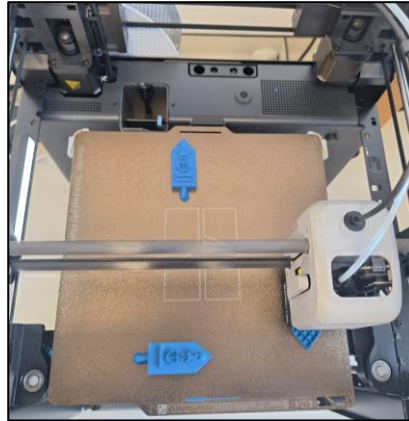


Figura 3-30 Impresora 3D durante la fabricación de componentes del prototipo final [Autoría propia]

3.3.6 Conjunto de módulos impresos iniciales

El prototipo inicial se compone de varios grupos principales de piezas impresas:

- Base modular inicial, que actúa como elemento estructural y de apoyo del objeto. (arriba derecha de la Figura 3-30).
- Placa con información relativa al usuario, con datos relevantes y personalizables (abajo izquierda de la Figura 3-30)
- Los dos tipos de módulos intercambiables. Los principales correspondientes a la variante CGA o IM, (parte superior izquierda de la Figura a continuación) y módulos secundarios, destinados a representar experiencias, valores o hitos relevantes de la etapa formativa, escogidos por el propio usuario. (abajo derecha de la Figura 3-30)

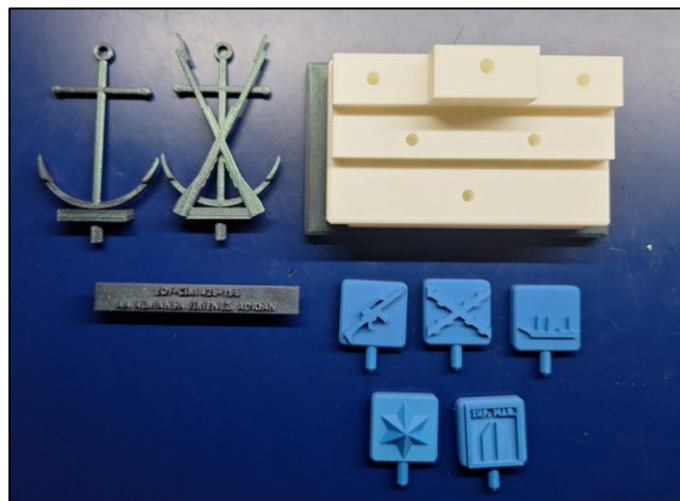


Figura 3-31 Módulos variados de las impresiones 3D [Autoría propia]

Este planteamiento permite mantener una arquitectura común para todos los usuarios y, al mismo tiempo, incorporar una personalización significativa mediante el intercambio de módulos sin modificar el conjunto principal. Los diferentes filamentos empleados durante las iteraciones de fabricación han dado lugar a la variedad de colores presente.

Esta primera versión debe entenderse como una fase de validación inicial del sistema modular. A partir de ella se comprobó el funcionamiento general de los encajes, la estabilidad del conjunto y la posibilidad de intercambiar módulos. No obstante, tras esta etapa se desarrolló una versión final con base monumental, reorganizando los alojamientos, de mayores dimensiones y mayor carga simbólica, así como una reimpresión de los diferentes módulos principales y secundarios, para mantener la coherencia visual y material entre las piezas de la versión final.

3.3.7 Versión final con base monumental

Aunque la arquitectura modular y las interfaces de montaje se mantuvieron respecto a la versión inicial, la incorporación de la base monumental llevó a reimprimir el conjunto de componentes asociados a la versión final. En concreto, se fabricaron de nuevo los módulos principales correspondientes a las variantes CGA e IM, así como los módulos secundarios intercambiables, empleando el mismo filamento de PLA que en la base monumental. Esta decisión permitió obtener un prototipo final más homogéneo desde el punto de vista visual, además de comprobar nuevamente la compatibilidad dimensional de los encajes, la alineación de las piezas y la integración funcional del conjunto completo.

La incorporación de la base monumental supuso un aumento moderado de las dimensiones generales respecto a la base modular inicial, con el fin de mejorar la presencia del objeto, reforzar su estabilidad y permitir una representación más reconocible de la geometría escalonada asociada a la Escalera Monumental. Las dimensiones finales de esta base, así como el resto de las cotas principales del conjunto, se recogen en los planos adjuntos del Anexo IV.

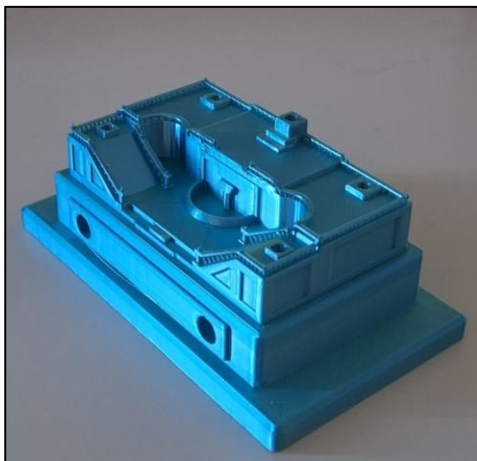


Figura 3-32 Base monumental desarrollada como soporte definitivo del objeto conmemorativo [Autoría propia]

Para esta versión final se empleó un PLA con un acabado visual más adecuado para un objeto conmemorativo de exposición. La elección de este filamento permitió mejorar la presencia general del prototipo y reforzar su carácter representativo como pieza de sobremesa. No obstante, durante la inspección próxima de algunas piezas se observó que determinados relieves o detalles superficiales podían presentar una definición ligeramente inferior respecto a otros filamentos de PLA empleados en fases anteriores. Aun así, el resultado se consideró adecuado para el objetivo del trabajo, ya que la valoración principal del objeto se realiza como conjunto completo y no como pieza aislada observada a muy corta distancia.



Figura 3-33 Módulos principales IM y CGA reimpresos para su integración [Autoría propia]

La obtención de ambas variantes permite comprobar la utilidad de la arquitectura modular planteada. A partir de una base común es posible generar configuraciones diferentes sin modificar la estructura principal del producto, concentrando la personalización en piezas intercambiables. Esta característica resulta especialmente relevante para una posible fabricación en series cortas, ya que reduce el tiempo de rediseño, facilita la sustitución de componentes y permite adaptar el objeto a distintos usuarios manteniendo una plataforma común.

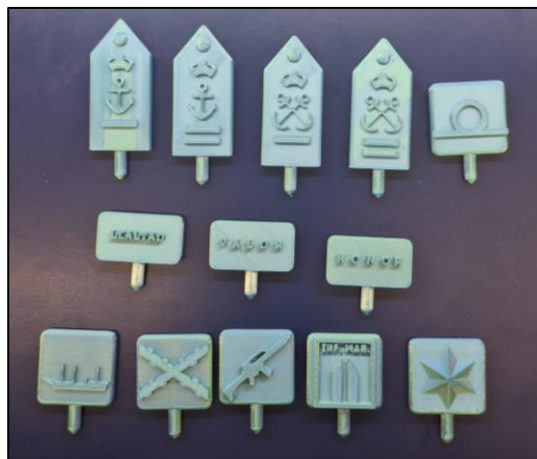


Figura 3-34 Módulos secundarios reimpresos para su integración [Autoría propia]

3.3.8 Ensamblaje y sistema de encaje

El montaje final se basa en un sistema de encajes por inserción diseñado para permitir el intercambio de módulos de forma sencilla. La base incorpora alojamientos definidos para el módulo principal, la placa identificativa y los módulos secundarios, de manera que cada pieza se inserta en su posición correspondiente y queda alineada por la propia geometría del asiento. Este sistema evita el uso de tornillería, adhesivos u otros elementos auxiliares, simplifica el montaje del conjunto y facilita la sustitución de componentes cuando se desea modificar la personalización del objeto.

Desde el punto de vista técnico, el correcto funcionamiento del sistema depende de la compatibilidad entre las holguras definidas en el modelo CAD y las desviaciones dimensionales propias del proceso FDM. Por ello, durante el montaje se comprobó especialmente la facilidad de inserción, la estabilidad de cada módulo, la ausencia de interferencias y la correcta alineación visual de las piezas.

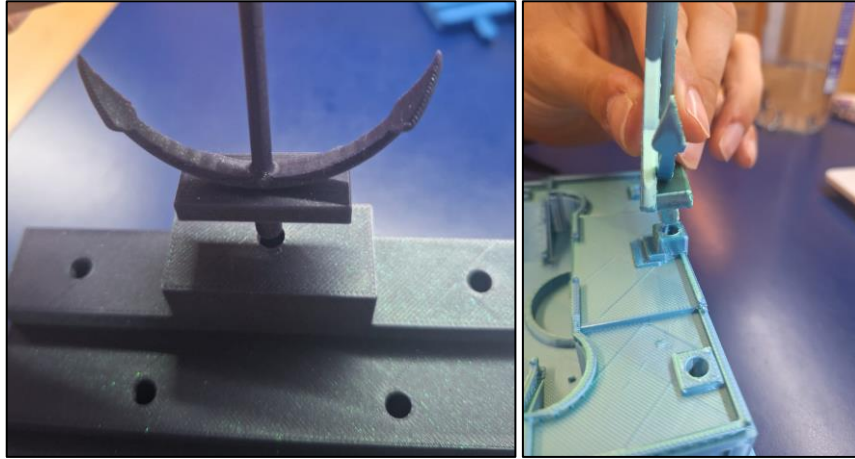


Figura 3-35 Inserción de módulo principal de ancla en ambas bases [Autoría propia]

Una vez ensamblado el conjunto, se verifica la correcta alineación de los módulos, la estabilidad del objeto y la coherencia visual del resultado final. Esta fase permite evaluar el objeto como pieza completa de sobremesa y confirmar que el sistema modular cumple su función conmemorativa, ofreciendo una representación física del recorrido formativo del usuario.

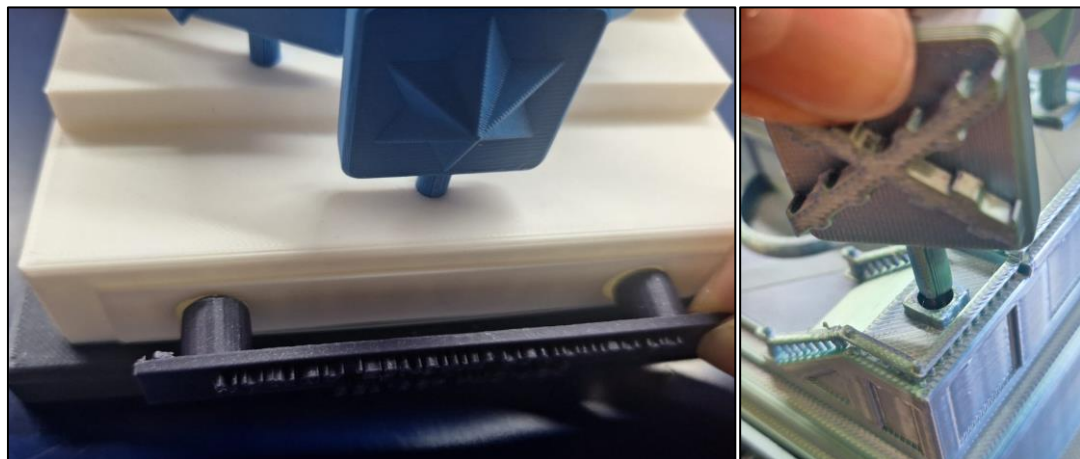


Figura 3-36 Inserción de los módulos de placa y secundario en ambas bases [Autoría propia]

Para facilitar el montaje manual de los módulos y compensar las desviaciones dimensionales propias del proceso FDM, los alojamientos de la base se diseñaron con una holgura aproximada de 0,2 mm respecto a las piezas insertadas. Este margen permite absorber pequeñas variaciones asociadas a la deposición del filamento, la contracción del material, la orientación de impresión y la posible aparición de rebabas o irregularidades superficiales. Durante el ensamblaje físico del prototipo se comprobó que, en general, los módulos podían insertarse correctamente sin necesidad de adhesivos, tornillería ni herramientas auxiliares. No obstante, en algunos casos puntuales fue necesario realizar un ligero ajuste manual mediante limado superficial de determinados encajes, debido a pequeñas imperfecciones locales generadas durante la impresión 3D. Esta operación se considera un postprocesado menor, compatible con el carácter prototípico del trabajo, y no compromete la funcionalidad del sistema modular ni la estabilidad del conjunto.

4 RESULTADOS, VALIDACIÓN Y COSTES

En el presente capítulo se exponen los resultados obtenidos tras el desarrollo, modelado y fabricación del objeto conmemorativo propuesto, así como su validación desde los puntos de vista estructural, funcional y económico. Para ello, se analizan tanto el comportamiento de la base y del sistema modular como la viabilidad del conjunto en términos de estabilidad, personalización, facilidad de montaje y coste de producción.

En los apartados siguientes se toma como referencia la versión final del diseño, compuesta por la base monumental, la placa identificativa, el módulo principal y los módulos secundarios intercambiables. La base modular inicial se considera una etapa previa de validación del sistema de encaje y disposición de componentes, mientras que la base monumental constituye la solución final evaluada funcional, estructural y económicamente.

4.1 Resultados del análisis estructural de tensiones

Aunque el objeto diseñado no está sometido a solicitaciones estructurales relevantes, se realizó una comprobación estática simplificada de la base monumental con el fin de verificar que la geometría adoptada no presenta concentraciones de tensión significativas bajo su situación normal de uso. Por tanto, el análisis no se plantea como una certificación resistente del producto, sino como una comprobación complementaria dentro del proceso de diseño.

4.1.1 Análisis estructural simplificado de la base monumental

El estudio se llevó a cabo en Autodesk Inventor, empleando el modelo CAD de la base monumental. Como condición de contorno, se fijó la superficie inferior de apoyo de la base, simulando su colocación sobre una mesa o superficie rígida horizontal. Sobre el modelo se aplicó la acción de la gravedad y se consideró el peso aproximado de los elementos situados sobre la base.

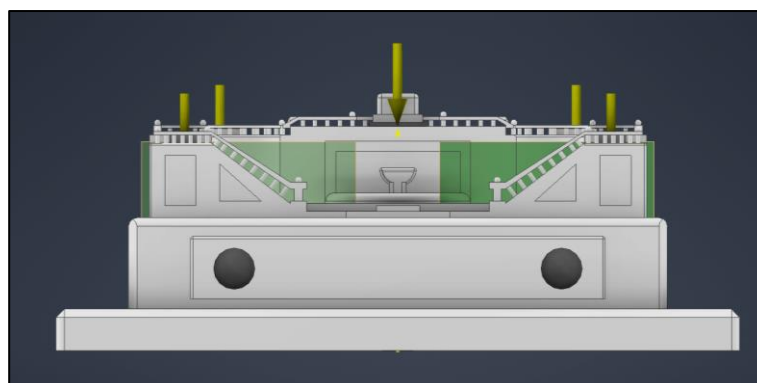


Figura 4-1 Base monumental con cargas de módulos y gravedad aplicados [Autoría propia]

Al no disponer Inventor de un material PLA directamente en la biblioteca empleada, se asignó un material plástico de referencia disponible en el programa para realizar la comprobación estática. En cualquier caso, dado el bajo nivel de cargas aplicado, el análisis se interpreta únicamente como una verificación preliminar de la geometría y no como una caracterización mecánica exacta del material impreso.

A partir de las masas estimadas durante el estudio de fabricación, se consideraron los siguientes valores: placa identificativa, 35 g; módulo principal, 55 g; y módulos secundarios, 50 g. Por tanto, la masa aproximada de los elementos apoyados sobre la base es de 140 g, lo que equivale a una carga vertical aproximada de 1,37 N. Esta carga es muy reducida en comparación con la resistencia habitual del PLA, por lo que el análisis debe entenderse únicamente como una verificación preliminar de la geometría.

Elemento	Masa aproximada
Placa identificativa	35 g
Módulo principal	55 g
Módulos secundarios	50 g
Total, sobre la base	140 g
Carga vertical equivalente	1,37 N

Tabla 4-1 Datos de las masas y pesos de los módulos [Autoría propia]

La Figura 4-2 muestra la distribución de tensiones de Von Mises obtenida para la base monumental. El valor máximo registrado fue de 0,03016 MPa, localizado en zonas puntuales próximas a los alojamientos y áreas de aplicación de carga. La mayor parte de la pieza presenta valores muy reducidos, como indica el predominio del color azul en la escala de resultados.

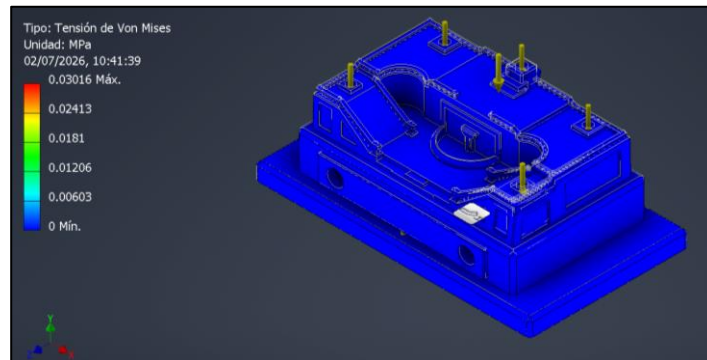


Figura 4-2 Distribución de tensiones de Von Mises en la base monumental [Autoría propia]

El valor obtenido es muy reducido y se encuentra muy por debajo de la resistencia mecánica habitual de los plásticos empleados en fabricación aditiva, situada en el orden de varias decenas de MPa. Por tanto, bajo las cargas consideradas, la base monumental no presenta concentraciones de tensión que comprometan su función como soporte del objeto conmemorativo. Este resultado es coherente con el uso previsto del producto, ya que se trata de un elemento decorativo de sobremesa y no de una pieza sometida a esfuerzos estructurales elevados.

No se ha incluido un coeficiente de seguridad como criterio principal de validación, ya que el objeto no trabaja como componente estructural sometido a cargas críticas. En este caso, la interpretación del resultado se basa en la comparación directa entre las tensiones obtenidas y el orden de magnitud de la resistencia del material, así como en la función real del producto.

