



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Diseño y simulación de un sistema de fabricación aditiva asistida
por láser para materiales metálicos*

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: AA Jacobo de Lis Jiménez

DIRECTOR: Jesús del Val García

CURSO ACADÉMICO: 2020-2021

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Diseño y simulación de un sistema de fabricación aditiva asistida
por láser para materiales metálicos*

Grado en Ingeniería Mecánica

Intensificación en Tecnología Naval
Cuerpo General / Infantería de Marina

UniversidadeVigo

RESUMEN

La fabricación aditiva (AM en sus siglas en inglés de “Additive Manufacturing”) es actualmente uno de los procesos de fabricación con mayor crecimiento, gracias a diversos factores que van desde su gran versatilidad, su capacidad de generar volúmenes de geometrías complejas, o bien, la fabricación de piezas funcionales de distintos materiales como, por ejemplo, polímeros, cerámicas y metals, pudiéndose realizar incluso piezas con composiciones graduales de materiales según sea necesario. Dentro del campo de fabricación aditiva existen una gran cantidad de técnicas para la fabricación de distintos elementos, destacando especialmente las que utilizan láseres como fuentes de energía, como por ejemplo, SLS, SLM o en el caso específico del presente TFG el láser cladding.

Una de las técnicas más utilizada es el “láser cladding”, traducido en ocasiones en castellano como, plaqueado láser. Este método posee una gran versatilidad, además, es capaz de realizar un prototipado rápido en 3D aportando una capa encima de otra de material precursor, inyectando dicho material en forma de flujo de polvo. Mediante un sistema neumático donde se utiliza un gas inerte protector para evitar distorsiones y oxidaciones en el proceso.

Este Trabajo de Fin de Grado, se encargará de diseñar un cabezal de procesamiento láser con alimentación coaxial de material y un gas inerte que creará una atmósfera protectora en el proceso. Un factor importante dentro de este proyecto es el aprovechamiento de una estación de trabajo con el que se quiere conseguir el resultado final, es por esto, que se aprovechará la estructura de una impresora 3D para la instalación de nuestro diseño.

PALABRAS CLAVE

Láser de fibra, Impresora 3D, Alimentación coaxial, Cabezal láser, Material precursor

AGRADECIMIENTOS

Mis palabras de agradecimiento quisieran dedicárselas en primer lugar a mi familia, a mis padres y a mis abuelos, por haber estado siempre ahí para darme ánimos y mantenerme con buena actitud cuando las fuerzas flaqueaban.

Dar las gracias a mis compañeros de promoción, con los cuáles he compartido 5 años de formación llenos de experiencias, que nos han hecho llegar hasta donde estamos hoy alcanzando nuestro ansiado objetivo.

Agradecer a mi director D. Jesús del Val su ayuda para poder sacar adelante este Trabajo de Fin de Grado, proporcionándome en todo momento sus conocimientos para enfocar de la mejor manera posible este proyecto y así aprender nuevas cosas sobre un tema totalmente desconocido para mí.

Gracias.

CONTENIDO

Contenido	1
Índice de Figuras	3
Índice de Tablas.....	5
1 Introducción y objetivos	7
1.1 Introducción	7
1.2 Objetivos	7
1.3 Estructura y metodología	8
2 Estado del arte	11
2.1 Fabricación aditiva	11
2.1.1 Etapas	12
2.1.2 Ventajas de la fabricación aditiva	13
2.2 Materiales utilizados	14
2.2.1 Polímeros	14
2.2.2 Cerámicas	15
2.2.3 Metales	16
2.3 Evolución de la manufactura de materiales metálicos	16
2.4 Impresión 3D.....	17
2.4.1 Invención de la impresión 3D	17
2.4.2 Impresión metálica en 3D	18
2.5 Software modelos CAD, CAE, CAM	19
2.5.1 Introducción	19
2.5.2 Computer-Aided Design (CAD)	19
2.5.3. Computer- Aided Engineering (CAE)	21
2.5.4 Computer- Aided Manufacturing (CAM)	21
2.6 Técnicas	22
2.6.1 Estereolitografía (SLA)	22
2.6.2 Selective Laser Sintering (SLS).....	23
2.6.3 Selective Laser Melting (SLM)	24
2.6.4 Fabricación aditiva basada en el Laser Cladding.....	25
2.6.5 Modelado por deposición fundida (FDM, Fused deposition modelling)	27
2.6.6 Impresión por chorro de tinta (Inkjet printing)	28
2.6.7 Fabricación de objetos laminados (LOM Laminated object manufacturing)	29
2.6.8 Fabricación aditiva mediante haz de electrones	29

2.6.9 Polimerización de dos fotones (Two- Photon Polymerization, 2PP)	30
2.7 Tipos de fuentes láser industriales	31
2.7.1 Introducción	31
2.7.1 Tipos de láser	32
2.7.2.1 Láser de CO ₂	32
2.7.2.2 Láser de Nd:YAG	33
2.7.2.3 Láser de fibra	34
2.8 Aplicación en el ámbito militar	36
3 Desarrollo del TFG	37
3.1 Resumen	37
3.2 Diagrama de bloques	39
3.3 Componentes	40
3.3.1 Fuente láser de fibra y expansor	40
3.3.2 Lente de focalización	43
3.3.3 Ventana de protección	47
3.3.4 Sistema de inyección	49
3.3.5 Pletina. Soporte del cabezal de procesamiento	52
4 Resultados	55
4.1 Cabezal de procesamiento	55
4.2 Ensamblaje cabezal de procesamiento en la impresora	56
4.3 Análisis estructural	59
5 Presupuesto	61
6 Conclusiones y líneas futuras	63
6.1 Conclusiones	63
6.2 Líneas futuras	64
7 Bibliografía	65
Anexo I: Pliego de Condiciones	69
Montaje del cabezal de procesamiento diseñado	69
Anexo II: planos	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Fabricación aditiva capa a capa con material metálico [3]	12
Figura 2-2 Etapas de la fabricación aditiva	13
Figura 2-3 Diferencia entre fabricación tradicional (A) y fabricación aditiva (B). [5]	14
Figura 2-4 Pieza impresa en 3D realizada con polímero [6]	15
Figura 2-5 Vasiija realizada con material cerámico [7]	15
Figura 2-6 Turbina realizada con material metálico mediante fabricación aditiva [8]	16
Figura 2-7 Evolución en el trabajo con metales [9]	17
Figura 2-8 Modelo de Impresora 3D [12]	18
Figura 2-9 Desarrollo de piezas a través del diseño asistido por ordenador (CAD) [13]	20
Figura 2-10 Computer- Aided Manufacturing (CAM) [13]	22
Figura 2-11 Fabricación aditiva mediante la técnica de Estereolitografía [16].....	23
Figura 2-12 Proceso de sinterización selectiva por láser (SLS) [17]	24
Figura 2-13 Proceso de fusión selectiva por láser (SLM) [18]	25
Figura 2-14 Fabricación aditiva con la técnica de “ <i>Laser Cladding</i> ” [20].....	26
Figura 2-15 Cabezal extrusor láser con alimentación coaxial [21]	27
Figura 2-16 Proceso Fused Deposition Modelling (FDM) [2].....	28
Figura 2-17 Impresión por chorro de tinta (Inkjet Printing) [22]	28
Figura 2-18 Ejemplo del proceso por impresión de chorro de tinta [22]	28
Figura 2-19 Proceso de fabricación de objetos laminados [23]	29
Figura 2-20 Resultado de una pieza realizada mediante LOM [23].....	29
Figura 2-21 Esquema básico de la fabricación por haz de electrones [24]	30
Figura 2-22 Ejemplo de resultado de fabricación por haz de electrones [24]	30
Figura 2-23 Sistema experimental básico de 2PP [25].....	31
Figura 2-24 Ejemplo de piezas fabricadas con esta técnica [25].....	31
Figura 2-25 Haz láser VS. Luz convencional.....	31
Figura 2-26 Cabezal máquina de corte por láser de CO2. [26]	33
Figura 2-27 Funcionamiento láser tipo Nd:YAG. [27]	34
Figura 2-28 Componentes Láser de Fibra [28].....	35
Figura 2-29 Convoy logístico en Afganistán [30].....	36
Figura 3-1 Impresora del diseño. Modelo “Ender 5”	38
Figura 3-2 Diagrama de bloques. Componentes cabezal diseñado	39
Figura 3-3 Fuente láser “Red power” (SPI Lasers) [31]	41
Figura 3-4 Expansor 2x, 1064 nm (Edmund Optics) [32].....	42

Figura 3-5 Pieza diseñada para introducir expansor.....	42
Figura 3-6 Vista de corte de la cubierta del expansor	43
Figura 3-7 Lente de 1” utilizada en el diseño. (Thorlabs) [30]	44
Figura 3-8 Pieza cabezal de procesamiento. Porta lente y refrigeración.....	45
Figura 3-9 Ranura para la rueda del expansor.....	45
Figura 3-10 Corte porta lente con componentes ensamblados	46
Figura 3-11 Porta lentes diseñado	46
Figura 3-12 Sujeción roscada de la lente.....	46
Figura 3-13 Ventana de protección utilizada en el diseño (Edmund Optics) [32]	47
Figura 3-14 Cuerpo soporte de la ventana de protección	48
Figura 3-15 Sujeción ventana de protección	48
Figura 3-16 Corte con componentes ensamblados	48
Figura 3-17 Pieza diseñada para la salida del haz láser.....	49
Figura 3-18 Vista de corte. Funcionamiento de la introducción de material y gas inerte	50
Figura 3-19 Detalle junta tórica.....	50
Figura 3-20 Racores conectados a la pieza diseñada.....	51
Figura 3-21 Racor. Entrada de material precursor	51
Figura 3-22 Racor acodado. Entrada del gas inerte.....	51
Figura 3-23 Pletina diseñada para la sujeción del cabezal de procesamiento	52
Figura 3-24 Cabezal de procesamiento sujeto en la pletina	53
Figura 4-1 Cabezal de procesamiento diseñado	55
Figura 4-2 Vista de corte del cabezal de procesamiento	56
Figura 4-3 Cabezal de procesamiento instalado en la impresora	57
Figura 4-4 Cabezal de procesamiento instalado en la impresora	58
Figura 4-5 Cabezal de procesamiento instalado en la impresora	58
Figura 4-6 Análisis estructural. Tensión de Von Misses.....	59
Figura 4-7 Desplazamiento en la pletina	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1 Parámetros característicos de la fuente láser seleccionada [31]	40
Tabla 3-2 Parámetros Expansor 2x (Edmund Optics) [32]	41
Tabla 3-3 Datos de la lente seleccionada en el cabezal diseñado [33]	44
Tabla 3-4 Datos de la ventana de protección seleccionada [32]	48
Tabla 5-1 Presupuesto del cabezal de procesamiento	62

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Introducción

La fabricación aditiva, también llamada fabricación por adición, es un nuevo concepto de producción a través del cual el material (plásticos o metal) es depositado capa a capa. Es un campo que acoge varias tecnologías, entre ellas, la impresión 3D o el prototipado rápido.

La fabricación aditiva es el nombre que reciben las técnicas encargadas de construir objetos 3D, como se ha mencionado anteriormente, agregando una capa de material sobre otra capa. A diferencia de las técnicas de manufactura tradicional, este tipo no elimina material durante el proceso disminuyendo costes, eliminando errores y produciendo piezas con una precisión y agilidad mayor. La fabricación aditiva hace referencia a la manufactura de componentes complejos y duraderos de una manera más rápida y eficiente utilizando materiales como el metal entre otros.

Esta tecnología, cada día más desarrollada, da paso a utilizar distintos materiales y la utilización de distintos sistemas para la fabricación de piezas como por ejemplo, filamentos, polvo, líquidos, resinas, uniéndolos como se desarrollará en este Trabajo de Fin de Grado, con un haz láser. Este diseño nace de la necesidad de generar un sistema de fabricación aditiva por láser para materiales metálicos aprovechando la estructura de una impresora 3D y manteniendo el bajo coste de su montaje, pudiendo ser de utilidad para la futura adquisición de estas máquinas para investigación en el Centro Universitario de la Defensa.

Para nuestro proyecto la técnica utilizada para llevar a cabo la realización de piezas mediante fabricación aditiva será el “laser cladding” debido al gran número de ventajas que nos ofrece. La función de ésta es crear una capa de un metal sobre otro, con la fusión directa de polvo metálico inyectado sobre la superficie de un sustrato, con la finalidad de conseguir estructuras con propiedades mejores respecto a la del material inicial. Dentro de esta técnica destacaremos ventajas como por ejemplo, una mínima dilución, alta velocidad de enfriamiento, gran flexibilidad en el proceso y la capacidad de aportes selectivos en áreas pequeñas ofreciendo la reparación de las piezas sin la necesidad de su reemplazo de manera definitiva.

1.2 Objetivos

El objetivo que persigue el presente Trabajo de Fin de Grado es proponer el diseño de una estación de trabajo de bajo coste para la fabricación aditiva basada en la técnica de láser Cladding. Para ello se realizará un diseño de un cabezal de procesamiento láser creando uno nuevo que posteriormente instalaremos en el modelo de impresora 3D “Ender 5”. Primará el bajo coste de su fabricación así como

la ligereza de éste utilizando materiales como el aluminio y el latón. Los componentes principales serán un láser de fibra, un expansor láser, una lente de focalización, una ventana de protección para evitar que los restos de polvo se depositen en el interior del láser y por último una alimentación coaxial con la que se depositará encima de la plataforma de trabajo la capa de polvo a la vez que se expulse un chorro de gas inerte (normalmente, Argón). Del modelo de impresora elegido se aprovecharán la gran mayoría de sus componentes, desechando los que no sean necesarios y añadiendo nuevos componentes para configurar una nueva estación de trabajo con nuestro cabezal de procesamiento ya integrado.

