



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Dispositivo de fabricación de filamentos, basados en
subproductos textiles, para impresión 3D*

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Félix Arcila Pérez

DIRECTORES: Rosa Devesa Rey
Jesús del Val García

CURSO ACADÉMICO: 2021-2022

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Dispositivo de fabricación de filamentos, basados en
subproductos textiles, para impresión 3D*

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Cuerpo General

UniversidadeVigo

RESUMEN

En la actualidad, uno de los retos a los que se enfrenta la sociedad es la gestión, optimización, y en especial, el reciclaje de los residuos generados por la industria. Dentro de los sectores que utilizan más recursos y que tienen un elevado potencial de circularidad, se encuentran los que trabajan con plásticos (micro-plásticos y plásticos biodegradables) y productos textiles. Debido a que estos materiales pueden tardar en degradarse centenares de años, con el consiguiente impacto ambiental, y que además su fabricación tiene un alto coste en términos energéticos y de huella de CO₂, han sido objeto en los últimos años de múltiples esfuerzos de cara a su reciclaje y reutilización en productos de alto valor añadido.

Por otro lado, la fabricación aditiva es una técnica que ha cobrado gran interés durante las últimas décadas, debido a que aporta una gran cantidad de ventajas en determinados campos de la industria, entre las cuales se puede destacar el reciclado de material y una menor generación de residuos en los procesos productivos. Es por ello por lo que con este TFG se pretende desarrollar y optimizar un sistema, portable, modular y de bajo coste para llevar a cabo la extrusión de filamentos de base polimérica, sintetizados a partir del reciclaje de residuos de origen textil. Será un diseño de carácter abierto, por lo que cualquier usuario puede utilizar el diseño y modificarlo según los objetivos que quiera alcanzar.

PALABRAS CLAVE

Extrusión, fabricación aditiva, reciclaje, módulo, impresión 3D

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecerle en primera instancia a todos mis compañeros de la promoción 422-152, en especial a Willy, Charlie, Carlos y Álex que con su apoyo moral me han ayudado a realizar este trabajo. También, me gustaría citar al profesor Don Jesús del Val García por ayudarme a sacar este trabajo hacia delante, aportando sus amplios conocimientos y sobre todo paciencia. Y por último a mis padres, hermanos y abuelos, que me han apoyado sin flaqueza durante los últimos 5 años.

CONTENIDO

Contenido	1
Índice de Figuras	1
Índice de Tablas.....	1
1 Introducción.....	3
2 OBJETIVOS.....	5
3 Estado del arte	7
3.1 Fabricación Aditiva.....	7
3.1.1 Ventajas de la Fabricación Aditiva.....	8
3.1.2 Desventajas Fabricación Aditiva	9
3.1.3 Tecnologías de Fabricación Aditiva	10
3.2 La fabricación aditiva en las misiones militares	14
3.3 Reciclaje.....	16
3.4 Sistema de extrusión de material de serie polimérico.....	17
3.4.1 Componentes de la extrusora.....	19
3.5 Especificaciones de una máquina extrusora.....	21
3.5.1 Diámetro del cilindro (D)	21
3.5.2 Relación longitud/diámetro (L/D)	21
3.5.3 Relación de compresión.....	21
3.5.4 Configuración del tornillo.....	22
3.5.5 Longitudes de las zonas del husillo	22
3.6 Extrusoras de filamento comerciales	23
3.6.1 3DEVO Filament – Maker Series.....	23
3.6.2 FelFil Evo	23
3.6.3 Filabot EX2.....	24
3.6.4 Filabot EX6.....	24
3.6.5 Wellzoom Desktop Filament Extruder B	25
3.7 Limitaciones de las extrusoras comerciales	25
4 Condiciones generales del diseño del sistema extrusor.....	27
4.1 Especificaciones del diseño	27
4.2 Componentes básicos del sistema de extrusión	28
5 Diseño del sistema extrusor.....	31
5.1 Bloque de alimentación.....	31
5.1.1 Tolva de alimentación.....	31

5.1.2 Conducto de alimentación	32
5.1.3 Unión del bloque de alimentación	32
5.2 Bloque extrusor y de calentamiento	33
5.2.1 Motor	33
5.2.2 Soporte motor Nema 23.....	34
5.2.3 Tornillo principal	34
5.2.4 Cilindro principal.....	34
5.2.5 Elección calentadores térmicos.....	35
5.2.6 Material aislante.....	37
5.2.7 Cilindro protector.....	37
5.2.8 Elección método transporte	38
5.2.9 Tornillo secundario	41
5.2.10 Boquilla.....	41
5.2.11 Soporte módulos	42
5.2.12 Unión bloque extrusión.....	44
5.3 Módulo de enfriamiento	45
5.3.1 Ventiladores	45
5.3.2 Carril de aluminio	45
5.4 Módulo de bobinado	46
5.4.1 Extractor	46
5.4.2 Sensor de diámetro	47
5.4.3 Rodillo	47
5.4.4 Bobina.....	48
5.4.5 Carrete.....	48
5.5 Vista general montaje dispositivo	49
5.6 Componentes eléctricos	50
5.6.1 Controlador digital motor Nema 23.....	50
5.6.2 Arduino Mega 2560	50
5.6.3 Sensor controlador diámetro del filamento.....	51
5.6.4 Controlador de temperatura	52
5.6.5 Otros componentes necesarios.....	52
6 Estudio térmico y estático	53
6.1 Estudio térmico	53
6.2 Estudio estático	55
6.2.1 Análisis estático perfil ítem	56
6.2.2 Análisis estático pieza de acople	58

7 Conclusiones y líneas futuras	63
8 Bibliografía.....	65
Anexo I: Planos	67
.....	87
Anexo II: Pliego de condiciones.....	102
Anexo III: Presupuesto	110
Anexo IV: Hojas características nema 23	114
Anexo V: hojas características soporte nema 23.....	117
Anexo VI: Hojas características Arduino Mega 2560.....	119

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3-1 Tipos de fabricación [5].....	8
Figura 3-2 Comparación distintos métodos fabricación [5]	8
Figura 3-3 VAT Photopolymerization [8]	11
Figura 3-4 Powder Bed Fusion [10]	11
Figura 3-5 Binder Jetting [11]	12
Figura 3-6 Material Jetting [9]	12
Figura 3-7 Sheet lamination [12].....	13
Figura 3-8 LMD [13].....	13
Figura 3-9 FDM [14].....	14
Figura 3-10 Esquema extrusora.[18]	17
Figura 3-11 Zonas extrusora [18]	18
Figura 3-12 Tornillo extrusora.[18].....	19
Figura 3-13 Cilindro extrusora. [18]	19
Figura 3-14 Garganta de alimentación. [18].....	20
Figura 3-15 Tipos de tolvas.[18]	20
Figura 3-16 Plato rompedor y filtros.[18]	20
Figura 3-17 Cabezal y boquilla.	21
Figura 3-18 Tipos de tornillos [18]	22
Figura 3-19 3Devo Extrusor de Filamentos [21].....	23
Figura 3-20 FelFil Evo Extrusor de Filamentos [22]	23
Figura 3-21 Filabot EX2 Extrusora de Filamentos [23].....	24
Figura 3-22 Filabot EX6 Extrusora de Filamentos [24].....	24
Figura 3-23 Wellzoom Desktop B Extrusora de Filamentos [25].....	25
Figura 4-1 Esquema general (Elaboración propia).....	28
Figura 5-1 Vista seccionada tolva de alimentación (Elaboración propia).....	31
Figura 5-2 Vista seccionada conducto de alimentación (Elaboración propia)	32
Figura 5-3 Sistema de alimentación (Elaboración propia)	32
Figura 5-4 Motor Nema 23 (cortesía del fabricante).....	33
Figura 5-5 Soporte Nema 23 (cortesía del fabricante)	34
Figura 5-6 Tornillo extrusor (Elaboración propia).....	34
Figura 5-7 Cilindro principal (Elaboración propia).....	35
Figura 5-8 Calentador de cartucho (cortesía del fabricante)	36
Figura 5-9 Cable calefactor (cortesía del fabricante)	36

Figura 5-10 Calentador de silicona (cortesía del fabricante).....	36
Figura 5-11 Lana de vidrio (cortesía del fabricante).....	37
Figura 5-12 Cilindro protector (Elaboración propia)	37
Figura 5-13 Vista seccionada unión cilindro principal, cilindro protector y tornillo (Elaboración propia)	38
Figura 5-14 Cilindro secundario (Elaboración propia)	39
Figura 5-15 Vista seccionada segundo cilindro (Elaboración propia)	39
Figura 5-16 Unión cilindros (Elaboración propia)	40
Figura 5-17 Soporte cilindro secundario (Elaboración propia).....	40
Figura 5-18 Tornillo secundario (Elaboración propia).....	41
Figura 5-19 Boquilla vista seccionada (Elaboración propia)	41
Figura 5-20 Placa vertical (Elaboración propia)	42
Figura 5-21 Placa de aluminio horizontal (Elaboración propia)	42
Figura 5-22 Soportes para las placas (Elaboración propia).....	43
Figura 5-23 Patas placa (Elaboración propia)	43
Figura 5-24 Colocación patas (Elaboración propia).....	43
Figura 5-25 Montaje bloque extrusión (Elaboración propia)	44
Figura 5-26 Vista seccionada bloque extrusión (Elaboración propia)	45
Figura 5-27 Bloque de refrigeración (Elaboración propia)	46
Figura 5-28 Conjunto extractor (Elaboración propia)	46
Figura 5-29 Sensor de diámetro (Elaboración propia)	47
Figura 5-30 Rodillo tensor (Elaboración propia)	47
Figura 5-31 Bobina (Elaboración propia)	48
Figura 5-32 Carrete (Elaboración propia)	48
Figura 5-33 Vista general montaje (Elaboración propia).....	49
Figura 5-34 Vista superior montaje (Elaboración propia).....	49
Figura 5-35 Controlador Nema 23 (cortesía del fabricante)	50
Figura 5-36 Arduino Mega 2560 (cortesía del fabricante).....	51
Figura 5-37 Sensor de filamento (cortesía del fabricante)	51
Figura 5-38 Controlador de temperatura Relé SSR (cortesía del fabricante).....	52
Figura 6-1 Modelado térmico (Elaboración propia).....	53
Figura 6-2 Mallado (Elaboración propia).....	54
Figura 6-3 Resultado análisis térmico (Elaboración propia).....	55
Figura 6-4 Estructura ítems (Elaboración propia)	55
Figura 6-5 Fuerza aplicada (Elaboración propia).....	56
Figura 6-6 Tensión de Von Mises (Elaboración propia).....	57

Figura 6-7 Estudio Desplazamiento (Elaboración propia)	57
Figura 6-8 Coeficiente de seguridad (Elaboración propia)	58
Figura 6-9 Acople a impresora 3D (Elaboración propia).....	58
Figura 6-10 Acople a impresora 3D (Elaboración propia).....	59
Figura 6-11 Localización fuerza.....	59
Figura 6-12 Tensión de Von Mises	60
Figura 6-13 Estudio de desplazamiento	60
Figura 6-14 Coeficiente de seguridad.....	61
Figura 7-1 Montaje 1	64
Figura 7-2 Montaje 2	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Ventajas y desventajas de la fabricación AM [5].....	10
Tabla 2 Características Nema 23.....	33
Tabla 3 Características DM542T	50
Tabla 4 Características Arduino Mega 2560	50
Tabla 5 Pesos	56

1 INTRODUCCIÓN

Los residuos que se generan en la industria es un tema que preocupa hoy en día, estos residuos favorecen al crecimiento del calentamiento global, que es un proceso que no se puede pasar por alto. Y una de las causas principales que lo provocan son los gases provocados por la industria y el sector manufacturero, estos gases provienen principalmente de la quema de combustibles fósiles que permite generar la energía necesaria para obtener cemento, hierro, acero, electrónica, plásticos, ropa, etc.

Como se mencionó anteriormente, el cambio climático es un hecho inequívoco, sólo hay que observar el aumento de temperatura tanto de la atmósfera, como de los océanos a nivel mundial, así como el deshielo de los casquetes polares y el consiguiente aumento del nivel del mar. La enorme literatura científica sobre el tema no deja lugar a duda sobre la responsabilidad de la acción humana en estos cambios, por lo que hay que reducir con la mayor celeridad posible la emisión de CO₂ y otros gases de efecto invernadero para limitar el calentamiento global. En el mejor de los casos, la temperatura en el año 2100 llegaría a estar entre 1,4 °C y 4,4 °C más caliente. Un aumento de tan siquiera 0,5 °C ya causa efectos visibles, como son el aumento de la temperatura media, mayor número de días de calor extremo, aumentarán las precipitaciones intensas, así como sequías en varias regiones. En latitudes medias, un calentamiento global de 1,5 °C se traduce en un aumento de hasta 3°C los días de calor extremos, y un calentamiento de 2 °C, hasta 4 °C. Esto se traduce en que en el año 2050 habrá una parte de la población que sufrirá escasez de agua, se estima que entre 84 y 270 millones de personas. [1]

Aún se está a tiempo de revertir esta situación, o contener su avance. Es por ello por lo que la Comisión Europea ha creado el Plan de Acción de Economía Circular de la Unión Europea, que consiste en reconducir la economía hacia un futuro ecológico y reforzar la competitividad, protegiendo así el medio ambiente y otorgando nuevos derechos a los consumidores. Hay que tener en cuenta que la industria es un elemento crucial de la economía europea, donde según Eurostat, en 2018 representaba el 17,6% del producto interior bruto y daba trabajo a 36 millones de persona, esto se traduce en que es un sector muy consolidado en la sociedad, por lo que todo cambio llevará su tiempo.

Todo lo citado anteriormente hace que se lleve a crear una industria más limpia, ya que esta es la responsable de más de la mitad de las emisiones de parte los principales contaminantes atmosféricos y gases que causan el efecto invernadero. La contaminación del aire está ligada con la combustión de carburantes fósiles. Este es el caso de las centrales eléctricas, sin embargo, hay otras muchas actividades industriales que son muy contaminantes, como por ejemplo la fabricación de hierro y acero o la producción de cemento.[2]

Sin embargo, no todas las industrias son tan contaminantes, la fabricación aditiva, también conocida como Industria 4.0, permite obtener objetos tridimensionales sólidos a través de modelos digitales, sin

tener que usar moldes ni utillajes. Reduciendo la cantidad de residuos generado durante su producción. Es por eso por lo que muchos investigadores han visto la oportunidad de promover la economía circular y reutilizar materiales para acabar con residuos como por ejemplo residuos plásticos, textiles o electrónicos.

El sector de la impresión en 3D se encuentra en continuo desarrollo, y esto es debido al gran avance tecnológico que hay en la actualidad, y es un sector interesante de explotar desde el punto de vista económico, por ejemplo, en los sistemas de impresión de bajo coste (utilizadas para uso doméstico, docente, en prototipado para investigación en ingeniería, y también en personalización de equipamiento científico o piezas de alto valor añadido) con realizar al menos veinte productos por año se puede llegar a ahorrar entre trescientos y dos mil euros por año, este ahorro se debe a que es una ingeniería económica y de fácil acceso.

La impresión en 3D es una tecnología sostenible con el medio ambiente, la cual permite ahorrar hasta un 60% en materiales, y reducir en gran cantidad los residuos que se generan. Dicha tecnología consiste en la modelación de cuerpos en tres dimensiones por la adición de algún material fundido (normalmente termoplásticos, pero también materiales metálicos o cerámicos), estos cuerpos son diseñados mediante algún software de modelación en 3D como por ejemplo SolidWorks o Inventor. [3]

En este T.F.G se busca diseñar y fabricar una máquina de bajo coste para crear filamentos, a través de materiales reciclados, para impresión en 3D. Tomando como punto de partida modelos ya existentes que sirvan como referencia para el diseño de la máquina extrusora. Unas de las motivaciones que me lleva a realizar este proyecto es tener una gran oportunidad para conocer de primera mano el mundo de la impresión 3D, con el reto de fabricar un artefacto de impresión 3D de bajo coste.

2 OBJETIVOS

La finalidad de este trabajo de fin de grado consiste en el diseño y validación de un sistema portable, modular y de bajo coste para la extrusión de filamento de base polimérica, sintetizados a partir del reciclaje de residuos de origen textil, de tal forma que se puedan aprovechar elementos desechados en distintos procesos para fabricar materiales de alto valor añadido. Se diseñará una extrusora para impresión en 3D, analizando el comportamiento térmico del sistema, así como su validez estructural y su funcionamiento. Para ello, se plantean los siguientes objetivos:

- Revisión del estado del arte de la Fabricación Aditiva.
- Diseño de una extrusora de bajo coste.
- Dar soluciones futuras en el diseño de piezas para maquinaria industrial, el diseño de piezas, proyectos de ingeniería, medicina, etc.
- Diseñar los elementos mecánicos, adaptándolas a una serie de requerimientos. Seleccionando los elementos mecánicos adecuados para un óptimo funcionamiento
- Diseñar un sistema sencillo, reduciendo al máximo los costes, pero que tenga un rendimiento óptimo y que sea fácil de llevar a cabo su mantenimiento.
- Capacidad de trabajo de la extrusora con materiales específicos no comerciales.
- Fabricar un sistema modular, que se pueda utilizar para generar hilo o, acoplándole un cabezal de inyección, que pueda funcionar como un sistema de inyección para una impresora 3D.
- Análisis térmico y estructural de elementos críticos del sistema.

3 ESTADO DEL ARTE

3.1 Fabricación Aditiva

La Fabricación Aditiva o Additive Manufacturing (AM) es el conjunto de tecnologías de fabricación por las que un diseño digital en 3D se transforma en un objeto real, uniendo poco a poco material (o materiales) de forma controlada por un ordenador.

Para entender mejor lo que es la fabricación aditiva hay que conocer los mecanismos de fabricación alternativos, que se pueden agrupar en dos grandes bloques: la fabricación conformativa y la fabricación sustractiva.

Se conoce como fabricación conformativa a aquella en la que un material es obligado, ya sea por presión, por impacto, derritiéndolo u otro procedimiento a adquirir la forma y dimensiones que se desee. La fabricación sustractiva es aquella en la que se eliminan trozos de materiales mediante impacto, lijado, fresado u otro procedimiento partiendo de un bloque compacto hasta conseguir el producto deseado.

Las principales ventajas que diferencian el proceso de fabricación de sólidos por adición de capas de material (AM) de otro proceso de fabricación industrial es su complejidad geométrica y personalización del proceso de diseño y desarrollo del producto.

La complejidad geométrica no encarece el proceso, características como realizar un vaciado interior, canales internos o formas irregulares son propiedades poco relevantes a la hora de fabricar una pieza, en cambio en los métodos convencionales utilizan procesos de alto coste para llevar a cabo estas operaciones.

Otra característica de gran importancia de la fabricación aditiva es que permite fabricar un determinado número de piezas iguales o todas distintas sin que afecte al precio final, esto facilita la personalización, que es una de las principales tendencias en la actualidad en el desarrollo de productos de alto valor añadido y con diseños complejos

Las características descritas anteriormente se traducen en ventajas, que hacen que la fabricación aditiva sea el proceso óptimo a la hora de fabricar piezas en muchas aplicaciones. Permitiendo realizar piezas que difícilmente se pueden conseguir usando otro tipo de tecnología de fabricación. [4]

3.1.1 Ventajas de la Fabricación Aditiva

Para apreciar las ventajas de la fabricación aditiva, se repasarán las tres formas de fabricación mencionadas anteriormente, para ello se utilizará como apoyo la Figura 3-1:

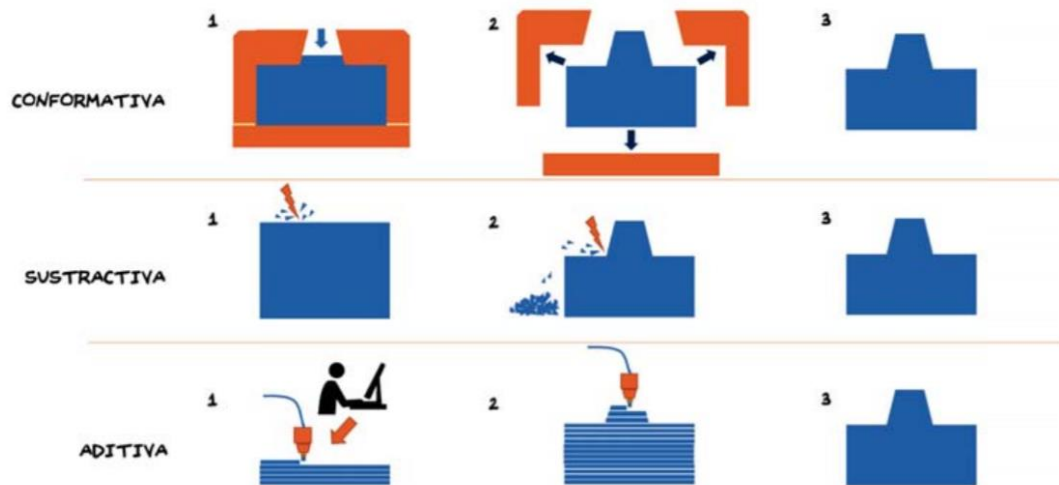


Figura 3-1 Tipos de fabricación [5]

Se pueden deducir dos ventajas entre la fabricación aditiva y la fabricación conformativa y sustractiva:

- La cantidad de residuo generado es menor, respecto con la fabricación sustractiva. Esto se traduce en un menor coste de material y un menor impacto en el medio ambiente.
- No es necesario el uso de moldes, siendo el tiempo de preparación menor. Esto se traduce en mayor rapidez para hacer frente a cambios y menor coste de producción de un objeto individual.

A continuación, se verá otra ventaja de la fabricación aditiva. En la Figura 3-2 se muestra cómo se quiere fabricar una pieza con un hueco en su interior.

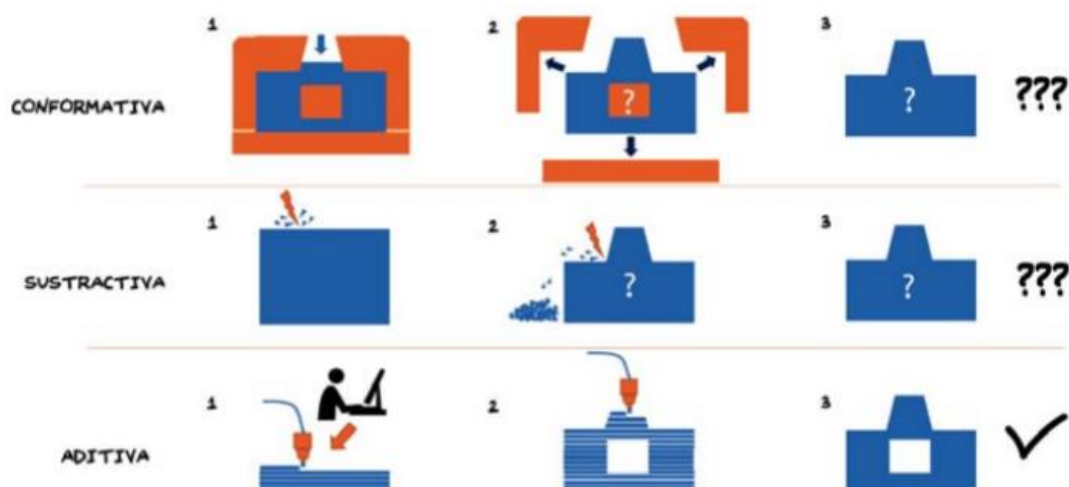


Figura 3-2 Comparación distintos métodos fabricación [5]

Con la fabricación conformativa para obtener la pieza deseada habría que fabricar un molde con un hueco en su interior, lo cual es poco posible de realizar, y en caso de realizarlo, habría que buscar un modo de quitar el molde interior de la pieza final.

Con la fabricación sustractiva, una vez realizada la forma externa, no habría forma de eliminar el interior sin tener que agujerear la pieza.

Por lo tanto, en ambos casos habría que fabricar el producto en varias piezas, y posteriormente unirlos, provocando un mayor coste y tiempo de producción. Sin embargo, mediante la fabricación aditiva sí es posible fabricar el objeto hueco de una sola pieza, ahorrando tiempo y consiguiendo una mejor resistencia mecánica. También se puede obtener otra ventaja, y es que la fabricación aditiva permite fabricar objetos con geometrías complejas de una sola pieza, sin tener que llevar a cabo un ensamblado posterior, y sin que tenga un mayor coste de producción debido a su complejidad.

Otra gran ventaja de la fabricación aditiva es que es más barata para series de fabricación corta, es decir, un tamaño de lote reducido. Cuesta lo mismo hacer una unidad que muchas. Se pueden introducir dos ventajas más:

- La democratización de la producción. Dar acceso a la fabricación de objetos a empresas o individuos que antes no lo fabricaban por el alto coste de producir una sola unidad de este.
- La personalización del producto. La fabricación aditiva permite adaptar un producto a las necesidades individuales de cada cliente. Por lo que ya no hay necesidad de fabricar miles de unidades iguales para que resulte competitivo en precio. Esto también se traduce en que el “time to market” de un producto se reduce en gran medida.

Hay que mencionar también que, la impresión 3D es un sistema abierto, naciendo así la figura del “prosumidor”, que son aquellos consumidores que se autoabastecen, produciendo ellos mismos lo que necesiten. [4]

3.1.2 Desventajas Fabricación Aditiva

Al igual que fabricar una unidad de algo sale más económico, pasa lo contrario a la hora de fabricar un lote, para grandes tamaños de lotes es mucho mejor la producción tradicional. No tiene sentido fabricar bolígrafos mediante fabricación aditiva. Lo mismo pasa a la hora de fabricar objetos que son muy sencillos, es más barato hacerlos por otros mecanismos distintos a los de la fabricación aditiva.

Es cierto que la fabricación aditiva es mejor para fabricar piezas con geometrías complejas, sin embargo, también puede haber dificultades a la hora de llevar a cabo la fabricación, dependiendo de la geometría de la pieza hará falta un determinado número de soportes, que son usados para alcanzar zonas del objeto tales como un voladizo. Por lo que un diseño óptimo será aquel que permita la impresión de un objeto utilizando la cantidad mínimas de soportes que permita su eliminación de la mejor manera posible.

A la hora de fabricar un objeto hay que tener en cuenta que este no tendrá las mismas propiedades en todas sus dimensiones, y esto depende de cómo ha sido fabricado. El ángulo en el que se imprima la pieza afectará a la resistencia final del objeto, esto se debe a que las capas que se han ido superponiendo una a la otra no tendrán la misma fortaleza fisicoquímica que tienen elementos consecutivos. A este fenómeno se conoce como anisotropía.

Fenómenos como el anterior, y el hecho de que sean muchos los parámetros que puedan variar a la hora de fabricar un objeto hacen que sea difícil producir objetos exactamente iguales. Esto también afecta a su comercialización.

Hay que mencionar también que los materiales más usados en la fabricación aditiva son polímeros, plásticos y a nivel industrial también es habitual el uso de materiales metálicos e incluso cerámicos[6],

los cuales tienen una resistencia limitada al calor o la luz. Otro problema es el tamaño máximo de las piezas, el cual se ve limitado por el tamaño de la cámara de impresión.

En un entorno abierto y cambiante, que evoluciona de forma acelerada, y donde la repetibilidad es complicada y con productos que sufren anisotropía, es difícil que existan estándares. También hay que mencionar que en todo campo que crece de manera tan acelerada uno de los problemas es la falta de expertos en la empresa que permitan adaptar nuevos cambios con rapidez.

Como fue mencionado en el apartado de ventajas el hecho de democratizar la producción dará lugar a miles de potenciales diseñadores y fabricantes para un único producto, esto se traduce en un entorno más competitivo.[4]

A continuación, en la Tabla 1 se muestra una comparación de las ventajas y desventajas de la Fabricación Aditiva.

Ventajas	Desventajas
Menos residuo (menor coste e impacto en el medio ambiente)	Mayor coste para un gran tamaño de lote
No necesidad de moldes (producción más rápida y menor coste de producción)	Más costoso para productos simples
Geometrías complejas	Menor coste de transporte
Producción de bajo volumen	Posible necesidad de soportes (mayor coste, tiempo y menor calidad)
Rapidez de respuesta a variaciones	Anisotropía
Democratización de la producción	Repetibilidad y consistencia entre productos iguales
Personalización	Resistencia limitada al calor en plásticos y rozamiento
Complejidad	Falta de estándares
Cadena de suministro más corta	Tiempo de impresión
Posibilidad autoabastecimiento	Falta de conocimiento y experiencia

Tabla 1 Ventajas y desventajas de la fabricación AM [5]

3.1.3 Tecnologías de Fabricación Aditiva

Las tecnologías de AM se basan en tres tipos principales, que son la sinterización, en la que se eleva la temperatura del material sin llegar a fundirlo para componer prototipos complejos de gran resolución, la fusión, en la que la energía aportada al proceso es suficiente para fundir el material (haz de electrones) y la estereolitografía, que emplea un método denominado fotopolimerización, utilizando un láser ultravioleta.

Según la ASTM (*American Society for Testing and Materials*) la AM se puede dividir en 7 procesos, estos procesos son: *VAT Photopolymerisation, Material Jetting, Binder Jetting, Material Extrusion, Powder Bed Fusion, Sheet Lamination and Direct Energy Deposition*.

A continuación, se explicará brevemente en que consiste cada una de ellas:

- **VAT Photopolymerisation y SLA.:** aquí se agrupan las tecnologías que consiguen la impresión 3D mediante la polimerización de una cubeta (VAT) que está llena de resina fotosensible. Este método consiste en llenar un recipiente de una resina en estado líquido, que es fotosensible, por lo que reacciona ante la luz solidificándose. Como se puede ver en la Figura 3-3 dentro del recipiente hay una plataforma que tiene libertad para moverse verticalmente, inicialmente está cerca de la superficie. Por la acción de un láser dirigido y con la ayuda de espejos se va solidificando una primera capa, tras solidificarse esta capa, se desliza hacia abajo la plataforma, la resina líquida invade el espacio libre dejado por la plataforma y se vuelve a iniciar el proceso de solidificación de la siguiente capa, así hasta completar el objeto[7]. Trabaja con resinas fotopolímeras. Las ventajas de este método son:
 - Alto nivel de precisión y complejidad
 - Acabado superficial suave
 - Se adapta a grandes áreas de construcción

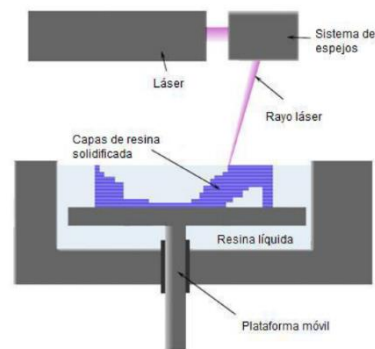


Figura 3-3 VAT Photopolymerization [8]

- **Powder Bed Fusion :** es un método de prototipado rápido que permite la creación de geometrías detalladas mediante la consolidación de capas consecutivas de material en polvo una sobre otra. La fusión del material se lleva a cabo con una fuente de calor como un láser o un haz de electrones (Ver Figura 3-4). Trabaja con plásticos, polvos metálicos y cerámicos, y arena.[9] Las ventajas de este método son:
 - Alto nivel de complejidad
 - El polvo actúa como material de soporte
 - Amplia gama de materiales

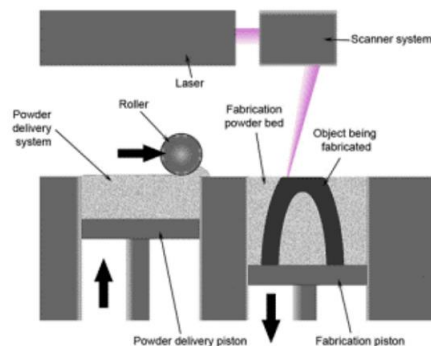


Figura 3-4 Powder Bed Fusion [10]

- **Binder Jetting:** los agentes adhesivos líquidos se aplican selectivamente sobre capas finas de material en polvo para construir las piezas capa a capa (Ver Figura 3-5). Los adhesivos incluyen material orgánico e inorgánico. Las piezas metálicas o cerámicas son cocidas en un horno después de ser impresas. Trabaja con plásticos, polvos metálicos y cerámicos, y arena. [9] Las ventajas de este método son:
 - Permite la impresión de todo tipo de colores
 - Alta productividad
 - Amplia gama de materiales

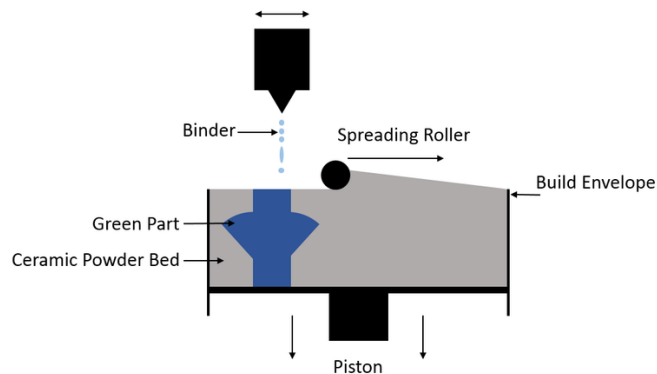


Figura 3-5 Binder Jetting [11]

- **Material Jetting:** cómo se puede observar en la Figura 3-6 el material se proyecta sobre la superficie o plataforma de construcción, donde se solidifica y el modelo se construye capa a capa. El material se deposita desde una boquilla que se mueve horizontalmente por la plataforma de construcción. Las máquinas varían en complejidad y en sus métodos de control de la deposición de material. Las capas de material se curan o endurecen con luz ultravioleta (UV). Trabaja con fotopolímeros, polímeros y ceras.[6] Las ventajas de este método son:
 - Alto nivel de precisión
 - Permite fabricar piezas de todos los colores
 - Permite usar múltiples materiales en una sola pieza

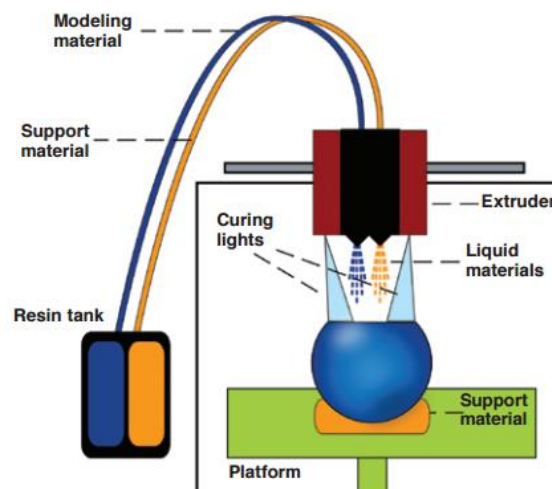


Figura 3-6 Material Jetting [9]

- **Sheet Lamination o SDL:** Los procesos de laminación de láminas incluyen la fabricación aditiva por ultrasonidos (UAM) y la fabricación de objetos laminados (LOM). El proceso de fabricación aditiva por ultrasonidos utiliza láminas o cintas de metal, que se unen mediante soldadura por ultrasonidos. Este proceso requiere un mecanizado CNC adicional y la eliminación del metal no unido durante el proceso de soldadura (Figura 3-7). La fabricación de objetos laminados (LOM) utiliza un enfoque similar, capa por capa, pero utiliza papel como material y adhesivo en lugar de soldadura. Trabaja con papel, hojas de plástico y laminas metálicas. [6] Las ventajas de este método son:

- Altos índices de construcción volumétrica
- Coste bajo
- Permite combinaciones de láminas metálicas

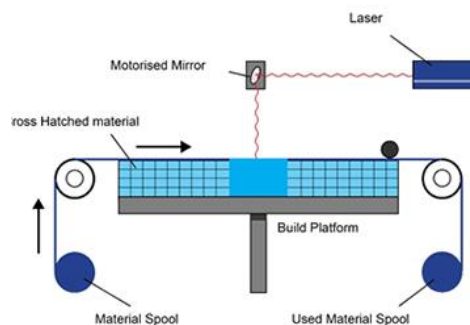


Figura 3-7 Sheet lamination [12]

- **Directed Energy Deposition o LMD:** Una máquina DED, como la que se observa en la Figura 3-8, típica consiste en una boquilla montada en un brazo de varios ejes, que deposita el material fundido en la superficie especificada, donde se solidifica. El proceso es similar en principio a la extrusión de material, pero la boquilla puede moverse en múltiples direcciones y no está fijada a un eje específico. El material, que puede depositarse desde cualquier ángulo gracias a las máquinas de 4 y 5 ejes, se funde en el momento de la deposición con un haz de electrones o láser. Trabaja con cerámicas y polvo de metal.[4] Las ventajas de este método son:

- No está limitado en el espacio.
- Eficaz para reparaciones.
- Uso de múltiples materiales en una sola pieza.
- Mejora de las propiedades mecánicas de las piezas

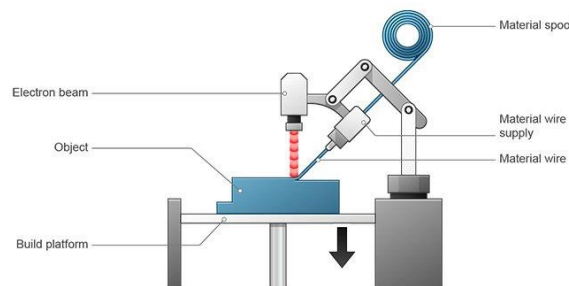


Figura 3-8 LMD [13]

- **Material Extrusion o FDM:** El modelado por deposición fundida (FDM) es un proceso común de extrusión de material en el que el material se extrae a través de una boquilla, donde se calienta y se deposita capa por capa (Ver Figura 3-9). La boquilla puede moverse horizontalmente y la plataforma se mueve hacia arriba y baja verticalmente después de depositar cada nueva capa. El FDM es una técnica comúnmente utilizada por muchas impresoras baratas domésticas y de aficionado a las impresoras 3D. Trabaja con filamentos y pellets termoplásticos.[6] Las ventajas de este método son:
 - Bajo coste
 - Puede utilizarse en un entorno doméstico o de oficina
 - Las piezas resultantes tienen buenas propiedades estructurales

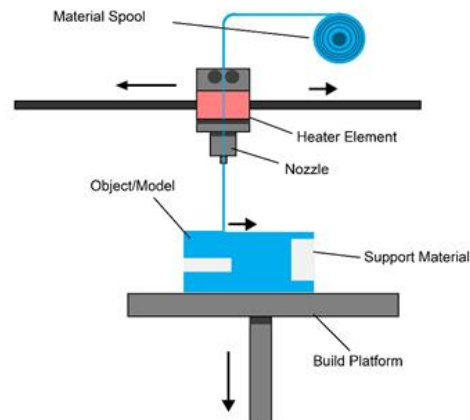


Figura 3-9 FDM [14]

3.2 La fabricación aditiva en las misiones militares

Implementar sistemas de AM en las cadenas de suministro amplía las posibilidades de producción, ya que los productos o componentes pueden fabricarse en todo el mundo, al situar un sistema de AM más cerca del usuario final se pueden reducir los plazos de entrega y los costes logísticos. Para las fuerzas armadas, la producción en misiones militares y humanitarias en el extranjero podría ser una solución prometedora para adquirir rápidamente piezas y productos cerca de los puntos o lugares de despliegue. Las operaciones militares y humanitarias en particular en lugares remotos requieren una cadena de suministro sólida y bien gestionada ya que difieren radicalmente de otras cadenas de suministro. En primer lugar, el objetivo principal no son los aspectos financieros, sino el avance de la eficiencia de las tropas operativas. En segundo lugar, las circunstancias en las que operan las tropas (combate, catástrofes, apoyo a la paz o habilitación) son mucho más variada. En tercer lugar, durante las operaciones militares y humanitarias, la cadena de suministro suele enfrentarse a infraestructuras dañadas, falta de transporte y pérdida de funciones gubernamentales, amenaza o violencia física y la presencia de muchas personas heridas y traumatizadas.

La presión pública hacia las operaciones sostenibles está aumentando a escala mundial y también las fuerzas armadas están empezando a ver la fuerte relación entre sus operaciones durante las misiones y el impacto medioambiental y social. Concretamente, en el contexto militar, invertir en las fuerzas armadas y mejorar la sostenibilidad parece paradójico. Como el principal objetivo de las fuerzas armadas es establecer una defensa fuerte y bien preparada, tener en cuenta el impacto medioambiental y social parece irrelevante. Es por ello por lo que los departamentos militares estadounidenses introdujeron el concepto de operaciones sostenibles, que son aquellas operaciones que se llevan a cabo preservando los recursos necesarios para llevar a cabo con éxito las operaciones de la misión de forma indefinida. [15]

La fabricación aditiva puede aportar una serie de ventajas a las fuerzas armadas:

- La fabricación aditiva puede mejorar la disponibilidad de las piezas de recambio en términos de rapidez, localización y ciclo de vida y, por tanto, hacer que las misiones militares y humanitarias sean más receptivas.
- Mejora la sostenibilidad, en términos de impacto medioambiental, de las operaciones militares y humanitarias en general, pero en particular el suministro de piezas de repuesto durante las misiones.
- Tradicionalmente, las piezas militares son diversas y específicas y, por lo tanto, los retos distinguidos necesitan soluciones adaptadas a las misiones que el suministro de piezas de repuesto debe apoyar.
- La AM mejora la velocidad, la fiabilidad y la manipulación de materiales de las misiones militares y humanitarias. Los problemas de costes y uso de energía podrían verse superados por la criticidad de estas misiones.
- La AM tiene la capacidad de producir piezas específicas personalizadas con equipos y materiales genéricos. Esto proporciona importantes beneficios para el suministro de piezas de repuesto en las cadenas de suministro militares y humanitarias, que por defecto se refieren a componentes altamente específicos y de alta tecnología.
- El aumento de la capacidad de respuesta conducirá a la eficiencia relacionada con el uso de la energía, la reducción de los residuos y el tiempo.

Sin embargo, también tiene una serie de desventajas:

- Requiere una alta intensidad energética.
- La externalización de la AM reduce la barrera de la inversión, pero crea una dependencia de los proveedores que puede dificultar su introducción.
- Los problemas de seguridad en las cadenas de suministro militares y humanitarias son aún más urgentes que en las cadenas de suministro habituales. A pesar de sus ventajas, la digitalización, los problemas de propiedad intelectual y la subcontratación supondrán un gran reto para las operaciones militares.

Teniendo en cuenta las ventajas y desventajas que supondría implementar la fabricación aditiva en las operaciones militares, se puede concluir que esta tecnología de fabricación se vería como una buena opción de estudio. Su implementación aportaría una serie de ventajas que resolverían problemas logísticos que existen actualmente, sin embargo, actualmente no sería viable, ya que es una industria aún poco desarrollada y que todavía no está asentada, ya que se encuentra en continuo desarrollo. Por lo que sería difícil de implementar, debido a que supone un riesgo muy alto.

3.3 Reciclaje

La contaminación del medio ambiente terrestre y marino es un aspecto que considerar hoy en día. Uno de los materiales más contaminantes, debido a su alta presencia en la sociedad es el plástico, su importancia en la economía no ha parado de aumentar en los últimos 50 años, y esto se ve reflejado en los números en cuanto a su producción. La producción mundial de plástico de ha multiplicado por 20 desde 1960, se alcanzó 322 millones de toneladas en 2015, y se calcula que este valor se duplicará durante las dos décadas siguientes.

En la UE (Unión Europea), el reciclado de residuos plásticos sigue estando mal optimizado, ya que la reutilización y el reciclado del plástico una vez este haya finalizado su vida útil es muy bajo. Anualmente en Europa se genera alrededor de 25,8 millones de toneladas de residuos plásticos y sólo el 30% son recogidos para su reciclado. La producción de plástico y la incineración de residuos de plástico producen aproximadamente 400 millones de toneladas de CO₂ al año en todo mundo, cifra muy elevada.[16]

Para hacer frente a estos problemas, no sólo para los residuos plásticos, fue aprobada el 2 de junio de 2020 la Estrategia de Economía Circular[17], donde se establecen las bases para impulsar un nuevo modelo de producción y consumo en el que el valor de productos, materiales y recursos se mantenga en la economía durante el mayor tiempo posible, para así generar el mínimo residuo posible.[16]

El Plan de Acción para los plásticos, desarrollado por el MITERD (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico), tiene como objetivos principales los siguientes:[17]

- Evitar el abandono de plásticos en el medio ambiente.
- Fomentar la prevención de la generación de residuos plásticos.
- Aumentar la tasa de reciclaje, así como la reutilización de plásticos.
- Incrementar el conocimiento y la información sobre este sector.