No obstante, el análisis presenta limitaciones importantes. En primer lugar, Autodesk Inventor considera el material como homogéneo e isotrópico, mientras que una pieza fabricada mediante FDM presenta un comportamiento anisótropo, condicionado por la orientación de impresión, la dirección de deposición del filamento, el porcentaje de relleno y la adhesión entre capas. Por ello, los resultados no deben interpretarse como una caracterización real completa del material impreso, sino como una aproximación simplificada. Esta limitación ha sido señalada en estudios sobre piezas fabricadas mediante FDM, donde la orientación de impresión, la dirección de deposición y el patrón de relleno influyen de forma significativa en la respuesta mecánica del material [36][37][38].

Además, el estudio realizado es estático y no contempla situaciones accidentales como caídas desde una mesa o estante, impactos, envejecimiento del material o exposición prolongada a condiciones ambientales. Un análisis de caída podría constituir una línea de mejora futura, aunque requeriría un planteamiento dinámico y una caracterización más detallada del material impreso.

En consecuencia, el análisis estructural permite comprobar de forma preliminar que la base monumental presenta un comportamiento adecuado para su uso previsto como objeto conmemorativo de sobremesa, siempre teniendo en cuenta las limitaciones propias del modelo empleado [39].

4.2 Evaluación funcional del objeto conmemorativo

La evaluación funcional del objeto conmemorativo tiene como finalidad comprobar si el diseño desarrollado cumple las funciones previstas como producto de sobremesa modular: estabilidad, facilidad de montaje, legibilidad de los elementos personalizados, coherencia visual, posibilidad de intercambio de módulos y adecuación simbólica al entorno de la Escuela Naval Militar.

Esta evaluación se realiza tomando como referencia la versión final del conjunto, formada por la base monumental, la placa identificativa, el módulo principal y los módulos secundarios intercambiables. No obstante, se mantiene también el análisis de la base modular inicial, al tratarse de una primera iteración que permitió validar la disposición general de los alojamientos, el sistema de encaje y la viabilidad del concepto modular antes de desarrollar la base definitiva.

4.2.1 Base modular inicial

En primer lugar, se analiza la base modular inicial, mostrada en la Figura 4-3, que constituye la primera solución desarrollada para actuar como soporte estructural del conjunto y como elemento de organización de los módulos y de la placa identificativa.

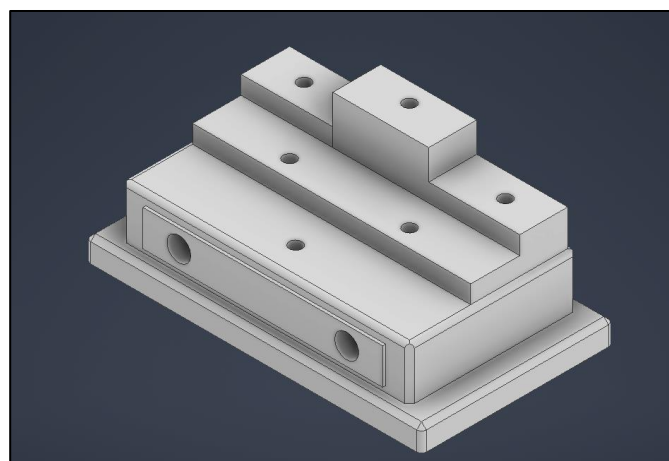


Figura 4-3 Modelado de base modular inicial [Autoría propia]

Su diseño responde tanto a una función resistente y de apoyo como a un criterio de organización del conjunto modular. Esta primera versión de la base se concibió como una solución funcional destinada a validar la disposición general de los módulos, la estabilidad del objeto y la compatibilidad de los encajes fabricados mediante impresión 3D. Desde el punto de vista funcional, la base incorpora un alojamiento

superior para el módulo principal y cinco alojamientos adicionales para los módulos secundarios, todos ellos distribuidos de forma simétrica y ordenada.

En consecuencia, esta base inicial no debe interpretarse como la solución final del producto, sino como una primera iteración de diseño que permitió comprobar la viabilidad del sistema modular antes del desarrollo de una versión posterior con mayor complejidad geométrica y mayor carga simbólica.

4.2.2 Base monumental

A partir de la base modular inicial (Figura 4-3) se desarrolló una segunda versión de la base, denominada base monumental (Figura 4-4), con el objetivo de incrementar la carga simbólica del conjunto y reforzar su relación formal con la Escuela Naval Militar. Esta evolución del diseño toma como referencia la Escalera Monumental de la ENM, incorporando una geometría escalonada y una composición más representativa del entorno institucional al que se vincula el objeto.

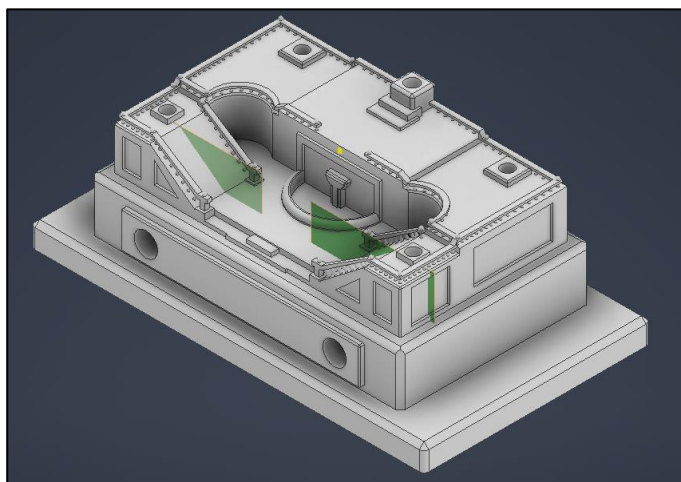


Figura 4-4 Modelado de base monumental [Autoría propia]

La modificación no altera la arquitectura modular del producto, aunque sí reorganiza la distribución de alojamientos respecto a la base inicial. En la base monumental final se mantiene la lógica de ensamblaje por inserción, pero se adopta una composición de cinco alojamientos funcionales: uno superior para el módulo principal y cuatro para módulos secundarios. Esta distribución permite conservar la personalización del conjunto, mejorar la proporción visual de la base y reservar el punto superior para el elemento simbólico de mayor jerarquía.

Este segundo diseño presenta un aumento moderado de tamaño respecto a la base modular inicial. Dicho incremento se justifica por la necesidad de reforzar la sensación de robustez, mejorar la estabilidad del conjunto y representar con mayor claridad la geometría escalonada de referencia, incorporando detalles como las barandillas y la fuente.

Desde el punto de vista funcional, la base monumental conserva la estabilidad y la facilidad de montaje de la versión inicial, pero añade mayor presencia visual y una relación simbólica más directa con la ENM. El incremento de masa asociado al nuevo diseño se considera asumible, ya que contribuye a mejorar la sensación de robustez del conjunto y su comportamiento como objeto de sobremesa.

En consecuencia, la base monumental se interpreta como una evolución de diseño respecto a la base modular inicial. La primera versión permitió validar el sistema de encaje, la disposición de los módulos y la fabricabilidad mediante impresión 3D, mientras que la segunda versión mejora la representatividad formal del objeto y responde de forma más adecuada al objetivo de materializar la etapa formativa en la Escuela Naval Militar.

4.2.3 Placa identificativa con información del usuario

La placa identificativa, mostrada en la Figura 4-5, constituye uno de los elementos más representativos del conjunto, ya que concentra la información personal asociada al usuario y refuerza el carácter individualizado del objeto conmemorativo.

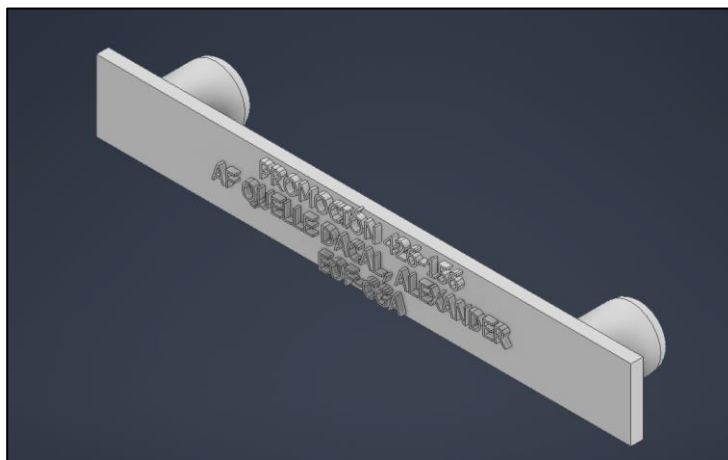


Figura 4-5 Modelado de placa personalizable con información [Autoría propia]

En ella se ha previsto la incorporación de datos como la promoción, el nombre del alumno, la pertenencia al cuerpo correspondiente y la escala de oficiales, de manera que el objeto pueda identificar de forma clara a su destinatario dentro del marco institucional de la ENM. No obstante, el diseño no queda limitado exclusivamente a estos campos, sino que permite introducir otras opciones de personalización en función de las necesidades o preferencias del usuario.

Desde el punto de vista del modelado, la placa se diseñó como una pieza independiente, lo que facilita su modificación sin afectar al resto del conjunto. El texto se genera mediante relieve, con dimensiones ajustadas para asegurar legibilidad y compatibilidad. En consecuencia, este componente aporta flexibilidad, personalización y valor identificativo al objeto final.

4.2.4 Módulos intercambiables principales

Los módulos intercambiables principales, mostrados en la Figura 4-6, constituyen el elemento superior del conjunto y permiten diferenciar de forma clara la pertenencia del usuario al Cuerpo General de la Armada (A) o a la Infantería de Marina (B).

Su desarrollo se ha llevado a cabo a partir de una base geométrica común, correspondiente al cuerpo principal del ancla, utilizada como referencia de diseño para ambas variantes. Sobre esta base común se generó, en primer lugar, la versión correspondiente al Cuerpo General de la Armada, en la que el ancla se mantiene como símbolo principal e independiente.

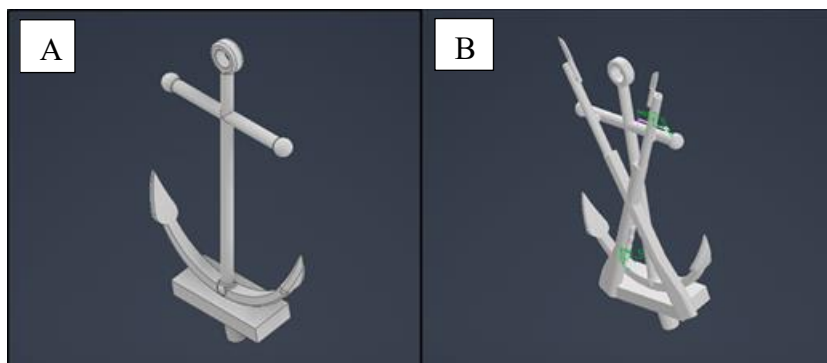


Figura 4-6 Módulos principales. Ancla CGA (A) e IM (B) [Autoría propia]

A partir de esta misma geometría se desarrolló posteriormente la variante asociada a la Infantería de Marina, incorporando dos fusiles ensamblados sobre el ancla para reproducir el emblema característico de dicho cuerpo. Este planteamiento permitió mantener coherencia formal, compatibilidad dimensional y unidad visual entre ambas versiones, al tiempo que se introducía una diferenciación simbólica clara. Desde el punto de vista técnico, el uso de una plantilla común simplificó el modelado, facilitó la verificación de encajes y mejoró la repetibilidad en fabricación.

En consecuencia, estos módulos principales refuerzan el carácter personalizable del diseño sin comprometer la arquitectura general del conjunto.

4.2.5 Módulos secundarios asociados a hitos formativos

Los módulos secundarios asociados a hitos formativos, presentados en la Figura 4-7 por orden de la A a la E, constituyen un nivel de personalización vinculado a distintos momentos, símbolos y experiencias de la etapa formativa en la ENM. Todos ellos se desarrollaron a partir de una base geométrica común, manteniendo constante la interfaz de acoplamiento con la base y modificando únicamente la simbología superior mediante operaciones de boceto, extrusión y relieve en el entorno CAD.

Estos módulos deben interpretarse como un catálogo de opciones intercambiables y no necesariamente como elementos destinados a montarse todos de forma simultánea.

Este planteamiento permitió asegurar compatibilidad dimensional, facilidad de fabricación y coherencia formal entre las distintas variantes. Cada módulo fue concebido para representar un hito, símbolo o experiencia significativa del recorrido formativo del alumno, manteniendo una geometría compatible con los alojamientos secundarios definidos en la base monumental.

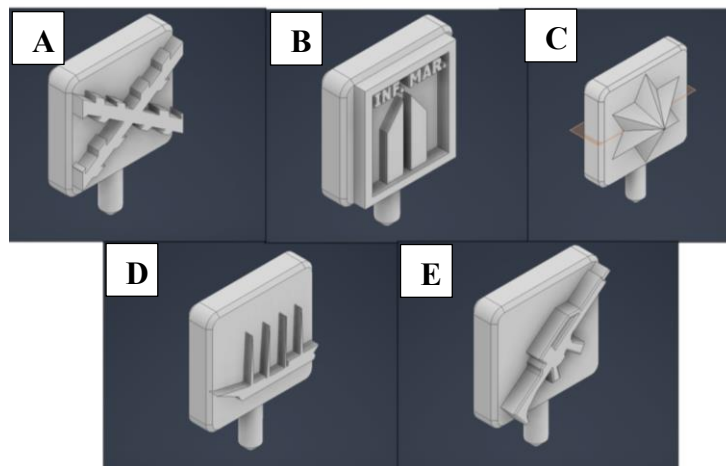


Figura 4-7 Módulos secundarios asociados a hitos formativos de la ENM [Autoría propia]

A) El módulo de estrella de Alférez Alumno representa la fase final de la formación en la ENM y simboliza la culminación del recorrido académico y militar del alumno. Su geometría se desarrolló a partir de la plantilla común de módulos secundarios, mediante bocetos 2D y operaciones de extrusión, manteniendo la compatibilidad dimensional con el resto de las piezas intercambiables.

B) El módulo de la Cruz de Borgoña se incorporó por su valor histórico dentro del ámbito militar español, aportando una referencia simbólica al legado institucional. Su diseño se realizó mediante una geometría simétrica adaptada a las dimensiones del módulo, procurando mantener una lectura visual clara tras la fabricación mediante impresión 3D.

C) El módulo dedicado al buque escuela Juan Sebastián de Elcano representa el embarque de instrucción, considerado uno de los hitos más característicos de la etapa formativa. Su geometría se

simplificó para adaptar una silueta reconocible a las limitaciones de escala, relieve y fabricación propias del proceso FDM.

D) El módulo de fusil simboliza actividades prácticas de instrucción, ejercicios de tiro y campamentos desarrollados durante la formación militar. Su diseño se resolvió mediante una representación simplificada pero reconocible, ajustada a la plantilla común de los módulos secundarios para asegurar su ensamblaje.

E) Por último, el módulo de sardinetas de Infantería de Marina se orientó específicamente a los alumnos pertenecientes a este cuerpo, incorporando un elemento distintivo fácilmente identificable. Su desarrollo se llevó a cabo sobre la misma base geométrica que el resto de los módulos secundarios, garantizando uniformidad dimensional y coherencia formal con el conjunto.

4.2.6 Módulos secundarios de valores y empleos de la ENM

Además de los módulos asociados a hitos formativos concretos, se desarrollaron módulos secundarios destinados a representar valores institucionales y empleos característicos de la etapa en la ENM. Estas piezas amplían las posibilidades de personalización del objeto y permiten adaptar el conjunto a distintas preferencias, trayectorias o elementos representativos del usuario.

Las placas asociadas a los valores de la ENM, mostradas en la Figura 4-8, se concibieron como una opción de personalización orientada a reforzar la dimensión ética e institucional del objeto conmemorativo. A través de ellas se permite incorporar aquellos principios que mejor representen el recorrido formativo o la identidad del usuario dentro de la Escuela.

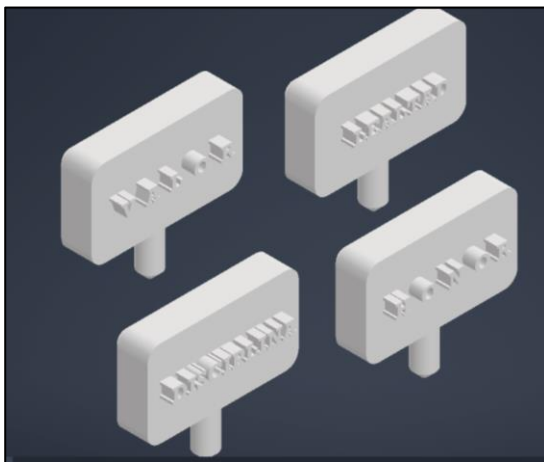


Figura 4-8 Módulos variados de Valores de la ENM [Autoría propia]

Desde el punto de vista del diseño, estos módulos se desarrollaron sobre la misma plantilla común que el resto de las piezas secundarias, empleando operaciones de relieve para destacar visualmente el texto. Esta solución permite mantener la compatibilidad con la base monumental y, al mismo tiempo, incorporar un mensaje simbólico claro y personalizable.

Por otra parte, los módulos asociados a los empleos de la ENM, mostrados en la Figura 4-9, se diseñaron con el objetivo de representar la progresión del alumno durante su etapa formativa. Esta solución permite incorporar al objeto una lectura secuencial de la evolución del usuario dentro de la Escuela, reforzando el carácter narrativo y conmemorativo del conjunto.

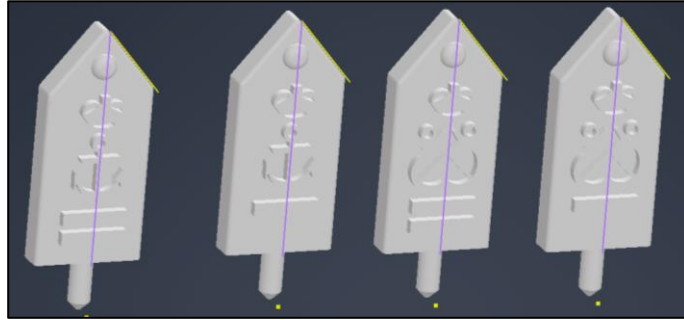


Figura 4-9 Módulos variados de Empleos de la ENM [Autoría propia]

Desde el punto de vista técnico, estas piezas se desarrollaron en CAD a partir de una plantilla común, empleando bocetos simétricos y operaciones de relieve y extrusión para reproducir de forma simplificada las palas correspondientes. De este modo, se mantiene la compatibilidad dimensional con la base y se garantiza que los módulos puedan fabricarse, sustituirse y combinarse dentro de la arquitectura modular definida.