Para la obtención de este sistema se deberá añadir los siguientes elementos:

- Cabezal de procesamiento láser con alimentación coaxial de polvo metálico

Los objetivos que se persiguen en este proyecto son los siguientes:

- Diseñar los componentes necesarios para la conversión de la impresora en una estación de trabajo de fabricación aditiva basada en láser Cladding.
- Creación de planos de las piezas a fabricar.
- Realización de un pliego de condiciones que permita el conocimiento del diseño así como el montaje de éste a nuevos usuarios
- Conocimiento de las distintas técnicas dentro de la fabricación aditiva.
- Conseguir un sistema de bajo coste de peso reducido a través de materiales como el aluminio y el latón.

1.3 Estructura y metodología

La estructura y metodología en la que se basará este Trabajo de Fin de Grado es la descrita a continuación:

- En primer lugar, el “Estado del Arte” donde se introducirá el concepto de fabricación aditiva, impresión 3D, la evolución del trabajo con metales en este ámbito y el papel que desempeñan los softwares CAD/CAE/CAM dentro de estos procesos.
Posteriormente se profundizará en aquello principal dentro de este proyecto, siendo las técnicas existentes para la fabricación aditiva por láser además de la explicación de qué es un láser y sus tipos.
- El desarrollo del TFG se introducirá con un breve resumen explicando en que se ha basado nuestro diseño, acompañado de un diagrama de bloques diferenciando claramente los componentes y como se ha realizado, para posteriormente, explicar detalladamente cada parte que conforma el cabezal de procesamiento.
- El apartado de “Validación/ Resultados” tratará de recoger los resultados obtenidos del análisis estructural realizado, así como el presupuesto utilizado.
- En el apartado de “Conclusiones y líneas futuras” se comentará los resultados obtenidos, describiendo brevemente la experiencia llevada a cabo realizando este proyecto, así como las futuras líneas de investigación a las que ha dado paso el desarrollo de este Trabajo de Fin de Grado.
- Por último, se muestra el presupuesto necesario para la realización del diseño del cabezal de procesamiento.
- La memoria irá acompañada de los anexos correspondientes a los planos y al pliego de condiciones.

Las herramientas utilizadas para obtener los resultados finales de este diseño han sido

- El software “Autodesk Inventor 2020” con el cual se han realizado cada una de las piezas por separado que forman el cabezal de procesamiento, así como en el ensamblado final del cabezal

con los componentes comprados a empresas como pueden ser racores, la lente o la fuente láser entre otras.

- El “Autodesk Inventor 2020” también nos proporcionará los resultados del análisis estructural, así como la obtención de los planos de cada pieza.
- Con el programa de hojas de cálculo “Excel” realizaremos el cuadro de presupuesto, obteniendo el precio total que proporciona la realización de nuestro cabezal de procesamiento.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Fabricación aditiva

La fabricación aditiva es un tipo de tecnología reciente, que se encarga de la fabricación de objetos tridimensionales. Se basa en la acumulación de material capa a capa, desde la base hacia arriba. Esta técnica ofrece un gran número de ventajas en comparación con tecnologías más tradicionales, por ejemplo, el aprovechamiento de todo el material, su coste, su rápida ejecución y la construcción de estructuras que no son posibles conseguir utilizando métodos más simples evitando así las fases de ensamblado y finalización.

La fabricación aditiva (AM) difiere en gran medida de las técnicas tradicionales de mecanizado por desgaste/eliminación de material de un sólido de partida para fabricar la pieza deseada. En AM las piezas funcionales se fabrican, en general, mediante la deposición/fusión capa a capa de un material precursor (metálico, cerámico o de carácter polimérico), empleando para ello algún tipo de sistema de inyección o deposición de dicho material, junto con un sistema integrado CAD/CAM y una fuente de energía, como puede ser un haz láser o un haz de electrones. El fuerte crecimiento de las técnicas de AM es debido en gran medida a las ventajas inherentes a la forma en que se fabrican las piezas, en comparación con los sistemas tradicionales, pudiéndose enumerar entre otras:

- La fabricación de piezas de gran complejidad geométrica con un alto grado de precisión.
- Gran flexibilidad en el diseño de los elementos estructurales.
- Importante ahorro de los materiales de trabajo.
- Creación de elementos altamente personalizables, bajo demanda específica.

También, permite modificar la composición de forma gradual de la pieza. Añadir que, en general, las propiedades mecánicas de las piezas realizadas a través de fabricación aditiva son superiores en comparación con las técnicas convencionales.

Sin embargo, estas técnicas tienen algunas limitaciones, son en ocasiones más laboriosos que utilizando los métodos tradicionales siendo las tasas de producción menores. Además, añadir, que sus propiedades mecánicas pueden verse afectadas debido a los defectos producidos por la realización capa a capa.

Los campos en los que se utiliza esta técnica van desde la ingeniería aerospacial o industrial para fabricar componentes geométricos complejos hasta uno totalmente opuesto como es el sector de la medicina. Algunos ejemplos de fabricación aditiva dentro de estos sectores son: férulas 3D, cascos de bicicleta, gafas, álabes de las turbinas de los aviones o guardabarros para motocicletas.

Dentro de la manufacturación aditiva descubrimos como los láseres han jugado un papel importante en el desarrollo de esta tecnología, siendo uno de los sistemas pioneros dentro de ésta. Hoy en día, desarrollan un papel importante utilizándose como energía para la unión de materiales en la fabricación de piezas 3D. [1] [2]

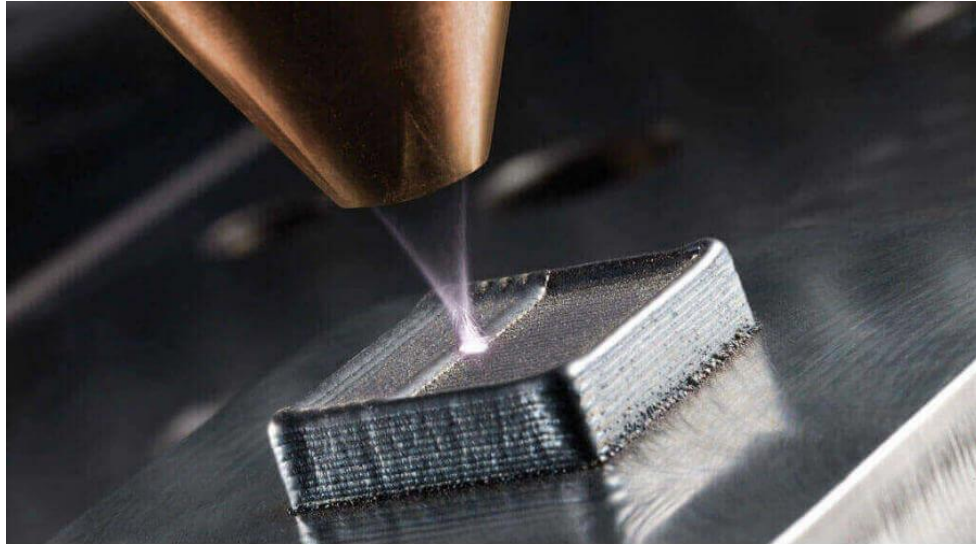


Figura 2-1 Fabricación aditiva capa a capa con material metálico [3]

2.1.1 Etapas

El proceso llevado a cabo para la fabricación de una pieza sigue los siguientes pasos:

En primer lugar, se produce el modelo CAD en un software o se puede obtener de un modelo físico a través de un escáner láser o de MRI (Magnetic Resonance Imaging). Estos modelos generalmente de gran tamaño son difíciles de implementar y son convertidos a un fichero STL. Posteriormente, éste es dividido en capas horizontales, siendo éstas las capas que se irán depositando durante el proceso. Finalmente, se envía al sistema de fabricación aditiva donde se produce la polimerización, sinterización, adhesión o el derretido y solidificación del material capa a capa.



Figura 2-2 Etapas de la fabricación aditiva

A través de esta metodología, con la utilización del láser, obtenemos piezas con diferentes escalas, macrométrica o micrométrica. En principio la fabricación aditiva asistida por láser estaba preparada para la realización de componentes a macroescala, sin embargo, la resolución depende, entre otras cosas, del material precursor o del diámetro del haz láser focalizado pudiendo cambiarse la escala y demostrando la capacidad de realizar micro y nanocomponentes. [4]

2.1.2 Ventajas de la fabricación aditiva

- Permite la realización de series de productos menores, pedidos bajo demanda.
- Fabricación de productos gastando menos material, haciendo el proceso más económico.
- Piezas con distintos materiales y ensamblaje fácil.
- Comprobación de la viabilidad del producto a través de realización de prototipos.
- Elimina desechos de material, siendo más sostenible en relación con el medio ambiente, teniendo un papel muy importante en la lucha contra el calentamiento global.

- Aumenta la eficiencia del proyecto, entendiéndola como conseguir objetivos con los mínimos recursos.
[5]

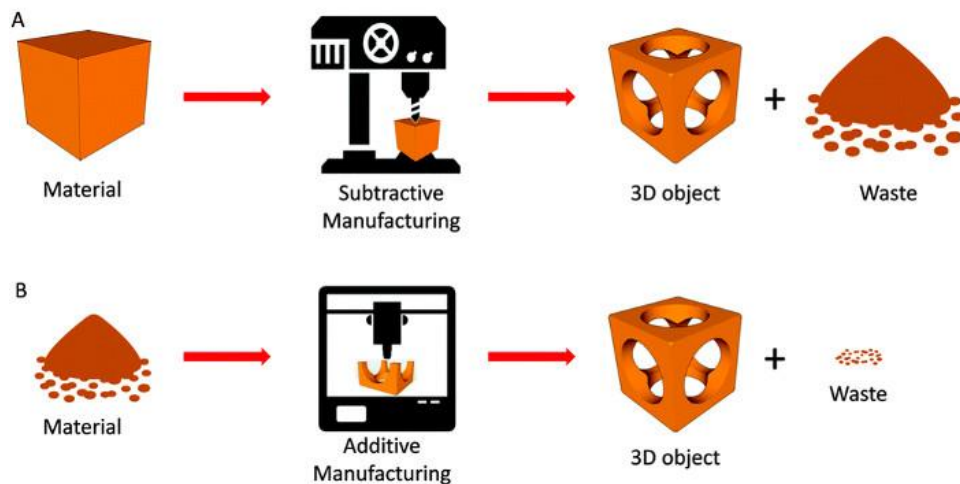


Figura 2-3 Diferencia entre fabricación tradicional (A) y fabricación aditiva (B). [5]

2.2 Materiales utilizados

En estas técnicas, se utilizan una gran variedad de materiales. Es por ello que son muy versátiles en comparación con otros procesos de fabricación. Entre los tipos de material utilizados están los polímeros, cerámicas y lo relacionado con nuestro trabajo, los metales.

2.2.1 Polímeros

Los polímeros naturales o sintéticos son los más utilizados para la técnica de sinterización láser selectiva, aunque también puede ser utilizado en la fusión selectiva por láser. La Poliamida 12 es el polímero más común en la sinterización debido a la combinación de las propiedades que posee, a su procesabilidad y a su bajo coste. Sin embargo, otros polímeros como el PEEK, el poliuretano termoplástico, el poliestireno o nanocomposites poliméricos son también manipulados. Entre sus propiedades encontramos una resistencia mecánica y térmica muy alta, son más fuertes y a la vez más ligeros que algunos metales. En relación a los composites, las fibras de éste añaden resistencia a la pieza sin disminuir su ligereza y reforzándolos. Los polímeros son utilizados en la FDM (“Fused Deposition Modeling”), técnica en la que se basa las impresoras 3D.

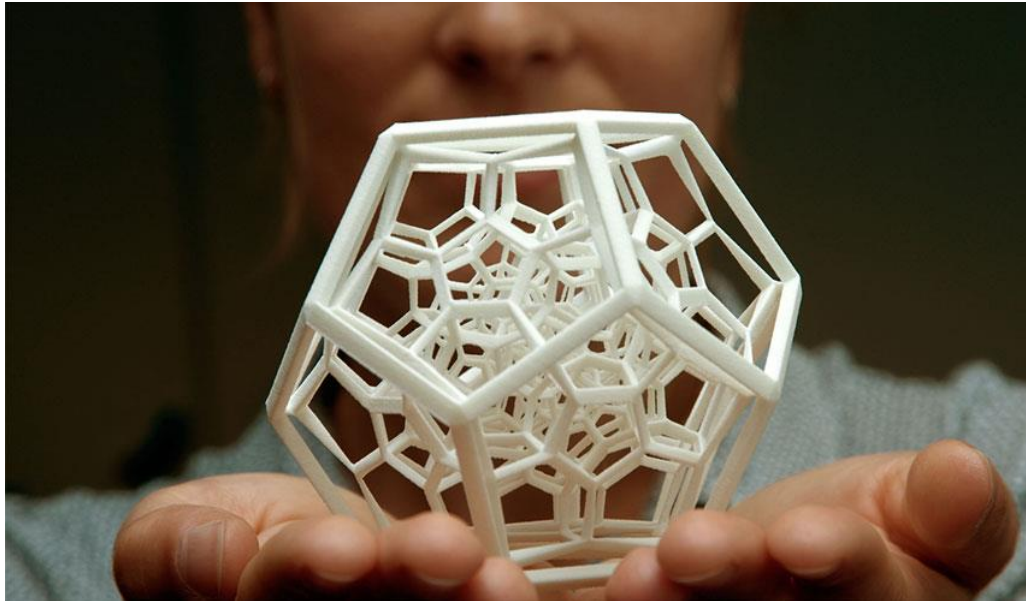


Figura 2-4 Pieza impresa en 3D realizada con polímero [6]

2.2.2 Cerámicas

Las cerámicas han ampliado su horizonte desde que poco a poco se van creando diferentes compuestos cerámicos que pueden ser utilizados en técnicas más complejas de realizar. Estas cerámicas industriales destacan por poder ser tan resistentes como el metal más duro y se utilizan en distintos sectores especializados. Estas cerámicas son conocidas como cerámicas técnicas o avanzadas.

Igual que existen distintos tipos de materiales aparecen distintos tipos de impresión 3D de cerámicas entre los que destacan los procesos de fotopolimerización como la estereolitografía (SLA), el “Binder Jetting” o la deposición de material (LDM). Las industrias están viendo la introducción de materiales cerámicos como un beneficio a largo plazo ya que es una nueva opción de fabricación, es económico y entran de lleno en un mercado que poco a poco se está expandiendo.