Otro sector en el cual para la economía circular es clave, es el de la reutilización del textil, la industria textil está en crecimiento. La actividad de reutilizar los productos textiles se remonta a los años 70, sin embargo, es necesario dirigir la industria textil hacia un futuro más sostenible.

Según un estudio elaborado por GreenPeace, el 40 % de la ropa de la que se dispone no es usada a lo largo de un año y cada ciudadano desecha entre 20 y 30 kilogramos de productos textiles al año. En 2019 se recogieron en España 110.000 toneladas de residuos textiles. Sólo el 10 % representa lo que se genera en los hogares, el resto es recogido en vertederos, son cifras poco prometedoras, ya que la recogida selectiva de este tipo de residuos arroja cifras tales como que el 50 % del residuo textil es reutilizable y más del 35% es reciclable, convirtiéndoles en productos de menos valor.[16]

Ante esta situación se ha creado una Ley de Residuos y Suelos Contaminados[17], donde establece una serie de objetivos para que lleven a cabo las entidades locales para la prevención, recogida, preparación para la reutilización, reciclado y valorización de residuos. Uno de los objetivos más importantes, es que todos los municipios deberán establecer, antes del 2025, un lugar de recogida separada de residuos textiles. También, para 2025 y gracias a la nueva Estrategia de la UE para los productos textiles sostenibles que derivarán en uno o varios sistemas de Responsabilidad Ampliada del Productor (RAP) se buscará reducir este tipo de residuos. Una de las medidas que se tomarán es que aquellas empresas que pongan productos textiles en el mercado tendrán, a partir de 2025, que asumir costes y gestionar los residuos generados.

3.4 Sistema de extrusión de material de serie polimérico

La extrusión es toda operación de transformación en la cual un material fundido atraviesa de manera forzada una boquilla, produciendo un elemento de sección transversal y longitud definida. Son muchos los materiales que se pueden procesar mediante extrusión, como los metales, cerámicas, alimentos o plásticos. Este proyecto se centrará en la extrusión de plásticos, el cual es uno de los procesos más importantes de transformación, dicho proceso se realiza en máquinas llamadas extrusoras.

Existen extrusoras de diferentes tipos, sin embargo, las más usadas son las de tornillo o de husillo simple, que son las que se describirán posteriormente.

Generalmente en el proceso de extrusión, el polímero se introduce en estado sólido y sale de la extrusora en estado fundido, obteniéndose un filamento. En otros casos el polímero se introduce en estado sólido, procedente de un depósito o tolva, en este último caso la extrusora actúa como una bomba, aportando la presión necesaria para hacer pasar al polímero a través de la boquilla.

Las funciones principales de la extrusora, en el proceso en el cual el polímero entra en estado sólido y se funde en el proceso, son[18]:

- Transporte del material hacia la zona de fusión
- Fusión o plastificación del material
- Bombeo y presurización del material fundido
- Mezclado
- Desgasificado
- Conformado

Para realizar los pasos citados anteriormente, una extrusora debe estar compuesta por un sistema de alimentación del material, un sistema de fusión-plastificación y, por último, un dispositivo para dar lugar al conformado del material fundido.

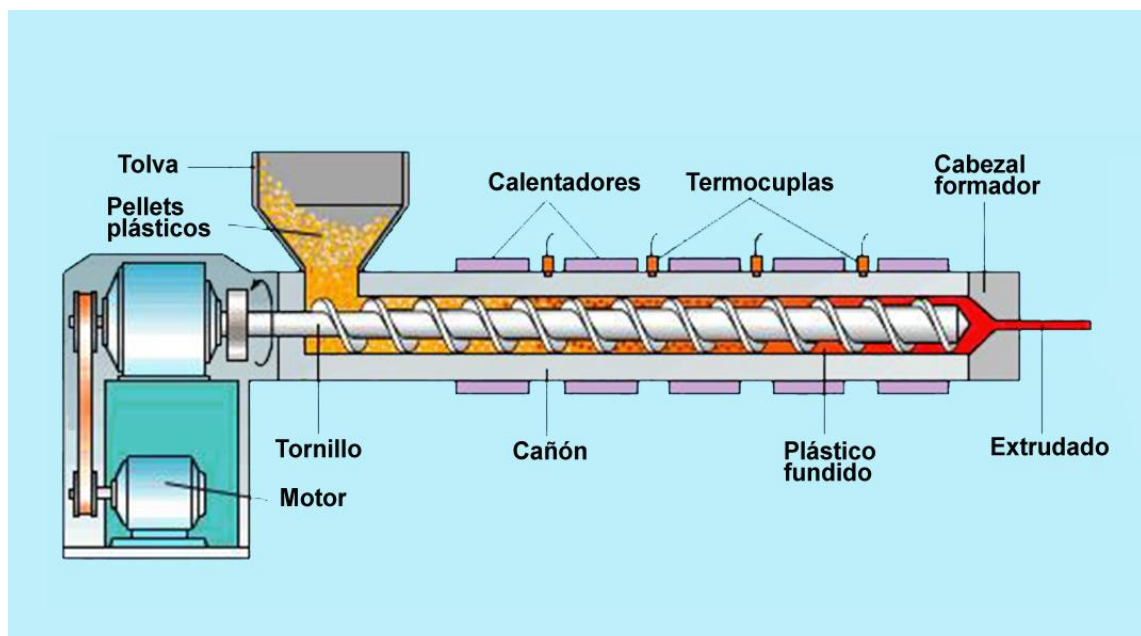


Figura 3-10 Esquema extrusora.[18]

Como se puede observar en la Figura 3-10, el sistema de alimentación más usado es una tolva, en la cual el material a procesar se introduce en forma de polvo granza. El sistema de fusión-plastificación, bombeo y mezclado está formado por un tornillo de Arquímedes, el cual gira en el interior de un cilindro que está calentado, normalmente, por resistencias eléctricas. En la parte final de la extrusora se encuentra

acoplada un cabezal cuya boquilla de salida está diseñada para que tenga un adecuado conformado del producto. La parte más importante de la extrusora es la formada por el conjunto cilindro- tornillo, que, debido al giro, se compacta el sólido, da lugar a la fusión del material y lo transporta hacia la boquilla, donde se conforma y se produce al mismo tiempo la presurización y el mezclado del material.

Todas las extrusoras están divididas en tres zonas (Ver Figura 3-11) bien definidas[19]:

- **Zona de alimentación:** tiene como función principal recoger los gránulos procedentes de la tolva y transportarlos hacia delante por el canal del husillo. A medida que los gránulos son transportados por el canal del husillo, estos comienzan a calentarse y comprimirse. La profundidad del tornillo es constante y está diseñado de modo que la longitud de la zona de alimentación permita una correcta alimentación de la máquina. La alimentación varía dependiendo de los tipos de polímeros con el fin de obtener una eficiencia óptima.
- **Zona de transición (o de compresión):** la profundidad en esta zona es decreciente y realiza diferentes funciones. Primero se realiza la compactación, donde el aire atrapado entre los gránulos es expulsado siendo forzado a ir hacia atrás (hacia la tolva), segundo, conforme disminuye el espesor de la capa de material se mejora la transferencia de calor desde las paredes de la camisa y tercero y último, se produce un cambio de densidad que tiene lugar durante la fusión.

Para la fundición de los granos se obtiene calor internamente por fricción o bien se aplica calor de forma externa por acción de calentadores eléctricos, transmitiendo el calor por conducción, esto hace favorece a que se reduzca el espesor del material. Hay que realizar un minucioso control del calor que se aplica, ya que si se calienta demasiado el material este se puede degradar o hacerse muy fluido, también si el material se enfría demasiado la plastificación no será suficiente, las variaciones de temperatura producen variaciones en el flujo de salida. Se suelen instalar de dos a seis zonas de calentamiento a lo largo de la del cilindro para mejorar la eficiencia del conjunto cilindro-tornillo. La fusión del material tiene que producirse en la zona de compresión.

- **Zona de dosificación:** en esta zona la profundidad del tornillo es constante. Tiene como función principal homogeneizar el material fundido, suministrando al dado un material homogéneo a presión y temperatura constante, alcanzando los valores necesarios para la extrusión. En esta zona es necesario una presión alta para obtener un mezclado del material óptimo. Para conseguir dicha presión se imponen restricciones al flujo del material fundido.

Alguna de las opciones para imponer restricciones para el flujo del material fundido en la zona de dosificación es:

- Disminuir la profundidad del canal.
- Reemplazar la parte final del husillo por una cabeza restrictiva.
- Disminuir el ancho del canal.
- Usar agua de enfriamiento para el husillo. Enfriar y solidificar la capa de plástico adyacente al husillo reduce la profundidad efectiva del canal.

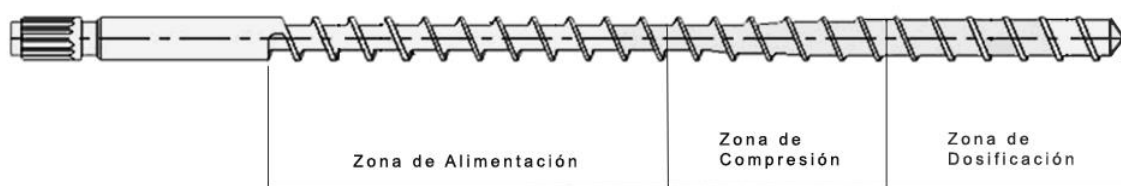


Figura 3-11 Zonas extrusora [18]

3.4.1 Componentes de la extrusora

○ El **tornillo de extrusión** o **husillo**, como se puede observar en la Figura 3-12 es un cilindro alargado que se encuentra rodeado por un filete con forma helicoidal. Es una de las partes más importante en una extrusora, ya que es el encargado de realizar las tareas de transporte, calentar, fundir y mezclar el material. La calidad del producto final depende en gran parte del diseño del tornillo. Lo más importante en el diseño del tornillo son su longitud (L), el diámetro (D), el ángulo del filete (θ) y el paso de rosca (w). Hay que tener en cuenta que cada tornillo es diseñado para trabajar con una combinación boquilla/material específico. [20]

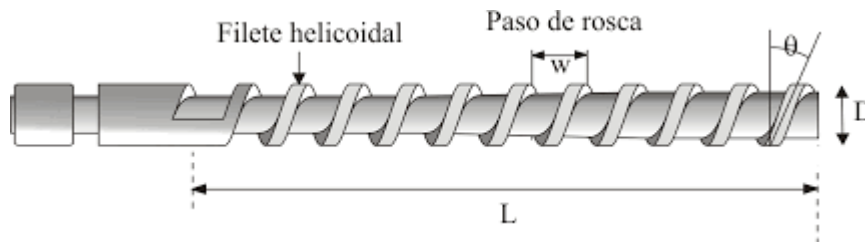


Figura 3-12 Tornillo extrusora.[18]

○ El **cilindro** envuelve al tornillo, como se aprecia en la Figura 3-13, la superficie de este puede ser rugosa, para así aumentar la fuerza de cizalladura que ha de soportar el material y hacer que el material fluya a lo largo de la extrusora. El cilindro suele estar construido con aceros muy resistente a la corrosión y el desgaste mecánico, como los aceros austeníticos y a veces vienen equipados con revestimiento bimetálico que le aporta una elevada resistencia a la corrosión.[20]

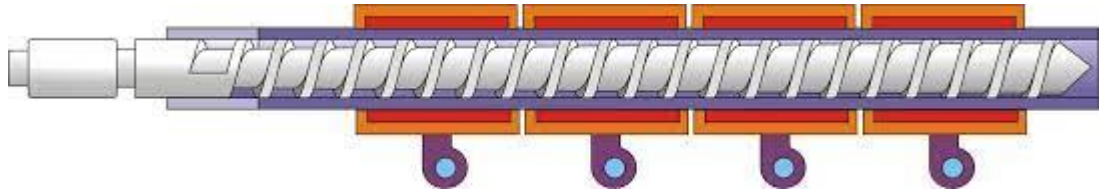


Figura 3-13 Cilindro extrusora. [18]

Normalmente el cilindro consta de un sistema de transferencia de calor, este calentamiento puede ser llevado a cabo por resistencias eléctricas circulares que se encuentran a lo largo del tornillo, y también, mediante radiación. Se pueden apreciar en la Figura 3-13 varias zonas de calefacción, que son independientes entre ellas, esto permite obtener un gradiente de temperatura adecuado desde la tolva hasta la boquilla.

○ La **garganta de alimentación** (Ver Figura 3-14) es la parte del cilindro que se encuentra bajo la tolva, normalmente dispone de un sistema de refrigeración, manteniendo una temperatura lo suficientemente baja que permita que las partículas de granza no se adhieran a las paredes internas de la extrusora. La garganta está unida a la tolva mediante la boquilla de entrada, la cual tiene una longitud de 1,5 veces el diámetro del cilindro y una anchura de 0,7 veces el diámetro del cilindro. [18]

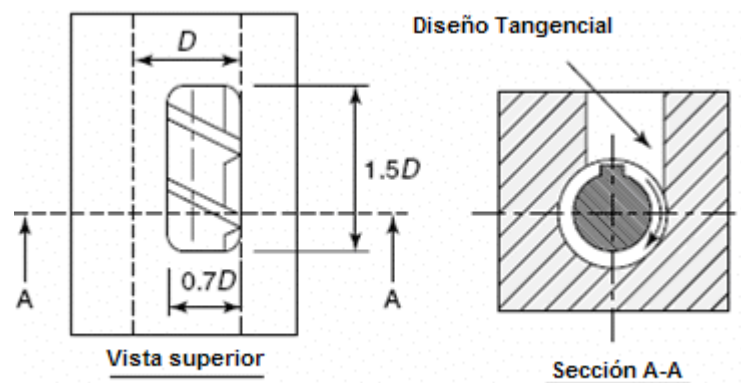


Figura 3-14 Garganta de alimentación. [18]

- La **tolva** es el depósito en el cual se introduce el material con el que se va a trabajar. Hay que ensamblar perfectamente la tolva, la garganta de alimentación y la boquilla de entrada, para conseguir que el flujo del material sea constante. Las tolvas pueden estar diseñadas con sección circular o cuadrada, tal y como se puede observar en la Figura 3-15.

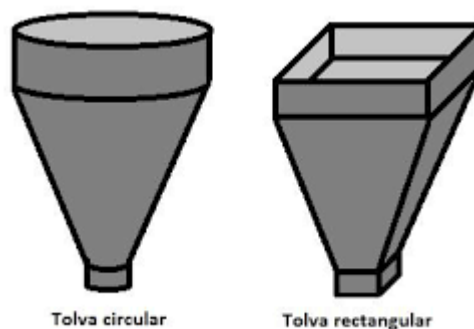


Figura 3-15 Tipos de tolvas.[18]

- Tanto el **plato rompedor** como los **filtros** están situados al final del cilindro, el propósito del plato rompedor es soportar un paquete de filtros, que tienen como misión retener los residuos para que no salgan con el producto final (Ver Figura 3-16). Los filtros también ayudan al mezclado y a la homogenización del fundido. El plato está diseñado de forma que los filtros puedan ser reemplazados fácilmente, ya que si estos están muy sucios puede provocar una caída de presión y esto se traduce en que la producción disminuye.

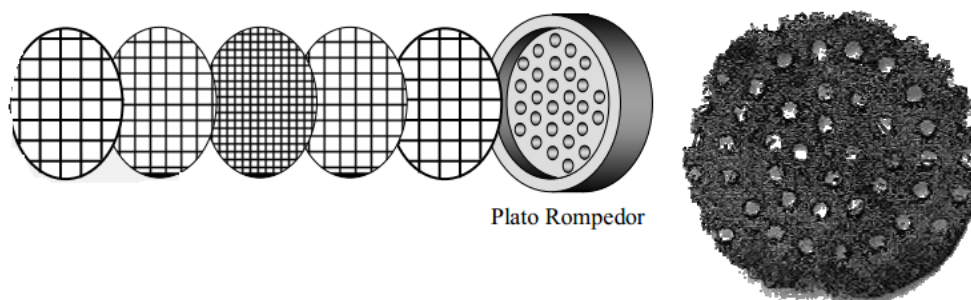


Figura 3-16 Plato rompedor y filtros.[18]

○ El **cabezal** se encuentra en la parte final del cilindro, se encarga de sujetar a la boquilla, como se puede observar en la Figura 3-17. El perfil interno del cabezal ha de estar diseñado para que facilite lo máximo posible el flujo del material en dirección a la boquilla.

En cuanto a la **boquilla** tiene como función principal la de moldear el plástico, y se puede clasificar según la forma del producto final en boquillas anulares, planas, circulares, etc. Otra función importante de la boquilla es la de controlar el diámetro del filamento que es extruido.

Hay tres partes diferenciadas en una boquilla: el canal de entrada, el distribuidor y la salida.

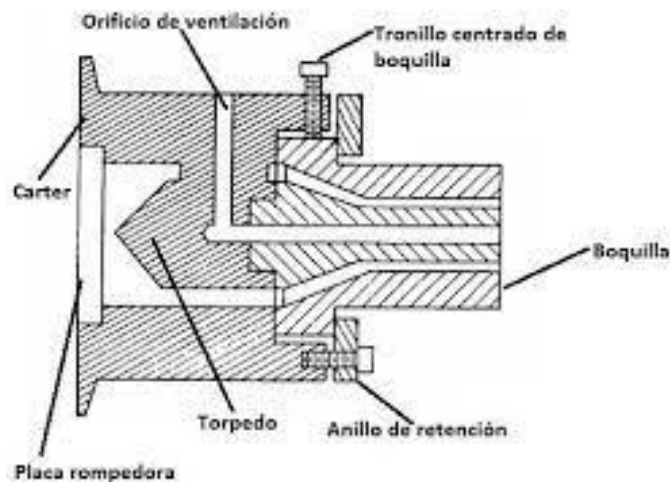


Figura 3-17 Cabezal y boquilla.

3.5 Especificaciones de una máquina extrusora

3.5.1 Diámetro del cilindro (D)

Está relacionado con el tamaño de la extrusora y afecta a la velocidad de flujo. La mayoría de las extrusoras tiene un diámetro de entre 2 y 90 centímetros.

3.5.2 Relación longitud/diámetro (L/D)

Para un diámetro de tornillo cualquiera, la capacidad de fundir, mezclar y homogeneizar a una velocidad de giro del husillo determinado es creciente cuando aumenta la longitud del tornillo, aumentando así la relación L/D . Pero, tornillos muy largos son difíciles de construir y de alinear dentro del cilindro, por lo que no son óptimos. La relación L/D suelen ser 20:1 y 30:1.

3.5.3 Relación de compresión

Se puede definir como la relación volumétrica de las vueltas del filete en las zonas de alimentación y de dosificado. Normalmente se expresa como la relación de profundidades del canal en ambas zonas, aproximación que es válida si el ángulo de los filetes y la anchura del canal son constantes. La relación de compresión normalmente es de 2,0 y 4,0. Una relación de compresión alta aporta una mayor velocidad de cizalla sobre el material fundido, y se asocia a un gradiente de presión mayor.[18]

3.5.4 Configuración del tornillo

Seleccionar el número y diseño geométrico (Ver Figura 3-18) de las zonas del tornillo depende del diseño de la boquilla, las velocidades de flujo que se esperan, la característica de fusión del polímero, su comportamiento reológico y de la velocidad del tornillo. Un tornillo simple, de tres zonas, es definido por el número de vueltas que tiene la hélice en las zonas de alimentación, compresión y dosificación.

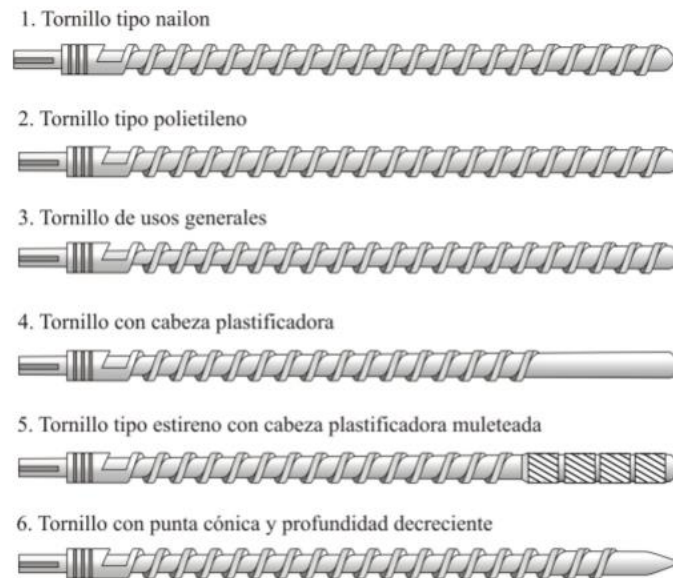


Figura 3-18 Tipos de tornillos [18]

3.5.5 Longitudes de las zonas del husillo

El tornillo de extrusión está dividido en diferentes zonas, donde las longitudes varían ya que en cada una de estas zonas el material sufre cambios en su estado físico. Las ecuaciones para cada zona son las siguientes:

- Zona de alimentación:

$$l_1 = \frac{L}{2}$$

- Zona de compresión:

$$l_2 = \frac{L}{4}$$

- Zona de dosificación:

$$l_3 = \frac{L}{4}$$

En las ecuaciones anteriores, la L corresponde a la longitud total del cilindro. Por lo que la zona de alimentación será la mitad de la longitud total del cilindro, la zona de compresión será un cuarto de la longitud total del cilindro, al igual que la zona de solidificación.

3.6 Extrusoras de filamento comerciales

A nivel comercial existen una gran variedad de extrusoras de filamentos, dentro de las cuales se pueden destacar las enumeradas a continuación.

3.6.1 3DEVO Filament – Maker Series

Es una extrusora de polímeros creada por la empresa 3DEVO, como la que se puede ver en la Figura 3-19, que trabaja con temperaturas de hasta 450 °C y con polímeros comunes de la impresión 3D como: PLA, ABS, PC, PETG, TPU, TPE y PET. Puede operar con dos variantes en su tornillo extrusor, uso general o con un tornillo tipo mixer, ambos cuentan con 4 zonas de calentamiento. El precio de mercado es entre 5300 € y 6950 €, dependiendo de las prestaciones que se quieran buscar. [21]



Figura 3-19 3Devo Extrusor de Filamentos [21]

3.6.2 FelFil Evo

Felfil Evo es una extrusora plástica, diseñada por la empresa FelFil, como la que se puede ver en la Figura 3-20, para ser utilizada por usuarios expertos y principiantes. Opera a una temperatura máxima de 250°C, y es capaz de procesar diferentes tipos de polímeros como por ejemplo PLA, ABS, HIPS o TPU. Al ser OpenSource se puede adquirir la máquina completa por un precio de 719 €, o bien adquirir el kit básico, el cual viene con los componentes más difíciles y costosos de fabricar, por un precio de 299 €. [22]



Figura 3-20 FelFil Evo Extrusor de Filamentos [22]

3.6.3 Filabot EX2

Filabot EX2 es una extrusora creada por la empresa Filabot, como la que se puede ver en la Figura 3-21. Opera a una temperatura máxima de 450 °C, a diferencia de una extrusora común la Filabot EX2 sólo dispone de una zona de calentamiento, es capaz de procesar diferentes tipos de polímeros como por ejemplo ABS, PLA, HIPS y PETG. Su precio mínimo de mercado, sin complementos, es de 2462 €. [23]



Figura 3-21 Filabot EX2 Extrusora de Filamentos [23]

3.6.4 Filabot EX6

Como la extrusora anterior, Filabot EX6 es una extrusora creada por la empresa Filabot, como la que se puede ver en la Figura 3-22, pero de una gama superior. A diferencia de la anterior, la EX6 cuenta con 4 zonas de calentamiento. También tiene mayor capacidad de la tolva y una capacidad de extrusión superior. Es capaz de procesar diferentes tipos de polímeros como por ejemplo PLA, ABS, HIPS, PC, PP, PS, NYLON, HDPE y PETG. Su precio mínimo de mercado, sin complementos, es de 10668,44 €. [24]



Figura 3-22 Filabot EX6 Extrusora de Filamentos [24]

3.6.5 Wellzoom Desktop Filament Extruder B

Wellzoom Desktop es una extrusora creada por la empresa Wellzoom, como la que se puede ver en la Figura 3-23. Opera a una temperatura máxima de 300 °C, a diferencia de una extrusora común la Wellzoom Desktop sólo dispone de una zona de calentamiento, es capaz de procesar diferentes tipos de polímeros como por ejemplo ABS, PLA y PVA. Su precio es de 514,73 €. [25]



Figura 3-23 Wellzoom Desktop B Extrusora de Filamentos [25]

3.7 Limitaciones de las extrusoras comerciales

Las extrusoras descritas en el apartado anterior son máquinas compactas, de uso sencillo, por lo que los usuarios que las adquieran no tendrán problemas a la hora de usarla. Al ser máquinas comerciales hay garantías de que van a tener un buen funcionamiento, por lo que el producto final tendrá mejores propiedades.

Sin embargo, las máquinas descritas tienen una serie de limitaciones que pueden ser un problema para el usuario que quiera adquirir una. Al ser una extrusora comercial, tiene un diseño cerrado, por lo que el usuario no podrá hacer modificaciones sobre la máquina, puesto que sólo se le podrían añadir piezas diseñadas por el fabricante, en caso de avería su mantenimiento sólo podría llevarse a cabo por el fabricante. Esto también hace que su coste de adquisición y de mantenimiento sea mayor.

Otra de las limitaciones de las máquinas comerciales es el rango de materiales con el que trabaja, ya que cada máquina está diseñada para que trabaje con unos materiales específicos, por lo que no permite al usuario usar los materiales que desee.

4 CONDICIONES GENERALES DEL DISEÑO DEL SISTEMA EXTRUSOR

4.1 Especificaciones del diseño

Previamente a comenzar con el diseño del dispositivo, es necesario que se establezcan una serie de requisitos o requerimientos que el mismo debe cumplir, y para lo cual en este apartado se exponen estas necesidades del diseño para hacer de este un dispositivo de calidad. En función de la bibliografía consultada y de los requerimientos solicitados, se establecieron los siguientes requisitos a cumplir por el dispositivo:

1. Que sea un sistema modular, lo cual permite, aparte de funcionar como un sistema de extrusión de filamentos, trabajar con la máquina acoplándola a una impresora 3D, actuando como un sistema de inyección de material.
2. Estará formado por 4 módulos bien definidos. Estos cuatro módulos serán el bloque extrusor, el bloque de refrigeración, el bloque de alimentación y el bloque de bobinado.
3. Pueda trabajar en posición horizontal y vertical, lo que lo hace un sistema versátil.
4. Que tenga un diseño sencillo para facilitar al usuario su utilización, también que sea una máquina compacta y fácil de transportar, por lo tanto, se busca optimizar su peso.
5. Diseñar un dispositivo con materiales de bajo coste, por lo tanto, será un dispositivo económico y fácil de fabricar.
6. Permita el uso de distintos tipos de materiales, específicamente materiales poliméricos, pero también otros menos habituales, como son los residuos textiles y nanopartículas de material específico.
7. Se busca que el dispositivo tenga un mantenimiento fácil de llevar a cabo, ayudando así a que se eviten averías.
8. Sea un dispositivo que cumpla las medidas de seguridad adecuadas para que no provoque ningún daño al usuario, para ello se han añadido piezas de protección, como un segundo

cilindro, que aisle térmicamente al cilindro principal, y una seta de emergencia, para parar el sistema en caso de que exista algún problema.

4.2 Componentes básicos del sistema de extrusión

Una vez han sido establecidos los requerimientos del dispositivo a diseñar, se hablará sobre el apartado de diseño, donde el software empleado ha sido Autodesk Inventor correspondiente al año 2022, un software de diseño asistido por ordenador (CAD), que aporta herramientas específicas para el modelamiento mecánico, permitiendo tanto el diseño de las distintas piezas como la realización de los planos correspondientes. Antes de empezar, se planteó un diseño conceptual inicial, en el cual basarse.

A continuación, mediante el uso de un diagrama de bloques se presentará el esquema general de la máquina diseñada, que se puede observar en la Figura 4-1.

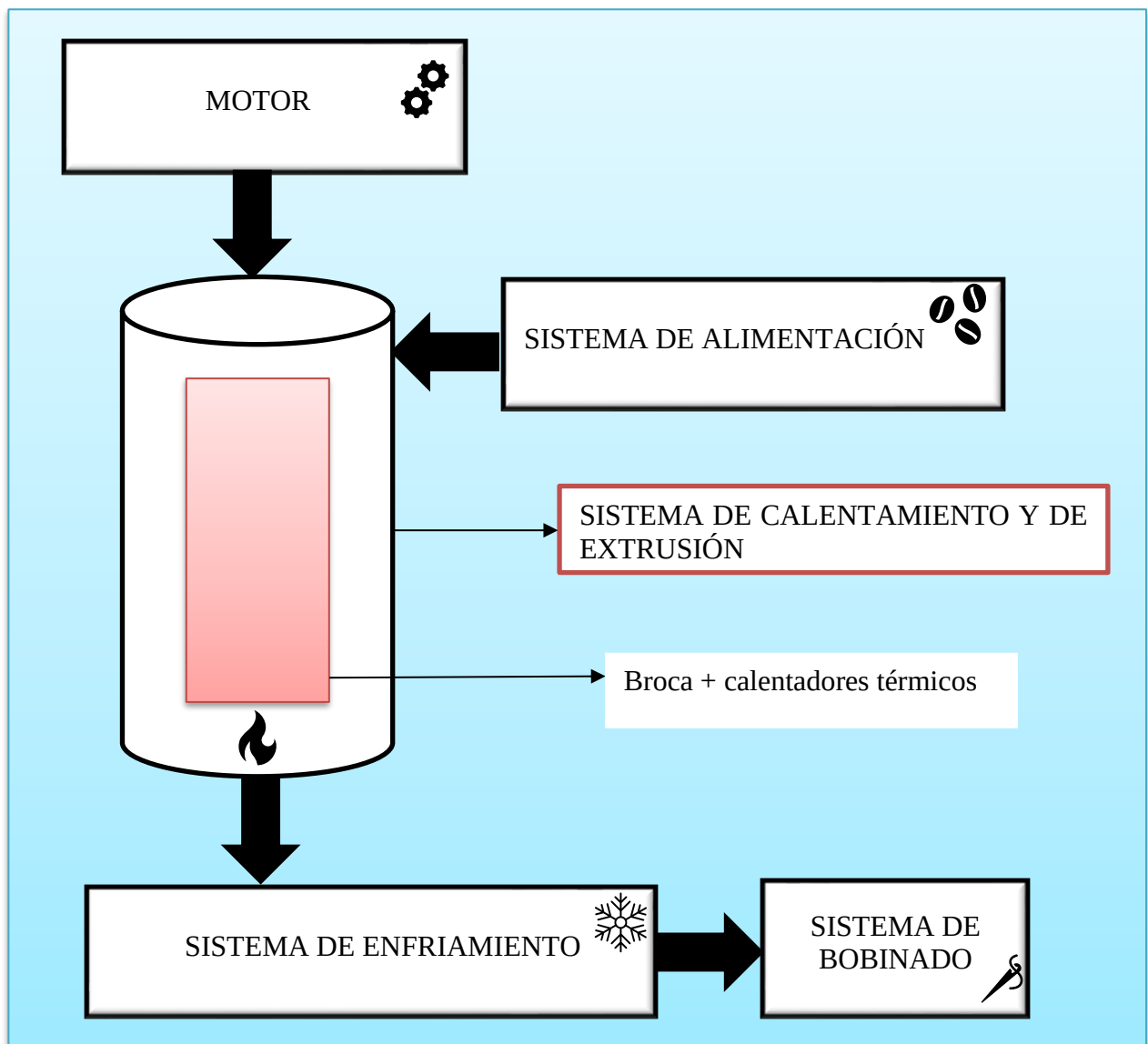


Figura 4-1 Esquema general (Elaboración propia)

En función de la información obtenida acerca de la técnica de extrusión, el diseño consta de 4 módulos principales, bien definidos:

- **Módulo de alimentación:** el material con el que se va a trabajar se introduce en la tolva de alimentación, la cual está conectada con el cilindro. El material llega hasta el interior del cilindro a través de unos orificios realizados en la superficie de este. Consta de dos elementos:
 - Tolva de alimentación, depósito donde se introduce el material que va a ser extruido
 - Conducto de alimentación, se encarga de conectar la tolva de alimentación con el cilindro, transporta el material hacia el interior de este para iniciar el proceso de extrusión.

- **Módulo de calentamiento y extrusión:** la función principal de este módulo es la de recibir el material en estado sólido, proveniente del módulo de alimentación, para que este sea fundido posteriormente. Mientras el material es fundido, dentro del cilindro, por acción de la broca y el motor el material es extruido hacia el bloque de enfriamiento. Está formado por varios componentes, descritos a continuación:
 - Motor, es una parte esencial de la máquina, ya que es el encargado de proporcionar la potencia necesaria para hacer girar la broca a la velocidad adecuada para un funcionamiento óptimo de la máquina. Se incorpora una reductora para evitar que el giro de la broca sea demasiado rápido y además obtener un par motor elevado.
 - Cilindro, es la pieza que envuelve a la broca, también está incorporado en él la tolva de alimentación y los calentadores térmicos. Se encarga de recubrir a la broca y se deposita el material, procedente de la tolva, en su interior.
 - Broca, es el encargado de transportar el material a través del cilindro, debido al giro que este realiza en su interior. El giro es provocado por el motor al que va conectado.
 - Calentadores, son los encargados de aportar calor al cilindro, con el objetivo de fundir el material que es introducido en el cilindro en forma de pellets sólidos o partículas.
 - Boquilla, se encuentra al final del cilindro y es por donde se expulsa el material, con el diámetro del cabezal.
 - Aislante térmico, se incorpora en el exterior del cilindro. Para aislar el cilindro que se encuentra a altas temperaturas, evitando accidentes al operario.

- **Módulo de enfriamiento:** el material fundido, proveniente del sistema de calentamiento y de extrusión, es enfriado mediante unos ventiladores instalados a lo largo de una pasarela, el objetivo del sistema es solidificar el material. Está formado por los siguientes elementos:
 - Carril de aluminio, por este carril es transportado el material proveniente del módulo de extrusión. A medida que el material recorre el carril se va enfriando.
 - Ventiladores, su función es enfriar el material fundido que es depositado a en el carril.

- **Módulo de bobinado:** recoge el material enfriado en forma de lámina, y este pasa a través de un conjunto de rodillos que lo transforma en un hilo. Los rodillos funcionan por la acción de unos motores que tienen incorporados. Consta de una serie de elementos, que se describirán a continuación:
 - Extractor, es el encargado de determinar el diámetro del filamento.
 - Sensor de diámetro, tiene como función analizar el diámetro del filamento, mientras este va siendo extruido.
 - Rodillo, se encarga de mantener la tensión en el filamento y de guiarlo a través del sensor de diámetro.
 - Bobina, se encarga de enrollar el filamento en el carrete.
 - Carrete, su función es la de enrollar el filamento en un carrete de manera uniforme y evitando que este se superponga.

5 DISEÑO DEL SISTEMA EXTRUSOR

A continuación, se lleva a cabo una descripción detallada de los elementos diseñados del sistema, explicándose cuales han sido las soluciones adoptadas para alcanzar los objetivos planteados para el presente proyecto.

5.1 Bloque de alimentación

En el bloque de alimentación es depositado el material con el que se va a trabajar, este se deposita en la tolva de alimentación y por acción de la gravedad el material se va desplazando a lo largo del conducto de alimentación hasta alcanzar el cilindro. A continuación, se describen las piezas que lo constituyen.

5.1.1 Tolva de alimentación

La tolva de alimentación diseñada es una tolva circular, como ya se sabe hay que ensamblar perfectamente la tolva, la garganta de alimentación y la boquilla de entrada, para conseguir que el flujo del material sea constante. En la Figura 5-1 se puede observar una vista seccionada, donde se puede apreciar como la tolva está diseñada para que su diámetro vaya disminuyendo, de este modo facilita que el material sea transportado hacia el interior del conducto de alimentación. Va desde un diámetro interior de 40 milímetros hasta un diámetro de 8 milímetros. La tolva de alimentación estará fabricada en plástico ABS, para abaratar los costes de fabricación y debido a su bajo peso respecto a otros materiales.

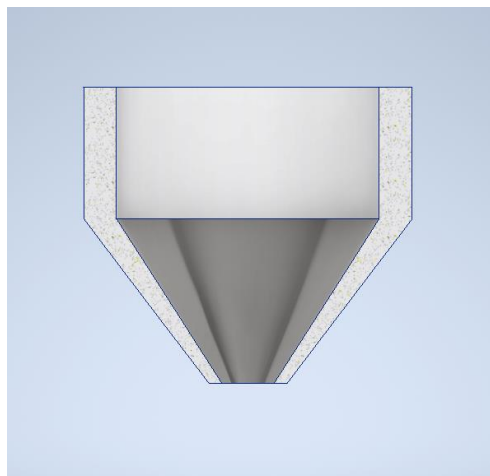


Figura 5-1 Vista seccionada tolva de alimentación (Elaboración propia)

5.1.2 Conducto de alimentación

El conducto de alimentación estará fabricado de cobre, esto es debido a que el cobre se puede moldear con facilidad y, por lo tanto, darle la forma deseada. Al estar el cilindro en vertical, se necesitará que el conducto tenga una inclinación, como se puede observar en la Figura 5-2, para facilitar la entrada del material en el cilindro. Tiene un diámetro exterior de 8 milímetros, para que este encaje tanto con el cilindro como con la tolva de alimentación, y un diámetro interior de 5 milímetros.



Figura 5-2 Vista seccionada conducto de alimentación (Elaboración propia)

5.1.3 Unión del bloque de alimentación

La unión del bloque (Ver Figura 5-3) de alimentación con el cilindro será por encaje. La unión del sistema de alimentación con el cilindro es de vital importancia, debido a que hay que conseguir que el flujo del material sea óptimo y que no haya pérdidas de material.



Figura 5-3 Sistema de alimentación (Elaboración propia)

5.2 Bloque extrusor y de calentamiento

Este bloque se encarga de recibir el material proveniente del bloque de alimentación, y una vez el material se introduce en el cilindro, mediante la acción del motor y el tornillo, el material va siendo desplazado a lo largo del cilindro, a la vez que este se funde por acción de los calentadores térmicos que se encuentran en la superficie del cilindro. Finalmente, el material fundido pasa a través de la boquilla hacia el siguiente bloque.

5.2.1 Motor

El motor elegido para este proyecto es el Nema 23 (Figura 5-4) de la marca Stepperonline, este motor viene con una reductora 15:1 integrada, cuya función es aumentar el par de motor a 30 Nm, característica que se seleccione este motor, ya que se necesita un par elevado para que la broca pueda arrastrar y aplastar, homogeneizando de esta manera todo el material a lo largo del cilindro sin problemas.



Figura 5-4 Motor Nema 23 (cortesía del fabricante)

También se ha elegido un motor paso a paso, la elección de este motor es debido a que permite hacer un control preciso de la velocidad, lo cual sirve de ayuda para obtener un flujo continuo del material extrusionado. También permite obtener pares de motor elevados a bajas velocidades, lo cual permite una mezcla homogénea del material a lo largo de la longitud del cilindro, y además son fáciles de controlar mediante microcontroladores como Arduino, o “drivers” sencillos.

Las características generales del motor son las mostradas en la Tabla 2

Características	Valor
Ángulo de paso	0,12 °
Corriente nominal	2,8 A
Tensión	2,6 V
Par de giro máximo	30 Nm
Eficiencia	81%
Diámetro eje	12 mm
Relación de reducción	15:1

Tabla 2 Características Nema 23

5.2.2 Soporte motor Nema 23

El motor seleccionado cuenta con un soporte específico como el mostrado en la Figura 5-5, que permite fijar el motor a la superficie que se desee. El material del que está fabricado el soporte es de acero inoxidable, tiene un espesor de 3 milímetros y ambos lados del soporte se encuentran soldados, dando el refuerzo necesario para garantizar una resistencia suficiente. Al igual que el motor, el soporte está fabricado y diseñado por la marca Stepperonline.



Figura 5-5 Soporte Nema 23 (cortesía del fabricante)

5.2.3 Tornillo principal

El diseño del tornillo es una parte crucial para el buen funcionamiento de la máquina, ya que esté como se mencionó anteriormente en el estado del arte es el encargado de transportar y mezclar el material, por lo que la calidad del producto final depende en gran medida del tornillo.

El tornillo (Ver Figura 5-6) diseñado para el proyecto tiene un diámetro de 16 milímetros y 300 milímetros de longitud, tiene una longitud de trabajo de 220 milímetros.

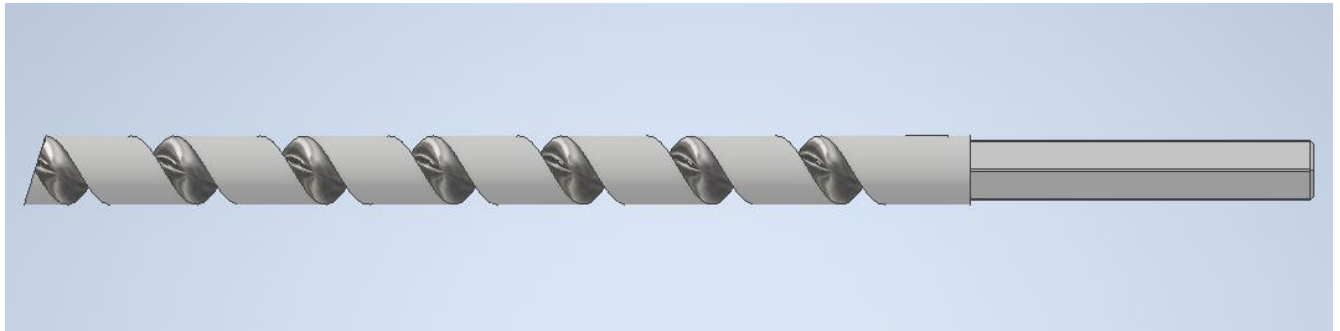


Figura 5-6 Tornillo extrusor (Elaboración propia)

El material seleccionado para el tornillo es acero al carbono, ya que es más resistente a la abrasión y duradero que otros materiales metálicos.

A partir del tornillo, se diseña el cilindro, cuya longitud estará influenciada por la longitud de trabajo de la broca.

5.2.4 Cilindro principal

El cilindro principal (Figura 5-7) tiene una longitud total de 230 milímetros, ajustándose así a la longitud de trabajo del tornillo. Tiene un diámetro exterior de 22 milímetros y un diámetro interior de 16 milímetros, adaptándose al diámetro del tornillo.

Cuenta con dos gargantas de alimentación, estos orificios están diseñados con una pendiente de 45°, favoreciendo de esta manera la entrada del material en el cilindro. Al contar con dos orificios permite

trabajar con dos materiales distintos de forma simultánea, aportando nuevas propiedades al producto final, así como aumentar la cantidad de material que entra en el cilindro. La parte final del cilindro se encuentra roscada interiormente, la rosca seleccionada es M16x2 para poder acoplar una boquilla en él, pudiendo de esta manera trabajar como sistema de inyección de una impresora 3D.

El cilindro está fabricado con acero 316, material con buenas propiedades físicas y mecánicas, entre las que se encuentra que es buen conductor térmico, por lo que ayuda a que el calor se propague a lo largo del cilindro, ayudando a que esté alcance la temperatura deseada para que el material introducido en el cilindro sea fundido. A diferencia del aluminio, el acero presenta menos desgaste por abrasión, propiedad de gran importancia, ya que las paredes interiores del cilindro están en continuo contacto con el material aportado para la extrusión, además de que, en caso de deslizamiento de la broca respecto al cilindro, esta podría llegar a rozar el interior del cilindro, también este soportará más peso, tensiones y temperaturas más elevadas que el aluminio.