4.2.7 Ensamblaje completo virtual

El ensamblaje completo virtual se realizó mediante el entorno de ensamblaje de Autodesk Inventor, con el objetivo de comprobar la integración de los distintos componentes antes de su fabricación física. Esta fase permitió verificar la posición relativa de la base, la placa identificativa, el módulo principal y los módulos secundarios, así como la coherencia dimensional y visual del conjunto.



Figura 4-10 Prueba de ensamblaje completo virtual (CGA) [Autoría propia]

El ensamblaje se llevó a cabo introduciendo digitalmente cada componente en su alojamiento correspondiente. De este modo, se comprobó la alineación entre piezas, la proporción general del diseño y la ausencia de interferencias entre los distintos módulos. En la parte superior se sitúa el módulo principal, correspondiente a la variante seleccionada, mientras que en la zona frontal se incorpora la placa identificativa con los datos personalizados del usuario. En los alojamientos inferiores se disponen los módulos secundarios, destinados a representar hitos, valores o etapas concretas del recorrido formativo.

Esta comprobación virtual permitió anticipar posibles errores de diseño antes de la impresión, evaluar la relación dimensional entre componentes y confirmar que todos los elementos respondían a una misma arquitectura modular. Aunque la validación definitiva del sistema de encaje se realizó sobre el prototipo físico, el ensamblaje CAD constituyó una etapa necesaria para reducir errores de fabricación y asegurar la integración del conjunto.



Figura 4-11 Configuración final IM del objeto conmemorativo [Autoría propia]

Una vez obtenidos los prototipos finales, se comprobó la estabilidad del conjunto como objeto de sobremesa, la correcta disposición de los módulos, la legibilidad de la placa identificativa y la coherencia visual de ambas variantes. Asimismo, se verificó la facilidad de montaje, desmontaje y sustitución de los elementos intercambiables, aspecto fundamental para que el objeto pueda adaptarse a distintos usuarios sin modificar su estructura principal.



Figura 4-12 Configuración final CGA del objeto conmemorativo [Autoría propia]

En conjunto, la evaluación funcional confirma que el diseño cumple su función como objeto conmemorativo modular: permite representar la identidad institucional, diferenciar variantes de cuerpo, incorporar elementos personalizados y mantener una configuración estable, legible y adecuada para exposición interior.

4.2.8 Número de personalizaciones disponibles

Uno de los aspectos más relevantes del diseño desarrollado es su capacidad de personalización, ya que la arquitectura modular adoptada permite generar distintas configuraciones a partir de una misma base común. Esta característica resulta especialmente adecuada para un objeto conmemorativo, al permitir combinar una identidad institucional compartida con elementos asociados al recorrido individual de cada usuario.



Figura 4-13 Comparación de las configuraciones iniciales CGA e IM [Autoría propia]

La personalización del conjunto se organiza en tres niveles. En primer lugar, la placa identificativa permite incorporar información propia del usuario, como nombre, promoción, cuerpo de pertenencia o escala. En segundo lugar, el módulo principal, situado en la parte superior de la base, permite diferenciar la variante correspondiente al Cuerpo General de la Armada o a la Infantería de Marina. Este módulo actúa como elemento de mayor jerarquía visual y simbólica, al coronar el conjunto y representar la culminación de la etapa formativa en la ENM. En tercer lugar, los módulos secundarios permiten incorporar hitos, valores, empleos o experiencias concretas, seleccionados entre las distintas alternativas disponibles.

En la versión final con base monumental se adopta una configuración de cinco alojamientos funcionales: un alojamiento superior para el módulo principal y cuatro alojamientos destinados a módulos secundarios. Esta distribución responde a una decisión de diseño orientada a mejorar la proporción del objeto, evitar la saturación visual de la base y mantener una lectura formal coherente con la geometría inspirada en la Escalera Monumental. De este modo, los módulos secundarios se interpretan como elementos seleccionables dentro de un catálogo de opciones, no como piezas que deban montarse necesariamente de forma simultánea.



Figura 4-14 Objeto simbólico definitivo (Versión IM y CGA respectivamente) [Autoría propia]

La capacidad de personalización no depende únicamente del número de alojamientos visibles, sino de la posibilidad de combinar distintos módulos dentro de una arquitectura común. A partir de una misma base monumental, el usuario puede seleccionar la variante principal CGA o IM, modificar la placa identificativa y escoger los módulos secundarios que mejor representen su trayectoria formativa. En

consecuencia, el diseño final mantiene una elevada capacidad de adaptación individual, al mismo tiempo que conserva una composición compacta, jerarquizada y compatible con la fabricación mediante impresión 3D.

4.2.9 Valoración comparativa de materiales y procesos de fabricación

Además de la fabricación del prototipo principal en PLA, se realizaron pruebas complementarias con ABS y resina sobre la base monumental, con el objetivo de valorar el comportamiento de materiales y tecnologías alternativas desde el punto de vista del acabado, la facilidad de fabricación y la adecuación al uso previsto del objeto conmemorativo.

El PLA fue el material empleado para la fabricación completa del prototipo final, incluyendo la base monumental, la placa identificativa, los módulos principales y los módulos secundarios. Su utilización resultó adecuada para el alcance del TFG, ya que permitió obtener piezas estables, con buena repetibilidad, bajo coste y un acabado suficiente para un objeto de sobremesa destinado a exposición interior. Además, su facilidad de impresión permitió realizar iteraciones de diseño y comprobar físicamente el montaje del conjunto modular sin incrementar excesivamente el tiempo ni el coste de fabricación.

Como alternativa, se fabricó una base monumental en ABS mediante impresión FDM. Esta prueba permitió comprobar que la geometría de la base podía reproducirse con un material distinto al PLA y valorar una opción con mayor interés para futuras versiones que requieran mejores prestaciones térmicas o mayor durabilidad. No obstante, el ABS implica una fabricación más exigente, al requerir mayor control térmico y presentar mayor riesgo de contracción o deformación durante la impresión. Por ello, aunque se considera una alternativa técnicamente válida, no se adoptó como material principal del prototipo completo.

También se fabricó una base monumental mediante impresión de resina a escala reducida. Esta prueba permitió valorar una tecnología diferente a FDM, especialmente interesante por su mejor acabado superficial y mayor capacidad para reproducir detalles. Sin embargo, la limitación del volumen útil de impresión obligó a reducir la escala de la pieza, por lo que la prueba se interpreta como una comparación visual y de acabado, no como una validación funcional del prototipo final. Además, la impresión en resina requiere operaciones adicionales de lavado, curado y retirada de soportes, lo que incrementa la complejidad del proceso.

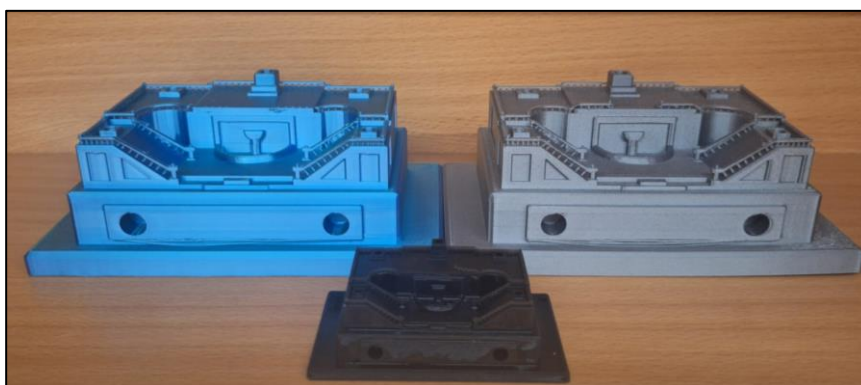


Figura 4-15 Comparación visual de las tres bases fabricadas en PLA, ABS y resina (1:2) [Autoría propia]

En conjunto, las pruebas realizadas permiten concluir que el PLA constituye la opción más equilibrada para el prototipo principal desarrollado en este TFG, debido a su facilidad de fabricación, bajo coste, estabilidad dimensional y adecuación al uso previsto. El ABS se plantea como una alternativa futura para mejorar la durabilidad o resistencia térmica de la base, mientras que la resina resulta especialmente interesante para estudiar acabados de mayor detalle en piezas ornamentales o versiones reducidas del diseño.

Criterio	PLA mediante FDM	ABS mediante FDM	Resina
Aplicación en el TFG	Prototipo completo	Base monumental	Base escalada
Facilidad de fabricación	Alta	Media-baja	Media
Acabado superficial	Correcto para exposición interior	Correcto, dependiente del control térmico	Mejor definición y acabado
Complejidad del proceso	Baja	Mayor control térmico	Lavado, curado y retirada de soportes
Coste y rapidez	Favorables	Menos favorables que PLA	Menos favorable para piezas grandes
Adecuación al prototipo final	Muy alta	Complementaria	Complementaria

Tabla 4-2 Comparación de materiales y procesos empleados en las pruebas de fabricación [Autoría propia]

4.3 Estudio económico de fabricación

El estudio económico tiene como finalidad estimar el coste asociado a la fabricación del prototipo final mediante impresión 3D FDM. A diferencia de una estimación basada únicamente en el consumo de filamento, se consideran también otros factores del proceso, como el consumo energético, la amortización de la impresora, el mantenimiento, los consumibles y las mermas de material.

La estimación se realiza tomando como referencia la versión final del objeto, compuesta por la base monumental, la placa identificativa, el módulo principal y los módulos secundarios. La base modular inicial se considera una primera iteración de diseño empleada para validar el sistema de encaje, la estabilidad y la disposición general de los módulos, por lo que no se incluye como componente adicional en el coste unitario final del producto.

El presupuesto obtenido debe entenderse como una estimación técnica orientativa para una unidad fabricada en serie corta, no como un precio comercial definitivo. Esta aproximación resulta adecuada para el objeto desarrollado, ya que se trata de un producto conmemorativo personalizable, fabricado sin moldes ni utillajes específicos mediante fabricación aditiva [9].

4.3.1 Alcance y criterios de la estimación económica

El alcance del estudio se limita a la fabricación del prototipo desarrollado en el presente TFG mediante impresión 3D FDM. No se incluyen costes de distribución, embalaje, impuestos, beneficio empresarial ni certificaciones de producto. El objetivo es obtener una estimación razonada del coste técnico de fabricación de una unidad representativa.

Para ello se consideran costes directos, como el material y la energía eléctrica, y costes indirectos asociados al uso de la máquina, mantenimiento, consumibles, residuos y tiempo de trabajo manual. Los datos de masa de material y tiempo de impresión se obtienen a partir del software de laminado Bambu Studio, por lo que deben interpretarse como valores aproximados dependientes de la orientación de las piezas, los parámetros de impresión y la configuración del proceso [22].

En consecuencia, el estudio económico no pretende fijar un precio comercial definitivo, sino valorar la viabilidad económica inicial del prototipo y servir de base para el presupuesto desglosado incluido en el Anexo III.

En la estimación económica final se considera únicamente la base monumental, al constituir la versión evolucionada y definitiva del diseño. La base modular inicial se interpreta como una iteración previa de validación y no se incluye como componente adicional del coste unitario final.

4.3.2 Coste del material empleado

El coste de material se calcula a partir de la masa total de filamento consumida durante la fabricación del prototipo y del precio de la bobina empleada. En este trabajo se utiliza PLA, al tratarse de un material adecuado para prototipado y objetos de exposición interior por su facilidad de impresión, disponibilidad y bajo coste [19][23].

La masa de material consumida se obtiene a partir de la estimación proporcionada por Bambu Studio para cada pieza del conjunto. El coste unitario del material se determina dividiendo el precio de la bobina entre su masa nominal:

$$C_g = \frac{C_{bobina}}{m_{bobina}}$$

donde C_g es el coste por gramo de filamento, C_{bobina} es el precio de la bobina y m_{bobina} es la masa nominal de la bobina. A partir de este valor, el coste total de material del prototipo se obtiene mediante:

$$C_{material} = m_{total} \cdot C_g$$

donde m_{total} corresponde a la masa total de PLA empleada en el conjunto. Obtenemos que el gramo de PLA según mercado tiene un coste de:

$$C_g = \frac{20}{1000} = 0,020 \text{ €/g}$$

Pieza	Masa estimada (g)	Coste unitario PLA (€/g)	Coste estimado (€)
Base monumental	200	0,020	4,00
Placa identificativa	35	0,020	0,70
Módulo principal	55	0,020	1,10
Módulos secundarios	50	0,020	1,00
Total	340		6,80

Tabla 4-3 Estimación del coste de material del prototipo [Autoría propia]

4.3.3 Coste energético del proceso de impresión

Además del coste del material, la fabricación del prototipo mediante impresión 3D FDM implica un consumo eléctrico asociado al funcionamiento de la impresora durante el proceso. Este consumo depende principalmente de la potencia media demandada por la máquina, del tiempo total de impresión y del precio de la energía eléctrica.

El coste energético se calcula mediante la siguiente expresión:

$$C_{energía} = P_{media} \cdot t_{impresión} \cdot C_{kWh}$$

donde $C_{energía}$ es el coste de la energía consumida, P_{media} es la potencia media estimada de la impresora en kW, $t_{impresión}$ es el tiempo total de impresión en horas y C_{kWh} es el precio de la energía eléctrica.

Para la estimación del prototipo se ha considerado una potencia media orientativa de 0,12 kW, un tiempo total de impresión de 16 h y un coste eléctrico de 0,20 €/kWh. Estos valores permiten obtener una aproximación del coste energético asociado a la fabricación del conjunto.

Concepto	Valor empleado
Potencia media estimada de la impresora	0,12 kW
Tiempo total de impresión	16 h
Precio de la energía eléctrica	0,20 €/kWh
Energía consumida estimada	1,92 kWh
Coste energético estimado	0,38 €

Tabla 4-4 Estimación del coste energético del proceso de impresión [Autoría propia]

Como se observa, el coste energético representa una parte reducida del coste total del prototipo en comparación con otros conceptos como el material o la amortización de la impresora. No obstante, su inclusión permite obtener una estimación económica más completa y responde a la necesidad de considerar todos los recursos implicados en el proceso de fabricación.

4.3.4 Amortización de la impresora, mantenimiento y consumibles

Además del material y la energía eléctrica, debe considerarse el coste asociado al uso de la impresora 3D. En el presente TFG se ha empleado una impresora Bambu Lab P1P proporcionada por el Centro Universitario de la Defensa, por lo que su utilización no ha supuesto un coste directo de adquisición para el alumno. No obstante, desde el punto de vista económico, resulta conveniente imputar una amortización teórica de la máquina, ya que su uso implica desgaste, consumo de vida útil y necesidad de mantenimiento.

La amortización se calcula dividiendo el coste aproximado de adquisición de la impresora entre una vida útil estimada en horas de funcionamiento, y multiplicando dicho coste horario por el tiempo total de impresión del prototipo:

$$C_{\text{amortización}} = \left(\frac{C_{\text{impresora}}}{t_{\text{vida útil}}} \right) \cdot t$$

donde $C_{\text{amortización}}$ es el coste imputado por uso de la impresora, $C_{\text{impresora}}$ es el coste aproximado de adquisición de la máquina, $t_{\text{vida útil}}$ es la vida útil estimada en horas y t_{imp} es el tiempo total de impresión del prototipo.



Figura 4-16 Impresora 3D Bambu Lab P1P [20]

Para esta estimación se ha considerado un coste aproximado de impresora de 600 €, una vida útil de 2.000 h y un tiempo total de impresión de 16 h. Con estos valores, el coste horario de amortización es de 0,30 €/h, lo que supone un coste de amortización de 4,80 € para el prototipo.

También se incluye un coste adicional de mantenimiento y consumibles, asociado al desgaste de boquilla, superficie de impresión, limpieza, adhesivos, herramientas menores y otros elementos auxiliares. Para una estimación orientativa, se considera un coste de 0,05 €/h de impresión.

Concepto	Valor empleado	Coste estimado (€)
Impresora empleada	Bambu Lab P1P (proporcionada por el CUD)	—
Coste aproximado de adquisición	600 €	—
Vida útil estimada	2.000 h (caso más desfavorable)	—
Coste horario de amortización	0,30 €/h	—
Tiempo total de impresión	16 h	—
Amortización imputada al prototipo	$0,30 \text{ €/h} \times 16 \text{ h}$	4,80
Mantenimiento y consumibles	$0,05 \text{ €/h} \times 16 \text{ h}$	0,80
Total	-	5,60

Tabla 4-5 Estimación del coste de amortización, mantenimiento y consumibles [Autoría propia]

Este cálculo permite incluir en el presupuesto una parte del coste de uso de la máquina, evitando que la estimación económica se limite únicamente al material consumido. Aunque los valores empleados son orientativos, resultan suficientes para valorar de forma más realista el coste de fabricación de una unidad mediante impresión 3D FDM.

4.3.5 Operaciones auxiliares, postprocesado y residuos

Además de los costes asociados al material, la energía y el uso de la impresora, deben considerarse las operaciones auxiliares necesarias para completar el proceso de fabricación. En el caso del presente TFG, dichas operaciones son de baja complejidad y se limitan principalmente a la preparación del archivo en Bambu Studio, la carga del material, el inicio de la impresión, la retirada de las piezas de la cama, la eliminación puntual de soportes y la comprobación visual y dimensional del conjunto.

No se incluye una partida específica de mano de obra, ya que la intervención del operario se limita a tareas puntuales de preparación del archivo, carga del material, supervisión inicial, retirada de piezas y eliminación puntual de soportes. Durante la mayor parte del tiempo de impresión, el proceso se desarrolla de forma autónoma, por lo que dicha intervención se considera integrada dentro del propio proceso de fabricación del prototipo.



Figura 4-17 Usuario no especializado empleando impresión 3D para uso personal [21]

Sí se contempla, en cambio, un pequeño porcentaje asociado a mermas y residuos de material. Estos residuos pueden proceder de purgas de filamento, soportes, pruebas iniciales, restos de impresión o posibles piezas defectuosas. Aunque durante el desarrollo del prototipo se ha buscado minimizar el desperdicio, resulta razonable incluir una estimación de merma del 10 % sobre el coste del material empleado.