Figura 2-5 Vasija realizada con material cerámico [7]

Las cerámicas tienen una temperatura de fusión alta por lo que la utilización de fuentes láser es necesaria para la fusión completa en el proceso de SLM. El láser de CO₂ es el preferido para este material debido a una mejor absorción láser. Las altas temperaturas alcanzadas producen elevadas tensiones térmicas que unidas a la poca ductibilidad de la cerámica, provocan la aparición de grietas. El precalentado justo por debajo del punto de fusión del material puede evitar este problema.

2.2.3 Metales

La fabricación aditiva con materiales metálicos es la más utilizada dentro de las distintas industrias como la aeroespacial o la automoción, ya que nos da la oportunidad de crear piezas metálicas complejas con un precio menor en relación las técnicas más tradicionales. Los metales más utilizados son el aluminio, normalmente en aleación con otro metal, proporcionando tenacidad y ligereza y el acero que posee unas buenas propiedades mecánicas, así como un buen acabado superficial. También encontramos metales como el oro o la plata utilizados principalmente para la joyería, estos tienen un alto costo y la dificultad que se encuentra con ellos es el acabado de las joyas. [8]



Figura 2-6 Turbina realizada con material metálico mediante fabricación aditiva [8]

2.3 Evolución de la manufactura de materiales metálicos

El trabajo del metal ha desempeñado un papel clave en el desarrollo de la civilización humana. Metales naturales como el oro, comenzaron a tomar forma en objetos metálicos a medida que la Edad de Piedra dió paso a las primeras formas de tecnología de procesamiento de metales. Miles de años pasaron hasta que la extracción de metales y las tecnologías del momento empezaran a incluir aleaciones como el bronce o metales como el hierro.

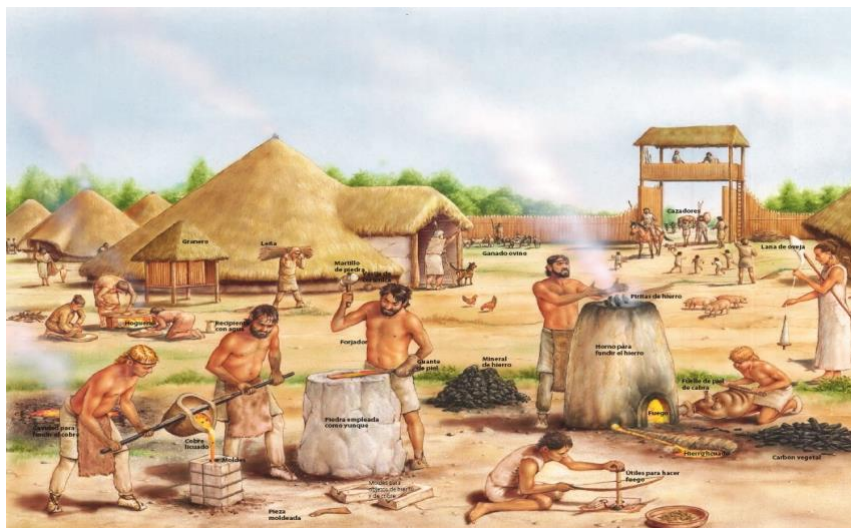


Figura 2-7 Evolución en el trabajo con metales [9]

La era del descubrimiento condujo a la identificación, extracción, refinamiento y uso de nuevos elementos metálicos, aleaciones y procesos de fabricación. La investigación en el mundo de la informática ha hecho posible hacer grandes avances en un corto período de tiempo. La disponible información al alcance de todos conduce a la convergencia de tecnologías que capacitan a los usuarios para diseñar y fabricar objetos metálicos complejos. El metal está escondido en la naturaleza y requiere de tiempo, labor y energía para ser extraído y formar nuevos objetos útiles. El progreso humano ha sido en gran medida al trabajo con los metales como el bronce, el acero o el hierro utilizando fuentes de energía como el sol, el fuego o la electricidad. El oro y la plata son el material con las que están hechas la mayoría de nuestras posesiones de valor, el acero ha construido rascacielos, puentes, vías de ferrocarril entre otras. Vivimos en un mundo donde cada día experimentamos nuevos cambios, nuevas ideas y donde los avances tecnológicos son diarios. Es aquí donde aparece la impresión 3D, una tecnología moderna, la cual se está expandiendo a paso de gigante y su último progreso es la fabricación aditiva asistida por láser para materiales metálicos. El impulso en los avances de la tecnología de fabricación aditiva con metal, en sus principios, dirigido por prototipaje para aplicaciones de ingeniería, rápidamente ha ido cambiando y variando hacia la producción de componentes de materiales avanzados de gran valor. Los ejemplos de aplicación incluyen productos dentro del mundo de la aeronáutica, la automoción, la medicina, la infraestructura o también, productos bajo demanda. [10]

2.4 Impresión 3D

2.4.1 Invención de la impresión 3D

El primer resultado obtenido en el campo de la esterolitografía tiene lugar en el año 1984 de la mano de un equipo francés de investigación que trabajaba en la tecnología láser óptica. Será finalmente en el 1986, cuando Chuck Hall obtenga la patente y la comercialice fundando su empresa 3DSYSTEMS. Hall fue el inventor del formato STL, formato utilizado en la actualidad para la impresión 3D. En 1989 se crea la impresión láser selectiva, que consiste en la fundición de capas de polvo depositadas una encima de otra capa a capa. La técnica SLS sería comercializada por la empresa Startup DTM para posteriormente ser comprada por 3DSYSTEMS por 45 millones de dólares.

El modelo más conocido de la impresión 3D es el Modelado por Deposición Fundida (FDM) apareciendo en el año 1989. Esta técnica se basa en la pistola termofusible unida a un sistema robótico cartesiano. Está considerada la técnica más sencilla, formada por 3 elementos principales: una cama donde se imprime la pieza, una bobina de filamento de plástico y un extrusor. Su funcionamiento consiste en que el filamento es succionado y fundido por la cabeza de extrusión, acumulando el material capa a capa sobre la placa de impresión.

Hoy en día, la impresión 3D ha evolucionado gracias a las muchas aplicaciones que tiene y a la cantidad de áreas que están optando por su utilización. Entre ellos encontramos la medicina, la industria mecánica y aeroespacial, la construcción o la restauración. El futuro de la impresión 3D es prometedor, ya que es una tecnología muy joven y con gran recorrido, en la cuál las empresas no han hecho más que empezar a investigar y a descubrir la gran utilidad que tiene presentando resultados fiables y precisos. [11]



Figura 2-8 Modelo de Impresora 3D [12]

2.4.2 Impresión metálica en 3D

La impresión 3D con materiales metálicos ha conseguido un gran desarrollo en la última década gracias a sus múltiples áreas de utilización y a la oportunidad que los distintos sectores como el aeroespacial, el de automoción o el de medicina le están brindando.

La impresión 3D en metal consiste en una tecnología que utilizan polvo metálico junto con una fuente láser que es la encargada de unir las partículas de este polvo formando capa a capa la pieza, sometiéndose posteriormente a un tratamiento térmico. Esta tecnología es óptima para cualquier estructura que incluya piezas complejas, además, combina flexibilidad en el diseño con las propiedades mecánicas del material metálico en cuestión.

La función del LASER (Light Amplification Stimulated Emission Radiation) es transformar energía en un ordenado (coherente) haz de luz dentro de una estrecha longitud de onda que puede formarse en un haz de energía fotona, transmitida, dirigida o centrada. Algunos tipos de láseres modernos de la década pasada basados en tecnología de fibra láser y diodo han visto avances significativos en potencia, reducción de coste, reducción en la complejidad del sistema, tamaño, robustez y mejora en la calidad del haz láser.

Actualmente es una tecnología más potente y más fácil de utilizar gracias a los avances citados anteriormente. Esto, unido a su integración con otras tecnologías de fabricación avanzada han permitido que los láseres hayan conseguido avances que les han permitido alejarse de los procesos tradicionales y acercándose a entornos industriales de prototipaje y producción.

2.5 Software modelos CAD, CAE, CAM

2.5.1 Introducción

El diseño asistido por ordenador lleva siendo utilizado desde hace décadas, pero se ha profundizado su uso los últimos 25 años con la mejora y disponibilidad de gráficos, software de modelos sólidos y estaciones de trabajo para el diseño de los ingenieros que lo lleven a cabo. Más recientemente, la potencia y la velocidad de su hardware y software ha extendido la tecnología hasta llegar a nuestros ordenadores personales y portátiles.

Por otro lado, nombrar al CAE (Computer-Aided Engineering), software para análisis térmico, mecánico y de fluidos para evolucionar en el hardware y software con algoritmos cada vez más complejos.

Además, debemos destacar el CAM (Computed-Aided Manufacturing), habiendo evolucionado de manera significativa estas últimas dos décadas incluyendo máquinas multifuncionales, centros de trabajo híbridos o control numérico computerizado de láseres con sistemas de posicionamiento multieje. Mientras el software de ingeniería de alta gama sigue siendo caro y complejo, los de medio y bajo coste están cada vez más al alcance de pequeñas empresas, estudiantes y desarrolladores, teniendo la oportunidad de adentrarse en el mundo de los objetos 3D.

“El diseño CAD (diseño asistido por computadora) se usa en casi todas las industrias, en proyectos tan variados como el diseño de paisajes, la construcción de puentes, el diseño de edificios de oficinas y la animación en películas. Con los programas de diseño CAD 2D o 3D, puedes realizar diferentes tareas, como crear un modelo 3D de un diseño, aplicar materiales y efectos de iluminación, y documentar el diseño con cotas y otras anotaciones” [13]

2.5.2 Computer-Aided Design (CAD)

El diseño asistido por ordenador ha pasado de ser una herramienta de croquis en 2D asistido por ordenador a ser un generador de modelos 3D y poco a poco introducir herramientas para ensamblaje virtual y simulación 3D funcional. Se proporcionan interfaces gráficas sofisticadas para permitir una definición rápida de geometría y renderización de alta calidad. La creación de geometría sólida usando métodos de programación directa y los principios de construcción también se usan de alternativa para crear modelos sólidos.

Los modelos sólidos basados en diferentes características definen formas geométricas que deben ser combinadas para formas geometrías más complejas.

Mientras estos paquetes tienen sus propios formatos de fichero, éstos suelen proporcionar convertidores para poder cambiar el fichero de un programa a otro, aunque puede que no toda la información sea traspasada si el fichero en su totalidad no tiene el mismo formato. Estas limitaciones de transporte de ficheros de un software a otro es uno de los problemas más comunes en la impresión 3D.

El formato de fichero STL fue creado por 3DSYSTEMS para prototipado rápido y estereolitografía. Representa la superficie de un modelo sólido forado por una serie de superficies planas triangulares interconectadas. Cuantos más triángulos se utilicen para aproximar la superficie, mejor se ajusta, pero más espacio ocupa el fichero. Éstos están representados con sus vértices en el sistema cartesiano, con sus ejes x, y, z con un vector con dirección perpendicular a la superficie de la geometría que se está describiendo.



Figura 2-9 Desarrollo de piezas a través del diseño asistido por ordenador (CAD) [13]

El acabado superficial triangular que presentan los impresos 3D de algunos usuarios mostraban una resolución limitada con algunos formatos STL de modelos sólidos. Otra limitación del formato STL es que una vez cambias el formato del fichero no se puede volver a su fichero CAD de origen. Por último, otro problema que presentan dificultades en el escalado de alta resolución y de celosías.

La secuencia para la realización de una pieza empieza con el diseño 3D o el escaneo de un objeto. Acto seguido, los soportes son agregados al modelo de superficie definido por el STL, se corta y se utiliza para crear la pieza capa por capa. El modelo sólido se utiliza para definir un modelo CAM con una trayectoria de herramientas CNC a partir del cual se fabrica la pieza. Una trayectoria de herramientas CNC puede definir una deposición capa a capa como ruta de acceso o una ruta de característica a característica con el movimiento simultáneo del sistema multieje.

Los nuevos formatos de fichero diseñados para utilizarlos en fabricación aditiva se llaman “3MF”, nacido de un consorcio entre los programas, dispositivos y proveedores de la fabricación aditiva para abordar las limitaciones que presentaban los formatos STL y AMF. Ofrece un aumento funcional y racionaliza el proceso de diseño de impresión 3D sin traducción de archivos provisionales, al tiempo que se conserva la fidelidad de la información en el interior del modelo. Está diseñado para poder ser utilizado en un amplio abanico de plataformas de impresión.

Los programas de escaneo 3D usan detección basada en láser o múltiples imágenes para crear una nube de puntos de datos que se aproxima a la extensión espacial de un objeto de un sistema de coordenadas. Se pueden utilizar para la creación de modelos 3D originales basados en objetos y aplicaciones de ingeniería inversa apoyado en piezas ya creadas. [10]

2.5.3. *Computer- Aided Engineering (CAE)*

La ingeniería asistida por ordenador se refiere al proceso de ejecutar un análisis ingenieril usando un sofisticado software de ordenador, para realizar simulaciones, predicciones y optimizaciones. Herramientas como esta nos permiten hacer análisis de algunos parámetros como el efecto térmico, el mecánico o de dinámica de fluidos. Estos análisis son de interés en el desarrollo de la fabricación aditiva para metales. CAE es un término utilizado para describir todo lo que abarca un proceso de ingeniería, desde el diseño y prueba virtual hasta su plan de producción. La ingeniería asistida por ordenador es estándar en casi cualquier industria que utiliza algún tipo de software de diseño para desarrollar productos. Es el siguiente paso en el diseño de no sólo un producto, sino también en apoyar el proceso de ingeniería, ya que permite llevar a cabo pruebas y simulaciones de las propiedades físicas del producto sin necesitar un modelo físico.

Este proceso se repite hasta que se cumplen y se confirman todos los requerimientos del producto. En caso de deficiencias donde el rendimiento del prototipo digital no coincida con lo deseado, los ingenieros y diseñadores pueden mejorar el modelo CAD y comprobar como han tenido efecto los cambios realizando una nueva simulación. Esto admite que sin necesidad de construir prototipos físicamente, se desarrolle más rápido el producto.