Como inconvenientes hay que mencionar que el acero tiene un peso más elevado, por lo que puede dificultar el manejo y transporte de la pieza, también el acero tiene menor resistencia a la corrosión, sin embargo, al no estar expuesto a ambientes húmedos, no será un inconveniente. En cuanto al peso, se ha calculado el peso final de la pieza si es fabricado en aluminio o en acero, para el aluminio sale un peso total de 0,139 kg, mientras que para el acero un peso de 0,411 kg, lo cual supone aproximadamente triplicar la masa del cilindro, pero sin embargo se encuentra dentro de un rango de masa asumible en el diseño del presente dispositivo, y junto con las ventajas del uso del acero frente al aluminio, es por ello que se ha escogido el acero 316 como material para el cilindro principal.

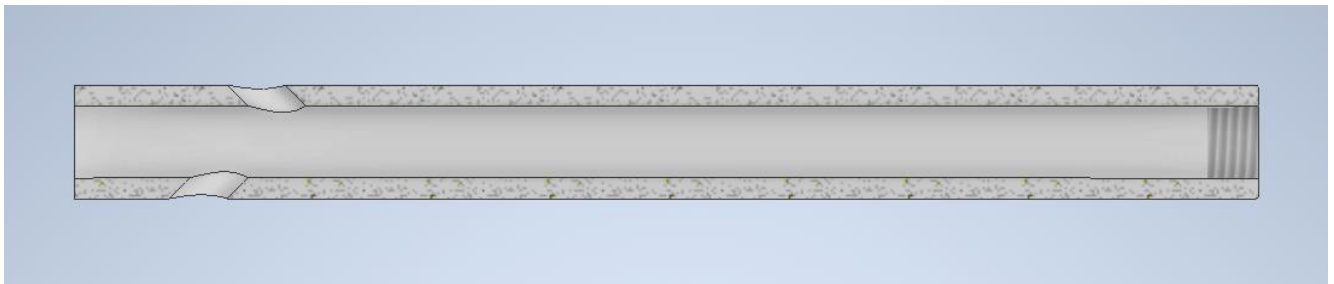


Figura 5-7 Cilindro principal (Elaboración propia)

5.2.5 Elección calentadores térmicos

Como ya has sido comentado anteriormente, el material que se introduce en el cilindro es necesario que sea fundido, para ello se hace uso de calentadores térmicos. Para la elección del calentador térmico habrá que buscar uno que cumpla con los siguientes requisitos:

- Sea de fácil aplicación e incorporación a la máquina diseñada, evitando que se produzcan alteraciones en las piezas diseñadas.
- Aporte calor suficiente, consiguiendo alcanzar temperaturas de aproximadamente 250 °C. Que el calor producido se reparta a lo largo del cilindro y no sólo en un punto concreto.
- Sencillez a la hora de ser usados, así como de controlar la temperatura que está siendo generado.
- Producto económico y de fácil sustitución en caso de que sea dañado.

Teniendo en cuenta los requerimientos anteriores se estudiaron varias opciones, las cuales se verán a continuación:

1. Calentador de cartucho

Los calentadores de cartucho, como se puede observar en la Figura 5-8, tienen cables de conexión de alta temperatura que pueden soportar hasta 450 °C. Tienen una tapa cerámica de alto impacto adecuada para aplicaciones de alta vibración, están diseñados para proporcionar calor localizado a una zona de trabajo restringida que requiera control térmico. Es necesario realizar orificios en el cilindro para introducirlos en él. Es necesario el uso de elemento de control y de detección de temperatura.



Figura 5-8 Calentador de cartucho (cortesía del fabricante)

2. Cable calefactor

Son elementos de calefacción eléctrica (Ver Figura 5-9) diseñados para proporcionar calor controlable y enfocado. Pueden soportar temperaturas de hasta 200 °C. Son fáciles de colocar, flexibles y se pueden cortar para hacer uso de la cantidad necesaria. Es necesario el uso de elemento de control y de detección de temperatura.



Figura 5-9 Cable calefactor (cortesía del fabricante)

3. Calentador flexible de silicona

Su temperatura pico de trabajo es de 300 °C, son fáciles de aplicar y pueden acoplarse a objetos de forma irregular. También son ligeros, lo que resulta beneficioso para acoplarlo en el proyecto. Estos calentadores flexibles de silicona, como el de la Figura 5-10, son una propuesta económica. Es necesario el uso de elemento de control y de detección de temperatura.

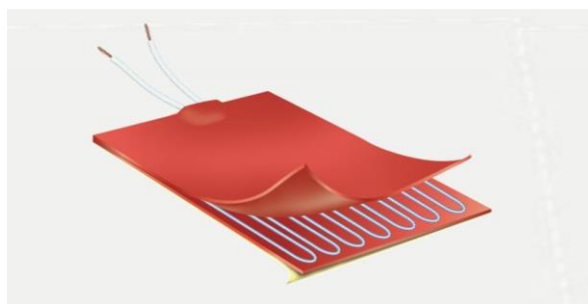


Figura 5-10 Calentador de silicona (cortesía del fabricante)

Teniendo en cuenta las características de las opciones dada y de los requerimientos para la realización del proyecto, se ha decidido hacer uso de los calentadores de silicona (tercera opción), debido a su fácil aplicación y a su capacidad para poder ser acoplado a cualquier tipo de superficie. Otra de las ventajas que la diferencia de las otras dos opciones es su bajo coste. Es por ello por lo que se decide hacer uso de los calentadores de silicona. La primera opción es descartada debido a su aparatosa aplicación, ya que habría que perforar el cilindro, y la segunda opción es descartada debido a que haciendo uso del cable calefactor no se alcanzaría la temperatura deseada (250 °C).

5.2.6 Material aislante

Debido a que cuando trabaje el dispositivo, este va a alcanzar altas temperaturas, es necesario incorporar un aislante térmico en el cilindro tanto como medida de seguridad como para mantener constante la temperatura dentro del cilindro principal. Para el dispositivo diseñado se ha decidido colocar lana de vidrio (Ver Figura 5-11), dicho material es 100% reciclable, siendo así más económicos que otros materiales, cumpliendo por lo tanto el requerimiento de que sea una máquina de bajo coste y son fáciles de adaptar a cualquier superficie. La temperatura máxima de trabajo se encuentra entre los 250 °C y los 400 °C.



Figura 5-11 Lana de vidrio (cortesía del fabricante)

5.2.7 Cilindro protector

Para proteger al usuario de las altas temperaturas que puede alcanzar el cilindro, debido a que este es calentado por acción de los calentadores de silicona para llevar a cabo la fusión del material, se ha diseñado un cilindro protector (Ver Figura 5-12) para evitar que se entre en contacto con la superficie exterior del cilindro principal.

El cilindro tiene un diámetro exterior de 60 milímetros, y el interior de 40 milímetros, esta diferencia es debido a que se necesita espacio para poder colocar en su interior el cilindro, los calentadores y el aislante térmico. La longitud del cilindro protector es de 160 milímetros, el material del que estará fabricado es de aluminio.

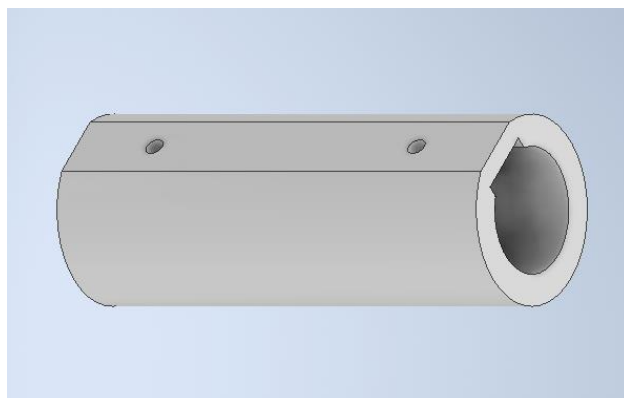


Figura 5-12 Cilindro protector (Elaboración propia)

Como se puede observar, no es un cilindro perfecto, se ha eliminado material para que se facilite su unión a la placa de aluminio, Esta unión se hará mediante tuercas, para ello se han realizado dos agujeros de 6 milímetros.

A continuación, en la Figura 5-13 se puede observar una vista seccionada del conjunto cilindro principal, cilindro protector y el tornillo principal.

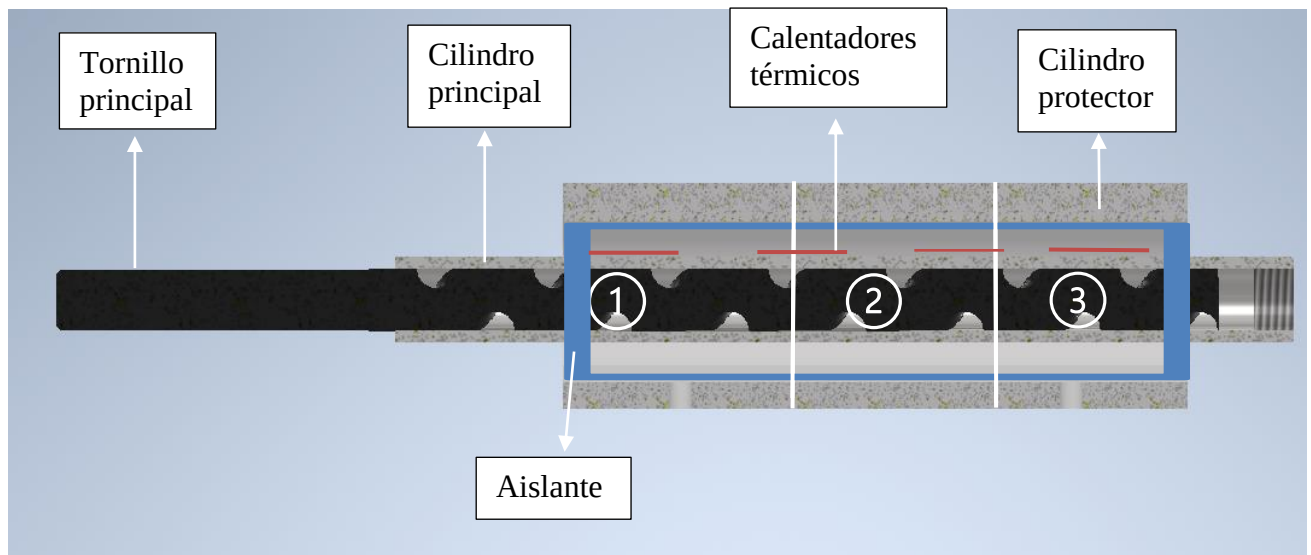


Figura 5-13 Vista seccionada unión cilindro principal, cilindro protector y tornillo (Elaboración propia)

Como se ha visto en la literatura del presente proyecto, el tornillo extrusor está dividido en 3 partes, donde cada cual tiene una longitud determinada, así como un gradiente de temperatura, estas zonas son las siguientes:

- La parte número uno es la zona de alimentación, cuya longitud es $L/2$, donde L es la longitud de trabajo de tornillo, en este caso, tendrá una longitud de 110 milímetros. La temperatura máxima alcanzada en esta zona es aproximadamente 100 °C.
- La parte número dos es la zona de compresión, cuya longitud es $L/4$, donde L es la longitud de trabajo de tornillo, en este caso, tendrá una longitud de 55 milímetros. La temperatura máxima alcanzada en esta zona es aproximadamente 150 °C.
- La parte número tres es la zona de dosificación cuya longitud es $L/4$, donde L es la longitud de trabajo de tornillo, en este caso, tendrá una longitud de 55 milímetros. La temperatura máxima alcanzada en esta zona es aproximadamente 250 °C.

5.2.8 Elección método transporte

Al estar colocado el cilindro en vertical, se crea una situación crítica, donde se necesita de un sistema que conecte la parte vertical de la extrusora con la parte horizontal de la misma, para el diseño de este sistema se tuvieron en cuenta una serie de requerimientos:

- Diseño sencillo y de fácil ajuste en el dispositivo diseñado.
- Que no se produzcan acumulaciones de material a lo largo del transporte del material hacia la zona de refrigeración.
- Que asegure que el material sea transportado hacia el módulo de refrigeración, y que también ayude a la homogeneización de la mezcla.

Teniendo en cuenta las especificaciones mencionadas anteriormente, se ha decidido diseñar el sistema descrito a continuación, que se encargara de realizar la función de transportar el material hacia el bloque de refrigeración.

Esta opción consiste en añadir un segundo cilindro (Ver Figura 5-14) en horizontal, se colocaría por encaje bajo el primer cilindro. Este cilindro al igual que el cilindro principal, iría por su interior una broca y por lo tanto es necesario la existencia de otro motor, que permita el giro de la broca, para que el material sea transportado a lo largo de este. La parte final del cilindro se encuentra roscada interiormente, como se puede ver en la Figura 5-15, la rosca seleccionada es la M16x2, lo que permite acoplar una boquilla, que le dé al material el diámetro final deseado. El paso del material por este segundo cilindro también ayuda a la homogeneización de la mezcla, mejorando así las propiedades del producto final.

Hay que recalcar que la longitud de este segundo cilindro es notablemente menor que la del primer cilindro y que a diferencia del primero no dispone de calentadores térmicos, debido a que no es necesario, ya que el material procedente del primer cilindro ya vendría fundido y el cilindro estará a temperatura elevada por conducción del calor de la última etapa (máxima temperatura) del cilindro principal.

Sin embargo, uno de los inconvenientes de esta propuesta es que no es la opción más económica, debido a que habría que incorporar un segundo motor, así como un segundo tornillo.

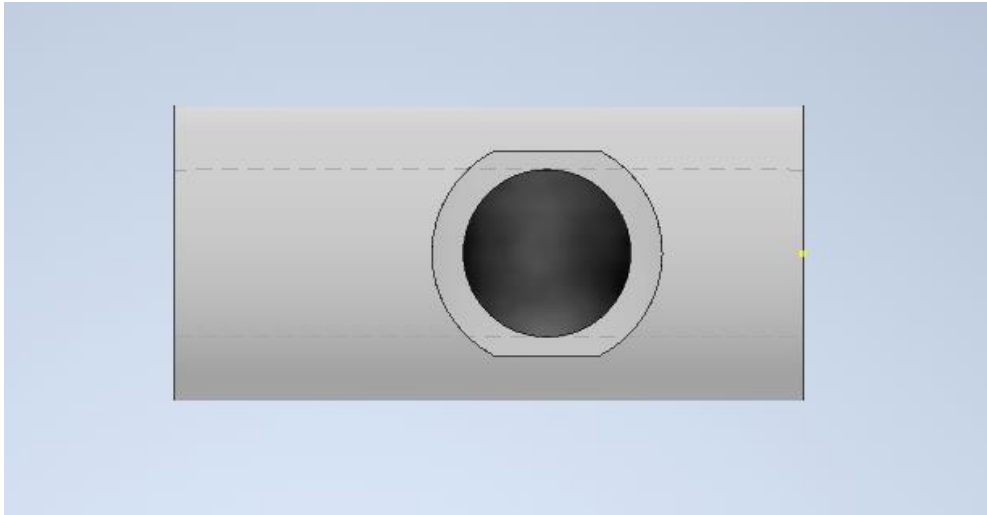


Figura 5-14 Cilindro secundario (Elaboración propia)

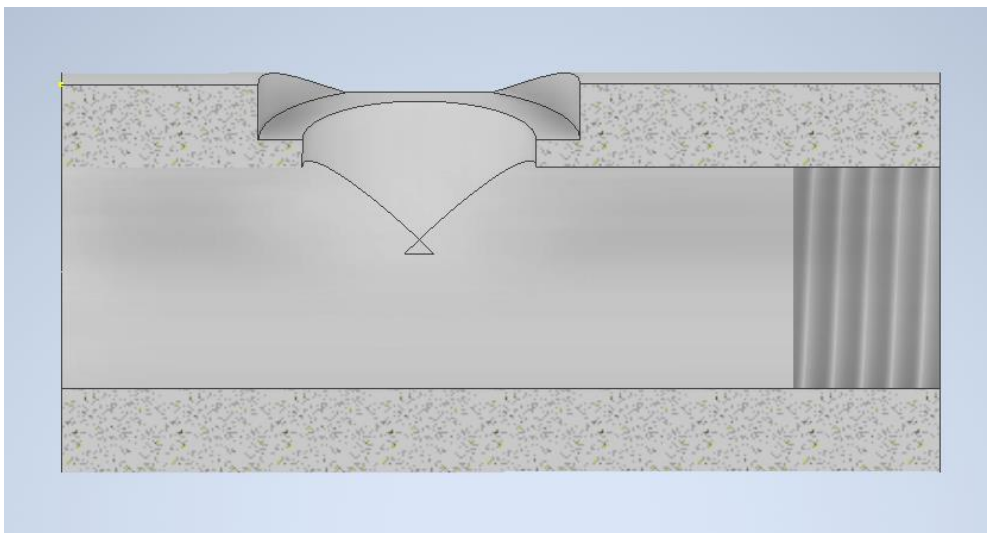


Figura 5-15 Vista seccionada segundo cilindro (Elaboración propia)

Para la realización de este proyecto se ha escogido esta opción, para asegurar que el material sea transportado de manera óptima, y evitar de este modo que se acumule el material. Al elegir esta opción es necesario la incorporación de un segundo tornillo, y, por lo tanto, incorporar un segundo motor para llevar a cabo el movimiento de este.

El cilindro secundario tiene una longitud total de 60 milímetros, un diámetro interior de 16 milímetros y el exterior de 28 milímetros, el espesor de este segundo cilindro se debe a que servirá de apoyo del primer cilindro, es por ello por lo que como se puede observar en la Figura 5-15 tiene diseñado un tope, cuya función es la de fijar el cilindro primario al secundario, para que no se pierda material al pasar de un cilindro al otro. Al igual que el cilindro principal, estará fabricado en acero 316.

La unión entre ambos cilindros quedaría como se puede observar en la Figura 5-16, quedando encajado el cilindro principal con el secundario, evitando de esta manera que se pierda material durante el proceso.

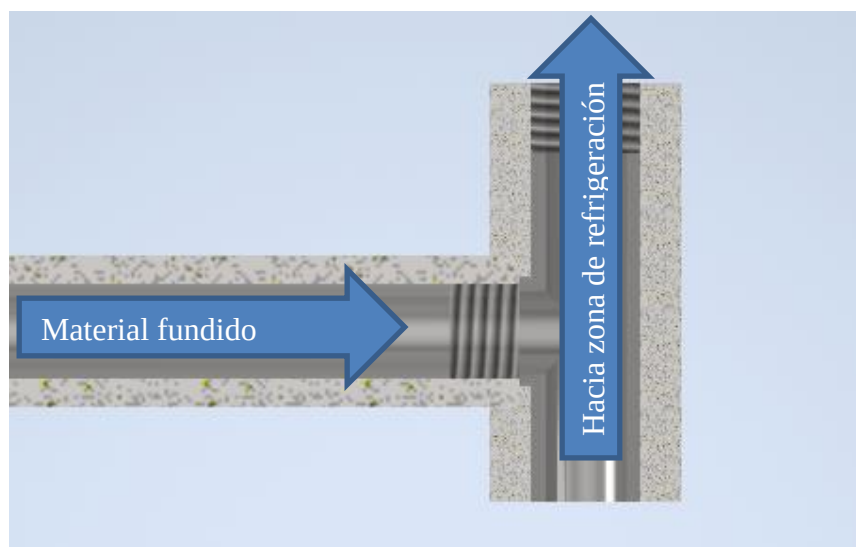


Figura 5-16 Unión cilindros (Elaboración propia)

Para mantener el cilindro secundario firme, se ha diseñado la siguiente pieza que se puede observar en la Figura 5-17, sujeta al cilindro mediante un tornillo de apriete.

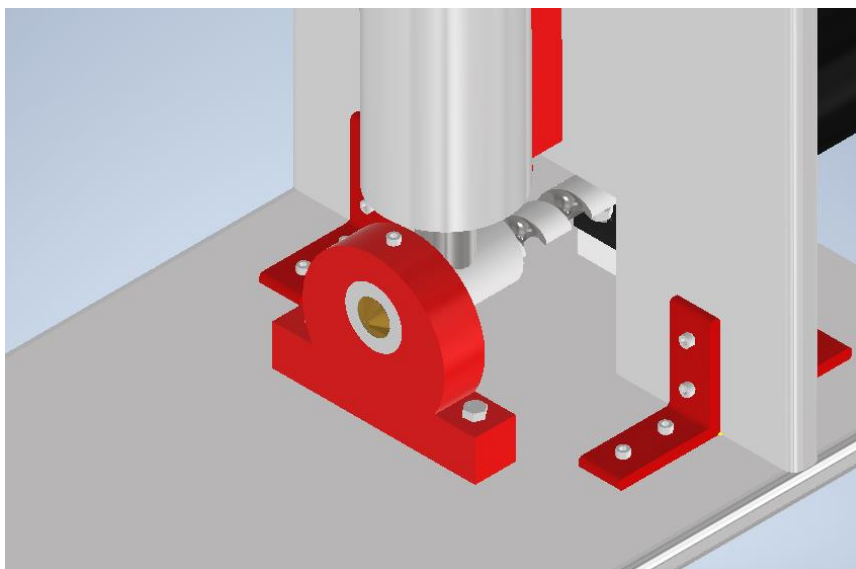


Figura 5-17 Soporte cilindro secundario (Elaboración propia)

5.2.9 Tornillo secundario

En la Figura 5-18 se puede ver el tornillo que se ha diseñado para este proyecto, tiene una longitud total de 150 milímetros, siendo 90 milímetros la longitud de trabajo. Al igual que el tornillo principal tiene un diámetro de 16 milímetros, y estará fabricado con el mismo material que el tornillo principal, dicho material es el acero al carbono.

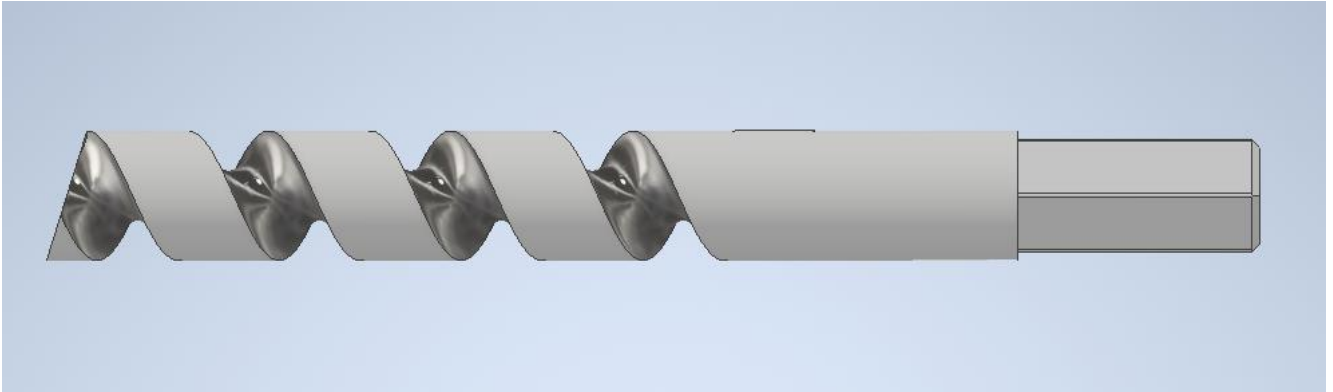


Figura 5-18 Tornillo secundario (Elaboración propia)

Es importante mencionar que el tornillo secundario funcionará con el mismo motor que el tornillo primario, dicho motor es el mencionado en el apartado 5.2.1.

5.2.10 Boquilla

La boquilla como se ha explicado anteriormente en este trabajo está diseñada de manera que facilite el transporte del material hacia la boquilla, es por ello por lo que a medida que crece en longitud el cabezal, su diámetro se va reduciendo, como se puede observar en la Figura 5-19.

La boquilla diseñada tiene un diámetro exterior de 16 milímetros, lo que le permite roscarse a ambos cilindros, optimizando de este modo su uso, ya que serviría el mismo cabezal para los dos cilindros. El diámetro de la boquilla es de 1 milímetro.

La boquilla está diseñada para controlar el material que es extruido, consiguiendo de esta manera que llegue al módulo de enfriamiento, ya que, en ausencia de boquilla, el material sería expulsado a través del segundo cilindro con un diámetro de 16 milímetros, provocando que el material se desbordase.

También hay que mencionar que la boquilla al estar roscada puede ser intercambiable, según las necesidades del usuario.

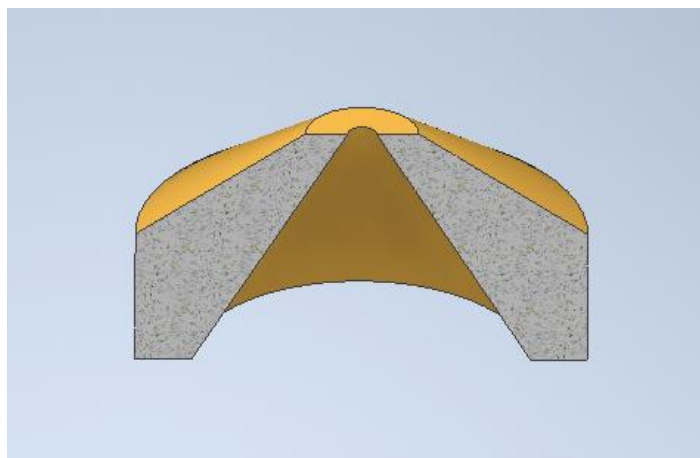


Figura 5-19 Boquilla vista seccionada (Elaboración propia)

El material seleccionado para esta pieza es el latón, debido a su bajo coste y fácil mecanizado, por lo que ayuda a su reemplazo cuando sea necesario, y a que es buen conductor térmico, lo que lo hace perfecto para el dispositivo diseñado.

5.2.11 Soporte módulos

Como soporte para las piezas que conforman este dispositivo se han diseñado dos placas de aluminio. Las cuáles serán descritas a continuación. Se ha optado por hacer en aluminio debido a las propiedades que posee, entre ellas están que es un material ligero, resistente, dúctil, por lo que facilita la realización de las piezas. Otra de las ventajas del aluminio es que es un material totalmente reciclable, por lo que, tras finalizar su vida útil, se puede recuperar el aluminio utilizado.

Se han diseñado dos piezas, la primera (Figura 5-20) tiene una medida de 330x250x15 milímetros, posteriormente se le hace un corte en forma de un rectángulo de 65x65 milímetros, debido a que es necesario acoplar el segundo cilindro. A esta primera placa van fijos el primer módulo de este diseño, formado por el cilindro principal y el motor que genera el movimiento de la primera broca. El motor se encuentra anclado a la placa mediante el uso del soporte específico, descrito anteriormente.

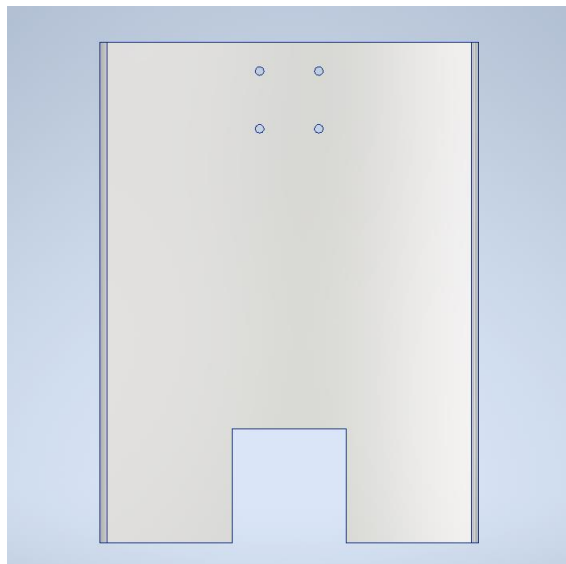


Figura 5-20 Placa vertical (Elaboración propia)

La segunda pieza (Figura 5-21) tiene una longitud mayor que la primera, debido a que sirve de soporte para el segundo cilindro, el sistema de refrigeración y el sistema de bobinado. Las medidas de esta segunda placa son 1000x250x15 milímetros.

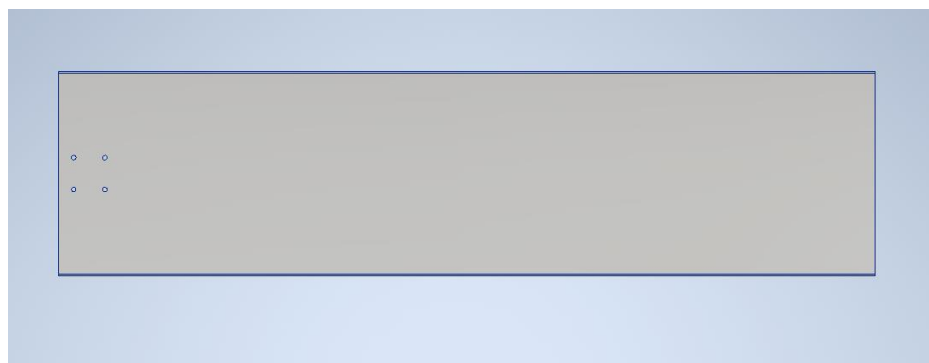


Figura 5-21 Placa de aluminio horizontal (Elaboración propia)

Para unir ambas placas de aluminio se hará uso de cuatro soportes como los que se pueden ver en la Figura 5-22, la disposición de estos será de dos soportes a cada lado de la placa vertical. Estos se fabricarán en aluminio.

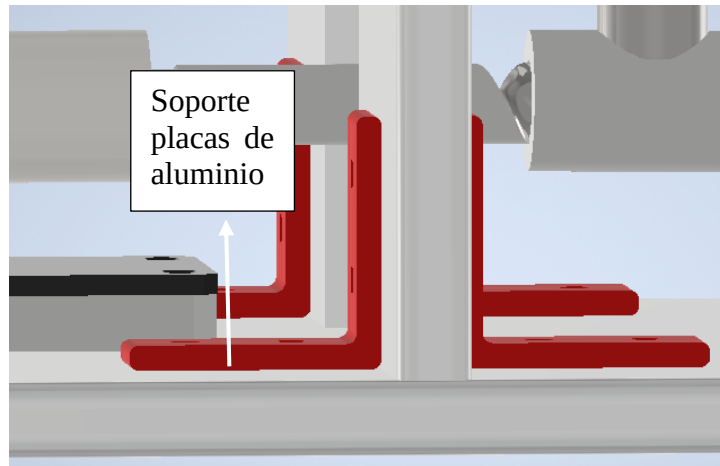


Figura 5-22 Soportes para las placas (Elaboración propia)

Se ha llevado a cabo el diseño de unos pies (Ver Figura 5-23) para la placa de aluminio inferior, estos pies irían colocados en cada una de las esquinas, como se puede observar en la Figura 5-24 su función es la de mantener estable la placa de aluminio, evitando que ésta se mueva y por lo tanto dificulte la operación de extrusado.

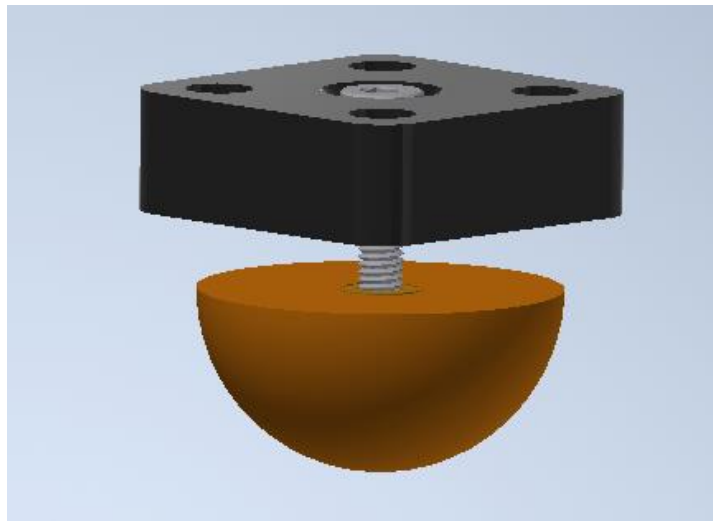


Figura 5-23 Patas placa (Elaboración propia)

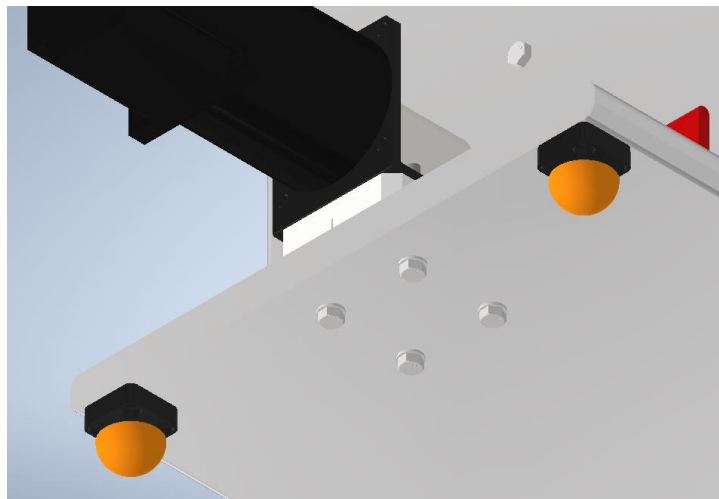


Figura 5-24 Colocación patas (Elaboración propia)

5.2.12 Unión bloque extrusión

A continuación, en la Figura 5-25 se puede ver como quedarían acoplados todos los materiales que han sido descritos anteriormente (Se han señalizado las piezas más importantes). También como se puede observar, se han añadido dos módulos de alimentación, esto es debido a que como se ha descrito con anterioridad, el cilindro dispone de dos gargantas de alimentación.

En la Figura 5-26 se usará como apoyo una vista seccionada del módulo, para una mejor apreciación del interior de los cilindros, mostrando de esta manera la posición de los tornillos de extrusión dentro de ambos cilindros.

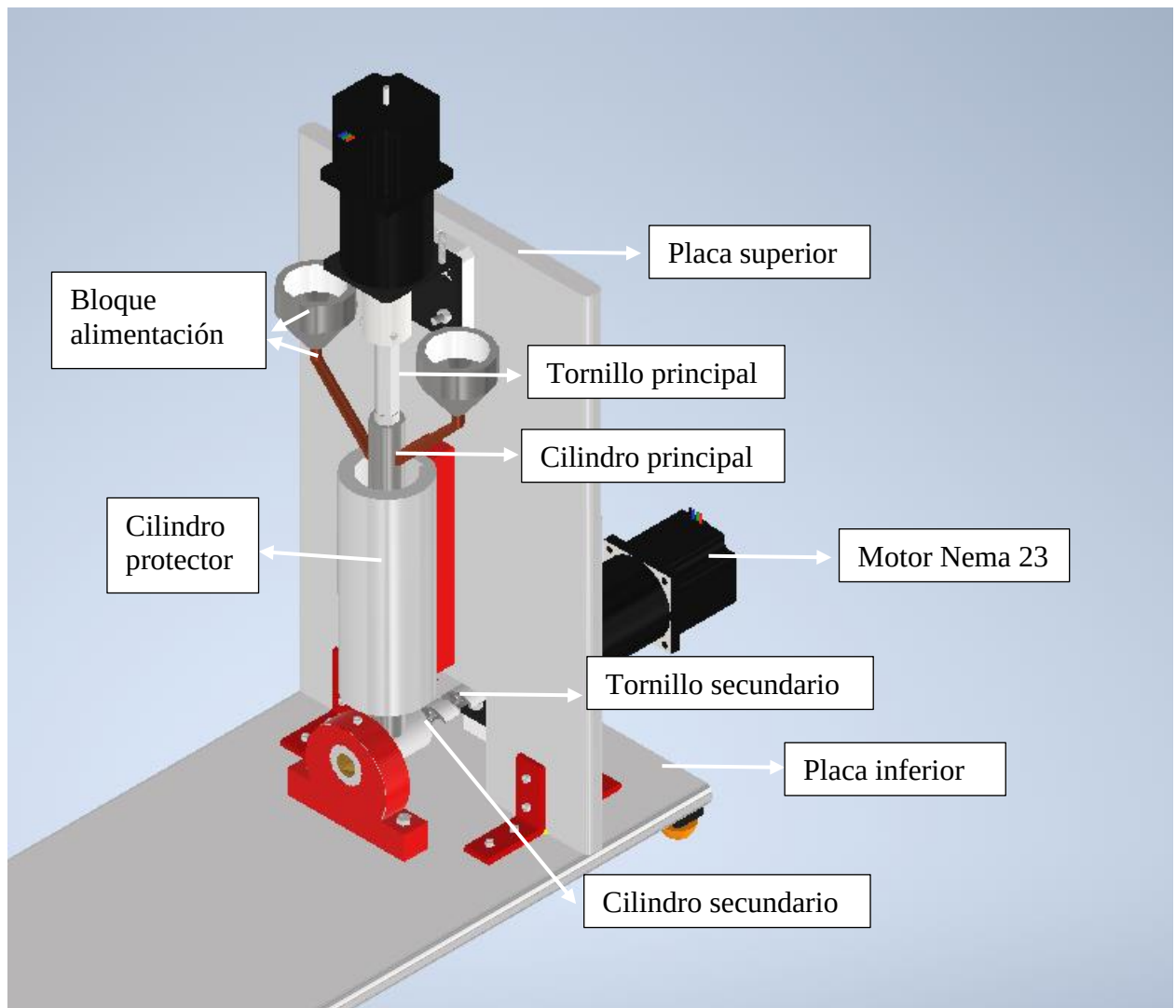


Figura 5-25 Montaje bloque extrusión (Elaboración propia)

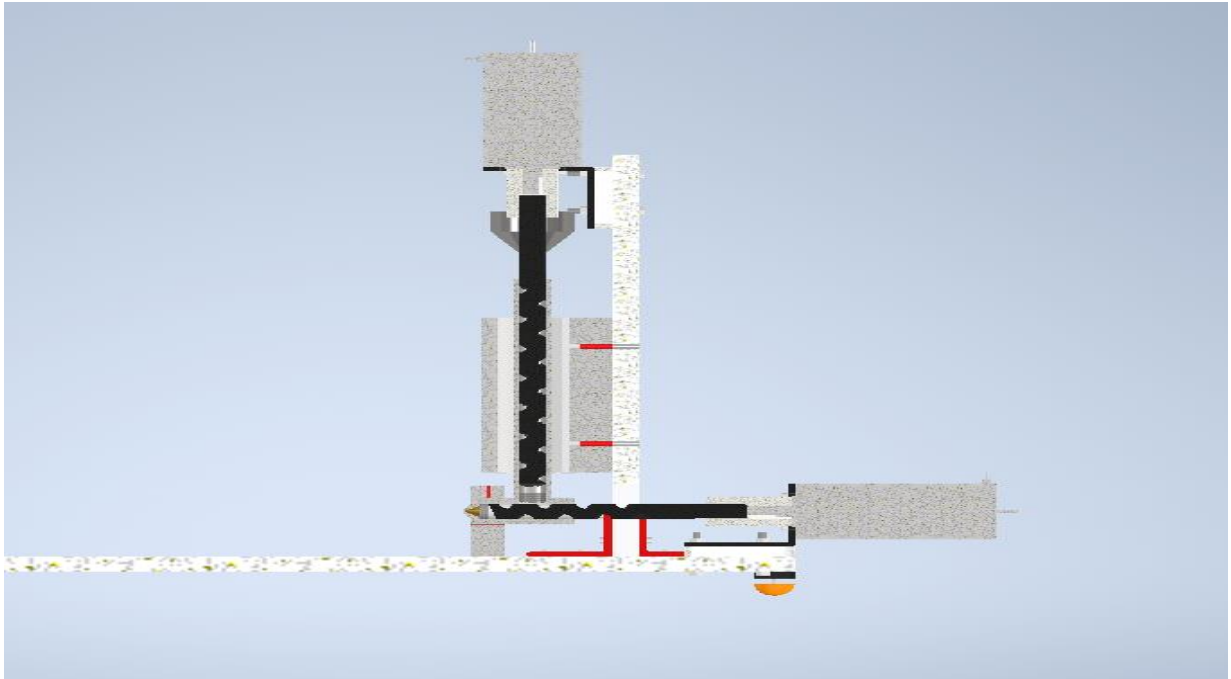


Figura 5-26 Vista seccionada bloque extrusión (Elaboración propia)

5.3 Módulo de enfriamiento

El material proviene del bloque extrusor fundido, por lo que es necesario enfriarlo antes de pasar al bloque de bobinado, para ello el material pasa a lo largo del conjunto de refrigeración, dicho bloque consiste en una pieza de aluminio con un ángulo de 90° y a lo largo de esta tiene ventiladores que soplan hacia abajo, para enfriar tanto el filamento como el aluminio, acelerando de esta manera el enfriado.

5.3.1 Ventiladores

Los ventiladores son ajustables en diferentes posiciones de la pieza de aluminio y también se puede ajustar la velocidad de los mismo, a través de un programa a diseñar. A medida que el material caliente es extruido por la boquilla, si la temperatura del cilindro ha sido la correcta, el material vendrá ligeramente viscoso. Por lo que a medida que el material entra en contacto con el aluminio enfriado, el exterior del filamento se solidifica y se endurece. Sin embargo, como los polímeros no son buenos conductores térmicos, el interior del filamento mantendrá un estado más viscoso, así como una temperatura más alta. Esto permite que el aluminio, siempre que este se enfríe de forma adecuada, sea una superficie antiadherente para el material extruido. También, el material es capaz de ser presionado por los rodillos y alargarse sin agrietarse y de esta forma enrollarse adecuadamente.

5.3.2 Carril de aluminio

Sobre el carril es depositado el material extruido, este a medida que va siendo empujado por el nuevo material extruido va recorriendo toda la longitud del carril, a la vez que se el material se va solidificando, las dimensiones de la varilla es 25,4x25,4x304,8 milímetros, se ha decidido fabricar en aluminio debido a que es un material resistente y es fácil de fabricar, por lo que la rapidez y facilidad con la que se procesa el aluminio contribuyen a que tenga un bajo coste de producción.

Se ha decidido fabricar con un ángulo de 90° para evitar que el material se acumule a lo largo del carril, también de esta manera carril y boquilla pueden quedar alineados, evitando de esta manera pérdida de material.

A continuación, en la Figura 5-27 se puede observar el bloque de refrigeración ensamblado, donde los ventiladores están repartidos a lo largo del canal de aluminio, para enfriar la totalidad del carril y ayudar a la solidificación del sólido. Hay que mencionar que se han diseñado unos soportes para mantener el carril fijo a la placa de aluminio, estos soportes están fabricados en plástico ABS

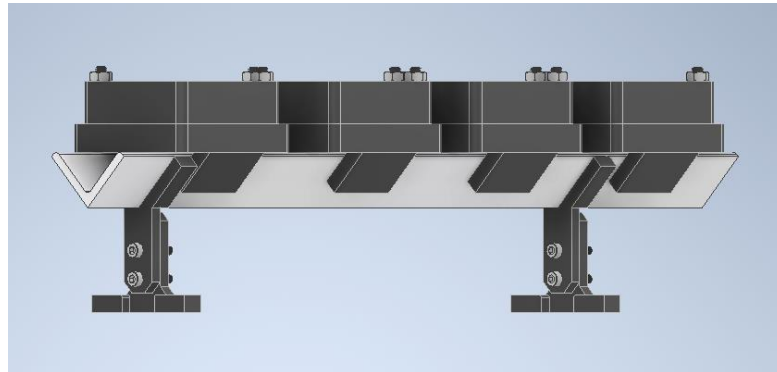


Figura 5-27 Bloque de refrigeración (Elaboración propia)

5.4 Módulo de bobinado

El material que ha sido enfriado en el en el bloque anterior pasa al último bloque, que recibe el nombre de bobinado, la función de este bloque es recibir el filamento y a través de un conjunto de rodillos que le dará un diámetro específico y almacenarlos en forma de hilo.

Este bloque del dispositivo está formado por varias partes, que se separarán para llevar a cabo su explicación.