Concepto	Valor empleado	Coste estimado (€)
Coste de material empleado	6,80 €	—
Porcentaje estimado de merma	10 %	—
Coste estimado de mermas y residuos	$10 \% \times 6,80 \text{ €}$	0,68

Tabla 4-6 Estimación del coste asociado a mermas y residuos [Autoría propia]

La inclusión de esta partida permite reflejar que el proceso de impresión 3D no aprovecha la totalidad del material disponible en la bobina, ya que pueden generarse residuos durante la preparación, impresión o retirada de soportes. No obstante, al tratarse de un prototipo de pequeñas dimensiones y con un diseño optimizado para reducir desperdicio, este coste tiene una incidencia limitada dentro del coste total de fabricación.

4.3.6 Coste total estimado del prototipo

Una vez estimados los distintos costes asociados a la fabricación del prototipo, se calcula el coste total mediante la suma de las partidas consideradas: material, energía eléctrica, amortización de la impresora, mantenimiento, consumibles y mermas.

El coste total estimado se expresa mediante el sumatorio de todos los costes calculados:

$$C_{total} = C_{material} + C_{energía} + C_{amort/mant} + C_{mermas}$$

Concepto	Coste estimado (€)
Material PLA empleado	6,80
Energía eléctrica	0,38
Amortización, mantenimiento y consumibles	5,60
Mermas y residuos	0,68
Mano de obra	No imputada
Coste total calculado	13,46
Coste total redondeado para presupuesto	14,00

Tabla 4-7 Coste total estimado del prototipo [Autoría propia]

El coste total estimado asciende a 13,46 € por unidad, por lo que, a efectos de presupuesto, puede redondearse a 14,00 € por unidad. Este valor debe entenderse como una estimación orientativa del coste técnico de fabricación mediante impresión 3D FDM, no como un precio comercial definitivo. Aun incorporando costes adicionales al material, el resultado sigue siendo compatible con una fabricación personalizada o en series cortas.

4.4 Evaluación de aceptación mediante encuestas

Con el fin de valorar la aceptación del objeto conmemorativo desarrollado, se realizó una encuesta dirigida al alumnado de la Escuela Naval Militar. Esta encuesta tiene como objetivo analizar la percepción del diseño desde el punto de vista de sus usuarios potenciales, considerando aspectos como el atractivo visual, la representatividad institucional, la claridad del sistema modular, la personalización y la adecuación del objeto como elemento conmemorativo de la etapa formativa.

A diferencia de una validación técnica o estructural, la encuesta se concibe como una herramienta de evaluación perceptiva. Por tanto, los resultados obtenidos no pretenden demostrar de forma absoluta la viabilidad del producto, sino aportar información sobre su grado de aceptación entre una muestra de conveniencia del entorno de la ENM. Esta información complementa la validación funcional y económica realizada en apartados anteriores.

La encuesta se dirigió a alumnos pertenecientes a los diferentes cursos de la Escuela Naval Militar, con el fin de recoger opiniones procedentes de distintas etapas del proceso formativo. Para ello, se consideraron los grupos correspondientes a Aspirantes de 1.º, Aspirantes de 2.º, GuardiaMarinas de 2º y Alféreces o Alféreces de Fragata, de forma que puedan analizarse posibles diferencias de percepción en función del curso, la experiencia acumulada y el grado de vinculación con los símbolos y vivencias representados en el objeto.

4.4.1 Herramienta empleada y diseño del cuestionario

La encuesta se elaboró mediante Google Forms, una herramienta que permite crear cuestionarios digitales, distribuirlos de forma sencilla y recopilar automáticamente las respuestas obtenidas [24]. Su utilización resulta adecuada para este trabajo, ya que permite recoger la opinión de un número amplio de alumnos de la Escuela Naval Militar de manera rápida, ordenada y anónima.

El cuestionario se diseñó con preguntas cerradas de tipo Likert, orientadas a valorar distintos aspectos del objeto conmemorativo. Este tipo de escala permite medir el grado de acuerdo o desacuerdo de los encuestados ante afirmaciones concretas, facilitando posteriormente el tratamiento estadístico de las respuestas mediante porcentajes y frecuencias.

Las cuestiones planteadas se acompañan de imágenes representativas del objeto y de sus posibles configuraciones, con el fin de que todos los participantes puedan valorar el diseño de forma homogénea. De este modo, los alumnos pueden analizar no solo el aspecto general del producto, sino también su sistema modular, la personalización, la representación simbólica y la adecuación del conjunto como objeto conmemorativo de la etapa formativa en la ENM.

La encuesta se planteó de forma anónima, solicitando únicamente el curso o grupo de pertenencia del alumno. Esta información permite clasificar las respuestas en función de la etapa formativa del encuestado y comparar posteriormente la percepción del objeto entre los distintos cursos de la Escuela Naval Militar.



Figura 4-18 Logo de la aplicación empleada para las encuestas Google Forms [24]

4.4.2 Tratamiento estadístico de los resultados

El tratamiento de los datos se realizó mediante estadística descriptiva, al tratarse de una encuesta de valoración aplicada a un prototipo de producto. Para cada ítem se analizaron el número de respuestas válidas, las frecuencias absolutas y los porcentajes relativos de cada opción de respuesta.

Asimismo, los resultados se segmentaron por curso o grupo de pertenencia, con el fin de comparar la percepción del prototipo entre las distintas etapas formativas de la ENM. Esta comparación se interpretó de forma descriptiva, sin realizar inferencia estadística, debido al carácter no probabilístico de la muestra y al objetivo perceptivo de la encuesta.

4.4.3 Cuestiones planteadas en las encuestas y resultados

A continuación, se presentan los resultados gráficos correspondientes a las seis preguntas cerradas incluidas en la encuesta. Cada una de ellas evalúa un aspecto concreto del objeto conmemorativo: atractivo visual, coherencia con el ámbito naval-militar, representatividad de la etapa formativa, adecuación del sistema modular, diferenciación entre variantes y funcionalidad percibida del prototipo.

Los resultados se muestran mediante gráficos porcentuales obtenidos a partir de las respuestas recopiladas en Google Forms. Esta representación permite identificar de forma visual la distribución de respuestas en cada ítem y facilita la posterior interpretación del grado de aceptación del diseño entre el alumnado encuestado.

En primer lugar, se analizaron las cuestiones relacionadas con la percepción visual del objeto y su capacidad para representar la etapa formativa en la Escuela Naval Militar.

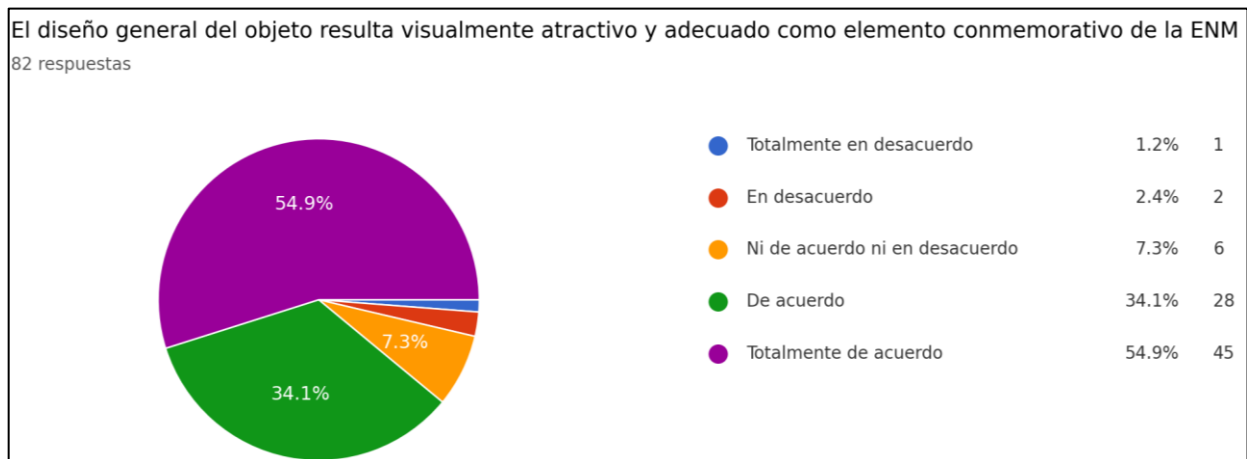


Figura 4-19 Resultados de la encuesta sobre atractivo visual y adecuación del objeto conmemorativo [Autoría propia]

Los resultados de esta primera cuestión muestran una valoración favorable del aspecto general del objeto, lo que indica que la propuesta formal resulta adecuada para su finalidad como pieza conmemorativa de sobremesa.

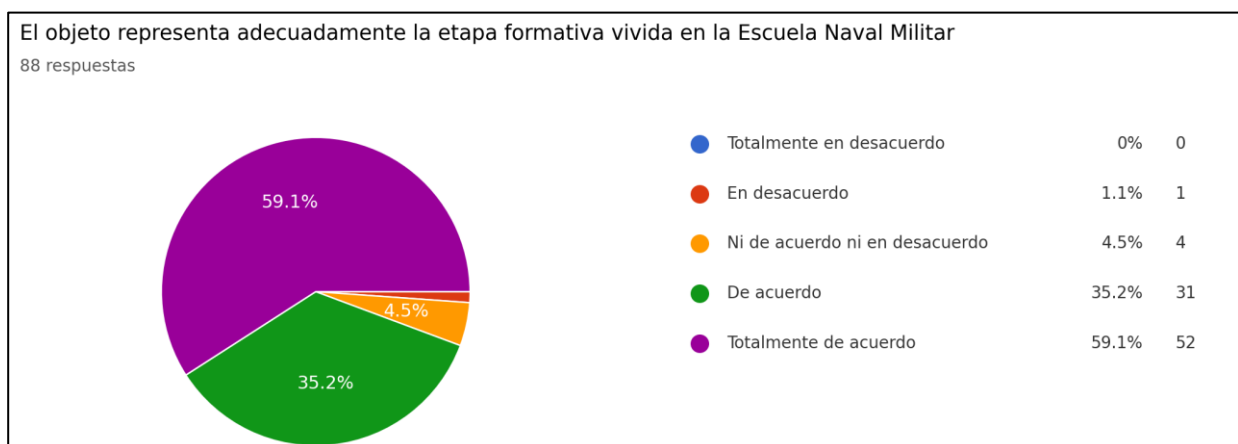


Figura 4-20 Resultados de la encuesta sobre representatividad de la etapa formativa [Autoría propia]

La valoración obtenida en relación con la representatividad permite comprobar si el objeto es percibido como un soporte adecuado para condensar simbólicamente la experiencia formativa en la ENM.

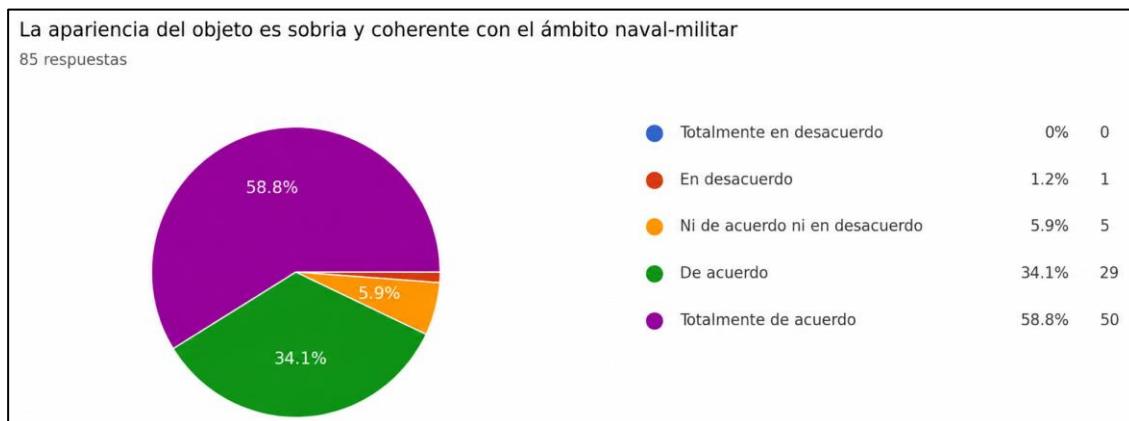


Figura 4-21 Resultados de la encuesta sobre sobriedad y coherencia del objeto con el ámbito naval-militar [Autoría propia]

La cuestión relativa a la sobriedad y coherencia institucional permite completar la valoración formal del objeto, comprobando si el diseño mantiene una estética compatible con el entorno naval-militar.

En segundo lugar, se analizaron las cuestiones relacionadas con la arquitectura modular y la diferenciación entre variantes.

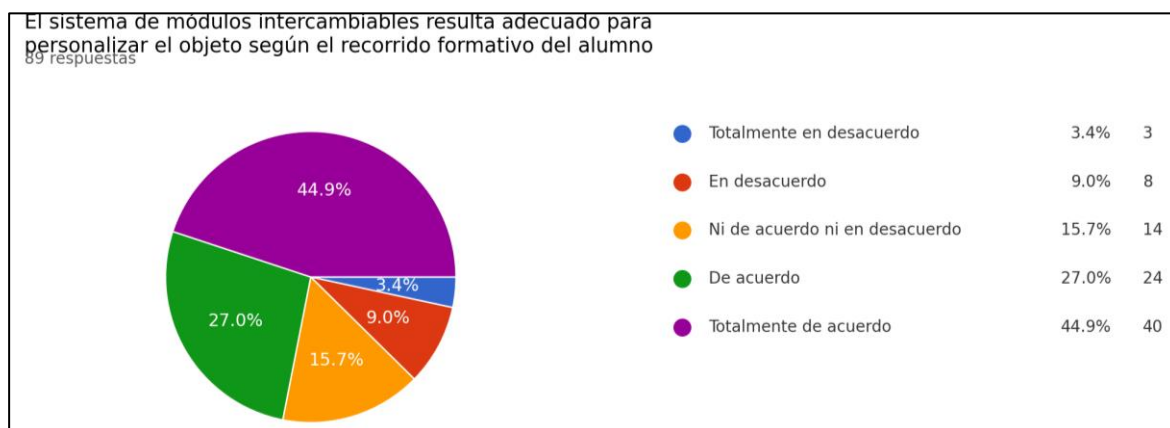


Figura 4-22 Resultados de la encuesta sobre adecuación del sistema de módulos intercambiables para la personalización del objeto [Autoría propia]

Los resultados asociados al sistema modular permiten valorar la aceptación de la personalización como criterio de diseño.

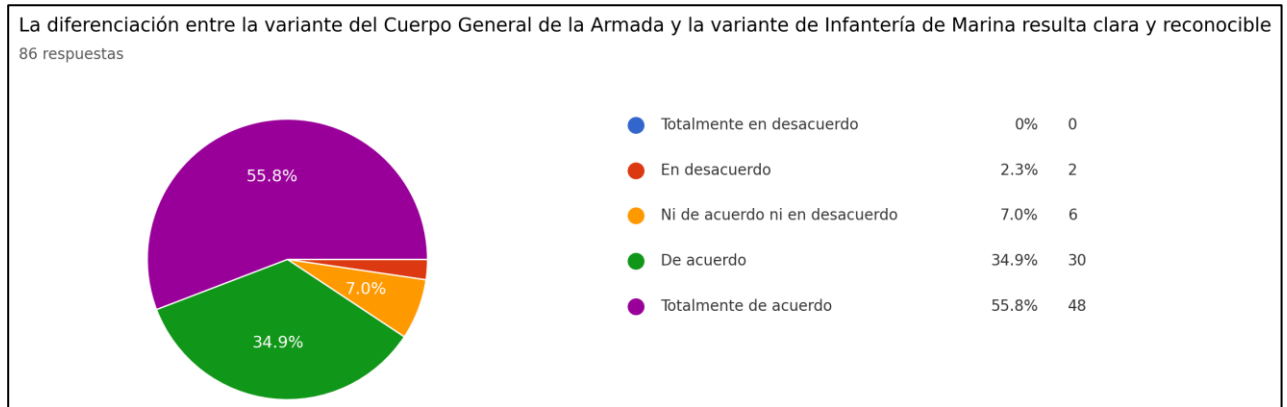


Figura 4-23 Resultados de la encuesta sobre claridad en la diferenciación entre las variantes de Cuerpo General de la Armada e Infantería de Marina [Autoría propia]

La diferenciación entre las variantes CGA e IM permite comprobar si el módulo principal cumple su función simbólica y visual.



Figura 4-24 Resultados de la encuesta sobre funcionalidad percibida, legibilidad y adecuación del prototipo para fabricación mediante impresión 3D [Autoría propia]

Finalmente, se evaluó la percepción funcional del prototipo, considerando aspectos como estabilidad, legibilidad y adecuación a la fabricación mediante impresión 3D.

4.4.4 Análisis de resultados

A partir de los resultados obtenidos en las seis preguntas cerradas, se observa una valoración general favorable del objeto conmemorativo por parte del alumnado encuestado. Las respuestas se concentran principalmente en las categorías positivas de la escala Likert, lo que indica una buena aceptación del diseño desde el punto de vista visual, simbólico y funcional.

Las preguntas relacionadas con el atractivo visual, la sobriedad y la coherencia con el ámbito naval-militar muestran que el objeto es percibido como una propuesta formalmente adecuada para el contexto de la Escuela Naval Militar. Este aspecto resulta relevante, ya que el producto no solo debe tener una función decorativa, sino también transmitir una imagen institucional, sobria y compatible con el entorno al que va dirigido.

La valoración relativa a la representatividad de la etapa formativa también presenta resultados positivos, lo que respalda la función principal del diseño: actuar como soporte físico de memoria, pertenencia y reconocimiento. La aceptación obtenida indica que los elementos simbólicos incorporados al objeto son interpretados de forma coherente por los potenciales usuarios.

Respecto a la arquitectura modular, los resultados muestran que el sistema de módulos intercambiables se percibe como una solución adecuada para personalizar el objeto en función del

recorrido formativo del alumno. Aunque esta cuestión presenta una mayor dispersión en las respuestas, dicha variación resulta razonable, ya que la utilidad de la modularidad depende de la importancia que cada usuario otorgue a la personalización y a la incorporación de hitos individuales.

La diferenciación entre las variantes correspondientes al Cuerpo General de la Armada y a la Infantería de Marina obtiene igualmente una valoración favorable. Este resultado sugiere que el diseño permite identificar ambas configuraciones de forma clara sin alterar la coherencia general del conjunto.