La simulación solo necesita de unas horas, en comparación con los días o semanas que necesita la construcción de una pieza modelo. Dado que es inevitable fabricar un prototipo antes de empezar la producción en serie, la simulación nos ayuda a reducir la cantidad de construir esos prototipos previos.

Actualmente, el auge de la computación de alto rendimiento en la nube da también a las empresas emergentes tener acceso a las mismas herramientas y capacidades a las que antes solo podían acceder unos pocos. Esta irrupción en el mercado de simulación de productos permite a todos poder simular las piezas que ellos mismos diseñan. [14]

2.5.4 *Computer- Aided Manufacturing (CAM)*

La fabricación asistida por ordenador es el proceso de coger un archivo CAD, utilizando la definición de pieza para crear instrucciones en una máquina de CNC, para movimiento y control de la máquina para crear un componente. De otra manera, es el uso de un software y maquinaria controlada por ordenador para automatizar un proceso de fabricación. Para que funcione uno de estos sistemas se necesitan tres componentes: un software que le indique a una máquina cómo crear un producto mediante la generación de trayectorias de las herramientas, maquinaria que convierta un material en un producto finalizado y un procesamiento posterior que convierta las trayectorias de las herramientas en un lenguaje que la máquina pueda entender. Estos tres componentes van de la mano junto con una gran labor y capacidades humanas. Hoy en día, es extraño que las industrias con su respectiva maquinaria no sean capaces de fabricar cualquier diseño.

El CAD tiene un papel fundamental en el CAM ya que sin uno no hay otro. Mientras el CAD se preocupa en como diseñar el producto, CAM se encarga de cómo fabricarlo. Una vez el modelo CAD es importado a CAM, el software empieza a preparar el modelo para materializarlo en una pieza física. Esta pieza nace de una materia prima a la cual se le da forma con acciones como el corte, el taladrado o la perforación.

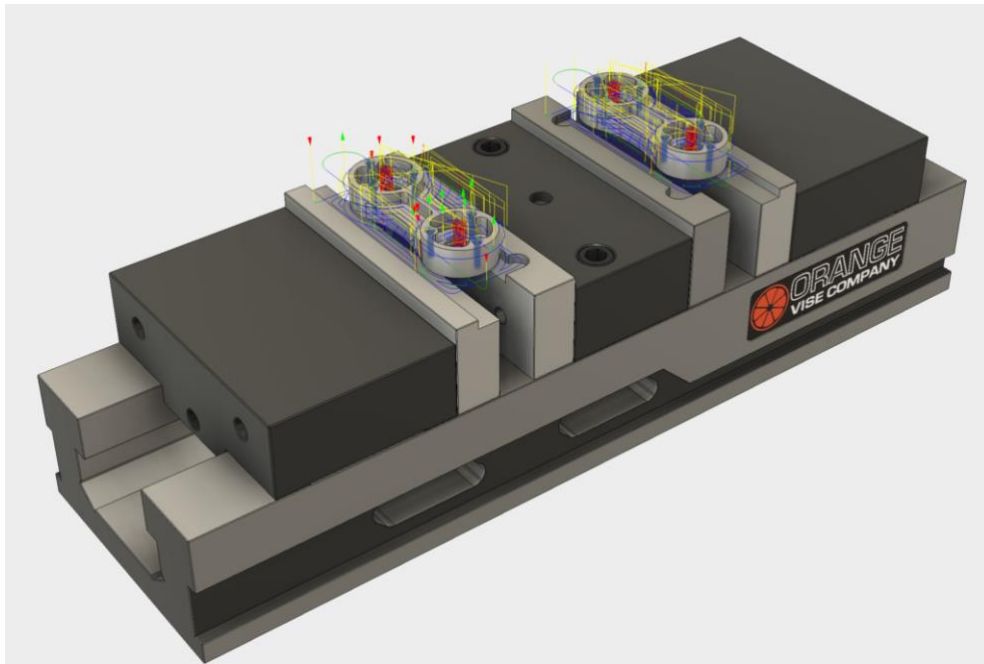


Figura 2-10 Computer- Aided Manufacturing (CAM) [13]

Las acciones que lleva a cabo el software de fabricación asistida por ordenador son: comprobar si el modelo contiene algún error geométrico que pueda perjudicar al proceso de manufactura, crear el recorrido que seguirán las herramientas para el modelo, una serie de coordenadas que seguirá la máquina en el proceso, establecer los parámetros necesarios y configurar el proceso de manera que se consiga la máxima eficiencia en la máquina. Una vez realizado esto necesitaremos utilizar un lenguaje que la máquina entienda para poder llevar a cabo las instrucciones y los pasos a seguir. Para producir piezas de ingeniería se ejecutarán varias máquinas de Control Numérico por Computadora (CNC). El proceso de programación de éstas para realizar acciones específicas se denomina mecanizado CNC.

Como hemos dicho anteriormente, la fabricación de una pieza física es un conjunto de varias tareas que deben funcionar a la perfección para conseguir el resultado deseado, destacando la intervención de la maquinaria y del factor humano a partes iguales en los numerosos hitos que engloban este proceso. [15]

2.6 Técnicas

2.6.1 Estereolitografía (SLA)

Fue la primera técnica de fabricación aditiva comercializada. Este proceso y apareció en los años 80 y su función era producir mayoritariamente piezas poliméricas, pero también, cerámicas o composites. Esta técnica es superior en términos de precisión, resolución y acabado de la superficie final.

La pieza se produce en una plataforma de construcción adjunta a un cubo que tiene una resina fotosensible líquida. El proceso comienza con la plataforma colocada a una distancia de una capa de altura determinada de la superficie de la resina. Acto seguido, un haz de láser ultravioleta es escaneado

por unos espejos dentro de un escáner galvanómetro sobre la superficie de la resina, siguiendo la geometría dada por el modelo CAD. Por lo tanto, obtenemos la resina fotopolimerizada con la geometría deseada. Después de terminar la primera capa, la plataforma desciende gradualmente hacia la resina líquida a través del raíl y el rodillo se utiliza para extender y recubrir la capa curada previamente con una resina fresca. El haz de láser ultravioleta es otra vez utilizado siguiendo las especificaciones del modelo CAD para fotopolimerizar la siguiente capa. Una vez la pieza ha sido fabricada se quita de la plataforma de trabajo y se limpian los restos de resina que pueda haber. El último paso sería el post-procesamiento utilizando un aparato de curación ultravioleta ya que la pieza, durante la exposición al láser, tiene una fotopolimerización incompleta, siendo ésta del 80%. Con este post-procesamiento se incrementa hasta un 90% y además se mejoran las propiedades mecánicas de la pieza.

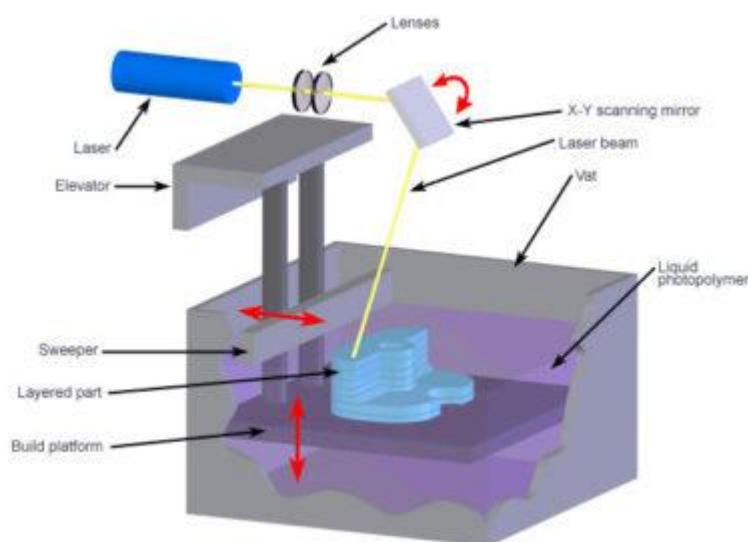


Figura 2-11 Fabricación aditiva mediante la técnica de Estereolitografía [16]

2.6.2 Selective Laser Sintering (SLS)

Esta técnica tiene su origen en el desarrollo de las bases de las tecnologías de fusión de polvo. Éstas son capaces de fabricar piezas con una gran variedad de materiales, desde polímeros a metales aplicando una fuente láser.

El sinterizado selectivo por láser permite la impresión de objetos evitando la fase de ensamblaje. La impresión de ésta se apoya en un modelo realizado a través de un software CAD. Posteriormente este modelo con un formato numérico es enviado a la impresora donde capa a capa se van fusionando los polvos del material seleccionado gracias a un láser que puede ser de CO_2 , fibra o diodo.

El proceso comienza con el calentamiento por debajo del punto de fusión de la plataforma de construcción y el depósito de polvo. En primer lugar, se esparce una capa de polvo encima de la plataforma, posteriormente el láser escanea el contorno de la capa siguiente y sinteriza de forma selectiva las partículas de polímero en polvo. Cuando se completa esta capa, se mueve la plataforma de construcción hacia abajo y se recubre la superficie del polvo del material. Este proceso se repite hasta que se fabrica entera la pieza. Antes del postprocesamiento donde la pieza se limpia con aire comprimido debe enfriarse.

Dentro de este proceso encontramos un amplio abanico de posibilidades en cuanto a materiales respecta. Sin embargo, hay uno que destaca por encima de todos y éste es la poliamida, también conocido como Nylon 12. De igual forma, se pueden añadir fibras de otros aditivos como fibras de carbono, aluminio o vidrio, mejorando las propiedades mecánicas de la pieza.

Esta tecnología es utilizada en múltiples áreas, como la automovilística o la aeroespacial. Las industrias más importantes realizando sinterización selectiva son 3D Systems citada anteriormente y EOS GmbH. Ésta última siendo pionera en la impresión de piezas con termoplásticos de alto rendimiento. Cada vez más empresas están cogiendo impulso dentro de este sector haciendo más conocida estas tecnologías y teniendo como resultado que más personas puedan acceder a ellas.

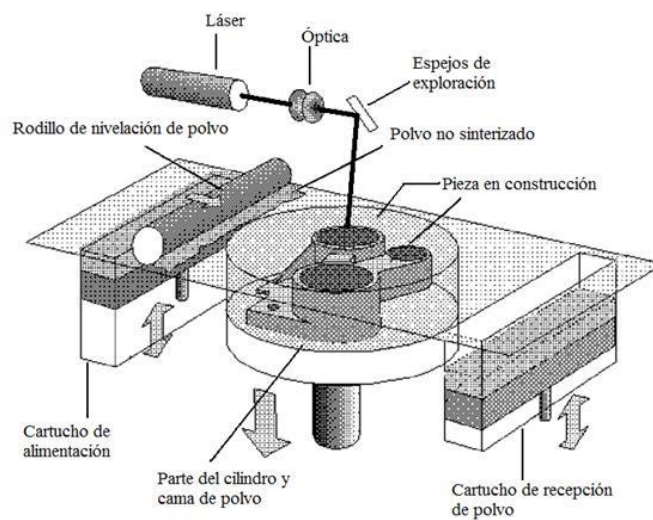


Figura 2-12 Proceso de sinterización selectiva por láser (SLS) [17]

2.6.3 Selective Laser Melting (SLM)

Esta tecnología se basa en la fusión de partículas de material en polvo utilizando una fuente de calor, normalmente un láser, para fabricar una pieza incluso con geometría compleja.

La diferencia principal entre los procesos de sinterización y de fusión es la siguiente: la fusión implica el paso de estado sólido a líquido exponiéndolo a una temperatura elevada. Por otro lado, en el proceso de sinterización la temperatura no es suficiente para fundir el metal.

Al igual que con el proceso de sinterización, para la fabricación de cualquier pieza en tres dimensiones es necesario crear previamente su modelo en un software CAD. La pieza es laminada en una multitud de capas, normalmente láminas con un grosor de 100 a 200 micras.

El primer paso es llenar una cámara de gas inerte para después precalentar la cámara para así disminuir el choque térmico. Acto seguido se echa una capa de polvo extendiéndola sobre la plataforma de construcción, siendo la cantidad de este polvo metálico la establecida previamente en el software. Luego, el láser de fibra óptica barre la capa transversalmente fusionando las partículas metálicas. Este proceso se repite varias veces completando una capa detrás de otra hasta obtener el resultado final. Otro paso imprescindible es limpiar la impresora de las partículas no fusionadas que se quedan pegadas a la base para posteriores procesos.

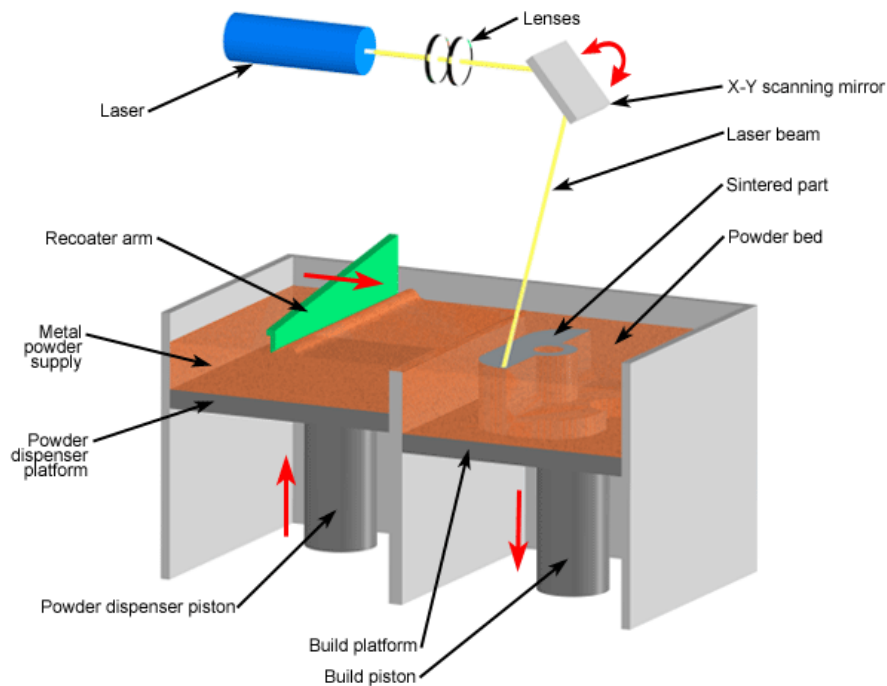


Figura 2-13 Proceso de fusión selectiva por láser (SLM) [18]

Los materiales que destacaríamos en este proceso son materiales metálicos y aleaciones como el aluminio, acero inoxidable o el titanio, pero además se pueden utilizar metales preciosos como el oro o la plata. Esta tecnología se puede ver en áreas como la automovilística, aeroespacial o médica, destacando la odontología en ésta última.

