



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Aplicación de la impresión 3D en las lanchas de instrucción para
la fabricación de dispositivos de sujeción*

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: José Antonio Muñoz Bernal

DIRECTORES: Araceli Regueiro Pereira

CURSO ACADÉMICO: 2022-2023

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Aplicación de la impresión 3D en las lanchas de instrucción para
la fabricación de dispositivos de sujeción*

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Cuerpo General

UniversidadeVigo

RESUMEN

Las Lanchas de Instrucción de la Escuela Naval Militar, debido a su antigüedad, presentan una serie de carencias a los alumnos, entre ellas cabe destacar la falta de sistemas para la sujeción de nuevas tecnologías actualmente implementadas en la sociedad, como es el caso de los dispositivos multimedia que utilizan los alumnos como ayuda a la navegación y que son de uso creciente conforme pasan los años.

En el presente Trabajo de Fin de Grado se propone analizar esta deficiencia que presentan las lanchas, que puede ser solventada mediante el uso de tecnología 3D. Una vez detectado el problema, se procederá al diseño de un ensamblaje de piezas mediante programas CAD, también se llevará a cabo una medición de fuerzas debida a golpes de mar y un análisis de elementos finitos para valorar la viabilidad de las piezas para finalmente proceder a la fabricación de las mismas en las impresoras 3D disponibles en el Centro Universitario de la Defensa.

Una vez realizado todo el proceso de diseño, fabricación y comprobadas las problemáticas del diseño, se implementará el soporte en las Lanchas de Instrucción con el fin de poder dar apoyo y mejorar la calidad de vida de la dotación.

PALABRAS CLAVE

Impresión 3D, Soporte, Lanchas de instrucción, dispositivo multimedia, Tablet

AGRADECIMIENTOS

A la profesora Araceli Regueiro Pereira, mi tutora del proyecto, por su constante apoyo y tiempo dedicado al trabajo, y por haber aceptado esta propuesta de TFG.

Al profesor Carlos Casqueiro Placer por su tiempo empleado en la preparación y correcto funcionamiento de las impresoras 3D del Centro Universitario de la Defensa para la realización de este proyecto.

A mi familia y amigos, que han sido mi apoyo durante el tiempo que he estado en la escuela y que ha servido como estímulo en todos los tiempos y situaciones más difíciles.

A la promoción 423 - 153 que, desde el primer momento, han sido una familia dentro de la escuela y un pilar fundamental durante estos cinco años.

CONTENIDO

Contenido	1
Índice de Figuras	5
Índice de Tablas.....	8
1 Introducción y objetivos	9
1.1 Introducción	9
1.2 Motivación	10
1.3 Objetivos	10
1.4 Estructura del trabajo	10
2 Estado del Arte	11
2.1 Fabricación Aditiva.....	11
2.1.1 Historia de la Fabricación Aditiva	11
2.1.2 Ventajas de la impresión 3D	12
2.1.2.1 Versatilidad	12
2.1.2.2 Costes y tiempos de comercialización.....	12
2.1.2.3 Costes de desarrollo.....	12
2.1.2.4 Disponibilidad de productos.....	12
2.1.3 Limitaciones de la impresión en 3D	12
2.1.3.1 Costes	12
2.1.3.2 Vulneración de los derechos de autor.....	12
2.1.3.3 Control de objetos	12
2.1.4 Tecnologías el ámbito de la impresión 3D	13
2.1.4.1 Modelado por deposición Fundida (FDM).....	13
2.1.4.2 Fabricación mediante laminado de Objetos (LOM).....	13
2.1.4.3 Estereolitografía (SLA)	14
2.1.4.4 Procesamiento digital de luz (DLP)	15
2.1.4.5 Sinterizado selectivo por láser (SLS)	15
2.1.5 Perspectiva futura	16
2.2 Adquisición de las geometrías	17
2.2.1 Manual	17
2.2.2 Maquinas CNC	17
2.2.3 Escaneado 3D	17
2.3 Técnicas computacionales en el modelado 3D	17
2.3.1 Computer Aided Design (CAD)	17
2.3.2 Computer Aided Engineering (CAE)	18

2.3.3 Computer Aided Manufacturing (CAM)	18
2.3.4 Software	19
2.3.4.1 Archivos “.STL”	19
2.3.4.2 Ultimaker Cura	19
2.3.4.3 Thread Modeler	19
2.4 Materiales utilizados para impresión 3D en la industria	19
2.4.1 Metales	20
2.4.2 Polímeros	20
2.4.3 Cerámicos	21
2.4.4 Compuestos	21
2.4.5 Materiales Inteligentes	22
2.4.6 Materiales Especiales	22
2.4.6.1 Comida	22
2.4.6.2 Polvo lunar	22
2.4.6.3 Industria Textil	22
2.5 Soportes para dispositivos	22
2.5.1 Soportes de mesa	23
2.5.2 Soportes de pared	23
2.5.3 Soportes de mano	23
2.5.4 Soportes para automóvil	23
2.5.5 Soportes especiales	23
3 Desarrollo del Trabajo	25
3.1 Impresora Ultimaker 3	25
3.1.1 Peligros	25
3.1.2 Componentes	25
3.1.3 Especificaicones	27
3.1.4 Material	27
3.1.5 Calibraciones	28
3.2 Diseño	29
3.2.1 Consideraciones previas	29
3.2.1.1 Superficie de instalación	29
3.2.1.2 Movilidad	30
3.2.1.3 Material de impresión	31
3.2.2 Piezas	31
3.2.2.1 Soporte Principal	32
3.2.2.2 Brazo de Sujeción	34

3.2.2.3 Adaptador Auxiliar	34
3.2.2.4 Articulaciones	35
3.2.2.5 Base de Anclaje	36
3.2.2.6 Piezas Auxiliares	37
3.2.2.7 Tapón Roscado	38
3.2.2.8 Dispositivo Multimedia	39
3.3 Estudio de cargas	39
3.3.1 Restricciones	39
3.3.2 Cargas	40
3.3.3 Malla	41
3.3.4 Materiales	42
3.3.5 Resultados del Análisis	42
3.3.5.1 Análisis PLA	42
3.3.5.2 Análisis ABS	45
3.4 Estudio de fuerzas resultantes en una salida a la mar	49
3.5 Fabricación	52
3.5.1 Impresión de las piezas del dispositivo	52
3.5.1.1 Primera impresión Preliminar	53
3.5.1.2 Segunda Impresión Preliminar	55
3.5.1.3 Tercera Impresión Preliminar	56
3.5.1.4 Primera etapa de impresión	57
3.5.1.5 Segunda etapa de impresión	57
3.5.1.6 Tercera etapa de impresión	59
3.5.1.7 Cuarta etapa de impresión	61
3.5.1.8 Quinta etapa de impresión	62
3.5.1.9 Sexta etapa de impresión	63
3.5.2 Montaje de las piezas	64
4 Resultados y Validación	68
4.1 Errores de impresión	68
4.1.1 Carencia de elementos de soporte	68
4.1.2 Calibración inadecuada en placa de impresión	68
4.1.3 Obstrucción en cabezal de impresión	69
4.1.4 Obstrucción en los alimentadores	70
4.2 Coste de fabricación	70
4.3 Implementación	72
5 Conclusiones y líneas futuras	75

5.1 Objetivos y problemas encontrados	75
5.2 Líneas Futuras	75
5.2.1 Diseño del Soporte.....	75
5.2.2 Implementación del soporte.....	76
5.3 Conclusiones Personales	76
6 Bibliografía.....	77
Anexo I: Implicaciones Sociales, y/o Económicas, y/o Ambientales	83
Anexo II: Reflexiones Éticas y Sociales	85
Anexo III: Cronograma de impresión 3D.....	87
Anexo IV: Planos	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Página 1 de 16 de la primera patente: "Apparatus for Production of Three-Dimensional Objects by Stereolithography [2]	11
Figura 2-2 Proceso de fabricación mediante FDM [10]	13
Figura 2-3 Proceso de fabricación de una pieza mediante LOM [12]	14
Figura 2-4 Proceso de fotopolimerización en impresora 3D por técnica SLA [14]	14
Figura 2-5 Proceso de fotopolimerización en impresora 3D por técnica DLP [14]	15
Figura 2-6 Proceso de fotopolimerización en impresora 3D por técnica SLS [17]	16
Figura 2-7 Válvula Cardíaca de silicona a partir de una impresora 3D [22]	16
Figura 2-8 Diagrama de flujo de una estructura CAD [Autoría Propia]	18
Figura 2-9 Impresión 3D de soporte en aleación de titanio para la industria aeroespacial [42]	20
Figura 2-10 Intercambiador de calor cerámico hecho de alúmina utilizando SLA fabricado por la empresa ALUMINA SYSTEMS [51]	21
Figura 3-1 Partes de la Impresora Ultimaker 3 Extended [Autoría Propia]	26
Figura 3-2 Patrón de calibración de cabezales en Ultimaker 3 [Autoría Propia]	28
Figura 3-3 Visión general superficie de instalación [Autoría Propia]	29
Figura 3-4 Superficie de instalación (1) [Autoría Propia]	30
Figura 3-5 Superficie de instalación (2) [Autoría Propia]	30
Figura 3-6 Elementos Principales del soporte [Autoría Propia]	32
Figura 3-7 Soporte Principal (frontal) [Autoría Propia]	33
Figura 3-8 Soporte Principal (posterior) [Autoría propia]	33
Figura 3-9 Brazo de Sujeción [Autoría Propia]	34
Figura 3-10 Adaptador Auxiliar [Autoría Propia]	35
Figura 3-11 Articulación Anterior [Autoría Propia]	36
Figura 3-12 Articulación Posterior [Autoría Propia]	36
Figura 3-13 Base de Anclaje [Autoría Propia]	37
Figura 3-14 Conjunto tuerca y contratuerca de métrica 12 [Autoría Propia]	38
Figura 3-15 Tapón Roscado [Autoría Propia]	39
Figura 3-16 Restricción de fijación en base de la lancha [Autoría Propia]	40
Figura 3-17 Preprocesado del mallado en Soporte de Sujeción [Autoría Propia]	41
Figura 3-18 Tensión de Von Mises Análisis PLA [Autoría Propia]	43
Figura 3-19 Desplazamientos Análisis PLA [Autoría Propia]	43
Figura 3-20 Desplazamientos eje X Análisis PLA [Autoría Propia]	44
Figura 3-21 Desplazamientos eje Y Análisis PLA [Autoría Propia]	44
Figura 3-22 Desplazamientos eje Z Análisis PLA [Autoría Propia]	45

Figura 3-23 Coeficiente de seguridad Análisis PLA [Autoría Propia].....	45
Figura 3-24 Tensión de Von Mises Análisis ABS [Autoría Propia]	46
Figura 3-25 Desplazamientos Análisis ABS [Autoría Propia].....	47
Figura 3-26 Desplazamiento eje X Análisis ABS [Autoría Propia].....	47
Figura 3-27 Desplazamiento eje Y Análisis ABS [Autoría Propia].....	48
Figura 3-28 Desplazamiento eje Z Análisis ABS [Autoría Propia]	48
Figura 3-29 Coeficiente de seguridad Análisis ABS [Autoría Propia]	49
Figura 3-30 Aceleraciones experimentadas durante una salida en las lanchas de instrucción [Autoría Propia].....	50
Figura 3-31 Tensión de Von Mises 1,5G [Autoría Propia]	51
Figura 3-32 Coeficiente de seguridad 1,5G [Autoría Propia]	51
Figura 3-33 Desplazamiento eje Y 1,5G [Autoría Propia].....	52
Figura 3-34 Gráfico de horas empleadas y horas útiles de impresión durante el proyecto [Autoría Propia].....	53
Figura 3-35 Piezas 1-3 Primera prueba de impresión [Autoría Propia]	53
Figura 3-36 Error en superficies roscadas en primera prueba de impresión [Autoría Propia].....	54
Figura 3-37 Error en soporte de impresión durante primera prueba de impresión [Autoría Propia]	55
Figura 3-38 Impresión de filetes durante segunda prueba de impresión.....	56
Figura 3-39 Rosca interior y exterior en tercera prueba de impresión [Autoría Propia].....	56
Figura 3-40 Base de Anclaje en PLA [Autoría Propia].....	57
Figura 3-41 Articulación Posterior en PLA [Autoría Propia]	57
Figura 3-42 Articulación Anterior en PLA [Autoría Propia]	58
Figura 3-43 Adaptador Auxiliar en PLA [Autoría Propia]	58
Figura 3-44 Fallo de impresión en Soporte Principal con PLA [Autoría Propia]	59
Figura 3-45 Brazo de Sujeción en PLA [Autoría Propia]	60
Figura 3-46 Error de impresión en deposición de Breakaway durante segunda impresión [Autoría Propia].....	60
Figura 3-47 Error de impresión en Soporte Principal durante tercera impresión [Autoría Propia]	61
Figura 3-48 Error de impresión en alimentador por atascado de material durante cuarta impresión [Autoría Propia]	61
Figura 3-49 Alimentado desmontado y atascado con filamento PLA [Autoría Propia]	62
Figura 3-50 Soporte Principal Deformado [Autoría Propia].....	62
Figura 3-51 Fractura de material por error de impresión en Base de Anclaje (1) [Autoría Propia]	63
Figura 3-52 Error de impresión en deposición de PLA en Base de Anclaje [Autoría Propia].....	63
Figura 3-53 Deformación en PLA por agua caliente [Autoría Propia]	64
Figura 3-54 Montaje de la Base de Anclaje y la Articulación Posterior [Autoría Propia].....	64

Figura 3-55 Montaje de las Articulaciones [Autoría Propia]	65
Figura 3-56 Montaje de la Articulación Anterior y el Adaptador Auxiliar [Autoría Propia]	65
Figura 3-57 Montaje del Adaptador Auxiliar y el Soporte Principal [Autoría Propia].....	65
Figura 3-58 Montaje del Brazo de Sujeción y el Soporte Principal [Autoría Propia].....	66
Figura 3-59 Montaje del Tapón Roscado [Autoría Propia].....	66
Figura 3-60 Montaje final del soporte [Autoría Propia].....	67
Figura 4-1 Error en impresión de soporte durante primera prueba de impresión [Autoría Propia] ..	68
Figura 4-2 Error de impresión por mala calibración de placa (1) [Autoría Propia]	69
Figura 4-3 Error de impresión por mala calibración de placa (2) [Autoría Propia]	69
Figura 4-4 Fractura de material por error de impresión en Base de Anclaje (2) [Autoría Propia] ..	70
Figura 4-5 Error de impresión por obstrucción de cabezal de impresión en Soporte Principal [Autoría Propia].....	70
Figura 4-6 POV de alumno en las Lanchas de Instrucción [Autoría Propia].....	73
Figura 4-7 Posición final del Soporte en las Lanchas de Instrucción (Lateral Izquierdo) [Autoría Propia].....	73
Figura 4-8 Posición final del Soporte en las Lanchas de Instrucción (Lateral Derecho) [Autoría Propia].....	74
Figura A1-1 Coste de fabricación de las piezas del proyecto [Autoría Propia]	83
Figura A1-2 Gráfico de horas empleadas y horas útiles durante el proyecto [Autoría Propia]	84
Figura A2-1 Encuesta sobre uso de dispositivos móviles [Autoría Propia].....	85
Figura A4-1 Cronograma de tiempos [Autoría Propia].....	88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1 Componentes en impresora Ultimaker 3 Extended (Visión Frontal) [66]	25
Tabla 3-2 Componentes en impresora Ultimaker 3 Extended (Visión Posterior) [66]	26
Tabla 3-3 Diferencias entre Ultimaker 3 y su modelo Extended [66].....	27
Tabla 3-4 Especificaciones de impresora Ultimaker 3 / Ultimaker 3 Extended [66].....	27
Tabla 3-5 Propiedades Básicas de los materiales aptos para Ultimaker 3 [67]–[70]	28
Tabla 3-6 Compatibilidad de materiales disponibles en impresora Ultimaker 3 con PVA y Breakaway [71], [72]	28
Tabla 3-7 Medidas de la superficie de instalación [Autoría Propia]	29
Tabla 3-8 Propiedades Ultimaker PLA y ABS [73], [74]	31
Tabla 3-9 Coste de compra de material PLA y ABS [75].....	31
Tabla 3-10 Componentes del Soporte [Autoría Propia]	32
Tabla 3-11 Características del Soporte Principal [Autoría Propia]	34
Tabla 3-12 Características del Brazo de Sujeción [Autoría Propia]	34
Tabla 3-13 Características del Adaptador Auxiliar [Autoría Propia].....	35
Tabla 3-14 Características de las Articulaciones Anterior y Posterior [Autoría Propia]	36
Tabla 3-15 Características de la Base de Anclaje [Autoría Propia]	37
Tabla 3-16 Pesos de las Tuercas utilizadas en el soporte [Autoría Propia].....	38
Tabla 3-17 Pesos de las contratueras utilizadas en el soporte [Autoría Propia]	38
Tabla 3-18 Características del Tapón Roscado [Autoría Propia].....	38
Tabla 3-19 Características de Dispositivo Multimedia [Autoría Propia]	39
Tabla 3-20 Características de la malla del Soporte de Sujeción [Autoría Propia]	41
Tabla 3-21 Características Acero Suave en Inventor [76]	42
Tabla 3-22 Desplazamientos en Análisis con PLA [Autoría Propia].....	42
Tabla 3-23 Desplazamientos en Análisis ABS [Autoría Propia]	46
Tabla 4-1 Costes totales de fabricación de las piezas [Autoría Propia]	72
Tabla 4-2 Costes unitarios de tornillería [Autoría Propia]	72
Tabla 4-3 Implementación de un soporte completo [Tabla 4-1 y Tabla 4-2].....	72
Tabla A3-1 Índice de Planos [Autoría Propia]	89

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Introducción

La fabricación aditiva, también llamada impresión 3D, se define como el proceso mediante el cual un archivo 3D diseñado por ordenador se convierte en un objeto físico tridimensional, a partir de la deposición de capas sucesivas hasta que la pieza está totalmente finalizada [1].

La tablet es un dispositivo móvil, utilizado habitualmente en la Escuela Naval Militar por sus alumnos, de manera particular no corporativa, como herramienta básica de su formación. Tiene una gran capacidad de almacenaje de información, por lo que se emplea para consulta, pudiendo manipular y recuperar los datos, como en un equipo portátil, facilitando el aprendizaje. La información obtenida de los dispositivos móviles constituye un recurso estratégico para facilitar el cumplimiento y alcanzar el éxito de los cometidos asignados.

Al ser una placa sólida y delgada, en determinadas situaciones, sobre todo en las lanchas de instrucción, no siempre es posible sostenerlas con las manos o apoyarla en el propio cuerpo. Esto conlleva el riesgo de que terminen accidentándose en el suelo u otra superficie.

Es ahí donde se precisa de un soporte, una tablet con soporte y bien sujeta se convierte en un excelente aliado en muchas ocasiones ya que permite una mayor eficacia en los procesos de toma de decisiones, en particular, como oficial en las lanchas de instrucción.

Teniendo en cuenta que la fabricación aditiva comprende los distintos procesos de producción destinados a fabricar objetos sólidos o tridimensionales a partir de diseños digitales, previamente establecidos y que se basa en el prototipado rápido, es decir, en modelar un material capa por capa. Con ella teóricamente se puede obtener la pieza (soporte para Tablet), con un material concreto. Una ventaja que proporciona la impresión 3D es su amplio abanico de posibilidades con libertad de diseño y producción.

En este trabajo, se analizarán posibles materiales a usar y se realizará mediante fabricación aditiva un soporte de dispositivos móviles para su potencial implementación y utilización segura a bordo de las lanchas de instrucción.

1.2 Motivación

Como alumno de la ENM, cuando comencé mi formación y adaptación al medio naval en lanchas de instrucción, aprecié un problema: Navegar con mis dispositivos móviles y utilizarlos, constituía un desafío ya que no encontraba un lugar seguro para colocarlos sin peligro de que cayesen. Cuatro años a lo largo de mi carrera en la escuela observando esta deficiencia en lanchas que, longevas en el tiempo, se diseñaron para otra época en la que estos dispositivos no se utilizaban y por tanto no existe emplazamiento seguro donde colocarlos.

Revisé los soportes para móviles y tablets del mercado, pero la gran mayoría, por no decir la totalidad, se han realizado para paredes, mesas, coches, bicicletas o rodilleras para pilotos, la realidad es que cuesta encontrar alguno de estos dispositivos para barcos y que se ajustasen a las necesidades de posición, espacio y dimensiones requeridas.

En este marco valoré la posibilidad de realizar en este TFG un soporte para dispositivos móviles con el objetivo centrado en aportar un pequeño grano de arena a generaciones futuras, para dar paso a una situación de mejora y fomentar el uso de esta herramienta tan preciada a bordo de las embarcaciones; sin desviar la atención del oficial del barco en la seguridad de los dispositivos.

1.3 Objetivos

El objetivo principal del proyecto consiste en el diseño del soporte, analizar la viabilidad de los distintos materiales y la impresión mediante fabricación aditiva del mismo para su potencial implementación y utilización segura a bordo de las lanchas de instrucción.

Como objetivo secundario del proyecto, se analizará los valores de las potenciales fuerzas producidas durante una salida en las lanchas de instrucción debidas a factores externos como las vibraciones del motor o los golpes de mar, y validar la viabilidad del uso del dispositivo bajo esas circunstancias.

1.4 Estructura del trabajo

La estructura de este TFG sigue el formato establecido para el Centro Universitario de la Defensa:

- Introducción; contiene la motivación del proyecto y los objetivos iniciales, así como sus antecedentes.
- Estado del arte: Se detalla la historia respecto de la impresión 3D. Las ventajas y desventajas asociadas a la impresión 3D. En esta sección se desarrollan los tipos de impresoras 3D que existen en la actualidad, así como los procesos que se deben seguir para la adquisición de piezas y un desglose de los materiales con los que se puede hacer impresión 3D. Al final de esta sección se desarrolla los tipos de soportes que se pueden encontrar.
- Desarrollo: Se describe en detalle el transcurso que ha seguido el proyecto en las fases de diseño y fabricación del dispositivo de sujeción.
- Resultados: Muestra los resultados obtenidos de los apartados mencionados en el desarrollo y los errores que se dan debido a una impresión fallida. Además, se muestran los costes durante el trabajo.
- Conclusiones y líneas futuras: Se hace un análisis de la consecución del proyecto y de los resultados obtenidos, relacionándolo con los objetos iniciales, y añadiendo posibles ampliaciones del proyecto. Al final de este apartado se presentan las conclusiones..

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Fabricación Aditiva

2.1.1 Historia de la Fabricación Aditiva

La historia de la fabricación Aditiva o impresión 3D se remonta a la década de los años 70, concretamente al año 1976, cuando aparece la primera máquina de inyección con tinta. Desde ese momento la máquina empezó a evolucionar con los años y sumado al desarrollo simultáneo de nuevas tecnologías permitió pasar de la inyección con tinta a la inyección con materiales.

En la década de los años 80, Charles Hull, co-fundador y director técnico de 3D Systems, solicitó una patente en Estados Unidos titulado "*Apparatus for Production of Three-Dimensional Objects by Stereolithography*" [2] que fue concedida en marzo de 1986. La patente de Hull describe un proceso de fotoendurecimiento de secciones usando un haz de luz controlado por computadora. A finales de 1987, se envió las primeras unidades aun en desarrollo a clientes en los EE. UU y al año siguiente los primeros sistemas comerciales de fabricación aditiva en el mundo [1]. Esta técnica es conocida como Stereolithography, que se explicará más adelante en el apartado 2.1.4.3.

United States Patent [19]		[11] Patent Number:	4,575,330
Hull		[45] Date of Patent:	Mar. 11, 1986
[54] APPARATUS FOR PRODUCTION OF THREE-DIMENSIONAL OBJECTS BY STEREO LITHOGRAPHY		4,252,514	2/1981 Gates 425/162
[75] Inventor: Charles W. Hull, Arcadia, Calif.		4,288,861	9/1981 Swainson et al. 365/127
[73] Assignee: UVP, Inc., San Gabriel, Calif.		4,292,015	9/1981 Hritz 425/162 X
[21] Appl. No.: 638,905		4,329,135	5/1982 Beck 425/174
[22] Filed: Aug. 8, 1984		4,333,165	6/1982 Swainson et al. 365/127 X
[51] Int. Cl.⁴ B29D 11/00; G03C 00/00		4,374,077	2/1983 Kerfeld 264/22
[52] U.S. Cl. 425/174.4; 425/174; 425/162; 264/22; 430/269; 156/58; 365/119; 365/120		4,466,080	8/1984 Swainson et al. 365/127 X
[58] Field of Search 425/162, 174, 174.4, 425/425; 264/22, 183, 40.1; 430/269; 156/58, 58, 275.5; 365/107, 119, 127		4,471,470	9/1984 Swainson et al. 365/127
[56] References Cited		Primary Examiner—J. Howard Flint, Jr.	
U.S. PATENT DOCUMENTS		Attorney, Agent, or Firm—Fulwider, Patton, Rieber, Lee & Utecht	
2,708,617 5/1955 Magat et al. 264/183 X		[57] ABSTRACT	
2,908,545 10/1959 Teja 264/22 X		A system for generating three-dimensional objects by creating a cross-sectional pattern of the object to be formed at a selected surface of a fluid medium capable of altering its physical state in response to appropriate synergistic stimulation by impinging radiation, particle bombardment or chemical reaction, successive adjacent laminae, representing corresponding successive adjacent cross-sections of the object, being automatically formed and integrated together to provide a step-wise laminar buildup of the desired object, whereby a three-dimensional object is formed and drawn from a substantially planar surface of the fluid medium during the forming process.	
3,306,835 2/1967 Magnus 425/174.4 X		47 Claims, 8 Drawing Figures	
3,635,625 1/1972 Voss 425/162 X			
3,775,036 11/1973 Winning 425/174.4			
3,974,248 8/1976 Atkinson 425/162 X			
4,041,476 8/1977 Swainson 365/119			
4,078,229 3/1978 Swainson et al. 365/107			
4,081,276 3/1978 Crivello 430/269			
4,238,840 12/1980 Swainson 365/119			

Figura 2-1 Página 1 de 16 de la primera patente: "Apparatus for Production of Three-Dimensional Objects by Stereolithography [2]"

Muy próximo a la creación de Hall, Scott Crump inventó el Modelado por Deposición Fundida, conocido por sus siglas FDM del inglés Fused Deposition Modeling, que patentó en el año 1989 fundando Stratasy INC. Este proceso consistía en crear capa por capa el objeto depositando de forma selectiva el material siguiendo un camino predeterminado establecido por ordenador.

A principios del siglo XX, los avances en impresión habían mejorado, se abrió la veta a utilización de prototipos 3D en la industria médica, y la primera máquina comercialmente viable salió al mercado en 2007 creando una revolución en los hogares.

Actualmente la fabricación aditiva se encuentra en un pico que parece seguir creciendo y las empresas del sector continúan avanzando y aportando nuevas características a los materiales, creando piezas con cualquier tipo de geometría con un gran nivel de detalle que puede imitar características de objetos reales para usos en prototipos [3].

2.1.2 Ventajas de la impresión 3D

2.1.2.1 Versatilidad

Una única impresora es capaz de realizar multitud de productos variados sin cambiar la configuración de sus elementos, en caso de utilizar la maquinaria convencional, hacían falta máquinas especializadas que tenían que readaptarse en caso de cambiar la configuración del elemento a fabricar [4].

2.1.2.2 Costes y tiempos de comercialización

El tiempo y los ciclos de producción de un elemento se ven reducidos debido a la posibilidad de fabricación y realización en casa. Por ello, los costes asociados a la producción y comercialización también se ven reducidos [4].

2.1.2.3 Costes de desarrollo

Los costes asociados al desarrollo de un producto se ven reducidos debido a que la impresión 3D aporta facilidad para la producción de prototipos reduciendo tiempo y coste. Gracias a estas técnicas se pueden identificar errores de diseño desde el momento en el que se están elaborando y no al momento de la comercialización [4].

2.1.2.4 Disponibilidad de productos

Los productos demandados por el cliente pueden ser impresos desde casa por lo que se obvia la necesidad de disponerlos en el almacén para su comercialización. Los costes asociados al almacenaje de los productos también se ven reducidos. Además, esta herramienta permite imprimir con todo lujo de detalle objetos previamente escaneados con máquinas de escaneo 3D [4].

2.1.3 Limitaciones de la impresión en 3D

2.1.3.1 Costes

Se pueden extraer dos costes principales en el uso de una impresora 3D. El primero es el coste de la electricidad, debido a que la energía necesaria para derretir el plástico utilizado en la impresión es del orden de 50 a 100 veces la necesaria para hacer el tradicional moldeado por inyección [5]. A esto se debe sumar el gran coste de adquirir una impresora 3D. Se pueden distinguir 3 rangos de precios según la calidad y el tamaño; para una gama baja y de tamaño parecido a un microondas, el precio medio es de 500€. Para una máquina de tamaño algo mayor que el anterior y de gama media, el precio ronda los 6000€. Y para una gama alta que es mucho más grande y pesada el precio medio es de 15000€ [6].

2.1.3.2 Vulneración de los derechos de autor

La réplica de objetos es muy complicada de controlar, pues los escáneres 3D permiten la recreación de cualquier objeto. *“Esta potencial situación de piratería digital es comparable a la forma en que internet desafió los derechos de autor de las industrias del cine y la música, las marcas comerciales y las descargas ilegales”* -Escritora para TechRepublic Lyndsey Gilpen- [5].

2.1.3.3 Control de objetos

La falta de responsabilidad sobre la autoría de objetos impresos o archivos de impresión, la creación de estupefacientes y drogas sintéticas, la creación de objetos ilícitos como armas de fuego o armas blancas y la poca seguridad de los mismos son ejemplos de la carencia de control que se puede tener sobre las impresiones 3D [7].

2.1.4 Tecnologías el ámbito de la impresión 3D

Las técnicas que a continuación se relacionan, son el fruto de la evolución de la historia de las tecnologías en el campo de la impresión 3D.

2.1.4.1 Modelado por deposición Fundida (FDM)

Esta técnica de impresión es conocida por sus siglas FDM del inglés: Fused Deposition Modeling, y se comercializó por primera vez en la década de 1990; se basa en calentar filamentos o gránulos[8], derretirlos utilizando temperaturas cercanas hasta los 215°C y hacerlos pasar por un extrusor guiado por un dispositivo robótico que lo deposita en capas delgadas sobre una superficie de alta fricción. El dispositivo tiene movimiento libre en los tres ejes para lograr las figuras tridimensionales. Dependiendo de la calidad y el tamaño de la impresora se obtienen resultados de mayor o menor calidad como se ha visto en el apartado 2.1.3.1 sobre costes. La resolución de las capas ronda desde 1mm hasta 0,1mm. Esta tecnología requiere el empleo de soportes para la impresión de figuras con cavidades o voladizos que se fabrican automáticamente a medida que se genera la pieza [9]. Se trata de la técnica más común y sencilla en cuanto a impresoras 3D de escritorio se refiere. La ventaja principal es que esta tecnología ha permitido poner la impresión 3D al alcance de cualquier persona. En la Figura 2-2 se observa el proceso de fabricación mediante esta técnica.

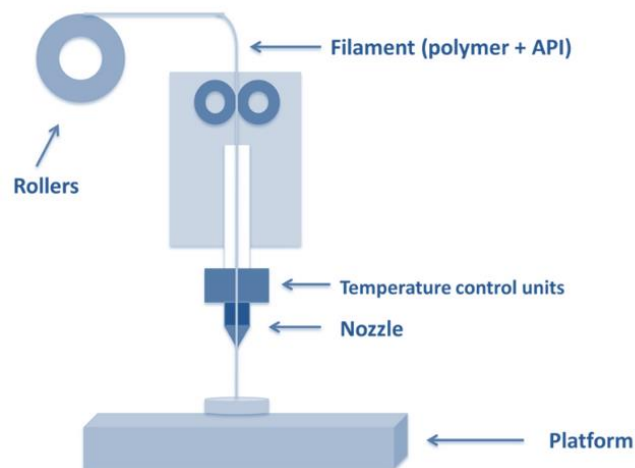


Figura 2-2 Proceso de fabricación mediante FDM [10]

2.1.4.2 Fabricación mediante laminado de Objetos (LOM)

Esta técnica es conocida por sus siglas LOM del inglés Laminated Object Manufacturing, se basa en crear la pieza capa por capa a partir de un rollo de papel. El papel contiene una cara termoadhesiva que se fija a la inferior gracias a un calefactor en el interior del rollo de acero inoxidable. El rollo aplica la presión suficiente para que las capas entren en contacto con las capas inferiores. Cada capa se corta con un láser de CO₂ guiado por un patrón establecido previamente al realizar el diseño. Finalmente se extrae la pieza al acabar la última capa. Al igual que en el anterior modelado, la calidad final de la pieza dependerá de diversos factores como el grosor del papel usado o la temperatura elegida [11]. En la Figura 2-4 se muestra el proceso de fabricación mediante esta técnica.

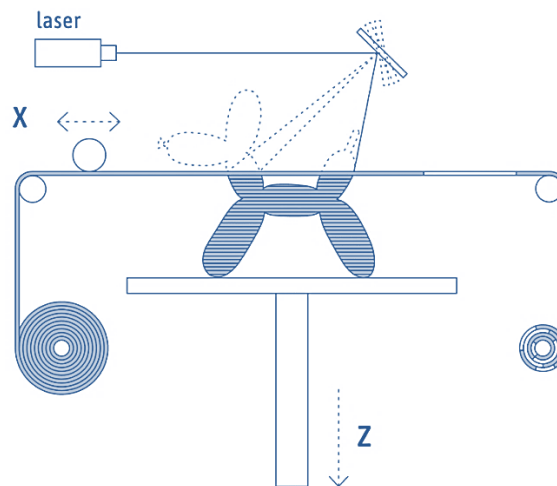


Figura 2-3 Proceso de fabricación de una pieza mediante LOM [12]

2.1.4.3 Estereolitografía (SLA)

Esta técnica es conocida por las siglas SLA del inglés Stereolithography Apparatus, esta es la técnica más antigua de impresión 3D que se basa en el fenómeno de fotopolimerización, consiste en exponer una cubeta de resina líquida fotosensible a un rayo ultravioleta, para que solidifique y endurezca. Este proceso se realiza capa por capa mientras la base donde se apoya la figura va descendiendo a medida que se termina la capa anterior. Cuando la pieza está lista, se extrae del líquido y con ayuda de un disolvente se extrae el exceso de resina sin solidificar. Su gran ventaja reside en la alta resolución, más del doble que otras técnicas como FDM. Llevan usándose desde hace tiempo en diferentes sectores por lo que disponen de materiales avanzados para imprimir piezas de alto valor añadido: materiales biocompatibles, esterilizables, resistentes a altas temperaturas, flexibles, transparentes, ópticos, etc. Es la tecnología con más materiales de alto rendimiento disponibles. La combinación ganadora de velocidad y precisión de SLA la convierte en una excelente opción para evaluar prototipos. Tienen el inconveniente que desperdician algo de material y es necesario lavar y curar las piezas para que se endurezcan después de imprimirlas, lo que requiere manipular las resinas y disponer de una estación de lavado y curado. Además, la resina mancha todo lo que se pone en contacto con ella y tiene un olor fuerte, por lo que suele ser necesario tener un espacio ventilado y separado destinado a estas impresoras [13].