Por último, la pregunta relativa a estabilidad, legibilidad y adecuación a la fabricación mediante impresión 3D permite relacionar la encuesta con criterios propios de la Ingeniería Mecánica. Los resultados favorables indican que el prototipo es percibido como un producto viable para su uso como elemento de sobremesa o exposición. No obstante, la existencia de respuestas neutras o menos favorables permite identificar posibles líneas de mejora relacionadas con el acabado superficial, la definición de detalles, la legibilidad de relieves o el ajuste de los encajes.

Curso/grupo	Nº respuestas	Media global sobre 5	Interpretación
Aspirantes de 1.º	21	4,1	Valoración positiva inicial, centrada principalmente en la primera impresión visual del objeto.
Aspirantes de 2.º	20	4,3	Buena aceptación del concepto, con mayor familiaridad con la vida y símbolos de la ENM.
GuardiaMarinas de 2.º	23	4,5	Alta identificación con el objeto por mayor experiencia acumulada en la etapa formativa.
Alféreces / Alféreces de Fragata	25	4,7	Valoración más alta, asociada a la cercanía al final de la etapa y a una mayor identificación con su carácter conmemorativo.
Total / media global	89	4,4	Aceptación general favorable del objeto conmemorativo entre el alumnado encuestado.

Tabla 4-8 Segmentación de resultados por curso o grupo de pertenencia [Autoría propia]

La segmentación por curso permite observar una tendencia creciente en la valoración media conforme avanza la etapa formativa del alumno. Esta evolución puede relacionarse con una mayor experiencia acumulada en la ENM y, por tanto, con una identificación más intensa con los símbolos, hitos y recuerdos representados en el objeto. No obstante, dicha comparación debe interpretarse de forma descriptiva, ya que la muestra no es probabilística y el número de respuestas por grupo no es completamente homogéneo.

En conjunto, los resultados de la encuesta apoyan la aceptación perceptiva del objeto conmemorativo desarrollado. La información obtenida complementa la evaluación funcional y económica del prototipo, aunque debe interpretarse dentro del alcance limitado de una encuesta descriptiva dirigida a una muestra concreta del alumnado de la ENM.

4.4.5 Alcance de la encuesta

La encuesta realizada permite obtener una referencia útil sobre la aceptación perceptiva del objeto conmemorativo por parte de sus usuarios potenciales. Al estar dirigida a alumnado de la Escuela Naval Militar, los resultados aportan información directamente relacionada con el entorno para el que se ha diseñado el producto, lo que permite valorar su adecuación visual, simbólica y funcional desde el punto de vista del destinatario final.

La segmentación por cursos o grupos de pertenencia permite, además, observar tendencias generales en la percepción del diseño según la etapa formativa del alumno. Esta información resulta especialmente útil para comprobar si el objeto es interpretado de forma coherente por alumnos con distinto grado de experiencia dentro de la ENM y si su carácter conmemorativo adquiere mayor relevancia conforme avanza la formación.

Por tanto, la encuesta constituye una herramienta complementaria dentro del proceso de evaluación del diseño. Sus resultados sirven como referencia para valorar la aceptación del concepto, detectar posibles aspectos de mejora y reforzar la continuidad del desarrollo del objeto conmemorativo en futuras iteraciones.

5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

El presente capítulo recoge las conclusiones derivadas del desarrollo del Trabajo Fin de Grado, a partir del análisis conjunto del proceso de diseño, modelado, fabricación, evaluación funcional y comprobación técnica del objeto conmemorativo propuesto.

5.1 Conclusiones

El desarrollo del presente Trabajo Fin de Grado ha permitido materializar una propuesta de diseño conmemorativo que integra simbolismo institucional, personalización, viabilidad de fabricación y evaluación funcional desde un enfoque propio de la Ingeniería Mecánica. El resultado obtenido no se limita a un ejercicio conceptual, sino que se concreta en un objeto físico, fabricable y reproducible, concebido para representar de manera tangible la etapa formativa del alumnado en la Escuela Naval Militar.

Uno de los principales resultados del proyecto ha sido la evolución desde una primera base modular inicial hacia una base monumental definitiva, inspirada formalmente en la Escalera Monumental de la ENM. Esta modificación permitió incrementar la carga simbólica del conjunto, mejorar su presencia visual y reforzar la relación entre el objeto diseñado y el entorno institucional al que pertenece. La base inicial cumplió una función relevante como primera iteración de validación del sistema modular, mientras que la base monumental constituye la solución final adoptada.

Asimismo, el diseño desarrollado destaca por su arquitectura modular y personalizable. La configuración adoptada, formada por una base común, una placa identificativa, un módulo principal intercambiable y módulos secundarios asociados a hitos, valores o empleos de la etapa formativa, permite adaptar el objeto a distintos usuarios sin alterar la estructura general del conjunto. Esta solución aporta una dimensión diferencial al proyecto, ya que permite combinar una identidad institucional común con elementos personalizados vinculados a la experiencia individual de cada alumno.

Desde el punto de vista de fabricación, la impresión 3D mediante tecnología FDM ha demostrado ser una solución adecuada para el desarrollo del prototipo. El PLA se ha seleccionado como material principal por su facilidad de impresión, disponibilidad, bajo coste, estabilidad dimensional y compatibilidad con el proceso de fabricación empleado. Además, se realizaron pruebas complementarias con ABS y resina, lo que permitió comparar alternativas y justificar de forma más completa la elección del PLA como opción principal para el prototipo final.

El estudio económico realizado confirma la viabilidad del objeto para una producción de baja escala. Considerando el material, el consumo energético, las mermas y una estimación de amortización y mantenimiento de máquina, el coste unitario aproximado del prototipo final se sitúa en 13,46 €, redondeado a 14,00 €. Esta cifra permite considerar el diseño como una propuesta razonable para su

fabricación en series cortas, especialmente en contextos como promociones, cursos o actos institucionales.

La evaluación funcional del conjunto ha permitido comprobar la estabilidad del objeto, la integración de sus componentes, la legibilidad de la placa identificativa y la posibilidad de intercambio de módulos. Además, el análisis estructural simplificado de la base monumental ha mostrado que, bajo las cargas consideradas para su uso normal como objeto de sobremesa, las tensiones obtenidas son muy reducidas y no comprometen su función como soporte. No obstante, dicho análisis debe interpretarse como una comprobación preliminar, ya que no sustituye a una caracterización mecánica experimental de piezas fabricadas mediante FDM.

En cuanto a la percepción del diseño, la encuesta realizada a alumnado de la ENM aporta una validación orientativa dentro del contexto del proyecto. Aunque la muestra debe entenderse como una muestra de conveniencia y no como un estudio estadístico plenamente representativo, los resultados obtenidos reflejan una valoración mayoritariamente positiva del objeto, tanto en su atractivo visual como en su capacidad para representar la etapa formativa en la Escuela Naval Militar.

En conjunto, puede concluirse que el TFG ha alcanzado satisfactoriamente los objetivos planteados. Se ha diseñado, fabricado y evaluado un objeto conmemorativo modular, personalizable, representativo y técnicamente viable, capaz de unir significado institucional, diseño CAD, fabricación aditiva y lógica de producción en una misma propuesta. La solución desarrollada presenta además potencial de evolución futura, tanto para su mejora técnica como para su adaptación a nuevos usuarios, promociones o contextos institucionales.

5.2 Líneas futuras

El trabajo desarrollado constituye una base técnica sobre la que pueden plantearse futuras mejoras y nuevas aplicaciones. Al tratarse de un objeto modular y fabricable mediante impresión 3D, existen distintas líneas de evolución orientadas tanto al perfeccionamiento del diseño actual como a su reutilización en futuros proyectos conmemorativos.

5.2.1 Mejora del diseño actual

Una primera línea de mejora se centra en la calidad percibida y en los acabados superficiales. Aunque el PLA permite obtener prototipos funcionales y visualmente satisfactorios, versiones futuras podrían incorporar procesos de acabado más exigentes, como lijado fino, imprimación, pintura, barnizado o metalizado. Estas operaciones permitirían aumentar la durabilidad superficial, reducir la visibilidad de las capas de impresión y reforzar el carácter institucional del objeto.

También podría optimizarse el sistema de encaje de las piezas, con el objetivo de mejorar la repetibilidad entre impresiones y facilitar el montaje y desmontaje de los módulos. Esta mejora podría incluir el ajuste de holguras, la incorporación de chaflanes guía, la estandarización de alojamientos o el estudio de sistemas de unión alternativos. Todo ello sería especialmente útil si se plantease una fabricación de varias unidades o una producción por promociones.

Otra posible línea de mejora consistiría en profundizar en la validación mecánica del objeto. Aunque el análisis estructural realizado permite comprobar de forma preliminar el comportamiento de la base monumental bajo cargas estáticas reducidas, en trabajos futuros podría estudiarse el efecto de caídas desde una mesa o estante, impactos accidentales o solicitaciones durante el transporte. Asimismo, sería conveniente caracterizar experimentalmente el comportamiento de piezas impresas mediante FDM, teniendo en cuenta la anisotropía asociada a la orientación de impresión, el patrón de relleno y la adhesión entre capas.

5.2.2 Personalización avanzada y creación de módulos por el usuario

La principal característica diferencial del diseño es su capacidad de personalización. Una línea futura natural consistiría en facilitar que cada usuario pudiera diseñar sus propios módulos secundarios, asociados a hitos personales, embarques, ejercicios, destinos, valores o experiencias concretas de su etapa formativa.

Para ello, podrían definirse plantillas paramétricas o guías de diseño que estableciesen dimensiones fijas, zonas de relieve, espesores mínimos y criterios de compatibilidad con la base. De esta forma, cualquier nuevo módulo podría integrarse en el conjunto sin necesidad de modificar la arquitectura principal del objeto. Esta solución permitiría que el diseño evolucionase junto con el usuario y que cada promoción pudiera generar variantes propias manteniendo una estructura común.

5.2.3 Proyectos derivados y reutilización del diseño base

Además de mejorar el objeto presentado, este trabajo puede servir como punto de partida para desarrollar nuevos objetos conmemorativos basados en los mismos principios de diseño. Los modelos CAD de la base, los alojamientos y los módulos podrían reutilizarse como plataforma para futuras propuestas, modificando la simbología, el módulo principal, los textos o el lenguaje formal, pero manteniendo una arquitectura modular ya definida.

Esta posibilidad abre la puerta a que otros alumnos continúen la línea de trabajo en futuros proyectos, generando versiones más complejas, adaptadas a otras promociones, unidades, cuerpos o contextos dentro de la Escuela Naval Militar. Del mismo modo, el planteamiento podría extrapolarse a otros colectivos académicos, institucionales o profesionales que deseen representar pertenencia, trayectoria y memoria mediante un objeto físico personalizado.

En conjunto, las líneas futuras planteadas refuerzan la principal aportación del proyecto: no solo se ha diseñado un objeto conmemorativo concreto, sino una arquitectura modular, replicable y ampliable, capaz de evolucionar en el tiempo y adaptarse a distintos usuarios, símbolos y contextos.

5.3 Síntesis de mejoras y consolidación de la versión final

La versión final del presente Trabajo Fin de Grado incorpora una serie de mejoras orientadas a reforzar su coherencia técnica, su profundidad como proyecto de Ingeniería Mecánica y la trazabilidad entre los objetivos planteados, el desarrollo del diseño y los resultados obtenidos. Estas modificaciones han permitido consolidar el trabajo no solo como el diseño de un objeto conmemorativo, sino como un proceso completo de desarrollo de producto modular, fabricable y evaluable.

En primer lugar, se ha reformulado el planteamiento inicial del proyecto mediante una definición más precisa de los objetivos, del alcance y de los requisitos de diseño. Esta mejora ha permitido relacionar de forma más clara la necesidad simbólica del objeto con criterios funcionales, geométricos, fabricativos y económicos. De este modo, el producto desarrollado queda vinculado a una metodología propia del diseño mecánico, en la que las decisiones adoptadas responden a requisitos previamente definidos y no únicamente a criterios estéticos.

Asimismo, se ha ampliado y estructurado el estado del arte, incorporando una revisión más completa del simbolismo institucional, la personalización, la fabricación aditiva, los materiales empleados en impresión 3D, el diseño CAD y el flujo digital CAD–slicer–fabricación. Esta ampliación ha permitido justificar con mayor rigor la elección de una arquitectura modular, el empleo de fabricación aditiva FDM, la selección del PLA como material de prototipado y el uso de Autodesk Inventor y Bambu Studio dentro del proceso de desarrollo.

Desde el punto de vista del diseño, una de las mejoras más relevantes ha sido la evolución de la base modular inicial hacia una base monumental definitiva, inspirada formalmente en la Escalera Monumental de la ENM. Esta evolución ha incrementado la carga simbólica del conjunto y ha reforzado su relación con el entorno institucional. Además, la versión final adopta una configuración jerarquizada

de cinco alojamientos funcionales, compuesta por un módulo principal superior y cuatro módulos secundarios seleccionables. Esta solución permite mantener la personalización del objeto, mejorar la proporción visual de la base y reservar el módulo principal como elemento de coronación simbólica del recorrido formativo.

También se ha reforzado la justificación del proceso de fabricación aditiva. La memoria final describe con mayor detalle la preparación de los modelos en Bambu Studio, los parámetros principales de impresión, las holguras de encaje, la orientación de fabricación, el uso de soportes y las limitaciones propias del proceso FDM. Además, se han incorporado pruebas complementarias con ABS y resina, lo que permite comparar distintas alternativas tecnológicas y justificar la elección del PLA como material principal para el prototipo completo.

En relación con la validación técnica, se ha revisado el análisis estructural de la base monumental, definiendo de forma explícita las cargas aplicadas, las condiciones de contorno, las hipótesis del modelo y sus limitaciones. El análisis se interpreta como una comprobación estática simplificada, adecuada al uso previsto del objeto como elemento de sobremesa, y no como una certificación estructural del producto. Esta interpretación resulta coherente con el alcance del trabajo y con el comportamiento esperado de una pieza fabricada mediante FDM.

El estudio económico también se ha ampliado mediante la inclusión de partidas adicionales al consumo de material, como energía eléctrica, amortización de la impresora, mantenimiento, consumibles y mermas. Esta mejora permite obtener una estimación más realista del coste unitario de fabricación y valorar la viabilidad del objeto para una posible producción personalizada o en series cortas.

Por último, se ha incorporado una evaluación de aceptación mediante encuesta dirigida a usuarios potenciales del entorno de la ENM. Esta evaluación se plantea como una valoración perceptiva y descriptiva, no como una validación técnica absoluta, permitiendo analizar la aceptación visual, simbólica y funcional del objeto desarrollado. Los resultados obtenidos complementan la evaluación funcional y económica del prototipo, aportando información útil sobre su adecuación al público destinatario.

En conjunto, las mejoras incorporadas han permitido consolidar la versión final del TFG como una propuesta más completa, coherente y defendible desde el punto de vista técnico. El trabajo final integra diseño CAD, fabricación aditiva, modularidad, validación funcional, análisis económico, evaluación de aceptación y documentación técnica, reforzando su carácter de proyecto de Ingeniería Mecánica aplicado al desarrollo de un producto conmemorativo personalizado.

6 BIBLIOGRAFÍA

En este apartado se recogen las fuentes empleadas en la elaboración de la memoria (normas, libros, artículos y recursos técnicos).

[1] Armada Española, “Escuela Naval Militar: Historia,” Armada. Accedido: 8 de enero de 2026. <https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/personal/enm/prefLang-es/01bienvenida--02historia--01historiasm>

[2] Centro Universitario de la Defensa (CUD) en la ENM – Universidade de Vigo, “Presentación del CUD-ENM.” Accedido: 9 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://cud.uvigo.es/presentacion/>

[3] Centro Universitario de la Defensa (CUD) en la ENM – Universidade de Vigo, “Grado en Ingeniería Mecánica.” Accedido: 16 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://cud.uvigo.es/grado-en-ingenieria-mecanica/>

[4] A. P. Cohen, *The Symbolic Construction of Community*. Chichester, UK: Ellis Horwood, 1985.

[5] V. Turner, *The Forest of Symbols: Aspects of Ndembu Ritual*. Ithaca, NY: Cornell University Press, 1967.

[6] R. F. Baumeister and M. R. Leary, “The Need to Belong: Desire for Interpersonal Attachments as a Fundamental Human Motivation,” *Psychological Bulletin*, vol. 117, no. 3, pp. 497–529, 1995.

[7] H. Tajfel and J. C. Turner, “An Integrative Theory of Intergroup Conflict,” in *The Social Psychology of Intergroup Relations*, W. G. Austin and S. Worchel, Eds. Monterey, CA: Brooks/Cole, 1979, pp. 33–47.

[8] A. Goldsworthy, *The Complete Roman Army*. London, UK: Thames & Hudson, 2003.