Las ventajas que obtenemos son que ofrece la posibilidad de fabricar piezas con geometría compleja, consiguiendo piezas muy ligeras y reduciendo la cantidad de componentes para su ensamblaje. Por lo tanto, tenemos tiempos de producción más cortos y piezas resistentes. Por otra parte, sus inconvenientes son que no se pueden hacer piezas muy grandes debido al precio tan elevado que tiene los polvos metálicos para su realización. [19]

2.6.4 Fabricación aditiva basada en el Laser Cladding

Laser cladding es una técnica de procesamiento de materiales basada en la utilización de láseres alta potencia para el recubrimiento de éstos mediante la fusión simultánea del material de revestimiento y una capa delgada del sustrato del material. Ésta es utilizada para recubrimientos superficiales que protejan la pieza frente a la corrosión o el desgaste, además de ser utilizada para producir componentes geométricos capa a capa.

El proceso de este método consiste en utilizar un láser de alta potencia para fundir el material seleccionado en forma de polvo. De esta manera a través de una boquilla que expulsa la mezcla de un chorro de gas con el polvo metálico interactuará con el haz de láser formando una sustancia líquida. Esta sustancia depositada sobre un sustrato se solidifica después de que el láser haya seguido su

recorrido. Tras varias pasadas iguales en las que se deposita una capa encima de otra obtenemos nuestro resultado final basado en nuestro modelo CAD.

Por lo tanto, la técnica de fabricación aditiva basada en el cladding comprende el uso de una fuente láser de alta potencia, un alimentador de polvo, un sistema de posicionamiento robótico, multieje o de tres ejes y un sistema de monitorización.

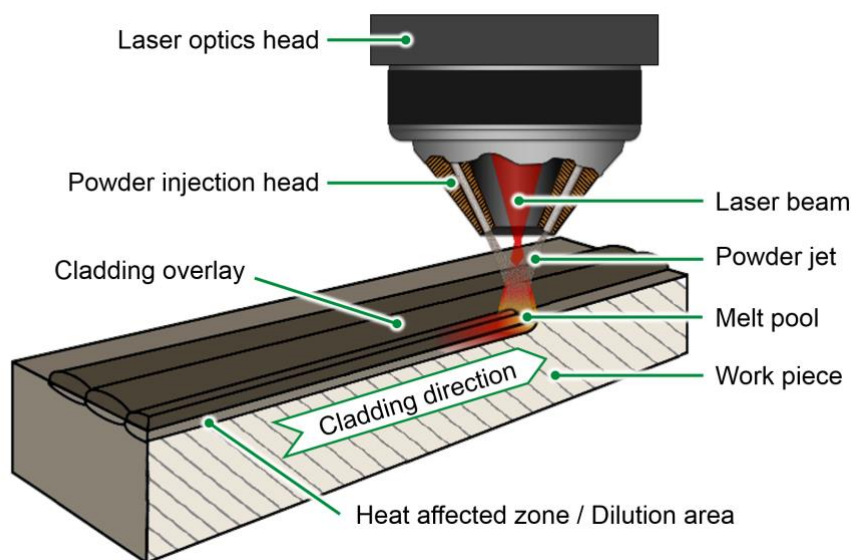


Figura 2-14 Fabricación aditiva con la técnica de “Laser Cladding” [20]

Gran cantidad de materiales pueden ser utilizados para la fabricación de composites o materiales de calificación funcional. Con esta técnica se consigue que el espesor de la capa revestida este en el rango de 0,1 a 2 mm. El grosor de la capa también es acondicionado por la altura revestida que se obtiene mediante el revestimiento láser, sin embargo, las capas de espesor bajo, entre 0,1 mm y 0,4 mm son utilizados para obtener paredes con superficies lisas. Añadir que el valor de este espesor depende de las propiedades del material y las condiciones del proceso. Los valores entre los cuales oscila la construcción de la pieza son de 1 a 5 centímetros cúbicos por minuto. Esta técnica es un proceso multiparámetro, donde los parámetros se pueden agrupar en relación con el láser, el polvo o las propiedades de transporte determinando la calidad de la superficie, la microestructura y las propiedades mecánicas de la pieza final.

En nuestro caso, utilizaremos la técnica de laser cladding a través de un cabezal de procesamiento con inyección de flujo de polvo. Este método de alimentación es una de las pocas técnicas de recubrimiento que tiene un área de interacción láser-sustrato-material precursor bien definida, una unión por fusión con baja dilución, tratándose además de un proceso altamente automatizable. Esta técnica consiguió un gran avance con la implementación de la llamada “alimentación coaxial” evitando el esparcimiento del flujo de polvo sobre la pataforma y depositando el material encima de la pieza a tratar de una manera controlada y precisa. Con este sistema, se caracteriza por el aporte del material en polvo formando una trayectoria en forma de cono, haciendo que el material esté uniformemente repartido en la dirección radial del eje óptico obteniendo un punto de trabajo mucho más definido y pequeño logrando trabajos más precisos con un aporte de material más eficiente.

Además, dentro de los sistemas de prototipado rápido basados en laser cladding existen una gran variedad de denominaciones, haciendo referencia a pequeñas variaciones del proceso. Como ejemplos se puede citar la deposición directa de metal (DMD, direct metal deposition), la manufactura aditiva con

láser (LAM, laser additive manufacture) o el Laser Engineered Net Shaping (LENS). A pesar de las variaciones, todos se pueden englobar en el término genérico de laser cladding.

Entre las ventajas de esta técnica encontramos:

- Mayor eficiencia en el proceso
- Larga vida útil de las lentes y boquillas del láser.
- Mayor resistencia a la corrosión por su densidad compacta.
- Alta adhesión del sustrato con el recubrimiento.
- Baja dilución y porosidad.
- Baja carga térmica.
- Realización de geometrías complejas.
- Monitorización y control del proceso.

Además, otras operaciones subsiguientes son necesarias en este proceso, como, por ejemplo, el mecanizado, la molienda y el pulido.

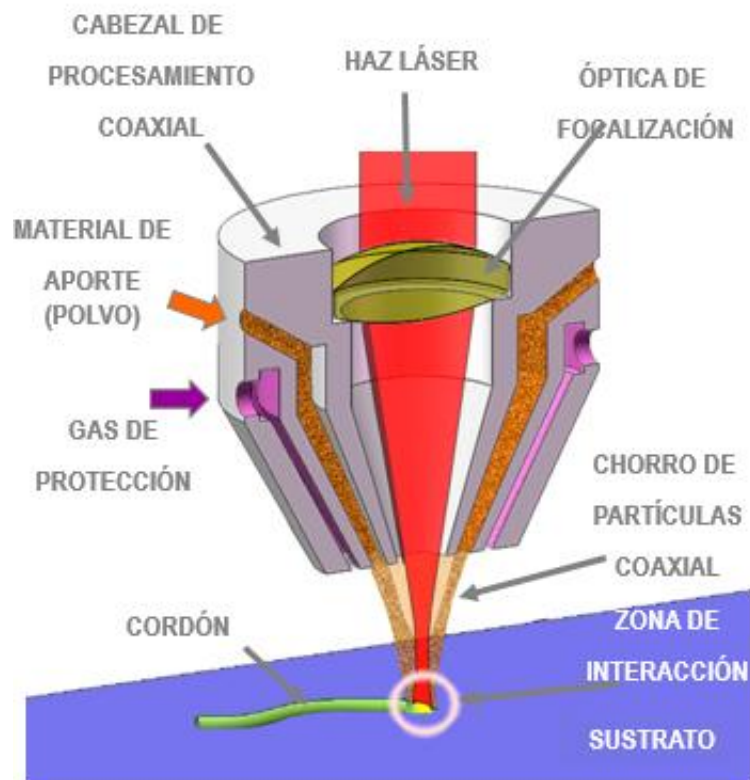


Figura 2-15 Cabezal extrusor láser con alimentación coaxial [21]

2.6.5 Modelado por deposición fundida (FDM, Fused deposition modelling)

Esta técnica ha ganado una gran relevancia en los últimos años gracias al abaratamiento de las impresoras 3D de polímeros. Con este método se imprimen piezas mediante la deposición de capas de forma continua de un polímero termoplástico (PLA o ABS entre los más habituales) que actúa como material precursor en forma de filamento (Figura 2-16). Este filamento se calienta en la boquilla de la cabeza extrusora del sistema de impresión alcanzándose la temperatura suficiente para que el polímero alcance un estado semilíquido, que permite su extrusión y deposición sobre la capa anterior. Los

parámetros clave que rigen el comportamiento del sistema son la altura de la capa, anchura del filamento y espacio entre la boquilla y la capa. [2]

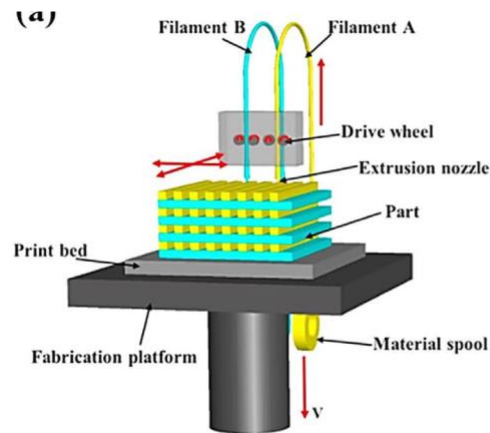


Figura 2-16 Proceso Fused Deposition Modelling (FDM) [2]

2.6.6 Impresión por chorro de tinta (Inkjet printing)

Esta técnica se emplea especialmente para la impresión de soportes biocerámicos para la regeneración de tejido humano. Mediante esta técnica se inyectan en el sustrato, y a través de una boquilla, gotas de una suspensión coloidal de una cerámica. Estas gotas una vez depositadas en el sustrato forman un patrón previamente determinado que solidifica con la suficiente dureza y resistencia para continuar la fabricación por apilamiento consecutivo de capas de material. Las ventajas inherentes de esta técnica son básicamente su alta velocidad y eficiencia. Como mayores desventajas se destaca su poca resolución y la falta de adhesión entre capas. [22]

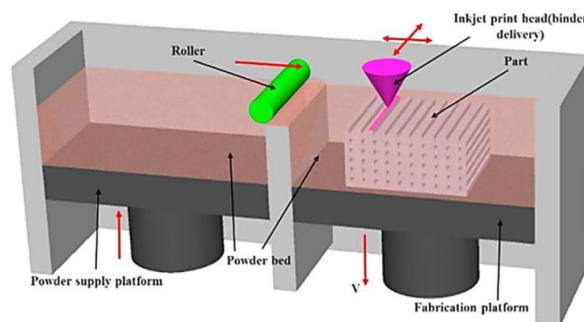


Figura 2-17 Impresión por chorro de tinta (Inkjet Printing) [22]

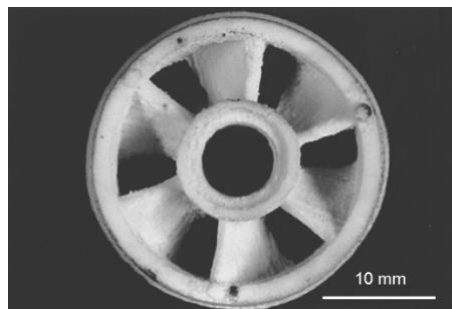


Figura 2-18 Ejemplo del proceso por impresión de chorro de tinta [22]

2.6.7 Fabricación de objetos laminados (LOM Laminated object manufacturing)

En esta técnica, una de las primeras comerciales dentro de la fabricación aditiva, las piezas o elementos estructurales son fabricados mediante la unión de una serie de láminas recubiertas con un adhesivo que se activa térmicamente. La geometría deseada es introducida a través de un modelo CAD, que permite realizar cortes precisos a las láminas mediante láser y que junto a la aplicación de calor por medio de un rodillo permite ir generando la estructura lámina a lámina, tal y como se muestra en la Figura 2-19. [23]

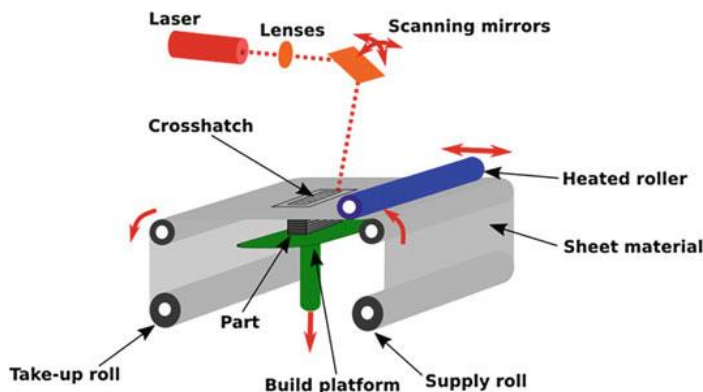


Figura 2-19 Proceso de fabricación de objetos laminados [23]

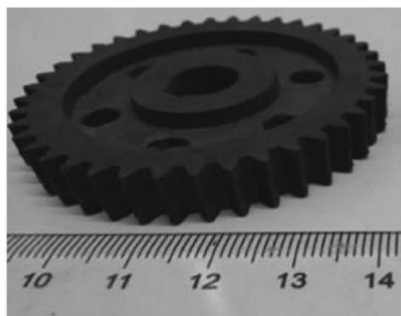


Figura 2-20 Resultado de una pieza realizada mediante LOM [23]