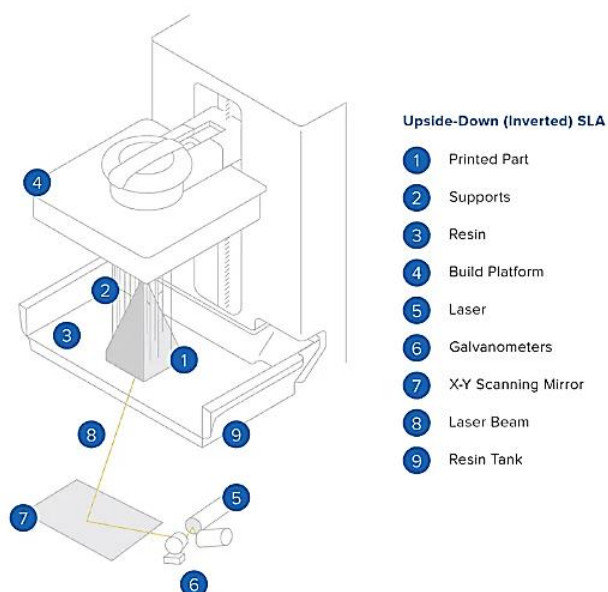


Figura 2-4 Proceso de fotopolimerización en impresora 3D por técnica SLA [14]

2.1.4.4 Procesamiento digital de luz (DLP)

Esta técnica es conocida por las siglas DLP del inglés Digital Light Processing, se trata de una técnica parecida a la mencionada en el apartado anterior, la diferencia recae en el uso de luz convencional para solidificar el polímero fotosensible. Además, la fuente de luz se encuentra en la parte inferior de la cubeta. Durante el proceso también se cambia el patrón de la luz en cada capa mientras la superficie se desplaza para fabricar la pieza. Una de las grandes ventajas es el uso de una pantalla para proyectar una imagen de cada capa, endureciendo todos los puntos deseados a la vez. La luz se refleja en el Digital Micromirror Device (DMD), una superficie compuesta por espejos de tamaño microscópico para reflejando los puntos de la imagen a solidificar directamente contra la base de la cubeta [15].

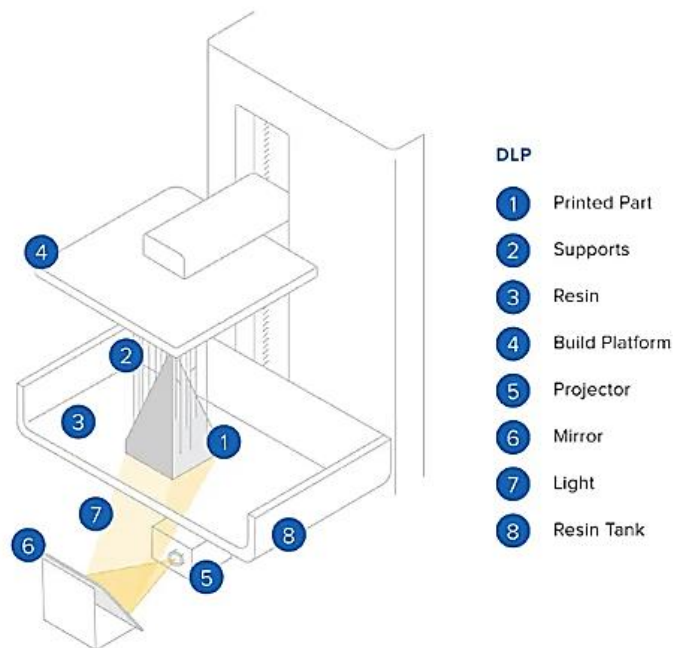


Figura 2-5 Proceso de fotopolimerización en impresora 3D por técnica DLP [14]

2.1.4.5 Sinterizado selectivo por láser (SLS)

Esta técnica es conocida por las siglas SLS del inglés: Selective Laser Sintering, se trata de un proceso parecido a la estereolitografía, su principal diferencia reside en utilizar materia el polvo en lugar de resina líquida. Al igual que las técnicas anteriores, el material se deposita en una cubeta, por medio de radiadores se calienta hasta temperatura próxima al punto de fusión. Finalmente, se hace incidir un rayo láser de CO₂ en los puntos elegidos que conforman la capa de la pieza para que esas zonas se fundan y solidifiquen [16].

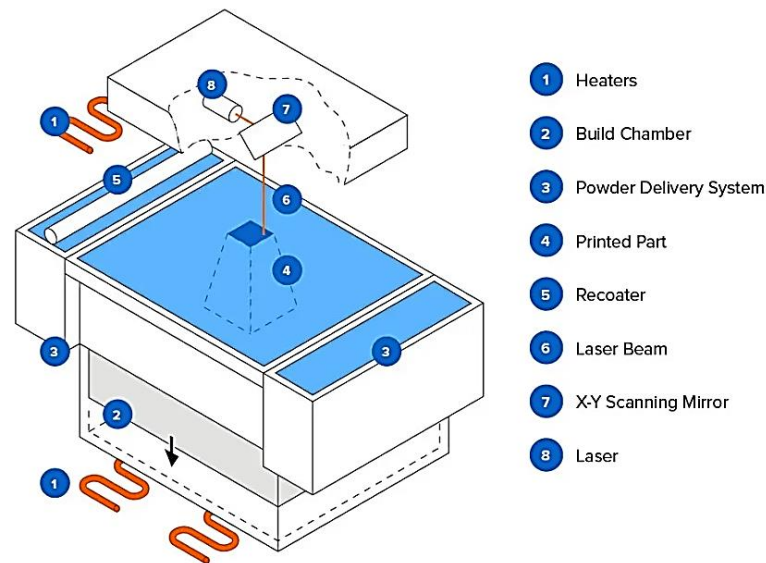


Figura 2-6 Proceso de fotopolimerización en impresora 3D por técnica SLS [17]

2.1.5 Perspectiva futura

A lo largo de las últimas décadas se ha experimentado un auge exponencial en la explotación de la impresión 3D, el desarrollo de esta tecnología ha dejado gran huella en la historia de mundo. Este fenómeno abre todo un abanico de posibilidades tanto a empresas como a particulares. Se trata de una tecnología que traerá avances revolucionarios. Diferentes sectores ya están empezando a hacer uso de esta tecnología, desde el sector de la automoción hasta el sector de la salud. La industria es capaz de convertir lo imaginable en posible, desde juguetes hasta vestidos [18]. Se trata de una tecnología emergente, que grandes empresas apuestan por ella; un caso es el del automovilismo. La implementación de impresión de piezas de diferentes materiales conlleva un ahorro de costes para las grandes marcas y en la impresión de metal puede ser la clave del éxito para este tipo de industrias [19].

Por otro lado, el uso de la impresión 3D en el sector médico está proliferando rápidamente y su uso se extiende en investigación, aprendizaje, prótesis o aparatos ortopédicos para ser usado en micro implantes o en modelos de cirugía 3D [20]. La bioimpresión es un término revolucionario de este siglo, que consiste en la impresión de estructura orgánica para su uso en medicina; esta tecnología permite la impresión de válvulas cardíacas, venas, músculos o nervios [21].

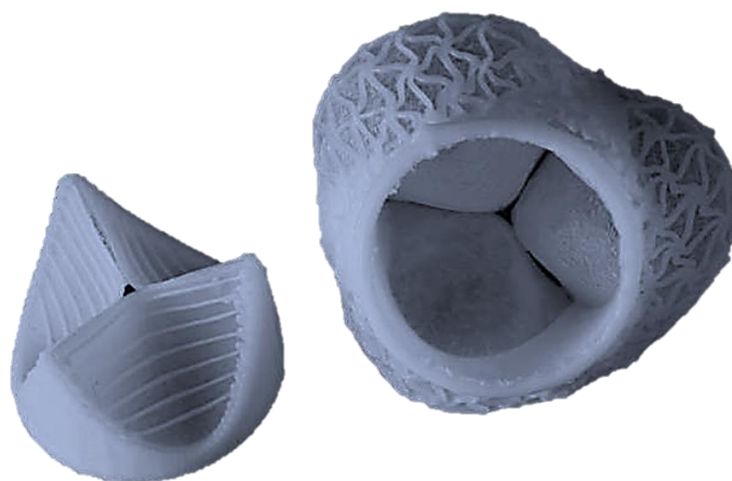


Figura 2-7 Válvula Cardíaca de silicona a partir de una impresora 3D [22]

2.2 Adquisición de las geometrías

Vistas las tecnologías de impresión existentes se deben describir los procesos que se tienen para llegar a ellas y poder obtener la pieza final, la adquisición de geometrías se trata de uno de los procesos esenciales. Consiste en obtener el dimensionado de la pieza para poder enviarlo a la impresora 3D y proceder a su fabricación. Para ello se distinguen tres métodos según la forma de realizar la obtención de la geometría que se introducirá en programas CAD (Computer Aided Design) como posteriormente se verá.

2.2.1 Manual

Este método es el más simple de todos y al alcance de cualquier usuario. Sólo se necesitan elementos de medida convencionales como el calibre o pie de rey, una herramienta escalada capaz de realizar mediciones interiores, exteriores y profundidades. En el caso de partir desde cero, se usan herramientas como escalímetros o reglas para poder realizar bocetos iniciales y planos. Las medidas obtenidas son las que se introducirán en los programas de diseño.

2.2.2 Maquinas CNC

El método de control numérico por ordenador conocido por sus siglas CNC del inglés: Computer Numerical Control, consiste en la medición a partir de un complejo sistema de punteado dirigido por ordenador. La máquina consta de un brazo medidor con un palpador ultrasensible en su extremo, que, a través de órdenes manuales o preestablecidas, palpa la superficie del objeto a medir y lo registra. Este punteado se repite por las superficies a medir. Se trata de un proceso complejo, que requiere cierto conocimiento previo y el tiempo de duración depende la complejidad y tamaño del objeto a medir [23].

2.2.3 Escaneado 3D

Este método consiste en controlar la dirección de rayos láser y poder medir la distancia en cada dirección. A partir del tiempo de ida, rebote y vuelta del láser, se puede obtener la forma del objeto escaneado y mensurar su geometría. La adquisición de geometrías por escaneado es relativamente moderna, el primer escáner se inventó en la década de 1960, pero todavía usaban una técnica muy rudimentaria a partir de luces, cámaras y proyectores [24]. El escaneo 3D permite obtener un objeto 3D a partir de un objeto existente con gran precisión.

2.3 Técnicas computacionales en el modelado 3D

Una vez obtenidas las geometrías del diseño, se deben utilizar sistemas asistidos por ordenador para conseguir el objetivo final, que es la fabricación de la pieza. Estos programas comparten en sus abreviaturas las letras CA, Computer Aided, que se traduce como asistido por ordenador, lo cual implica que los tres programas requieren de ordenadores para llevar a cabo sus procesos.

2.3.1 Computer Aided Design (CAD)

El diseño asistido por ordenador se define como el uso de ordenadores para asistir en los procesos de creación, modificación, análisis y optimización de un diseño. Estos sistemas constan de hardware y software para desarrollar funciones específicas requeridas de diseño. La parte hardware incluye el ordenador, y los equipos necesarios como son dispositivos portátiles de diseño gráfico; por otro lado, el software se compone de programas de diseño que facilitan la creación de piezas y modelos 3D. La implementación de CAD proporciona un incremento en la productividad de los diseñadores, debido a que permite visualizar en tiempo real y ajustar las correcciones al instante. Esto conlleva a la reducción de los costes y la disminución del tiempo de diseño.

En resumen, la tecnología CAD es una herramienta valiosa para la creación y el desarrollo de diseños en un entorno digital, que permite una mayor eficiencia, precisión y colaboración en el proceso de

diseño, que se puede representar en un diagrama de flujo desde los parámetros iniciales pasando por la optimización hasta el diseño final [25].

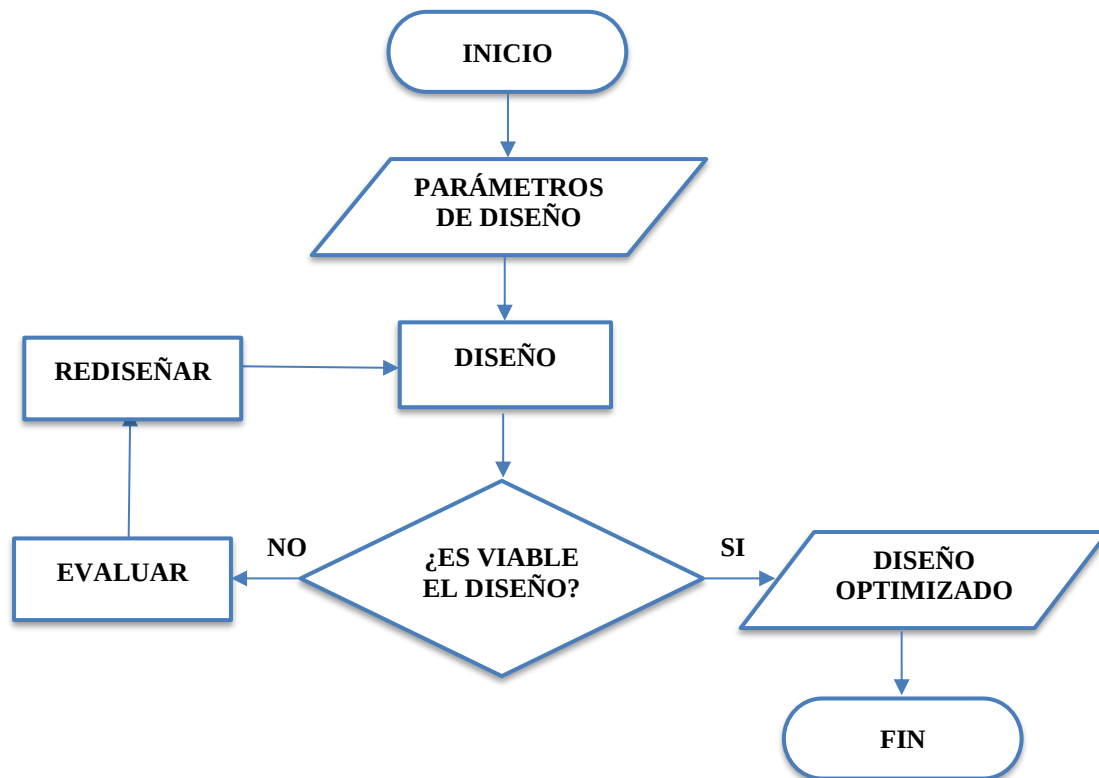


Figura 2-8 Diagrama de flujo de una estructura CAD [Autoría Propia]

2.3.2 Computer Aided Engineering (CAE)

La ingeniería asistida por ordenador es el uso de software informático para simular el rendimiento de un producto con la finalidad de detectar posibles carencias y poder modificar el diseño antes de pasar a la fabricación del objeto. Además, permite resolver problemas de ingeniería para las diversas industrias. La simulación, validación y optimización son algunas de las aplicaciones posibles sobre productos o procesos; estas simulaciones permiten ver en tiempo real las posibles deficiencias de los ensamblajes o piezas [26]. Algunas de las aplicaciones de la CAE son el análisis de tensiones y de dinámica en componentes y ensamblajes mediante el análisis de elementos, FEA del inglés: Finit Element Analysis [27], o el análisis térmico y de fluidos mediante la dinámica computacional de fluidos en 3D, CFD del inglés: Computational Fluid Dynamics [28].

En resumen, la tecnología CAE es una herramienta de apoyo a la ingeniería que mejora la eficiencia y precisión en la creación de productos y sistemas respecto a los métodos manuales; es ampliamente utilizada para mejorar la eficiencia del proceso de diseño como se verá posteriormente en el proyecto.

2.3.3 Computer Aided Manufacturing (CAM)

La fabricación asistida por ordenador, consiste en el uso de aplicaciones de control numérico, NC del inglés Numeric Control, que utilizan programas como EIA-RS 274D o códigos G & M [29], que se encuentran estandarizados según la norma ISO 1056 [30] sobre códigos de programación NC. Estas aplicaciones sirven para planear, distribuir y controlar las operaciones a efectuar por la máquina a través de interfaces de ordenador y poder utilizar los recursos necesarios para el procesamiento de la fábrica [31]. Las aplicaciones CAM utilizan algoritmos para extraer la información de la base de datos del modelo que anteriormente hemos diseñado a través de las tecnologías vistas en el apartado 2.3.1, y utilizar los programas NC para lograr fabricar la pieza siguiendo un patrón determinado.

2.3.4 Software

Para abordar el trabajo se utilizará alguna aplicación que facilite realizar el modelado, para ello se dispone de Autodesk Inventor 2023 [32]. Se trata de un software que reúne tecnología CAD y CAE. El uso de CAD se puede ver en el diseño de piezas, modelado mecánico en 3D, simulación, la visualización. El uso de tecnología CAE se puede ver en el análisis de elementos finitos que permite realizar análisis estáticos lineales, pandeo, caída, fatiga y cálculo de estructuras. Este programa integra herramientas para la presentación, renderizado y el diseño completo de máquinas y conjuntos de piezas, que pueden ser guardado para su posterior uso.

Inventor permite integrar datos 2D y 3D en un único entorno, creando una visualización del producto que permite a los usuarios, validar la forma, el ajuste y la función del producto final antes de que se construya. Para poder conseguir el objetivo, que es imprimir la pieza, se utilizarán formatos de archivo “.STL”.

2.3.4.1 Archivos “.STL”

Se trata del formato estándar para impresión 3D, se utiliza para transferir información del software CAD a la impresora 3D. A partir de este archivo, se obtiene el modelo sólido para imprimir a partir de alguna de las técnicas mencionadas en el apartado 2.1.4 [33].

Profundizando en la composición de los archivos “.STL”, se componen de una serie de triángulos vinculados que describen la geometría de la superficie de un modelo u objeto 3D. La complejidad del diseño es proporcional al número de triángulos usados y a la resolución final del objeto. Este formato, tiene limitadas capacidades para transmitir color y textura, por esta razón se utiliza para crear prototipos en lugar del producto final; otra desventaja de los archivos “.STL” es que el archivo no tiene capacidad de almacenamiento de metadatos. Esto incluye autoría, derechos de autor y la ubicación, que son esenciales para la publicación [34].

2.3.4.2 Ultimaker Cura

Una vez obtenido el archivo “.STL”, se utilizará la aplicación Ultimaker Cura; se trata de una aplicación diseñada exclusivamente para impresoras 3D, en la que se pueden modificar los parámetros de impresión, y transformarlo en códigos entendibles por la impresora.

Ultimaker Cura se caracteriza por proporcionar una interfaz gráfica previa a la fabricación de las piezas. Permite la previsualización de la secuencia capa por capa. Además, se puede configurar la velocidad y calidad de impresión. Actualmente se encuentra en su versión 5.2.2.

2.3.4.3 Thread Modeler

Thread Modeler se trata de una herramienta desarrollada por la compañía Coolorange para permitir a los usuarios de Autodesk Inventor generar modelos de roscas realistas basados en la función “roscas” de la interfaz de operaciones de Inventor. Esta aplicación consistía en una extensión al programa hasta la versión Autodesk Inventor 2022.

Como para el presente trabajo se ha utilizado su versión 2023, se ha tenido que hacer uso de la versión web del producto [35]. En su versión web, permite adjuntar una pieza sin roscar, y obtener un resultado final roscado.

2.4 Materiales utilizados para impresión 3D en la industria

Se debe entender que, al igual que para cualquier proceso de fabricación, la impresión 3D requiere de materiales de alta calidad que cumplan con las especificaciones requeridas para el proyecto asignado. Para poder conseguir esto, se establecen procesos, acuerdos y controles de calidad entre los proveedores, compradores y el usuario final. El sector de la impresión se encuentra en constante desarrollo y establecer cuáles son los materiales que se utilizan exactamente sería imposible puesto que de un día a otro se

podrían tener nuevos materiales aptos para impresión, pero se pueden diferenciar los materiales que a continuación se relacionan.

2.4.1 Metales

Las tecnologías de impresión de metal están ganando mucha atención en sectores como la aeronáutica, el automovilismo, el sector médico y la industria manufacturera por el uso de tecnología DLP. El metal aporta excelentes propiedades físicas, de entre los metales utilizados en la impresión 3D se encuentran aleaciones de aluminio [36], aleaciones basadas en cobalto [37], acero inoxidable [38], aleaciones basadas en níquel [39] y aleaciones de titanio [40].

Las aleaciones basadas en cobalto se ajustan a aplicaciones dentales, esto es por sus altas condiciones específicas en rigidez, resiliencia, capacidad de recuperación, elongación y de tratamiento térmico.[37]

Las aleaciones de níquel se utilizan en la producción de piezas de aeronaves en la industria aeroespacial.[39] Esto es debido a sus propiedades, que le confieren alta resistencia a la corrosión y a la temperatura, puede llegar a soportar hasta 1200°C [41]. El uso de aleaciones de titanio proporciona propiedades exclusivas como son la ductilidad, resistencia ante la corrosión y oxidación y una baja densidad. Se usa en situaciones de gran estrés térmico y físico; es otro ejemplo de material clave en la industria aeroespacial [40].

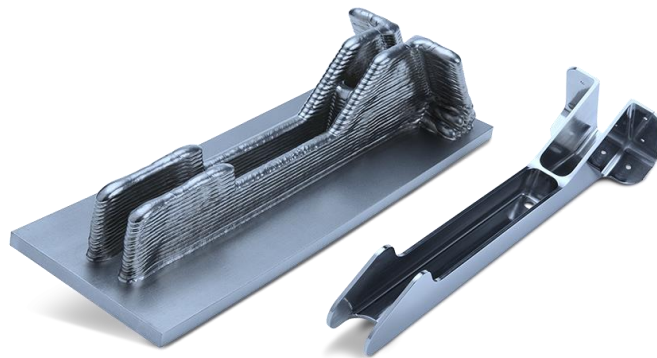


Figura 2-9 Impresión 3D de soporte en aleación de titanio para la industria aeroespacial [42]

2.4.2 Polímeros

La impresión 3D abarca producción de componentes poliméricos desde prototipos hasta estructuras funcionales. A través de FDM, se pueden crear estructuras 3D, depositando sucesivas capas de filamentos termoplásticos extrusionados: Los principales polímeros utilizados son el ácido poliláctico, PLA del inglés Polylactic Acid, sus propiedades dependen de la composición del polímero y variando sus propiedades físicas y mecánicas [43]. Otros polímeros frecuentemente empleados son el acrilonitrilo butadieno estireno, ABS del inglés Acrylonitrile Butadiene Styrene; el polipropileno, PP del inglés Polypropylene o el polietileno, PE del inglés Polyethylene. En la industria de la impresión 3D existen termoplásticos con propiedades mejoradas de forma artificial, como son la poliamida, PA; el policarbonato, PC; la polietercetona, PEEK del inglés Polyetheretherketone; la polieterimida, PEI del inglés Polyetherimide; la polieterosulfona, PES del inglés Polyethersulfone o el sulfuro de polifenileno, PPS del inglés Polyphenylene Sulfide [44]. Estos materiales se usan en la industria 3D debido a su bajo peso, su bajo precio y su flexibilidad en el procesado [44]. Los materiales poliméricos tienen capacidad de reutilizarse en caso de existir excedente una vez finalizado el proceso de impresión; debido a la capacidad de volver a transformarlos en filamentos, se fomenta el uso de materiales bio-degradables

[45]. La mayoría de los materiales poliméricos juegan un rol importante en el sector médico como se ha visto en la Figura 2-7.

2.4.3 Cerámicos

Las impresoras 3D permiten la impresión de objetos de cerámica y hormigón sin la aparición de grandes poros o grietas a través de la apropiada optimización y configuración de los parámetros de impresión [46]. Los cerámicos tienen muy buenas propiedades de resistencia, durabilidad y resistencia al fuego [47]. Debido a su estado fluido antes de ser colocados, se pueden aplicar prácticamente en cualquier superficie o geometría, haciendo de ellos un material muy conveniente para la construcción y edificación [46]. Los principales cerámicos que se pueden encontrar son la alúmina [48], vidrio bioactivo [49] y circonita [50]. La alúmina tiene una gran variedad de aplicaciones como microelectrónica, aeroespacial o industrias de alta tecnología [48]. La técnica SLA se utiliza para procesar vitro-cerámicas y vidrio bioactivo [49]. La circonita se utiliza para el entubado de elementos en el sector de la energía nuclear debido a ser poco susceptible a la radiación y a la absorción de neutrones térmicos [50].



Figura 2-10 Intercambiador de calor cerámico hecho de alúmina utilizando SLA fabricado por la empresa ALUMINA SYSTEMS [51]

2.4.4 Compuestos

Los continuos avances en investigación han permitido obtener materiales con una excelente versatilidad, bajo precio y gran ductilidad, que han revolucionado las industrias. Su impresión se extiende a los compuestos poliméricos de fibras de carbono reforzadas [52] y a los compuestos poliméricos de fibra de vidrio [53]. Las estructuras de fibra de carbono se utilizan de forma amplia en la industria aeroespacial, debido a su rigidez, fuerza y a su buena resistencia a la corrosión y a la fatiga [52]. La fibra de vidrio tiene una alta conductividad térmica y un coeficiente de expansión térmico relativamente bajo; añadido a que la fibra de vidrio no arde ni se ve afectada por las altas temperaturas resultado de los procesos de fabricación. Al igual que los compuestos poliméricos de fibra de carbono, ambos son utilizados en la impresión 3D debido a la ponderación entre su rentabilidad y su alto rendimiento [54]. La aparición de materiales compuestos con base de materiales bio-degradables se encuentra en alza, la aparición de fibras compuestas toma importancia en aplicaciones de ingeniería civil donde la resistencia mecánica no es de vital importancia como es el ejemplo de los paneles sonoros [55].

2.4.5 Materiales Inteligentes

Los materiales inteligentes son aquellos que tienen propiedades que pueden verse alteradas por la humedad, la temperatura, los campos eléctrico y magnético, el pH y el estrés. Estos materiales pueden cambiar de color y forma, volverse más resistentes o producir impulsos eléctricos como resultado de estímulos externos [56]. Se pueden encontrar aleaciones con memoria de forma, SMAs del inglés Shape Memory Alloys, que tienen la habilidad de recuperarse de deformaciones que para un metal corriente sería imposible. Entre ellos se pueden encontrar aleaciones de níquel-titanio usadas en aplicaciones de micro-electromecánica [57]. A parte de aleaciones se pueden encontrar polímeros con memoria de forma, SMP del inglés Shape Memory Polymer, que al igual que las aleaciones puede ser procesados en una impresora 3D, en particular utilizando FDM, los polímeros inteligentes responden a estímulos como la luz, el calor o a reacciones químicas [58].

2.4.6 Materiales Especiales

Existen ciertos materiales que se incluyen dentro del gran espectro de materiales utilizados en la impresión 3D, pero que, por sus condiciones especiales, no se pueden encuadrar dentro de ninguna categoría. Es por ello que se agrupan en esta categoría de materiales especiales.

2.4.6.1 Comida

Como se ha visto anteriormente en el apartado 2.1.4.1, se pueden imprimir diferentes formas y geometrías, es por ello que la comida se ha introducido en el espectro de la impresión 3D, permitiendo expandir la creatividad y presentar la comida en un nuevo formato revolucionario [59]. La computerización en la comida permite la impresión selectiva para la realización de planes de nutrición específicos y además aborda el problema de derroche de comida [60].

2.4.6.2 Polvo lunar

El coste de transportar materiales al espacio a través de los cohetes asciende hasta 2 millones de dólares por cada bloque del tamaño de un ladrillo, esto conlleva al desarrollo de técnicas más baratas. La NIAC, NASA Innovative Advances Concepts, es un programa de ideas visionarias financiado por la NASA. En este departamento existe un proyecto de investigación que desarrolla una tecnología de fabricación robótica capaz de imprimir estructuras en la luna y en Marte [61]. La empresa encargada es ICON y pretende construir una impresora capaz de generar estructuras habitables a partir de la energía solar y de polvo lunar [62].

2.4.6.3 Industria Textil

La tecnología 3D permite utilizar las diferentes técnicas vistas en el apartado 2.1.4 para innovar en la industria textil con la impresión de fibras, estructuras flexibles, telas de malla metálica o estructuras geométricas [18]. Algunas ventajas de este procesamiento de prendas en la industria de la moda son los diseños innovadores y el corto tiempo de procesamiento que reduce los costes generales del producto [63].

2.5 Soportes para dispositivos

El uso de soportes ha estado vinculado al ser humano desde el comienzo de su historia, puesto que se trata de algo tan simple como una ayuda para sostener otros objetos ya sea por comodidad o por cualquier uso específico. Tal es la simpleza que se podría datar el concepto de “soporte” desde que el ser humano es capaz de emplear el primer objeto en su historia y encuentre la necesidad de dejarlo por un tiempo apoyado como encima de una roca; pues esa roca de manera involuntaria se convierte en un soporte. Pero es cierto que lo que se entiende por soporte es algo bastante más moderno, la variedad de soportes en el mercado es inmensa y para cualquier objeto específico existen infinitas combinaciones y soportes distintos, pero centrándose en el área de investigación; los dispositivos multimedia, existe gran variedad de tipos distintos de soportes para dispositivos móviles, pero se pueden clasificar los soportes

para dispositivos multimedia en las siguientes cinco categorías en función del uso y la ubicación del soporte.

2.5.1 Soportes de mesa

Los soportes de mesa son dispositivos diseñados para brindar una ubicación segura y estable para la colocación de una tableta en una superficie plana. Con el fin de optimizar su uso, estos soportes están concebidos para mantener la tableta en una posición que permita visualizar videos, leer, trabajar o jugar con comodidad. Además, algunos modelos cuentan con ajustes para adaptarse a diferentes tamaños de tabletas, así como características adicionales como brazos articulados o ajustes de inclinación. A menudo tienden a tener diseños más innovadores que otros que buscan tener un mayor agarre o funcionalidad.

2.5.2 Soportes de pared

Los soportes de pared son dispositivos especialmente diseñados para sujetar una tableta en una superficie vertical de manera segura y estable. Estos soportes están concebidos para mantener la tableta a pasar de su peso. Algunos modelos cuentan con ajustes para adaptarse a diferentes tamaños de tabletas. La montura en la pared no solo permite un fácil acceso a la tableta, sino que también ahorra espacio en la superficie de trabajo o en la mesa. Además, estos soportes brindan una alternativa práctica para tener la tableta en una posición visible y de fácil acceso en cualquier habitación. El diseño de este tipo de soportes tiende a dar más importancia a la funcionalidad que al diseño puesto que cuentan con el factor añadido de tener que permanecer en una superficie vertical.

2.5.3 Soportes de mano

Los soportes de mano son dispositivos que brindan una forma segura y cómoda de sostener una tableta mientras se está utilizando. Con una construcción que se ajusta a diferentes tamaños de tabletas, estos soportes permiten una fácil manipulación de la tableta con una o ambas manos, lo que permite una mayor interacción con la pantalla. Además, algunos modelos incluyen características adicionales como brazos articulados que contribuyen a un uso más cómodo. En resumen, estos soportes son una solución práctica para aquellas situaciones en las que se requiere mover el dispositivo frecuentemente además de contar con una ubicación estable y cómoda para la tableta.

2.5.4 Soportes para automóvil

Los soportes para automóviles son dispositivos que brindan una solución práctica para sujetar una tableta en un vehículo con el fin de utilizarla durante un viaje. Con una construcción segura y estable, estos soportes permiten una ubicación conveniente de la tableta, como en el asiento del pasajero o en el apoyabrazos. Además, algunos modelos cuentan con ajustes de inclinación y brazos articulados que contribuyen a un uso más cómodo. En conclusión, los soportes para automóviles permiten una experiencia de uso agradable y segura de la tableta durante los desplazamientos.

2.5.5 Soportes especiales

Se pueden englobar dentro de esta categoría aquellos soportes que ofrecen características adicionales o una funcionalidad específica que los difieren de los anteriores. Algunos ejemplos son soportes para máquinas de ejercicio. En la actualidad la tecnología avanza a pasos agigantados y se puede ver el ejemplo en la recarga de dispositivos móviles sin la utilización de cables, para ello se utilizan soportes capaces de generar campos electromagnéticos para inducir corriente a los dispositivos y poder cargarlos [64]. Existen soportes con un giroscopio incorporado que permite mantener la orientación del dispositivo a pesar del movimiento del soporte.

3 DESARROLLO DEL TRABAJO

3.1 Impresora Ultimaker 3

Para el desarrollo del trabajo se va a utilizar la Ultimaker 3 en su modelo Extended, que proporciona mayor superficie y altura de impresión. Se trata de una impresora 3D, con cabezal de doble extrusión, innovador respecto a sus anteriores versiones. El extrusor principal está preparado para utilizar una gran cantidad de filamentos, y el secundario, aunque idéntico en apariencia, está diseñado para trabajar con material de soporte. De entre los tipos de impresoras anteriormente desarrollados, se encuadra dentro de FDM. La impresora tiene conectividad wifi, y se trata de una impresora fabricada en metal y semicerrada. La calidad de impresión es muy alta, gracias a su gran precisión y resolución.

La impresora cuenta con opciones de ayuda al usuario, como el auto ajuste de la plataforma, que simplifica la tarea de calibración. Cuenta con un sensor que detecta y avisa al usuario cuando la posición de la plataforma o los cabezales no es la adecuada, pero los peligros asociados a esta impresora dependen en gran medida del factor humano como se verá a continuación.

3.1.1 Peligros

Atendiendo a la compatibilidad electromagnética, el equipo puede generar y radiar energía de radiofrecuencia, y sin un uso adecuado puede ocasionar interferencias perjudiciales para las comunicaciones por radio.

Respecto a la seguridad eléctrica, la impresora Ultimaker 3 ha sido verificada conforme al estándar IEC 60950-1 [65], que se engloba bajo la directiva de baja tensión; y debe utilizarse conjuntamente con la fuente de alimentación y cable suministrados. En combinación, garantizan protección frente a sobrecargas, cortocircuitos, sobrecalentamientos, y bajadas o subidas de tensión.