[9] ISO/ASTM, *ISO/ASTM 52900:2021 Additive manufacturing — General principles — Fundamentals and vocabulary*. Geneva, Switzerland: ISO, 2021. Accedido: 18 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.iso.org/standard/74514.html>

[10] Stratasys, “FDM Technology (Fused Deposition Modeling),” guía técnica. Accedido: 19 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.stratasys.com/en/guide-to-3d-printing/technologies-and-materials/fdm-technology/>

- [11] 3D Systems, “Stereolithography (SLA): technology overview,” documentación técnica. Accedido: 22 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.3dsystems.com/stereolithography>
- [12] HP, “Multi Jet Fusion (MJF) 3D printing technology,” documentación técnica. Accedido: 30 de enero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.hp.com/us-en/printers/3d-printers/products/multi-jet-technology.html>
- [13] Protolabs, “DMLS vs. SLM 3D Printing: differences and considerations,” blog técnico. Accedido: 1 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.protolabs.com/resources/blog/slm-3d-printing/>
- [14] Heraldo de Aragón, “Fotos | El buque Juan Sebastián de Elcano llega a República Dominicana con la princesa Leonor a bordo,” 2025. Accedido: 2 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.heraldo.es/multimedia/imagenes/nacional/fotos-el-buque-juan-sebastian-de-elcano-llega-a-republica-dominicana-con-la-princesa-leonor-a-bordo/>
- [15] Autodesk, “Autodesk Inventor: 3D modeling software for designers and engineers,” Autodesk. Accedido: 3 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.autodesk.com/products/inventor/overview>
- [16] Autodesk, “Inventor Help: Parts, assemblies, drawings and documentation,” Autodesk Help. Accedido: 5 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://help.autodesk.com/view/INVNTOR/>
- [17] Manufacturing.gov, “Computer-aided Design,” NIST Manufacturing USA. Accedido: 9 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.manufacturing.gov/topic/computer-aided-design>
- [18] ISO, ISO 16792:2021 — Technical product documentation — Digital product definition data practices. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization, 2021. Accedido: 28 de febrero de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.iso.org/standard/73871.html>
- [19] Prusa Research, “PLA (Polylactic acid) — Prusa Knowledge Base,” 2025. Accedido: 10 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: https://help.prusa3d.com/article/pla_2062
- [20] Bambu Lab, “P1 Series / P1P — Build Volume 256 × 256 × 256 mm³.” Accedido: 15 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://bambulab.com/en-eu/p1>
- [21] Bambu Lab, “BambuStudio,” GitHub. Accedido: 17 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://github.com/bambulab/BambuStudio>
- [22] Bambu Lab Wiki, “Bambu Studio — Setting guide of slicing parameters.” Accedido: 21 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://wiki.bambulab.com/en/software/bambu-studio/how-to-set-slicing-parameters>
- [23] Bambu Lab, “Ultimate Guide to PLA 3D Printing Filament.” Accedido: 23 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://bambulab.com/en-eu/filament/pla>

- [24] Google, “Google Forms: Online Form Creator,” Google Workspace. Accedido: 27 de marzo de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://workspace.google.com/products/forms/>
- [25] ISO, “ISO 26000 — Social responsibility,” ISO. Accedido: 1 de abril de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.iso.org/iso-26000-social-responsibility.html>
- [26] M. R. Hasan, I. J. Davies, A. Pramanik, M. John and W. K. Biswas, “Potential of recycled PLA in 3D printing: A review,” *Sustainable Manufacturing and Service Economics*, vol. 3, art. 100020, 2024, doi: 10.1016/j.smse.2024.100020. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.smse.2024.100020>
- [27] E. Rezvani Ghomi, F. Khosravi, A. Saedi Ardahaei, Y. Dai, R. Esmaeely Neisiany, F. Foroughi, M. Wu, O. Das and S. Ramakrishna, “The Life Cycle Assessment for Polylactic Acid (PLA) to Make It a Low-Carbon Material,” *Polymers*, vol. 13, no. 11, art. 1854, 2021, doi: 10.3390/polym13111854. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/polym13111854>
- [28] Dassault Systèmes, “SOLIDWORKS 3D CAD,” SOLIDWORKS. Accedido: 2 de abril de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.solidworks.com/product/solidworks-3d-cad>
- [29] Siemens, “NX CAD,” Siemens Digital Industries Software. Accedido: 2 de abril de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://plm.sw.siemens.com/en-US/nx/cad-online/>
- [30] PTC, “Creo Computer-Aided Design (CAD),” PTC. Accedido: 3 de abril de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.ptc.com/en/products/creo>
- [31] K. T. Ulrich and S. D. Eppinger, *Product Design and Development*, 7th ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill Education, 2020.
- [32] G. Pahl, W. Beitz, J. Feldhusen and K.-H. Grote, *Engineering Design: A Systematic Approach*, 3rd ed. London, UK: Springer, 2007.
- [33] B. Gharehpapagh, R. Aliyev, N. K. Gupta, M. Milek and H. Zeidler, “Multi-material glass additive manufacturing: a review of materials, techniques, and integration challenges,” *Progress in Additive Manufacturing*, vol. 11, pp. 3655–3675, 2026, doi: 10.1007/s40964-026-01543-9.
- [34] Bambu Lab, “3D Printer Filament Comparison Guide.” Accedido: 4 de abril de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://bambulab.com/en-gb/filament/guide>
- [35] Prusa Research, “Filament Material Guide,” Prusa Knowledge Base. Accedido: 4 de abril de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://help.prusa3d.com/filament-material-guide>
- [36] M. Majeed, R. Silva, D. N. Faye and P. Pedrosa, “Influence of Strain-Offset-Based Yield Definitions on the Accuracy of Finite Element Analysis of 3D-Printed PLA with Different Raster Orientations,” *Polymers*, vol. 18, no. 2, art. 158, 2026, doi: 10.3390/polym18020158.
- [37] D. Catana, M.-A. Pop and D.-I. Brus, “Comparison between the Test and Simulation Results for PLA Structures 3D Printed, Bending Stressed,” *Molecules*, vol. 26, no. 11, art. 3325, 2021, doi: 10.3390/molecules26113325.

[38] S. Ganeshkumar, S. D. Kumar, U. Magarajan, S. Rajkumar, B. Arulmurugan, S. Sharma, C. Li, R. A. Ilyas and M. F. Badran, “Investigation of Tensile Properties of Different Infill Pattern Structures of 3D-Printed PLA Polymers: Analysis and Validation Using Finite Element Analysis in ANSYS,” *Materials*, vol. 15, no. 15, art. 5142, 2022, doi: 10.3390/ma15155142.

[39] Autodesk, “Stress analysis assumptions,” Autodesk Support. Accedido: 2 de julio de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.autodesk.com/support/technical/article/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/Stress-analysis-assumptions.html>

[40] Dassault Systèmes, “CATIA 3D CAD Software,” Dassault Systèmes. Accedido: 4 de julio de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.3ds.com/products/catia>

[41] ISO, ISO 10303-21:2016 Industrial automation systems and integration — Product data representation and exchange — Part 21: Implementation methods: Clear text encoding of the exchange structure. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization, 2016. Accedido: 4 de julio de 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.iso.org/standard/63141.html>

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

El desarrollo del presente proyecto no se limita únicamente al diseño técnico de un objeto conmemorativo, sino que conlleva también una reflexión sobre su posible impacto en el entorno institucional y formativo en el que se enmarca.

Desde una perspectiva más social, el objeto simbólico propuesto contribuye de manera notable en el refuerzo del vínculo del egresado con la ENM, al materializarse en un elemento físico la experiencia compartida y los valores interiorizados durante la etapa formativa. Su carácter modular, basado en una base común y piezas intercambiables, permite que cada usuario represente de forma personal distintos hitos de su etapa formativa en la ENM, reforzando el recuerdo, el sentimiento de pertenencia y el vínculo con la institución. Además, al tratarse de un diseño concebido y desarrollado por un alumno de la propia escuela, se evidencia la aplicación práctica de competencias de ingeniería mecánica al servicio del patrimonio simbólico de la institución, así como al ámbito universitario [9].

En el plano económico, la propuesta pone en práctica la viabilidad de fabricar objetos con un nivel notable de personalización a través de tecnologías accesibles y modernas, como la impresión 3D con PLA. Esto permite producir series cortas (por ejemplo, por cursos o promociones) con costes contenidos y sin necesidad de utillajes específicos, lo que facilita su replicabilidad en series. El empleo de modularidad también reduce costes futuros, ya que posibilita sustituir únicamente elementos concretos (placas y/o módulos) sin rehacer el conjunto completo del objeto y sin requerimiento de un rediseño total [9].

Por último, en cuanto a las implicaciones ambientales y relacionadas con la contaminación, el uso de PLA —material de origen biológico y ampliamente extendido en fabricación aditiva—, junto con la producción localizada de las piezas, contribuye a reducir el impacto medioambiental asociado al transporte y a la fabricación externa. Además, al tratarse de un objeto duradero y personalizable, se favorece una mayor vida útil y se minimiza la necesidad de sustituciones completas, limitando la generación de residuos dentro de un uso razonable [19].

ANEXO II: REFLEXIONES ÉTICAS Y SOCIALES

El desarrollo de un objeto simbólico para una institución con el legado de la Escuela Naval Militar exige considerar aspectos que van más allá del diseño geométrico y de la viabilidad de fabricación. Al tratarse de una pieza destinada a representar identidad, memoria y pertenencia, el proyecto incorpora una dimensión ética de una importancia notablemente más elevada, y directamente vinculada al respeto institucional, al uso responsable de símbolos y a la gestión adecuada del impacto material del prototipado.

En primer lugar, existe una responsabilidad asociada a la representación. El objeto no pretende reinterpretar la institución, todo lo contrario, reflejarla con sobriedad y coherencia. En este sentido, la elección de elementos simbólicos (formas, emblemas o referencias visuales) debe evitar la banalización y mantener un criterio de respeto hacia el significado cultural que se desea condensar. Este enfoque es coherente con marcos generales de responsabilidad social y actuación ética en organizaciones, que recomiendan integrar consideraciones sociales y culturales en la toma de decisiones, no solo criterios técnicos [25].

Por otra parte, el proyecto plantea una reflexión sobre el uso de emblemas y heráldica. En muchos países, el empleo de insignias oficiales puede estar sujeto a restricciones independientes del derecho de autor. Por ello, el diseño debe tratar estos elementos con prudencia: o bien recurriendo a recursos claramente autorizados para difusión pública, o bien optando por soluciones abstractas (geometrías y motivos navales) que transmitan pertenencia e integridad, sin llegar a reproducir de forma directa un distintivo protegido. Esta precaución también se extiende a imágenes de terceros utilizadas en la memoria: si no son de autoría propia, deben citarse correctamente; y, en caso de generar imágenes con herramientas de IA, conviene identificarlas como elaboración propia para mantener transparencia metodológica en todo el proyecto.

Como último aspecto ético a destacar, se encuentra la personalización. Incluir nombre, promoción o fechas incrementa el valor conmemorativo, pero implica tratar información personal. Aunque se trata de datos de baja sensibilidad, es recomendable limitar el contenido a lo estrictamente necesario y asumir que el objeto puede estar expuesto públicamente (despacho, domicilio, vitrina). Esta decisión reduce riesgos y preserva la privacidad sin perder el sentido del diseño.

Finalmente, el trabajo invita a una reflexión metódica sobre la sostenibilidad del prototipado. Aunque el PLA se asocia a un origen renovable, su biodegradabilidad depende de condiciones controladas (por ejemplo: compostaje industrial), por lo que es importante evitar la impresión innecesaria y gestionar los residuos de manera responsable. En esta línea, la literatura reciente señala el potencial del PLA reciclado (rPLA) como vía para reducir impacto y coste en impresión 3D, aunque con posibles pérdidas de propiedades tras ciclos de reciclaje, lo que refuerza la necesidad de imprimir con criterio y priorizar iteraciones planificadas [27][26].

En su conjunto, estas consideraciones sitúan el proyecto dentro de una ingeniería completamente consciente: no solo se busca fabricar un objeto viable, sino hacerlo de forma respetuosa con la institución, transparente en sus fuentes y razonable en el uso de recursos.

ANEXO III: PRESUPUESTO

El presente anexo recoge el presupuesto estimado de fabricación del prototipo final desarrollado en el TFG. La estimación corresponde a una unidad fabricada mediante impresión 3D FDM en PLA e incluye material, consumo energético, amortización de la impresora, mantenimiento, consumibles y mermas asociadas al proceso.

Nº	Concepto	Unidad	Cantidad	Precio unitario (€)	Importe (€)
1	PLA empleado en base monumental	g	200	0,020	4,00
2	PLA empleado en placa identificativa	g	35	0,020	0,70
3	PLA empleado en módulo principal	g	55	0,020	1,10
4	PLA empleado en módulos secundarios	g	50	0,020	1,00
5	Energía eléctrica consumida	kWh	1,92	0,20	0,38
6	Amortización de impresora 3D	h	16	0,30	4,80
7	Mantenimiento y consumibles	h	16	0,05	0,80
8	Mermas y residuos de material	%	10 % sobre 6,80 €	—	0,68
PRESUPUESTO TOTAL					≈14,00

Tabla A-III Presupuesto estimado de fabricación de una unidad [Autoría propia]

El coste total estimado para la fabricación de una unidad del objeto conmemorativo asciende a 13,46 € (redondeado a 14,00 para facilitar cálculos). Este valor incluye el material empleado, el consumo energético, la amortización teórica de la impresora, el mantenimiento, los consumibles y una estimación de mermas de material.

Asimismo, debe tenerse en cuenta que la impresora Bambu Lab P1P ha sido proporcionada por el CUD, por lo que no ha supuesto un desembolso directo para el alumno, aunque se ha considerado una amortización teórica para obtener una estimación económica más completa.

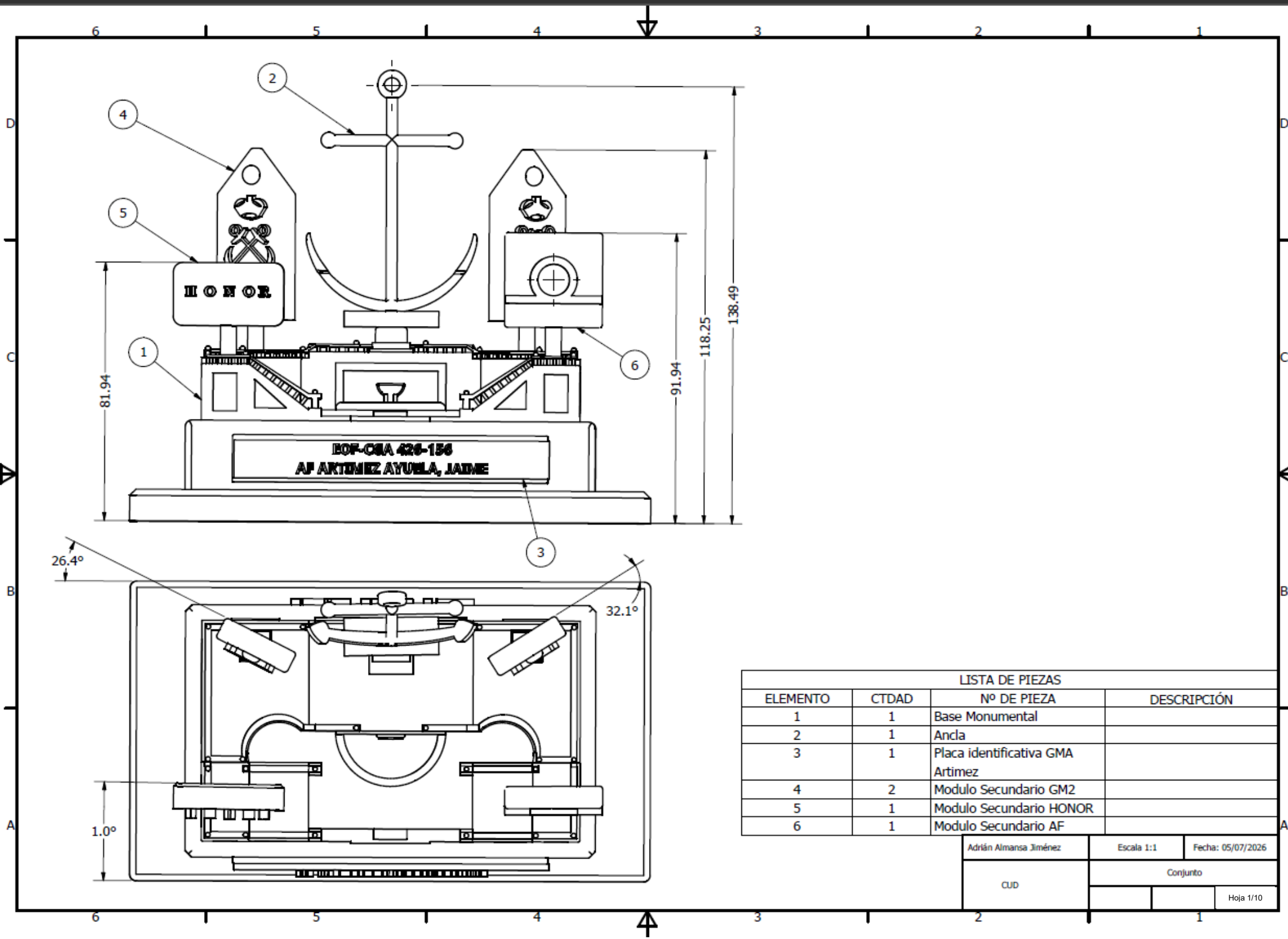
En consecuencia, el coste obtenido confirma que el diseño resulta compatible con una fabricación personalizada o en series cortas, especialmente para promociones, cursos o encargos reducidos, sin necesidad de moldes ni utillajes específicos.

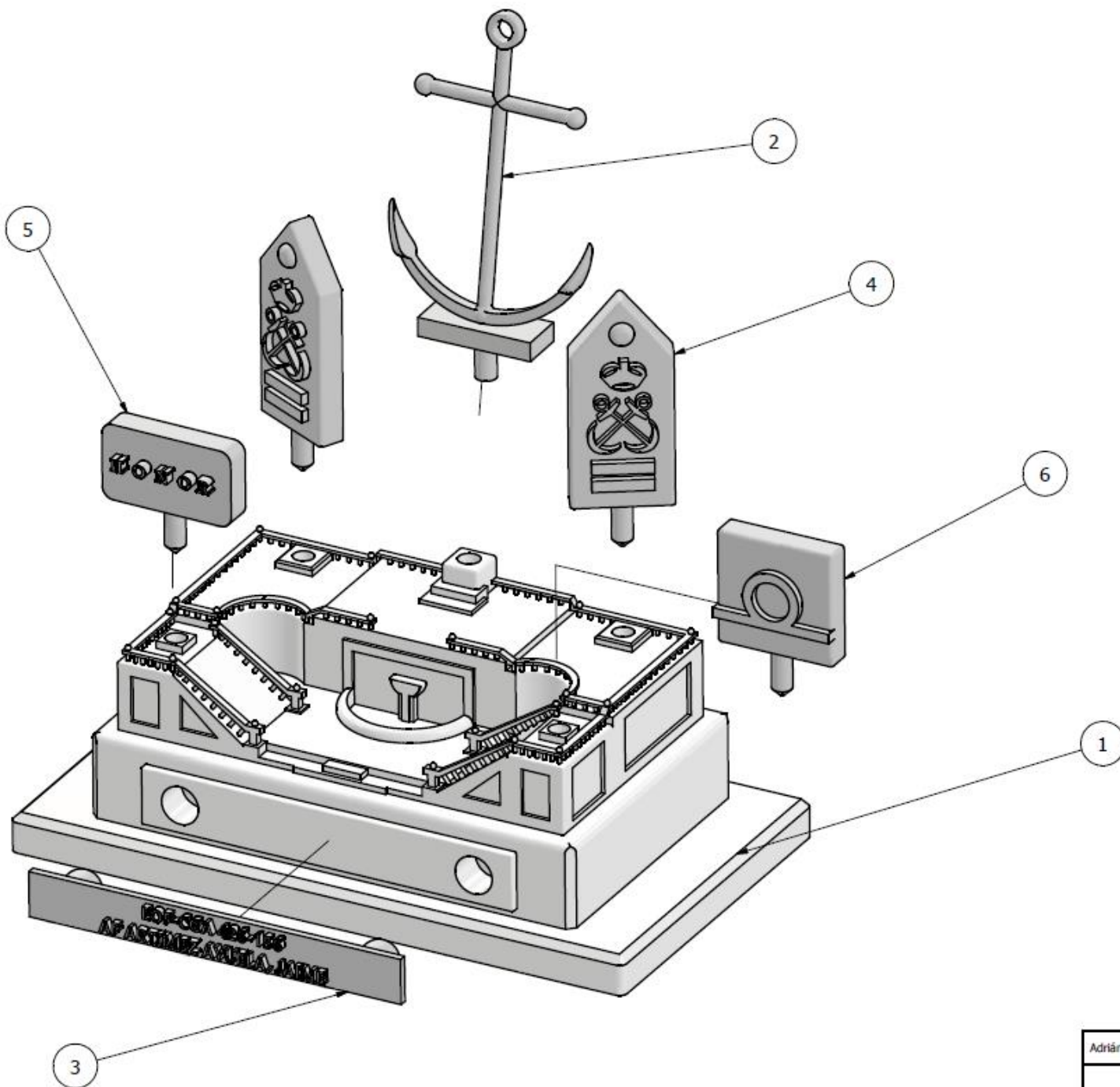
ANEXO IV: PLANOS

El presente anexo recoge la documentación técnica correspondiente a la versión final del objeto conmemorativo desarrollado en el TFG. Los planos incluidos definen geométricamente el conjunto con base monumental, la placa identificativa, los módulos principales y los módulos secundarios representativos, permitiendo identificar las dimensiones principales, las interfaces de ensamblaje, los alojamientos y la disposición relativa de las piezas.