2.6.8 Fabricación aditiva mediante haz de electrones

Se trata de una técnica relativamente nueva para la fabricación aditiva de piezas funcionales. En ella se usa un haz de electrones de gran energía que actúa como fuente de energía del proceso (Figura XX). Dicho haz de electrones es utilizado para fundir el material precursor (en general partículas de metal) en la forma y dirección preestablecidos mediante un sistema de posicionamiento de tipo CNC. En cuanto el haz deja de incidir sobre la zona de trabajo (por el movimiento relativo pieza-haz de electrones) el material fundido se solidifica rápidamente, creando una capa de material. El apilamiento consecutivo de capas permite fabricar la pieza deseada. Entre sus ventajas se puede destacar una alta eficiencia energética, y altas velocidades de procesamiento. Aunque por el contrario una de sus desventajas más significativas es la estabilidad del proceso, que provoca defectos en las piezas y una notable variación en la calidad de las piezas producidas. [24]

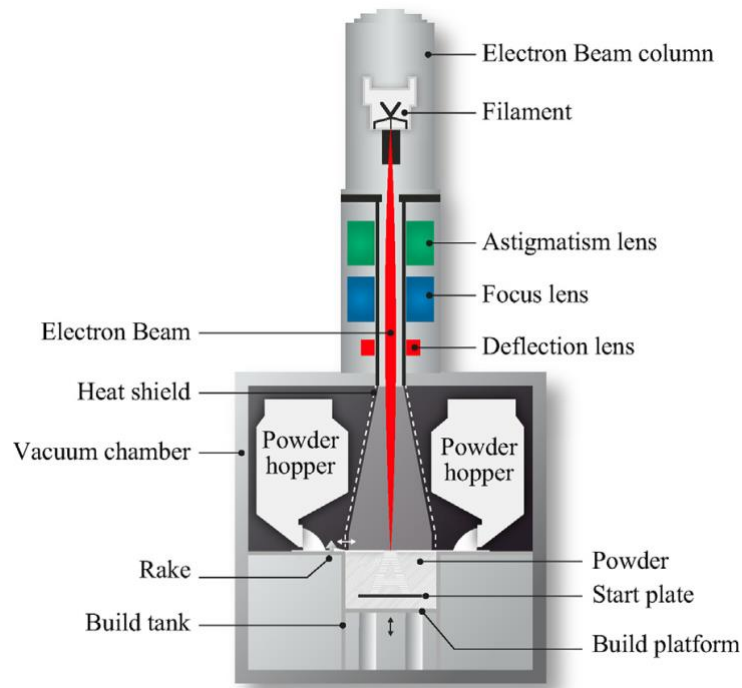


Figura 2-21 Esquema básico de la fabricación por haz de electrones [24]



Figura 2-22 Ejemplo de resultado de fabricación por haz de electrones [24]

2.6.9 Polimerización de dos fotones (*Two- Photon Polymerization, 2PP*)

En esta técnica se induce la fotopolimerización de una resina de base acrílica fotosensible mediante el mecanismo de absorción de dos fotones (2PA) en el cual un electrón absorbe dos fotones para alcanzar un estado de mayor energía. Aunque tiene cierta similitud con la esteliografía, a diferencia de esta, en la 2PP la polimerización se inicia con fuentes de longitud de onda mayores de 450 nm y de gran intensidad energética, siendo por ello preferentemente usados láseres de femtosegundo. Durante el proceso de fabricación de la pieza, la absorción de los dos fotones tiene lugar dentro de la resina, provocando que una pequeña porción del material, conocido como *voxel* (bloque básico de construcción) sufra una serie de cambios a nivel físico-químicos que inducen la polimerización. Finalmente, el movimiento generado entre la resina y el haz láser genera la pieza o estructura de escala micrométrica diseñada (ver Figura XX).

Las principales ventajas de esta técnica son su capacidad para fabricar directamente las piezas sin tener que hacerlo por apilamiento de capas, y su alta resolución. Sin embargo, las velocidades de procesamiento son relativamente bajas y sólo se pueden utilizar polímeros.

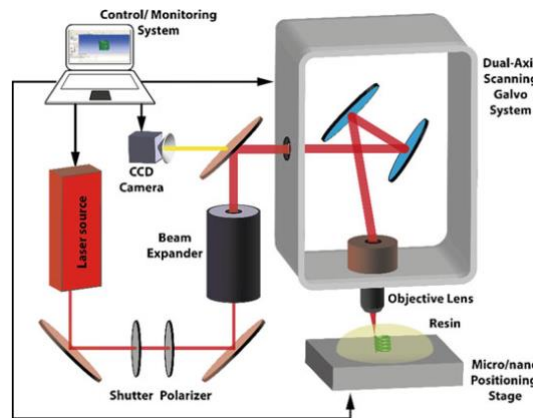


Figura 2-23 Sistema experimental básico de 2PP [25]

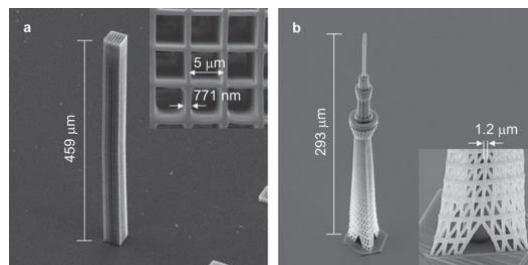


Figura 2-24 Ejemplo de piezas fabricadas con esta técnica [25]

2.7 Tipos de fuentes láser industriales

2.7.1 Introducción

Un láser es una amplificación de luz por emisión estimulada de radiación. En otras palabras, es un dispositivo que emite luz con unas características especiales y completamente diferentes a otras fuentes convencionales como pueden ser una bombilla, un tubo fluorescente o una vela.

Los láseres tienen algunas propiedades que lo diferencian de las demás fuentes de luz tradicionales, por ejemplo:

- Un láser tiene un solo color, es decir, posee una luz monocromática.
- Es direccional, viaja en una sola dirección, mientras que una luz convencional se progaga en todas las direcciones.
- La intensidad de la luz es mayor.

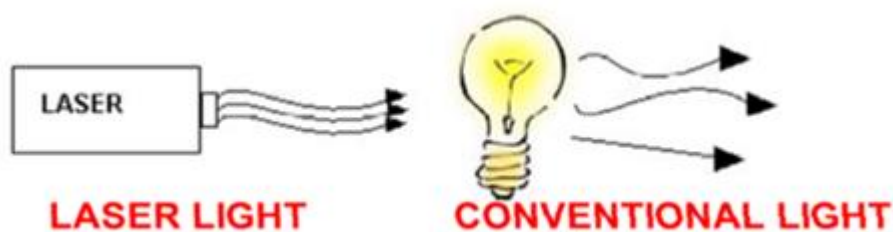


Figura 2-25 Haz láser VS. Luz convencional

La invención de láser fue un hito dentro del mundo de la física encontrando su hueco dentro de un amplio abanico de aplicaciones en el procesamiento de materiales. Los láseres suficientemente potentes para fundir el metal fueron desarrollados y su aplicación en el corte láser empezó a darse en la década de los 70, con el inconveniente de que eran muy caros. Hoy en día el precio de estos sistemas sigue siendo elevado, aunque al alcance de más usuarios y empresas.

Los láseres generan un haz de fotones de alta densidad y puede ser transmitido y comprimido en un punto muy pequeño de energía capaz de fundir y evaporar el metal. El sistema láser puede generar potencias de hasta decenas de kW y focalizar el haz láser en un punto (spot) de tamaño micrométrico. Actualmente, la mayoría de sistemas de fabricación aditiva utilizan láseres de fibra debido a su fiabilidad, tamaño compacto y bajo mantenimiento. La manipulación del láser es normalmente realizada por espejos galvanométricos o un movimiento controlado por CNC.

El láser es dirigido a la zona de trabajo y se focaliza encima o en las proximidades de la superficie de la pieza a una densidad de potencia suficiente para lograr la fusión deseada de ésta. Esta energía que incide en la pieza de trabajo se refleja o es absorbida creando calentamiento y fusión en ella. Las propiedades de absorción o reflexión son distintas para cada metal o para el tipo de longitud de onda. En fabricación aditiva, como es nuestro caso, afecta la cantidad y tamaño de polvo, así como el grosor de la capa sobre la que se trabaja. Para un proceso que es repetido varias veces hay que estudiar parámetros cuidadosamente y entre ellos está la selección del tipo de láser.

Las fuentes láser están diferenciadas en dos grupos de acuerdo con su medio activo:

- Estado sólido: el medio activo es algo sólido, normalmente, un tipo de cristal mezclado con otro tipo de elemento.
- Estado gaseoso: el medio activo es un gas, normalmente una mezcla de gases donde se produce la emisión láser.

La otra división es según la manera de bombear el medio activo:

- Bombeo óptico: el medio activo es lanzado por una fuente óptica como puede ser una lámpara de destellos u otros láseres.
- Bombeo eléctrico: en este caso los electrodos generan un choque eléctrico a lo largo del medio activo.

2.7.1 Tipos de láser

2.7.2.1 Láser de CO_2

El láser de CO_2 ocupa el liderazgo en aplicaciones industriales. Ofrece a la vez de alta potencia y eficiencia para longitudes de onda infrarrojas, pudiendo ser utilizado en diferentes aplicaciones como son el corte, soldadura y tratamientos térmicos de metales. El medio activo de un láser de CO_2 está formado por una mezcla de dióxido de carbono, nitrógeno y helio.

En los láseres de CO_2 , el bombeo se realiza a través de una corriente eléctrica que cruza la mezcla gaseosa. Las moléculas se bombean del estado fundamental a estados de energía más elevada, desexcitándose por medio de procesos radiactivos y no radiactivos. La línea de emisión más intensa de láser de CO_2 está a 10,6 micras en el infrarrojo. Una línea de emisión más débil en las 9,6 micras compete con ésta última. Todos los generadores láser que superan unos pocos vatios de potencia de salida utilizan algún tipo de mecanismo de recirculación de gas para asegurar la estancia de mezcla gaseosa de suficiente pureza en la zona de descarga. Parte del gas se elimina periódicamente y es reemplazada por

una nueva con el fin de eliminar elementos no deseados consecuencia de la descarga eléctrica y que disminuyen el rendimiento del láser.

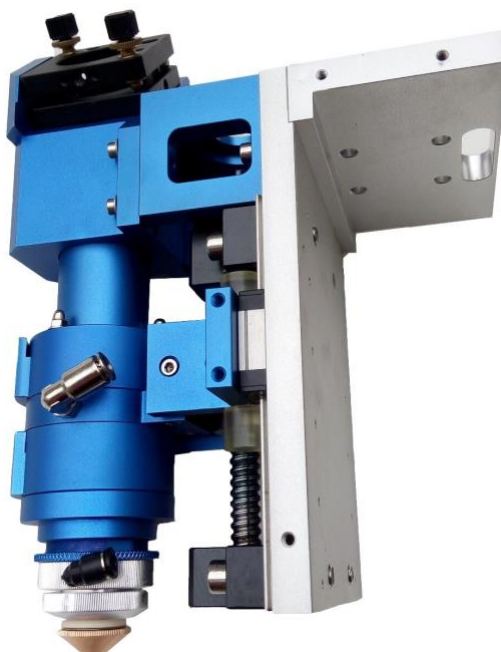


Figura 2-26 Cabezal máquina de corte por láser de CO₂. [26]

Una diferencia importante entre el láser de CO₂ y otros láseres de gas la encontramos en el tipo de ópticas que usan. En las de CO₂, la óptica debe estar hecha de materiales que reflejen o sean transparentes a la radiación infrarroja. La cavidad óptica, generalmente de tipo estable, está constituida por un par de espejos de curvatura grande y con un conjunto de capas de alta reflectividad.

La fuente de alimentación de un láser de CO₂ debe proporcionar un voltaje suficientemente alto, formando un campo eléctrico lo suficientemente fuerte, en torno a 8 kV/m, para mantener una descarga en el medio activo. Por otro lado, la potencia de salida del láser es proporcional a la longitud del medio activo del láser.

En este tipo de láseres, el medio activo se excita mediante una descarga eléctrica. El rendimiento electroóptico es del 15%. La potencia eléctrica restante se disipa en forma de calor, dando lugar a una elevación de temperatura en la mezcla gaseosa. Para conseguir la ganancia máxima, la temperatura óptima tiene que rondar alrededor de los 150-200 °C. Esta temperatura solo se consigue refrigerándola, distinguiendo dos tipos: refrigeración por conducción para láseres de baja potencia y por convección para láseres de alta potencia.

2.7.2.2 Láser de Nd:YAG

Son láseres de estado sólido donde el medio activo es una barra de neodimio. El bombeo lo producen lámparas de flash o diodos, siendo éstos últimos más eficientes. La refrigeración del sistema se realiza gracias a la circulación de agua destilada. En este tipo de láseres si se quiere aumentar la potencia es realizar varias cavidades con una configuración específica. De esta forma podemos escalar la potencia de salida desde vatios a kilovatios.

El medio activo de estos láseres es una barra de cristal de granate de itrio y aluminio conocido comúnmente como YAG, dopado con un 1% de ion Nd³⁺. Este ión se distribuye aleatoriamente como

impureza de sustitución en sitios ocupados por el ión Y^{3+} , proporcionando los niveles de energía tanto del bombeo como de la transición láser.

El bombeo del medio activo es de tipo óptico por medio de lámparas de flash. Éstas radian desde el visible hasta el ultravioleta, siendo precisamente en este rango donde se hallan las bandas de absorción del ión Nd^{3+} . La forma de las lámparas es helicoidales o cilíndricas, colocadas en paralelo a la barra de medio activo. En las lámparas cilíndricas, se hace preciso el uso de espejos elípticos para recoger toda la energía que sale del tubo de flash.

El disparo de la lámpara de flash se produce debido a la descarga de una batería de condensadores. Para deshacer la impedancia inicial del gas tan elevada, se utiliza un pulso de alto voltaje, 20 kV aproximadamente, producido por una fuente externa de pulsos. La salida del láser es pulsada, sin embargo, una nueva generación de láseres permite el funcionamiento mixto, continuo y modulado con un papel importante en el sector automovilístico. La potencia media en la salida es de 550 vatios teniendo un consumo con una potencia aparente de 22 kVA y una potencia activa de 18 kW.