Atendiendo a la seguridad mecánica, el equipo porta partes móviles, pero ninguna de las partes involucradas (las correas de transmisión y la placa móvil) son capaces de causar lesiones.

El riesgo de quemaduras existe en el cabezal de impresión, debido a que alcanza temperaturas de hasta 280°C, y en la plataforma calentada que alcanza temperaturas de 100°C [66]. Se debe dejar enfriar la impresora 30 minutos antes de llevar a cabo mantenimientos o modificaciones.

3.1.2 Componentes

Centrándose en la Ultimaker 3 Extended, se observa desde su parte frontal los siguientes componentes representados en Figura 3-1 según la Tabla 3-1 y la Tabla 3-2.

Elemento Frontal	Componente
1	Placa de Impresión
2	Cabezal de impresión dual
3	Abrazaderas de la placa de Impresión
4	Pantalla
5	Toma de usb

Tabla 3-1 Componentes en impresora Ultimaker 3 Extended (Visión Frontal) [66]

Elemento Posterior	Componente
6	Alimentador 1
7	Alimentador 2
8	Tubos guías
9	Puerto ethernet
10	Soporte de bobina doble
11	Cable de alimentación

Tabla 3-2 Componentes en impresora Ultimaker 3 Extended (Visión Posterior) [66]

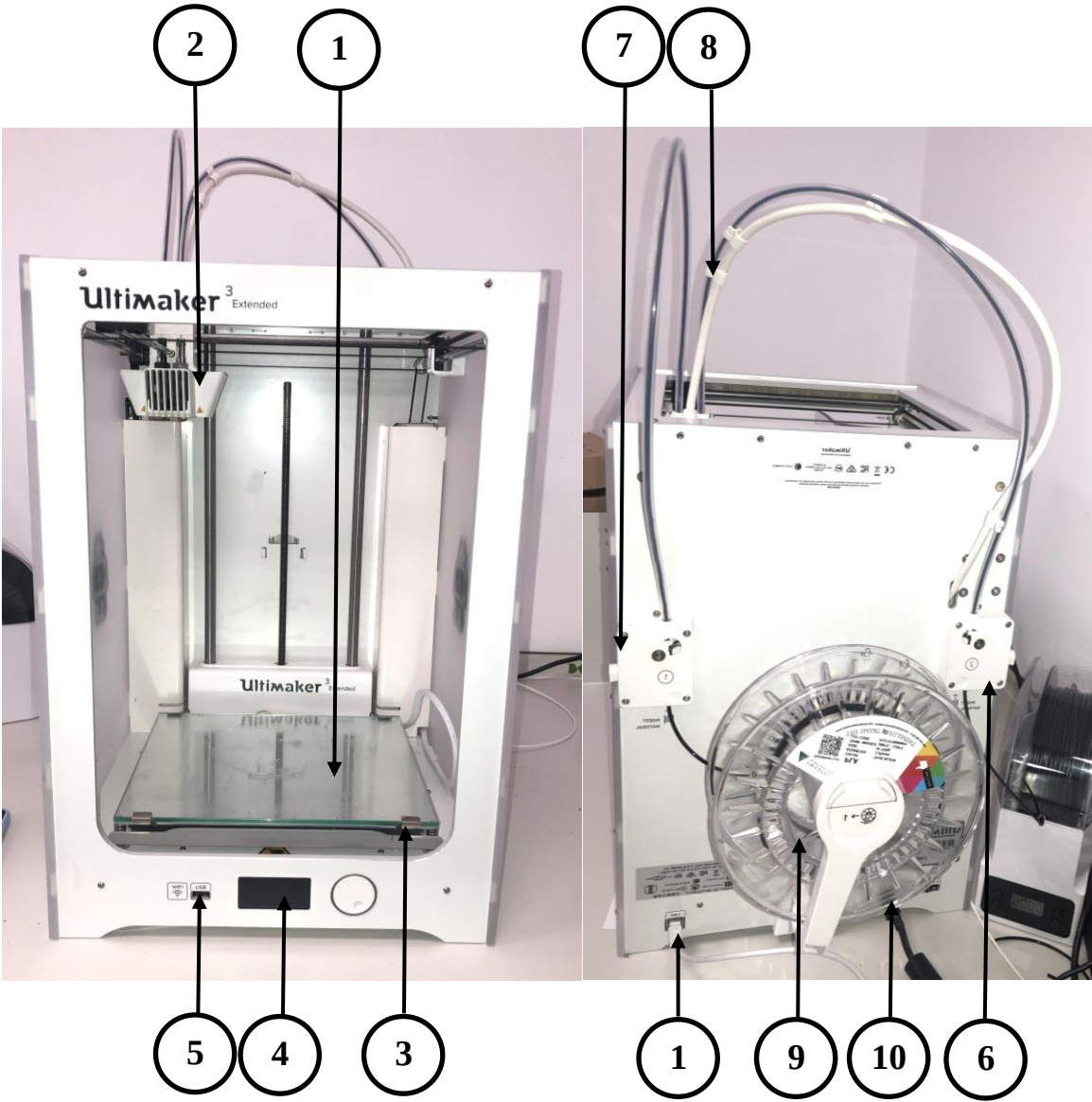


Figura 3-1 Partes de la Impresora Ultimaker 3 Extended [Autoría Propia]

3.1.3 Especificaciones

Las especificaciones de la Ultimaker 3 y su versión Extended, sólo varían en el volumen de impresión y las dimensiones físicas; siendo la versión extended más grande que la normal como se observa según la Tabla 3-3. El resto de especificaciones son las mismas para ambos modelos según la Tabla 3-4.

Especificaciones	Ultimaker 3	Ultimaker 3 Extended
Volumen de impresión	197 x 215 x 200 mm	197 x 215 x 300 mm
Dimensiones exteriores	342 x 505 x 588 mm	342 x 505 x 688 mm
Peso	10,5 kg	11,3 kg

Tabla 3-3 Diferencias entre Ultimaker 3 y su modelo Extended [66]

Especificaciones	Ultimaker 3/ Ultimaker 3 Extended
Diámetro del material	2,85 mm
Resolución de la capa	Tobera de 0,4 mm: 20 – 200 µm
Precisión del paso X Y Z	12,5 – 12,5 – 2,5 µm
Velocidad de desplazamiento del cabezal	30 – 300 mm/s
Velocidad de flujo del material	Hasta 16 mm ³ /s
Diámetro de la tobera	0,4 mm
Temperatura de la tobera	180 – 280 °C
Temperatura de la placa de impresión	20 – 100 °C
Tiempo de calentamiento de la tobera	< 2min
Tiempo de calentamiento de la placa de impresión	< 4 min
Ruido operativo medio	50 dBA
Almacenamiento de material	2 bobinas de 750g

Tabla 3-4 Especificaciones de impresora Ultimaker 3 / Ultimaker 3 Extended [66]

3.1.4 Material

La impresora Ultimaker 3 se ha diseñado para la exclusiva utilización de los siguientes materiales: Ultimaker PLA, Ultimaker ABS, Ultimaker CPE, Ultimaker Nylon, Ultimaker PVA y Ultimaker Breakaway [66]. Se asegura la correcta impresión de estos materiales si se utilizan la configuración y temperatura adecuada. La utilización de otros materiales que no sean los recomendados anteriormente, puede liberar compuestos orgánicos volátiles que pueden causar dolores de cabeza, fatigas, malestar, y sensación de intoxicación. Se recomienda la utilización de una campana de humo. En la Tabla 3-5 se comparan las principales propiedades de los materiales recomendados para la impresión en Ultimaker 3. Además, en la Tabla 3-6 se relaciona la compatibilidad del PVA y el Breakaway, que se utilizará como material de apoyo con el resto de materiales mencionados.

Propiedades	Ultimaker PLA	Ultimaker ABS	Ultimaker CPE	Ultimaker Nylon
Punto de fusión	145 - 160 °C	225 - 245 °C	>100 °C	185 - 195 °C
Solubilidad en agua	Insoluble	Insoluble	Insignificante	Insoluble
Materiales incompatibles	Agentes oxidantes	Agentes oxidantes Fuertes	Agentes oxidantes Fuertes	Ninguno
Condiciones a evitar	Tª impresión >240°C	Tª impresión >260°C	Tª impresión >260°C	Tª impresión >280°C

Tabla 3-5 Propiedades Básicas de los materiales aptos para Ultimaker 3 [67]–[70]

Compatibilidad	PLA	ABS	CPE	Nylon
PVA	SI	Experimental	SI	SI
Breakaway	SI	SI	SI	SI

Tabla 3-6 Compatibilidad de materiales disponibles en impresora Ultimaker 3 con PVA y Breakaway [71], [72]

3.1.5 Calibraciones

Para la correcta impresión de las piezas es necesaria la calibración tanto de la placa de impresión como de los propios cabezales. Para ello el propio software de la impresora ayuda al usuario a realizar dichas calibraciones a través de la pantalla.

La realización de la calibración de la placa de impresión se realizó de forma manual debido a la incapacidad de poder realizarse de forma automática por encontrarse dicha función inoperativa, siguiendo los pasos y ajustando unos tornillos situados bajo la placa se consigue calibrar de forma correcta la placa de impresión. Para la calibración de los cabezales, se utilizó la forma automática proporcionada por el software de la impresora, que consiste en imprimir ciertos patrones en la placa de impresión como se muestra en Figura 3-2.

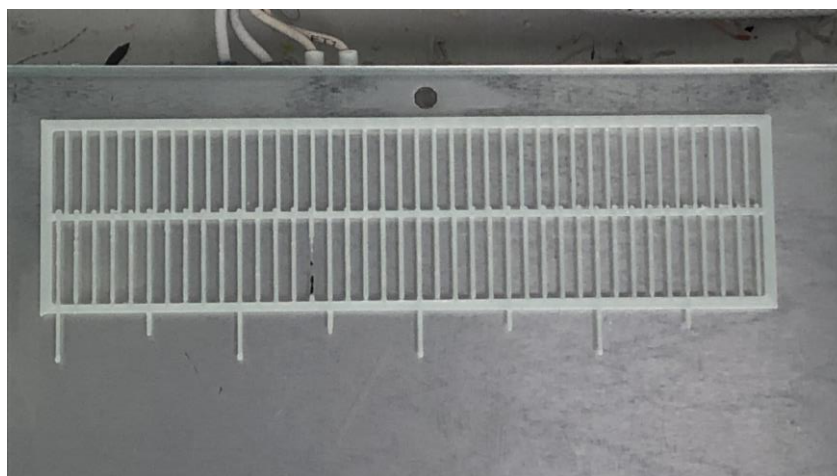


Figura 3-2 Patrón de calibración de cabezales en Ultimaker 3 [Autoría Propia]

3.2 Diseño

3.2.1 Consideraciones previas

Antes de comenzar con el diseño de un soporte se deben plantear una serie de consideraciones previas como la estructura donde se va a apoyar el soporte, los márgenes disponibles para la base y la estructura, los grados de movilidad de la misma o la capacidad para agarrar diferentes tamaños de dispositivos.

3.2.1.1 Superficie de instalación

Para el correcto diseño del soporte se debe tener en cuenta el entorno en el que se va a trabajar. El soporte debe de situarse en una zona próxima al alumno, evitando interferir el rango de visión entre el alumno y, los cristales y ventanas que se encuentran en el puente del barco. En la Figura 3-3 se muestra una visión general de la zona de instalación rodeada con un círculo. Las medidas a tener en cuenta son las mostradas en la Tabla 3-7. En la Figura 3-4 se pueden observar la longitud de la que se dispone en el puente, y el ancho disponible. En la Figura 3-5 se muestra la inclinación de la superficie y su longitud útil. Se pretende anclar el soporte por la parte posterior aprovechando el espacio en la zona inclinada para no interferir con ninguno de los sensores de la zona frontal.

Numeración	Medidas	PLA
1	Longitud disponible	50cm
2	Ancho disponible	5cm
3	Ángulo de inclinación	56°
4	Longitud inclinada	13,5cm

Tabla 3-7 Medidas de la superficie de instalación [Autoría Propia]



Figura 3-3 Visión general superficie de instalación [Autoría Propia]

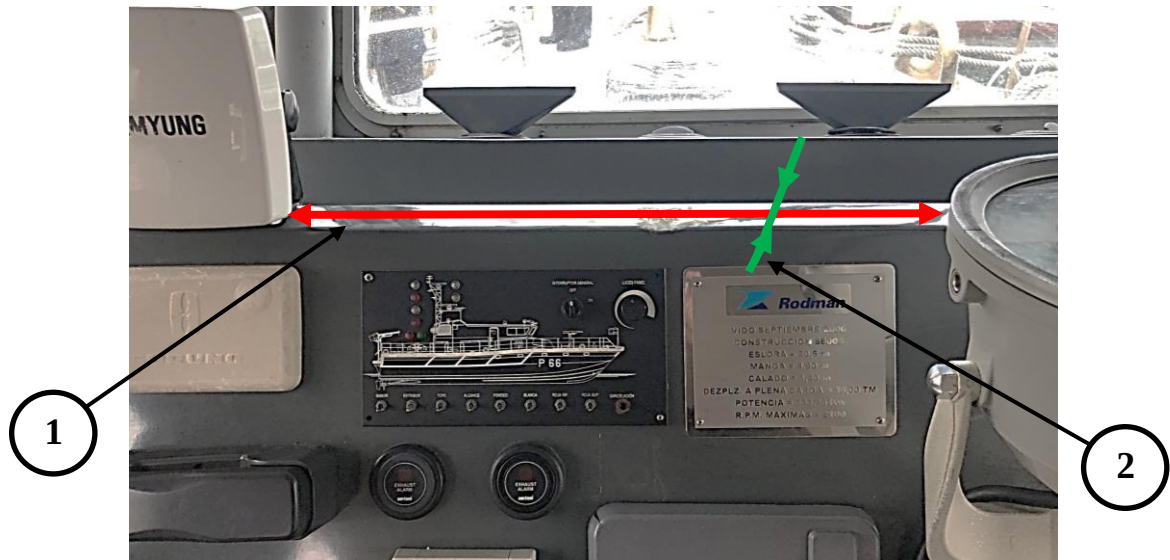


Figura 3-4 Superficie de instalación (1) [Autoría Propia]

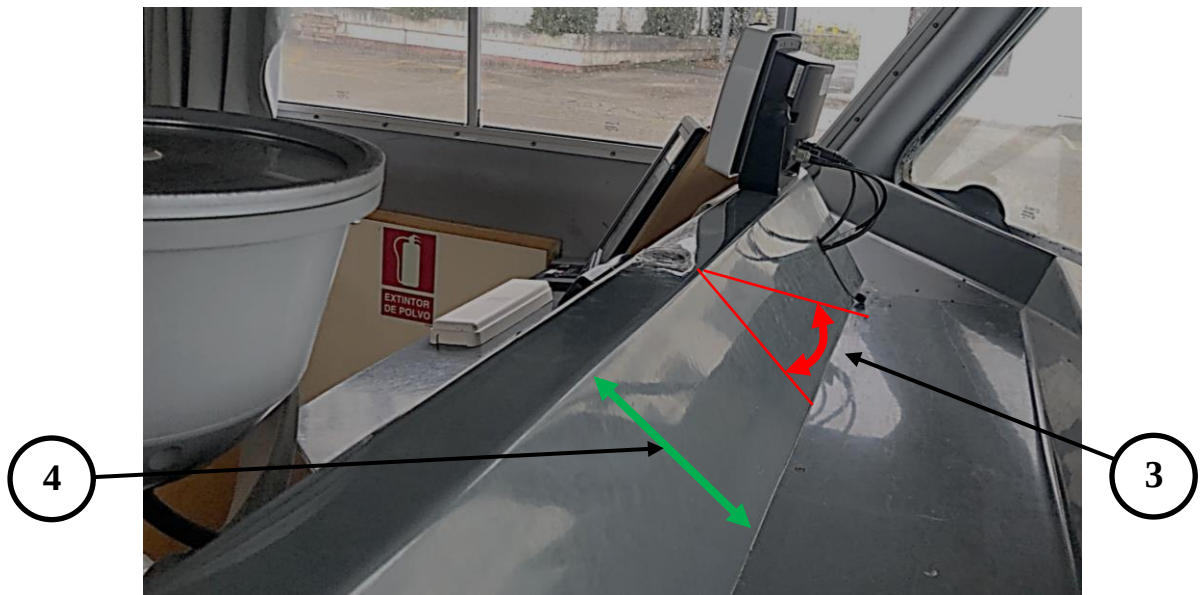


Figura 3-5 Superficie de instalación (2) [Autoría Propia]

3.2.1.2 Movilidad

El objetivo del proyecto consiste en que el usuario sea capaz de ajustar a su antojo el dispositivo multimedia, para ello, se deberá crear un soporte que se puede ajustar en cualquiera de los ejes de orientación. Primero se debe garantizar la sujeción del dispositivo móvil, para ello se plantea el diseñar una estructura donde apoye principalmente el dispositivo a sujetar. Posteriormente y con ayuda de un brazo extensible que garantice poder agarrar dispositivos de distinto tamaño, se diseñará la estructura de tal forma que, en la posición deseada, se pueda restringir la posición del brazo, y así sujetar el dispositivo móvil.

En este punto se ha conseguido agarrar el dispositivo, pero se necesita ajustar la posición en la que se va a encontrar el dispositivo respecto del usuario. Para ello, la propia estructura principal de agarre se diseñará para poder unir a ella un mecanismo que cuenta con dos barras articuladas. Este mecanismo permitirá ajustar la elevación y la inclinación del soporte. Además, se debe de unir el mecanismo a la base de sujeción para que todo el soporte quede anclado a la estructura de la Lancha de Instrucción.

3.2.1.3 Material de impresión

Atendiendo las limitaciones de la plataforma de impresión y como se ha visto en el apartado 3.1.4, se puede extruir PLA, ABS, CPE, Nylon, PVA y Breakaway; pero para el desarrollo del presente proyecto, se utilizará el PVA y el Breakaway como material de soporte, y para la fabricación de la pieza se utilizará PLA y ABS por contar con ellos previamente y así ahorrar costes en el proyecto.

Para poder realizar el análisis FEM, uno de los factores a tener en cuenta es el tipo de material que se introducirá en las características de las piezas. Las bibliotecas de Autodesk Inventor no contienen los materiales recomendables para imprimir en la impresora Ultimaker 3 Extended, mencionados en el apartado 3.1.4. La aplicación permite al usuario introducirlos manualmente. En la Tabla 3-8 se mencionan las propiedades necesarias del Ultimaker PLA y del Ultimaker ABS. La Tabla 3-9 muestra los costes asociados a estos dos productos.

Propiedades	Ultimaker PLA	Ultimaker ABS
Densidad	1,24 g/cm ³	1,10 g/cm ³
Módulo de Elasticidad	2346,5 MPa	2030 MPa
Límite de elasticidad	45,6 MPa	33,9 MPa
Resistencia máxima a tracción	49,52 MPa	39 MPa

Tabla 3-8 Propiedades Ultimaker PLA y ABS [73], [74]

Material	Coste
Ultimaker PLA 750g	41,93€
Ultimaker ABS 750g	48,22€

Tabla 3-9 Coste de compra de material PLA y ABS [75]

3.2.2 Piezas

El conjunto del soporte cuenta con 7 piezas principales. Atendiendo a la proximidad al dispositivo móvil se encuentran los siguientes elementos. El Soporte Principal, donde apoya el dispositivo, contiene un hueco por donde desliza el Brazo de sujeción para agarrar el dispositivo. Estas piezas se fijan mediante presión, aportada por el Tapón Roscado. El Soporte Principal se une mediante tornillería al Adaptado Auxiliar para permitir variar su orientación lateral. A su vez, esta última pieza se encuentra unida a las articulaciones una detrás de la otra, éstas permiten la elevación y posición del dispositivo. Este mecanismo de dos barras se encuentra unido mediante tornillería a la Base de Anclaje, directamente unido con tuercas a la lancha de instrucción. En la

Tabla 3-10 se muestran los componentes del soporte que se encuentran relacionados en la Figura 3-6. El diseño de todas las piezas se encuentra en los planos correspondientes en el Anexo IV: Planos.

Numeración	Elemento
1	Base de la Lancha

Numeración	Elemento
2	Soporte Principal
3	Brazo de Sujeción
4	Adaptador Auxiliar
5	Articulación Anterior
6	Articulación Posterior
7	Base de Anclaje
8	Tapón Roscado
9	Dispositivo Multimedia

Tabla 3-10 Componentes del Soporte [Autoría Propia]

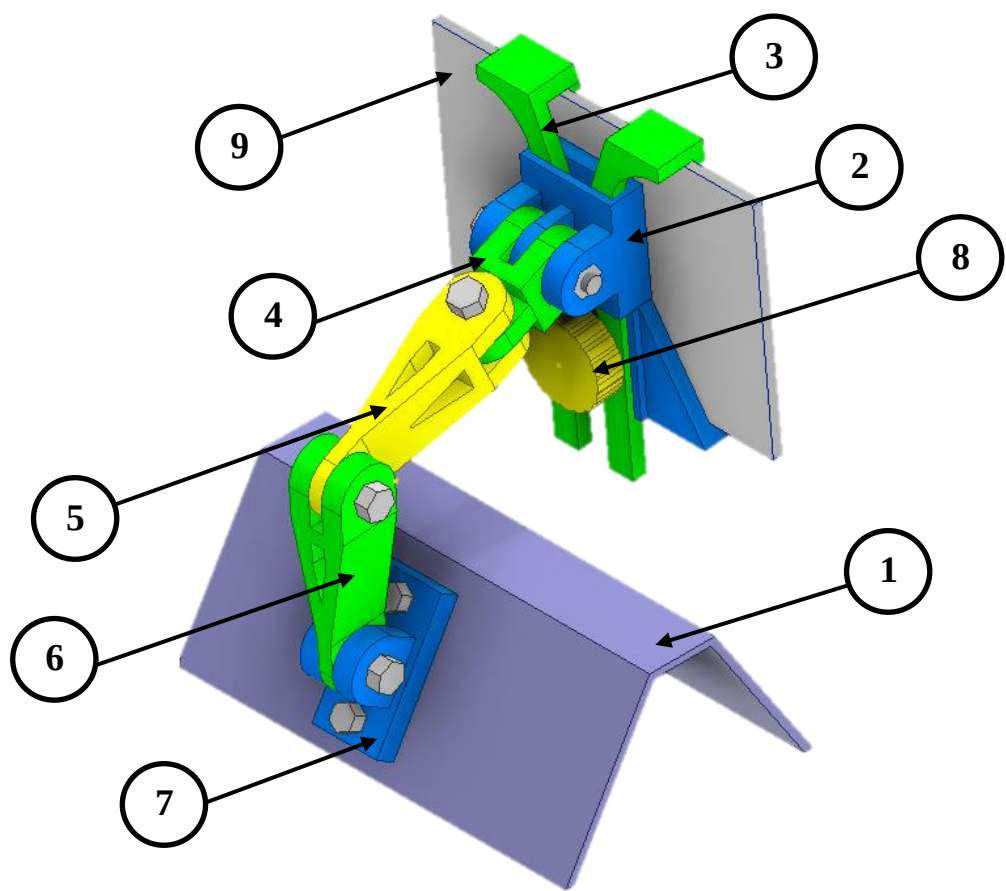


Figura 3-6 Elementos Principales del soporte [Autoría Propia]

3.2.2.1 Soporte Principal

Se trata de la pieza más grande de todas, consiste en el elemento principal del que depende el apoyo del dispositivo. Sus dos patas inferiores permiten apoyar dispositivos de hasta 15mm de grosor. La intención de diseño de esta pieza es crear una pieza compacta en la que puedan apoyarse dispositivos multimedia de distinto grosor (eje Z) sin restringir el largo (eje Y) ni el ancho (eje X). En la Tabla 3-1se muestran las características principales de esta pieza. Para poder ajustar dispositivos de diferente tamaño se hace pasar el Brazo de Sujeción por un hueco pasante vertical en el centro de la pieza. El la Figura

3-8 se puede observar la rosca de métrica 45 para comprimir el brazo de sujeción contra la pieza con ayuda del Tapón Roscado.

Por otro lado, se observan tres salientes con agujeros roscados de métrica 12 que unidos al Adaptador Auxiliar a través de una tuerca, permiten el movimiento de cabeceo de la pieza sobre el eje transversal, Figura 3-8, para poder variar la inclinación respecto del usuario. En el seno de uno de los salientes, se encuentra un hueco con forma hexagonal para permitir la entrada de una contratuerca.

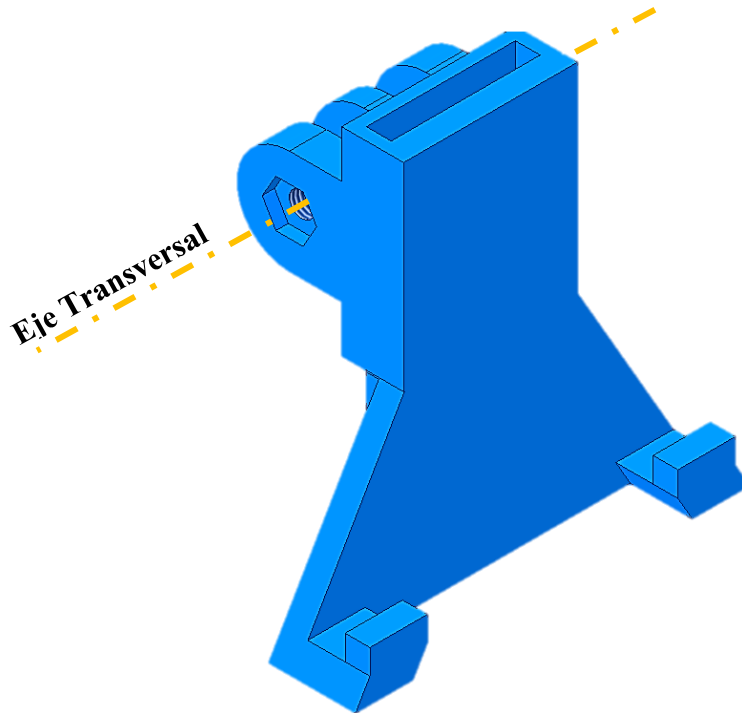


Figura 3-7 Soporte Principal (frontal) [Autoría Propia]

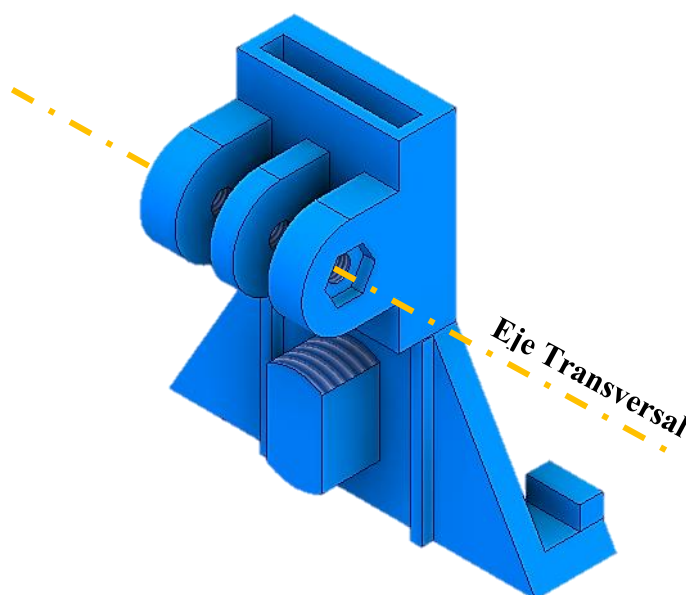


Figura 3-8 Soporte Principal (posterior) [Autoría propia]

Características	Soporte Principal
Largo	157,45 mm
Ancho	158,714 mm
Profundidad	92 mm
Peso	0,352 kg

Tabla 3-11 Características del Soporte Principal [Autoría Propia]

3.2.2.2 Brazo de Sujeción

Esta pieza es la más larga del conjunto debido a que su principal utilidad consiste en agarrar la parte superior del dispositivo móvil independientemente del tamaño. Para ello, cuenta con una forma de H, y las dos patas superiores agarran al dispositivo. Su forma se debe a que la rosca central de la Figura 3-8 no debe interferir en el movimiento ascendente y descendente de esta pieza y quedar libre en el centro de esta. En la Figura 3-9 se observa la forma de H junto con los brazos de sujeción y en la

Tabla 3-12 se muestran las características principales de esta pieza.

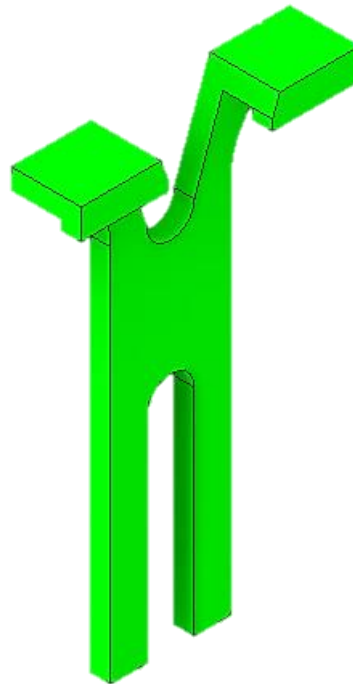


Figura 3-9 Brazo de Sujeción [Autoría Propia]

Características	Brazo de Sujeción
Largo	240 mm
Ancho	140 mm
Profundidad	35 mm
Peso	0,165 kg

Tabla 3-12 Características del Brazo de Sujeción [Autoría Propia]

3.2.2.3 Adaptador Auxiliar

Se trata de una pieza pequeña, que vincula el soporte principal con las articulaciones del conjunto. Esta pieza sirve para asistir el movimiento de cabeceo, y permitir realizar el movimiento de guiñada

pivotando en el eje longitudinal, sin ella, el soporte principal se uniría a las articulaciones directamente y no podríamos variar la orientación del dispositivo móvil sobre el eje longitudinal. La Tabla 3-13 muestra las características principales de la pieza. En la Figura 3-10, se observan los dos ejes mencionados, que corresponde con agujeros roscados de métrica 12 que sirven para unir esta pieza a la articulación y al soporte principal mediante pernos.

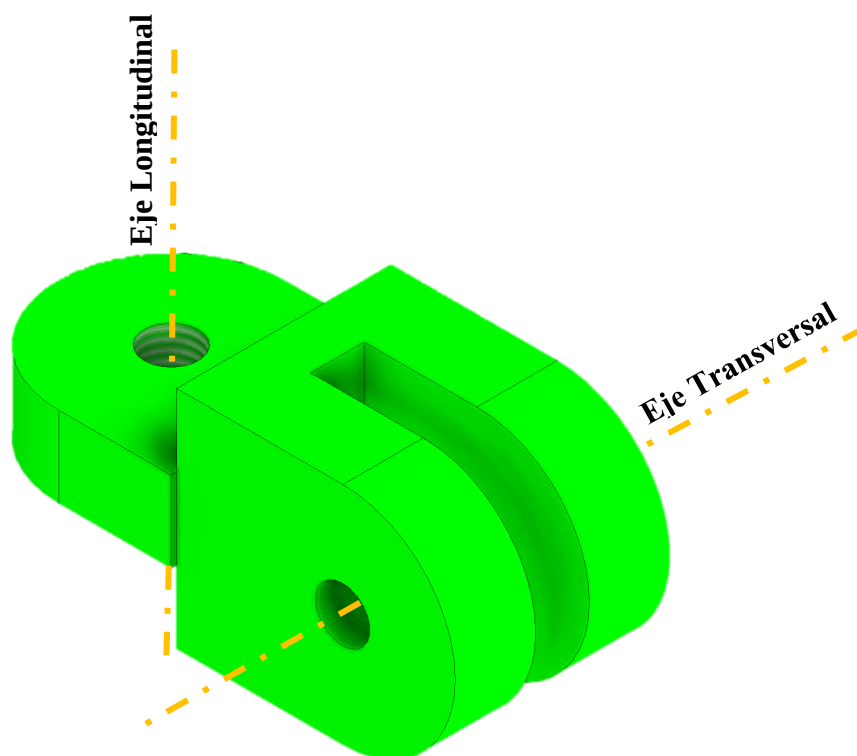


Figura 3-10 Adaptador Auxiliar [Autoría Propia]

Características	Adaptador Auxiliar
Largo	42 mm
Ancho	42 mm
Profundidad	94 mm
Peso	0,104 kg

Tabla 3-13 Características del Adaptador Auxiliar [Autoría Propia]

3.2.2.4 Articulaciones

El conjunto del soporte cuenta con dos articulaciones para permitir regular la altura y la distancia a la que se va a encontrar el dispositivo móvil de la base de anclaje. La articulación anterior, Figura 3-11, se diferencia de la posterior, Figura 3-12, por girar 90° la posición de los ejes de los agujeros entre un lado y otro de la pieza. Este giro permite conectar la articulación anterior con el Adaptador Auxiliar para permitir el movimiento en el eje longitudinal.

Al igual que las uniones con el resto de piezas, se utilizan pernos con métrica 12. La unión entre la Articulación Anterior y la Articulación Posterior se realiza también con un perno con métrica 12 al hacer coincidir los agujeros de ambas piezas. Por último, la unión de la articulación posterior con la Base de Anclaje se realiza de forma similar.