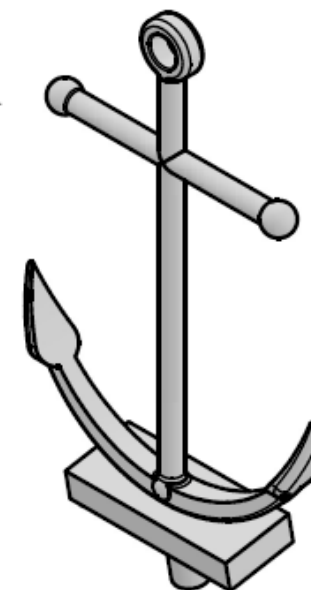
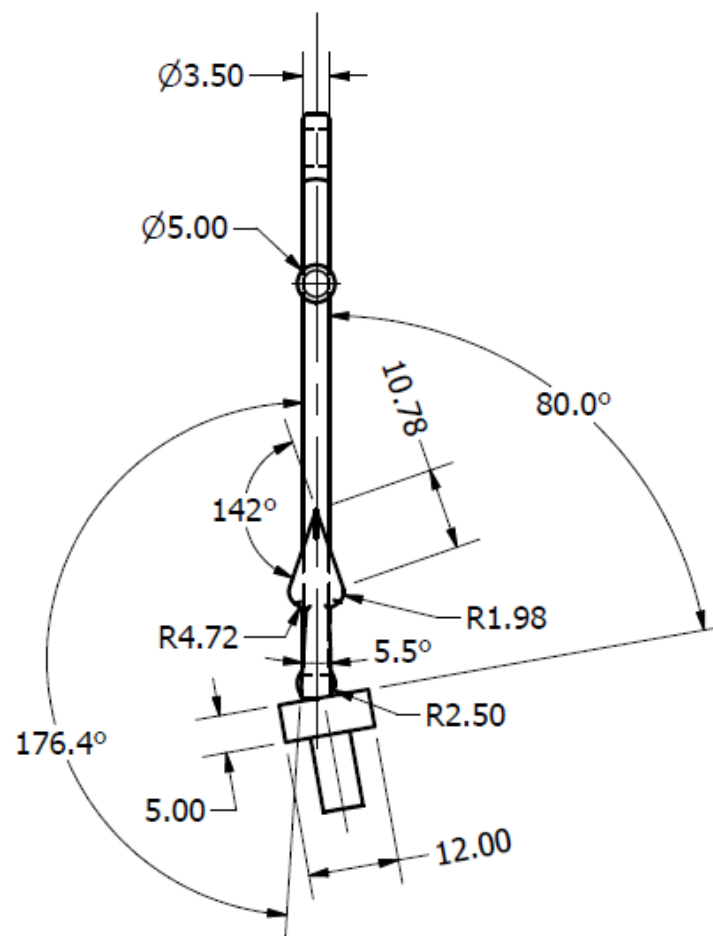
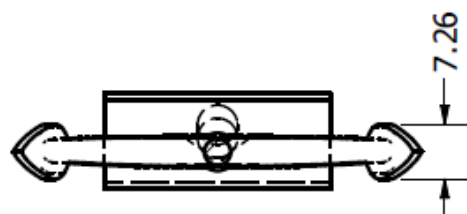
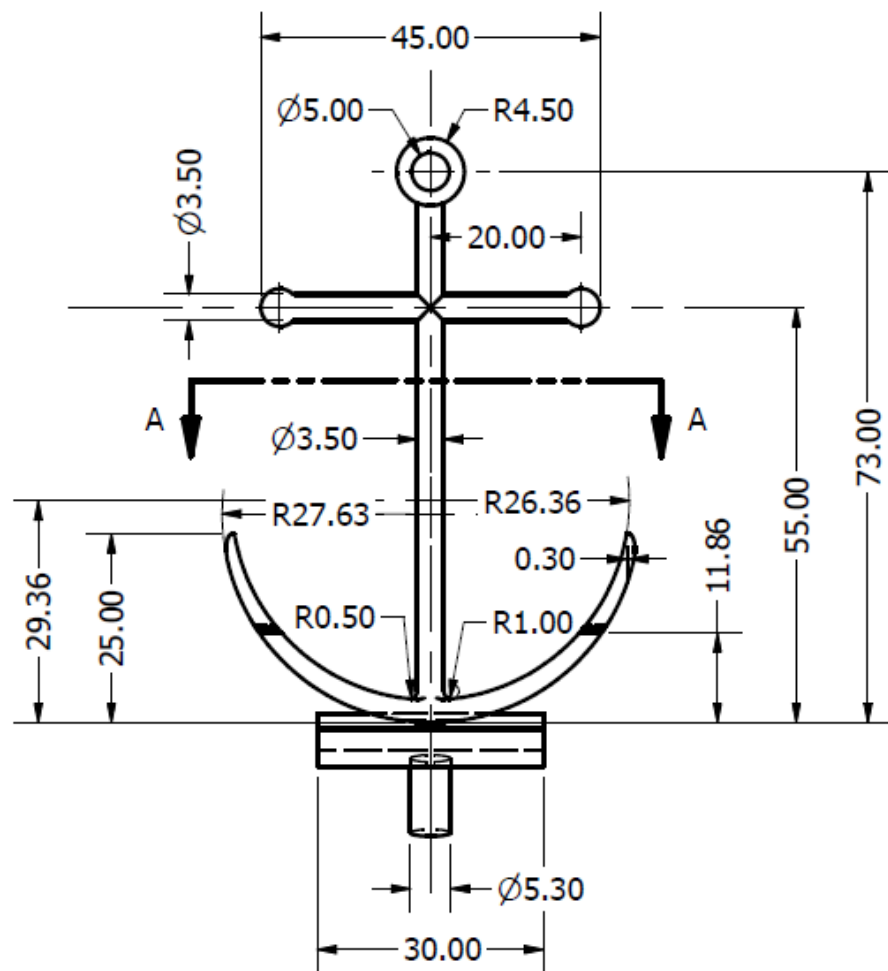
La tabla adjunta recoge el registro de planos incluidos en el presente anexo, ordenados según la secuencia seguida en la documentación técnica del conjunto y de sus componentes principales.

Nº de plano	Denominación del plano
1	Vista de conjunto
2	Vista explosionado del conjunto
3	Base monumental
4	Módulo principal ancla CGA
5	Placa identificativa CGA
6	Módulo secundario GM2
7	Módulo secundario HONOR
8	Módulo secundario AF
9	Base modular inicial
10	Fusil IM para ancla

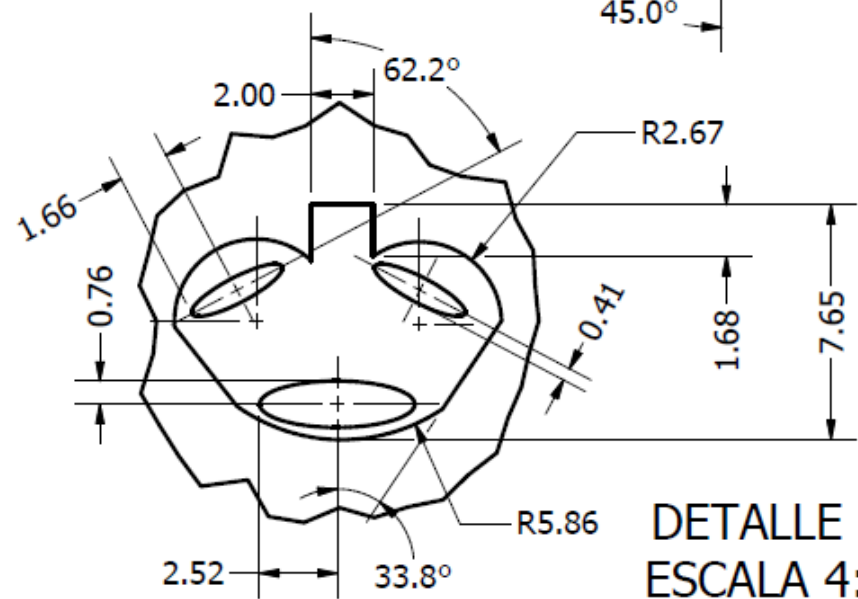
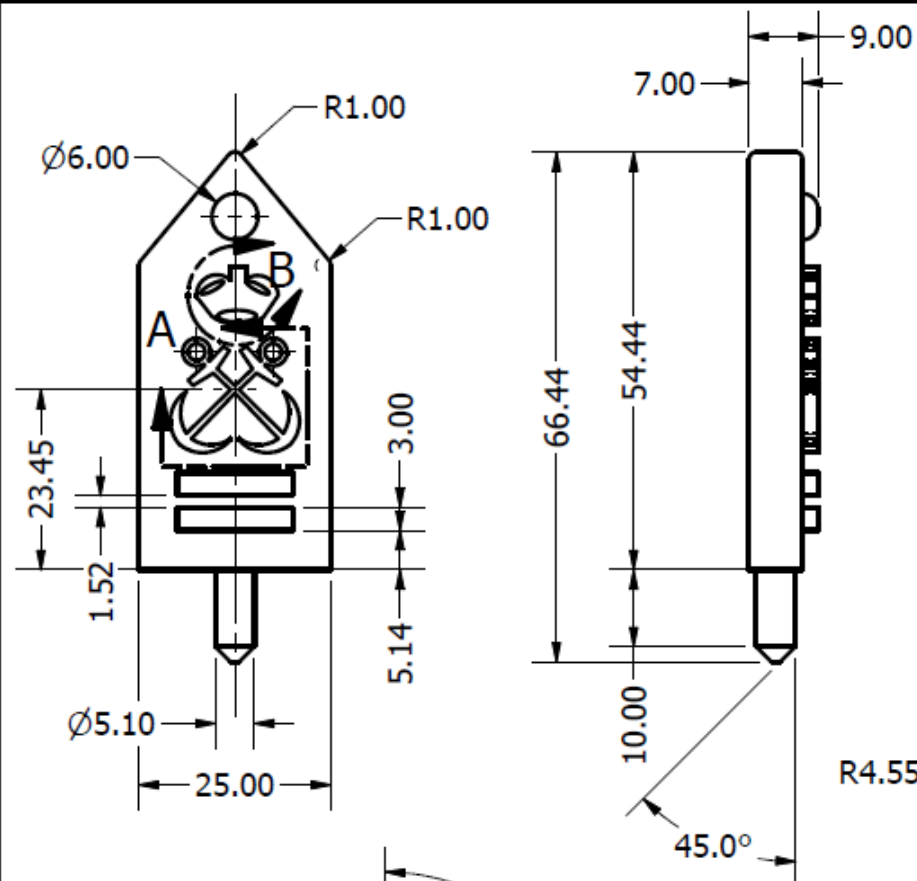




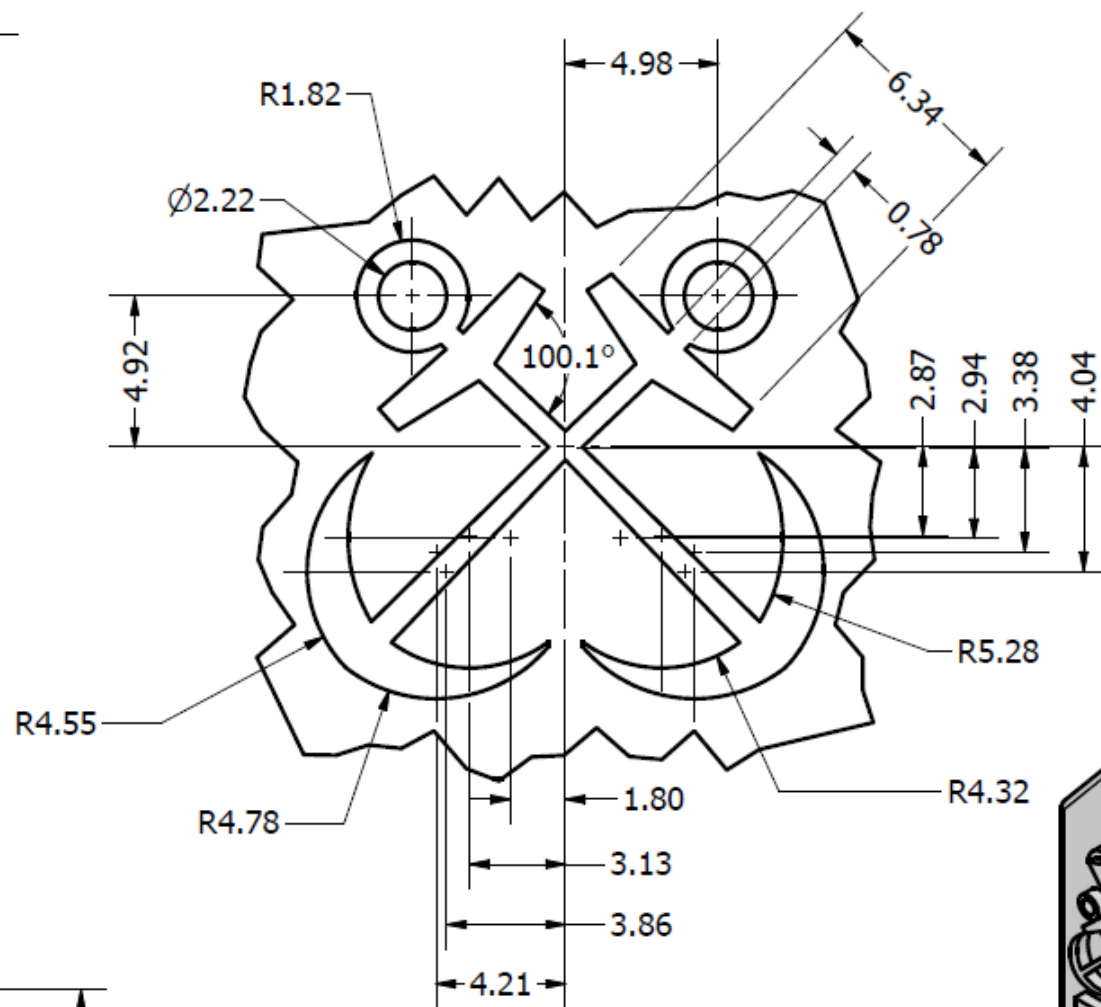
Adrián Almansa Jiménez	Escala 1:1	Fecha: 05/07/2026
CUD	Vista Explosionada	
		Hoja 2/10



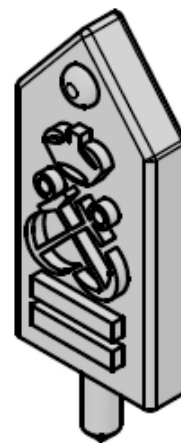
Adrián Almansa Jiménez	Escala 1:1	Fecha: 05/07/2026
CUD	Modulo Principal Ancla CGA	
		Hoja 4/10