5.4.1 Extractor

El extractor (Ver Figura 5-28) es una parte importante de este dispositivo, ya que es el encargado de determinar el diámetro del filamento. Por lo que dependiendo de su velocidad de giro se obtendrá un diámetro u otro, así, cuanto más rápido gire, menor será el diámetro. Por tanto, a la hora de hacer el filamento, el usuario es el encargado de ajustar manualmente la velocidad del motor para obtener el diámetro correcto. Sin embargo, el diámetro se puede ver alterado debido a variaciones externas, tales como los cambios de temperatura o una alimentación defectuosa de la tolva.

El sistema funciona con un motor de corriente continua de velocidad controlada, está será controlada de forma manual, el motor es de 12 Voltios que trabaja a una velocidad de 50 revoluciones por minuto, este motor hace girar un sistema de poleas, y este a su vez produce el giro de los cilindros que son los encargados de extruir el material. En la Figura 5-28 se puede observar la disposición en la que se encuentran los elementos definidos.

Las piezas estarán fabricadas en plástico ABS, abaratando de esta manera los costes de producción, así como reduciendo el peso del dispositivo.

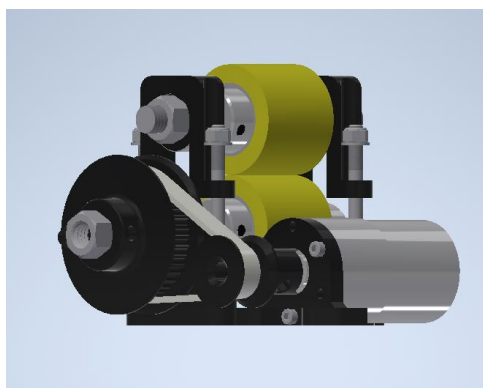


Figura 5-28 Conjunto extractor (Elaboración propia)

5.4.2 Sensor de diámetro

El sensor de diámetro (Ver Figura 5-29), va a continuación del extractor, y se encarga de analizar el diámetro del filamento mientras este es extruido. El sensor sólo proporcionaría al usuario la información del tamaño del filamento extruido, no está configurado para cambiar la velocidad de trabajo del extractor, y conseguir de esta manera un diámetro uniforme. La pieza de color rojo es una carcasa que ha sido diseñada para cubrir el sensor óptico, esta será fabricada en plástico ABS, así como los soportes de la carcasa.

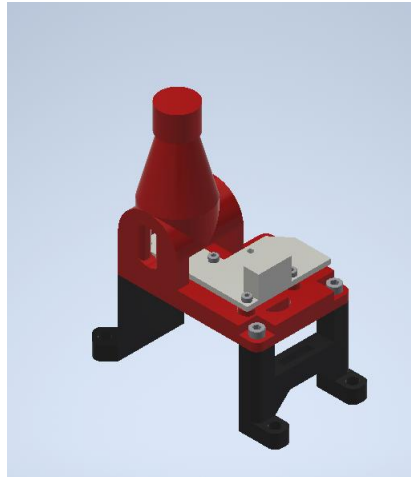


Figura 5-29 Sensor de diámetro (Elaboración propia)

5.4.3 Rodillo

El rodillo (Ver Figura 5-30) es una pieza de gran importancia, ya que su función es la de mantener la tensión en el filamento para que este llegue posteriormente a la bobina, y también se encarga de guiar al filamento a través del sensor de diámetro.

La guía del filamento se puede ajustar para aumentar o disminuir la tensión, esta acción se lleva a cabo desplazando hacia arriba o hacia abajo el rodillo, según se busque más o menos tensión. El rodillo está fijo a la guía mediante una tuerca, la cual permite colocar el rodillo en la posición que el usuario desee.

Tanto el soporte como la rueda serán fabricadas en plástico ABS.

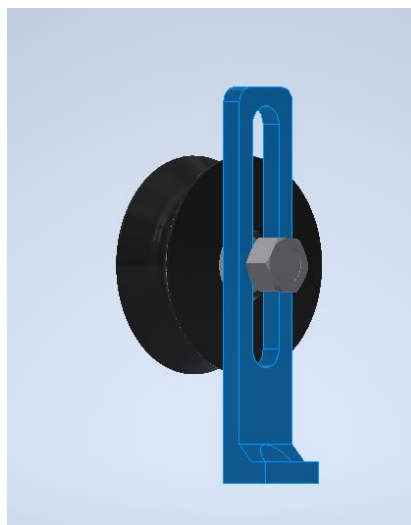


Figura 5-30 Rodillo tensor (Elaboración propia)

5.4.4 Bobina

La bobina (Ver Figura 5-31) es el sistema encargado de enrollar el filamento en el carrete. Una vez conectado correctamente, se puede variar la velocidad y la dirección para variar el tamaño del filamento y cambiar la velocidad de extrusión. Para enrollar de forma adecuada el filamento cuenta con control deslizante que hace que se mueva la polea, la función de este control deslizante es ir colocando de manera uniforme el filamento en el carrete, optimizando así la cantidad máxima de hilo que se puede recoger por cada unidad de carrete. También se encarga de evitar que el bobinador tire del filamento a través de todo el sistema, provocando de esta manera que el diámetro sea irregular.

El sistema funciona con un motor de corriente continua de velocidad controlada, está será controlada de forma manual, el motor es de 12 Voltios que trabaja a una velocidad de 50 revoluciones por minuto.

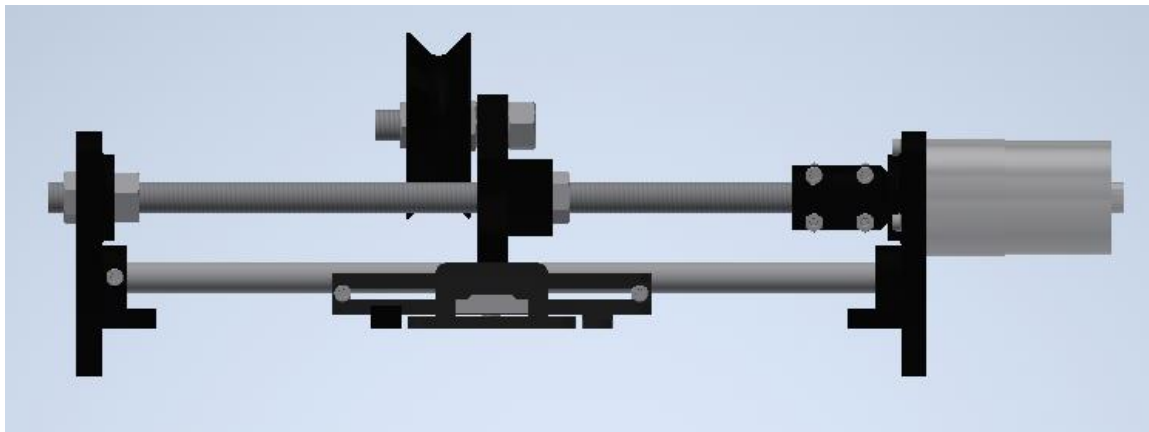


Figura 5-31 Bobina (Elaboración propia)

5.4.5 Carrete

Este conjunto de piezas, dispuestas tal y como se puede ver en la Figura 5-32, es el encargado de enrollar el filamento en un carrete vacío de manera uniforme y evitando que el filamento se superponga, debido a que, si el material se superpone, la cantidad de hilo almacenada en el carrete sería menor. El sistema funciona con un motor de corriente continua de velocidad controlada, está será controlada de forma manual, el motor es de 12 Voltios que trabaja a una velocidad de 50 revoluciones por minuto.

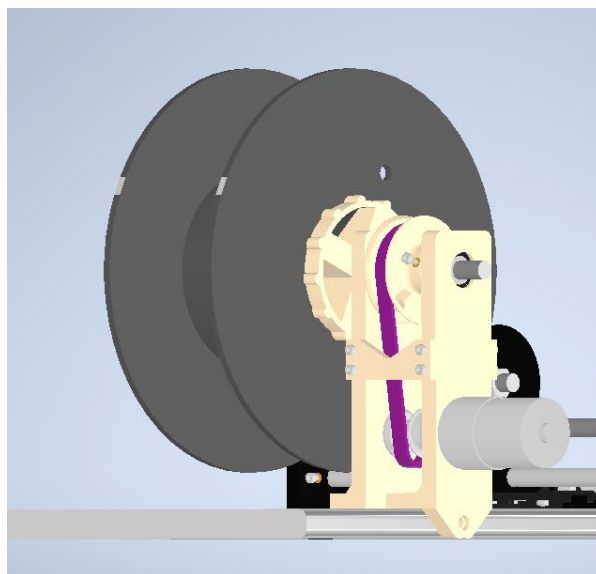


Figura 5-32 Carrete (Elaboración propia)

5.5 Vista general montaje dispositivo

A continuación, se puede observar con el apoyo de la Figura 5-33 y en la Figura 5-34 una vista general de la colocación de todas las piezas que conforman el dispositivo de fabricación de filamentos diseñado.

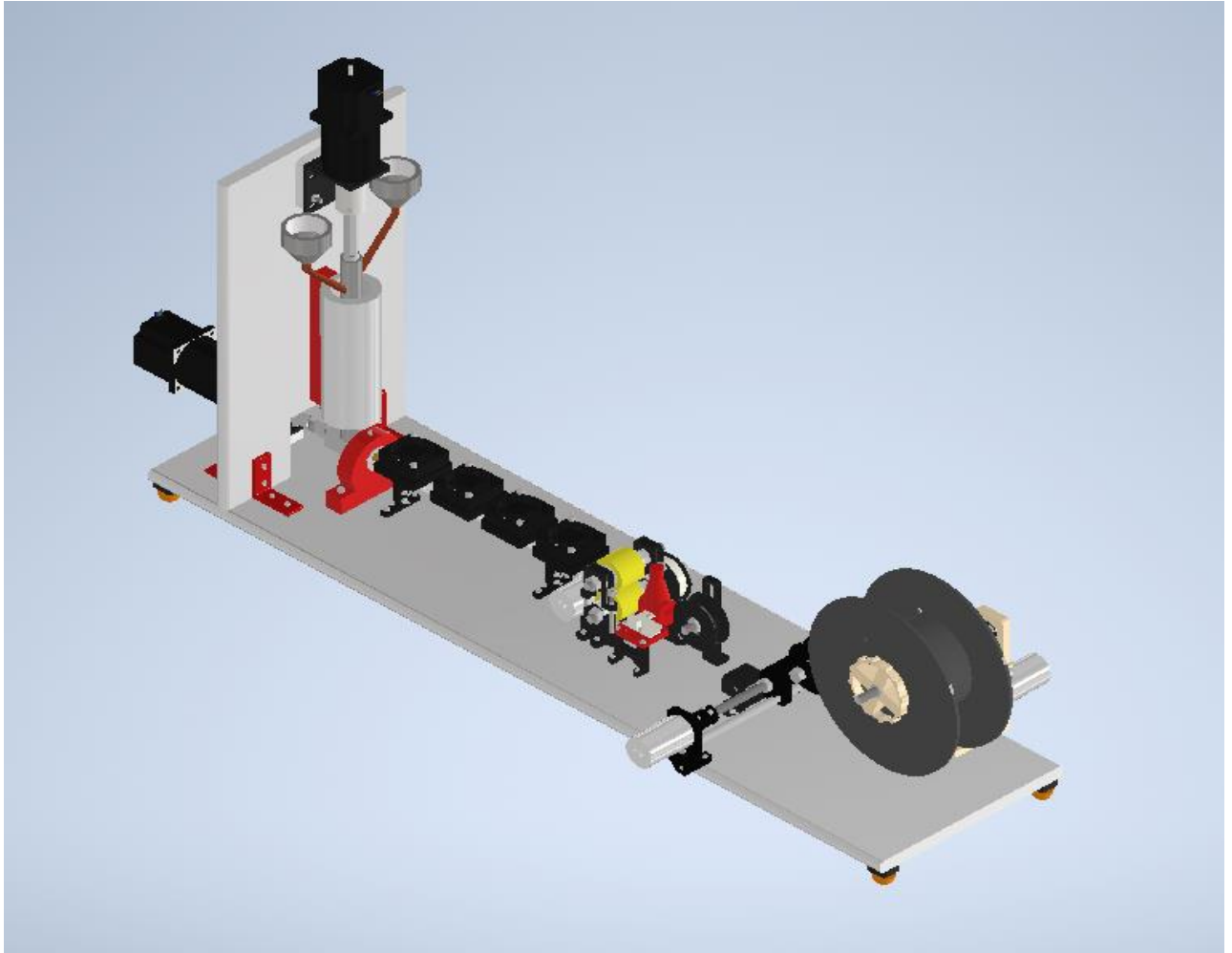


Figura 5-33 Vista general montaje (Elaboración propia)

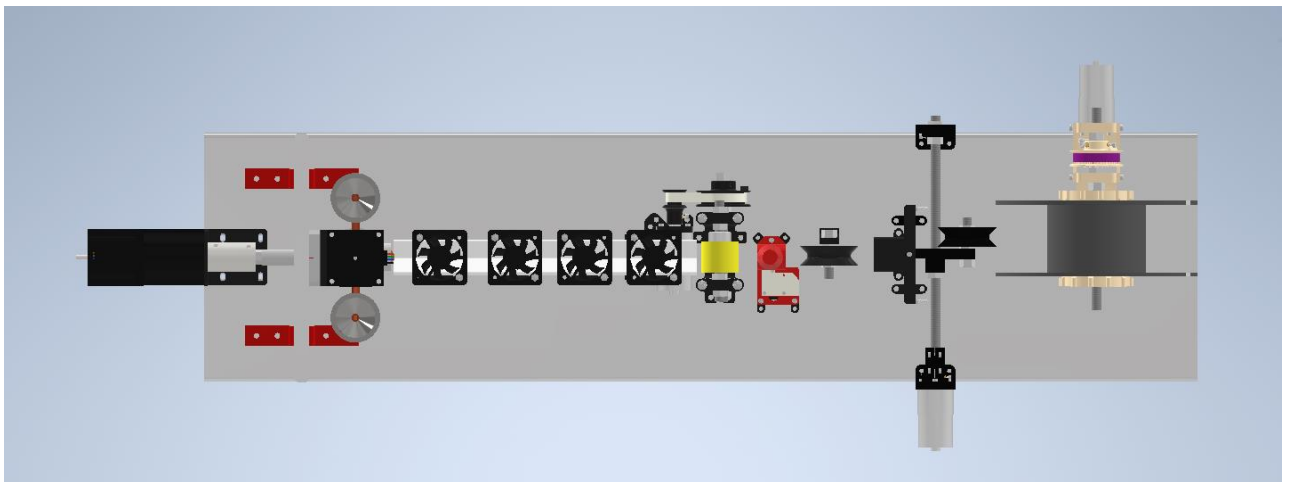


Figura 5-34 Vista superior montaje (Elaboración propia)

5.6 Componentes eléctricos

En este apartado se desarrollará los principales elementos eléctricos necesarios para el funcionamiento del dispositivo.

5.6.1 Controlador digital motor Nema 23

Para usar de manera eficiente el motor, es necesario un controlador de motores paso a paso, en este caso el controlador seleccionado es el DM5427T (Ver Figura 5-35) de la marca Stepperonline, el cual es económico y de fácil implementación y programación. Es el controlador recomendable para el motor Nema 23, ya que ha sido diseñado por la misma marca que el motor.

Las características generales son las mostradas en la Tabla 3:

Características	Valor
Voltaje de entrada	20-50 V
Corriente de salida	1-4,2 A
Ancho de pulso	2,5 μ S
Pulso de entrada	200 KHZ

Tabla 3 Características DM542T

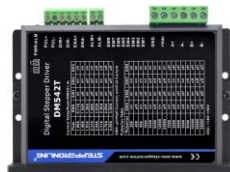


Figura 5-35 Controlador Nema 23 (cortesía del fabricante)

5.6.2 Arduino Mega 2560

Para controlar las funciones de los sistemas electrónicos del dispositivo diseñado se hará uso de un Arduino Mega 2560 (Ver Figura 5-36), sin embargo, el desarrollo del código no es competencia de este trabajo de fin de grado.

Entre estas competencias estarían:

- Monitorización del sistema: controlador de temperatura, controlar la velocidad de los diferentes motores, así como la velocidad de extrusionado. Mejorando de esta manera la calidad del producto final.
- Visualización de la información más importante a través de una pantalla LCD.
- Control sobre los distintos componentes que forman el sistema.

Las características generales del Arduino Mega 2560 están registradas en la Tabla 4.

Características	Valor
Tensión de trabajo	5 V
Tensión de entrada recomendada	7-12 V
Entradas/salidas digitales	54
Entradas analógicas	16
Corriente por entrada/salida	20 mA

Tabla 4 Características Arduino Mega 2560

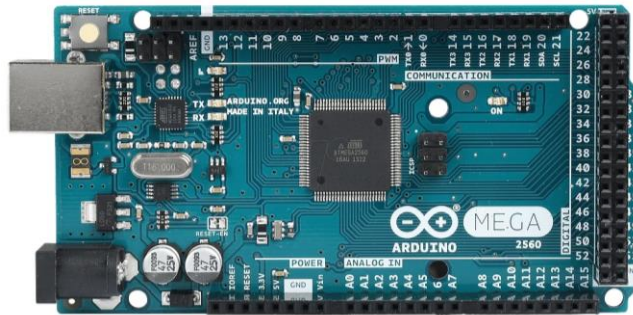


Figura 5-36 Arduino Mega 2560 (cortesía del fabricante)

5.6.3 Sensor controlador diámetro del filamento

La función del sensor de filamento (Ver Figura 5-37) tiene como función principal detectar fallos en el filamento durante el proceso de extrusión. Todo el material que acaba formando parte del hilo final tiene que pasar a través del controlador de filamentos.

El sensor es un micrómetro óptico que mide el diámetro y ajusta el extrusor para producir un buen filamento. Esto evita el paso de medir manualmente el filamento y ajustar el software de corte. Tiene una precisión de $\pm 0,02$ mm.

El sensor de filamento es un prototipo open source, que está compuesto por una placa de circuito impreso programable, un LED y una varilla de calibración. Como salidas de comunicación cuenta con un puerto mini-USB para conexión directa a un PC o una Raspberry Pi, así como una salida mediante bus I2C para conexión a Arduino (y Raspberry) entre otros. La placa es compatible con Arduino, por lo cual se puede programar fácilmente a través del puerto USB con la IDE Arduino. Requiere una alimentación de 5 V para su funcionamiento. El principio de operación está basado en procesamiento de imágenes mediante algoritmo sub-píxel de detección de los bordes de la sombra del filamento. El sensor envía señales de voltaje en función de los milímetros detectados (por ejemplo, $1,50 \text{ V} = 1,50 \text{ mm}$, $2,00 \text{ V} = 2,00 \text{ mm}$, etc.)

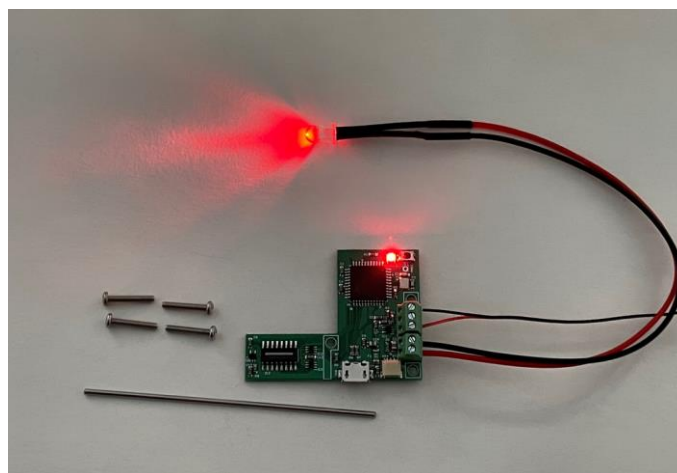


Figura 5-37 Sensor de filamento (cortesía del fabricante)

5.6.4 Controlador de temperatura

La temperatura es muy importante en el proceso de extrusión de los filamentos, debido a que un cambio brusco de temperatura puede provocar que el material salga defectuoso. Por lo que es necesario controlar la temperatura para que esta sea constante durante todo el proceso. Es por ello por lo que se hará uso de un controlador de temperatura por PID junto con un relé SSR (Ver Figura 5-38), tiene una resolución de 0,1 °C y mide temperaturas que están comprendidas entre -199 °C y 1300 °C.

Además, se incluirán termopares tipo K como sensores de temperatura.

Todo lo mencionado está en conjunción con el Arduino Mega para actuar sobre los calentadores, ajustándolos para obtener un buen producto final.



Figura 5-38 Controlador de temperatura Relé SSR (cortesía del fabricante)

5.6.5 Otros componentes necesarios

A parte de los materiales anteriores, hay otros componentes necesarios para un funcionamiento adecuado del dispositivo diseñado, entre ellos se encuentran:

- Fuente de alimentación principal, de 24 V y 15 A. Cuya función es la de suministrar tensión-corriente a todos los elementos.
- Módulo CC-CC reductor, para partiendo de la fuente original, pasar a tensiones menores para el Arduino, la pantalla LCD, etc. Harían falta usar mínimo 3, ya que los motores de 12 V llevan sus propios reguladores.
- Pantalla LCD, donde se mostrará información importante, como por ejemplo la información de los sensores de temperaturas, la información del sensor controlador de filamento, así como la velocidad de los motores.
- Seta de parada de emergencia, el sistema contará con un pulsador cuya función la de parar la máquina en caso de que haya algún indicio de peligro.
- Motores DC 12 V, serán los encargados de hacer funcionar el bloque de bobinado. Tiene una reductora acoplada, tiene un par de torsión de 10 kg.cm y un diámetro de eje de 3,5 milímetros.
- Controladores de velocidad de los motores de DC 12 V, ajustando la velocidad para que esta sea constante a lo largo de todo el proceso de extrusión, para así obtener un filamento con diámetro constante.

Estos elementos estarán monitorizados por el Arduino Mega.

6 ESTUDIO TÉRMICO Y ESTÁTICO

En este apartado, se llevará a cabo el modelado térmico y estructural del dispositivo diseñado, tal y como se ha indicado en los objetivos. Se dividirá en dos subapartados, uno para el estudio térmico y otro para el estudio estático. El objetivo es validar el diseño realizado, en concreto que la distribución de temperaturas sea adecuada para la fusión y mezcla del material aportado, así como la estabilidad y rigidez de la estructura.

Para ello se ha realizado tanto un análisis térmico como de tensión del sistema mediante el método de elementos finitos, utilizando las herramientas de trabajo del entorno de Autodesk Inventor:

- Análisis de tensión, incluido en los entornos de Autodesk Inventor.
- Autodesk Inventor Nastran. Entorno de trabajo que se ha añadido al Inventor y permite múltiples tipos de simulaciones (impactos, vibraciones, estudios en régimen transitorio), entre los que se encuentran las de carácter térmico.

6.1 Estudio térmico

Para el estudio térmico del dispositivo diseñado se ha simplificado el modelo a estudiar a únicamente el cilindro principal con los 4 calentadores acoplados (estos han sido modelados como las piezas que se pueden ver en la Figura 6-1), para simplificar el estudio y también debido a los altos costes computacionales de añadir más elementos al análisis.

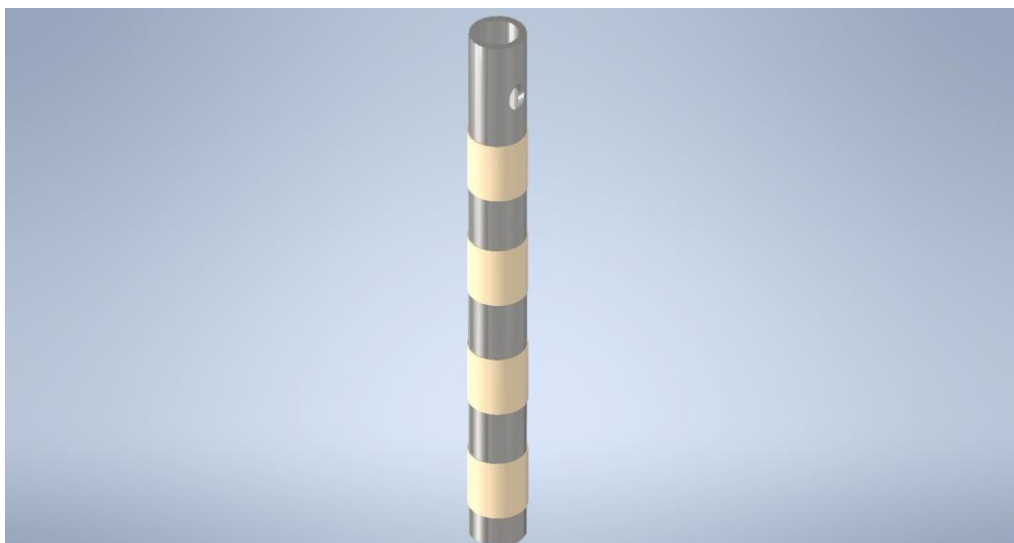


Figura 6-1 Modelado térmico (Elaboración propia)

Se ha realizado un estudio de transferencia de calor estático, para ello se ha supuesto que la cara exterior del cilindro principal (y también la de los calentadores) no tiene pérdidas de calor, debido a que en esa cara se encontraría el aislante térmico, por lo que las pérdidas de calor serían despreciables.

También se ha supuesto que las pérdidas por convección a la atmósfera en la cara interior del tubo y en las caras superior e inferior. Para se ha seleccionado los siguientes valores:

- Temperatura ambiente de 25 °C.
- Coeficiente de transmisión de calor por convección $h = 20 \text{ W/mm}^2\text{K}$.
- Convección no forzada al aire.

Y, por último, se ha supuesto que las caras interiores de los calentadores se encuentran totalmente en contacto con la cara exterior del cilindro principal.

Los calentadores se han modelado como cargas de temperatura con 4 temperaturas distintas, donde la menor de ellas es la más cercana a donde se introduce el PLA:

- $T_1 = 100 \text{ °C}$
- $T_2 = 150 \text{ °C}$
- $T_3 = 190 \text{ °C}$
- $T_4 = 230 \text{ °C}$

La malla (Ver Figura 6-2) se ha refinado con un tamaño de elemento de 1,804 milímetros, con un orden de elementos de tipo parabólico y se ha seleccionado la opción de mallado continuo activado.

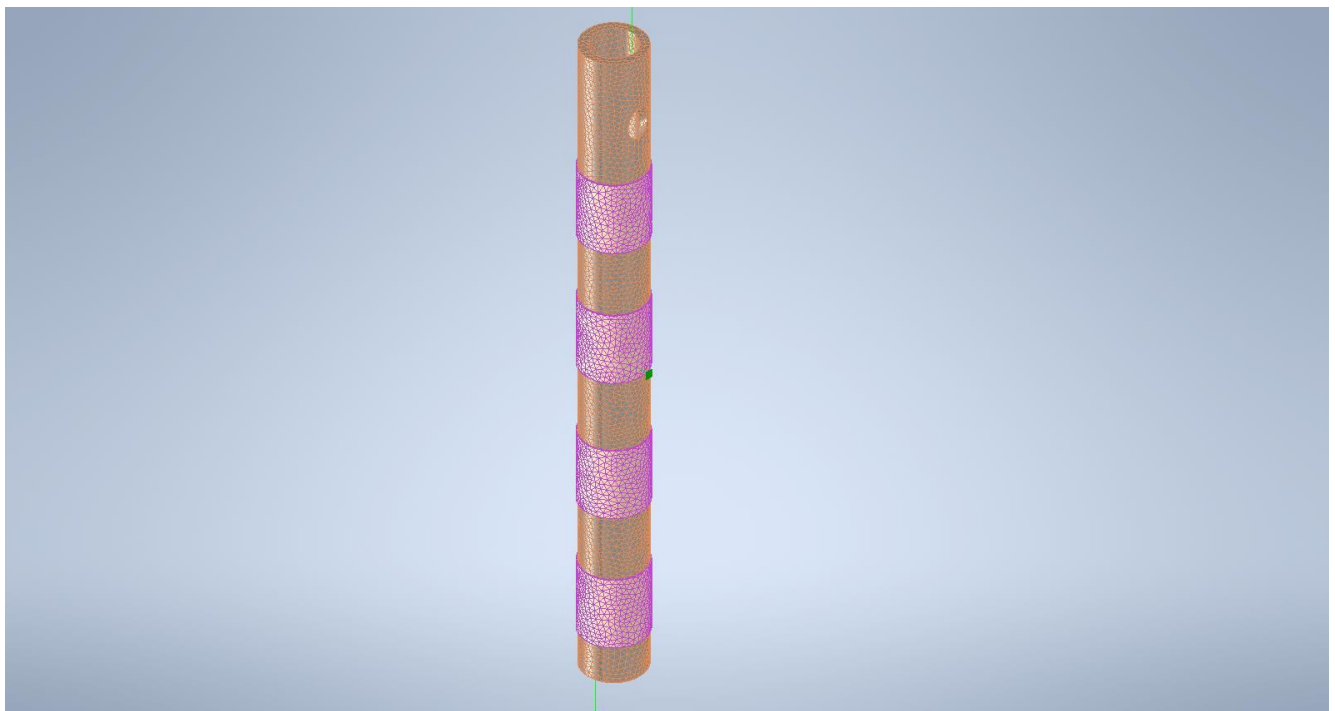


Figura 6-2 Mallado (Elaboración propia)

El análisis, como se puede ver en la Figura 6-3, muestra como la variación es constante a lo largo del cilindro, resultado que se esperaba obtener, debido a que se han colocado los calentadores de esta manera para que la temperatura aumentase en proporción con la longitud del tubo.

Se puede apreciar una cierta elevación de la temperatura hacia la parte superior del cilindro, aproximadamente 76 °C, sin embargo, esto no afecta al correcto funcionamiento de la máquina, por lo que, esto sugiere que es necesario cubrir el cilindro para que el usuario no entre en contacto con ella, es por ello por lo que se decidió diseñar el cilindro protector. En la parte inferior se alcanzan aproximadamente los 230 °C, marcados por la acción del último calentador.

Tras ver los resultados de la simulación, se sugiere que podría ser necesario aislar la parte superior del cilindro, para evitar accidente, sin embargo, esto quedará a expensas de las primeras pruebas reales para evaluar con mayor exactitud la temperatura de la zona mencionada.



Figura 6-3 Resultado análisis térmico (Elaboración propia)

6.2 Estudio estático

Como se ha especificado en los requerimientos, se ha diseñado un dispositivo modular, esto permite acoplar el bloque de extrusión a la impresora 3D, el modelo del que se dispone y con el que se ha llevado a cabo el estudio de viabilidad es la Creality 3D Ender-5 Pro. La idea principal era diseñar una pieza que permita acoplar la primera sección del módulo de extrusión a la impresora, sustituyendo al extrusor que está acoplado.

Para ello, es necesario introducir nuevos perfiles ítems a la impresora, debido a la longitud del extrusor. Haría falta introducir 3 perfiles ítems de aluminio, 2 de ellos en vertical de 400 milímetros de longitud y 1 en horizontal de 370 milímetros, que es donde estaría localizado el extrusor. Para llevar a cabo el estudio estático se ha realizado un estudio de tensiones sobre el perfil donde iría acoplado el dispositivo. La estructura formada por los ítems se puede ver en la Figura 6-4.

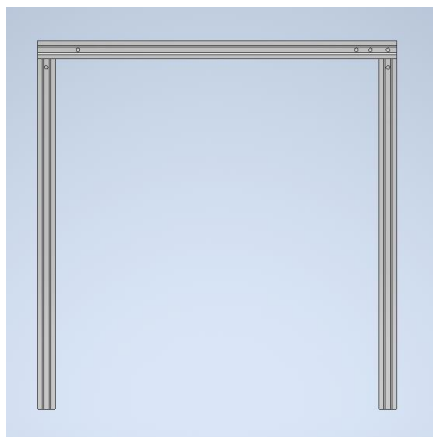


Figura 6-4 Estructura ítems (Elaboración propia)

6.2.1 Análisis estático perfil ítem

Para realizar dicho análisis, se ha aislado el perfil sobre el que iría acoplado el dispositivo. Se han añadido restricciones en ambos laterales, por lo que el perfil actuaría como una viga empotrada, y se le ha añadido una fuerza en el centro de este. El valor de la fuerza ha sido calculado con el peso ejercido por el conjunto de piezas que lo conforman. Los pesos ejercidos por los materiales son los presentados en la siguiente tabla.

Pieza	Peso (N)
Motor Nema 23	14,70
Soporte	2,76
Boquilla	0,08
Cilindro	3,19
Broca	3,61
Bloque alimentación	0,44
Total	24,78
Total (CS 1,3)	32,21

Tabla 5 Pesos

En la Figura 6-5 se observa la fuerza aplicada sobre el centro de gravedad del perfil estudiado.

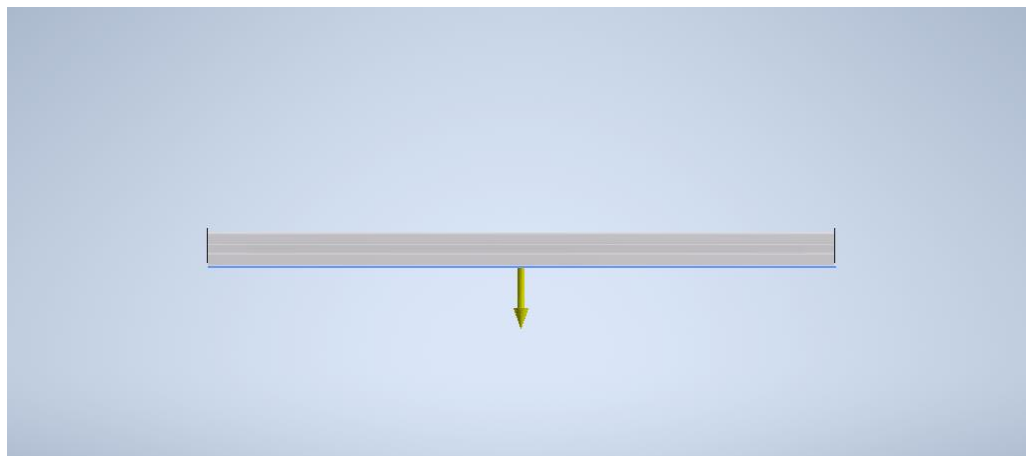


Figura 6-5 Fuerza aplicada (Elaboración propia)

La teoría expone que un material dúctil empieza a ceder en un punto determinado cuando la tensión de Von Mises es igual al límite de tensión, por lo tanto, en este caso, donde el material del que está fabricado el ítem es aluminio, el cual tiene un límite elástico de 414 MPa, se puede concluir que la incorporación del módulo de extrusión es posible, desde el punto de vista elástico. Ya que como se puede observar en la Figura 6-6, la tensión de Von Mises máxima tiene un valor de 1,79 MPa, por lo que $\sigma_{limite} > \sigma_{VonMises}$.

$$\text{Criterio de Von Mises: } \sigma_{vonMises} = \{[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2]/2\}^{1/2}$$

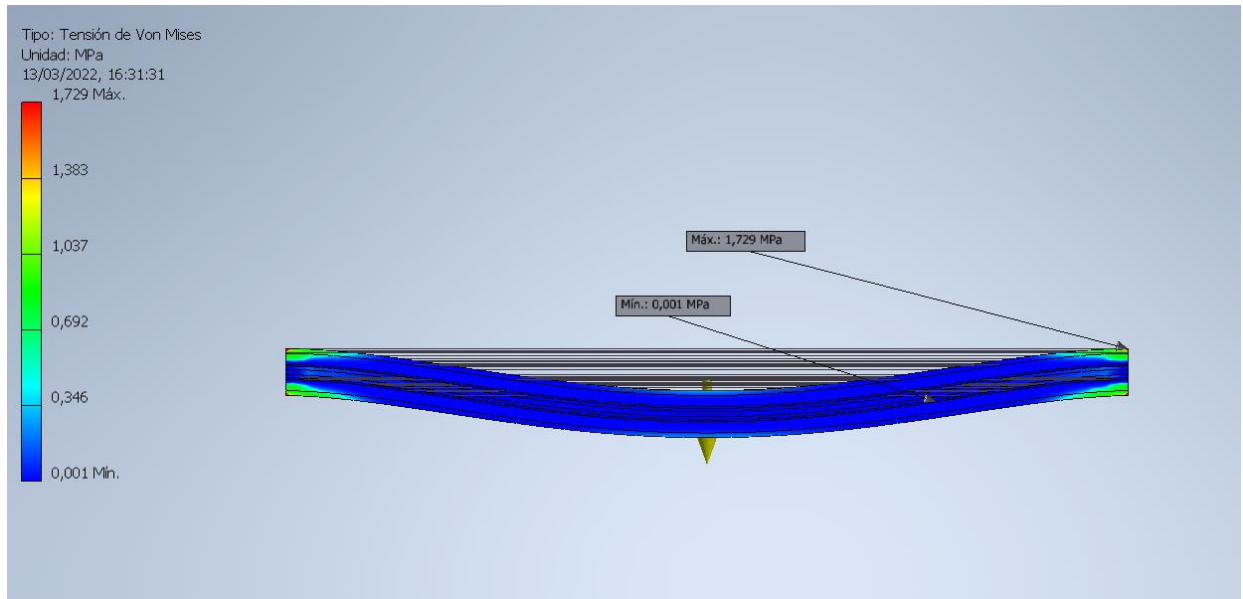


Figura 6-6 Tensión de Von Mises (Elaboración propia)

Teniendo en cuenta el estudio del desplazamiento (Ver Figura 6-7), se puede concluir que el desplazamiento generado es casi nulo, el valor máximo obtenido es de 8,56 μm , por lo que se concluye que el desplazamiento generado es despreciable. Por lo tanto, según la deformación generada en la pieza, se puede afirmar que es posible acoplar el módulo de extrusión en la impresora 3D.

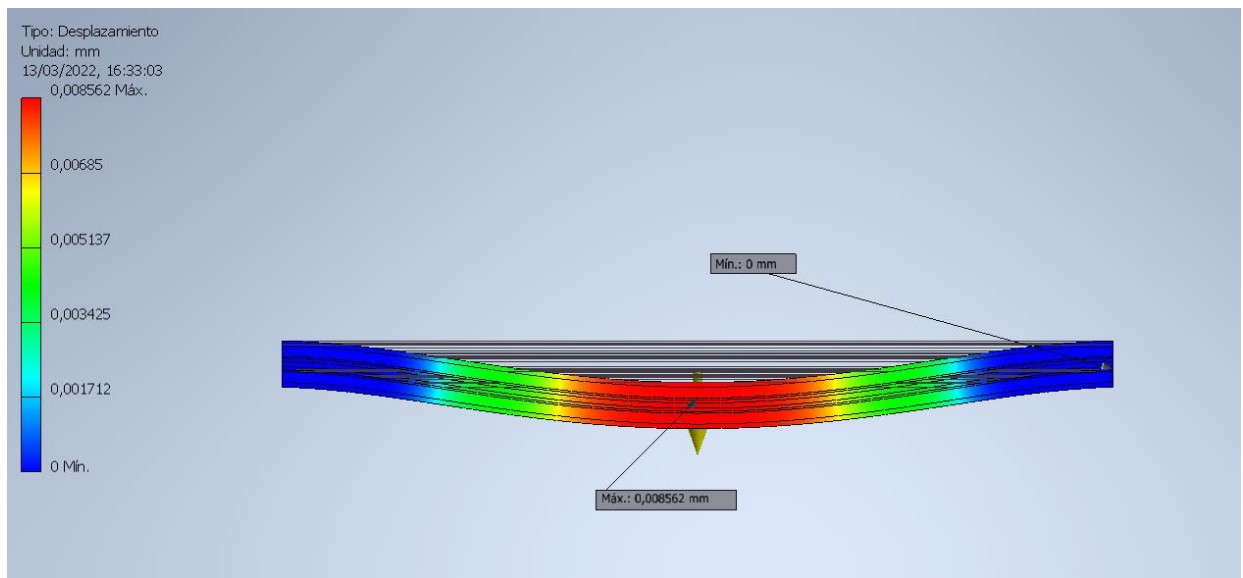


Figura 6-7 Estudio Desplazamiento (Elaboración propia)

Todos los materiales tienen un límite de tensión dependiente del material utilizado, lo que se denomina elasticidad del material. Se puede calcular el coeficiente de seguridad como la relación entre la tensión máxima permitida y la tensión de Von Mises, este coeficiente de seguridad debe ser superior a 1 para que el diseño pueda ser aceptado, un valor inferior a 1 significa que existen zonas con deformación permanente. Por lo tanto, observando la Figura 6-8 se llega a la conclusión, como en los casos estudiados anteriormente que es posible incorporar el dispositivo a la impresora 3D.

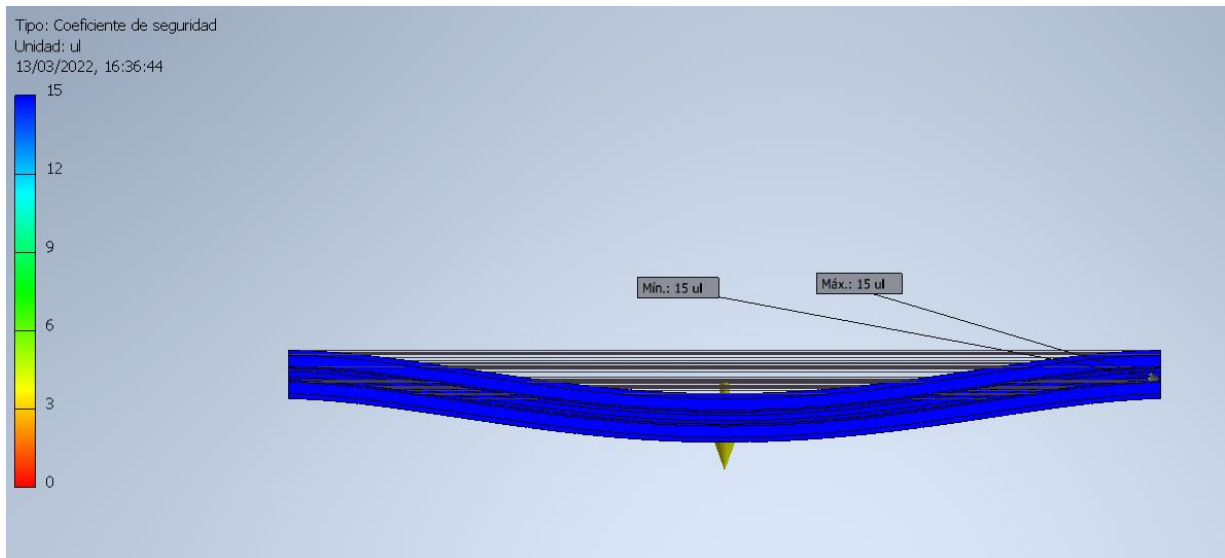


Figura 6-8 Coeficiente de seguridad (Elaboración propia)

6.2.2 *Análisis estático pieza de acople*

Tras realizar el estudio estático de los perfiles ítems, se ha llevado a cabo el estudio de tensiones para la pieza que acoplará el módulo extrusor a la impresora 3D de la que se dispone. Para ello, no es necesario diseñar ninguna pieza específica, ya que la misma pieza de la impresora 3D se puede utilizar para acoplar al dispositivo diseñado, simplemente habría que diseñar una nueva placa metálica de menor envergadura.

A continuación, en las siguientes imágenes (Ver Figura 6-9 y Figura 6-10) se puede observar de forma visual como quedarían acoplados ambos dispositivos.