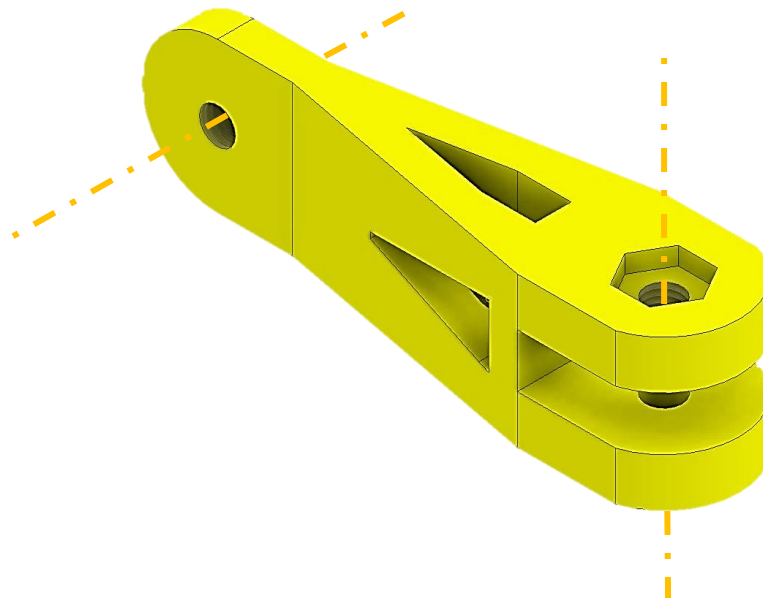


Figura 3-11 Articulación Anterior [Autoría Propia]

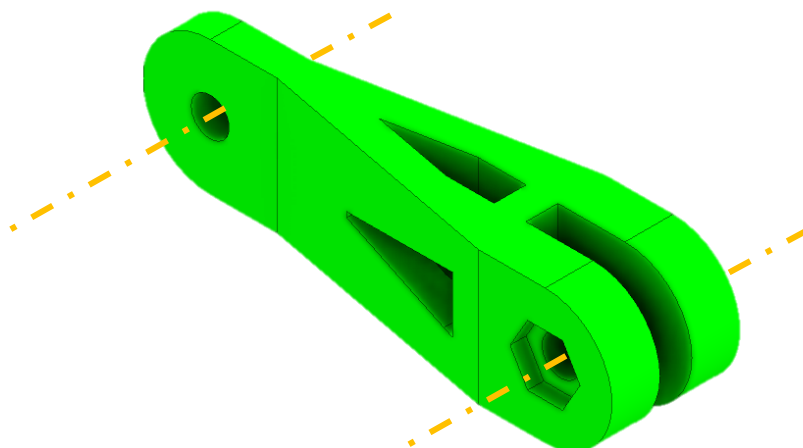


Figura 3-12 Articulación Posterior [Autoría Propia]

Características	Articulación Anterior	Articulación Posterior
Largo	42 mm	42 mm
Ancho	40 mm	42 mm
Profundidad	162 mm	162 mm
Peso	0,145 kg	0,142 kg

Tabla 3-14 Características de las Articulaciones Anterior y Posterior [Autoría Propia]

3.2.2.5 Base de Anclaje

Esta pieza, Figura 3-13, es la unión entre el conjunto del soporte y la superficie situada en el puente de gobierno de las Lanchas de Instrucción como se vio en el apartado 3.2.1.1. Para ello, la articulación posterior se une con una tuerca de métrica 12 a la base mediante tornillería. La base de anclaje cuenta con dos agujeros de métrica 10 para la unión de la pieza con la superficie. En la Tabla 3-15 se muestran las características principales de esta pieza.

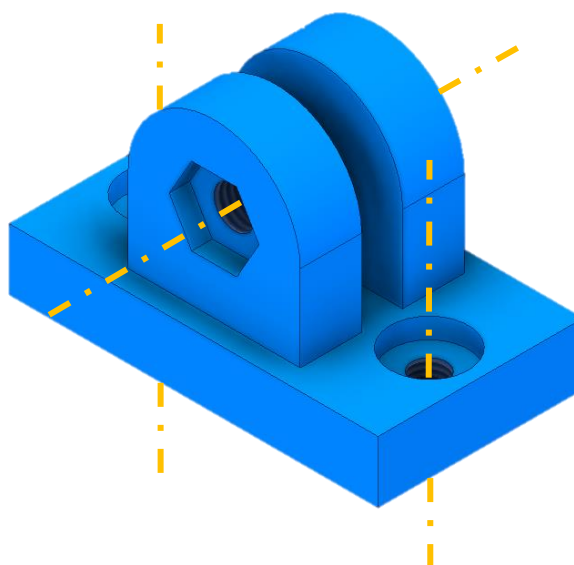


Figura 3-13 Base de Anclaje [Autoría Propia]

Características	Base de Anclaje
Largo	57 mm
Ancho	50 mm
Profundidad	90 mm
Peso	0,133 kg

Tabla 3-15 Características de la Base de Anclaje [Autoría Propia]

3.2.2.6 Piezas Auxiliares

En esta categoría se incluyen aquellas piezas que por su funcionalidad no se pueden incorporar a los componentes principales del soporte. Se encuadran en esta categoría los pernos utilizados de métricas 10 y 12. Además, se pueden encuadrar las contratueras utilizadas como apoyo de los pernos, de métrica 10 y 12 respectivamente. En la Figura 3-14 se observa el conjunto tuerca-contratuerca para una métrica 12 y en Tabla 3-16 y Tabla 3-17 se caracterizan los pesos de las tuercas y contratueras utilizadas en función de la métrica, y la longitud para el diseño de este soporte.

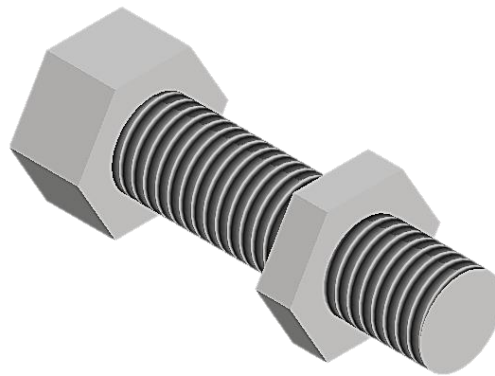


Figura 3-14 Conjunto tuerca y contratuerca de métrica 12 [Autoría Propia]

Características	Tuerca M10x30 mm	Tuerca M12x50 mm	Tuerca M12x55 mm	Tuerca M12x80 mm
Peso	0,006 kg	0,011 kg	0,012 kg	0,015 kg

Tabla 3-16 Pesos de las Tuercas utilizadas en el soporte [Autoría Propia]

Características	Contratuerca M10	Contratuerca M12
Peso	0,001 kg	0,001 kg

Tabla 3-17 Pesos de las contratuercas utilizadas en el soporte [Autoría Propia]

3.2.2.7 Tapón Roscado

Esta pieza, Figura 3-15, se trata de una de las piezas más sencillas del diseño, pero crucial para el correcto funcionamiento del mismo debido a que es la pieza que ejerce presión mediante roscado para apretar el brazo de sujeción contra el soporte principal. Para ello, el tapón contiene una rosca interior de métrica 45, que corresponde con la rosca exterior que se vio anteriormente en el Soporte Principal en su parte posterior. La Tabla 3-18 muestra las características principales del tapón.

Características	Tapón Roscado
Alto	20 mm
Diámetro	60 mm
Peso	0,04 kg

Tabla 3-18 Características del Tapón Roscado [Autoría Propia]

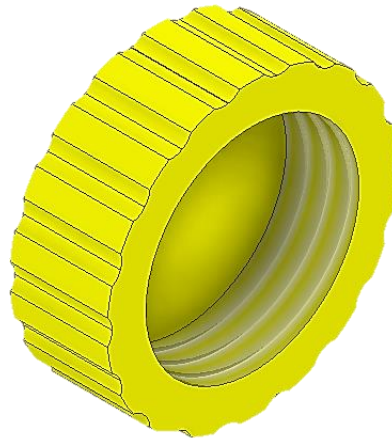


Figura 3-15 Tapón Roscado [Autoría Propia]

3.2.2.8 Dispositivo Multimedia

Para poder modelar el comportamiento del soporte se debe diseñar un paralelepípedo con la forma y tamaño de un dispositivo multimedia. Para ello, se ha diseñado el soporte para ser compatible con uno de los iPads más grandes del mercado. A continuación, en la Tabla 3-19, se muestra una comparativa entre el iPad Pro y el iPad Air.

Características	iPad Pro (6° gen.)	iPad Air (5° gen.)
Alto	28,06 cm	24,76 cm
Ancho	21,49 cm	17,85 cm
Grosor	0,64 cm	0,61 cm
Peso	0,684 kg	0,462 kg

Tabla 3-19 Características de Dispositivo Multimedia [Autoría Propia]

En el siguiente apartado, se utilizará el modelo de mayor tamaño y peso para tratar el caso más restrictivo, es decir, el iPad Pro (6° gen.).

3.3 Estudio de cargas

Para realizar el estudio de cargas del soporte se debe hacer uso del análisis FEM, que forma parte de la segunda técnica computacional anteriormente vista en el apartado 2.3.2. Para poder hacerlo, se utilizará la aplicación Autodesk Inventor que permite realizar este tipo de análisis a partir de las piezas previamente diseñadas en el apartado 3.2. En el presente estudio compara la utilización de diferentes plásticos para la impresión. A continuación, se detallan los principales aspectos a tener en cuenta para la realización del FEM.

3.3.1 Restricciones

Para abordar este apartado, se debe fijar la superficie donde se ancla todo el soporte, la interfaz permite aplicar una restricción de fijación en la cara seleccionada. Para ello, se aplica dicha restricción en la cara de la superficie de la lancha que se encuentra directamente en contacto con la base de sujeción

como se muestra rodeado en Figura 3-16. Esta restricción impide el movimiento en cualquiera de las direcciones de la geometría seleccionada.

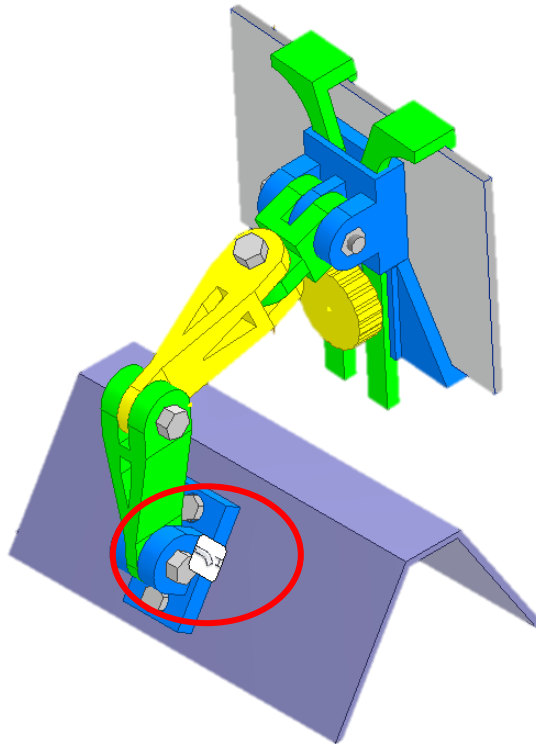


Figura 3-16 Restricción de fijación en base de la lancha [Autoría Propia]

3.3.2 Cargas

Las cargas son unos de los parámetros más importantes a la hora de realizar el análisis FEM; se utilizarán para poder determinar las posibles deformaciones resultantes de las piezas tras la aplicación de fuerzas. En el presente análisis de tensiones se han aplicado cargas que simulan la gravedad y se han centrado en análisis del peso del dispositivo multimedia.

A partir de la Tabla 3-19, se obtiene un peso para el dispositivo más restrictivo de 0,684 kg; para poder simularlo en el análisis FEM, se aplicará una presión equivalente en la sección superior del dispositivo multimedia. A continuación, se detalla el cálculo de la presión a aplicar. La sección donde se aplicará la presión se obtiene a partir de las características obtenidas de las dimensiones del dispositivo multimedia en Tabla 3-19.

La sección lateral horizontal de la Tablet iPad Pro (6º gen.) donde se va a aplicar la presión viene dada por S.

$$S = l \times l = 28,06 \text{ cm} \times 0,64 \text{ cm} = 17,9584 \text{ cm}^2 \quad (1)$$

Por otro lado, se ha calculado cual es el peso fruto de la masa de la Tablet multiplicado por la gravedad, dado por F.

$$F = m \times g = 0,684 \text{ kg} \times 9,81 \frac{\text{m}^2}{\text{s}} = 6,71004 \text{ N} \quad (2)$$

Finalmente, la presión que se debe aplicar sobre la superficie se calcula como el cociente entre el peso y la superficie calculada, dada por P.

$$P = \frac{F}{S} = \frac{6,71004N}{17,9583 \text{ cm}^2} = 0,37365 \frac{N}{\text{cm}^2} = 0,003735 \text{ MPa} \quad (3)$$

3.3.3 Malla

El conjunto de nodos donde se realiza el análisis FEM componen la malla formada por retículas; una de las funciones de la interfaz del software Autodesk Inventor permite modificar el tamaño de malla en ciertos puntos para poder obtener mayor resolución de malla en ciertas zonas. La Figura 3-17 muestra la malla utilizada para el presente análisis cuyas características se reflejan en la Tabla 3-20.

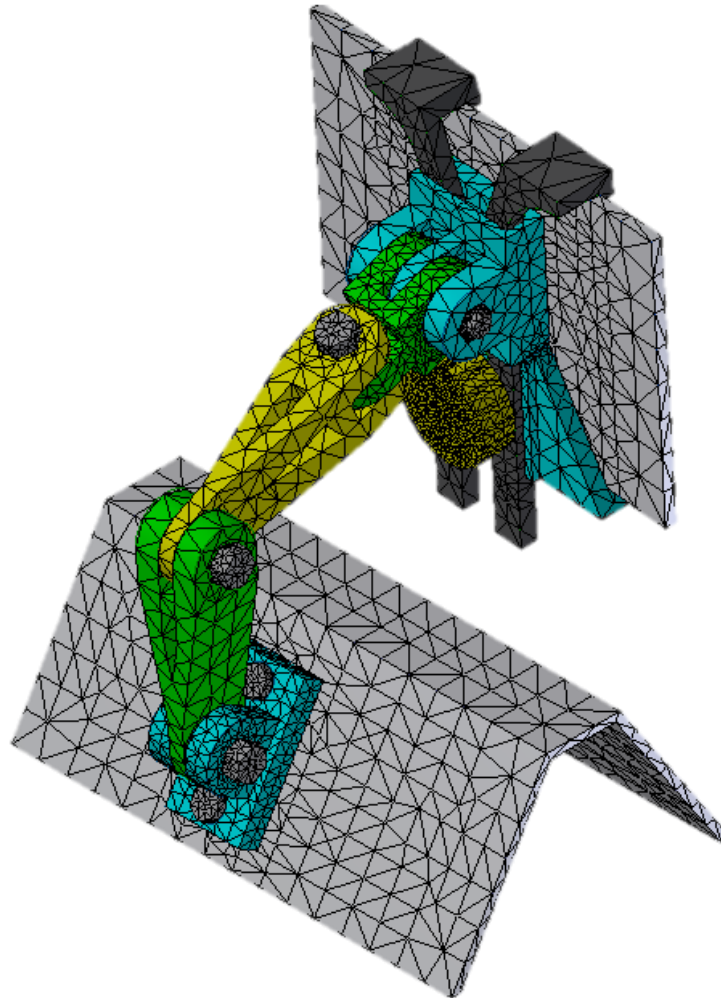


Figura 3-17 Preprocesado del mallado en Soporte de Sujeción [Autoría Propia]

Características	Mallado
Número de nodos	76697
Número de elementos	43682

Tabla 3-20 Características de la malla del Soporte de Sujeción [Autoría Propia]

3.3.4 Materiales

Los materiales con los que se dotó a cada una de las piezas del soporte son otro factor a tener en cuenta a la hora de realizar el análisis de tensiones. La tornillería utilizada se ha modelado con acero suave, en la Tabla 3-21 se detallan las características de este tipo de acero. Por otro lado, se realizará el análisis de tensiones para valorar qué material plástico es más conveniente para las piezas.

Propiedades	Acero Suave
Módulo de Young	220 GPa
Coef. Poisson	0,28
Módulo cortante	81,7 GPa
Densidad	7,85 g/cm ³
Lim. Elasticidad	207 MPa
Resist. Max. a tracción	345 MPa

Tabla 3-21 Características Acero Suave en Inventor [76]

En la interfaz de la aplicación, se debe de seleccionar el material de anulación para cada uno de los componentes del soporte. En esta interfaz, se seleccionará PLA o ABS en función del análisis que se realice. Para poder utilizar ambos materiales en el software, debe introducirse de forma manual teniendo en cuenta sus propiedades mencionadas en la Tabla 3-8.

3.3.5 Resultados del Análisis

Una vez tomados en cuenta todos los aspectos anteriormente mencionados, se procede a obtener los resultados del análisis de tensiones para ambos materiales PLA y ABS. A partir de los resultados obtenidos se seleccionará el material más adecuado para la fabricación del soporte. En el presente estudio se ha obtenido la tensión equivalente del modelo, denominada tensión de Von Mises. Además, el análisis facilita dos de las tensiones principales. Por otro lado, se obtienen los desplazamientos en los ejes y el coeficiente de seguridad.

3.3.5.1 Análisis PLA

Este estudio de tensiones se ha realizado utilizando PLA como material principal en las piezas. En la Tabla 3-22 se muestran los desplazamientos máximos en los ejes como consecuencia de la presión aplicada. Como se puede observar, el desplazamiento en el eje X, es mucho menor que los otros dos debido a que la presión se ejerce de forma vertical. En la Figura 3-18, se muestra los resultados de la tensión de Von Mises. A continuación, en la Figura 3-20, Figura 3-21 y Figura 3-22, se muestran los resultados obtenidos para los desplazamientos en los diferentes ejes. Finalmente, en la Figura 3-23, se obtiene un coeficiente de seguridad mínimo de 9,12.

Propiedades	Acero Suave
Eje X	0,00176 mm
Eje Y	0,10870 mm
Eje Z	0,08771 mm

Tabla 3-22 Desplazamientos en Análisis con PLA [Autoría Propia]

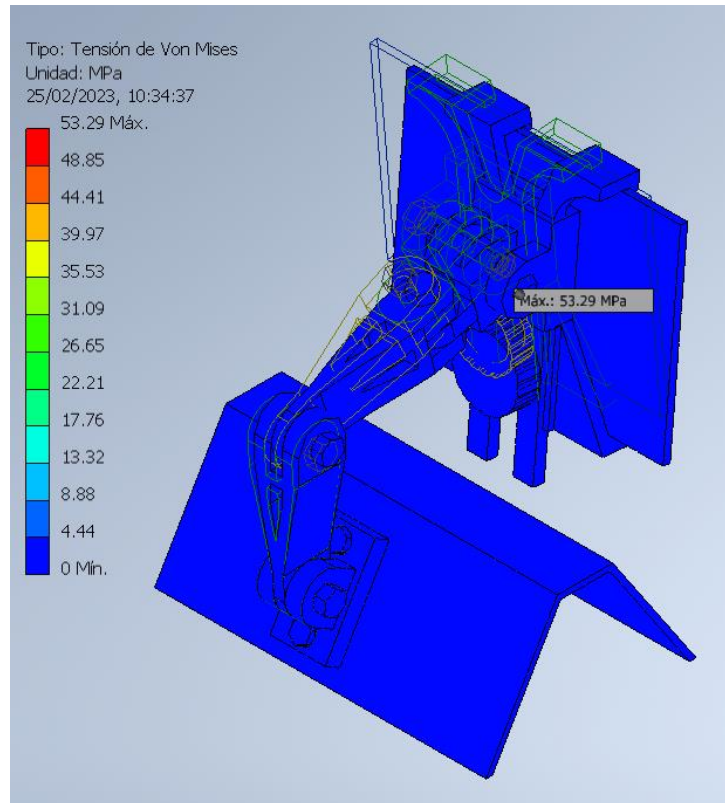


Figura 3-18 Tensión de Von Mises Análisis PLA [Autoría Propia]

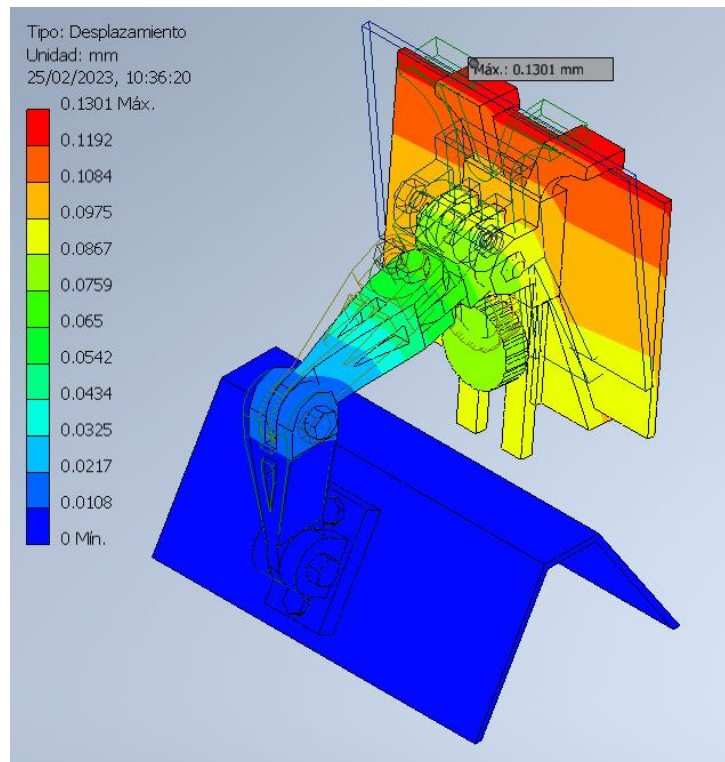


Figura 3-19 Desplazamientos Análisis PLA [Autoría Propia]

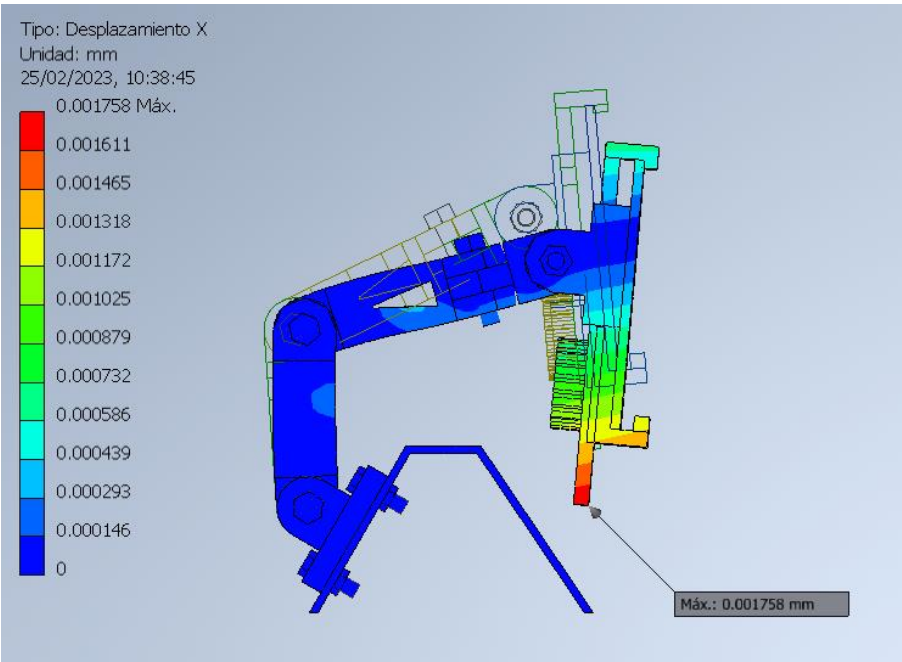


Figura 3-20 Desplazamientos eje X Análisis PLA [Autoría Propia]

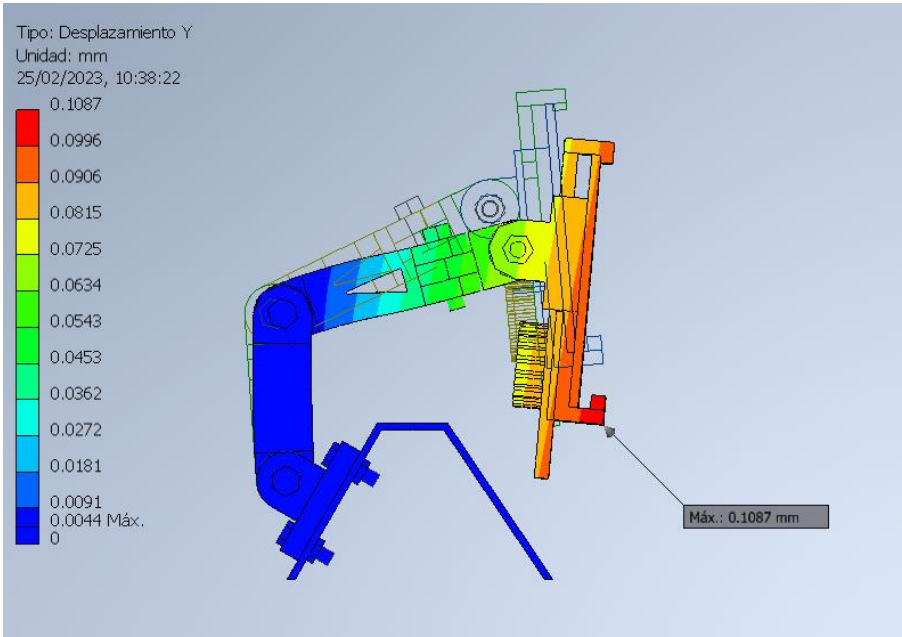


Figura 3-21 Desplazamientos eje Y Análisis PLA [Autoría Propia]

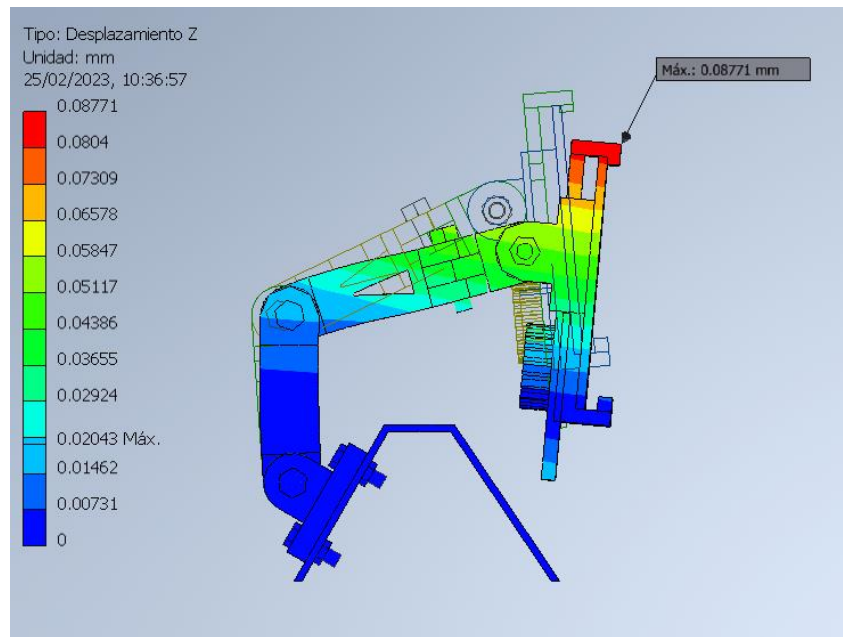


Figura 3-22 Desplazamientos eje Z Análisis PLA [Autoría Propia]

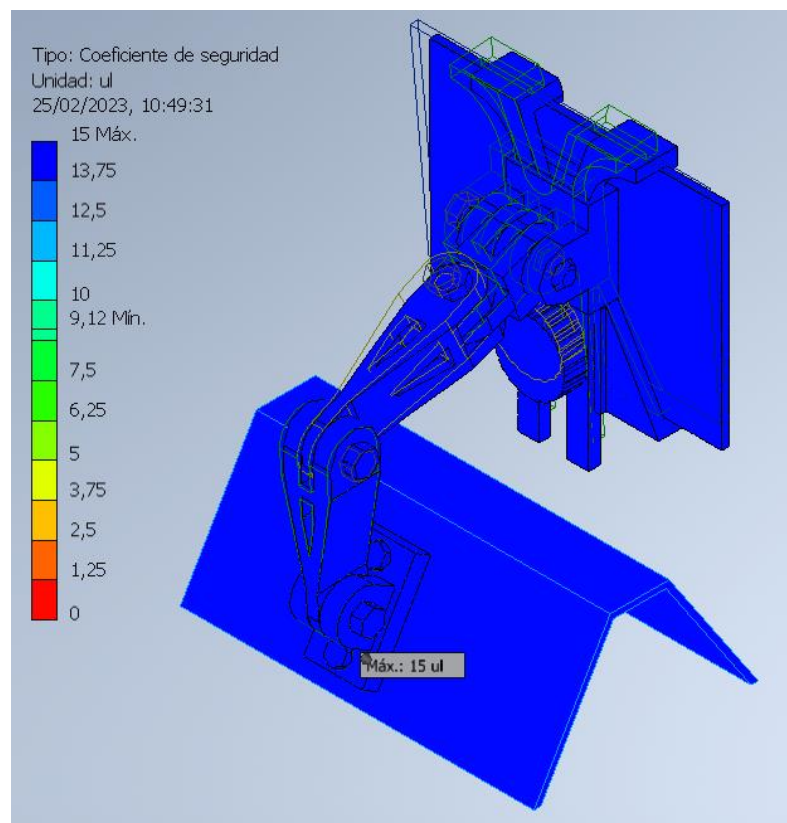


Figura 3-23 Coeficiente de seguridad Análisis PLA [Autoría Propia]

3.3.5.2 Análisis ABS

Este segundo estudio de tensiones se ha realizado utilizando ABS como material principal en las piezas. En la Tabla 3-23 se muestran los desplazamientos máximos en los ejes como consecuencia de la presión aplicada; se obtienen unos resultados similares al análisis con PLA donde el desplazamiento en el eje X es considerablemente menor que en el resto de ejes. En la Figura 3-24, se muestran los resultados de la tensión de Von Mises. A continuación, en la Figura 3-26, Figura 3-27 y Figura 3-28, se muestran

los resultados obtenidos para los desplazamientos en los diferentes ejes. Finalmente, en la Figura 3-29, se obtiene un coeficiente de seguridad mínimo de 7,94 que es menor que el obtenido para PLA, esto significa que las piezas fabricadas con este material fallarán antes que las fabricadas con PLA.

Dirección	Desplazamiento
Eje X	0,002046 mm
Eje Y	0,12410 mm
Eje Z	0,09630 mm

Tabla 3-23 Desplazamientos en Análisis ABS [Autoría Propia]

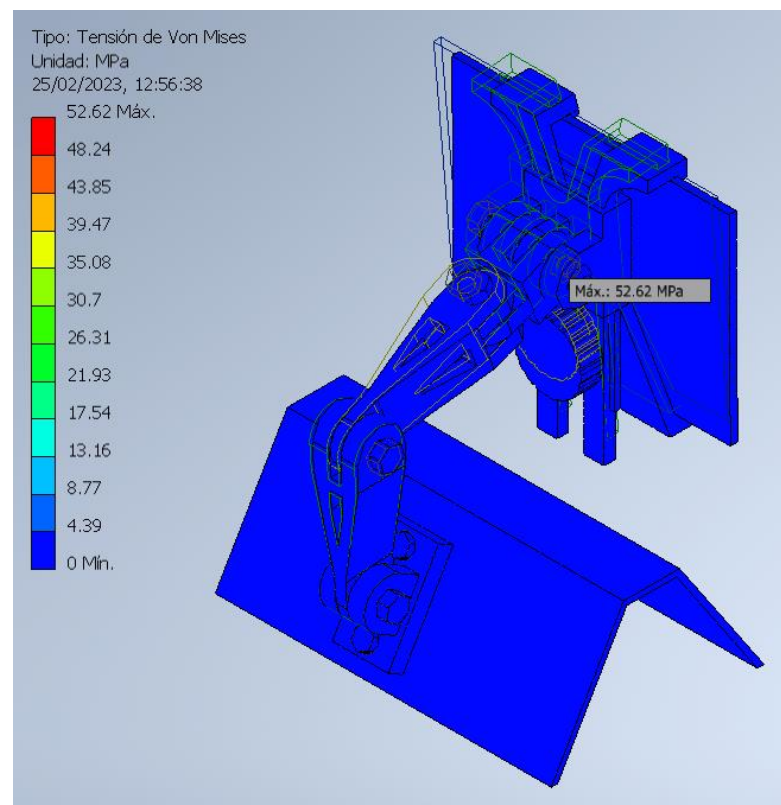


Figura 3-24 Tensión de Von Mises Análisis ABS [Autoría Propia]

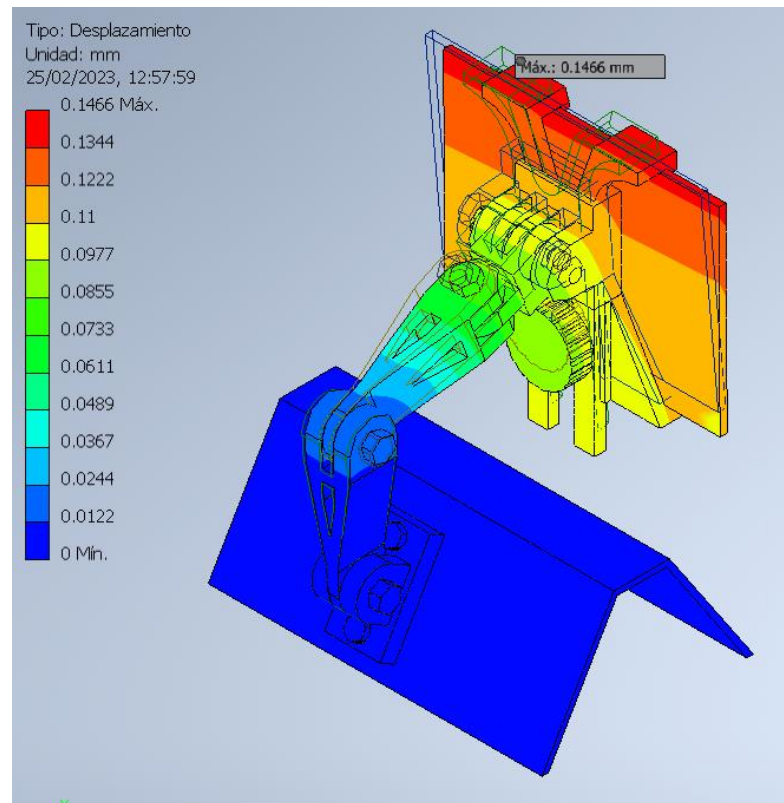


Figura 3-25 Desplazamientos Análisis ABS [Autoría Propia]

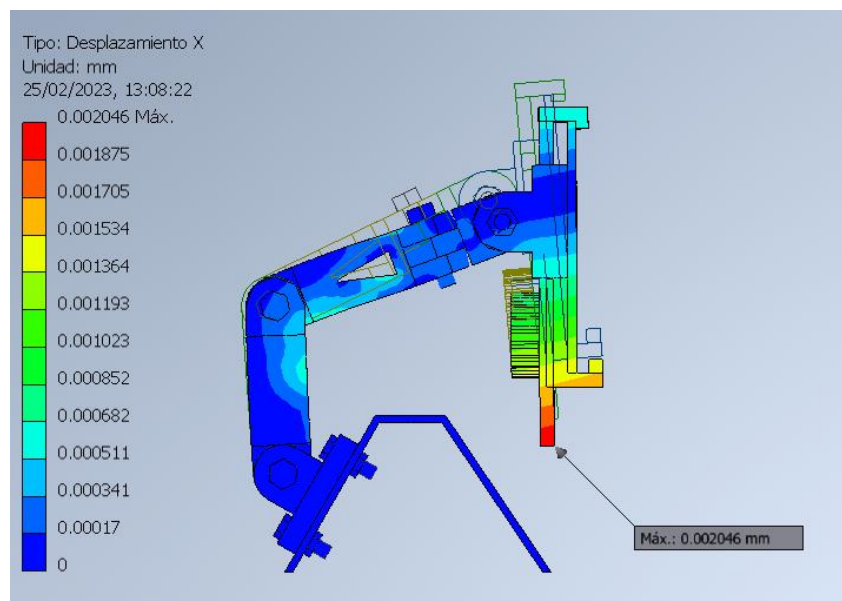


Figura 3-26 Desplazamiento eje X Análisis ABS [Autoría Propia]