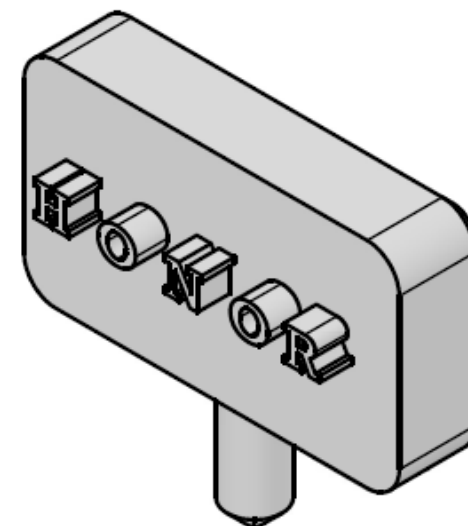
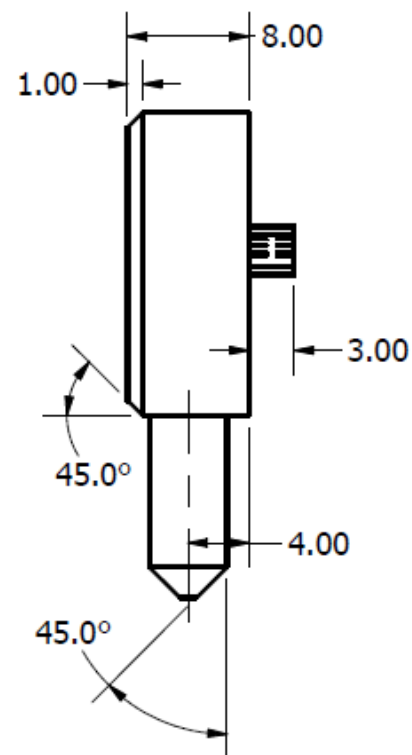
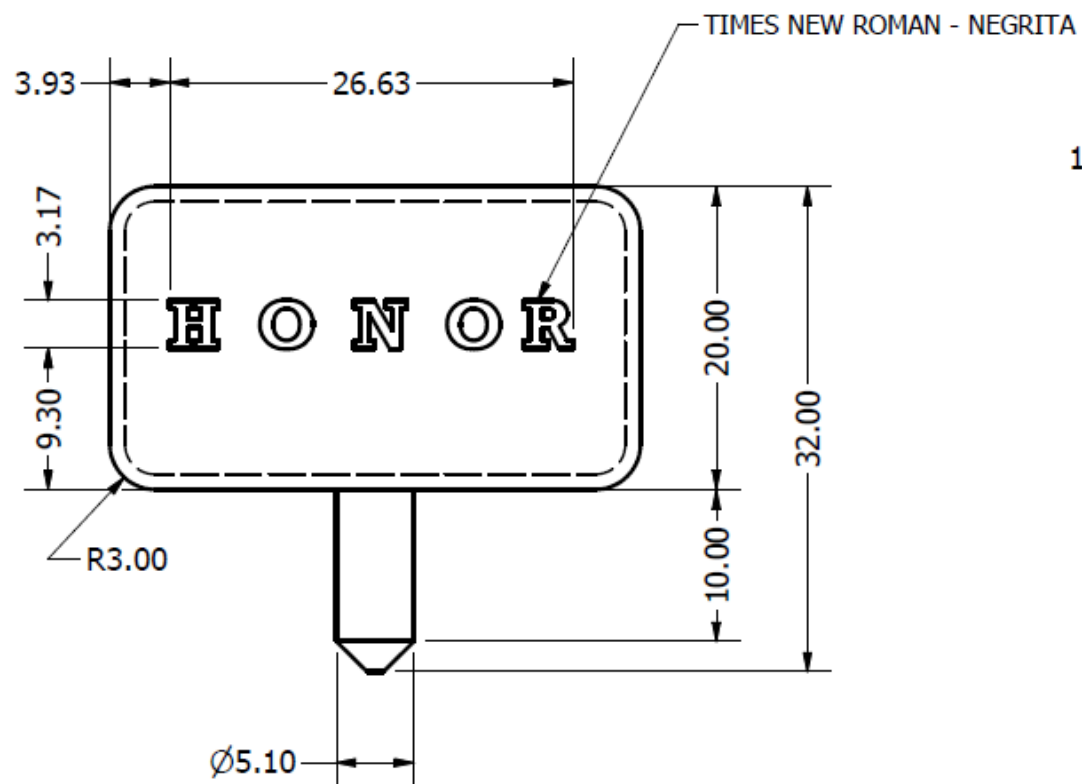
DETALLE B
ESCALA 4:1



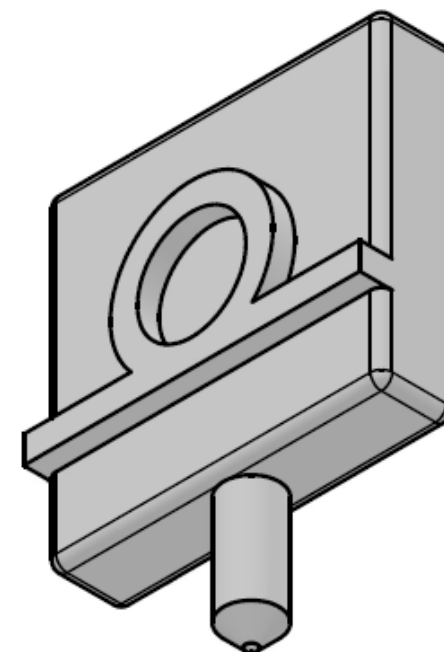
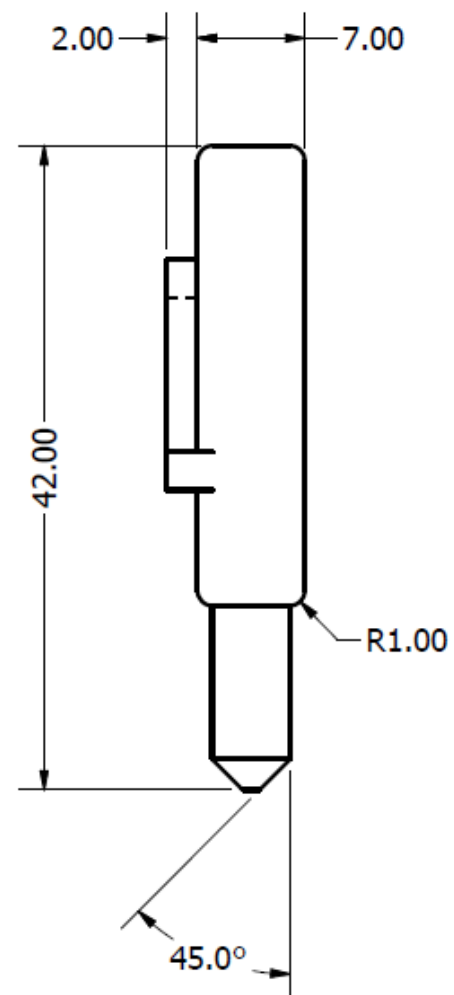
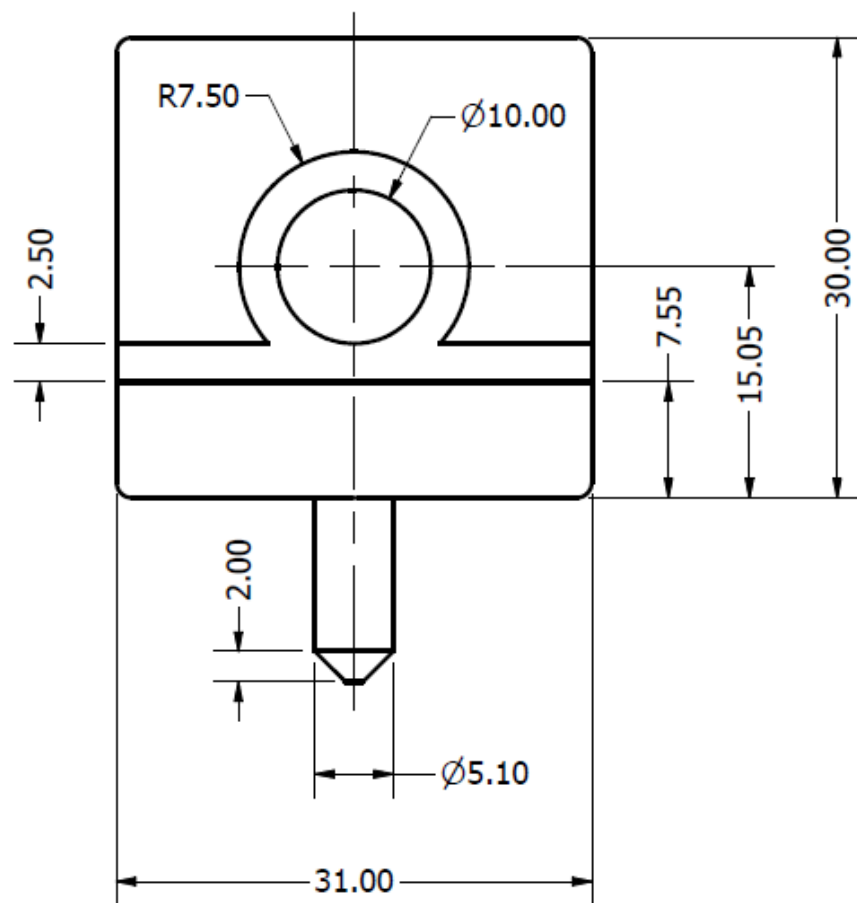
DETALLE A
ESCALA 4:1



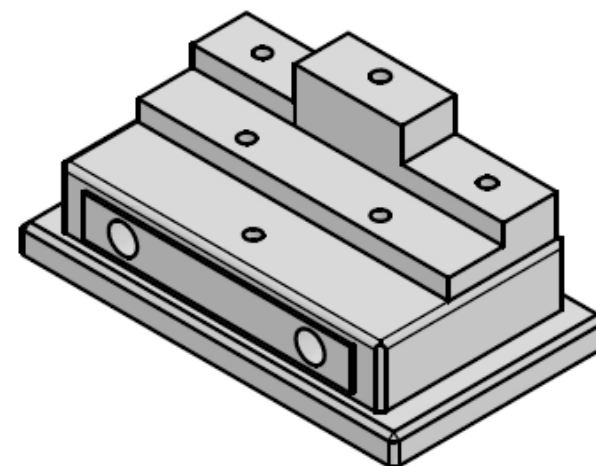
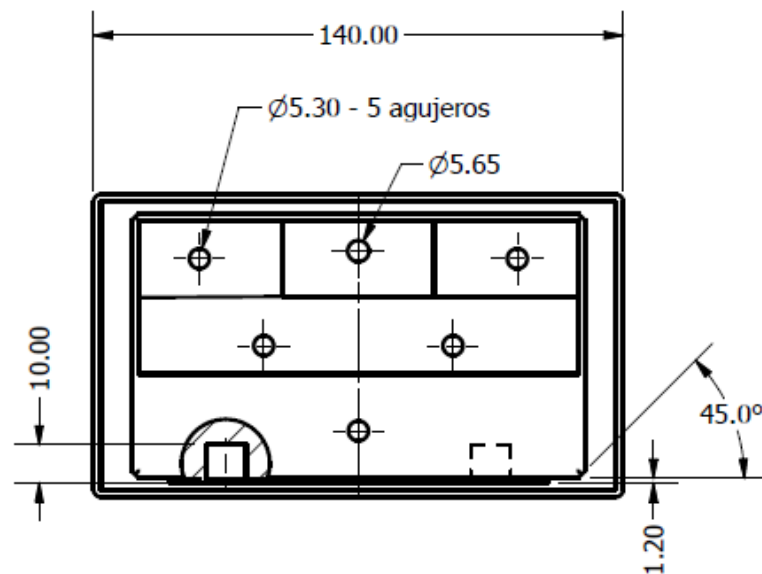
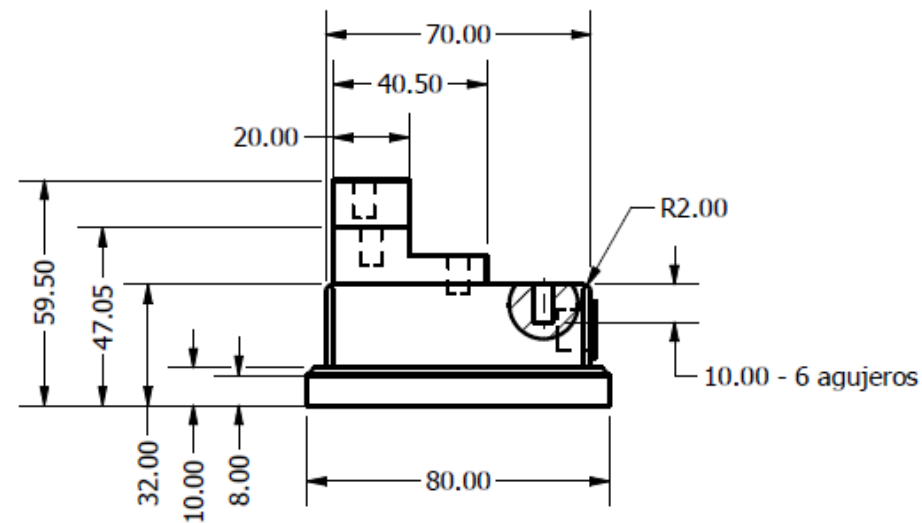
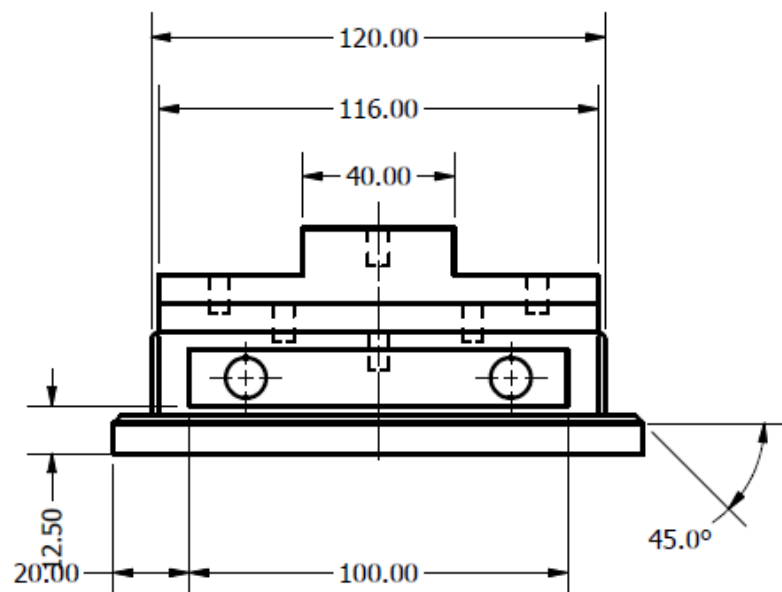
Adrián Almansa Jiménez	Escala 1:1	Fecha: 05/07/2026
CUD	Modulo Secundario GM2	
		Hoja 6/10



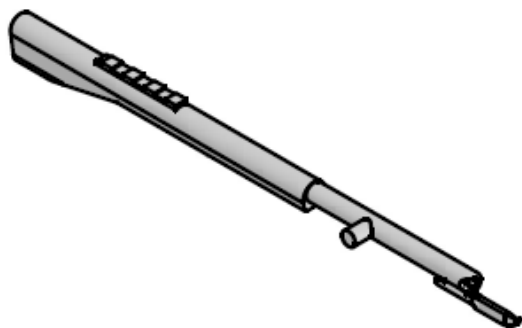
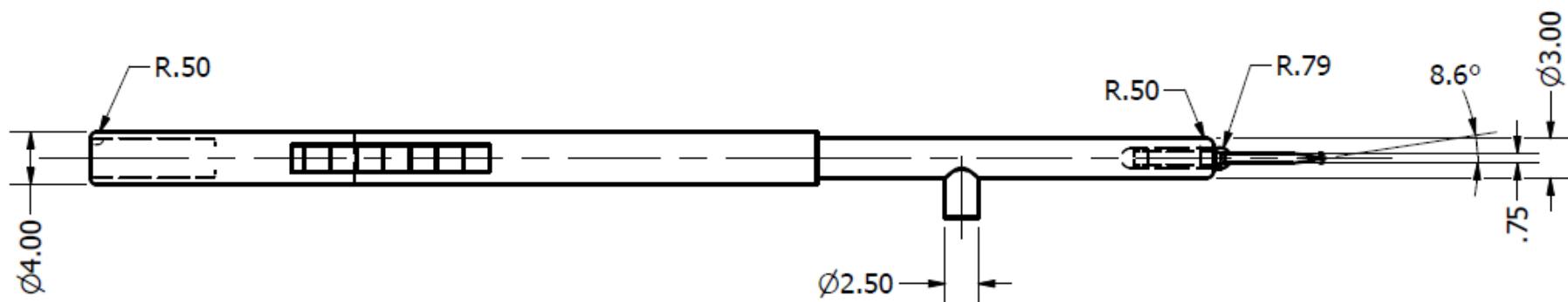
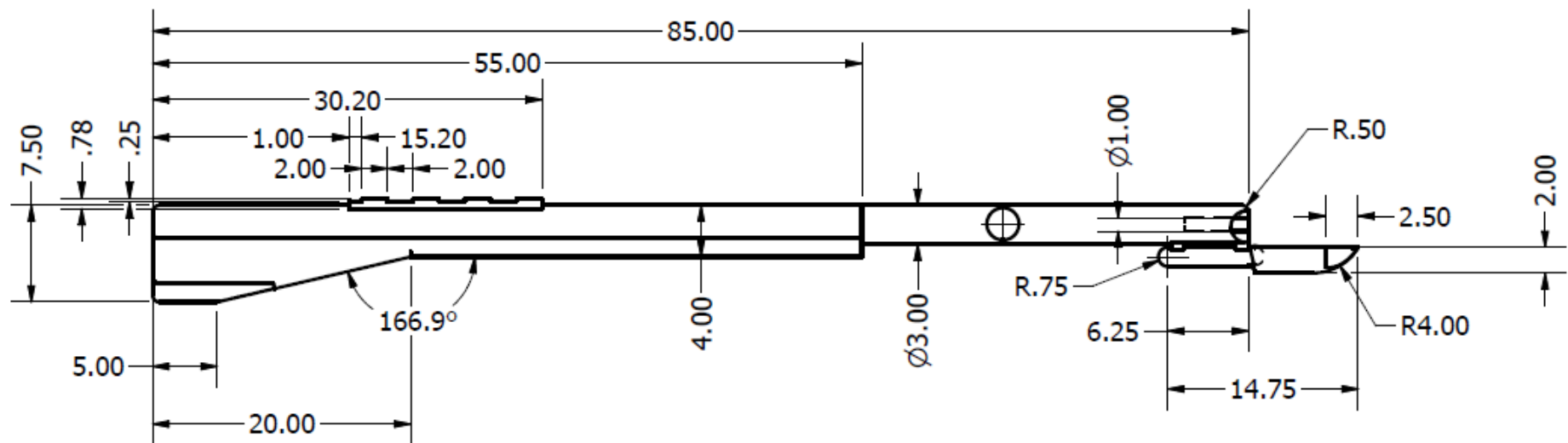
Adrián Almansa Jiménez	Escala 2:1	Fecha: 05/07/2026
CUD	Modulo secundario HONOR	
		Hoja 7/10



Adrián Almansa Jiménez	Escala 2:1	Fecha: 05/07/2026
CUD	Modulo Secundario AF	
		Hoja 8/10



Adrián Almansa Jiménez	Escala 1:2	Fecha: 05/07/2026
CUD	Base Modular Inicial	
		Hoja 9/10



Adrián Almansa Jiménez	Escala 2:1	Fecha: 05/07/2026
CUD	Fusil IM para Ancla	
		Hoja 10/10