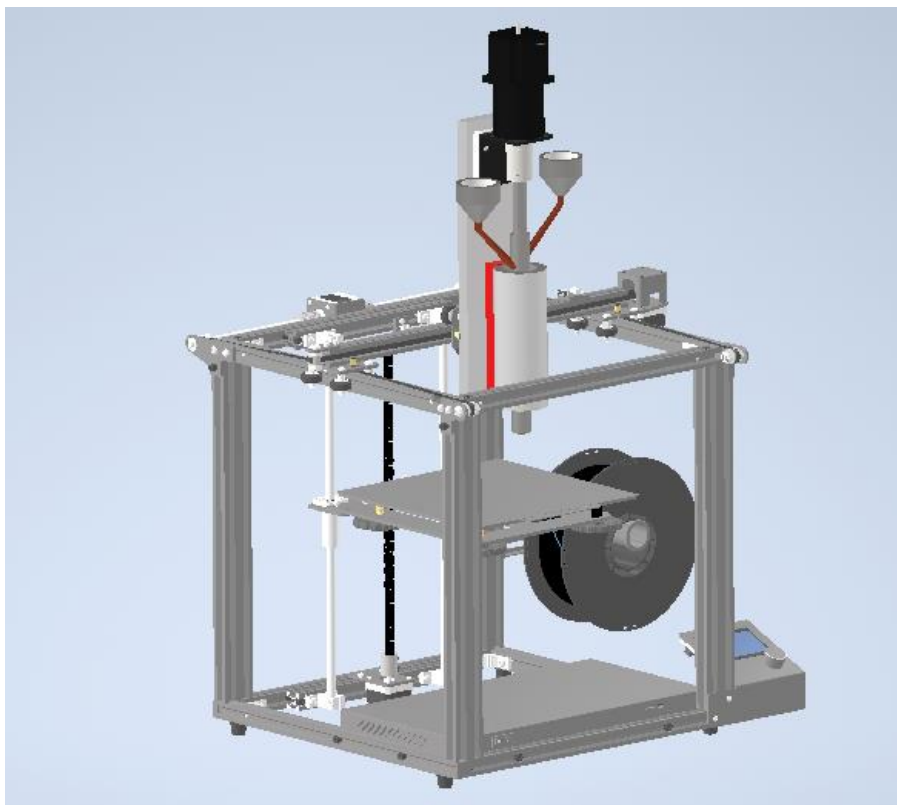


Figura 6-9 Acople a impresora 3D (Elaboración propia)

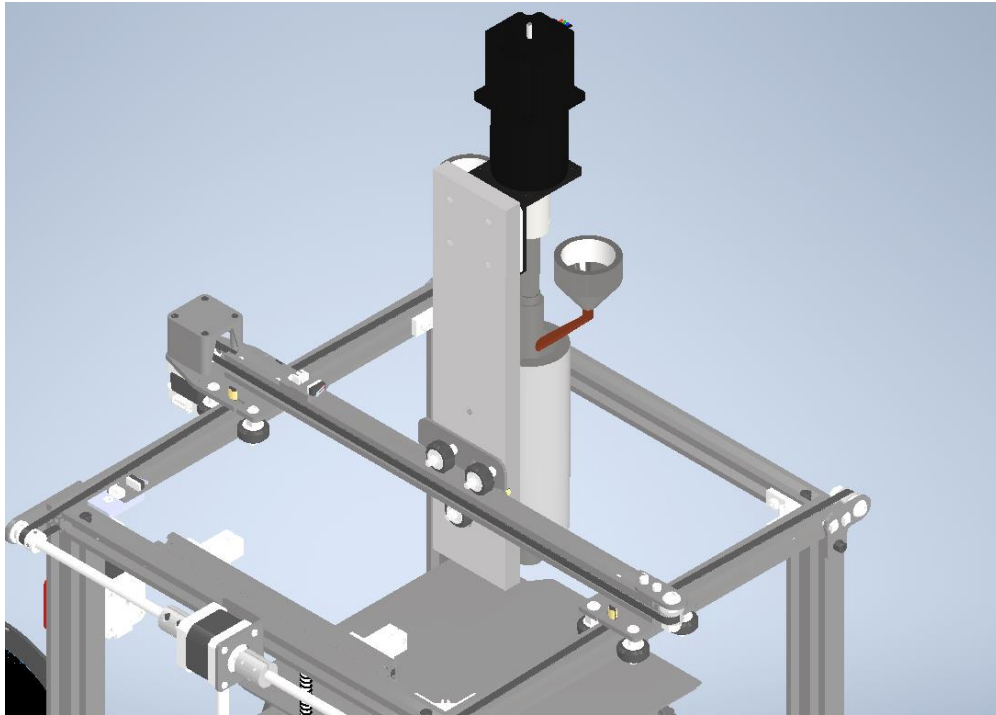


Figura 6-10 Acople a impresora 3D (Elaboración propia)

A continuación, se ha llevado a cabo el análisis de tensiones de la pieza que sostiene el módulo extrusor. Para llevar a cabo el cálculo, se ha supuesto que la pieza se encuentra fija al perfil ítem, y en el valor de la fuerza se ha utilizado el calculado anteriormente en la Tabla 5 Pesos, dicha fuerza ha sido colocada como se puede ver en la Figura 6-11.

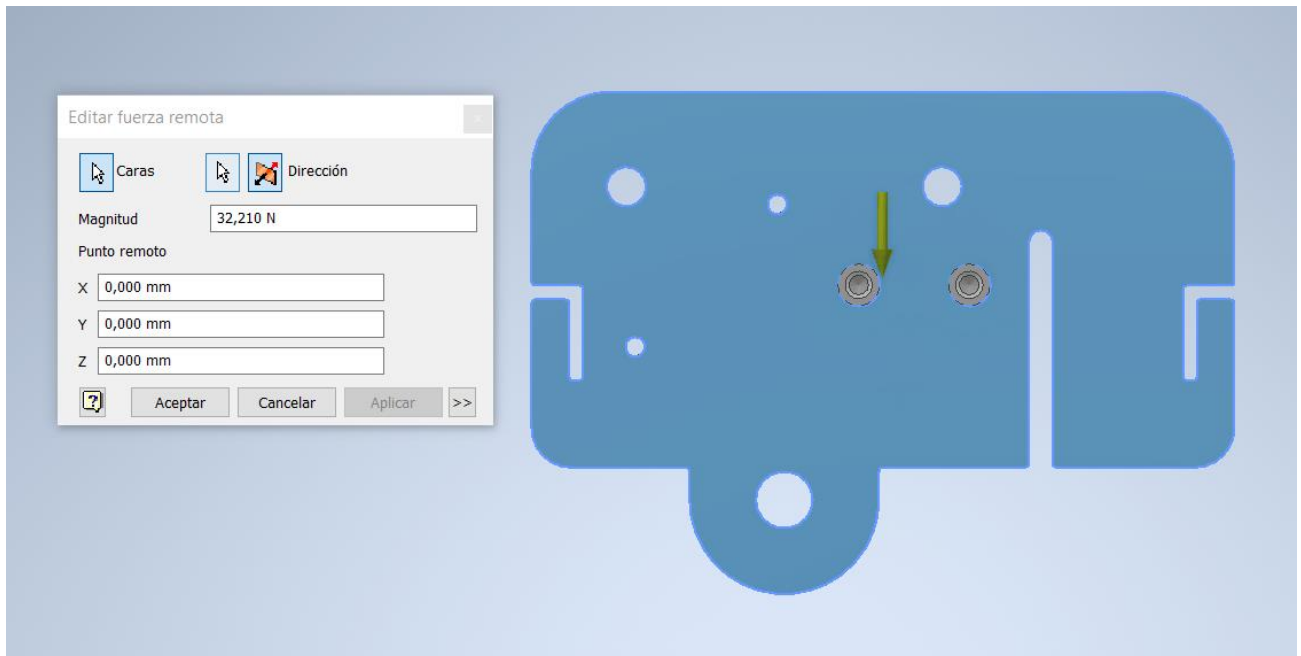


Figura 6-11 Localización fuerza

Como se explicó con anterioridad, en el estudio de tensiones de Von Mises se indica si un material dúctil cederá debido a la acción de una fuerza determinada. En este caso, la pieza está fabricada de aluminio, el cual tiene un límite elástico de 414 MPa, esto lleva a la conclusión de que la incorporación del módulo de extrusión es posible, desde el punto de vista elástico. Ya que como se observa en la Figura 6-12, la tensión de Von Mises máxima tiene un valor de 0,0267 MPa, por lo que $\sigma_{limite} > \sigma_{VonMises}$.

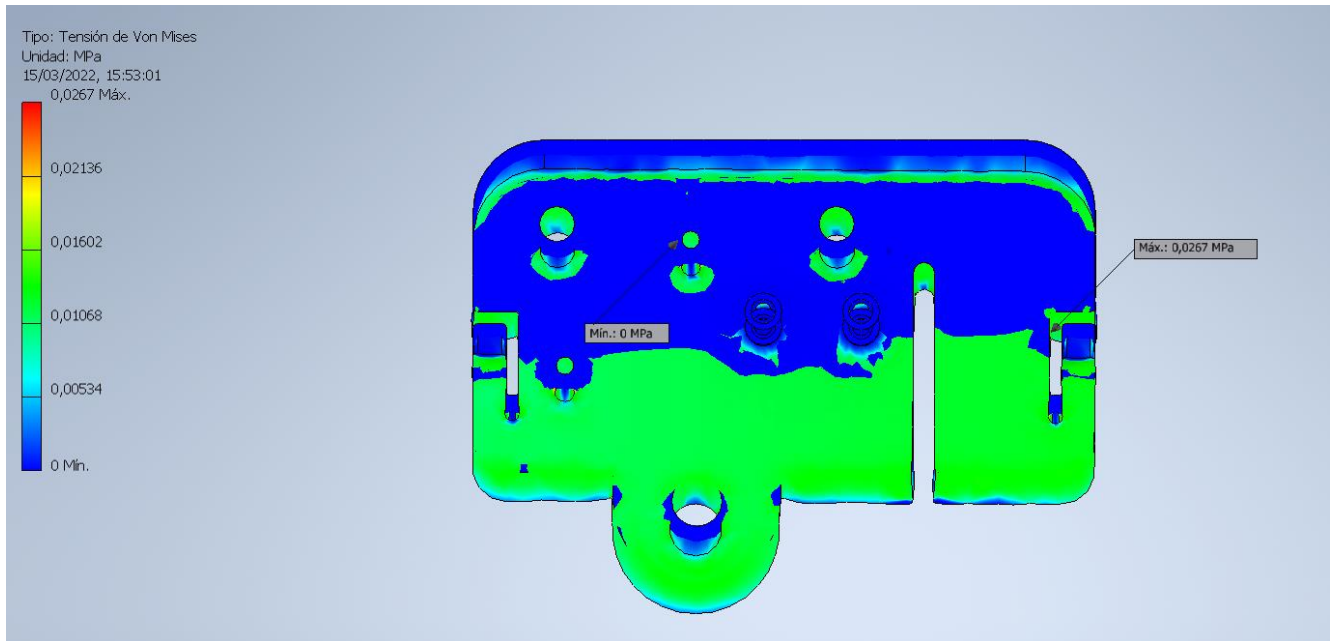


Figura 6-12 Tensión de Von Mises

Teniendo en cuenta el estudio del desplazamiento (Ver Figura 6-13), se puede concluir que el desplazamiento generado es casi nulo, el valor máximo obtenido es de 1,24 μm , por lo que se concluye que el desplazamiento generado es despreciable. Por lo tanto, según la deformación generada en la pieza, afirmándose de esta manera que es posible acoplar el módulo de extrusión en la impresora 3D.

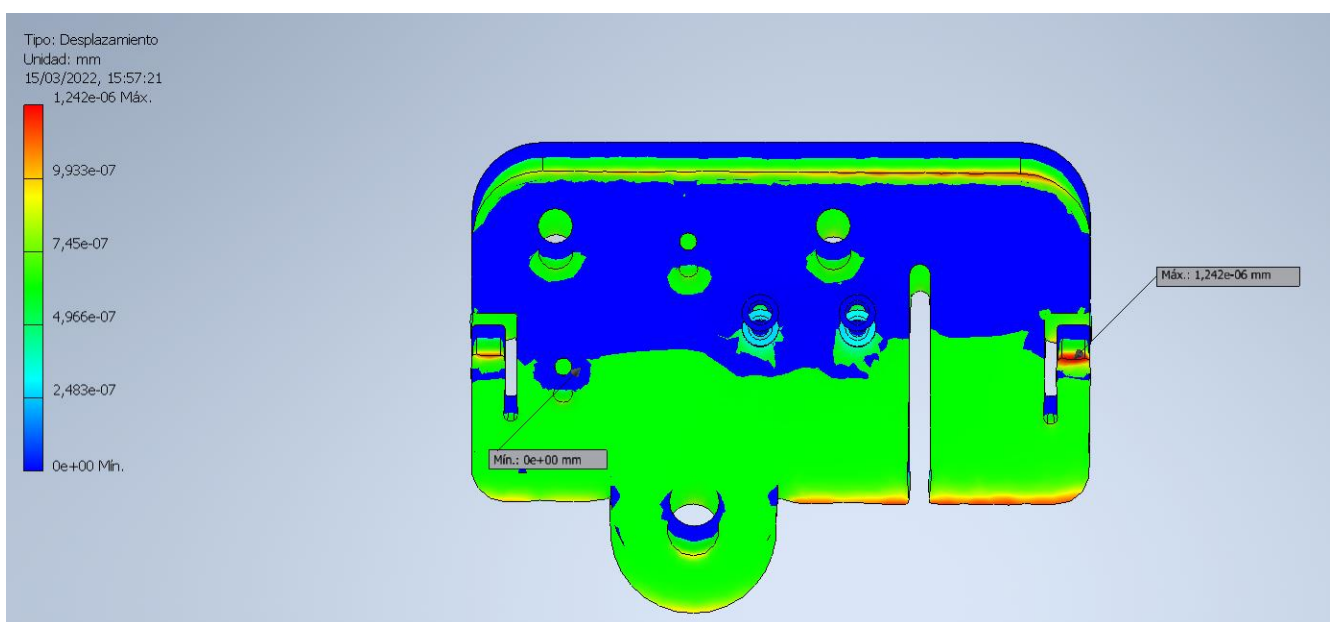


Figura 6-13 Estudio de desplazamiento

Como ya se explicó con anterioridad, se puede calcular el coeficiente de seguridad como la relación entre la tensión máxima permitida y la tensión de Von Mises, este coeficiente de seguridad debe ser superior a 1 para que el diseño pueda ser aceptado, un valor inferior a 1 significa que existen zonas con deformación permanente. Por lo tanto, observando la Figura 6-14 se llega a la conclusión, como en los casos estudiados anteriormente que es posible incorporar el dispositivo a la impresora 3D.

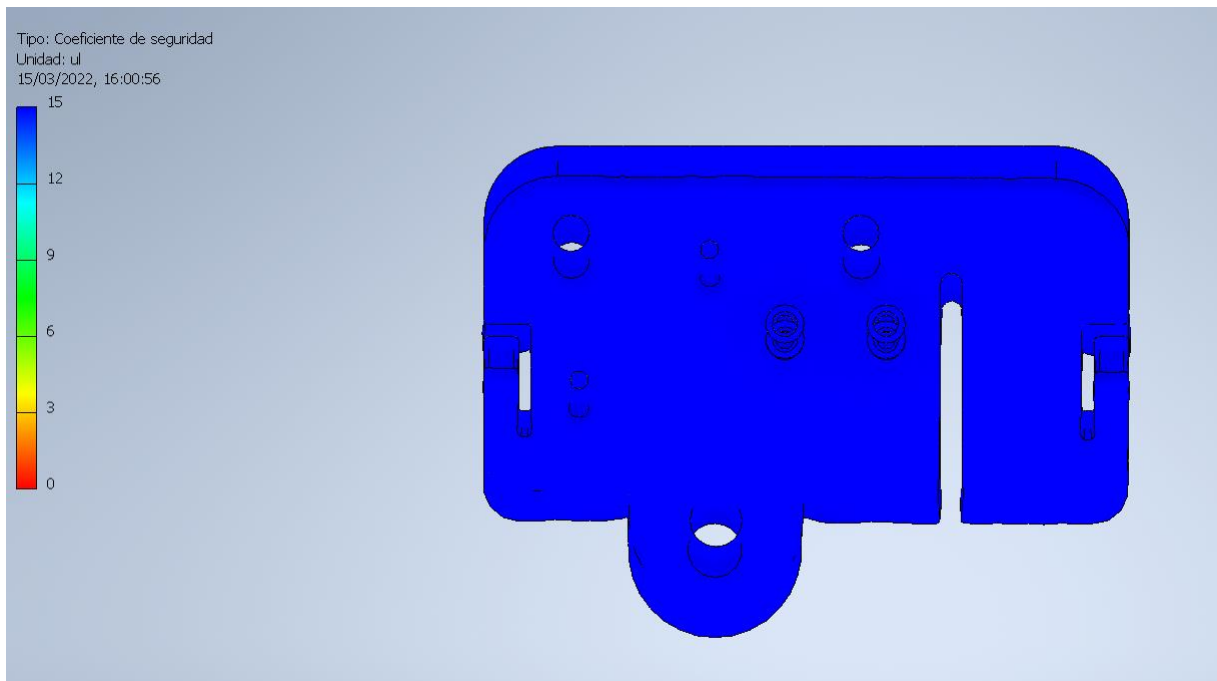


Figura 6-14 Coeficiente de seguridad

7 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

En el presente trabajo fin de grado se ha realizado el diseño de un dispositivo de extrusión para la fabricación de filamento de impresión 3D, estando además preparado para la utilización de subproductos textiles como materiales precursores.

Para llevar a cabo este proyecto, se ha diseñado un equipo versátil, modular, sencillo de manejar, de bajo coste y fácil de construir. El dispositivo está preparado como un sistema abierto que permita la modificación de distintos elementos de cara a adaptarlo de forma rápida y sencilla a las posibles necesidades del usuario.

El dispositivo permite su utilización tanto como extrusora de filamento, como inyector directo del material en una impresora 3D. Gracias a su modularidad se puede acoplar el conjunto que forman los módulos de alimentación y calentamiento-extrusión en una impresora 3D con pequeñas modificaciones en la misma.

Se ha obtenido un sistema con un coste económico relativamente bajo, y competitivo frente a soluciones comerciales, en especial teniendo en cuenta su versatilidad, la posibilidad de modificación por parte del usuario, y la capacidad de trabajo con un amplio rango de materiales, incluyendo materiales compuestos, mediante el uso de las dos tolvas.

Se ha iniciado la fabricación y puesta a punto del dispositivo. Sin embargo, en parte motivado por la poca duración del periodo de realización del TFG, como especialmente, por problemas con el suministro y mecanizado de algunos componentes del sistema, sólo se ha podido completar las primeras etapas de este, tal y como se puede observar en las Figura 7-1 y en la Figura 7-2 donde se muestra un primer prototipo del módulo de extrusión y el módulo de alimentación.

Como líneas futuras para el presente proyecto se exponen las comentadas a continuación:

- La construcción y puesta a punto del dispositivo de extrusión.
- Realización de ensayos experimentales con distintos materiales y composiciones, tanto para inyección directa, como para la fabricación de filamento.
- Fabricación de materiales de origen textil dopados con nanopartículas para diversas aplicaciones; biomédicas (implantes), sanitarias (bactericidas), militares (superficies hidrofóbicas), entre otras.
- Optimización del peso y tamaño del sistema.
- Capacidad de acoplamiento a una amplia gama de sistemas de impresión 3D.
- Estudio y optimización del acoplamiento entre los módulos de extrusión y enfriamiento. Mejora del sistema de bobinado.



Figura 7-1 Montaje 1



Figura 7-2 Montaje 2

8 BIBLIOGRAFÍA

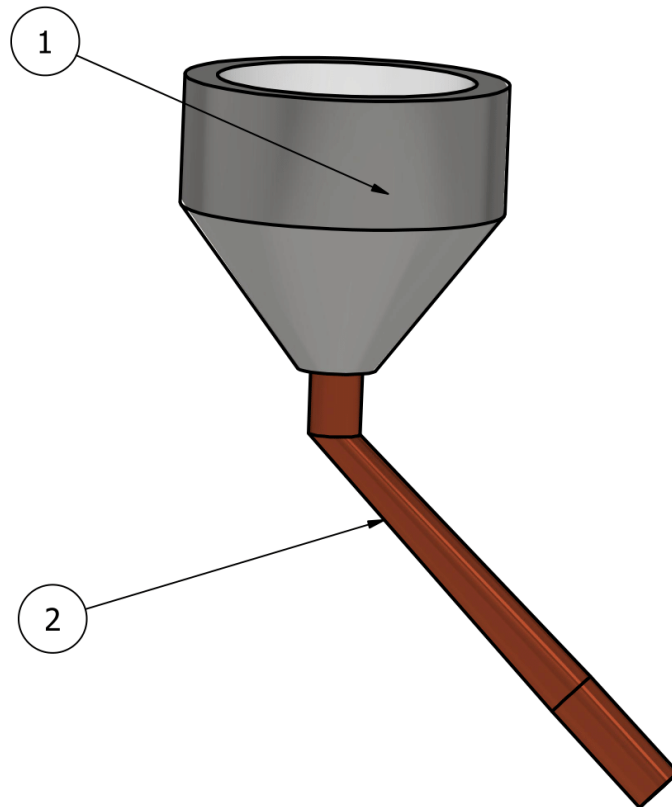
- [1] M. D. Encinas Malagón, «Medio Ambiente y Contaminación. Principios básicos», 2011.
- [2] «Estrategia europea para el plástico»
- [3] A. Jandyal, I. Chaturvedi, I. Wazir, A. Raina, y M. I. Ul Haq, «3D printing – A review of processes, materials and applications in industry 4.0», *Sustain. Oper. Comput.*, vol. 3, 2022
- [4] I. Gibson, D. Rosen, y B. Stucker, *Additive Manufacturing Technologies*. 2015.
- [5] G. M. Boizas, «(CÓMO Y PORQUÉ DE LA IMPRESIÓN 3D)», p. 203.
- [6] K. S. Reddy y S. Dufera, «ADDITIVE MANUFACTURING TECHNOLOGIES», p. 25.
- [7] «Ngo et al. - 2018 - Additive manufacturing (3D printing) A review of .pdf».
- [8] Alfredo, «Las 6 mejores Impresoras 3D Resina de 2022», *Vivir en 3D*, 18 de abril de 2020
- [9] C. Silbernagel, «Additive Manufacturing 101-4: What is material jetting?», *Canada Makes*, 26 de abril de 2018.
- [10] «Monitoring the Laser Powder Bed Fusion 3D Printing Process with Spectroscopy to Detect Defects», *Perfect 3D Printing Filament*, 7 de septiembre de 2018
- [11] «Figure 11. Schematic illustrating the binder jetting technique.»,
- [12] «Sheet Lamination | Additive Manufacturing Research Group | Loughborough University».
- [13] M. N. G. dice, «Guía completa: Deposición de energía directa, te lo contamos todo!», *3Dnatives*, 9 de septiembre de 2019
- [14] «Impresoras 3d FDM – Impresoras 3d»
- [15] J. den Boer, W. Lambrechts, y H. Krikke, «Additive manufacturing in military and humanitarian missions: Advantages and challenges in the spare parts supply chain», *J. Clean. Prod.*, vol. 257, p. 120301, jun. 2020
- [16] «Greenpeace.pdf».

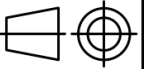
- [17] «Plan de Acción de Economía Circular», p. 74.
- [18] «Tecnología de Polímero.pdf».
- [19] «Singh y Singh - 2022 - Fiber extrusion melt-spinning.pdf».
- [20] M. K. Singh y A. Singh, «Fiber extrusion melt-spinning», en *Characterization of Polymers and Fibres*, Elsevier, 2022.
- [21] «Meet The Composer And Precision - Desktop Filament Makers | 3devo»
- [22] «Felfil Evo | Extrusora de filamento en Kit o ensamblado para impresora 3D»
- [23] «EX2 Extruder – Filabot»
- [24] «Filabot EX6 Filament Extruder»

ANEXO I: PLANOS

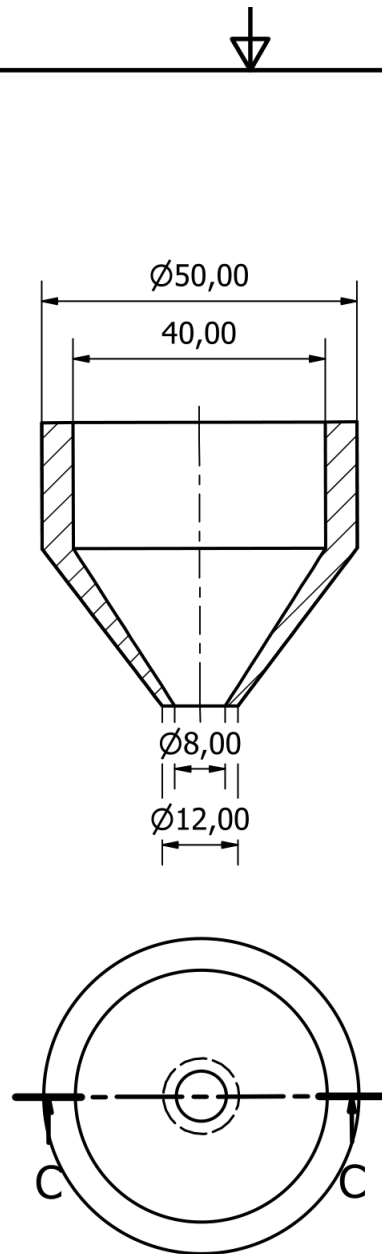


LISTA DE PIEZAS		
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA
1	1	Tolva de alimentación
2	1	Conducto de alimentación

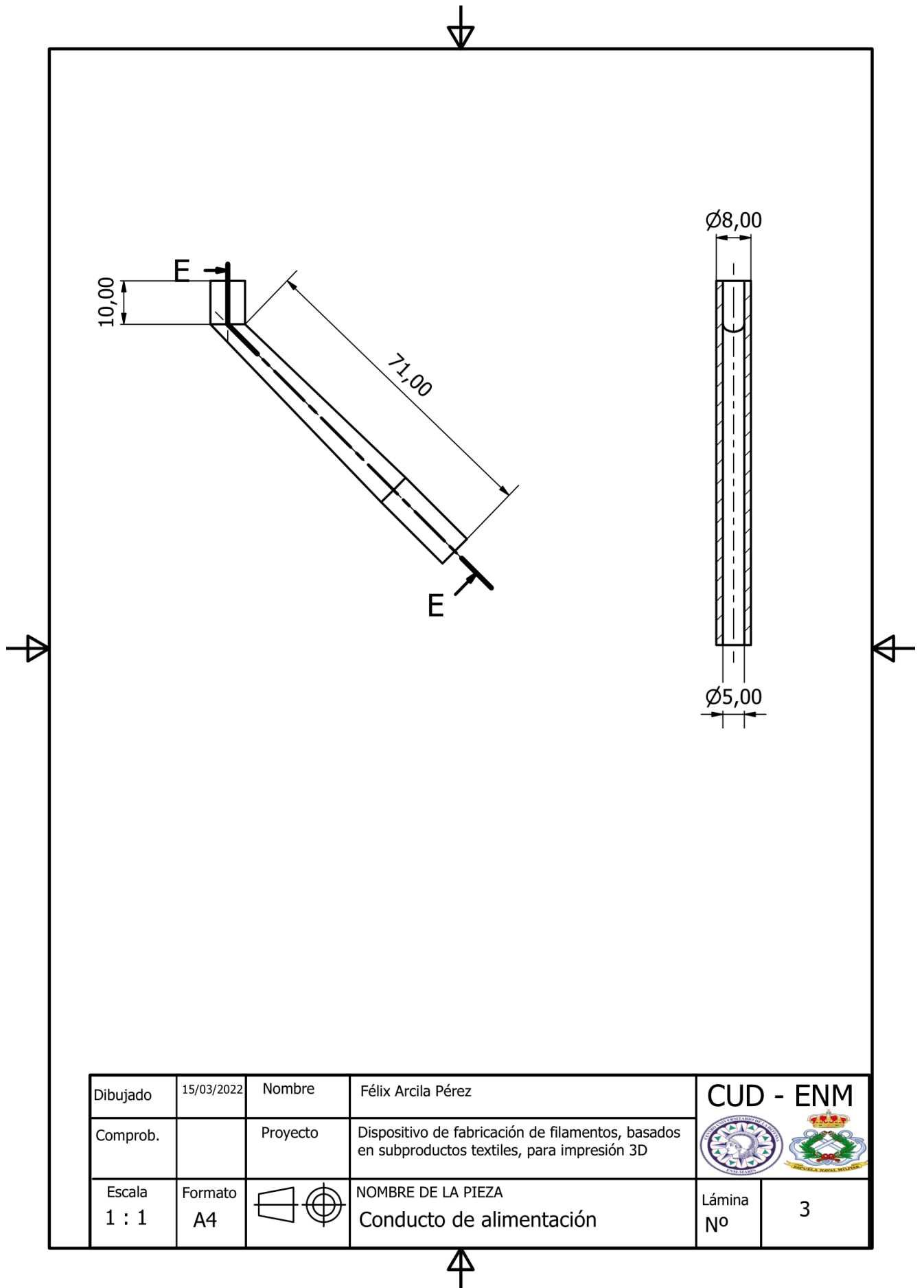


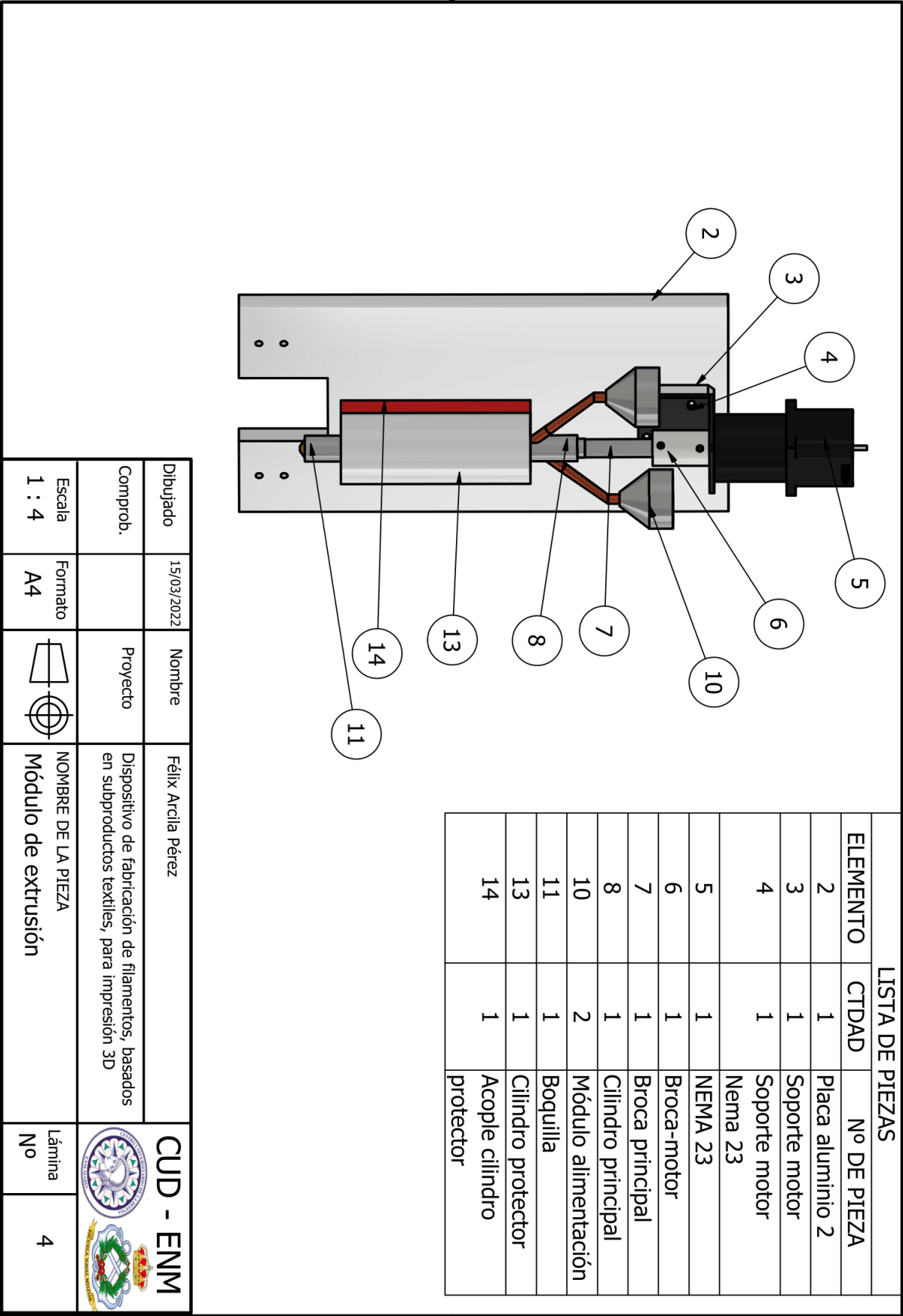
Dibujado	15/03/2022	Nombre	Félix Arcila Pérez	CUD - ENM	
Comprob.		Proyecto	Dispositivo de fabricación de filamentos, basados en subproductos textiles, para impresión 3D	 	
Escala 1 : 1	Formato A4		NOMBRE DE LA PIEZA Módulo de refrigeración	Lámina Nº	1

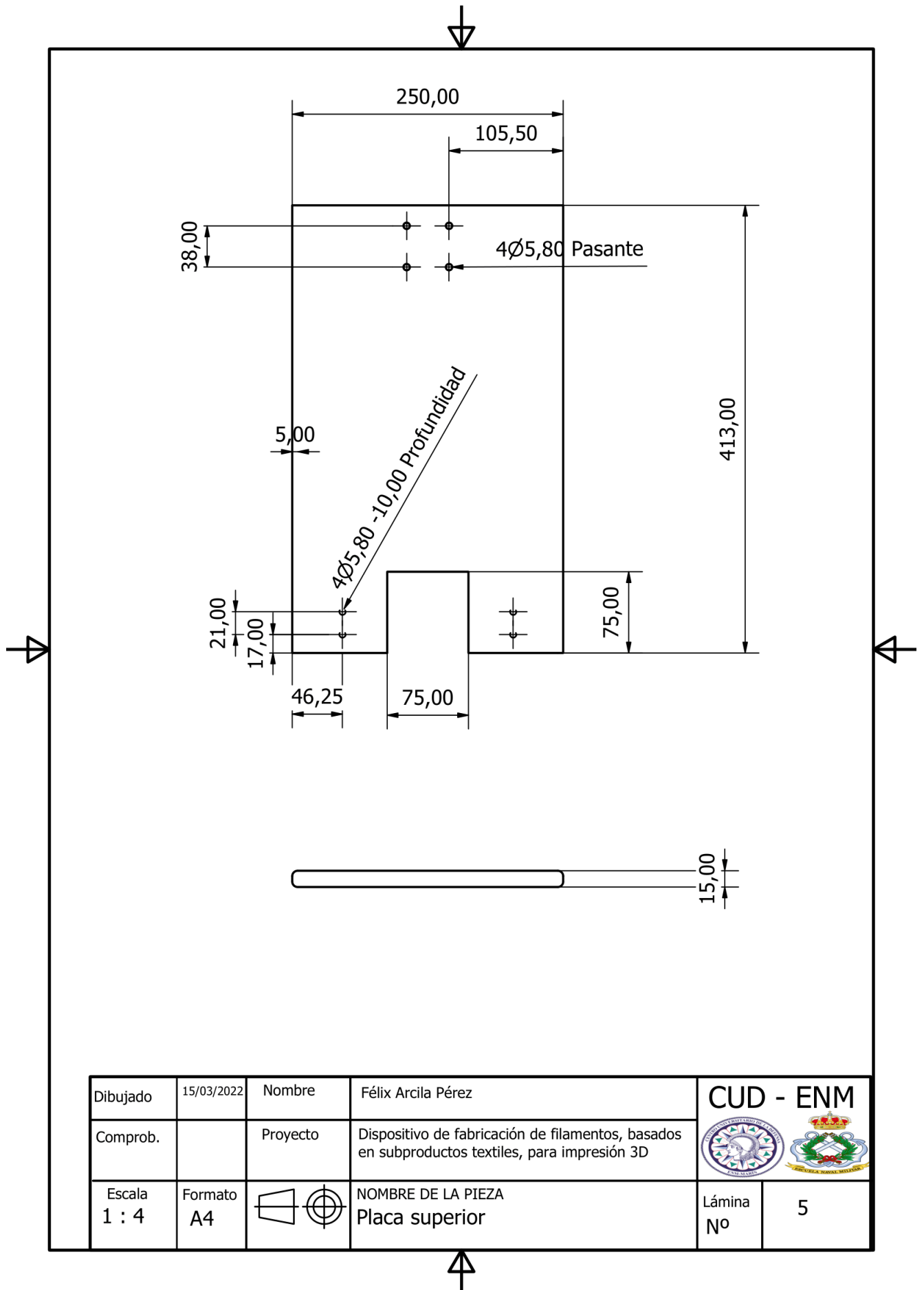


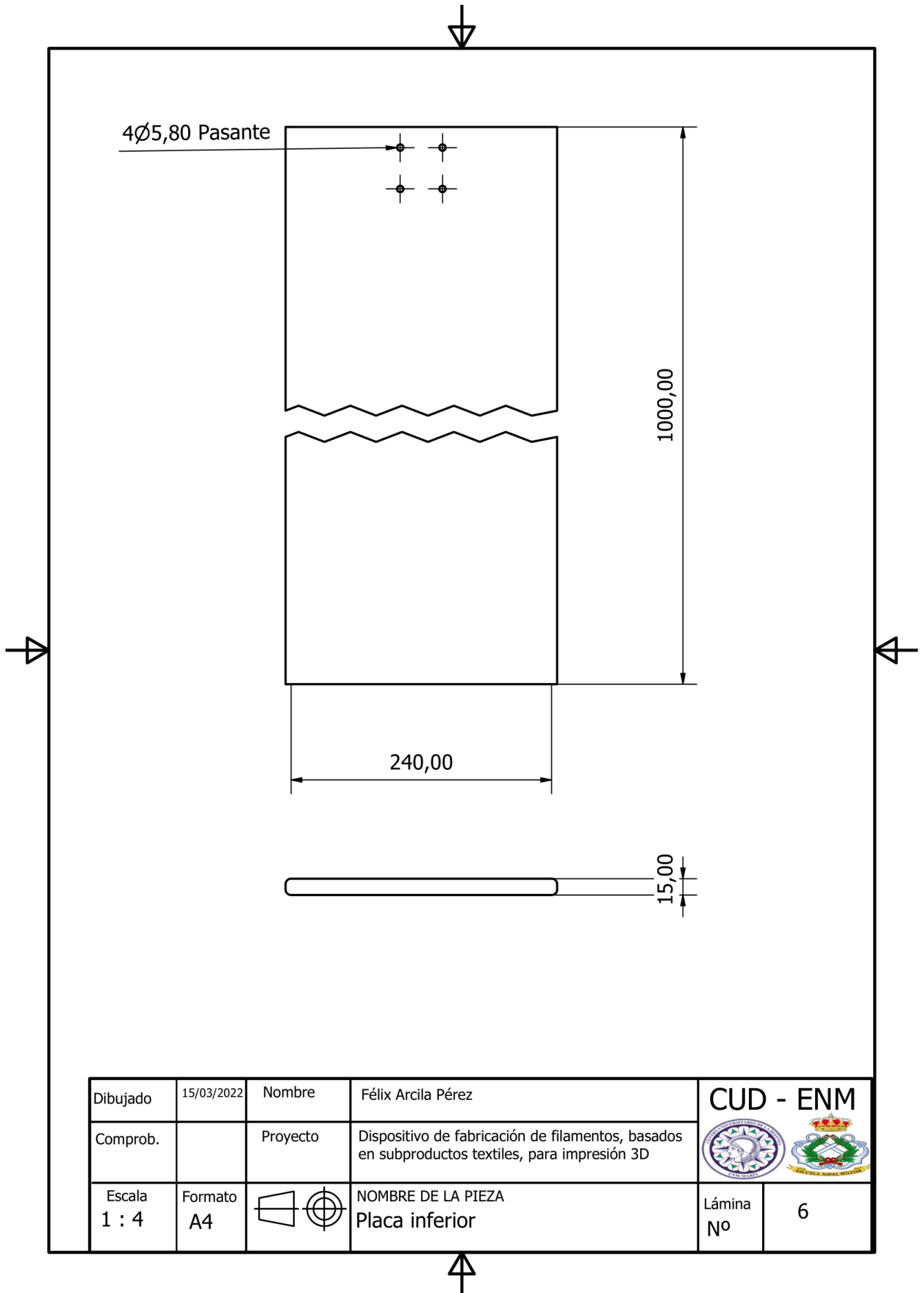


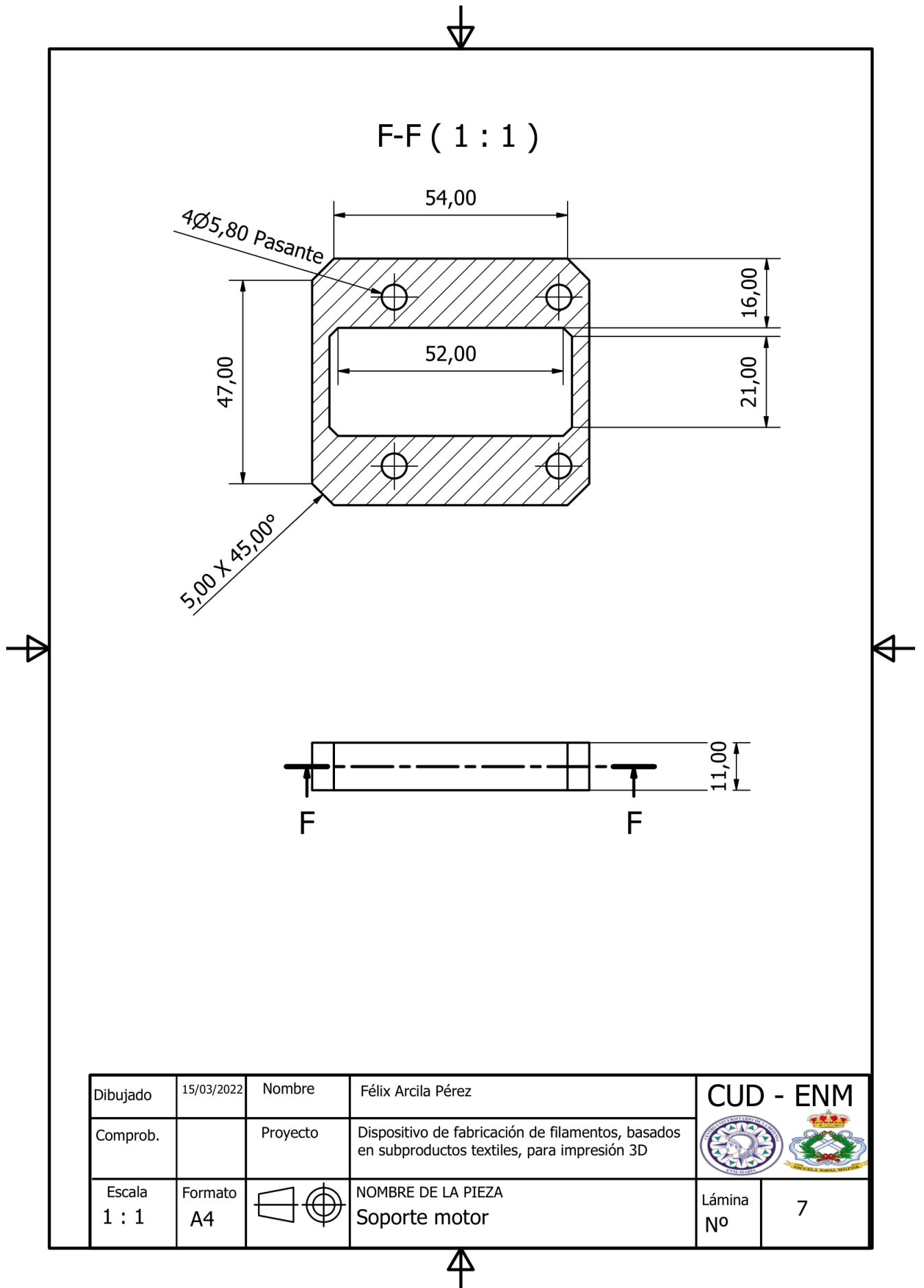
Dibujado	15/03/2022	Nombre	Félix Arcila Pérez	CUD - ENM	
Comprob.		Proyecto	Dispositivo de fabricación de filamentos, basados en subproductos textiles, para impresión 3D	 	
Escala 1 : 1	Formato A4	 	NOMBRE DE LA PIEZA Tolva de alimentación	Lámina Nº	2