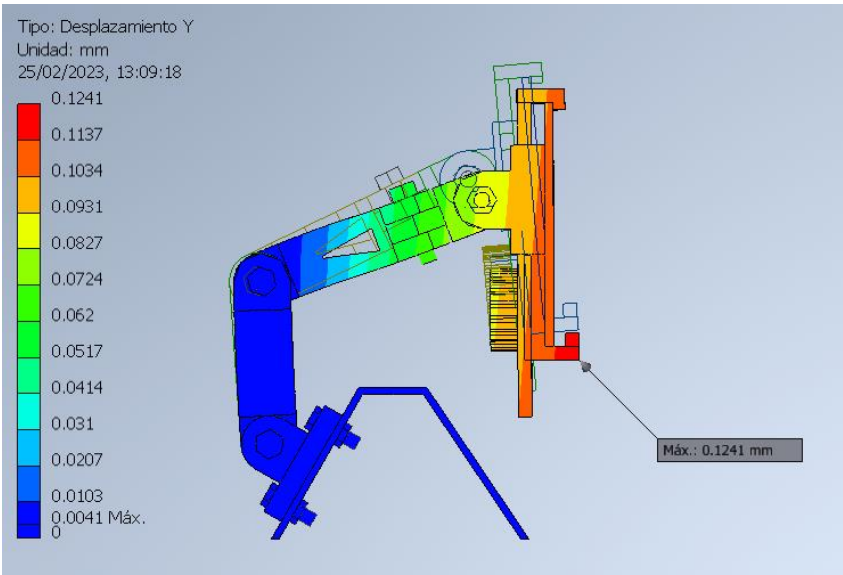


Figura 3-27 Desplazamiento eje Y Análisis ABS [Autoría Propia]

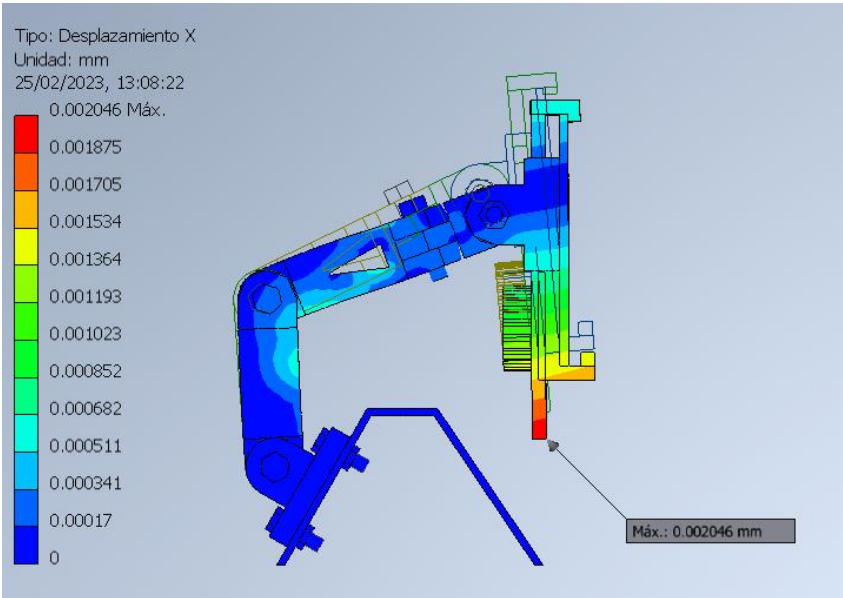


Figura 3-28 Desplazamiento eje Z Análisis ABS [Autoría Propia]

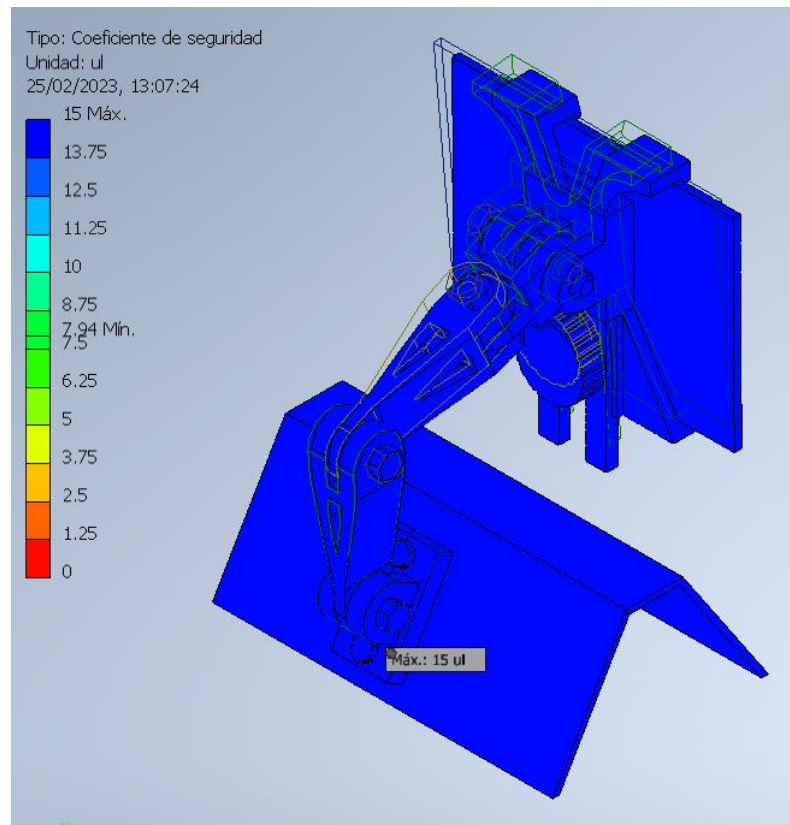


Figura 3-29 Coeficiente de seguridad Análisis ABS [Autoría Propia]

3.4 Estudio de fuerzas resultantes en una salida a la mar

En este apartado, se van a estudiar las fuerzas g que soportan las lanchas de instrucción durante una salida a la mar convencional debidas a los frecuentes golpes de mar y los golpes que da el barco al agua con el pantoque al cabecear. Para ello se va a utilizar un software, phyphox [77], que es capaz de utilizar los sensores internos de un dispositivo móvil y poder realizar experimentos. Este software, permite la recolección de la información y exportarla para poder manejar los datos de una forma más fácil.

Para este estudio, se utilizará el sensor de aceleración g que ofrece el software, este sensor obtiene datos a partir del acelerómetro del dispositivo. Para este estudio, se va a grabar los datos durante una salida en las lanchas de instrucción para poder obtener la mayor aceleración captada durante la salida y poder realizar un análisis de tensiones aplicando esta aceleración, mayor que los $9,81\text{m/s}^2$ utilizados en el apartado anterior.

Se ha realizado la obtención de datos durante cuarenta minutos de navegación, las condiciones meteorológicas han sido las propias de una salida lluviosa con olas de hasta 1,5m de altura. Se han obtenido un total de 269511 datos sobre aceleraciones de la gravedad. En la Figura 3-30 se muestra la relación entre las aceleraciones registradas y el tiempo transcurrido, descartando los valores anómalos al principio de la gráfica que se registraron durante la colocación del medidor, se obtienen valores máximos en torno a los 15m/s^2 que representan una fuerza de 1,5G. Estos valores se obtienen cuando el barco choca bruscamente contra las olas.

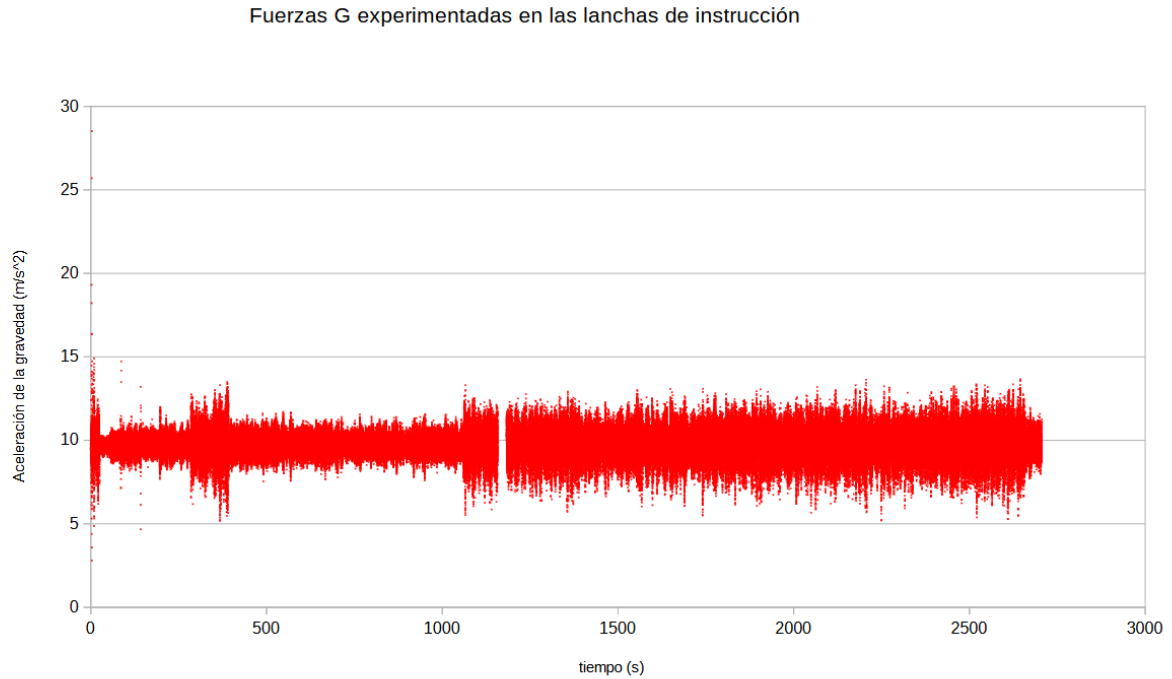


Figura 3-30 Aceleraciones experimentadas durante una salida en las lanchas de instrucción [Autoría Propia]

Para la realización del estudio de tensiones teniendo en cuenta estos valores máximos, se ha modificado la aceleración debido a la gravedad, actualizada a 15m/s^2 , en lugar de los $9,81\text{m/s}^2$ del estudio anterior. Se obtiene un valor para la fuerza F:

$$F = m \times g = 0,684 \text{ kg} \times 15 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 10,26 \text{ N} \quad (4)$$

Y una presión P:

$$P = \frac{F}{S} = \frac{10,26 \text{ N}}{17,9583 \text{ cm}^2} = 0,5713 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} = 0,005713 \text{ MPa} \quad (5)$$

Realizando el análisis equivalente al realizado en el apartado 3.3.5.1 se obtiene una tensión de Von Mises máxima de 59,84 MPa como se muestra en la Figura 3-31. Se obtiene un coeficiente de seguridad mínimo de 3,46 como se muestra en Figura 3-32 y un desplazamiento máximo en el eje Y de 0,1905mm como se muestra en Figura 3-33.

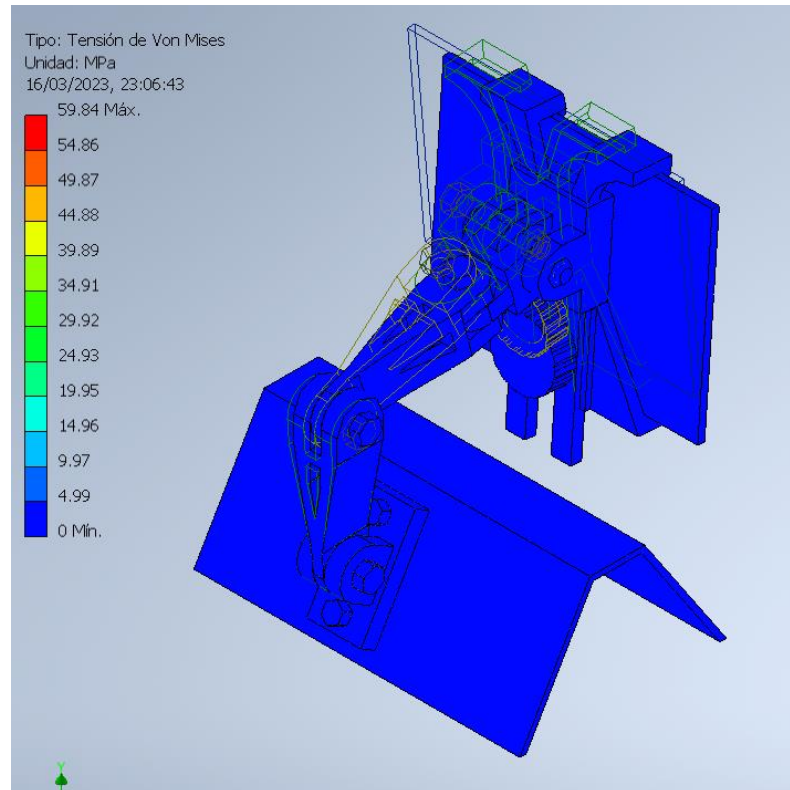


Figura 3-31 Tensión de Von Mises 1,5G [Autoría Propia]

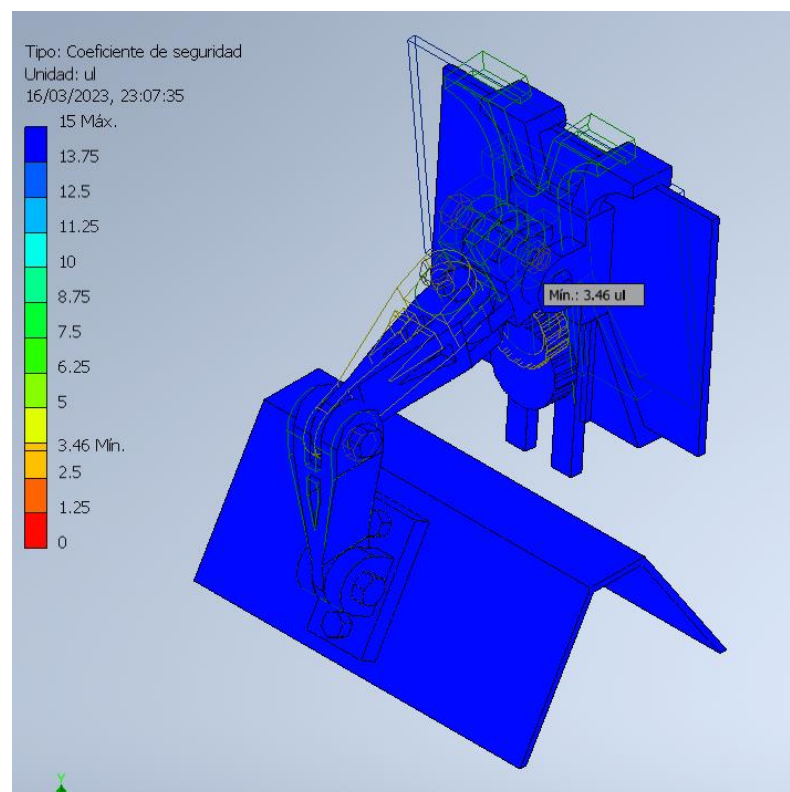


Figura 3-32 Coeficiente de seguridad 1,5G [Autoría Propia]

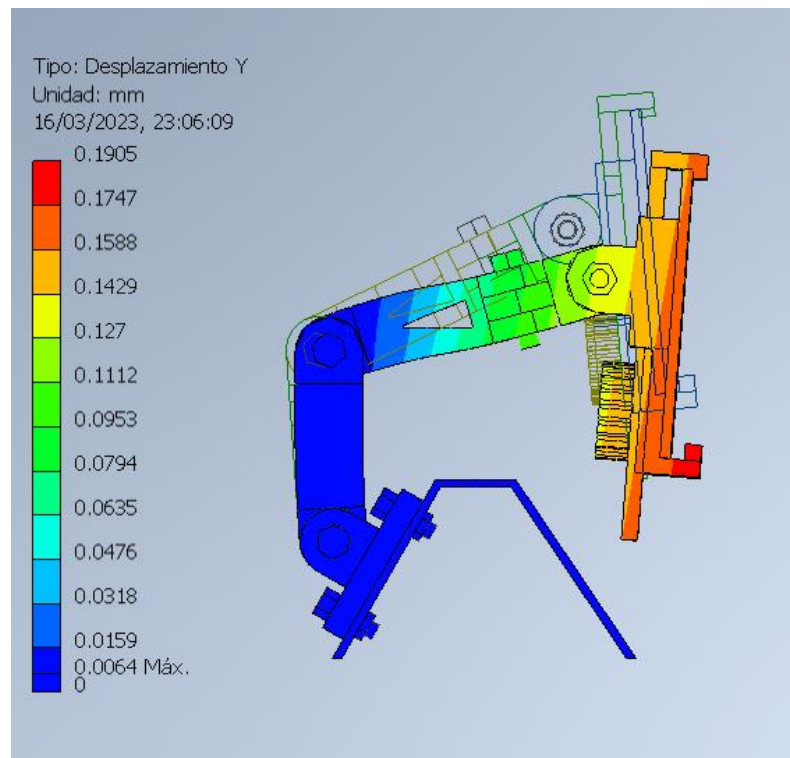


Figura 3-33 Desplazamiento eje Y 1,5G [Autoría Propia]

Este análisis muestra condiciones más desfavorables como se podía suponer debido a que se aplica una carga mayor al ensamblaje, que provoca tensiones mayores, una disminución esperada del coeficiente de seguridad y un aumento en los desplazamientos debido al aumento de la carga. Pese al aumento de la carga aplicada, el conjunto sigue operando de la forma esperada pudiendo aguantar cargas superiores, que se puedan deber a golpes más bruscos contra el agua por parte de las lanchas de instrucción.

3.5 Fabricación

3.5.1 Impresión de las piezas del dispositivo

La impresión de las piezas se realizará a partir de los archivos “.STL” y la utilización del programa Ultimaker Cura para finalmente imprimirlas mediante la impresora Ultimaker 3. La primera impresión de las piezas se realizará con material PLA debido al análisis realizado en el apartado 3.3, donde se obtiene para el PLA, un coeficiente de seguridad mayor. Además de que los desplazamientos por la carga son menores y cuenta con mejores propiedades de resistencia como se vió en el apartado 3.1.4. Por otro lado, el PLA es un material más barato y así se evita utilizar materiales más costosos en caso de error. Antes de la impresión definitiva de las piezas, se realizó una serie de impresiones preliminares para valorar la viabilidad de utilizar roscas y tornillería impresa en lugar de convencional. La impresión de las piezas finales se ha realizado en 6 etapas y el tiempo empleado se muestra graficado en la Figura 3-34.

Tiempo empleado en impresión 3D

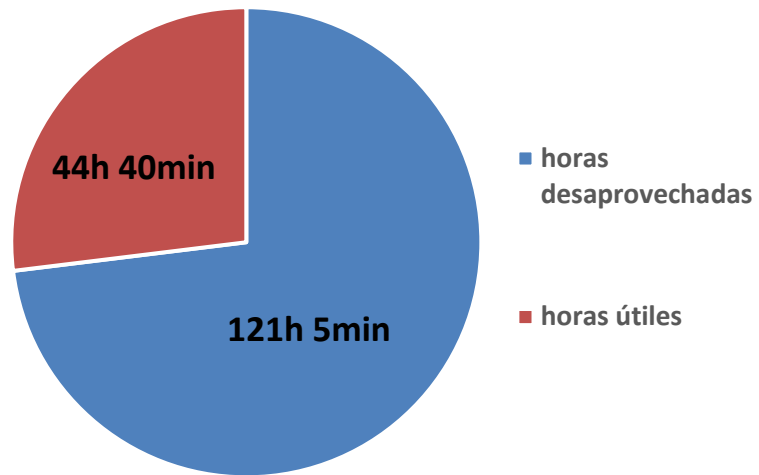


Figura 3-34 Gráfico de horas empleadas y horas útiles de impresión durante el proyecto [Autoría Propia]

A continuación, se describen de forma detallada las tres impresiones preliminares y las seis etapas de impresión que se han necesitado para imprimir el soporte.

3.5.1.1 Primera impresión Preliminar

En esta primera impresión se fabricaron 3 piezas como se puede observar en la Figura 3-35, utilizando PLA como material de soporte. La primera de ellas, consiste en una simplificación del Soporte Principal para comprobar la viabilidad de la rosca de métrica 42 y de dos agujeros roscados de métrica 10 y 12. La segunda pieza recrea el Tapón Roscado y la última pieza, es un cilindro roscado con dos tamaños para comprobar las roscas más pequeñas de la primera pieza.

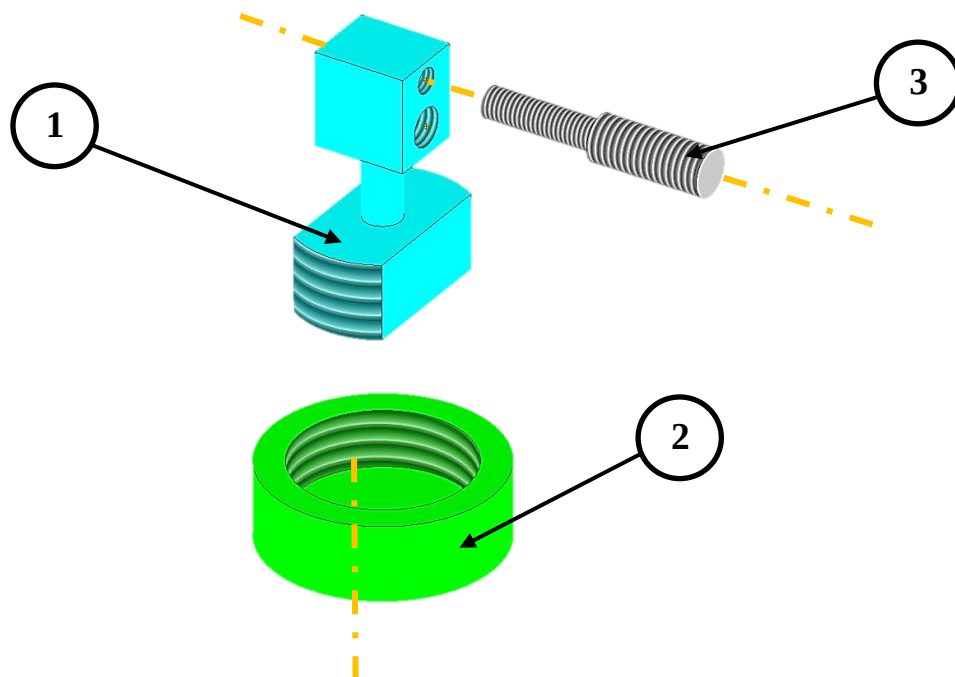


Figura 3-35 Piezas 1-3 Primera prueba de impresión [Autoría Propia]

El resultado de la primera prueba de impresión fue satisfactorio parcialmente debido a las lecciones aprendidas sobre dos aspectos en concreto. El primer aspecto trata sobre la impresión de roscas; se llega a la conclusión de que al trasladar las roscas directamente desde Autodesk Inventor a Ultimaker Cura, se observa la pérdida de las roscas y finalmente se imprime una superficie lisa como se observa en las supuestas superficies roscadas en Figura 3-36; esto es debido a que el programa no genera los filetes reales para evitar una ralentización del software, en cambio, genera una apariencia estética de la cara roscada como se observa en Figura 3-35 y que al exportar al software de impresión suprime las roscas.

Por otro lado, se comprueba la necesidad de crear superficies de apoyo de forma manual, ya que el programa Ultimaker Cura sólo genera superficies de apoyo automáticamente cuando la superficie parte directamente de la base de la impresora. Como se observa en la zona señalada en Figura 3-37, la superficie afectada muestra claras evidencias de necesitar soporte de impresión por ser un voladizo.

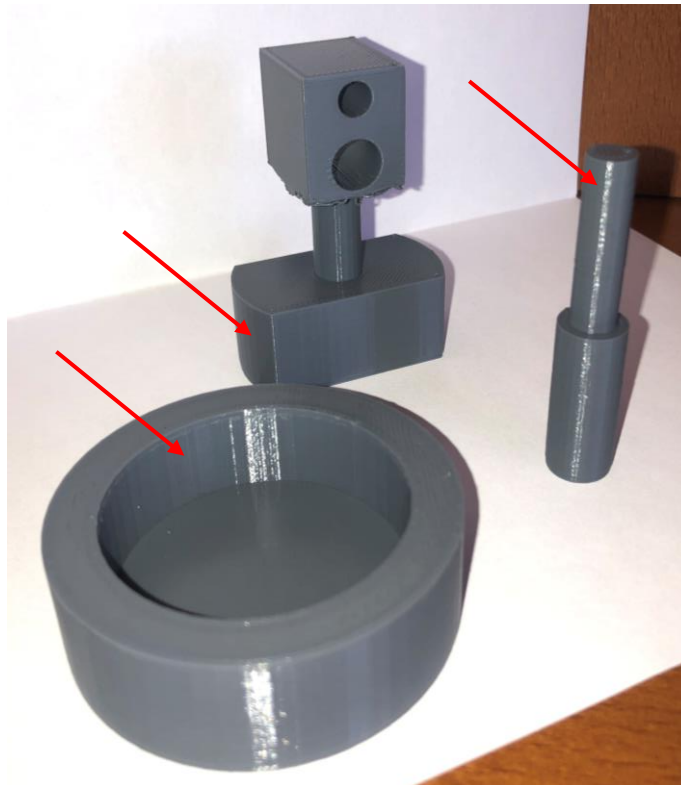


Figura 3-36 Error en superficies roscadas en primera prueba de impresión [Autoría Propia]



Figura 3-37 Error en soporte de impresión durante primera prueba de impresión [Autoría Propia]

3.5.1.2 Segunda Impresión Preliminar

En la segunda impresión previa al diseño se han solucionado los problemas encontrados en la primera. Para solucionar el roscado, se ha hecho uso de la aplicación Thread Modeler para poder imprimir las roscas. Por otro lado, se ha indagado en los parámetros de impresión de la aplicación Ultimaker Cura y se han situado soportes en todos los posibles voladizos para evitar errores en la impresión. El resultado muestra que se consigue imprimir los filetes de las roscas, pero a la hora de enroscar dos piezas se encuentra demasiada resistencia hasta que las piezas quedan totalmente bloqueadas. Este posible fallo se debe a la poca precisión que aporta el extrusor de la impresora; tras limar posibles asperezas se demuestra que la rosca consigue encajar mejor, pero sin llegar a enroscar completamente. En la Figura 3-38 se muestra los filetes impresos y, además, señalado con una flecha las posibles asperezas o errores de impresión a lo largo del filete de una de las roscas.

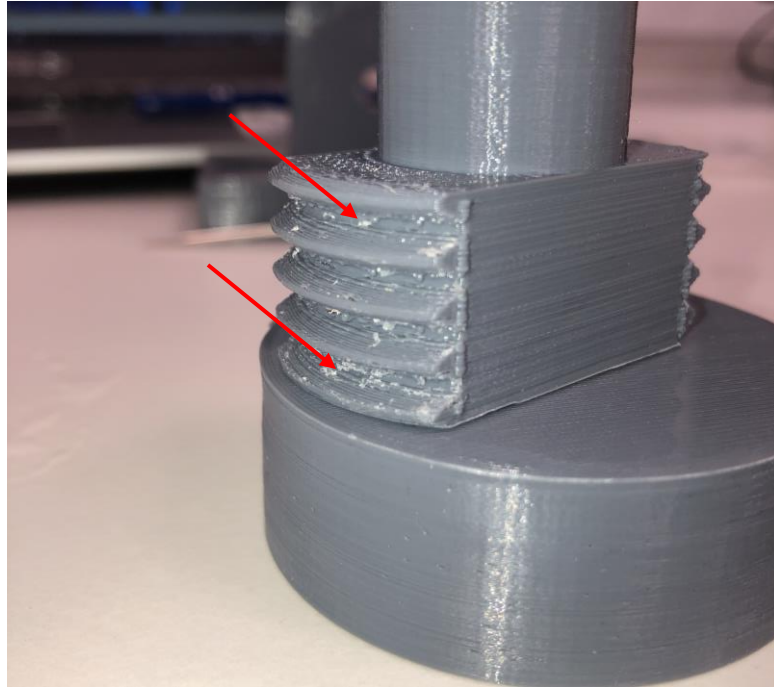


Figura 3-38 Impresión de filetes durante segunda prueba de impresión

3.5.1.3 Tercera Impresión Preliminar

Durante esta etapa, se han vuelto a imprimir las piezas de la etapa anterior pero esta vez, dentro de la configuración del Ultimaker Cura, se ha variado el espesor entre capas reduciéndolo a la mitad para obtener un valor de espesor de capa de 0,1mm. Gracias a este avance se han obtenido roscas de mayor calidad para evitar los errores de impresión mencionados en el apartado 3.5.1.2 como se muestra en Figura 3-39 pero se sigue apreciando resistencia elevada a la hora de encajar las roscas.



Figura 3-39 Rosca interior y exterior en tercera prueba de impresión [Autoría Propia]

3.5.1.4 Primera etapa de impresión

En esta etapa se han impreso 2 de 7 piezas restantes del conjunto; se han impreso la Base de Anclaje de Anclaje y la articulación Posterior. La impresión ha sido correcta y se observa que las piezas encajan a la perfección entre sí, no es necesario dejar holgura alguna entre ellas. En la Figura 3-40 y en la Figura 3-41 se muestra el resultado final de la impresión de estas piezas.

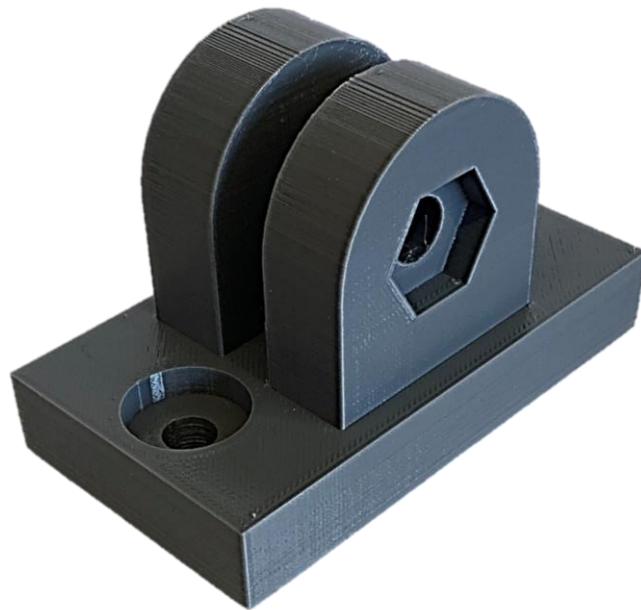


Figura 3-40 Base de Anclaje en PLA [Autoría Propia]



Figura 3-41 Articulación Posterior en PLA [Autoría Propia]

3.5.1.5 Segunda etapa de impresión

En esta segunda etapa de impresión se intentó imprimir 3 de 5 piezas restantes de conjunto, se han impreso la Articulación Anterior, el Adaptador auxiliar y el Soporte Principal. La impresión ha sido correcta en las dos primeras como se muestra en Figura 3-42 y Figura 3-43. En cambio, la impresión del

Soporte Principal ha sido fallida como se muestra en Figura 3-44 señalado con flechas; esto se debe a la obstrucción del cabezal de impresión dual debido a pequeñas partículas de arena o polvo depositadas en el cabezal que ha provocado una incorrecta deposición del material fundido.



Figura 3-42 Articulación Anterior en PLA [Autoría Propia]



Figura 3-43 Adaptador Auxiliar en PLA [Autoría Propia]

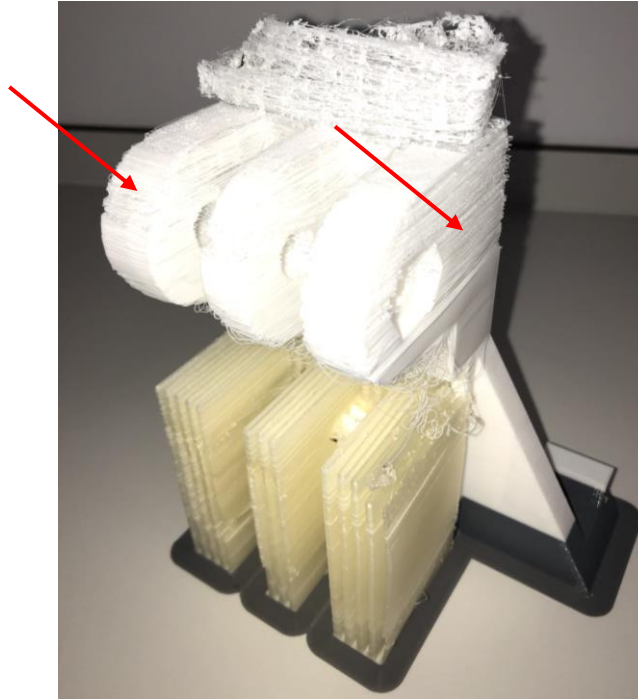


Figura 3-44 Fallo de impresión en Soporte Principal con PLA [Autoría Propia]

3.5.1.6 Tercera etapa de impresión

Durante esta tercera etapa se han impreso las dos últimas piezas del conjunto. Por un lado, se ha reutilizado el tapón roscado obtenido durante la tercera impresión preliminar. Durante esta etapa se ha impreso de nuevo el Soporte Principal, por detectar un fallo de impresión en la etapa anterior. Además, se ha impreso el Brazo de Sujeción, que ha resultado correctamente impreso como se muestra en Figura 3-45. Al comienzo de la impresión del Soporte Principal se detectó un error de impresión debido al arrastre de material Breakaway a lo largo de la plataforma de impresión creándose una bola de material depositado tal y como se muestra en Figura 3-46. La impresión del nuevo Soporte Principal resultó tener errores de impresión parecidos al primer intento, pero esta vez, a pesar de imprimir por completo la pieza, se observa inconsistencia y fragilidad en su estructura debido a una mala deposición del material donde se muestra con flechas en la Figura 3-47.