Por otro lado, éste láser puede funcionar con un array de diodos, junto con un sistema de colimación de la luz de los éstos, donde el medio activo es bombeado. De todas formas, el método preferido es con lámparas de flash debido a ciertas características como una energía de pulso elevada.

Los láseres Nd-YAG se aplican en varios campos dentro del procesamiento de materiales: corte, soldadura, taladrado, marcado, además de sus aplicaciones en la medicina y en la ciencia.

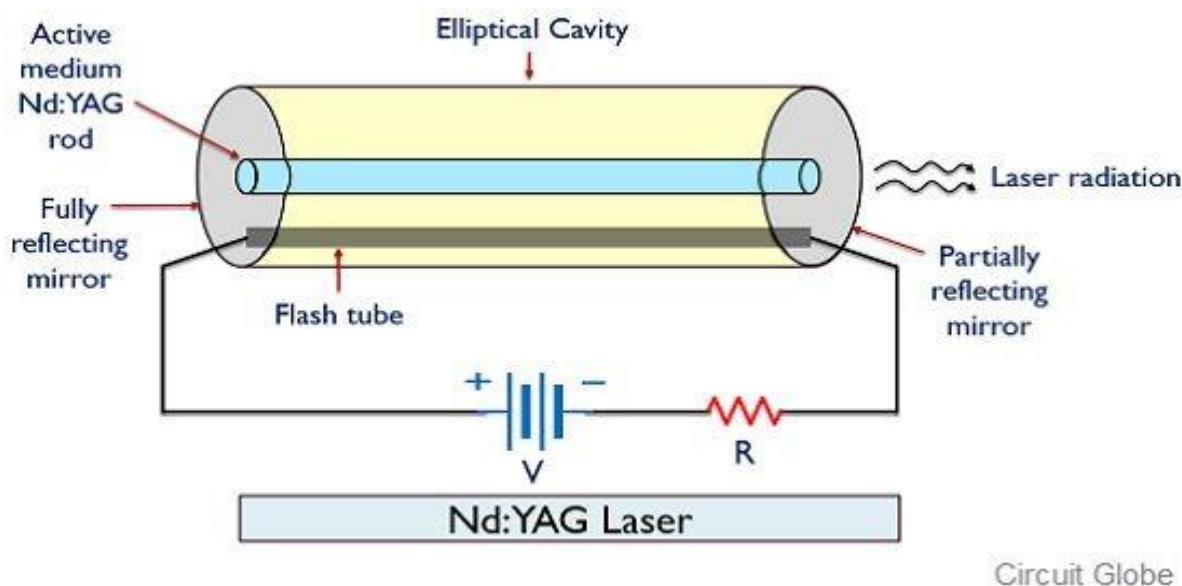


Figura 2-27 Funcionamiento láser tipo Nd:YAG. [27]

2.7.2.3 Láser de fibra

En un láser de fibra el medio activo es una fibra recubierta por partida doble (fibra de cristal) utilizando uno o varios diodos láser para el bombeo. Por lo tanto, un láser de fibra es un láser estado de sólido con un sistema de bombeo óptico. Los tipos más comunes son el “Yb: YAG” con una longitud de onda de 1,08 micras, el “Er: YAG” con una longitud de onda de 1,54-1,56 micras y el “Tm:YAG” de 1,8 a 2 micras. El láser de fibra Yb: YAG es el más común que encontramos en las industrias para el procesamiento de materiales en procesos como el corte o la soldadura. Estos sistemas pueden alcanzar potencias superiores a los 50 kW, suficientes para cualquier aplicación de procesamiento de materiales

de elementos cerámicos o metálicos como por ejemplo, cortar o soldar una plancha de acero de varios milímetros de espesor.

El láser de fibra ha tenido un gran avance en los últimos 15 años, convirtiéndose en el láser mas usado del mercado y reemplazando a otros como el CO_2 o el “Nd: YAG” debido a las ventajas que ofrece la fibra como, por ejemplo, no tiene piezas móviles, no necesita de alineación óptica o mecánica, alta calidad de su haz, alta eficiencia incidiendo en la superficie, no necesita apenas de mantenimiento y posee una vida útil de más de 10 años y en especial su mejor eficiencia energética, en torno al 35% en frente del 15% o 5% de los láseres de CO_2 o Nd: YAG respectivamente. Se concluye que son fuentes láseres de muy altas prestaciones y versatilidad.

Es un tipo de láser que usan las empresas de mecanizado para el corte de metal de alta precisión, rapidez y ahorro energético. Son más rentables que los de CO_2 ya que no emite gases y produce un corte liso en cualquier tipo de material. Además, los láseres de fibra son mucho más fácilmente integrables en sistemas de posicionamiento, al poder ser guiados por fibra óptica hasta el cabezal. Esto aporta una gran versatilidad al posicionado del haz que, en comparación con los láseres de CO_2 se guían por espejos respetando en todo momento una geometría muy precisa. Aparte de las ventajas comentadas anteriormente encontramos otras que hacen imponerse al resto de láseres disponibles.

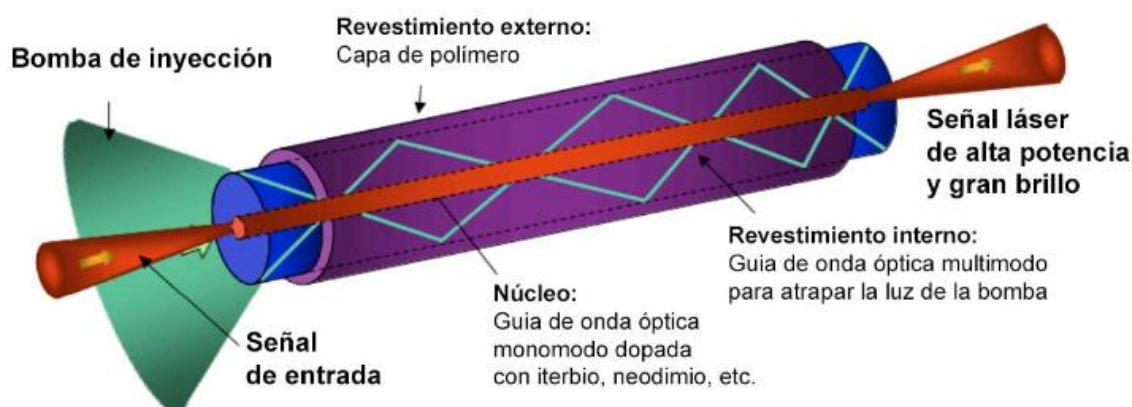


Figura 2-28 Componentes Láser de Fibra [28]

Tiene una gran estabilidad debido a los generadores que éstos utilizan. Los láseres convencionales son muy sensibles a golpes y si la óptica se desalinea no tiene fácil reparación. En este caso, el haz de luz láser se produce dentro de un cable de fibra óptica por lo que es muy estable y fácil de utilizar.

Estos sistemas ofrecen una tolerancia mínima, haciéndolos muy precisos a la hora de incidir sobre la superficie en cuestión. El haz de luz que viaja por el cable es recto y con un orificio diminuto, produciendo un haz muy eficaz debido a su pequeño punto logrando acabados de gran calidad.

Otra ventaja es el coste que tiene mantener este producto, siendo bajo, reduciendo los costes y mejorando la eficiencia en la producción. Además, su facilidad de uso, ya que solo necesita el diseño de los patrones en el ordenador y no necesita la intervención de ningún operario cuando lleva a cabo el corte.

Por último, cuida el medioambiente siendo más sostenible que otros láseres al perder menos energía y calentar menos la atmósfera.

Entre sus áreas de aplicación destacan la medicina, la automoción, la aeronáutica, la ingeniería naval y todo de tipo de manufacturación. Es por todas estas razones por las cuáles se ha decidido utilizar este tipo de láser para diseñar nuestra impresora. [29] [28]

2.8 Aplicación en el ámbito militar

Desde un punto de vista de las fuerzas armadas, la capacidad de fabricar piezas en misiones de carácter militar y humanitario lejos de las líneas habituales de suministro es de gran importancia estratégica. Por un lado, las tropas pueden actuar en entornos cambiantes e impredecibles que hacen muy difícil conocer a priori las necesidades de recambios y suministros. Por otro lado, los entornos en donde se producen las actuaciones militares o humanitarias pueden provocar una rotura de las líneas de suministro de las tropas desplegadas, tanto por fenómenos naturales (meteorológicos, geográficos, etc.), como por la actuación de elementos hostiles.

Por todo ello, la fabricación aditiva de componentes puede ser una solución factible para producir los elementos necesarios cerca de las zonas de conflicto. En este contexto la fabricación aditiva puede servir para reducir los tiempos de espera para aprovisionamiento, reducir el consumo de energía y residuos al ser más eficiente y pudiendo fabricar bajo demanda, disminuir la necesidad de transporte de repuestos con las tropas desplegadas, y en general, aumentar y mejorar la preparación y sostenibilidad de las fuerzas armadas.



Figura 2-29 Convoy logístico en Afganistán [30]

3 DESARROLLO DEL TFG

3.1 Resumen

En el siguiente proyecto hemos querido realizar el diseño de un cabezal de procesamiento de fabricación aditiva asistida por láser basado en laser cladding para acoplarlo a un modelo de impresora 3D previamente seleccionado. El diseño constará de varias partes fabricadas con latón y aluminio con el objetivo de buscar ligereza en el extrusor, aparte de evitar que las piezas se gripen y se desgasten chocando elementos del mismo material. Además, con estos materiales y los componentes que forma nuestro cabezal se ha buscado que se pueda llevar a cabo con un bajo presupuesto, comprando a empresas piezas lo más económicas posibles.

Principalmente, nuestro sistema constará de cinco partes, empezando por la selección de una fuente láser que conectará directamente con el expansor. El haz láser atravesará una lente de focalización de 1” pulgada para posteriormente cruzar la ventana de protección, la cual protege la lente y el resto de componentes del cabezal por el que pasa el haz de los restos de material precursor que puedan ascender por éste mientras se fabrican las piezas. A la vez que el láser sale de nuestro extrusor, nuestro sistema consta de 4 orificios por los que se añadirá material metálico en polvo y otros 4 que expulsarán un gas inerte (en nuestro caso, Argón) que protegerá el proceso creando una atmósfera protectora contra las impurezas y las oxidaciones que pueda producirse.

Para la realización del diseño de nuestro sistema hemos utilizado el software para ordenador de “Autodesk Inventor Professional 2020”, aplicación sencilla y fácilmente entendible con la que hemos elaborado el cuerpo de la pieza en su totalidad, comprando en empresas de fabricación de elementos ópticos como “Thorlabs” o “Edmund Optics”.

La impresora elegida para la instalación de nuestro cabezal es la “Ender 5”, impresora de grandes prestaciones, con una estructura robusta, de fácil montaje e impresiones de gran calidad. Para colocar nuestro cabezal, se dispone a desmontar el que trae la impresora de serie aprovechando el motor que ésta tiene. Añadir que para la comprobación del aguante de nuestro cabezal en el soporte de la impresora se llevará a cabo un análisis estructural observando los esfuerzos y tensiones a los que están sometidos los raíles que permiten el movimiento del cabezal en los distintos ejes. Este análisis se realizará también con el software de Autodesk.

Las piezas compradas necesarias para completar nuestro cabezal serán contempladas en una tabla que dará lugar al estudio económico y al presupuesto utilizado para este proyecto

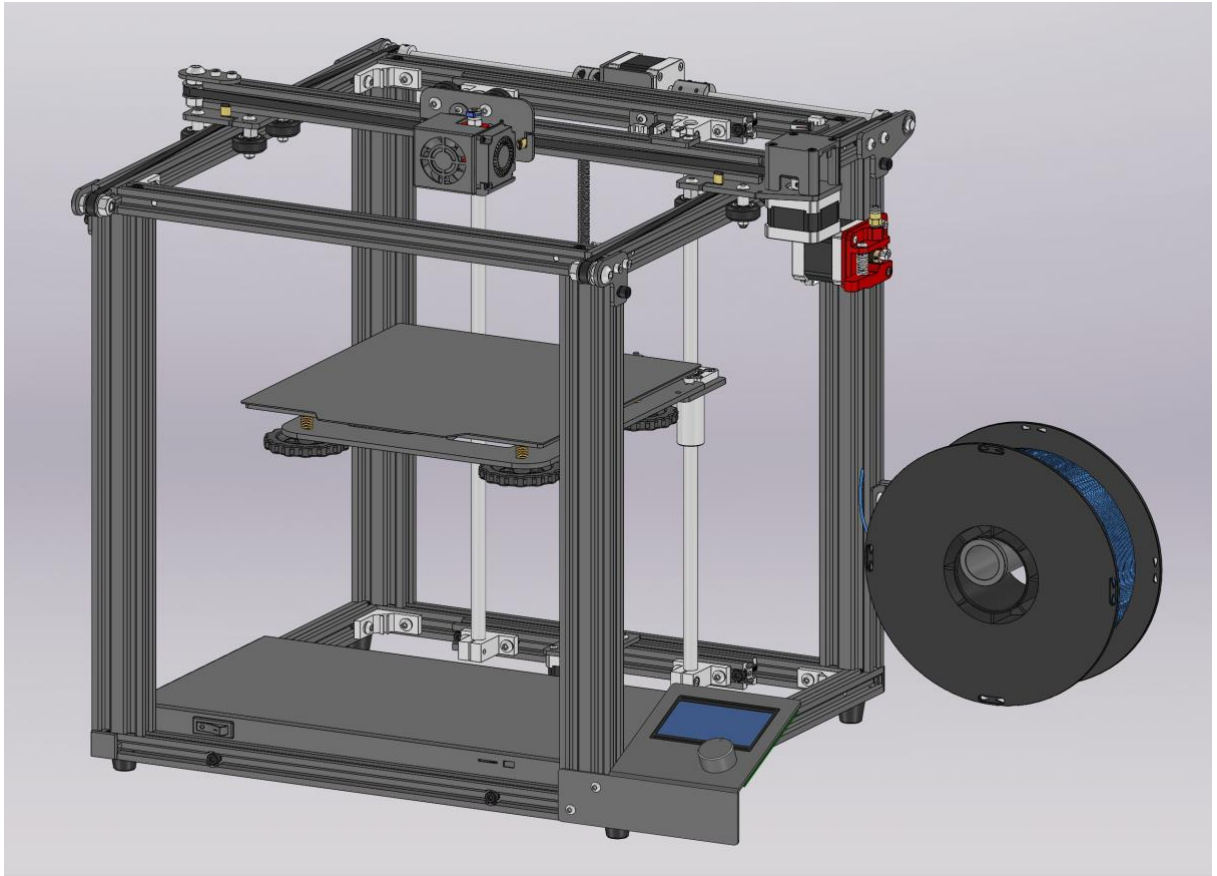


Figura 3-1 Impresora del diseño. Modelo “Ender 5”