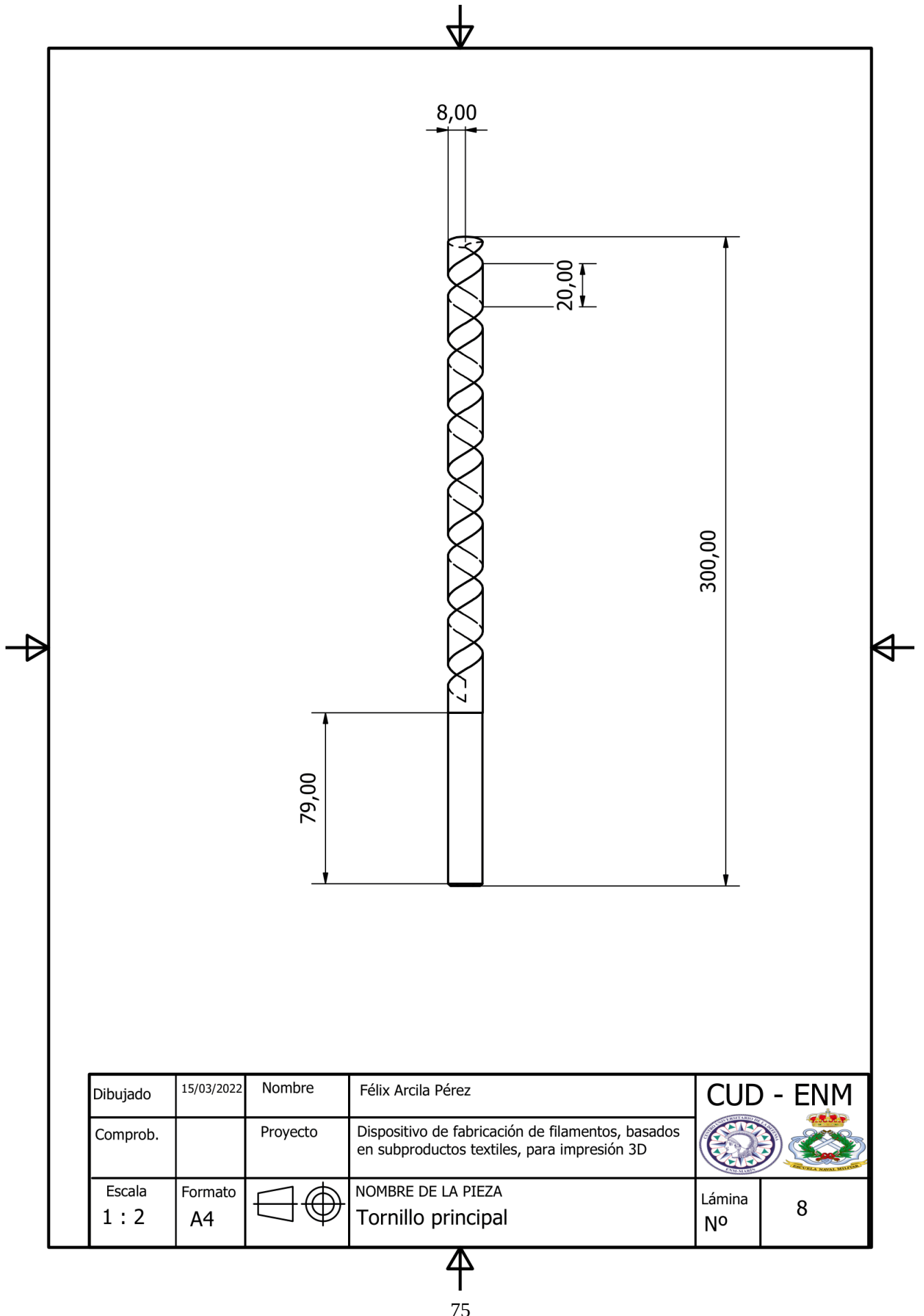


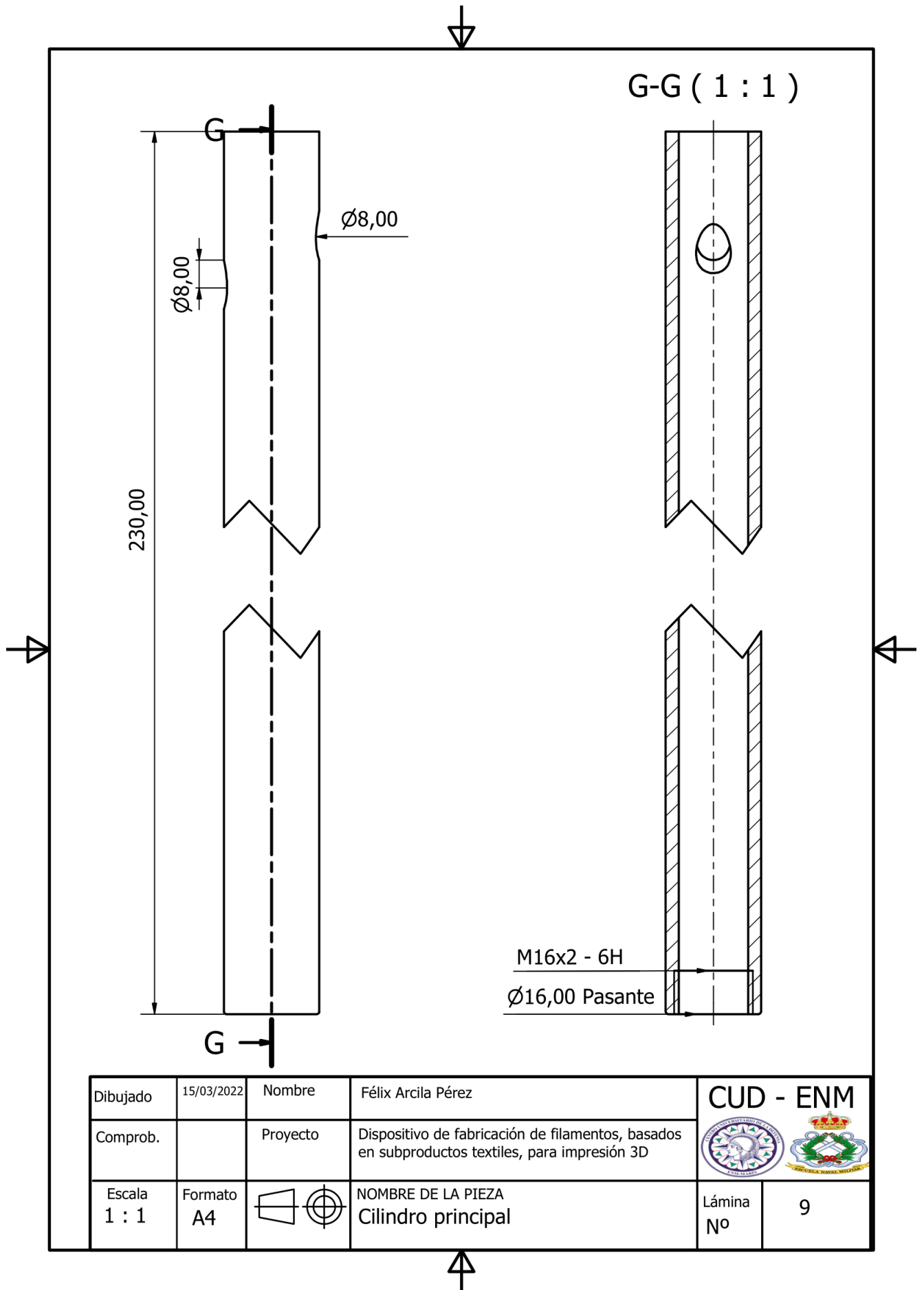


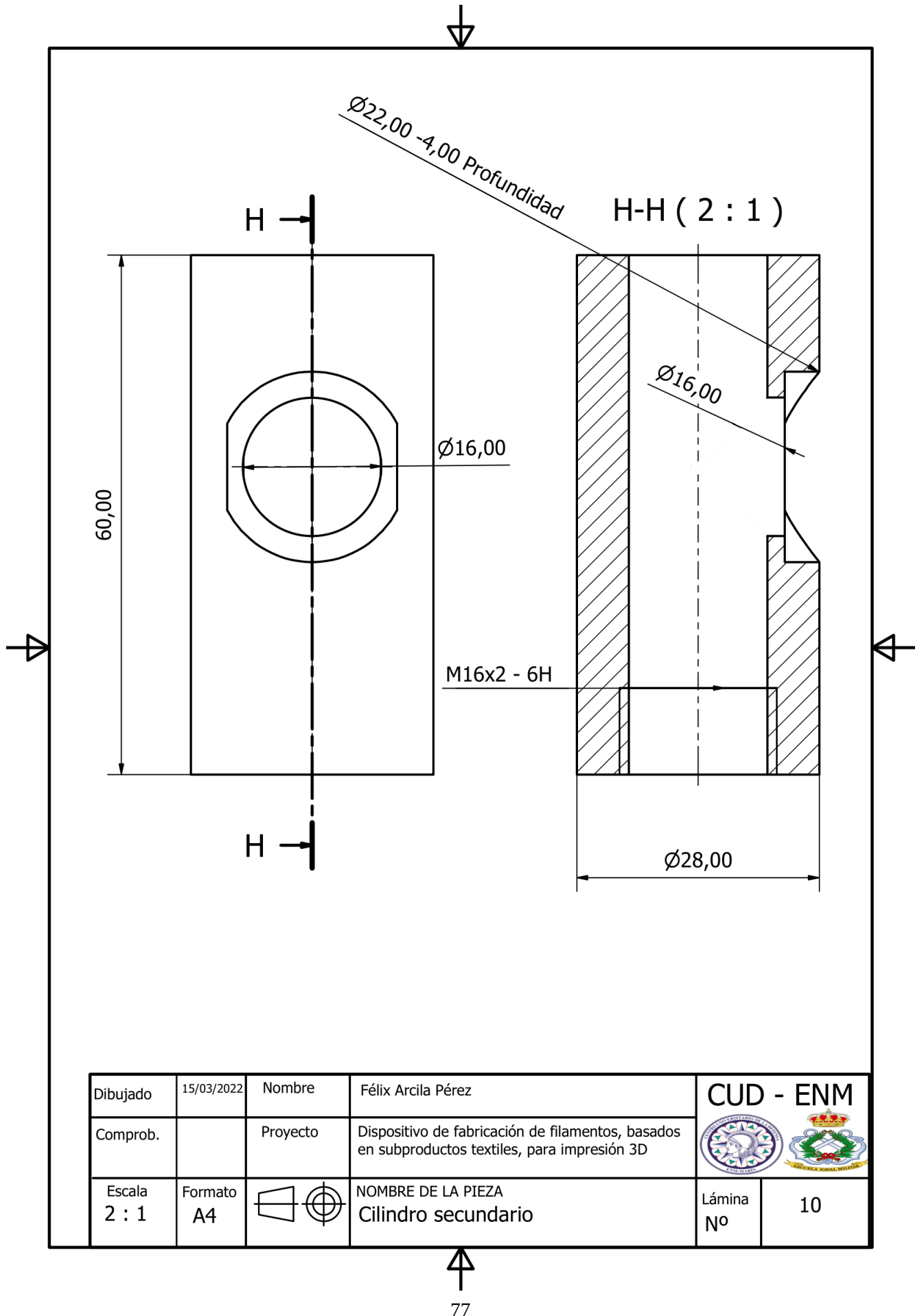


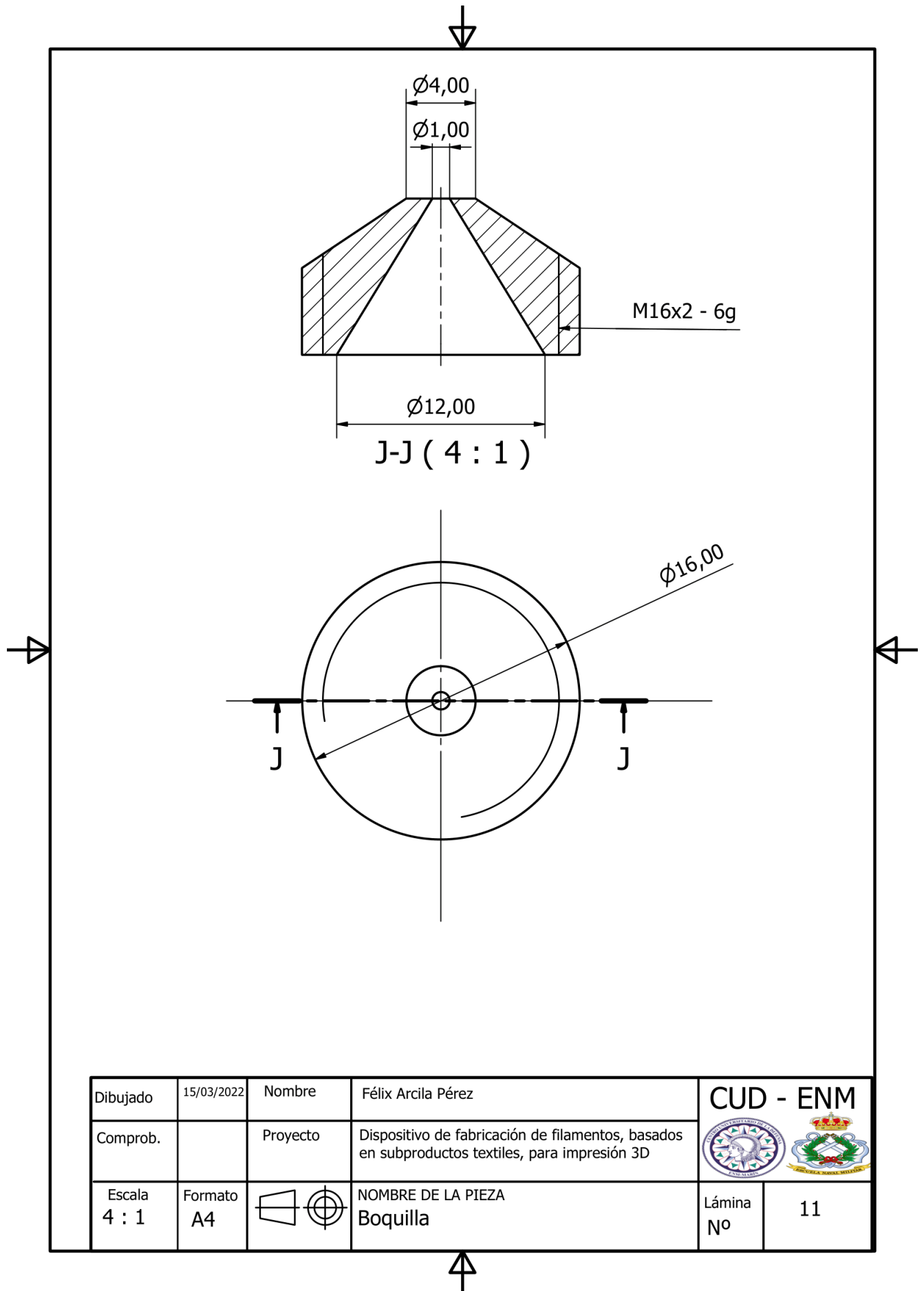


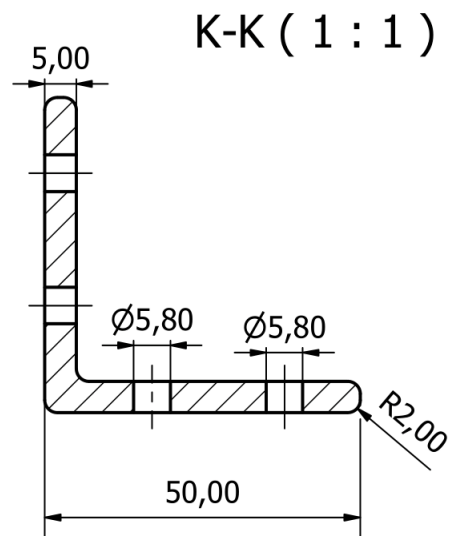
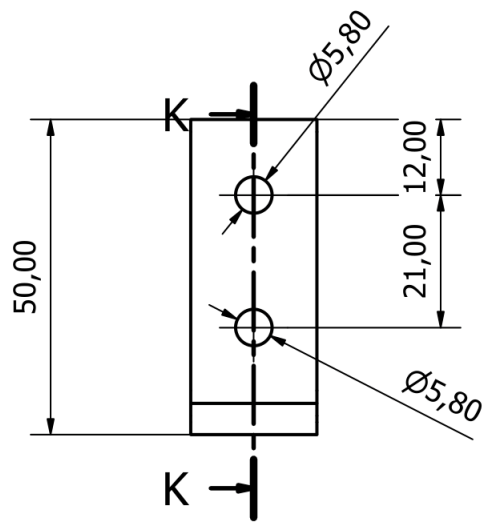




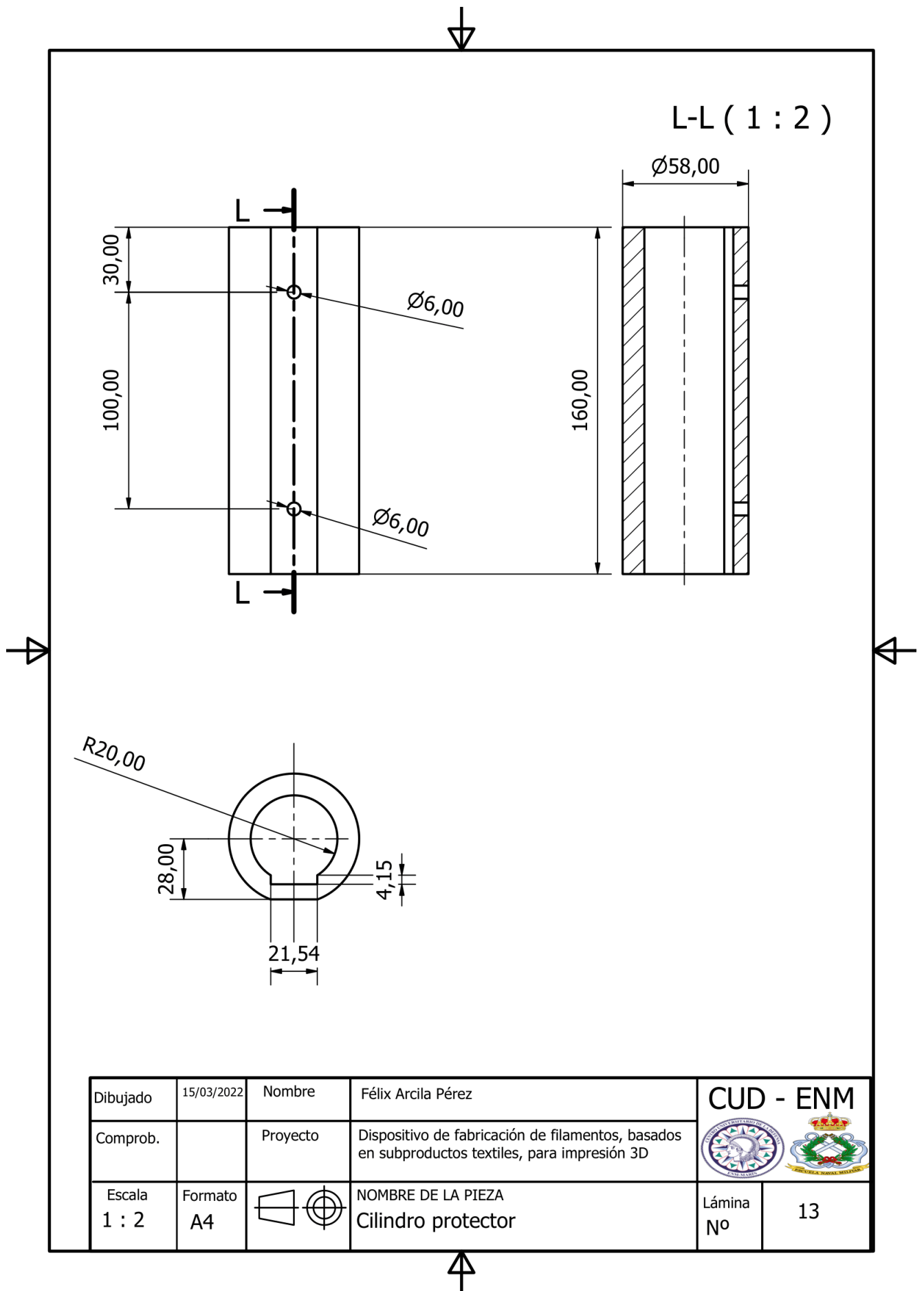


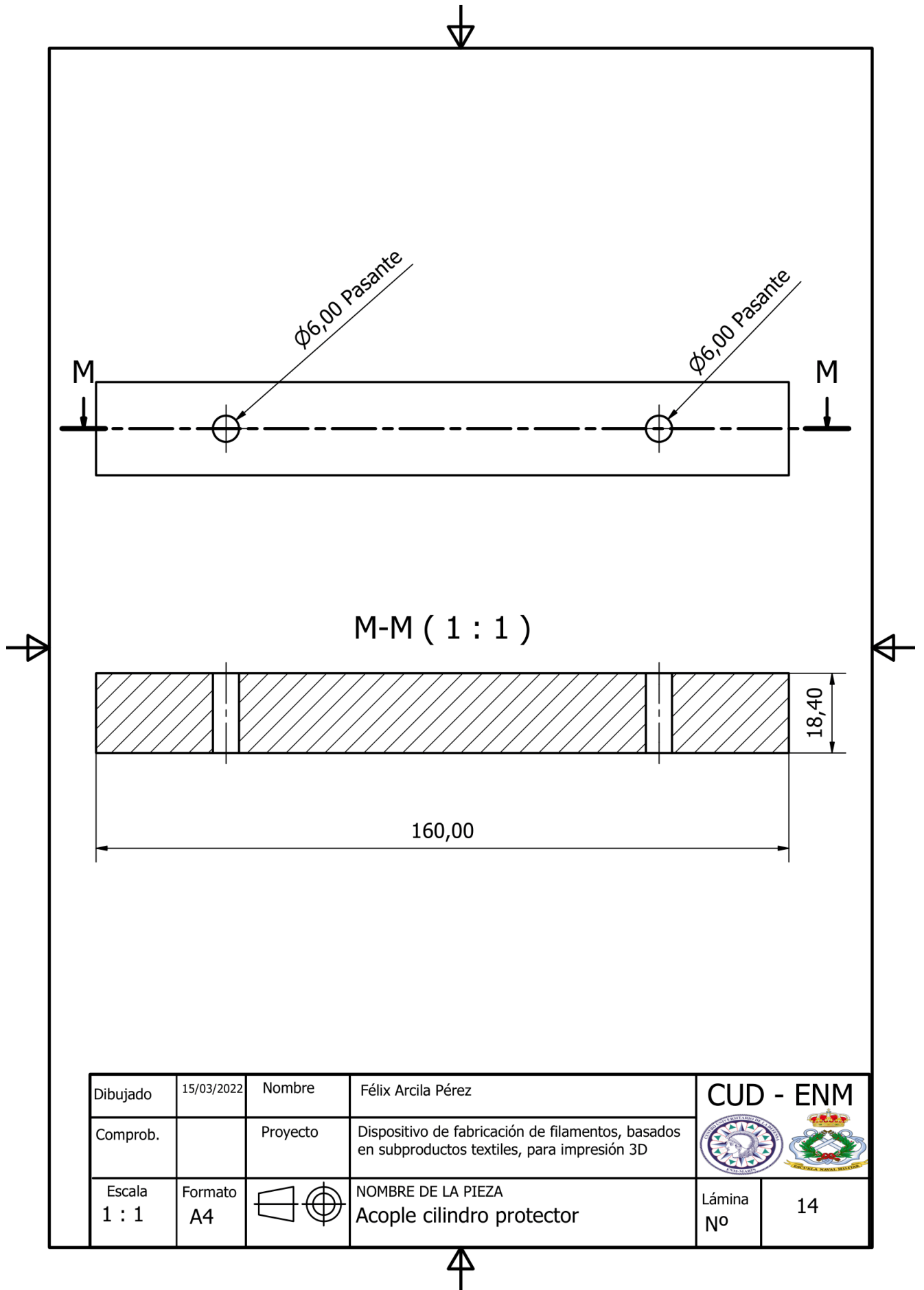


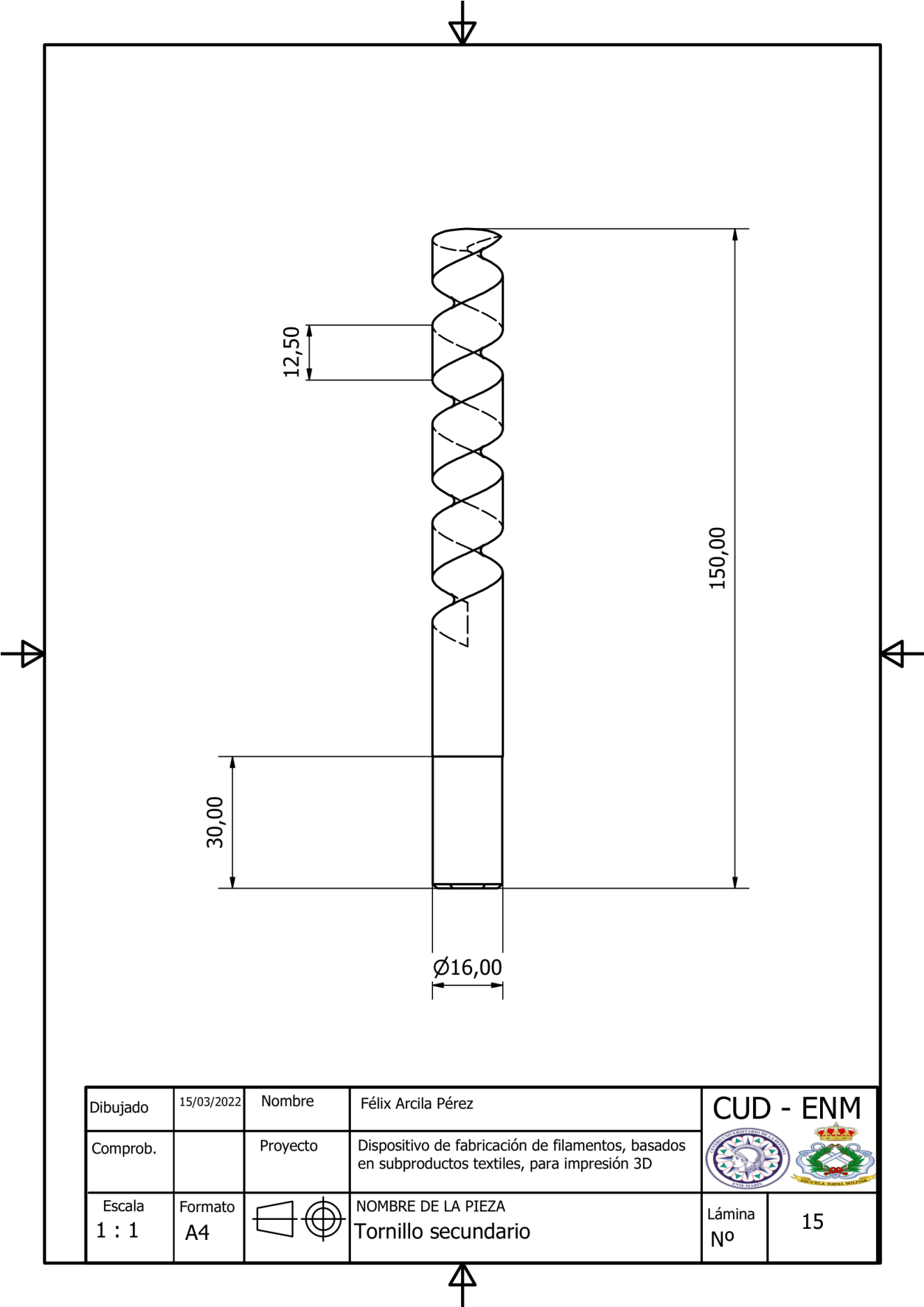


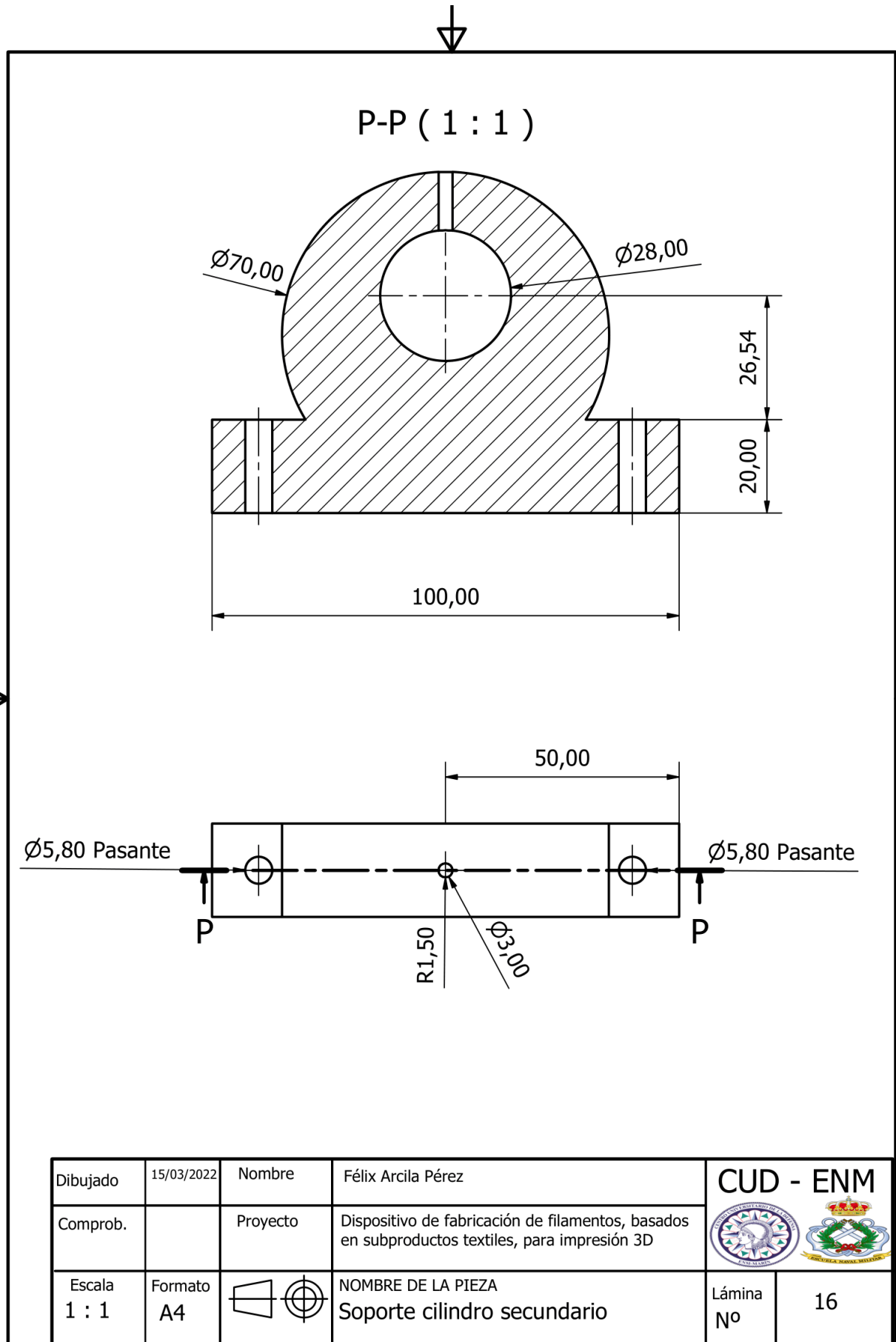


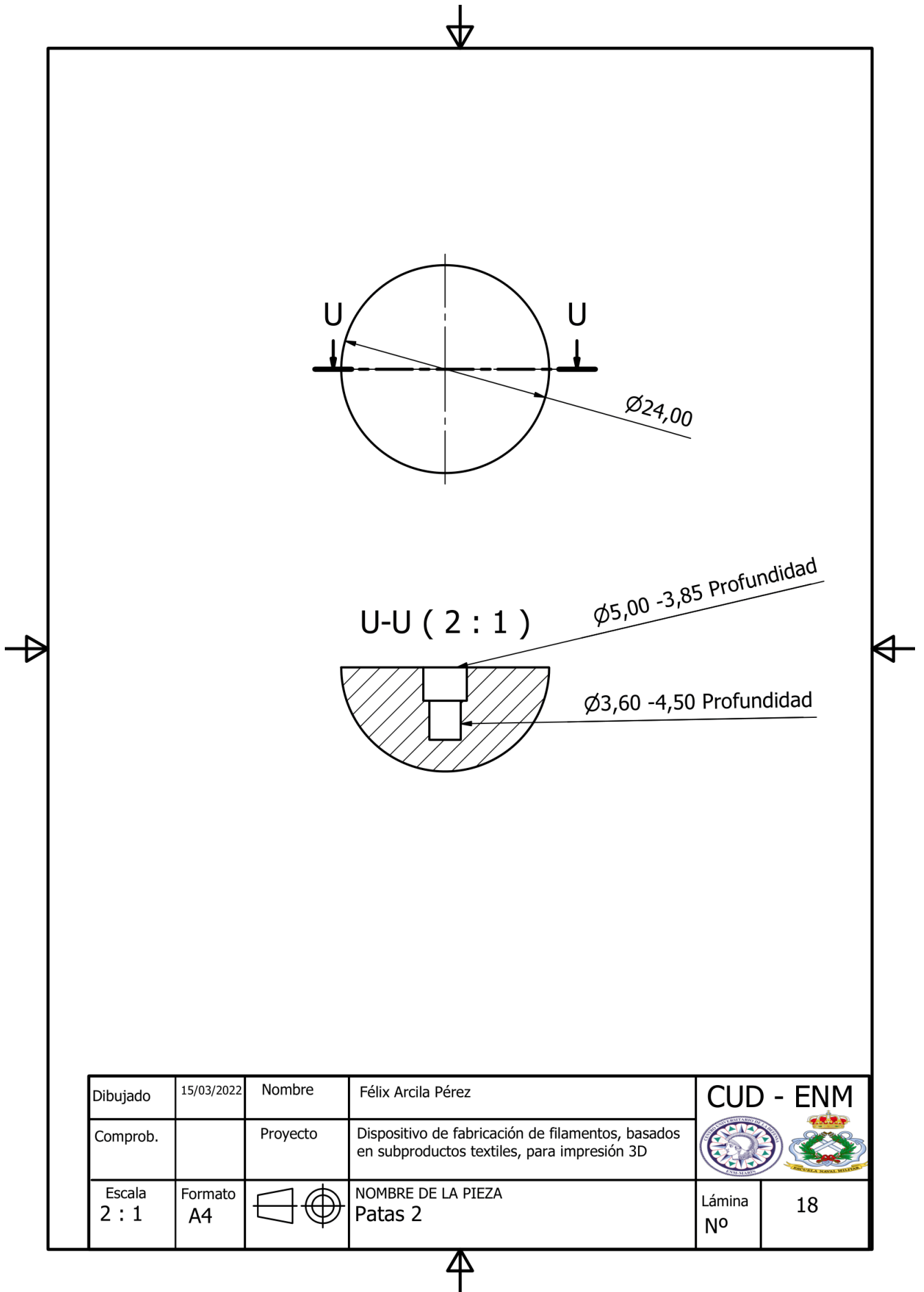
Dibujado	15/03/2022	Nombre	Félix Arcila Pérez	CUD - ENM	
Comprob.		Proyecto	Dispositivo de fabricación de filamentos, basados en subproductos textiles, para impresión 3D	 	
Escala 1 : 1	Formato A4		NOMBRE DE LA PIEZA Soporte placas aluminio	Lámina No	12