Figura 3-45 Brazo de Sujeción en PLA [Autoría Propia]

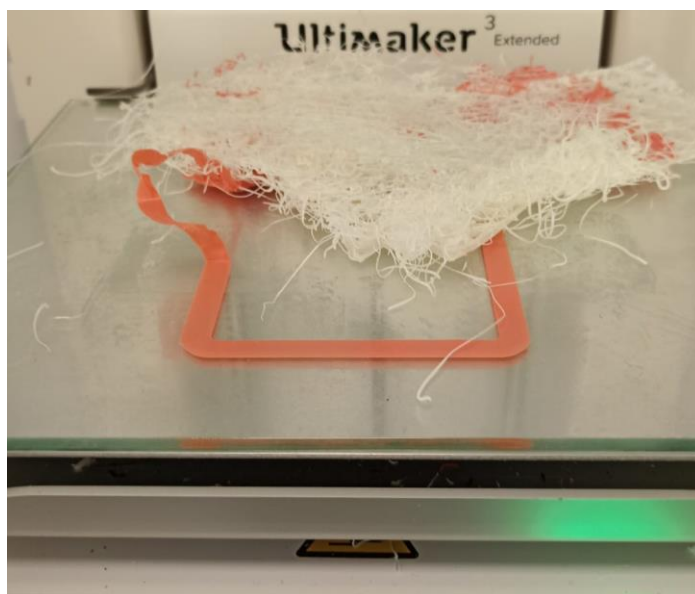


Figura 3-46 Error de impresión en deposición de Breakaway durante segunda impresión [Autoría Propia]

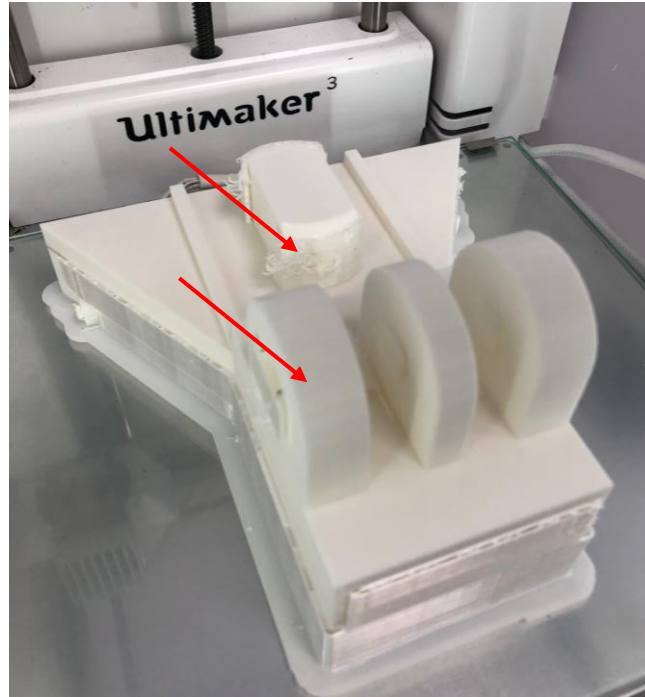


Figura 3-47 Error de impresión en Soporte Principal durante tercera impresión [Autoría Propia]

3.5.1.7 Cuarta etapa de impresión

Durante esta etapa se ha vuelto a imprimir el Soporte Principal que se imprimió de forma errónea como se ha visto en el apartado anterior. Además, se ha impreso en el mismo archivo un rediseño de la Base de Anclaje de Anclaje para cambiar el tamaño de los agujeros y eliminar unos huecos para facilitar el montaje de las tuercas. El resultado de esta etapa no ha sido el deseado debido a un error en el alimentador de PVA, que ha provocado un atasco de material y la imposibilidad de realizar la extrusión del material de soporte. Esto ha resultado en no imprimir correctamente los voladizos quedando todo el material acumulado en la placa de impresión como se puede ver en Figura 3-48.

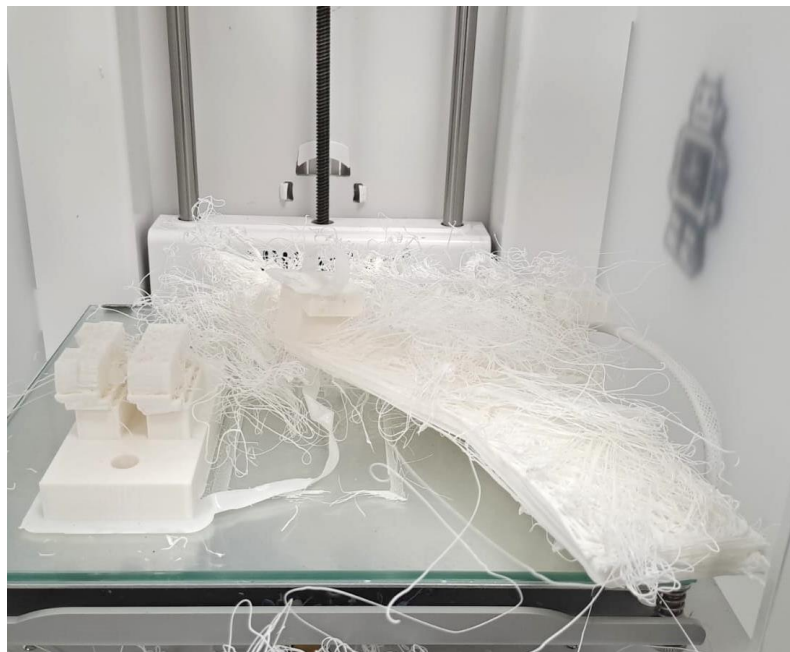


Figura 3-48 Error de impresión en alimentador por atasco de material durante cuarta impresión [Autoría Propia]

3.5.1.8 Quinta etapa de impresión

Durante esta quinta etapa se han impreso de nuevo el Soporte Principal afectado en el apartado anterior y el rediseño de la Base de Anclaje. Para ello se ha desmontado el alimentador y se ha extraído el filamento atascado de PVA como se puede observar en la Figura 3-49, el alimentado se encontraba lleno de PLA atascado en las zonas señaladas con flechas. El Soporte Principal, aunque se ha impreso completamente, no ha salido como lo esperado, debido a que se aprecian curvaturas que no son propias del diseño; esto se puede deber a una acumulación de material PLA sobre el material de soporte, que genera un momento, resultando en una pieza parcialmente combada como se muestra con una flecha en la Figura 3-50. Por otro lado, se ha impreso la Base de Anclaje, pero un error de impresión parecido al sucedido en el apartado 3.5.1.6 ha provocado que, al unir las piezas con la tuerca, termine fracturándose por las zonas más débiles como se muestra con una flecha en la Figura 3-51.

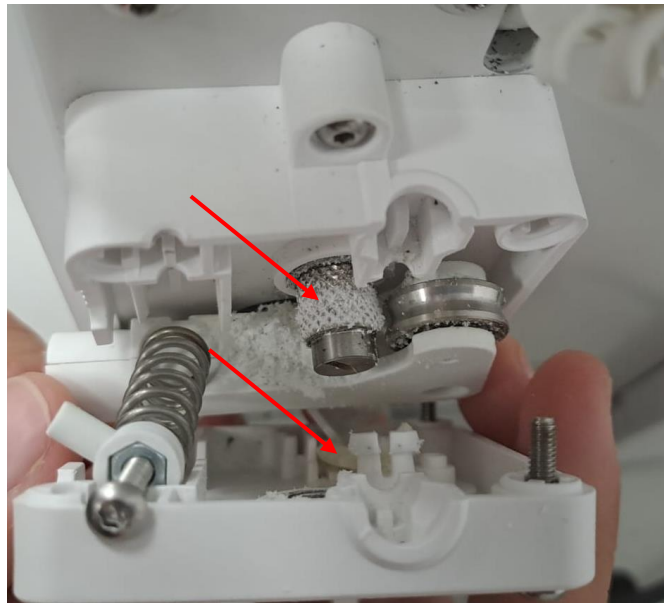


Figura 3-49 Alimentador desmontado y atascado con filamento PLA [Autoría Propia]

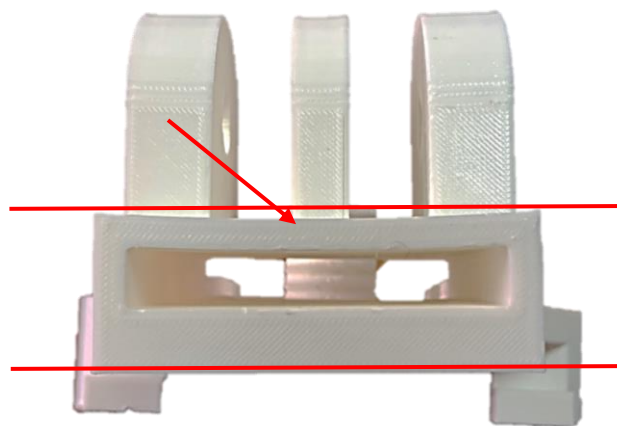


Figura 3-50 Soporte Principal Deformado [Autoría Propia]

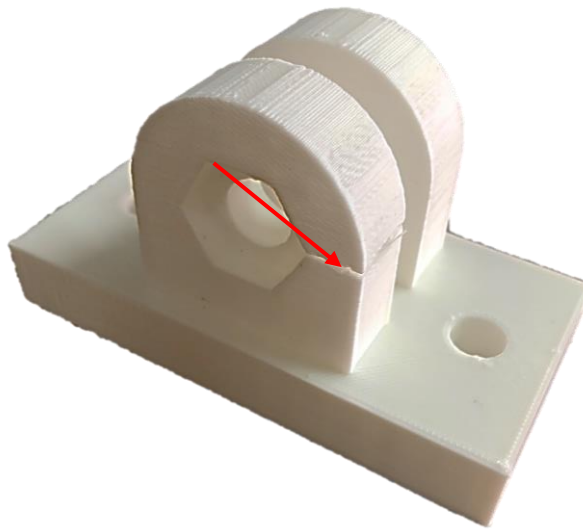


Figura 3-51 Fractura de material por error de impresión en Base de Anclaje (1) [Autoría Propia]

3.5.1.9 Sexta etapa de impresión

Durante esta etapa se ha vuelto a imprimir el Soporte Principal y la Base de Anclaje. Por un lado, se siguen obteniendo errores parecidos a los del apartado 3.5.1.5 como se muestra en la Figura 3-52. Respecto al Soporte Principal, la pieza ha colapsado en diferentes partes tras introducirla en agua demasiado caliente para eliminar el soporte de PVA como se observa en Figura 3-53 señalado con flechas. Finalmente se han impreso de forma satisfactoria el Soporte Principal dividido en dos partes y se han unido mediante tornillería de métrica 5 como se puede ver en la Figura 3-60.

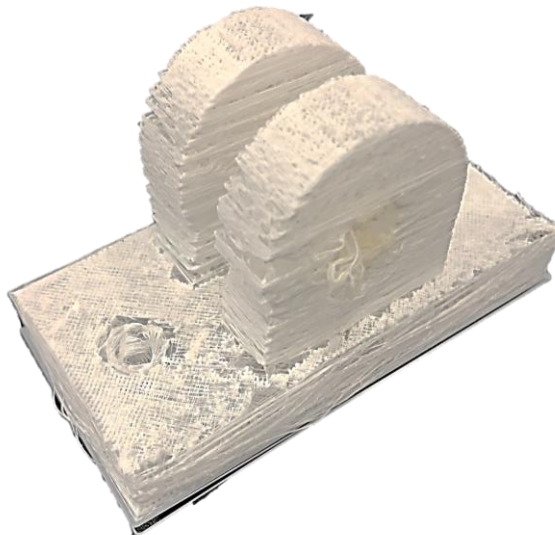


Figura 3-52 Error de impresión en deposición de PLA en Base de Anclaje [Autoría Propia]

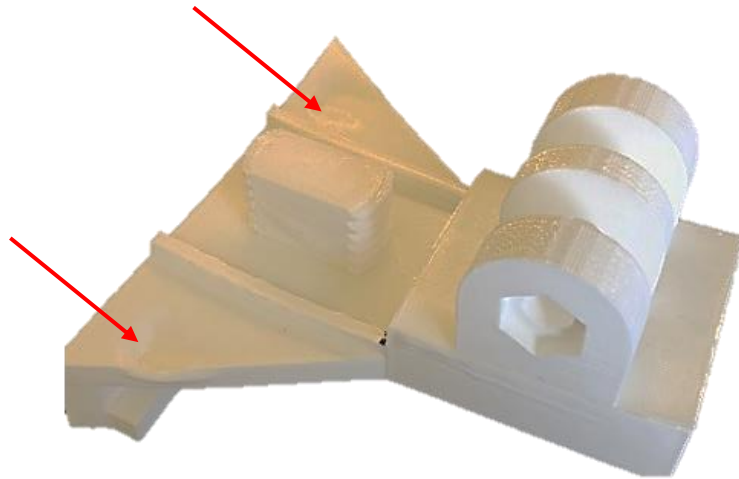


Figura 3-53 Deformación en PLA por agua caliente [Autoría Propia]

3.5.2 Montaje de las piezas

El montaje de las piezas se debe de realizar utilizando la tornillería mencionada en el apartado 3.2.2. Comenzando por la superficie de instalación, se debe anclar el Soporte de Anclaje a la superficie con dos tuercas de métrica 10. La Base de Anclaje se une a la articulación mediante una tuerca de métrica 12 como se muestra en la Figura 3-54, al igual que la unión entre las articulaciones, Figura 3-55.

La articulación anterior se une con el Adaptador Auxiliar mediante una tuerca de métrica 12 como se muestra en la Figura 3-56, al igual que la unión con la parte superior del Soporte Principal mostrado en la Figura 3-57.



Figura 3-54 Montaje de la Base de Anclaje y la Articulación Posterior [Autoría Propia]



Figura 3-55 Montaje de las Articulaciones [Autoría Propia]



Figura 3-56 Montaje de la Articulación Anterior y el Adaptador Auxiliar [Autoría Propia]

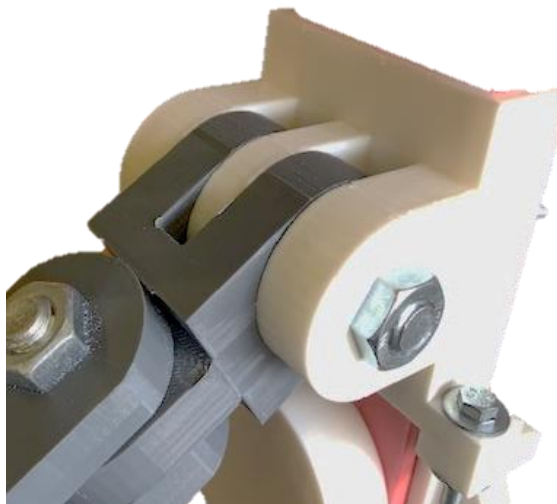


Figura 3-57 Montaje del Adaptador Auxiliar y el Soporte Principal [Autoría Propia]

La unión entre el Brazo de Sujeción y el Soporte principal se realiza directamente introduciéndolo por la abertura superior del mismo quedando como se muestra en la Figura 3-58. Además, esta unión queda fija gracias al Tapón Roscado que se sitúa en la parte roscada detrás del Soporte Principal como se muestra en la Figura 3-59.

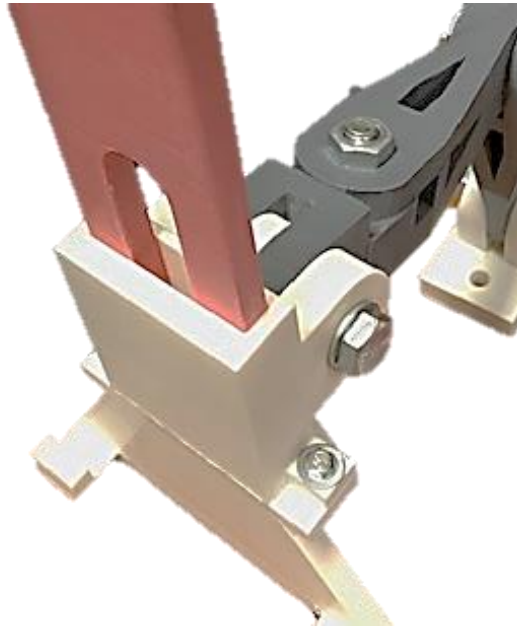


Figura 3-58 Montaje del Brazo de Sujeción y el Soporte Principal [Autoría Propia]



Figura 3-59 Montaje del Tapón Roscado [Autoría Propia]

A continuación, la Figura 3-60 muestra el montaje por completo a falta de realizar las uniones pertinentes de la Base de Anclaje con la superficie de instalación utilizando las tuercas mencionadas anteriormente para dicha unión.

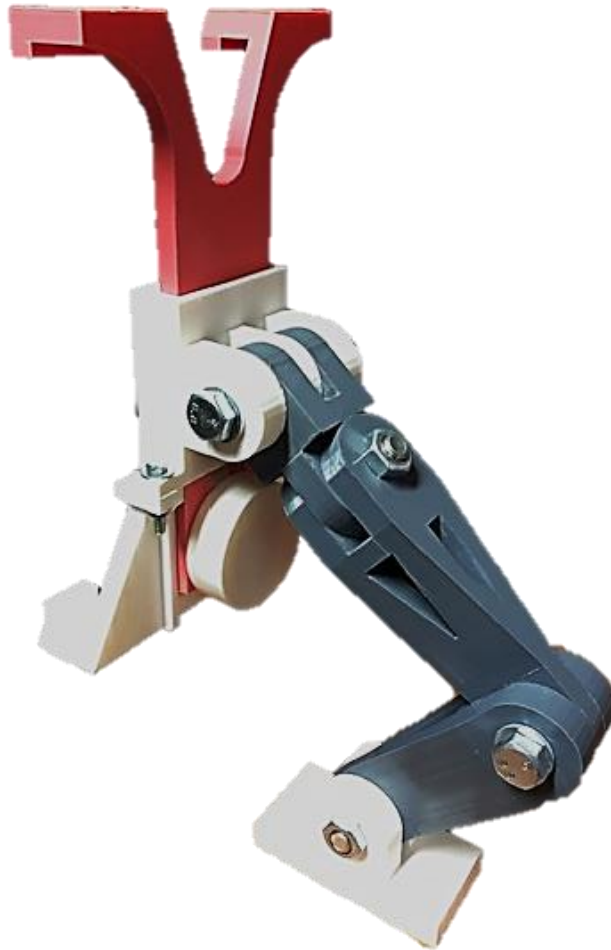


Figura 3-60 Montaje final del soporte [Autoría Propia]

4 RESULTADOS Y VALIDACIÓN

4.1 Errores de impresión

En el siguiente apartado se describen los errores sufridos durante la impresión de las piezas. Estos errores suelen ser comunes y pueden tener una solución más sencilla o complicada dependiendo del caso. Además, provocan pérdidas de material, tiempo y dinero.

4.1.1 Carencia de elementos de soporte

Los elementos de soporte son estructuras que se imprimen a la par que la pieza, pero no forman parte de la pieza original. Se utilizan para soportar los voladizos, es decir, aquellas partes que sobresalen y exceden de una cierta inclinación. Al acabar la impresión, este material de soporte es retirado. La ausencia de uso de soportes en piezas con voladizos que superen la inclinación a la que el material depositado pierde agarre, puede propiciar curvaturas indeseadas o en el peor de los casos la pérdida de esa parte de la pieza. Se puede observar un ejemplo claro, señalado con flechas, en la Figura 4-1, de haber configurado mal los parámetros de impresión y haber suprimido el uso de soportes.

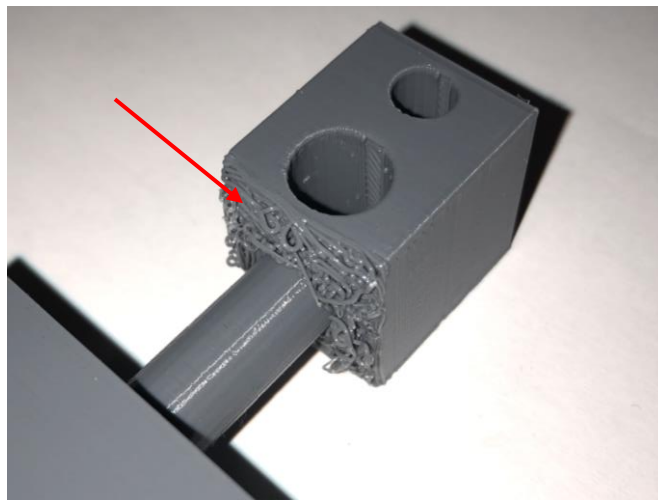


Figura 4-1 Error en impresión de soporte durante primera prueba de impresión [Autoría Propia]

4.1.2 Calibración inadecuada en placa de impresión

La placa de impresión es el elemento donde los cabezales depositan el material fundido, pero si la placa se encuentra mal calibrada, es decir, no se encuentra correctamente nivelada, se pueden dar dos problemas. El primer problema se da cuando la placa se encuentra ligeramente por encima de la posición correcta (donde el ordenador interpreta que debería de estar la placa). En este caso el extremo del cabezal se encuentra más próximo a la placa y, por consiguiente, arrastra el material aún sin solidificar, como se puede observar en la Figura 4-2 en la zona señalada con una flecha.

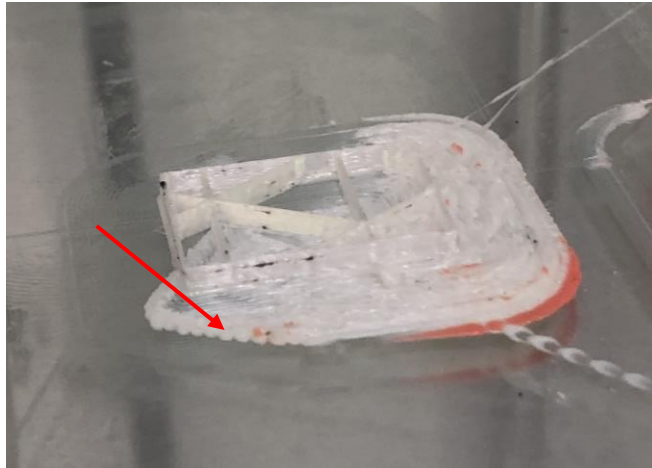


Figura 4-2 Error de impresión por mala calibración de placa (1) [Autoría Propia]

El segundo problema que se puede dar es el complementario, es decir, que la placa se encuentre mal calibrada y se encuentre por debajo de su posición correcta. En este caso el extremo del cabezal se encuentra a una distancia mayor a la supuesta por el ordenador y el material fundido no se deposita en su posición adecuada. Esto provoca que el material no se deposite de forma homogénea como se puede observar en la Figura 4-3 señalado con una flecha.

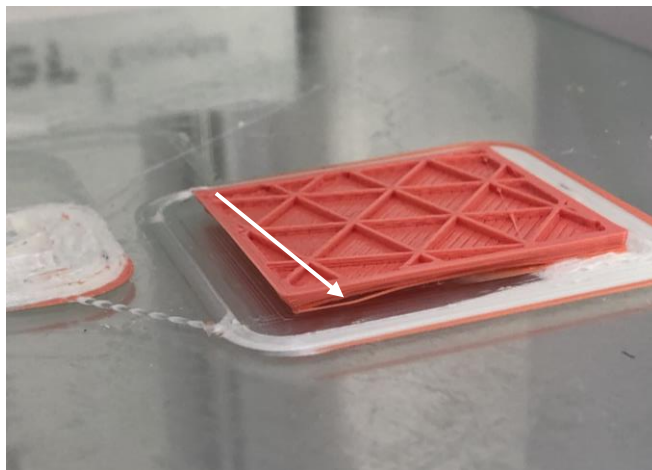


Figura 4-3 Error de impresión por mala calibración de placa (2) [Autoría Propia]

4.1.3 Obstrucción en cabezal de impresión

El cabezal de las impresoras es el encargado de calentar y depositar el material fundido para crear la pieza. El material fundido pasa a través de este y, en algunos casos, puede quedar obstruido por pequeñas impurezas. Si el filamento no fluye o no es uniforme es un signo de taponamiento. La Figura 4-5 muestra un ejemplo de obstrucción del cabezal de impresión, donde se aprecian las capas depositadas de forma incorrecta en todo el contorno de la pieza. Este error de impresión puede pasar desapercibido en sus primeras capas impresas, pero afecta de forma considerable a la resistencia de la pieza como observamos en la Figura 4-5.

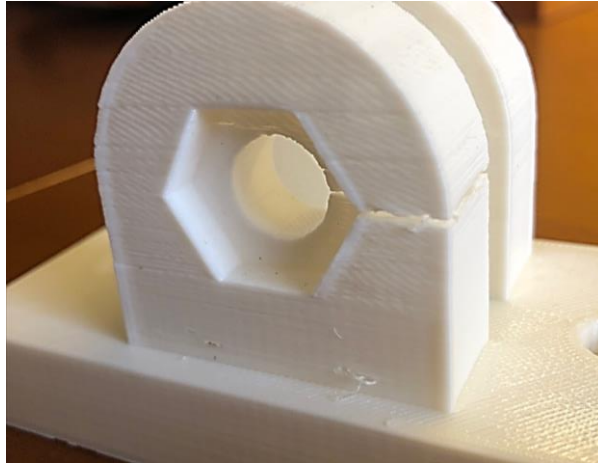


Figura 4-4 Fractura de material por error de impresión en Base de Anclaje (2) [Autoría Propia]

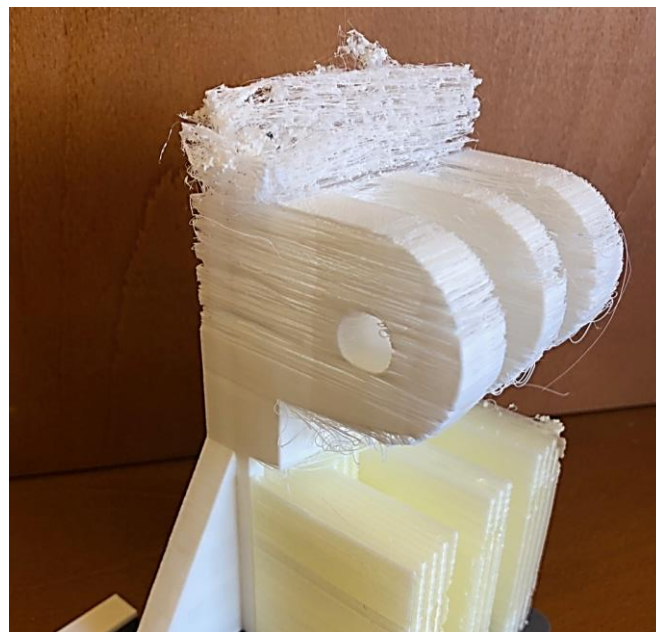


Figura 4-5 Error de impresión por obstrucción de cabezal de impresión en Soporte Principal [Autoría Propia]

4.1.4 Obstrucción en los alimentadores

Los alimentadores de la impresora 3D son un conjunto de piezas móviles situadas en una pequeña caja en la parte posterior de la impresora como se vio en el apartado 3.1.2. Estas piezas arrastran el material hacia los cabezales gracias a un motor. Una obstrucción de material puede impedir este movimiento de arrastre de material y provocar que no salga material por los cabezales de impresión. Como se vio durante la quinta etapa de impresión en la Figura 3-49, el material queda dentro del alimentador.

4.2 Coste de fabricación

A continuación, en la Tabla 4-1 se mencionan los costes asociados a todas las piezas impresas, incluyendo el coste de las impresiones preliminares. En color verde se encuentran las piezas finales utilizadas en el ensamblaje, y en color rojo las que se han tenido que desechar. Para ello se ha tenido en cuenta cada una de las piezas impresas y el coste asociado a la cantidad de filamento utilizado. Además, en la Tabla 4-2 se detallan los costes asociados a la tornillería utilizada para la unión de las piezas. Durante el presente análisis de costes no se ha tenido en cuenta el coste asociado al consumo eléctrico por parte de las impresoras, ni los costes asociados a la propia impresora y al software utilizado por

disponer previamente de ellos. Atendiendo al coste de 22,45€ de las bobinas de PLA que se disponen en el laboratorio, se obtiene el siguiente coste:

$$\text{Coste por gramo PLA} = \frac{22,45 \text{ €}}{750g} = 0,03\text{€/g} \quad (6)$$

Pieza	Peso	Cantidad	Tiempo	Coste
Primera Impresión Preliminar	52g	6,56m	6h 28min	1,56€
Segunda Impresión Preliminar	44g	5,51m	6h 30min	1,32€
Tercera Impresión Preliminar	43g	5,38m	10h 14min	1,29€
Tapón Roscado ¹	27g	3,38m	3h 12min	
Primera Etapa De Impresión			15h 28min	
Base De Anclaje	52g	6,54m	-	1,65€
Articulación Posterior	65g	8,27m	-	1,95€
Segunda Etapa de Impresión			34h 12min	
Articulación Anterior	72g	9,08m	-	2,16€
Adaptador Auxiliar	49g	6,18m	-	1,47€
Soporte principal ²	209g	26,53m	-	6,27€
Tercera Etapa de Impresión				
Brazo de Sujeción	86g	10,9m	7h 5min	2,58€
Soporte Principal ³	261g	33,21m	1d 19h 46min	7,83€
Cuarta Etapa de Impresión			1d 6h 20min	
Soporte Principal ⁴	274g	34,8m	-	8,22€
Base de Anclaje	55g	6,83m	-	1,64€
Quinta etapa de impresión				
Soporte Principal	213g	27,02m	18h 33min	6,39€
Base de Anclaje	54g	6,9m	3h 49min	1,62€

¹ El coste de fabricación del Tapón Roscado es de 0,84€.

² El soporte Principal dio error durante la primera es etapa de impresión consumiendo el material mencionado.

³ La segunda impresión del Soporte Principal manifestaba errores en la impresión del PLA.

⁴No se ha podido imprimir las piezas de esta etapa por obstrucción en los alimentadores de la impresora.

Pieza	Peso	Cantidad	Tiempo	Coste
Sexta etapa de impresión⁵				
Soporte Principal	276g	35,1m	1d 2h 42min	8,28€
Base de Anclaje	54g	6,9m	3h 49min	1,62€
Soporte Principal (1)	88g	11,06m	7h 34min	2,64€
Soporte Principal (2)	98g	12,4m	7h 49min	2,94€
TOTAL	2045g	259,17m	165h 45min	61,43€

Tabla 4-1 Costes totales de fabricación de las piezas [Autoría Propia]

Tornillería	Precio
M12 x 80 mm	0,55€
M12 x 55 mm	0,55€
2 x M12 x 50 mm	2 x 0,55€
2 x M10 x 50 mm	2 x 0,49€
2 x M5 x 30mm	1€

Tabla 4-2 Costes unitarios de tornillería [Autoría Propia]

Atendiendo únicamente al coste necesario para la fabricación e implementación completa de un soporte, se obtiene a partir de la Tabla 4-1, atendiendo a las partes seleccionadas en color verde, y a la Tabla 4-2, sobre tornillería, un coste total de 20,35€ por soporte como se muestra desglosado en la Tabla 4-3.

Apartado	Cantidad de material	Tiempo de impresión	Precio
Impresión	539g	44h 40min	16,17€
Tornillería			4,18€
TOTAL	539g	44h 40 min	20,35€

Tabla 4-3 Implementación de un soporte completo [Tabla 4-1 y Tabla 4-2]

4.3 Implementación

La implementación de las piezas en las lanchas de instrucción resulta satisfactoria, el soporte libra la superficie de instalación y se sitúa de forma adecuada próximo al alumno. Se ha simulado la instalación, debido a que la autorización para taladrar la superficie no depende del centro universitario, sino de la Sección de Adiestramiento a Flote de la Escuela Naval Militar. Para ello, se ha fabricado un

⁵ Durante esta etapa se deformó el Soporte Principal al introducirlo en agua caliente.

soporte de madera, al que se ha anclado el soporte de igual forma que se uniría a la lancha mediante las tuercas de métrica 10. A continuación, en la Figura 4-6, Figura 4-7 y Figura 4-8 se muestra el resultado final de la implementación en las lanchas de Instrucción.



Figura 4-6 POV de alumno en las Lanchas de Instrucción [Autoría Propia]



Figura 4-7 Posición final del Soporte en las Lanchas de Instrucción (Lateral Izquierdo) [Autoría Propia]



Figura 4-8 Posición final del Soporte en las Lanchas de Instrucción (Lateral Derecho) [Autoría Propia]

5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

Para finalizar este Trabajo de Fin de Grado se va a realizar un análisis sobre el alcance de los objetivos que se marcaron en un inicio, y además un estudio de los problemas que se han encontrado a lo largo de la realización del proyecto.

5.1 Objetivos y problemas encontrados

Respecto a los objetivos marcados, se han alcanzado de forma satisfactoria debido a que se ha conseguido diseñar y fabricar el soporte. El material utilizado ha sido PLA debido a que se realizaron las simulaciones para distintos materiales teniendo en cuenta el estudio realizado a bordo de las lanchas de instrucción, obteniendo que, aunque no rompe para los tres casos, se ha seleccionado el que proporciona mayor coeficiente de seguridad.

Respecto a los problemas encontrados, la mayoría de los problemas han ocurrido durante la fase de fabricación, debido al uso de la tecnología 3D. La impresión de piezas es un proceso muy largo y la correcta impresión de las partes no depende del usuario, sino de la propia máquina.

Los fallos de impresión debidos al factor humano como son la ausencia de soporte, o la mala calibración de las placas se solventaron correctamente una vez detectados; pero los fallos producidos por la impresora fueron la clave de la demora en el tiempo del proyecto. Los principales fallos encontrados fueron la obstrucción del cabezal que se cree debida a la mala combinación entre PVA, un material afectado por la humedad, y el clima en la región donde se realizó la impresión, Galicia. Esta región es conocida por tener un clima muy húmedo que, unido a las frecuentes lluvias y a la proximidad al mar, genera un ambiente cargado de humedad.

Otro fallo detectado en la impresora se acentúa en las piezas grandes y demoradas en el tiempo y que, en algún momento, la impresora deja de depositar material por causas desconocidas, lo cual invalidan la pieza entera y obliga a volver a imprimirla como ha pasado repetidas veces durante la elaboración del soporte. Para abordar dicho problema se rediseñaron y subdividieron las piezas más grandes para reducir los tiempos de impresión.

Atendiendo al montaje de las piezas, se ha tenido que limar diferentes piezas para conseguir que encajen, esto es debido a que, a pesar de un diseño correcto, las piezas impresas presentan ligeras deformidades debidas a la impresión que provocan un mal ajuste entre las partes. Una vez limadas, las piezas se ajustan a la perfección al diseño y permiten el correcto desempeño del soporte.

Como conclusión final, se proporciona un soporte con un coste por piezas de 20,35€, con la posibilidad de poder sustituir al instante piezas dañadas sin la necesidad de remplazar el soporte completo. El tiempo necesario de impresión del soporte completo es de 44h 40min y es necesario 539g de material plástico.

5.2 Líneas Futuras

Este proyecto puede ser el primer paso para la implementación de un soporte adecuado para los alumnos en las lanchas de instrucción. Los siguientes subapartados muestran las líneas futuras por la que se puede continuar este proyecto, a vistas de mejorar la calidad de los alumnos en sus embarques en las lanchas de instrucción de la Escuela Naval Militar.

5.2.1 Diseño del Soporte

Este proyecto consta de un diseño principal sobre el que establecer una base para futuros soportes, debido a la demora en el tiempo de la impresión de las piezas, no se pueden fabricar más soportes que correctamente diseñados pueden aportar las mismas características, pero utilizando menos material. Para el presente trabajo se han utilizado 539g de material plástico que, reduciendo grosores, eliminando

material en zonas donde no se muestran grandes esfuerzos de tensión y realizando futuros análisis de tensiones, se pueden ver reducidos en gran medida reduciendo las horas de impresión. Además, el diseño tiene algunas restricciones de movimiento, una posible línea futura podría ser una ampliación en la sujeción horizontal, y ampliar el margen para poder sujetar dispositivos con carcasas.

5.2.2 Implementación del soporte

Este soporte está diseñado para dispositivos móviles utilizados por los alumnos, pero específicamente se ha diseñado para colocarse en el puente de gobierno. El diseño de distintas bases de sujeción puede permitir a los alumnos utilizar los dispositivos móviles en diferentes sitios, como puede ser en la cubierta superior de las lanchas de instrucción, donde el alumno dispone de un espacio mucho más reducido.

Por otro lado, se puede elaborar una rama de investigación para la implementación de un sistema de amortiguación ya que el soporte se encuentra continuamente sometido a las vibraciones propias de la maquinaria de la lancha. Un ejemplo de sistema de amortiguación lo encontramos en cualquiera de los buques de la Armada, en concreto en cualquier elemento que se encuentre anclado al casco del buque para así evitar las vibraciones del casco que puedan ser perjudiciales para los equipos.

5.3 Conclusiones Personales

Desde el primer momento, incluso antes de la proposición del presente trabajo, me pregunté por qué no se implementaba un soporte como el diseñado ya que era una clara deficiencia para los alumnos durante las salidas; El continuo movimiento del barco y los golpes de mar agitaban los dispositivos hasta que finalmente se caían o acababan en el suelo.

La solución a este problema, aunque sencilla a mi modo de ver, nunca se materializó debido a la indiferencia ante un problema obvio pero que, como afectaba únicamente a los alumnos, no se trataba a un nivel mayor por miedo a posibles rechazos de las ideas. Es por ello que decidí proponer este trabajo.

Como conclusión personal, destaco la complicación de trabajar con impresoras 3D, que suponen grandes demoras para la impresión de piezas, Además del tiempo empleado en impresión, se debe tener en cuenta el tiempo que la pieza ha estado ocupando espacio en la plataforma de impresión, esto se debe a dejar las piezas imprimiendo por la noche, y no poder recogerlas hasta el siguiente día o en el peor de los casos, tener que esperar todo el fin de semana para poder recoger la pieza, lo que resulta en la incapacidad de poder trabajar con la pieza todo ese periodo. En el Anexo III: Cronograma de impresión 3D, se muestra el cronograma donde se detalla todo el tiempo que la impresora ha permanecido ocupada, además de las horas de impresión de cada etapa.

Es por todo esto que este proyecto ha sido todo un reto, que finalmente se ha podido completar con el objetivo marcado de aportar un pequeño grano de arena a las generaciones venideras de alumnos en la Escuela Naval Militar.

6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] T. Wohlers y T. Gornet, «History of additive manufacturing», 2016.
- [2] C. W. Hull y S. Gabriel, «(54) APPARATUS FOR PRODUCTION OF THREE-DMENSONAL OBJECTS BY STEREO THOGRAPHY».
- [3] «A Brief History of Additive Manufacturing - TriMech». <https://trimech.com/blog/a-brief-history-of-additive-manufacturing> (accedido 17 de enero de 2023).
- [4] L. G. Reyes, «Documentary analysis of the advantages of 3D printing». <https://www.reci.org.mx/index.php/reci/article/download/56/262?inline=1> (accedido 17 de enero de 2023).
- [5] L. G. Reyes, «Documentary analysis of the disadvantages of 3D printing», *3c Tecnol. Glosas Innov. Apl. Pyme*, vol. 6, n.º 3, pp. 48-53, 2017.
- [6] «Impresoras-3D.-La-nueva-revolucion-industrial.pdf». Accedido: 17 de enero de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.coatz.org/wp-content/uploads/2020/03/Impresoras-3D.-La-nueva-revolucion-industrial.pdf>
- [7] J. Villalobos, «Tecnología y responsabilidad: una reflexión sobre las armas creadas mediante impresoras 3-D».
- [8] T. Swetham, K. M. M. Reddy, y A. Huggi, «A Critical Review on of 3D Printing Materials and Details of Materials used in FDM».
- [9] «Metodologia-de-la-impresion-tridimensional-Modelado-de-Deposicion-Fundida-FDM.pdf». Accedido: 18 de enero de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Saul-Bandala/publication/310160907_Metodologia_de_la_impresion_tridimensional_Modelado_de_Deposicion_Fundida_FDM/links/5829d5c108ae138f1bf2f0f2/Metodologia-de-la-impresion-tridimensional-Modelado-de-Deposicion-Fundida-FDM.pdf
- [10] «Material Extrusion | Additive Manufacturing Research Group | Loughborough University». <https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/materialextrusion/> (accedido 22 de marzo de 2023).
- [11] J. Park, M. J. Tari, y H. T. Hahn, «Characterization of the laminated object manufacturing (LOM) process», *Rapid Prototyp. J.*, vol. 6, n.º 1, pp. 36-50, mar. 2000, doi: 10.1108/13552540010309868.
- [12] «LAMINATED OBJECT MANUFACTURING – MELT Collective». <https://meltcollective.com/tool/laminated-object-manufacturing/> (accedido 18 de enero de 2023).
- [13] «“High Definition 3D Printing” by Tyler Finnes». <https://openprairie.sdstate.edu/jur/vol13/iss1/3/> (accedido 18 de enero de 2023).
- [14] «SLA vs. DLP: Guide to Resin 3D Printers», *Formlabs*. <https://formlabs.com/blog/resin-3d-printer-comparison-sla-vs-dlp/> (accedido 19 de enero de 2023).
- [15] E. Tyge, J. J. Pallisgaard, M. Lillethorup, N. G. Hjaltalin, M. K. Thompson, y L. H. Clemmensen, «Characterizing Digital Light Processing (DLP) 3D Printed Primitives», en *Image Analysis*, Cham, 2015, pp. 302-313. doi: 10.1007/978-3-319-19665-7_25.
- [16] J. P. Kruth, X. Wang, T. Laoui, y L. Froyen, «Lasers and materials in selective laser sintering», *Assem. Autom.*, vol. 23, n.º 4, pp. 357-371, ene. 2003, doi: 10.1108/01445150310698652.
- [17] «Guía de impresión 3D mediante sinterizado selectivo por láser (SLS)», *Formlabs*. <https://formlabs.com/es/blog/que-es-sinterizado-selectivo-laser/> (accedido 19 de enero de 2023).
- [18] Y.-Q. Xiao y C.-W. Kan, «Review on Development and Application of 3D-Printing Technology in Textile and Fashion Design», *Coatings*, vol. 12, n.º 2, Art. n.º 2, feb. 2022, doi: 10.3390/coatings12020267.
- [19] A. K. Matta, S. Prasad Kodali, J. Ivvala, y P. J. Kumar, «Metal Prototyping the future of Automobile Industry: A review», *Mater. Today Proc.*, vol. 5, n.º 9, Part 3, pp. 17597-17601, ene. 2018, doi: 10.1016/j.matpr.2018.06.077.
- [20] S. Sharma y S. A. Goel, «3D Printing and its Future in Medical World», *J. Med. Res. Innov.*, p. e000141, ago. 2018, doi: 10.15419/jmri.141.

- [21] Y.-J. Seol, H.-W. Kang, S. J. Lee, A. Atala, y J. J. Yoo, «Bioprinting technology and its applications», *Eur. J. Cardiothorac. Surg.*, vol. 46, n.º 3, pp. 342-348, sep. 2014, doi: 10.1093/ejcts/ezu148.
- [22] C. V, «3D Printed Heart Valves from Silicone», *3Dnatives*, 1 de agosto de 2019. <https://www.3dnatives.com/en/3d-printed-heart-valves-010820195/> (accedido 20 de enero de 2023).
- [23] «ADVANTAGES AND THE FUTURE OF CNC MACHINES». <https://cyberleninka.ru/article/n/advantages-and-the-future-of-cnc-machines/viewer> (accedido 31 de enero de 2023).
- [24] M. Edl, M. Mizerák, y J. Trojan, «3D laser scanners: History and applications», *Int Sci J Simul*, vol. 4, pp. 1-5, 2018.
- [25] M. M. M. SARCAR, K. M. RAO, y K. L. NARAYAN, *Computer Aided Design and Manufacturing*. PHI Learning Pvt. Ltd., 2008.
- [26] A. S. Bahman y F. Iannuzzo, «8 - Computer-aided engineering simulations», en *Wide Bandgap Power Semiconductor Packaging*, K. Suganuma, Ed. Woodhead Publishing, 2018, pp. 199-223. doi: 10.1016/B978-0-08-102094-4.00010-4.
- [27] S. S. Bhavikatti, *Finite Element Analysis*. New Age International, 2005.
- [28] A. Runchal, *50 Years of CFD in Engineering Sciences: A Commemorative Volume in Memory of D. Brian Spalding*. Springer Nature, 2020.
- [29] J. Madison, *CNC Machining Handbook: Basic Theory, Production Data, and Machining Procedures*. Industrial Press Inc., 1996.
- [30] 14:00-17:00, «ISO/TS 10303-1056:2010», ISO. <https://www.iso.org/standard/56263.html> (accedido 2 de febrero de 2023).
- [31] C. R. ALAVALA, *CAD/CAM: CONCEPTS AND APPLICATIONS*. PHI Learning Pvt. Ltd., 2008.
- [32] P. S. Tickoo, *Autodesk Inventor Professional 2019 for Designers, 19th Edition*. CAD/CIM Technologies, 2013.
- [33] C. Iancu, D. Iancu, y A. Stăncioiu, «From CAD model to 3D print via "STL" file format.», *Fiability Durability Fiabilitate Si Durabilitate*, n.º 1, 2010.
- [34] «STL files explained | Learn about the STL file format | Adobe». <https://www.adobe.com/creativecloud/file-types/image/vector/stl-file.html> (accedido 26 de enero de 2023).
- [35] «Home - threadModelerOnline». <https://threadmodeler.com/> (accedido 17 de febrero de 2023).
- [36] J. H. Martin, B. D. Yahata, J. M. Hundley, J. A. Mayer, T. A. Schaedler, y T. M. Pollock, «3D printing of high-strength aluminium alloys», *Nature*, vol. 549, n.º 7672, Art. n.º 7672, sep. 2017, doi: 10.1038/nature23894.
- [37] L. Hitzler *et al.*, «Additive Manufacturing of Cobalt-Based Dental Alloys: Analysis of Microstructure and Physicomechanical Properties», *Adv. Mater. Sci. Eng.*, vol. 2018, pp. 1-12, nov. 2018, doi: 10.1155/2018/8213023.
- [38] T. DebRoy *et al.*, «Additive manufacturing of metallic components – Process, structure and properties», *Prog. Mater. Sci.*, vol. 92, pp. 112-224, mar. 2018, doi: 10.1016/j.pmatsci.2017.10.001.
- [39] L. E. Murr, «Frontiers of 3D Printing/Additive Manufacturing: from Human Organs to Aircraft Fabrication†», *J. Mater. Sci. Technol.*, vol. 32, n.º 10, pp. 987-995, oct. 2016, doi: 10.1016/j.jmst.2016.08.011.
- [40] E. Uhlmann, R. Kersting, T. B. Klein, M. F. Cruz, y A. V. Borille, «Additive Manufacturing of Titanium Alloy for Aircraft Components», *Procedia CIRP*, vol. 35, pp. 55-60, ene. 2015, doi: 10.1016/j.procir.2015.08.061.
- [41] D. J. Horst, C. A. Duvoisin, y R. de A. Vieira, «Additive Manufacturing at Industry 4.0: a Review», *Int. J. Eng. Tech. Res.*, vol. 8, n.º 8, p. 264786, ago. 2018.
- [42] «Norsk Titanium». <https://norsktitanium.com/> (accedido 20 de enero de 2023).
- [43] L. Serna C., A. R. de S, y F. A. A, «Ácido Poliláctico (PLA): Propiedades y Aplicaciones», *Ing. Compet.*, vol. 5, n.º 1, pp. 16-26, jun. 2011, doi: 10.25100/iyc.v5i1.2301.

- [44] M. A. Caminero, J. M. Chacón, I. García-Moreno, y G. P. Rodríguez, «Impact damage resistance of 3D printed continuous fibre reinforced thermoplastic composites using fused deposition modelling», *Compos. Part B Eng.*, vol. 148, pp. 93-103, sep. 2018, doi: 10.1016/j.compositesb.2018.04.054.
- [45] J. Pakkanen, D. Manfredi, P. Minetola, y L. Iuliano, «About the Use of Recycled or Biodegradable Filaments for Sustainability of 3D Printing», en *Sustainable Design and Manufacturing 2017*, Cham, 2017, pp. 776-785. doi: 10.1007/978-3-319-57078-5_73.
- [46] etimm, «The Additive Manufacturing in the Industry 4.0 Era: The Case of an Italian FabLab», *Journal of Emerging Trends in Marketing and Management*, 21 de noviembre de 2017. <http://www.etimm.ase.ro/?p=160> (accedido 21 de enero de 2023).
- [47] «3D printing of ceramics_ A review | Elsevier Enhanced Reader». <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0955221918306782?token=12C13BE84CA5638690E67D664911DBD952D1F9740C72EB081C6E367C0FA7B1EF3243252E7052A35E1FAB214DDF73057B&originRegion=eu-west-1&originCreation=20230121115527> (accedido 21 de enero de 2023).
- [48] A. Zocca, P. Lima, y J. Günster, «LSD-based 3D printing of alumina ceramics», vol. 8, pp. 141-148, mar. 2017, doi: 10.4416/JCST2016-00103.
- [49] R. Gmeiner *et al.*, «Additive Manufacturing of Bioactive Glasses and Silicate Bioceramics», *J. Ceram. Sci. Technol.*, vol. 6, pp. 75-86, jun. 2015, doi: 10.4416/JCST2015-00001.
- [50] T. Ianko, S. Panov, O. Sushchyn'sky, M. Pylypenko, y O. Dmytrenko, «Zirconium alloy powders for manufacture of 3D printed articles used in nuclear power industry», *Порошки з цирконієвого сплаву для виробництва 3D-друку виробів, що використовуються в атомній енергетиці*, 2018, Accedido: 21 de enero de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.nbuv.gov.ua/xmlui/handle/123456789/137271>
- [51] «Official Website of the Alumina Systems GmbH, Germany». <https://alumina.systems/en/> (accedido 24 de enero de 2023).
- [52] W. Hao, Y. Liu, H. Zhou, H. Chen, y D. Fang, «Preparation and characterization of 3D printed continuous carbon fiber reinforced thermosetting composites», *Polym. Test.*, vol. 65, pp. 29-34, feb. 2018, doi: 10.1016/j.polymertesting.2017.11.004.
- [53] T. Sathishkumar, S. Satheeshkumar, y J. Naveen, «Glass fiber-reinforced polymer composites – a review», *J. Reinf. Plast. Compos.*, vol. 33, n.º 13, pp. 1258-1275, jul. 2014, doi: 10.1177/0731684414530790.
- [54] Z. Liu *et al.*, «Modification of Glass Fiber Surface and Glass Fiber Reinforced Polymer Composites Challenges and Opportunities: From Organic Chemistry Perspective», *Curr. Org. Chem.*, vol. 19, n.º 11, pp. 991-1010, jun. 2015.
- [55] S. Luhan *et al.*, «Sustainable and Renewable Bio-Based Natural Fibres and Its Application for 3D Printed Concrete: A Review», *Sustainability*, vol. 12, n.º 24, Art. n.º 24, ene. 2020, doi: 10.3390/su122410485.
- [56] «Smart Materials | Mel Schwartz | Taylor & Francis eBooks, Reference Wo». <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.1201/9781420043730/smart-materials-mel-schwartz> (accedido 26 de enero de 2023).
- [57] A. N. Alagha, S. Hussain, y W. Zaki, «Additive manufacturing of shape memory alloys: A review with emphasis on powder bed systems», *Mater. Des.*, vol. 204, p. 109654, jun. 2021, doi: 10.1016/j.matdes.2021.109654.
- [58] Y. Yang, Y. Chen, Y. Wei, y Y. Li, «3D printing of shape memory polymer for functional part fabrication», *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 84, n.º 9, pp. 2079-2095, jun. 2016, doi: 10.1007/s00170-015-7843-2.
- [59] S. Prakash, B. R. Bhandari, F. C. Godoi, y M. Zhang, «Chapter 13 - Future Outlook of 3D Food Printing», en *Fundamentals of 3D Food Printing and Applications*, F. C. Godoi, B. R. Bhandari, S. Prakash, y M. Zhang, Eds. Academic Press, 2019, pp. 373-381. doi: 10.1016/B978-0-12-814564-7.00013-4.

- [60]: : «Food Engineering Progress »:
<http://foodengprog.kr/journal/article.php?code=50637&ckattempt=1> (accedido 26 de enero de 2023).
- [61] L. Mohon, «NASA Looks to Advance Large-Scale 3D Printing for the Moon and Mars», *NASA*, 30 de septiembre de 2020. <http://www.nasa.gov/centers/marshall/news/releases/2020/nasa-looks-to-advance-3d-printing-construction-systems-for-the-moon.html> (accedido 26 de enero de 2023).
- [62] «Off-World Construction», *ICON*. <https://www.iconbuild.com/off-world-construction> (accedido 26 de enero de 2023).
- [63] M. Korger, J. Bergschneider, M. Lutz, B. Mahltig, K. Finsterbusch, y M. Rabe, «Possible Applications of 3D Printing Technology on Textile Substrates», *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 141, n.º 1, p. 012011, jul. 2016, doi: 10.1088/1757-899X/141/1/012011.
- [64] S. S. Valtchev, E. N. Baikova, y L. R. Jorge, «Electromagnetic field as the wireless transporter of energy», *Facta Univ. - Ser. Electron. Energ.*, vol. 25, n.º 3, pp. 171-181, 2012.
- [65] «IEC 60950-1:2005 | IEC Webstore». <https://webstore.iec.ch/publication/4020&preview=1> (accedido 6 de febrero de 2023).
- [66] «ULTIMAKER 3 MANUAL DE INSTALACIÓN Y USO». Accedido: 6 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible en:
<https://makerbot.my.salesforce.com/sfc/p/#j0000000HOnW/a/5b000004Tx1M/iAc6oBbqH1zmhld b1dbKH7LAzRjtezQYO00uDBBQz3A>
- [67] Ultimaker, «Ficha de Datos de seguridad PLA», Ficha de datos. Accedido: 7 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible en:
https://makerbot.my.salesforce.com/sfc/p/#j0000000HOnW/a/5b000004TnT4/6ula0t_4YKxtig3Av U6dyL0zFMGYRqjdSdaOb1DeMO8
- [68] Ultimaker, «Ficha de Datos de seguridad ABS», Ficha de datos. Accedido: 7 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible en:
<https://makerbot.my.salesforce.com/sfc/p/#j0000000HOnW/a/5b000004TuOG/if9r5pSI1HXjcswwq yumuKfcR0WD6rjTftJWQEnWfUKc>
- [69] Ultimaker, «Ficha de Datos de seguridad Nylon», Ficha de datos. Accedido: 7 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible en:
<https://makerbot.my.salesforce.com/sfc/p/#j0000000HOnW/a/5b000004TpoH/NDIqD5iyX2lKFM vcWCxLRq8qZfLc0hCjdHGwTcPZBFo>
- [70] Ultimaker, «Ficha de Datos de seguridad CPE». Accedido: 7 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible en:
https://makerbot.my.salesforce.com/sfc/p/#j0000000HOnW/a/5b000004Tr3A/411lT0mU_8fXR4. HgCvOY0gv4rU3kKU2rdLNOZq7H6k
- [71] Ultimaker, «Ficha de Datos de seguridad PVA», Ficha de datos. Accedido: 7 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible en:
<https://makerbot.my.salesforce.com/sfc/p/#j0000000HOnW/a/5b000004TTY0/ybQs25QNXov1rA 0AYlIduXVZXS1tgF2S3q8sO9cRdc0>
- [72] Ultimaker, «Ficha de Datos de seguridad Breakaway», Ficha de datos. Accedido: 1 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en:
https://makerbot.my.salesforce.com/sfc/p/#j0000000HOnW/a/5b000004TwNB/XFm509I2MBsj56 Xnsf0RdO3rkslUyv3Xwa_4MYNz2Y0
- [73] Ultimaker, «Ficha de datos técnicos Ultimaker PLA», Ficha de datos técnicos. Accedido: 8 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible en:
<https://makerbot.my.salesforce.com/sfc/p/#j0000000HOnW/a/5b000004UiRX/QP7QXvKU.ZRG2 n9ee3myGiw3HUzs.rPuZD.WfXBUyPI>
- [74] Ultimaker, «Ficha de datos técnicos del Ultimaker ABS», Ficha de datos técnicos. Accedido: 22 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible en:
https://makerbot.my.salesforce.com/sfc/p/#j0000000HOnW/a/5b000004UX6K/Fvfm_SpyQ84Bk4 Mb1FIyi0v2d5qqTjzDIgOgmipUOVe

- [75] «Tienda de impresoras escáneres 3D profesionales | Sicnova 3D». <https://tienda.sicnova3d.com/> (accedido 6 de marzo de 2023).
- [76] «Inventor Software | Get Prices & Buy Official Inventor 2023 | Autodesk». <https://www.autodesk.com/products/inventor/overview> (accedido 26 de enero de 2023).
- [77] «Your smartphone is a mobile lab.», *phyphox*. <https://phyphox.org> (accedido 12 de marzo de 2023).

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

La impresión 3D se encuentra íntimamente ligada a la presente y delicada situación medioambiental. Por un lado, esta forma de creación de piezas compone un camino alternativo a las antiguas técnicas de fabricación que producen gran cantidad de residuos al medioambiente como se ha visto en el apartado 2.1.1 sobre la historia de la fabricación aditiva. Por otro lado, en la presente memoria se han tratado puntos relacionados con conciencia medioambiental, aspectos sociales y de salud, consideración de peligros y realización de piezas teniendo en cuenta criterios económicos y tiempos de producción.

Teniendo consciencia de la situación medioambiental que se vive a día de hoy, se ha buscado un desarrollo sustentable para las impresoras 3D creando metodologías o materiales que no contribuyan con el daño ambiental. Se menciona en el apartado 2.4 la creación de materiales biodegradables con el medio ambiente que, ante la acción de agentes biológicos se descomponen sin dejar residuos. Además, en el apartado 2.4.2 se trata la reutilización de material excedente durante el proceso de fabricación de la pieza que se pueda reconvertir en filamentos y volver a extruir para fabricar otros modelos.

Atendiendo a los criterios sociales y de salud, en el apartado 3.1 se aborda el correcto uso del dispositivo y los parámetros de configuración para el correcto funcionamiento de la impresora. Además, en el subapartado 3.1.1 se describen los principales riesgos que puede tener un uso incorrecto por parte del usuario, entre ellos se mencionan la compatibilidad electromagnética, la seguridad eléctrica y mecánica, y los riesgos de quemaduras.

Durante el presente trabajo se ha tenido en cuenta el factor económico a lo largo de todo el proyecto en la fabricación de piezas como se puede observar en Figura A1-1 y se encuentra detallado en el apartado 4.2. Por otro lado, en el apartado 5.3 se puede observar la enorme cantidad de tiempo empleado para la fabricación de las piezas que se encuentra reflejado en la Figura A1-2.

Coste de fabricación de todas las piezas del proyecto

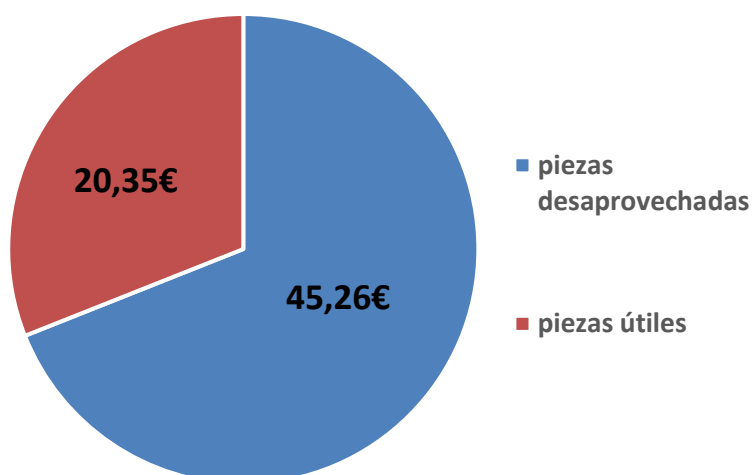


Figura A1-1 Coste de fabricación de las piezas del proyecto [Autoría Propia]

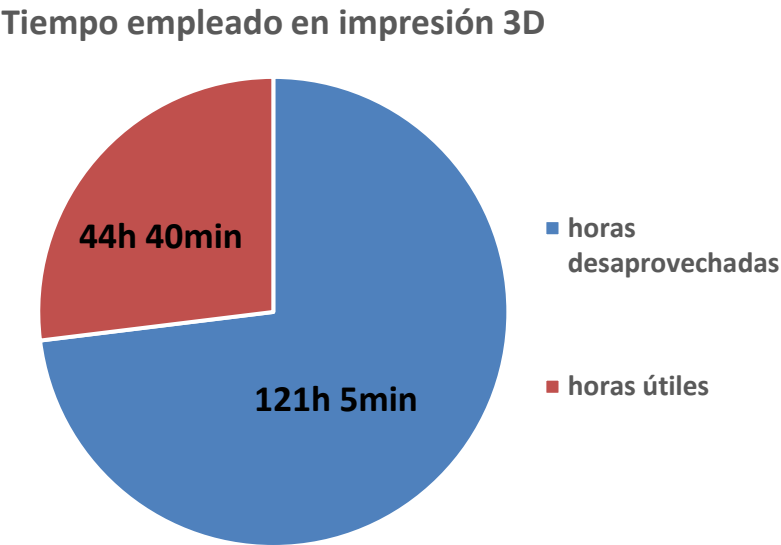


Figura A1-2 Gráfico de horas empleadas y horas útiles durante el proyecto [Autoría Propia]

ANEXO II: REFLEXIONES ÉTICAS Y SOCIALES

La propuesta del presente trabajo se centra en la implementación de mejoras para mejorar el rendimiento de los alumnos durante los embarques en las lanchas de instrucción. En el apartado 1.2 se desarrolla la idea de por qué es necesario el diseño del soporte que este proyecto engloba y cuáles son las causas de dicha idea. Para el diseño del dispositivo de sujeción, se ha tenido en cuenta la opinión de los alumnos de la Escuela Naval Militar a través de una encuesta, Figura A2-1.

A continuación, se muestra la encuesta realizada a los alumnos de la Escuela Naval Militar a través de la aplicación web Google Forms, donde se pregunta a los alumnos de la 5ª Brigada, que tienen experiencia en la navegación con las Lanchas de Instrucción, sobre el uso de dispositivos móviles cuando ejercían el puesto de Oficial de Guardia en el Puente (OGP) durante los embarques en las lanchas del pasado año 2022.

¿Utiliza Ud. dispositivos móviles para la ayuda en la navegación como OGP en las LLII? Ejemplos de usos: Uso de cuadernos OAD/cartas náuticas/apuntes propios.

51 respuestas

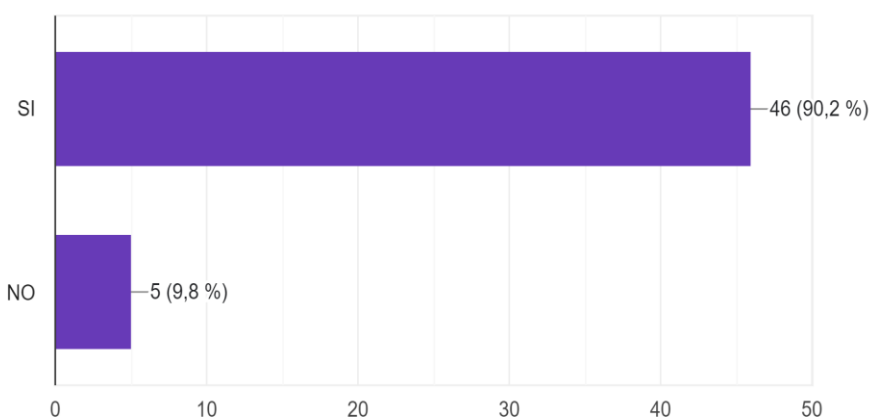


Figura A2-1 Encuesta sobre uso de dispositivos móviles [Autoría Propia]

Como conclusión se obtiene que la gran mayoría de alumnos usaron alguna vez dispositivos multimedia durante los embarques. Es decir, el 90,2% de los alumnos de la 5ª brigada corrían peligro de que su dispositivo multimedia cayese al suelo o sufriera algún daño. El soporte diseñado erradica este problema facilitando la vida al alumno como se pretendía desde la propuesta del proyecto.

ANEXO III: CRONOGRAMA DE IMPRESIÓN 3D

A continuación, se muestra un cronograma en el que se ha reflejado los tiempos que las impresoras han estado ocupadas durante cada una de las etapas de impresión del conjunto. Además, dentro de cada etapa, se refleja el tiempo real de impresión de las piezas.