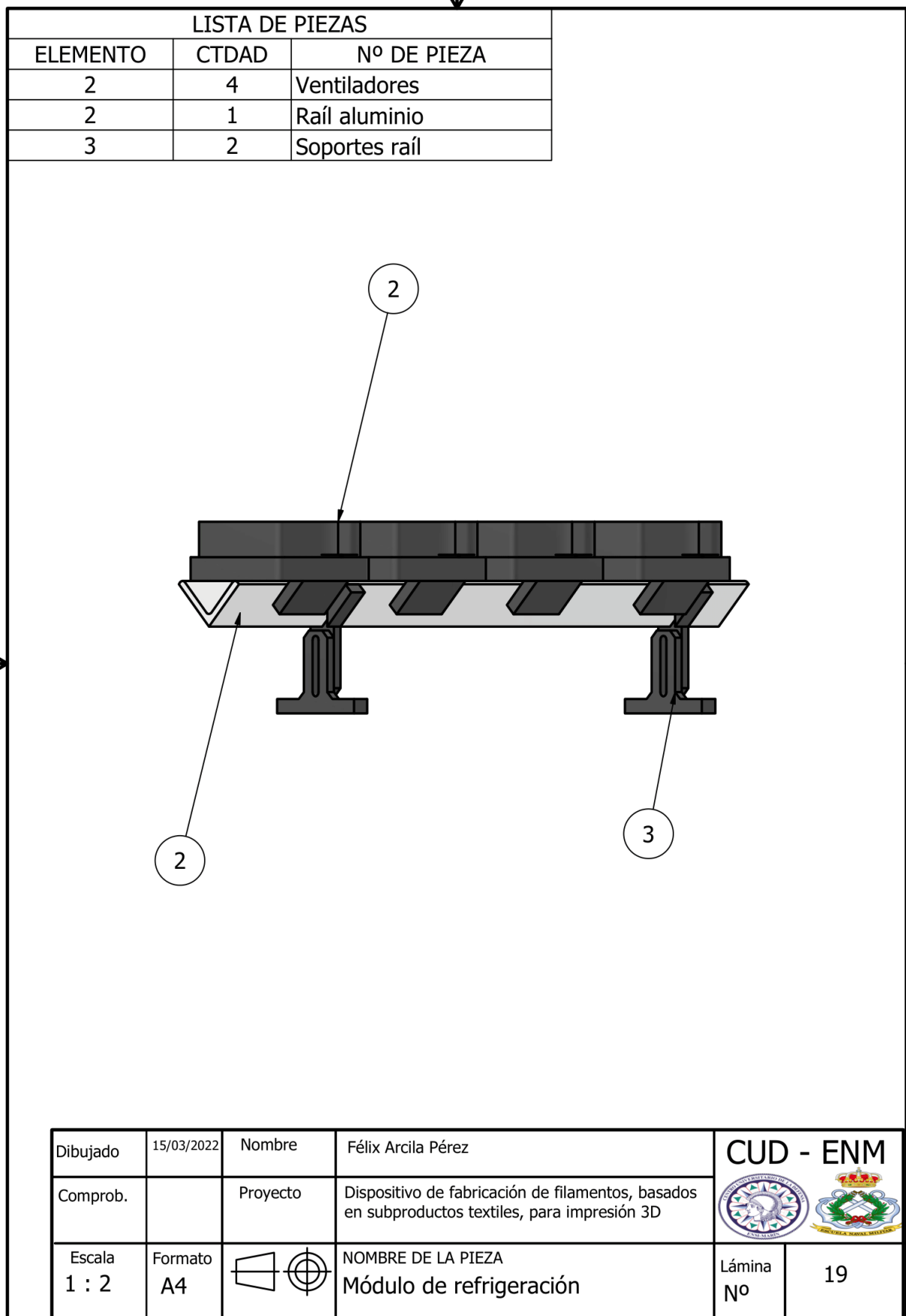


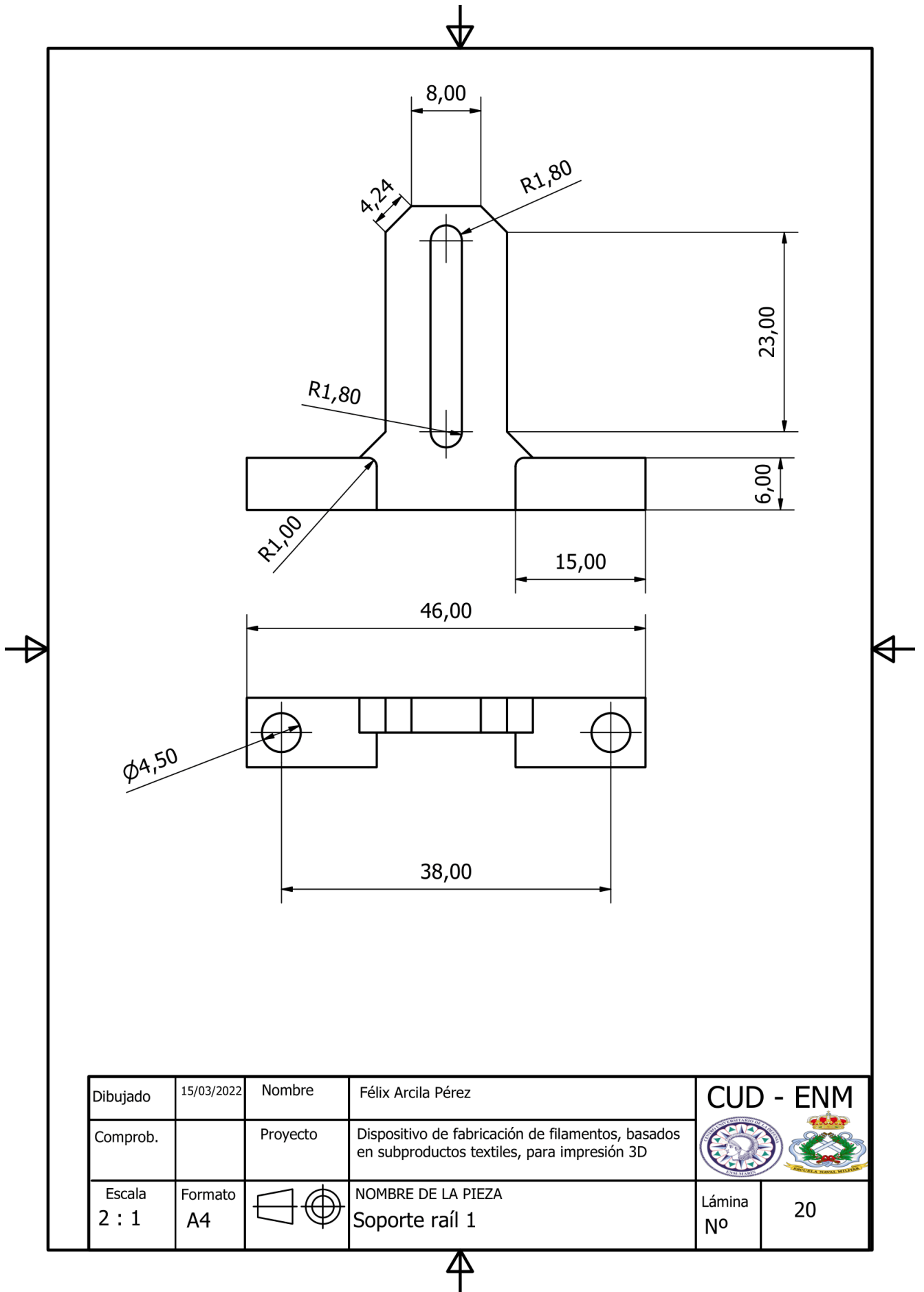


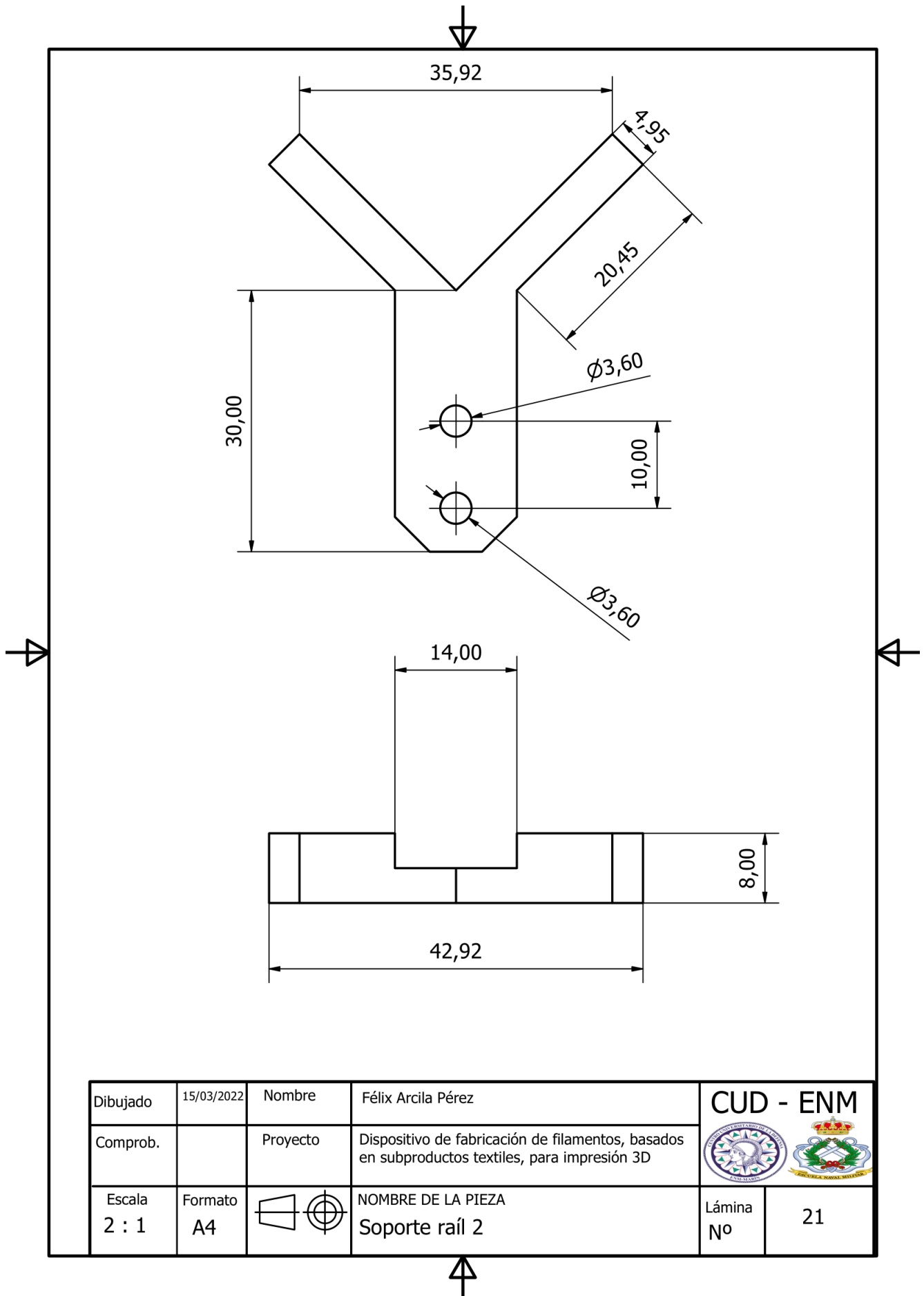




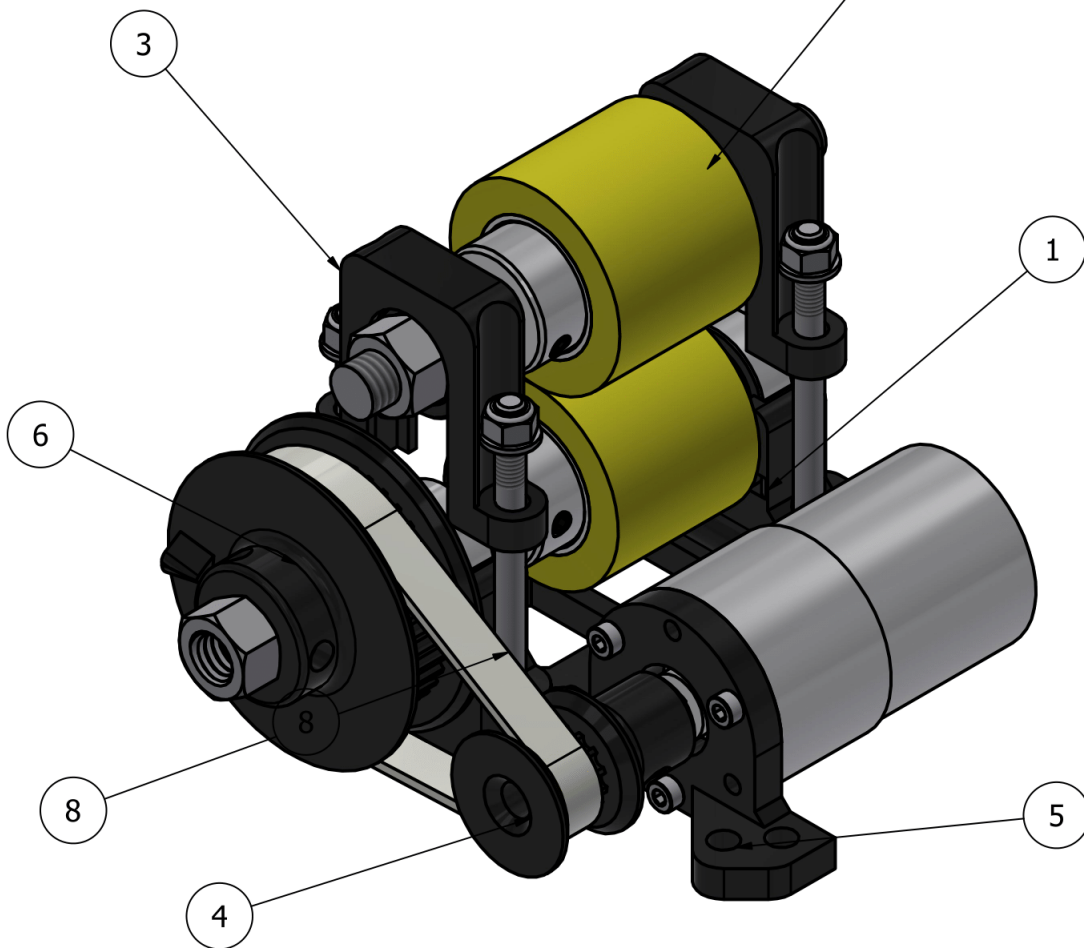


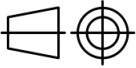


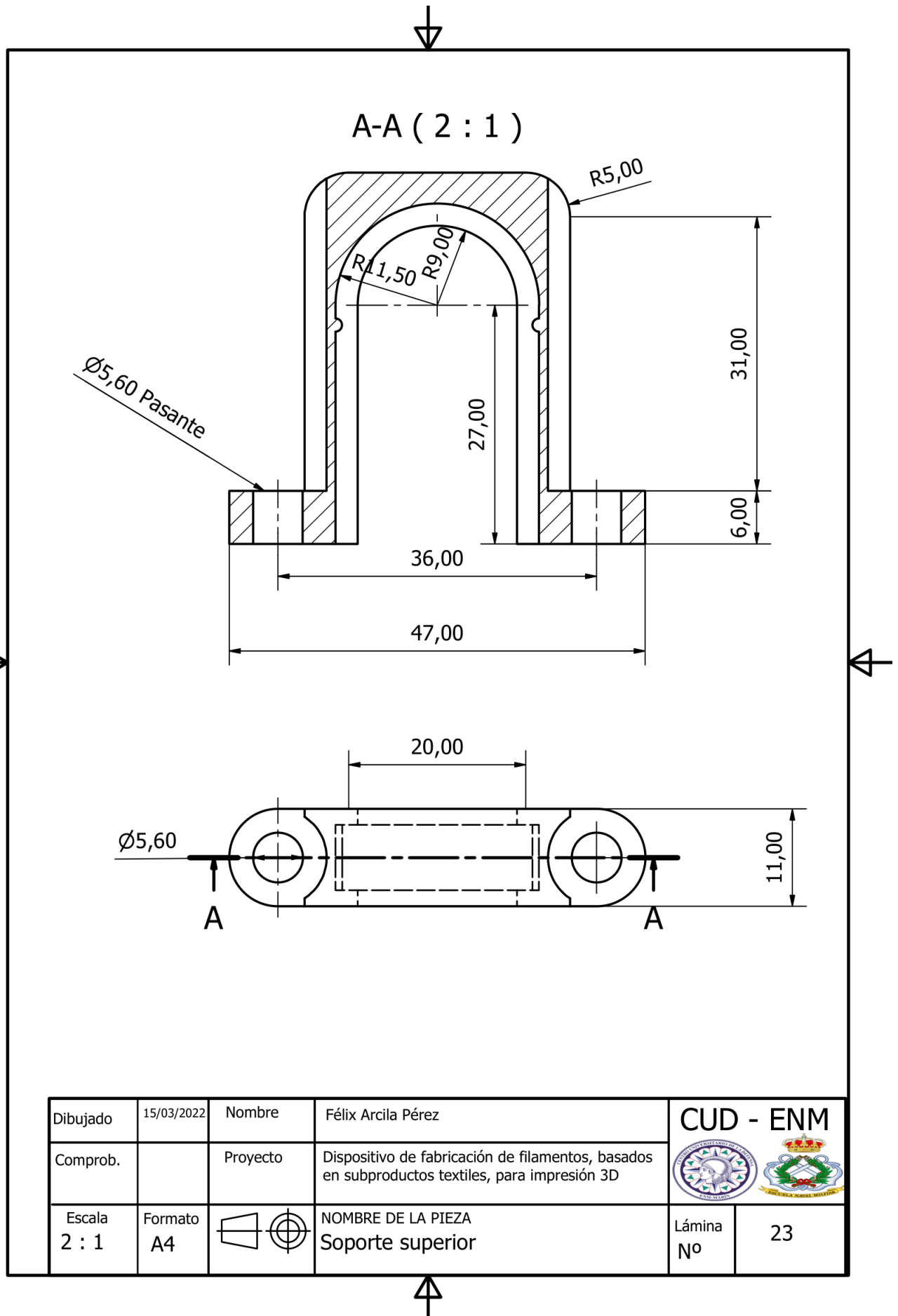


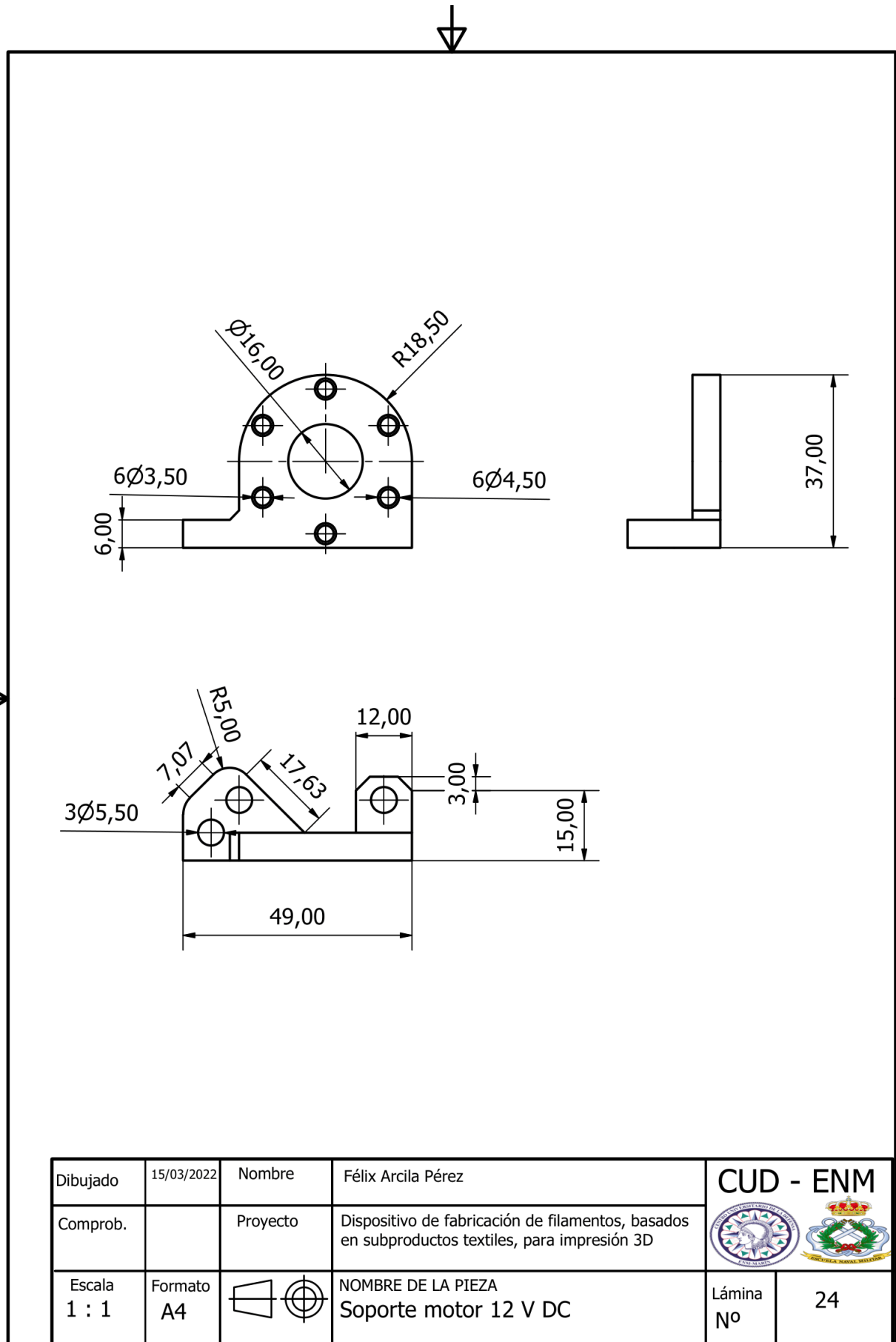


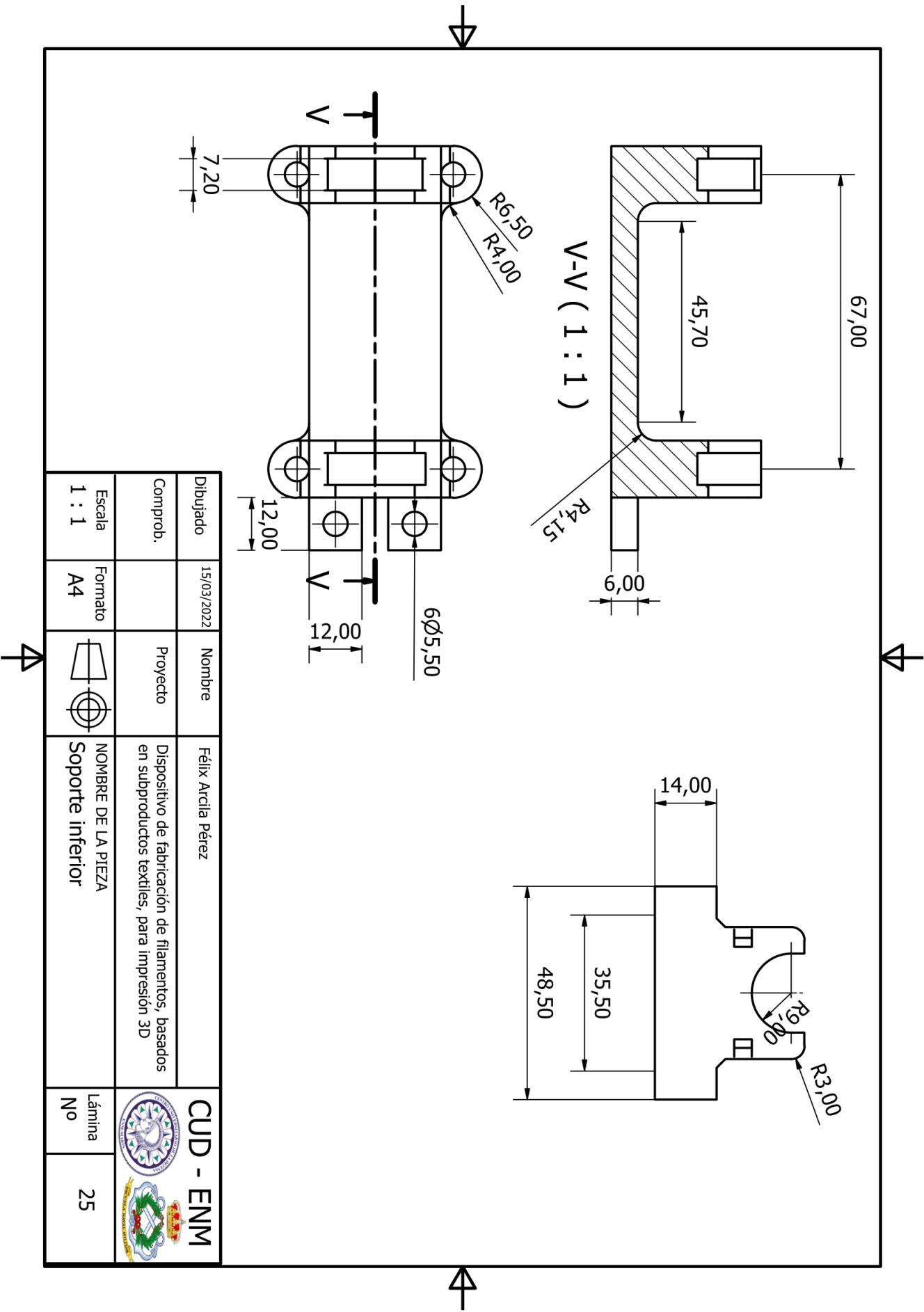
LISTA DE PIEZAS		
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA
1	1	Soporte inferior
2	2	Rodillos
3	2	Soporte superior
4	1	Rodamiento grande
5	1	Soporte motor
6	1	Rodamiento pequeño
7	1	Motor 12V DC
8	1	Correa

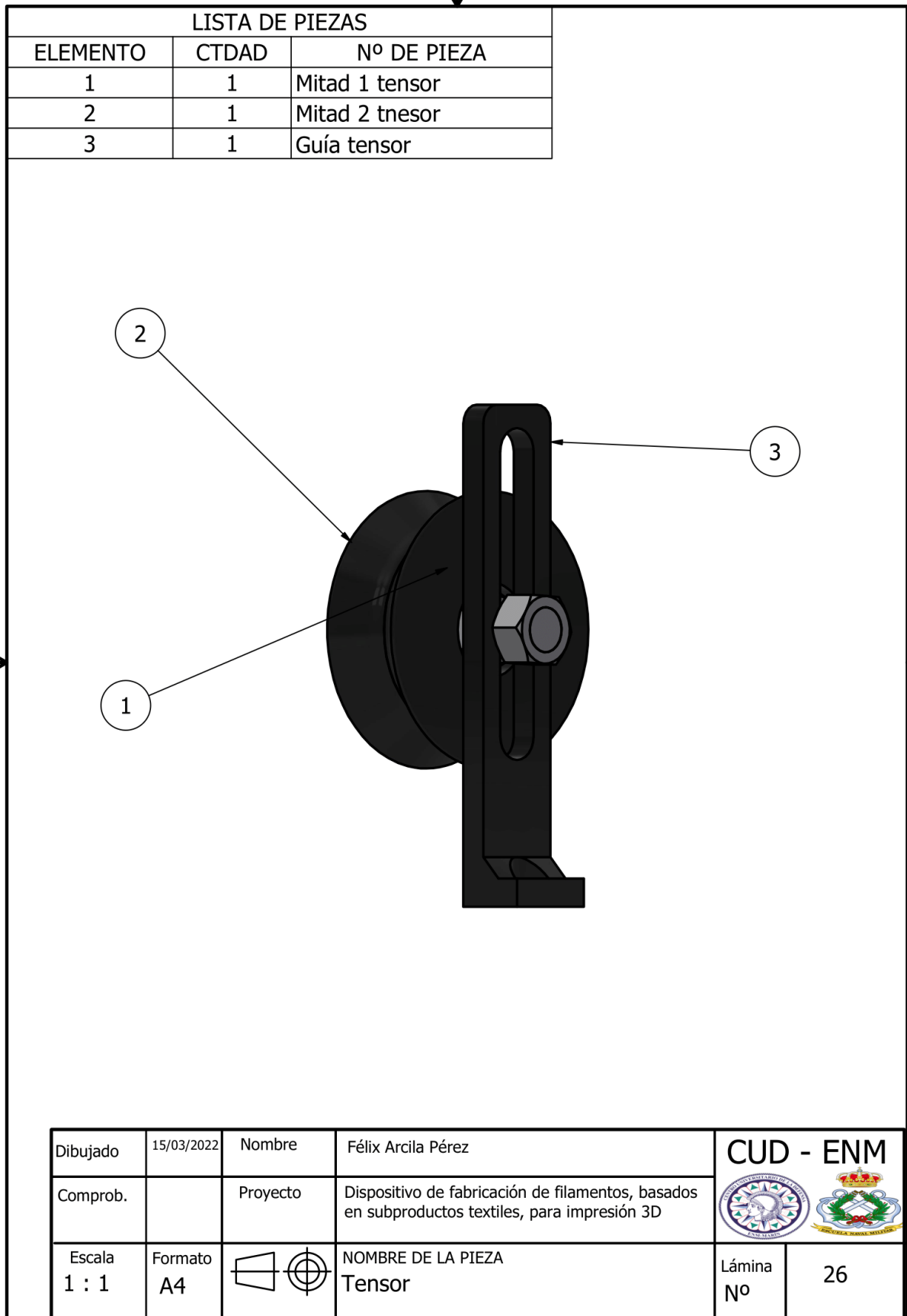


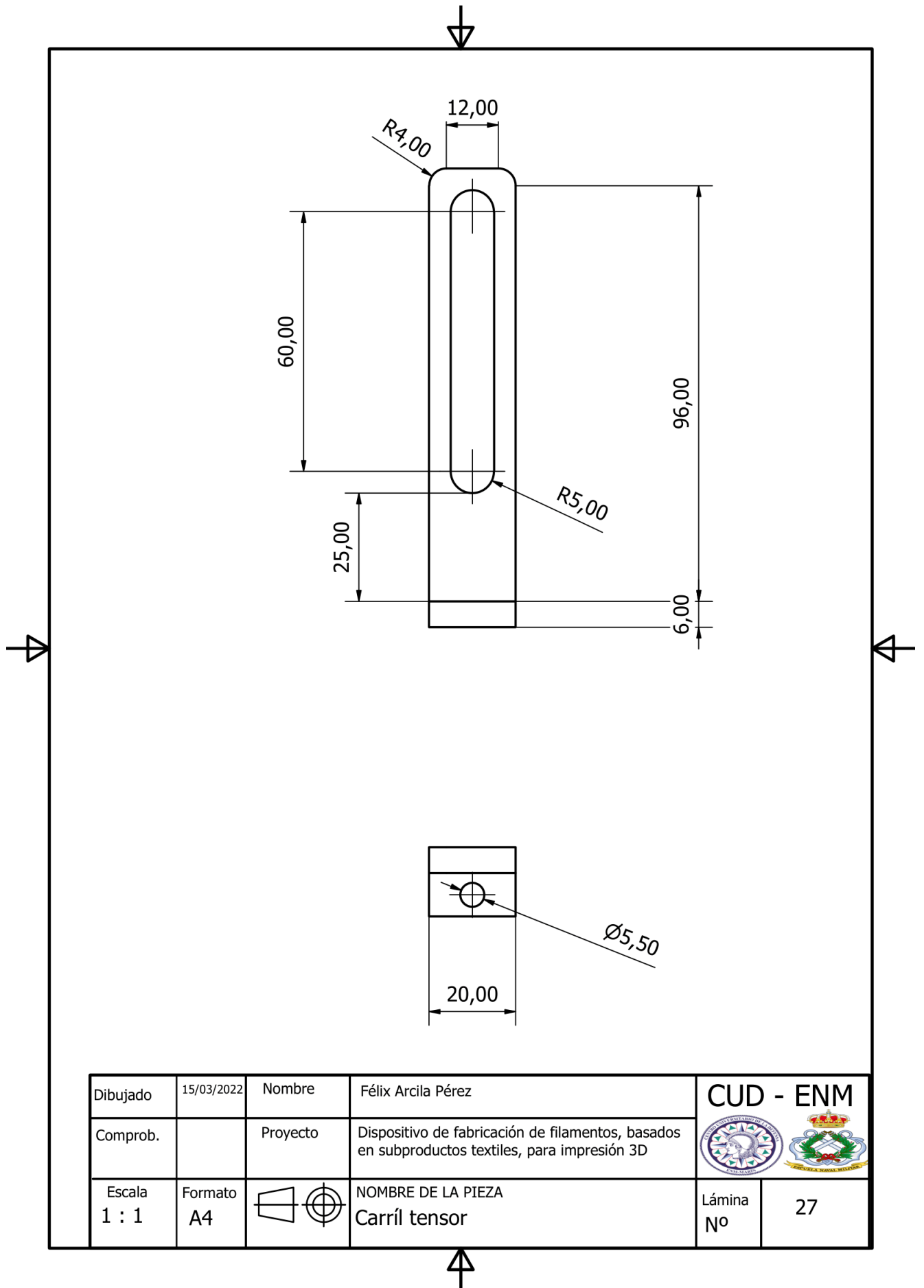
Dibujado	15/03/2022	Nombre	Félix Arcila Pérez	CUD - ENM	
Comprob.		Proyecto	Dispositivo de fabricación de filamentos, basados en subproductos textiles, para impresión 3D	 	
Escala 1 : 1	Formato A4		NOMBRE DE LA PIEZA Extractor	Lámina Nº	22



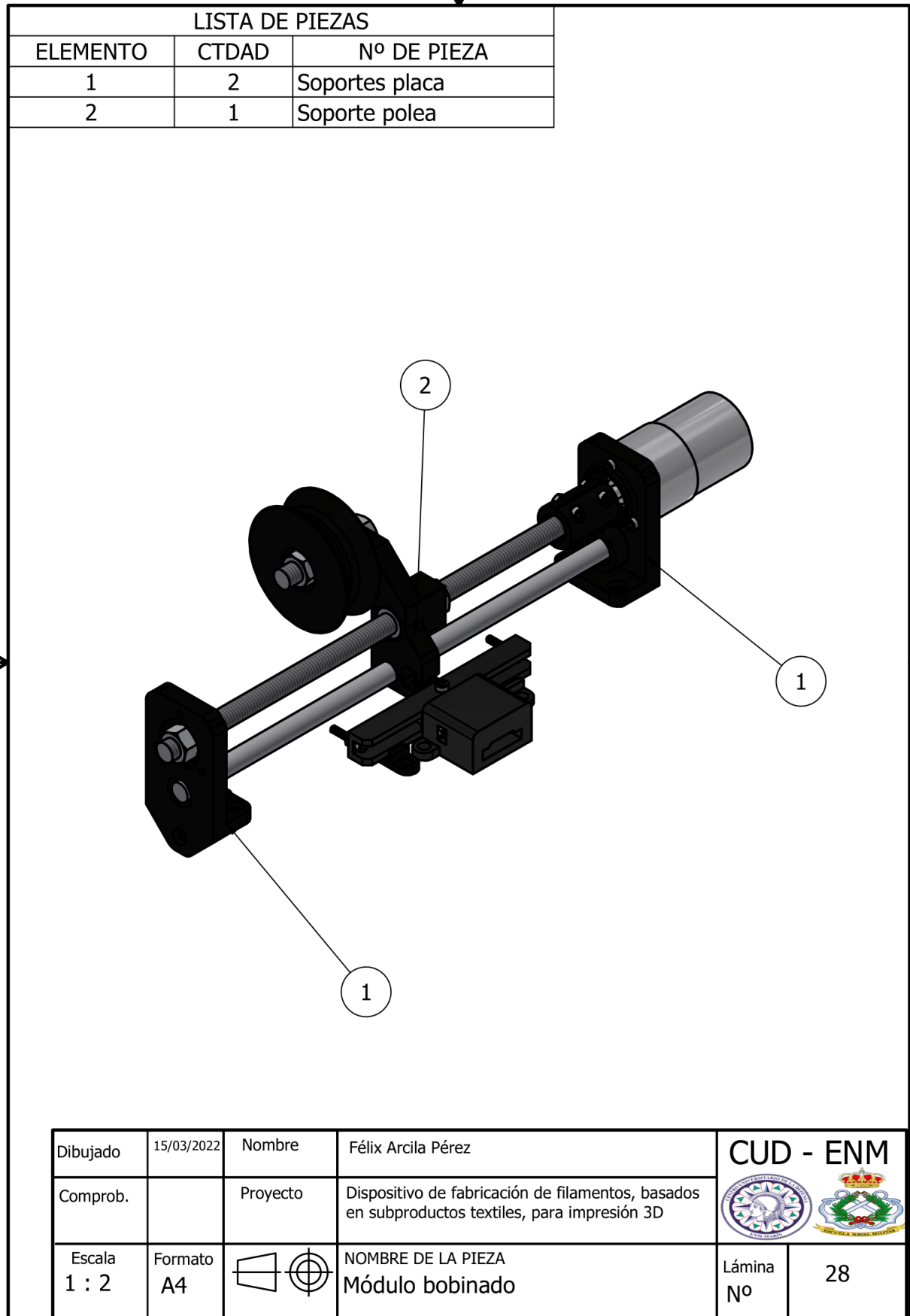


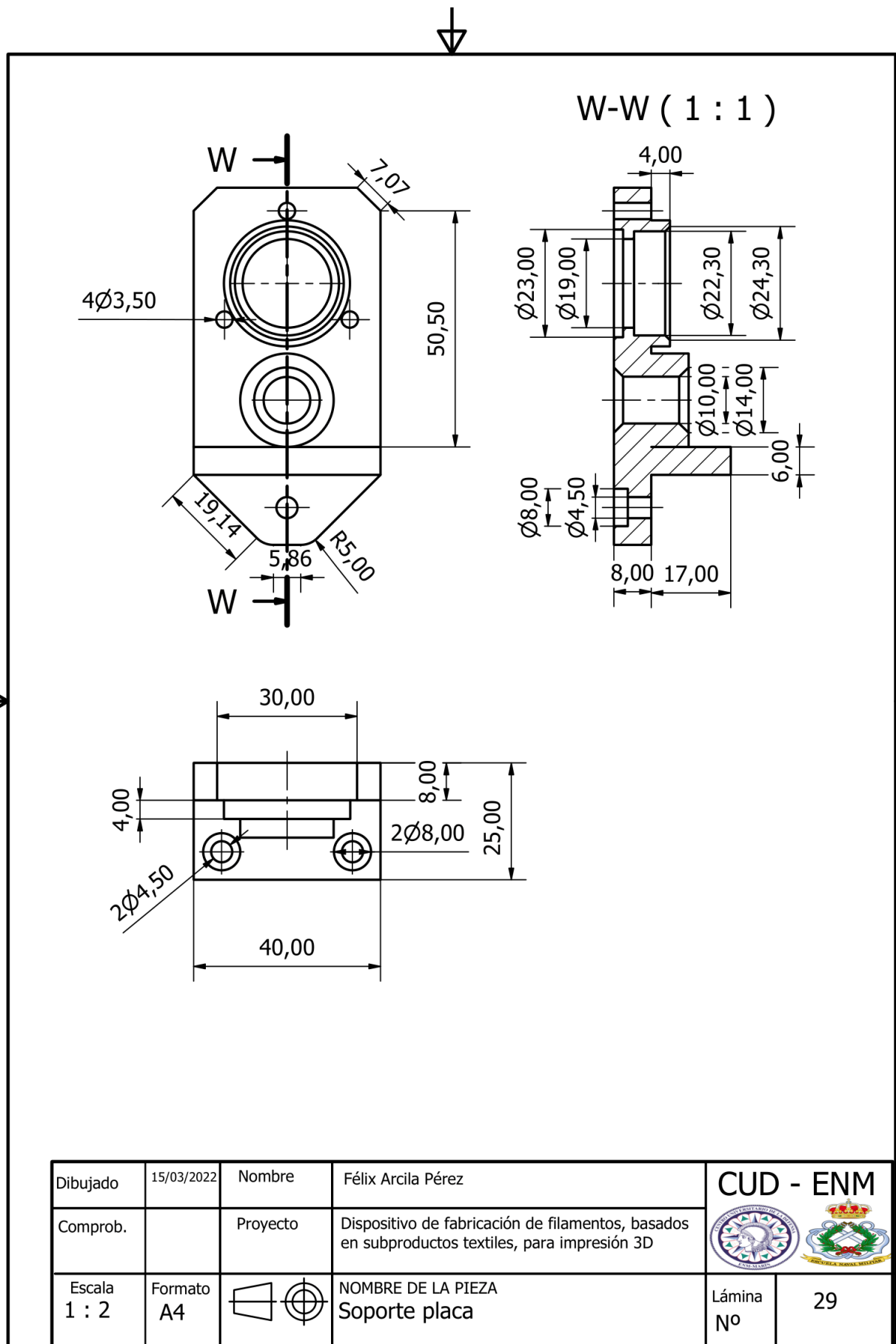


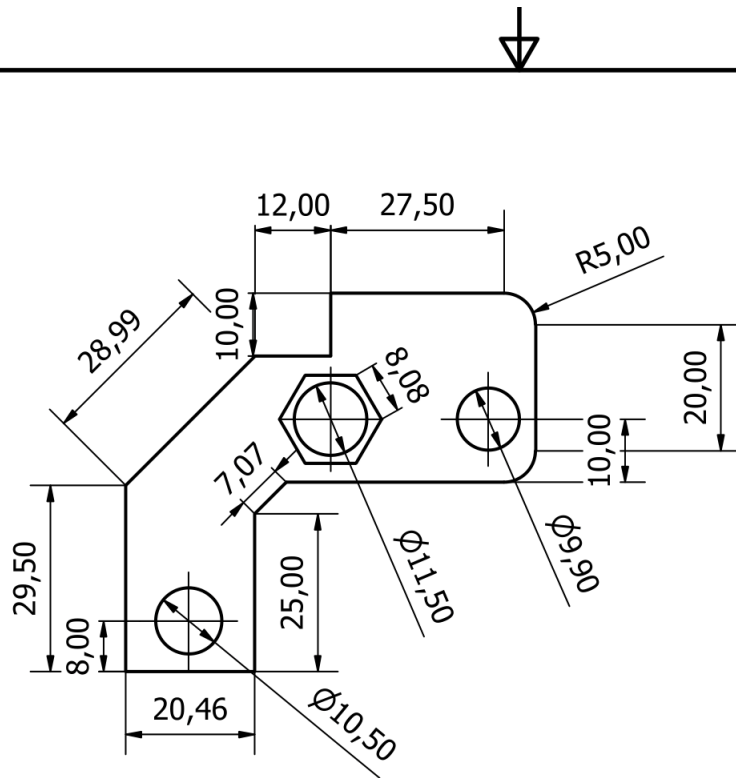




Dibujado	15/03/2022	Nombre	Félix Arcila Pérez	CUD - ENM	
Comprob.		Proyecto	Dispositivo de fabricación de filamentos, basados en subproductos textiles, para impresión 3D	 	
Escala 1 : 1	Formato A4	 	NOMBRE DE LA PIEZA Carril tensor	Lámina Nº	27



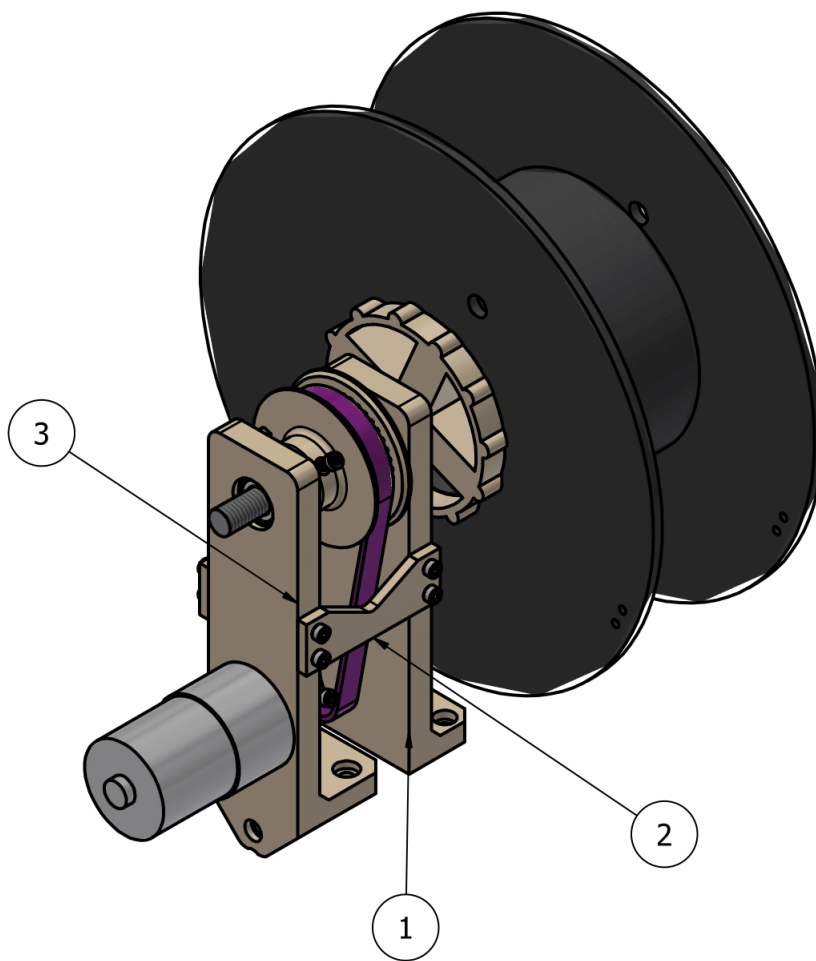




Dibujado	15/03/2022	Nombre	Félix Arcila Pérez	CUD - ENM	
Comprob.		Proyecto	Dispositivo de fabricación de filamentos, basados en subproductos textiles, para impresión 3D	 	
Escala 1 : 1	Formato A4	 	NOMBRE DE LA PIEZA Soporte polea	Lámina Nº	30

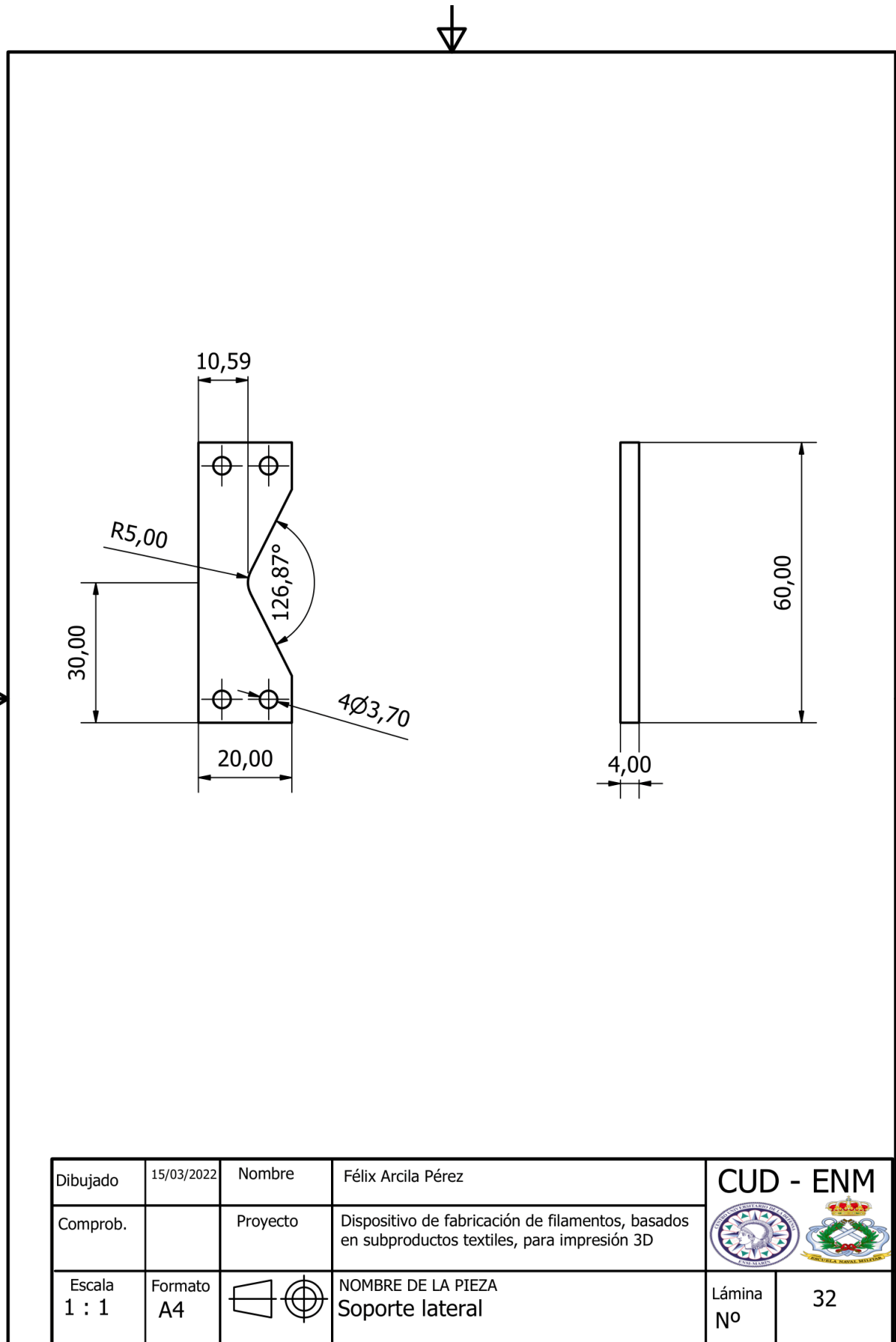


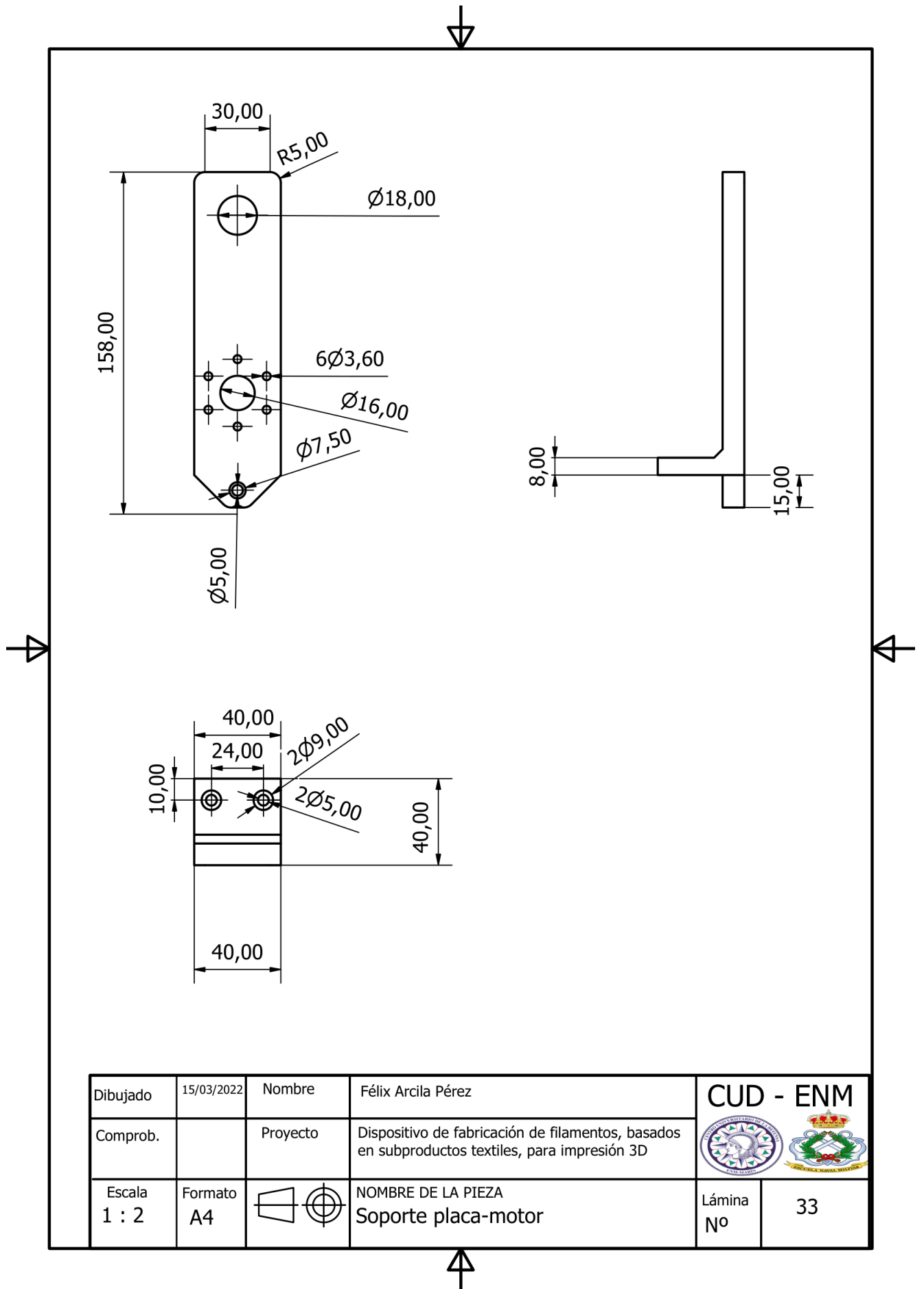
LISTA DE PIEZAS		
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA
1	1	Soporte carrete
2	2	Soportes laterales
3	1	Soporte placa-motor

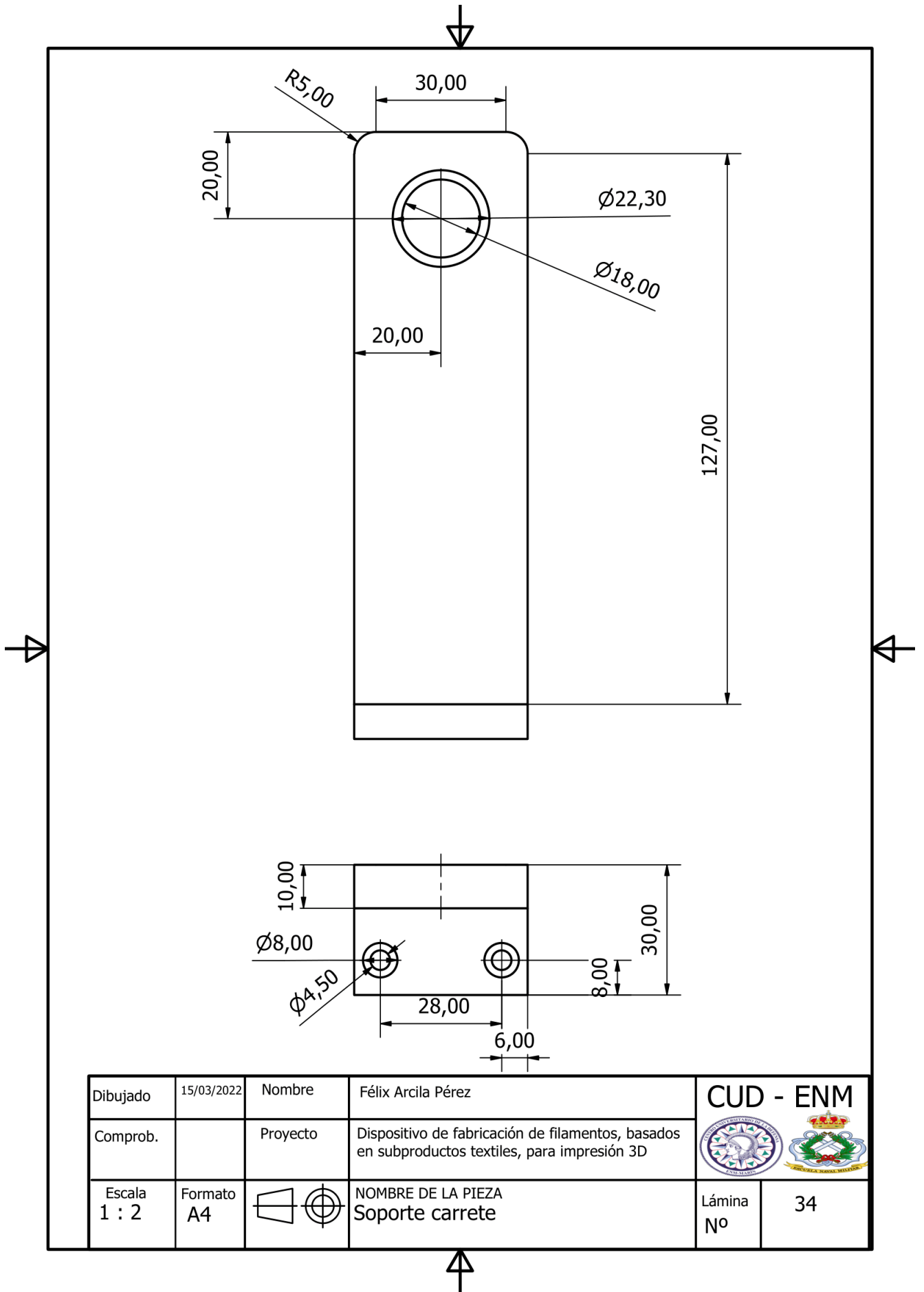


Dibujado	15/03/2022	Nombre	Félix Arcila Pérez	CUD - ENM	
Comprob.		Proyecto	Dispositivo de fabricación de filamentos, basados en subproductos textiles, para impresión 3D	 	
Escala 1 : 2	Formato A4		NOMBRE DE LA PIEZA Carrete	Lámina Nº	31









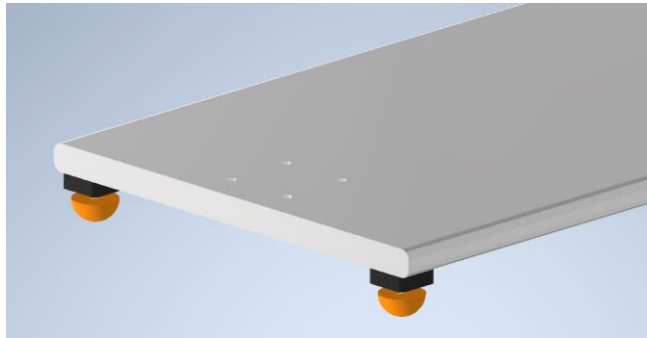
ANEXO II: PLIEGO DE CONDICIONES

En este apartado se explicará cómo realizar el montaje y mantenimiento del dispositivo que ha sido diseñado.