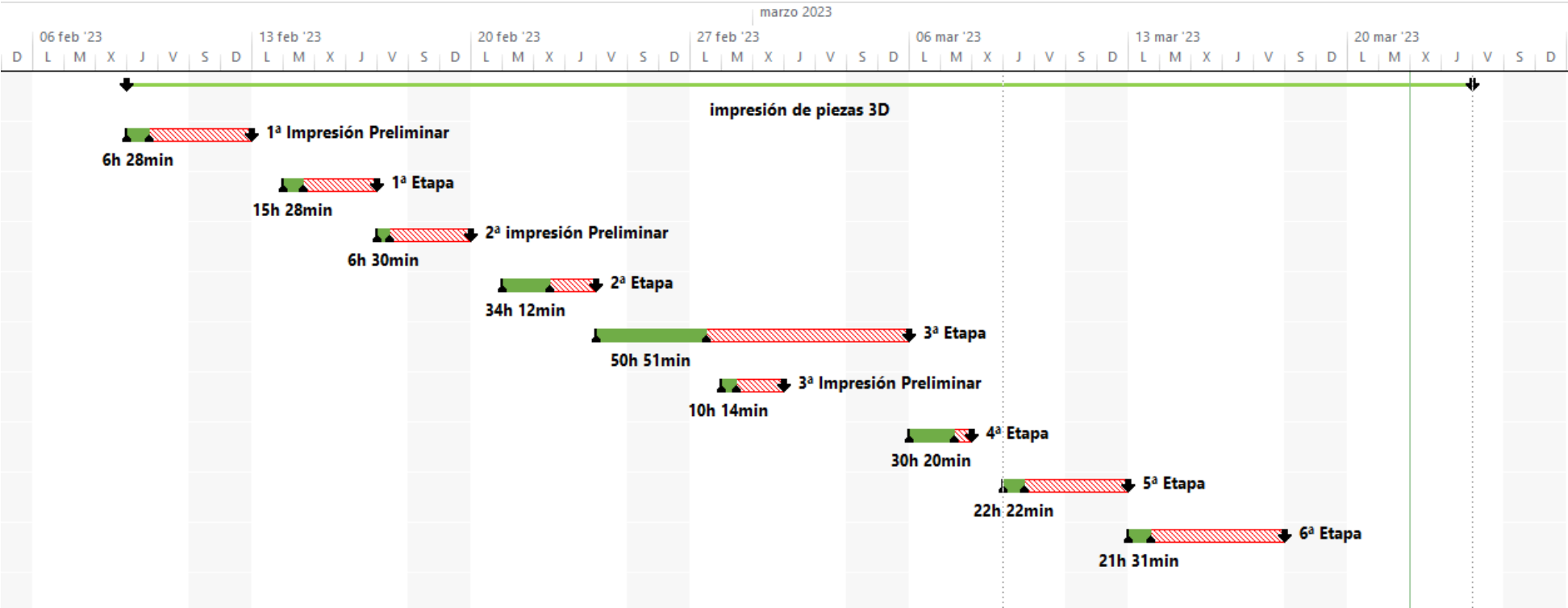


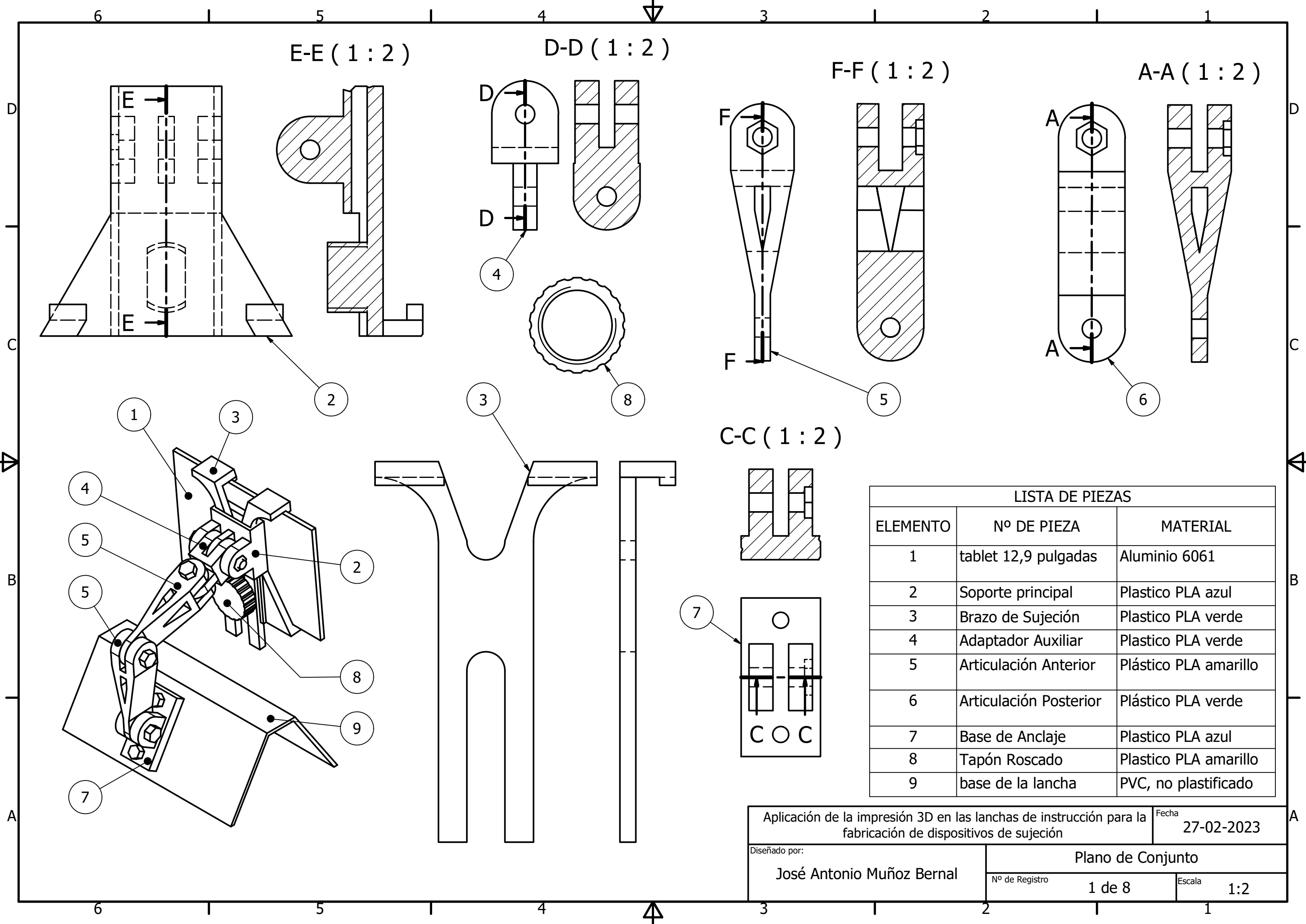
Figura A4-1 Cronograma de tiempos [Autoría Propia]

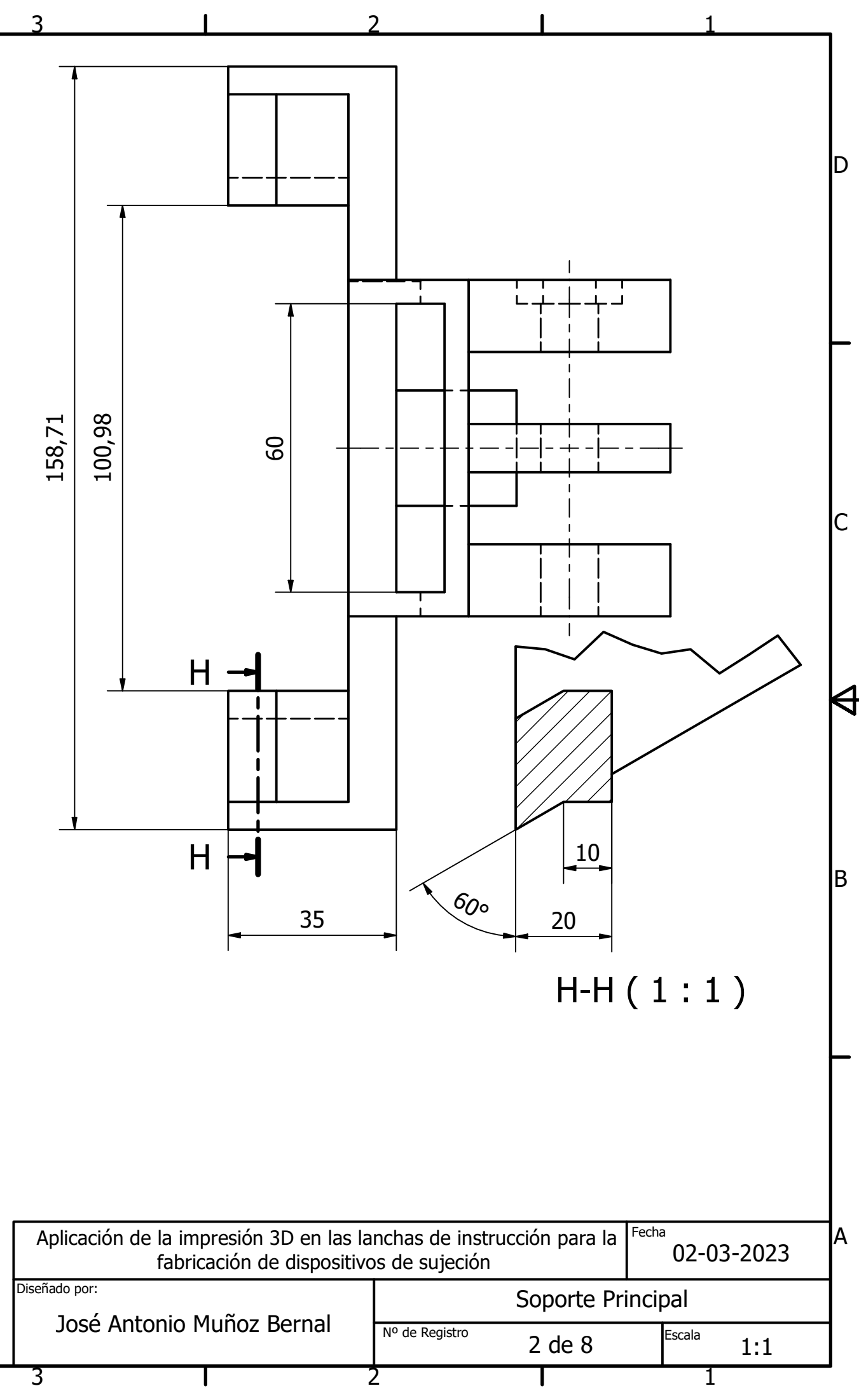
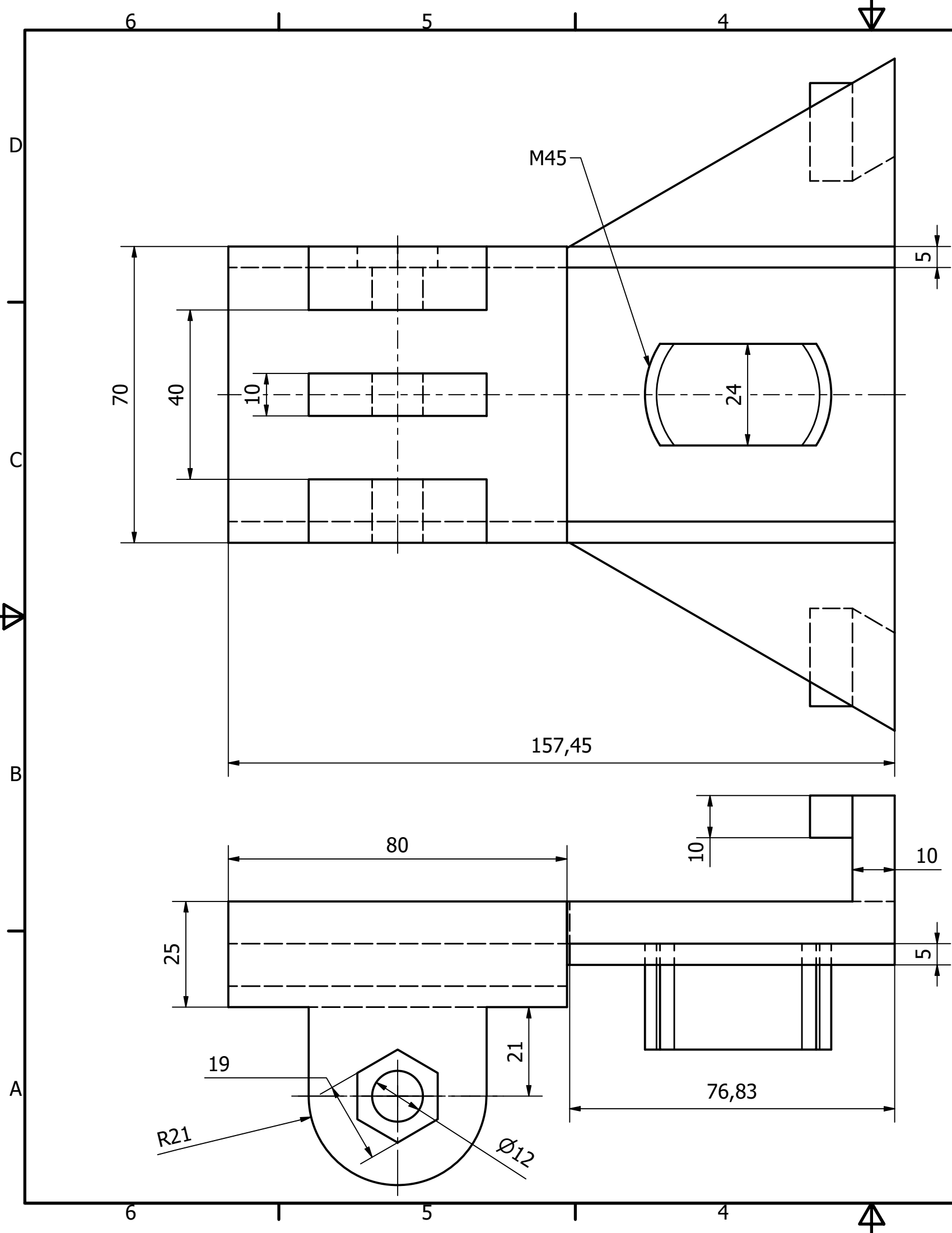
ANEXO IV: PLANOS

En el siguiente anexo se encuentran los planos necesarios para la fabricación de las distintas piezas que conforman el soporte. En la tabla se muestra el registro de planos.

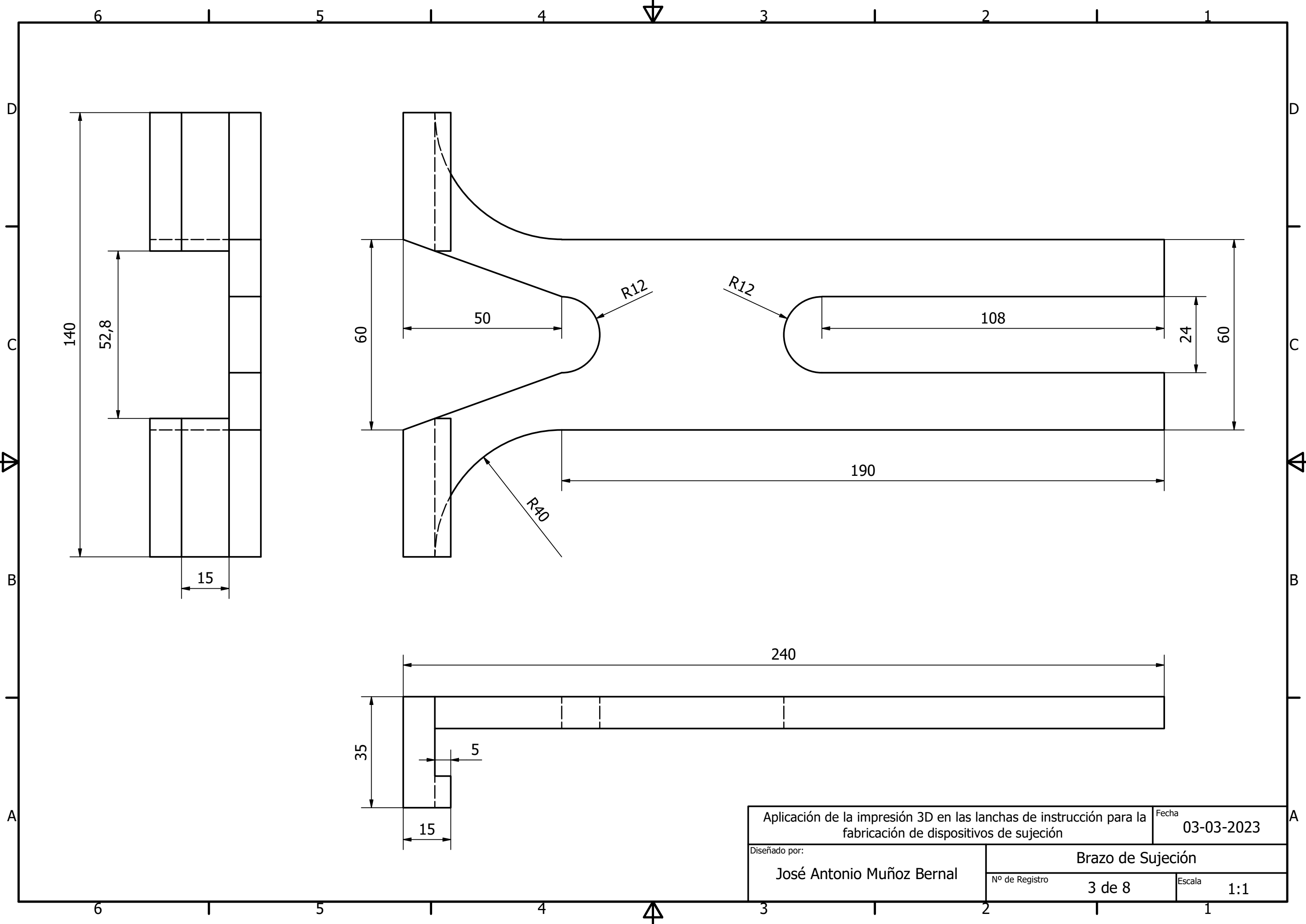
Registro	Plano
1	Plano de Conjunto
2	Soporte Principal
3	Brazo de Sujeción
4	Adaptador Auxiliar
5	Articulación Posterior
6	Articulación Anterior
7	Base de Anclaje
8	Tapón Roscado

Tabla A3-1 Índice de Planos [Autoría Propia]

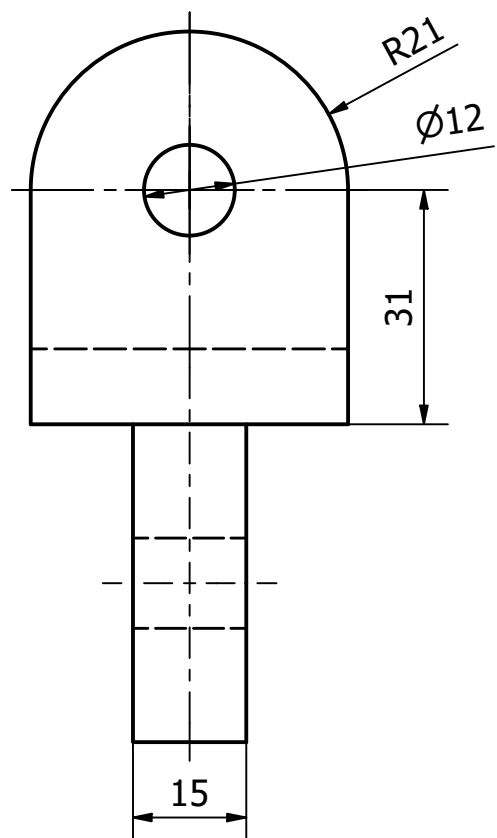
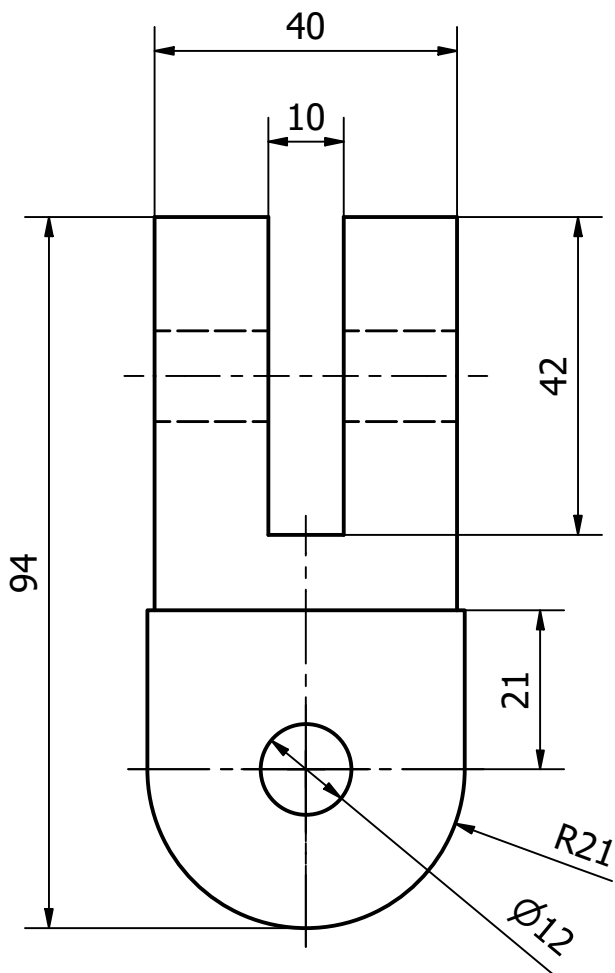




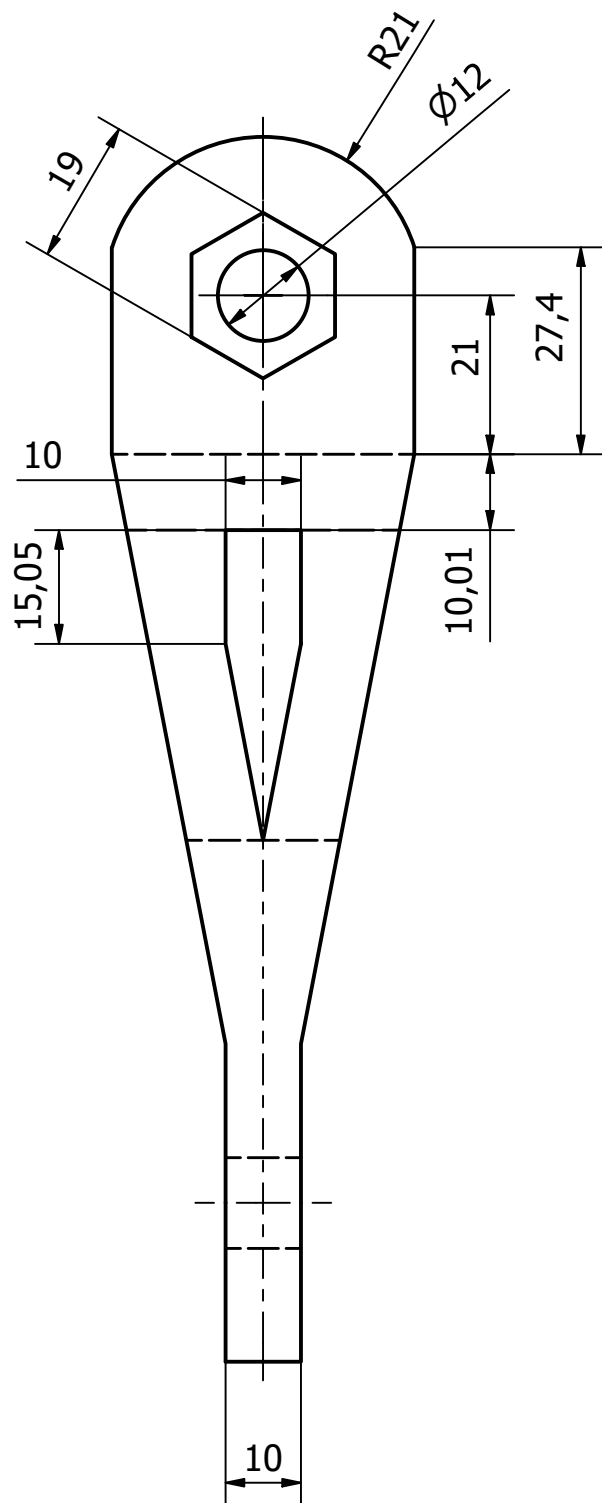
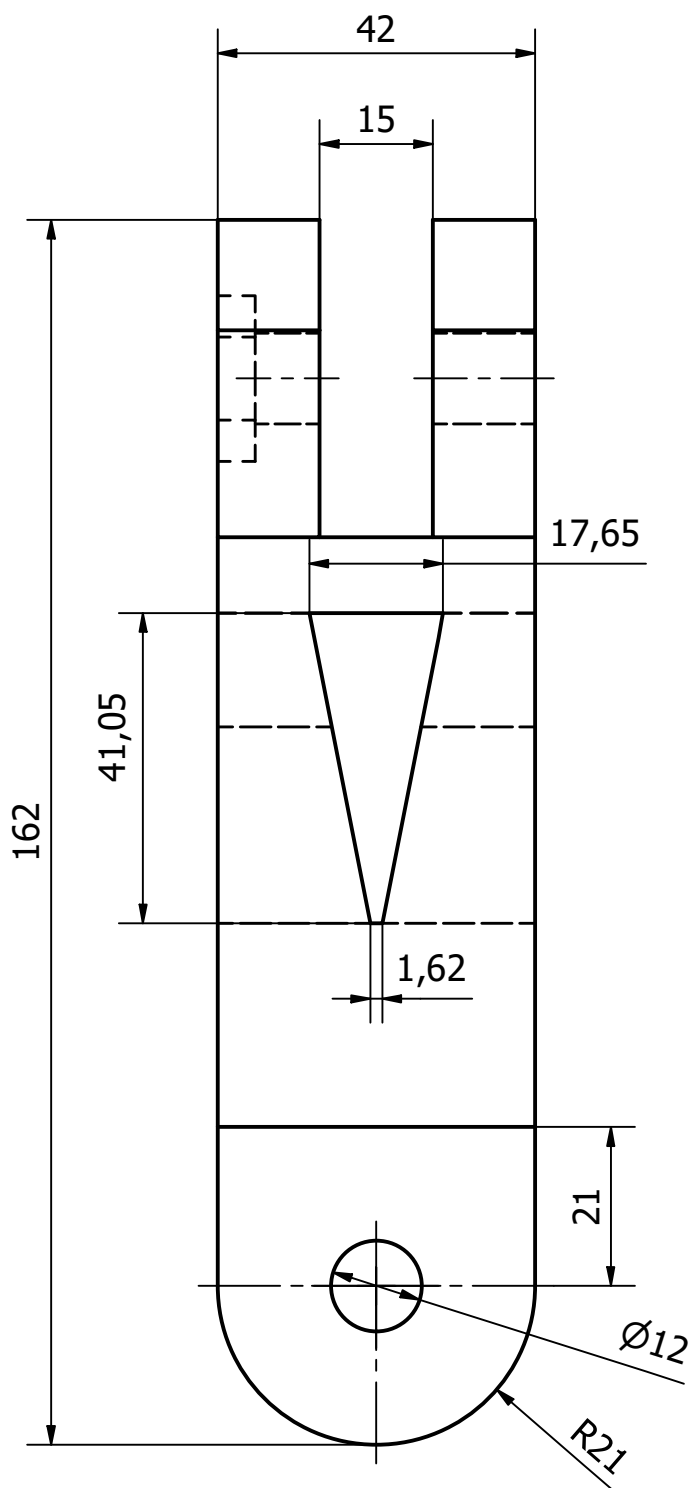
Aplicación de la impresión 3D en las lanchas de instrucción para la fabricación de dispositivos de sujeción		Fecha 02-03-2023	
Diseñado por: José Antonio Muñoz Bernal		Soporte Principal	
Nº de Registro 2 de 8		Escala 1:1	



Aplicación de la impresión 3D en las lanchas de instrucción para la fabricación de dispositivos de sujeción		Fecha 03-03-2023	
Diseñado por: José Antonio Muñoz Bernal	Brazo de Sujeción		
	Nº de Registro 3 de 8	Escala 1:1	



Aplicación de la impresión 3D en las lanchas de instrucción para la fabricación de dispositivos de sujeción		Fecha	02-03-2023
Diseñado por:		Adaptador Auxiliar	
José Antonio Muñoz Bernal		Nº de Registro	4 de 8
		Escala	1:1



Aplicación de la impresión 3D en las lanchas de instrucción para la
fabricación de dispositivos de sujeción

Fecha

03-03-2023

Diseñado por:

José Antonio Muñoz Bernal

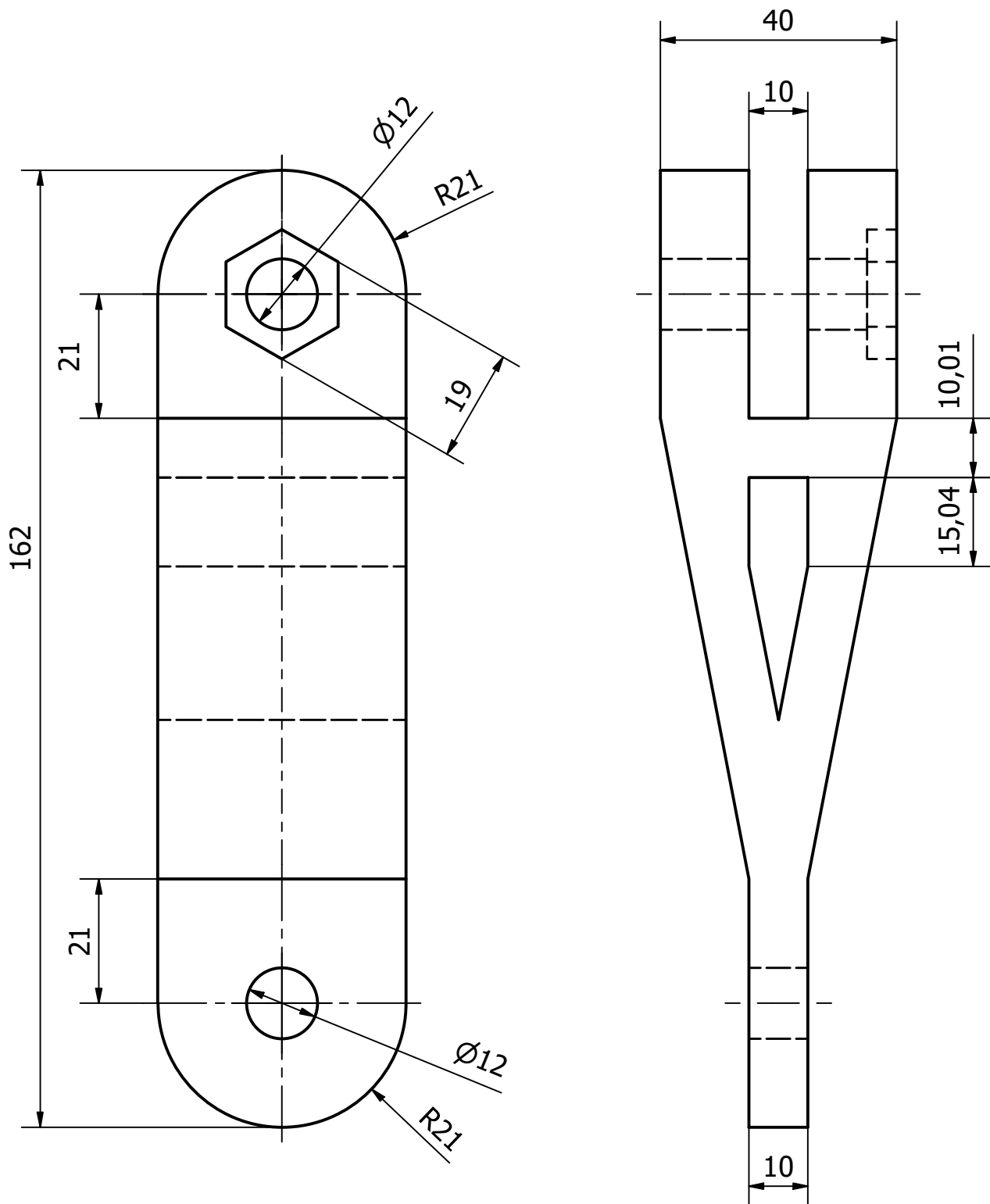
Articulación Anterior

Nº de Registro

5 de 8

Escala

1:1



Aplicación de la impresión 3D en las lanchas de instrucción para la
fabricación de dispositivos de sujeción

Fecha

02-03-2023

Diseñado por:

José Antonio Muñoz Bernal

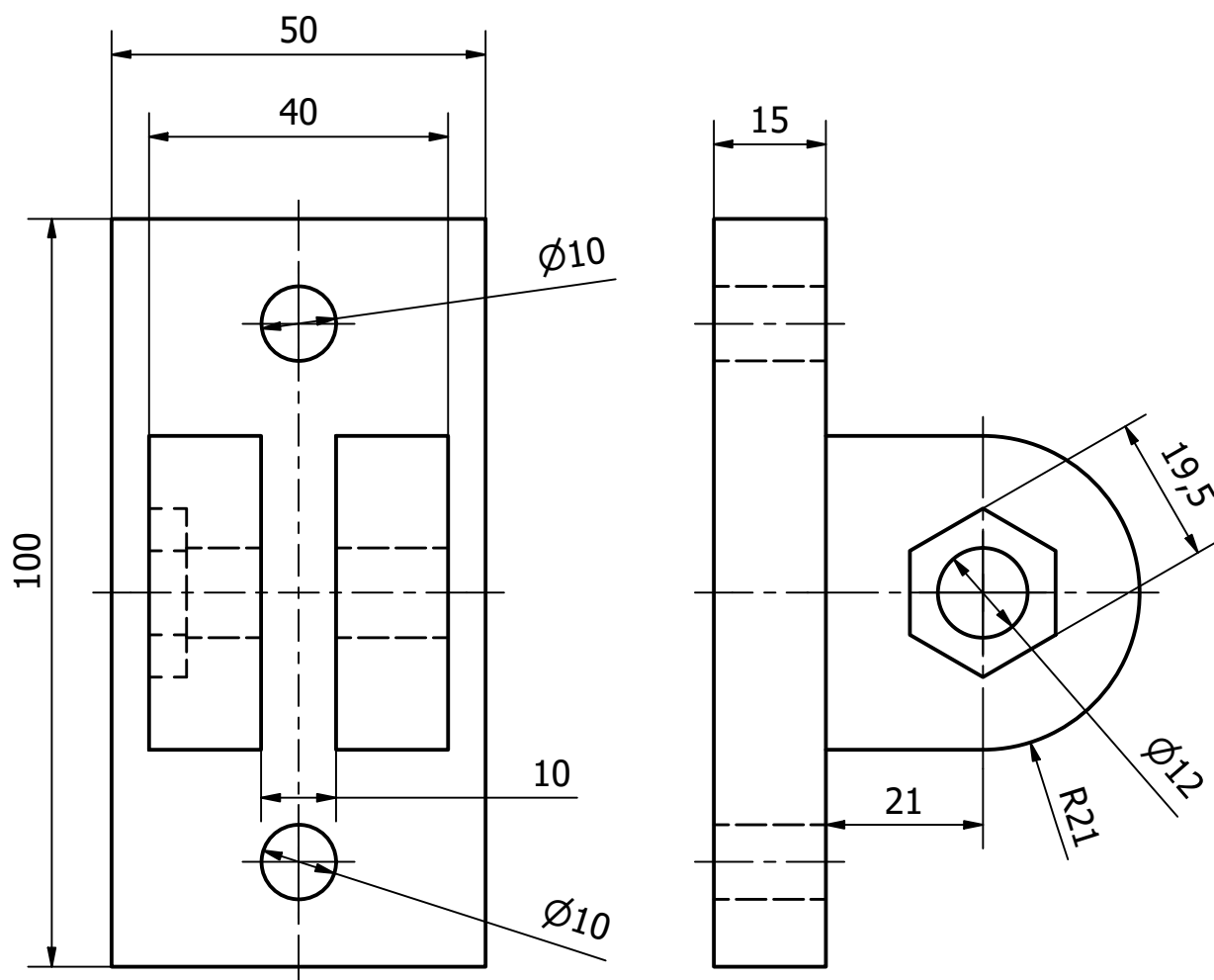
Articulación Posterior

Nº de Registro

6 de 8

Escala

1:1



Aplicación de la impresión 3D en las lanchas de instrucción para la
fabricación de dispositivos de sujeción

Fecha
03-03-2023

Diseñado por:

José Antonio Muñoz Bernal

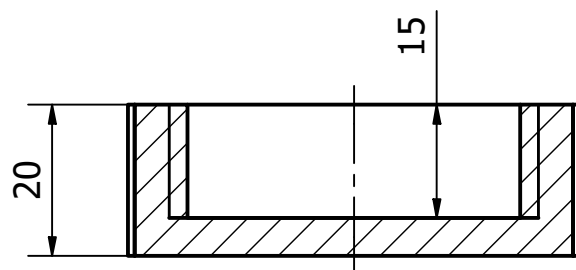
Base de Anclaje

Nº de Registro

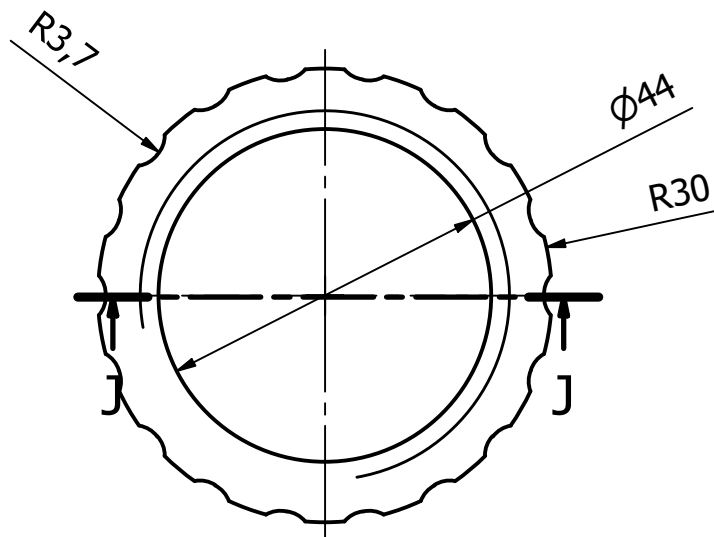
7 de 8

Escala

1:1



J-J (1 : 1)



Aplicación de la impresión 3D en las lanchas de instrucción para la fabricación de dispositivos de sujeción		Fecha	03-03-2023
Diseñado por:		Tapón de Anclaje	
José Antonio Muñoz Bernal		Nº de Registro	8 de 8
		Escala	1:1