Montaje

Paso 1

Se llevará a cabo el montaje de los soportes de la placa de aluminio inferior. Para hacer firmes los pies se hará uso de tornillos M3x16 mm, como son 4 por cada soporte, harán falta en total 16 tornillos M3x16.

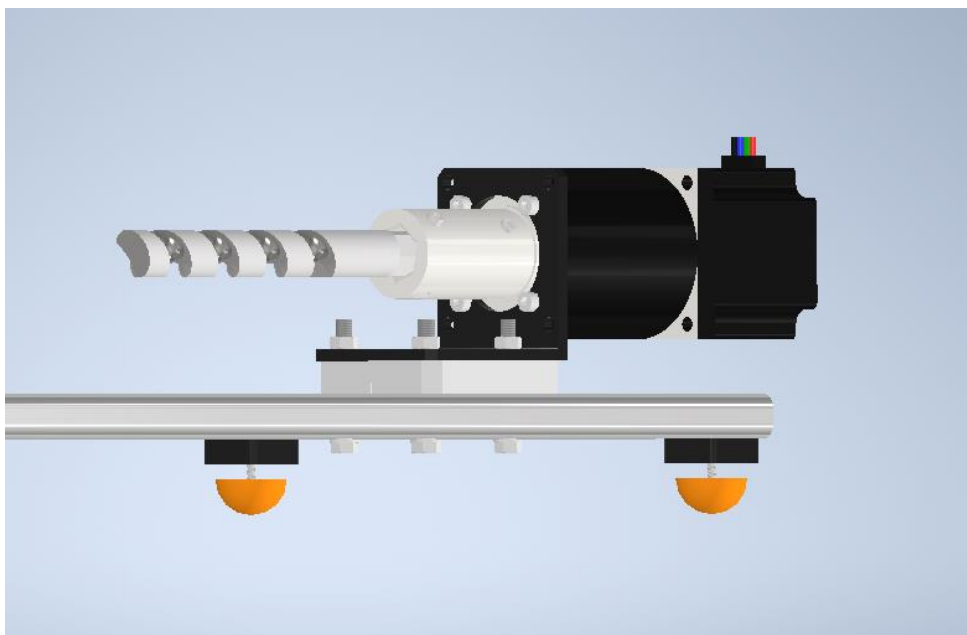


Paso 2

Se llevará a cabo el montaje del soporte del motor, que se hará firme a la placa de aluminio mediante tornillos pasante M5x30 mm, será necesario el uso de 2 arandelas M5 por cada tornillo y 1 tuerca M5 por cada uno, por lo tanto, para este paso hará falta 4 tornillos, 4 tuercas y 4 arandelas. Los tornillos se colocarán desde abajo hacia arriba.

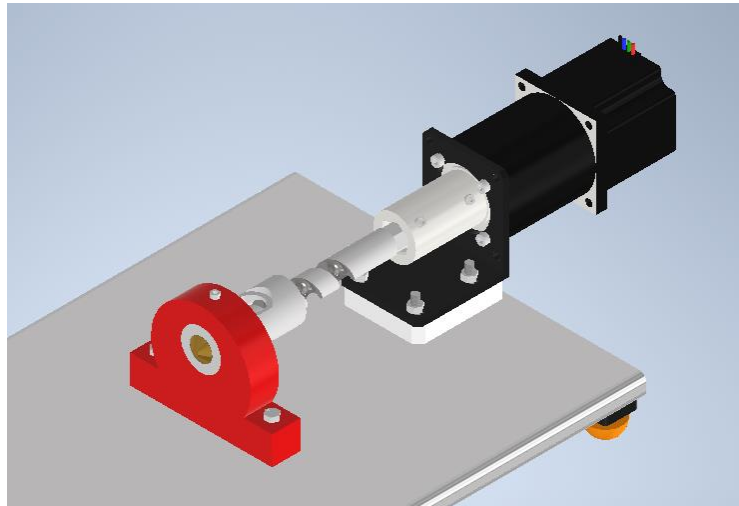
Para ajustar el motor al soporte del motor, habrá que utilizar 4 tornillos M4x25. Una vez colocado el motor, se coloca el acople motor-broca, y se utilizan 2 tornillos M3x10 para hacer firme la broca al acople, impidiendo que está se desplace fuera del acople. En la imagen se puede ver como quedaría el montaje completo.

En este paso la broca que se debe colocar es la broca secundaria.



Paso 3

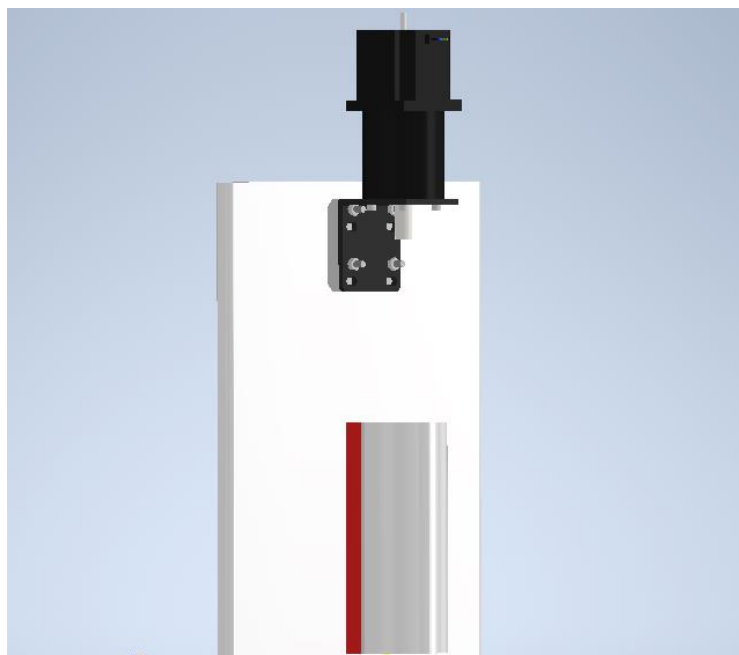
A continuación, se incorporará el cilindro, y el soporte del cilindro. Para unir el soporte del cilindro serán necesario 2 tornillos M5x50, 2 arandelas M5 y 2 tuercas M5. Posteriormente para que quede fijo el cilindro, se hará uso de 1 tornillo M3x10, que se colocará en la parte superior del soporte. En la imagen se puede observar el resultado final. También se roscará la boquilla al cilindro.



Paso 4

Se llevará a cabo el montaje del soporte del motor, que se hará firme a la placa de aluminio mediante tornillos pasante M5x30 mm, será necesario el uso de 2 arandelas M5 por cada tornillo y 1 tuerca M5 por cada uno, por lo tanto, para este paso hará falta 4 tornillos, 4 tuercas y 4 arandelas. Los tornillos se colocarán desde abajo hacia arriba.

En este paso también se llevará a cabo el montaje del cilindro protector, para ello se necesitará 2 tornillos M5x60, 2 arandelas M5 y 2 tuercas M5. En la siguiente imagen se puede ver el resultado final.

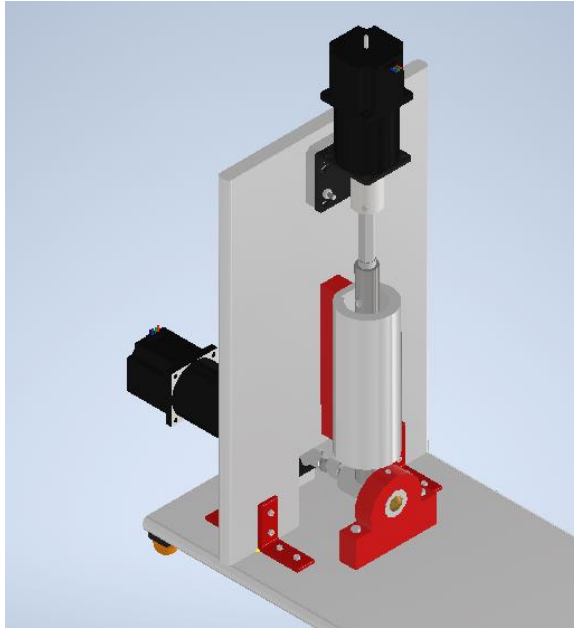


A continuación, se ajustará la placa superior a la inferior, para ello se hará uso de los soportes, para la unión con la placa inferior hay que hacer uso de tornillos M5x15, serán necesario 8. Y para la unión con la placa superior se hará uso de tornillos M5x8, serán necesario 8.

Una vez realizado el montaje anterior, se procederá a incorporar al montaje el tornillo de extrusión principal, así como el cilindro y el acople broca-motor. Primero se acoplará el cilindro principal al cilindro secundario, se colocará por presión en el hueco diseñado en el cilindro secundario.

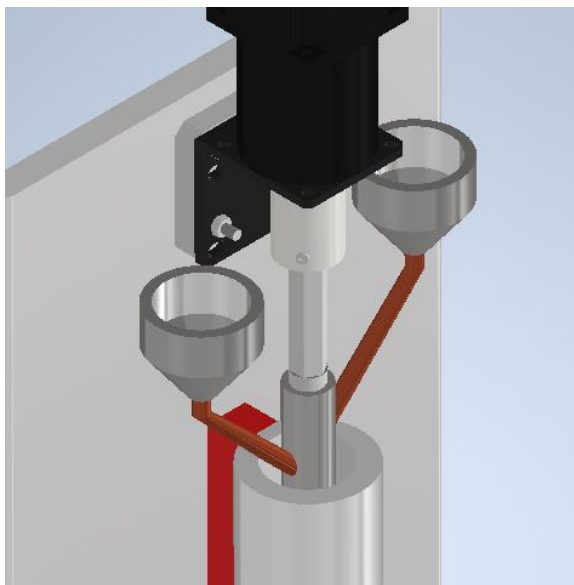
Para ajustar el motor al soporte del motor, hay que realizar las mismas acciones que en el Paso 2, se utilizarán 4 tornillos M4x25. Una vez colocado el motor, se coloca el acople motor-broca, y se utilizan 2 tornillos M3x10 para hacer firme la broca al acople, impidiendo que ésta se desplace fuera del acople. En la se puede observar el montaje completo tras realizar este paso.

En la imagen se puede observar el resultado final.



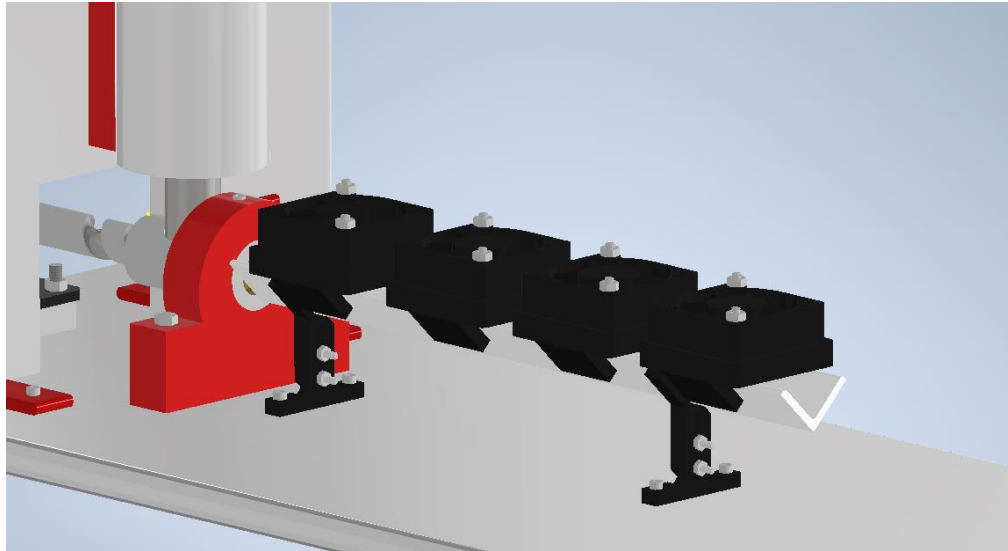
Paso 5

En este paso se llevará a cabo la incorporación del bloque de refrigeración. El acople de este bloque al cilindro se llevará a cabo por encaje. Y el resultado final, sería el observado en la imagen siguiente. Este paso es muy importante, dado que el encaje ha de ser perfecto, ya que en caso contrario se producirían pérdidas de material.



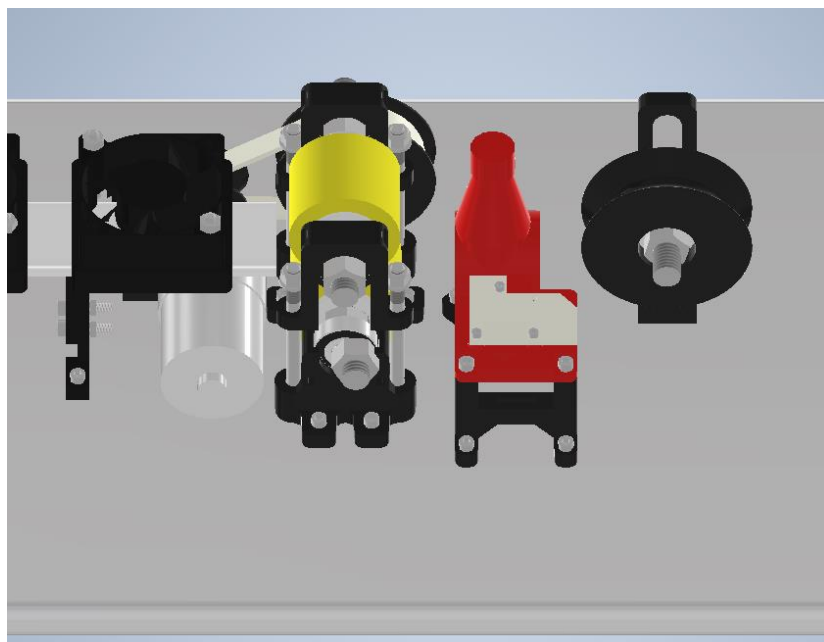
Paso 6

En el siguiente paso, se acoplará el bloque de refrigeración. Tras acoplar los ventiladores al carril de aluminio, se colocará este en los soportes. Estos soportes irán atornillados a la placa inferior, los tornillos a utilizar serán M5x15, se necesitarán 4. A continuación, se muestra el resultado final.



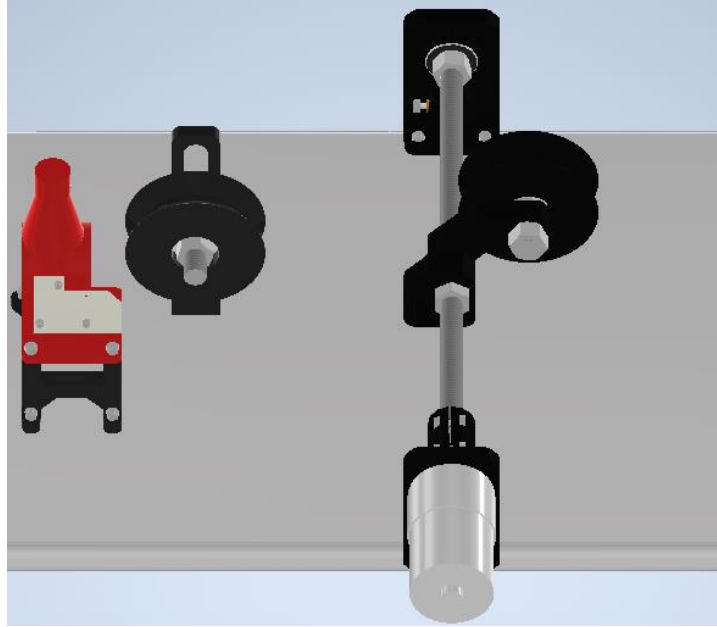
Paso 7

Tras realizar el montaje del bloque de refrigeración, se hará lo mismo con el extractor, el sensor de diámetro y el rodillo tensor. Para este paso se necesitarán 12 tornillos M5X15, que se colocarán en los soportes de cada uno de los conjuntos mencionados anteriormente. La distribución de estos elementos se puede ver en la siguiente imagen, destacar que los elementos han de quedar alineados, para que el filamento obtenido no sea defectuoso.

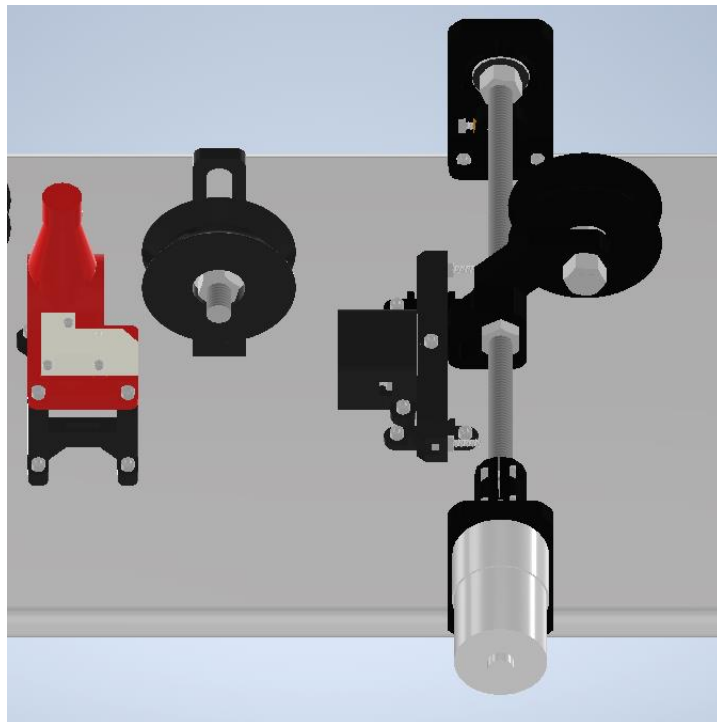


Paso 8

En este paso se llevará a cabo la incorporación de la bobina en el dispositivo, para ello primero se realiza el montaje del rodillo que se encarga de que el filamento llegue de forma adecuada al carrete final. Se hará uso de 6 tornillos M5x15 para fijar los soportes a la placa.

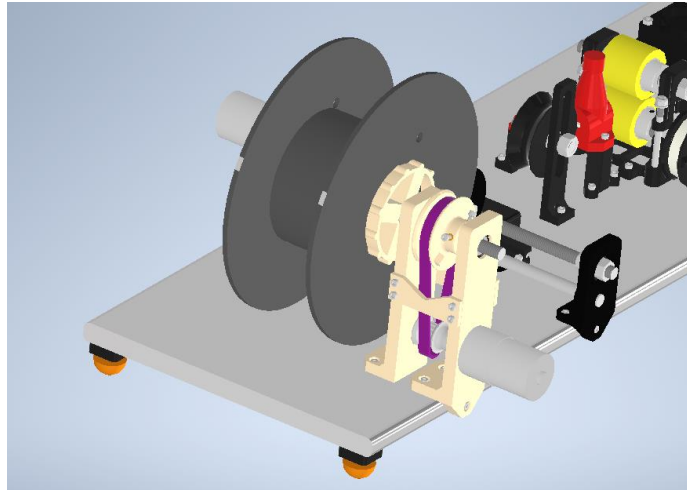


A continuación, se lleva a cabo el acople del control deslizante, para ello se necesitarán 6 tornillos M5x15 para unirlo a la placa.



Paso 9

Este último paso consiste en añadir el carrete encargado de almacenar el hilo obtenido. Se necesitan 5 tornillos M5x15 para atornillar los soportes a la placa. El resultado final es el indicado en la imagen siguiente.



Mantenimiento de la máquina

Para el correcto funcionamiento de la máquina, se recomienda realizar una inspección periódica, ya que las averías de funcionamiento que se puedan causar por un mal mantenimiento ocasionaran altos costos de reparación, así como pérdidas de tiempo y producción.

Se debe iniciar el mantenimiento con los parámetros especificados a continuación:

- Inspección: Se recomienda una inspección diaria de toda la máquina para encontrar piezas dañadas, fallas leves o imperfecciones en la máquina. La máquina debe ser monitoreada durante su operación para identificar anomalías durante su proceso y estas sean corregidas.
- Limpieza: Se deben mantener todos los elementos de la máquina totalmente limpios, libres de grasa y residuos de plásticos que no se encuentren dentro de la camisa y la tolva, que pueden hacer que la máquina se desajuste o se dañe.
- Ajuste: Es recomendable verificar todos los tornillos de la máquina ya que se pueden desajustar debido a las vibraciones.
- Lubricación: Dentro de los componentes a lubrica en la máquina se encuentran las chumaceras estos deben ser suministrados de grasa y hacer un chequeo semanalmente para tener en óptimas condiciones la máquina.

Antes de realizar el mantenimiento de la máquina, se recomienda:

- Cuando la maquina este en proceso de mantenimiento se debe indicar con un aviso de fácil visualización.
- La limpieza permanente de la maquina facilita la inspección y el mantenimiento de igual forma se pueden prevenir fallas por tiempo de uso.
- Mantenga limpio y ordenado su sitio de trabajo de tal manera que pueda efectuar el trabajo de mantenimiento de forma segura y eficiente.
- Use herramientas de trabajo de buena calidad, herramientas en malas condiciones o de mala calidad pueden ocasionar lesiones personales.

Para la conservación de la máquina extrusora, se recomienda:

- Proteger la extrusora de la intemperie y de los efectos corrosivos de algunos productos.
- Lubricar todos los puntos que requiera la máquina para su correcto funcionamiento.
- Limpiar todos los residuos de plástico que permanecieron fuera de la camisa y la tolva después de cada jornada de trabajo.
- Mantener la extrusora en un lugar protegido del sol y de la lluvia.
- Al final de cada jornada de trabajo se debe realizar una limpieza a la maquina utilizando una aspiradora o sopladores evitando utilizar agua con el fin de no oxidar algún componente de la máquina.

A continuación, se muestran los procesos de mantenimiento:

- Se recomienda lubricar las chumaceras o rodamientos después de cada jornada de trabajo.
- Comprobar el apriete de tuercas, tornillos y el estado de los componentes en general cada 48 horas de funcionamiento.
- Inspeccionar y limpiar la cubierta de protección después de cada jornada de trabajo.
- Se recomienda comprobar el nivel del ruido y el calentamiento de las chumaceras mensualmente.
- Verificar que todos los contactos eléctricos se encuentren bien hechos, aislados y ajustados.
- Después de usar la maquina se debe dejar funcionando un tiempo prudente de 10 minutos para dejar en vacío la máquina y evitar gran cantidad de material adherido al tornillo extrusor.

ANEXO III: PRESUPUESTO

Capítulo I: Componentes comerciales					
Nº de orden	Unidades	Concepto	Referencia	Precio €/ud	Importe €
1	1	Broca helicoidal 16x300 mm de la marca Qwork	0781380126343	9,88	9,88
2	1	Broca helicoidal 16x150 mm de la marca X-Dree	D0320ea7-edeb-c25cb7779ae281	10,48	10,48
3	1	Plancha aluminio 1500x250x15 milímetros	-	30	30
4	2	Soporte motor Nema 23 de la marca Stepperonline	0606682999511	9,30	18,60
5	1	Controlador motor Nema 23 de la marca Stepperonline	DM542T	33,19	33,19
6	1	Lana fibra de vidrio de la marca Maurer	14075030	5,90	5,90
7	1	Mega Shield de la marca ICQUANZX	00055	8,99	8,99
8	1	Arduino Mega 2560 de la marca Elegoo	ES-EL-CB-003	24,99	24,99
9	1	1 kg de pellets Pla	-	10,45	10,45
10	4	Ventiladores (80x80 mm) de la marca L-Link	-	2,44	9,76
11	4	Calentador flexible de silicona de la marca RS	-	22,71	90,84
12	3	Tubo cilíndrico 1000x22 mm de la marca GAH-Alberts	B008H19460	12,04	36,12
12	2	Rodillo de la marca Fairlane	-	20,88	41,75
13	1	Varilla metálica de la marca Bricodepot	108922	2,85	2,85
14	1	Varilla roscada VZ de la marca Bauhaus	10827386	1,89	1,89
15	3	Motor DC 12 V de la marca Walfront	0736077489560	17,74	53,22
16	1	Controlador de temperatura de la marca Diymore	0797805847052	24,99	23,99

17	1	Sensor control de filamentos (impresora 3D) de la marca Koyofei	KYF-3D-042	22,99	22,99
18	1	Tornillos, tuercas y arandelas	-	35	35
19	1	Cables conexiones	-	15	15
20	1	Pantalla LCD de la marca AZDelivery	4260581552541	10,49	10,49
21	1	Regulador Reductor de la marca ICQUANZX	B07VQ89RZG	8,99	8,99
22	1	Fuente de alimentación de la marca MeanWell	LRS-350-24	36,14	36,14
23	1	Pulsador de emergencia de la marca Heschen	0670534181515	11,99	11,99
24	1	Controlador de velocidad motores de la marca APKLVSR	V0182	10,99	10,99
Total del presupuesto de los componentes comerciales					540,51

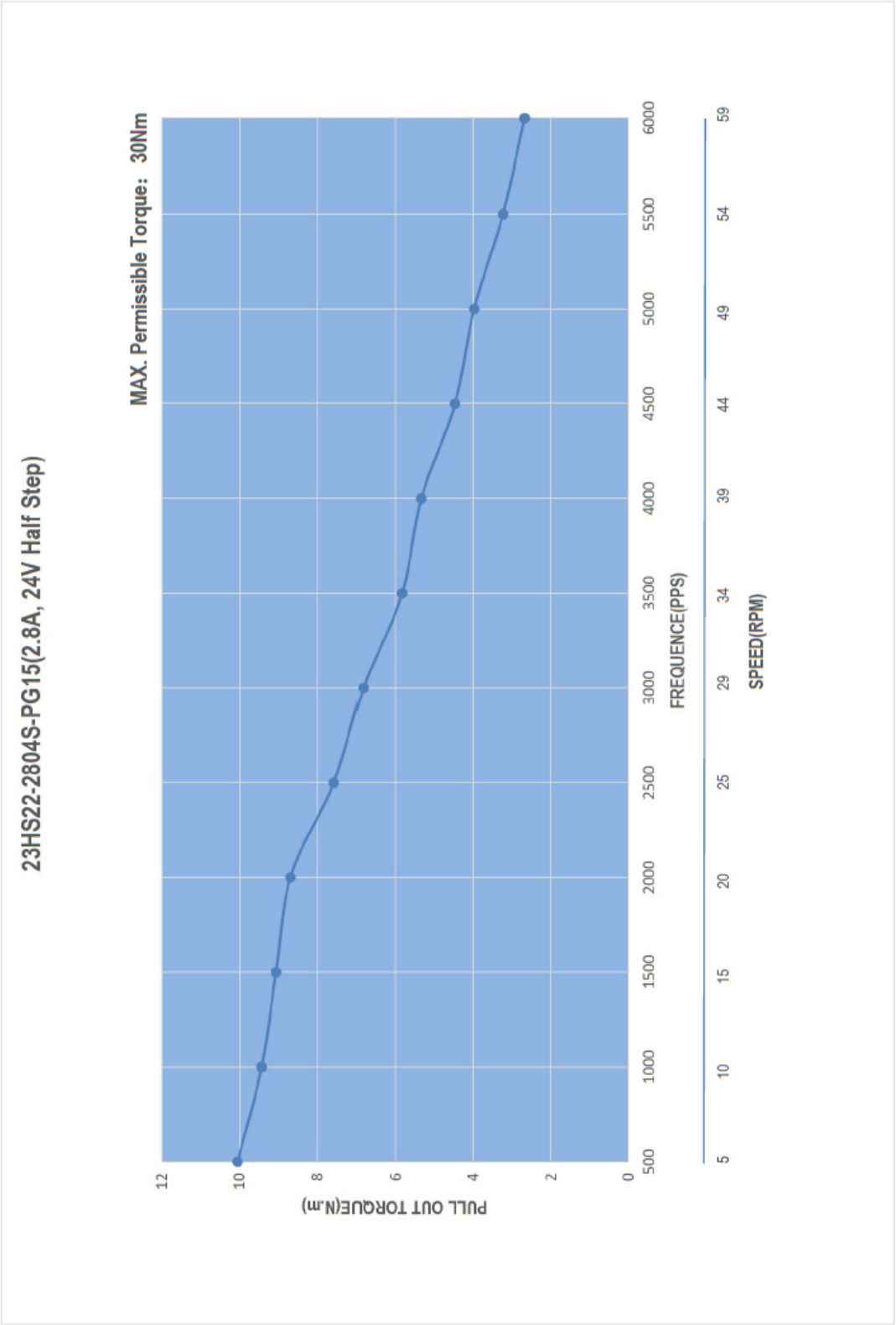
Capítulo II: Impresión piezas 3D					
Nº de orden	Unidades	Concepto	Referencia	Precio €/ud	Importe €
25	4	Pies placas	-	0,50	2
26	8	Piezas bloque de refrigeración	-	0,50	4
27	4	Piezas carcasa sensor de filamentos	-	0,50	4
28	2	Pieza soporte motor Nema 23	-	0,50	1
29	9	Piezas extractor	-	0,50	4,5
30	5	Piezas rodillo tensor	-	0,50	2,5
31	6	Piezas bobina	-	0,50	3
31	9	Piezas carrete	-	0,50	4,5
31	15	Piezas varias (conectores, soportes, etc.)	-	0,50	7,5
Total del presupuesto de impresión de piezas 3D					33

Capítulo III: Mecanizado de piezas					
N.º de orden	Unidades	Concepto	Referencia	Precio €/u	Importe €
-	10	Horas. Mano de obra de mecanización del conjunto de todas las piezas	-	40	400
Total del presupuesto del mecanizado de piezas					400

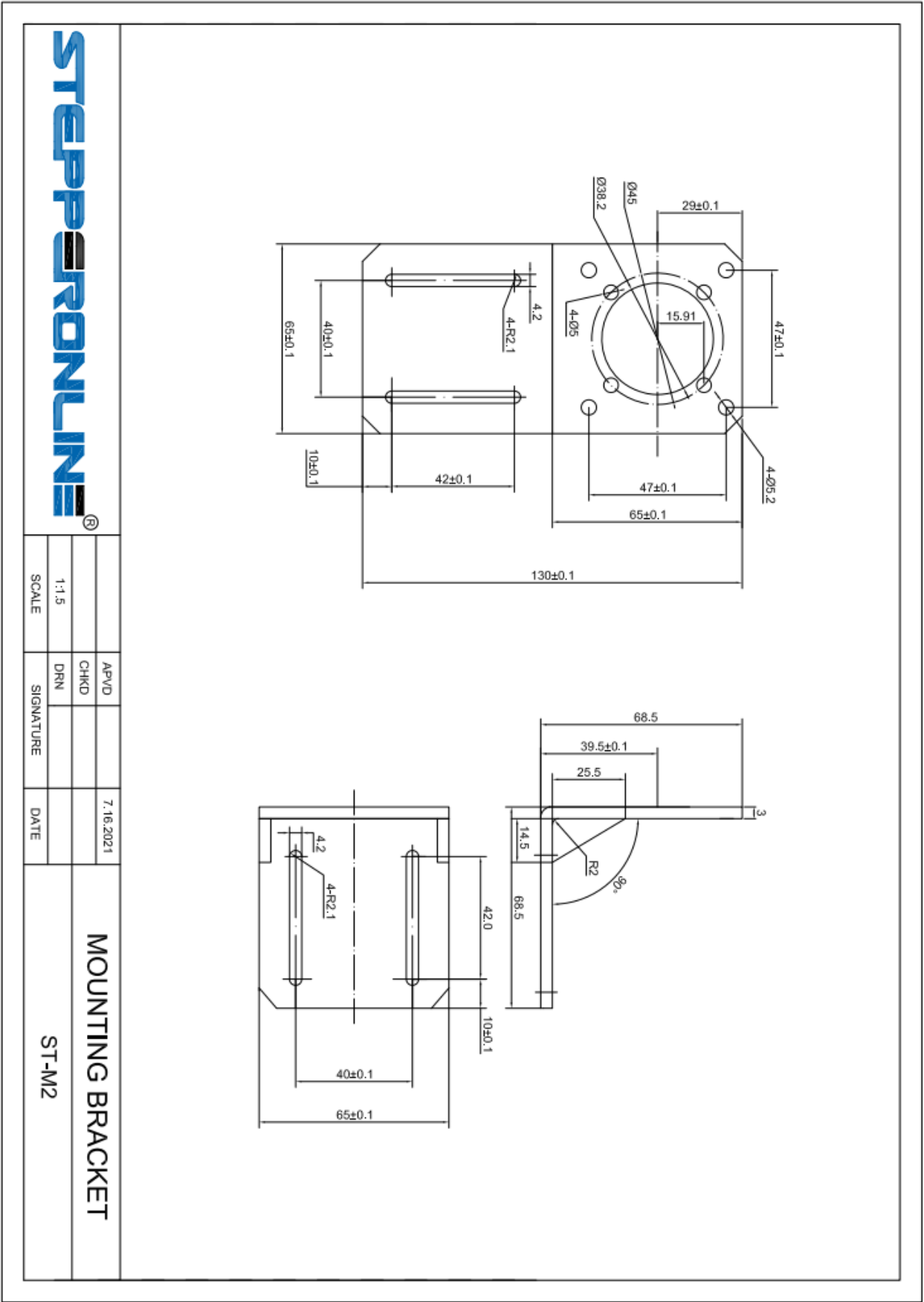
Capítulo IV: Mano de obra					
N.º de orden	Unidades	Concepto	Referencia	Precio €/u	Importe €
-	100	Horas. Mano de obra del Ingeniero Mecánico	-	70	7000
Total del presupuesto de mano de obra					7000

Capítulo	Importe (€)
I: Componentes comerciales	540,51
II: Mecanizado piezas 3D	33
III: Mecanizado de piezas	400
IV: Mano de obra	7000
Presupuesto total	7973,51

ANEXO IV: HOJAS CARACTERÍSTICAS NEMA 23



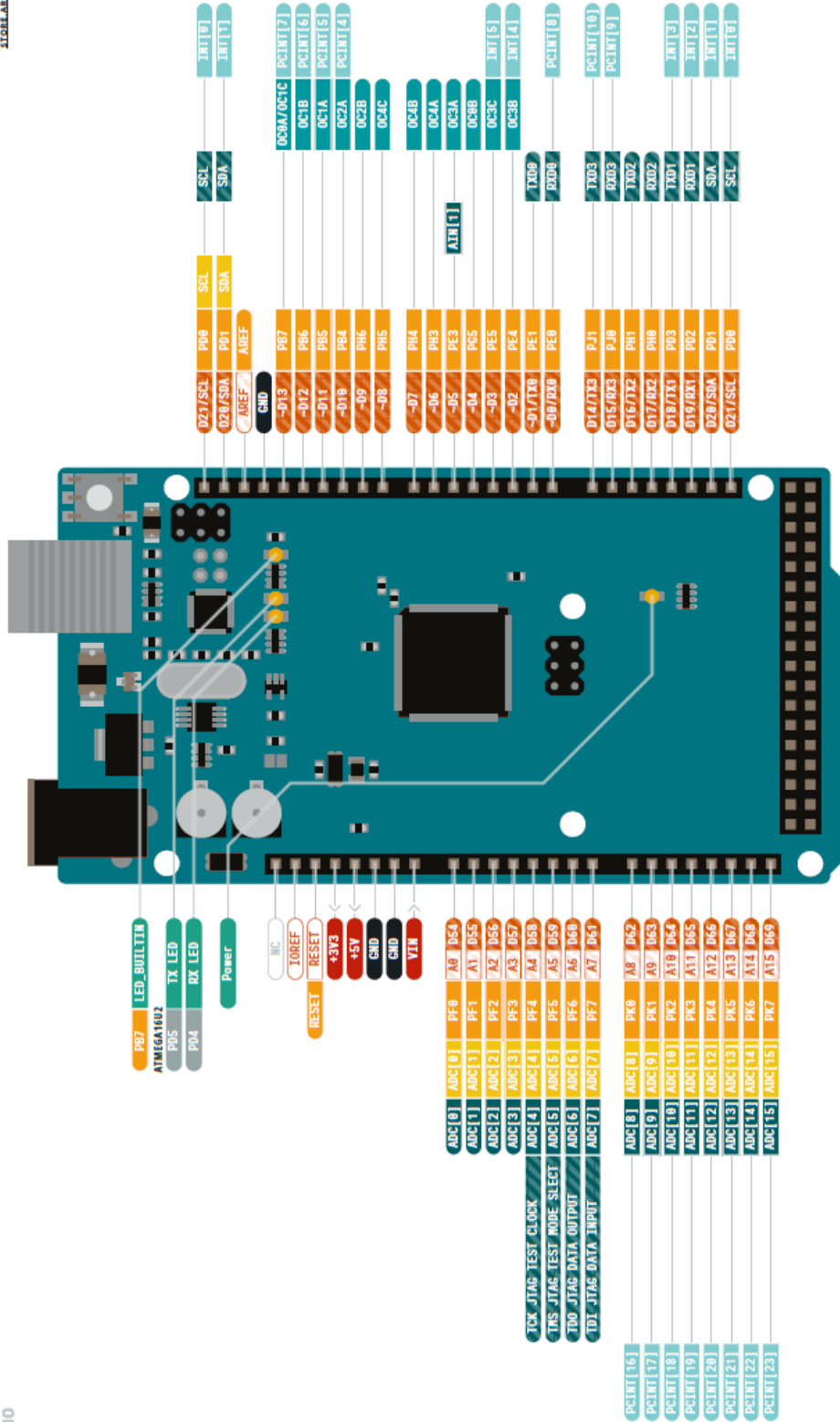
ANEXO V: HOJAS CARACTERÍSTICAS SOPORTE NEMA 23



ANEXO VI: HOJAS CARACTERÍSTICAS ARDUINO MEGA 2560



ARDUINO
MEGA 2560 REV3
STORE.ARDUINO.CC/MEGA-2560-REV3



ARDUINO . CC
Last update: 16/12/2020



This work is licensed under the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/> or send a letter to Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94040, USA.

VIN 6-20 V Input to the board.

MAXIMUM current per I/O pin is 20mA

MAXIMUM current per +3.3V pin is 50mA