3.2 Diagrama de bloques

En la Figura 3-2 se observa un diagrama de bloques con todos los componentes que conforman el cabezal de procesamiento láser dentro de la estación de trabajo láser para fabricación aditiva y que se describen en los siguientes apartados. En general, todo sistema de fabricación aditiva basada en láser constará de una fuente láser como elemento que proporciona la energía necesaria para el proceso y de los siguientes sistemas principales:

- Sistema óptico. Formado por la fibra pasiva de guiado láser del haz láser y los distintos elementos ópticos: expansor de haz, lente de focalización y ventana de protección. Permite la correcta manipulación y guiado del haz a la zona de trabajo.
- Sistema de posicionamiento. Formado por los ejes XYZ de la impresora 3D. Permite establecer el necesario movimiento relativo entre el haz láser y el sustrato/pieza para el procesamiento de la misma.
- Sistema de alimentación de gas. Tiene como función proporcionar un flujo constante y estable de gas, tanto para el gas de protección del área de trabajo, como para el gas de arrastre del material precursor en polvo.
- Sistema de inyección de material precursor. Permite la inyección del material precursor en forma de chorro de partículas. Aparte del alimentador de material (“powder feeder”) consta de los distintos elementos constitutivos del cabezal de procesamiento para la inyección coaxial.

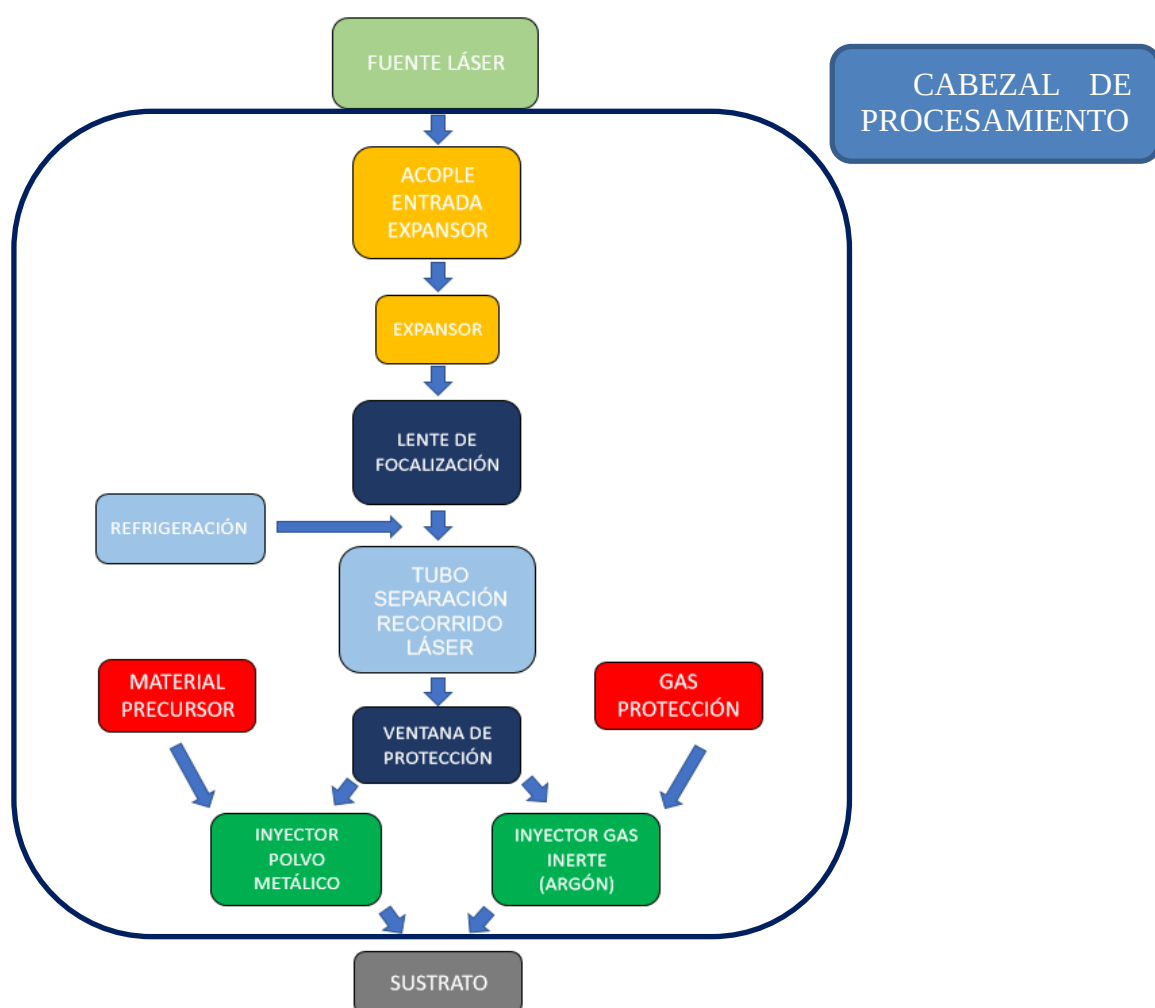


Figura 3-2 Diagrama de bloques. Componentes cabezal diseñado

3.3 Componentes

3.3.1 Fuente láser de fibra y expansor

La fuente láser seleccionada pertenece a la empresa británica “SPI Lasers UK Limited”. El modelo de fuente seleccionada ha sido el módulo de onda continua “Red power” de 200W, caracterizándose por no ser necesario un mantenimiento exhaustivo, una gran fiabilidad y poco gasto de energía. Las ventajas comerciales que encontramos en los láseres de fibra son entre otras: líneas de acabado más rápidas, maquinaria más precisa, reducción de tiempo en los procesos y menor coste. Las técnicas en las que puede utilizarse este modelo son: fabricación aditiva, corte, revestimiento y cladding. Ésta nos proporcionará la energía láser deseada en nuestro proceso, estando certificado en estándares de seguridad de la “European CE” como de “US CDRH”. El colimador se conectará directamente al cuerpo que recubre el expansor, proporcionando un haz láser con un diámetro de aproximadamente 5 mm. Los parámetros del producto seleccionado para nuestro diseño se pueden observar en la Figura 3-3, obtenidos de la hoja de datos técnicos que proporciona la empresa en el libro de especificaciones del producto.

Parámetros	Características
Potencia	200 W
Modo de funcionamiento	CW
Diámetro haz	5 mm
M2	1,10
Longitud de onda	1075 nm

Tabla 3-1 Parámetros característicos de la fuente láser seleccionada [31]



Figura 3-3 Fuente láser “Red power” (SPI Lasers) [31]

Por otro lado, encontramos el expansor cuya función no es más que, como el propio nombre indica, aumentar el diámetro del haz. Una vez el haz láser atraviese el conjunto de lentes del expansor, su diámetro será el doble ya que utilizaremos un expansor 2x para duplicar el diámetro del haz láser aumento y que está especialmente diseñado para trabajar con haces de longitud de onda es de 1064 nm. Este elemento pertenece a la empresa de elementos ópticos ya nombrada anteriormente, Edmund Optics. Además, añadir que este expansor es utilizado para láseres de tipo Nd: YAG/ fibra. El expansor estará recubierto por una pieza (Figura 3-5) que protegera a éste de cualquier golpe ya que es un elemento muy sensible que requiere mantenimiento debido a las lentes que posee. Además, tiene tres orificios roscados en los cuales irán tornillos de nylon que apretarán el colimador y lo harán más firme para que no se mueva dentro del cabezal de procesamiento.

Parámetros	Características
Aumento	2x
Longitud de onda	1064 nm
Longitud	83 mm
Apertura de entrada	10 mm
Apertura de salida	23 mm
Ángulo de incidencia	0°

Tabla 3-2 Parámetros Expansor 2x (Edmund Optics) [32]

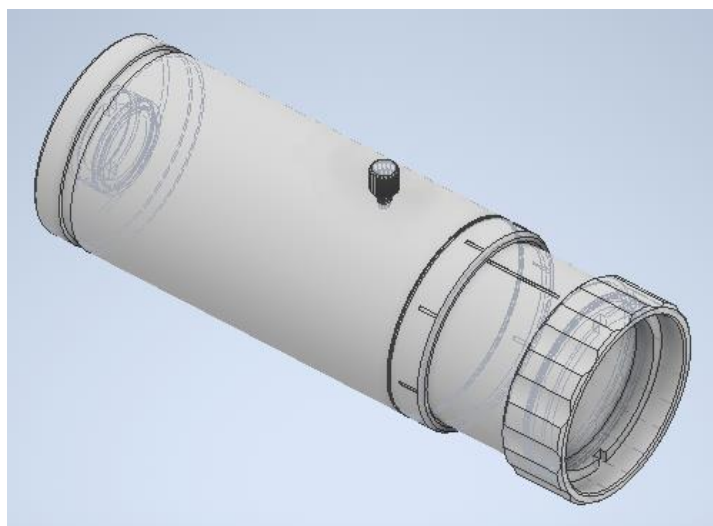


Figura 3-4 Expansor 2x, 1064 nm (Edmund Optics) [32]

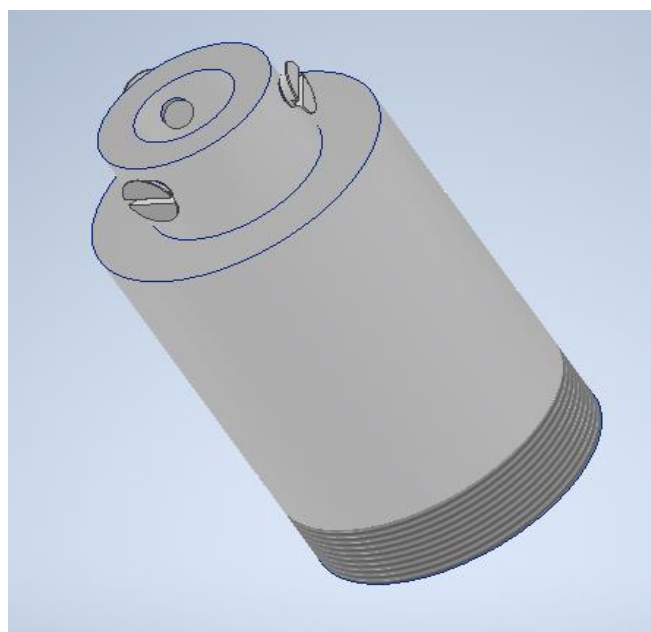


Figura 3-5 Pieza diseñada para introducir expansor

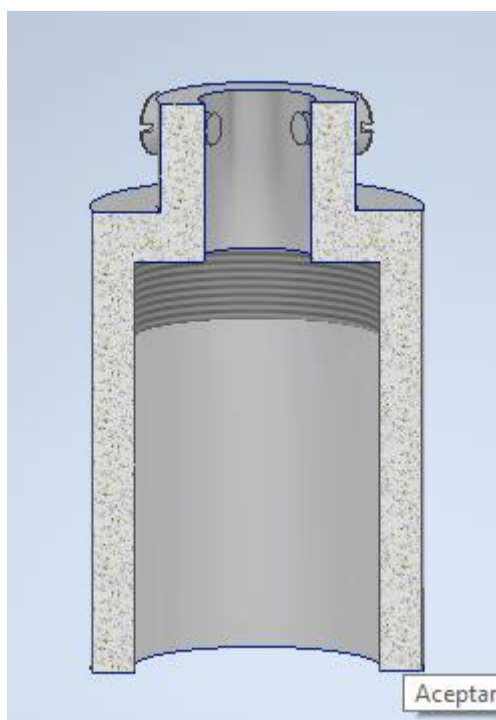


Figura 3-6 Vista de corte de la cubierta del expansor

3.3.2 Lente de focalización

La lente de focalización elegida para el cabezal láser diseñado ha sido la lente plano-convexa LA4102-C de entre 1050-1700, con recubrimiento antireflexión, con un diámetro de 1" (25,4 mm) y una distancia focal de 200 mm. Se ha elegido una lente con esta distancia focal ya que cuanto más larga sea esta longitud mejor regulada estará el diámetro de nuestro punto focal sobre la superficie de trabajo. Esta lente pertenece a la empresa "Thorlabs", dedicada a la fabricación de materiales para sistemas ópticos. Cabe destacar que las empresas ya fabrican las lentes dependiendo del láser que vaya a incidir sobre ellas. Viendo la tabla de especificaciones de esta lente se observa que es capaz de aguantar 1,52 kW/cm por lo que no supondrá un problema con la fuente seleccionada.

Las lentes plano-convexas se caracterizan por tener una cara esférica y otra plana. Estas lentes son las utilizadas siempre para la focalización de rayos paralelos al eje óptico en un punto ya que son las que mejor cumplen esta función. Dicho de otra forma, focalizan haces colimados. Las ventajas que encontramos con estas lentes son su fácil posicionamiento gracias a su cara plana, pudiéndose adaptar en este mismo tipo de superficies. Cumplen con las expectativas, haciendo su función de manera sobresaliente y con un precio económico. Por último, destacar su recubrimiento los cuales son aplicados para conseguir la reflexión del haz láser deseada y aumentar la vida útil de ésta. El recubrimiento antireflexivo mejora la eficiencia energética del sistema disminuyendo la luz incidente reflejada en las superficies que atraviesa el haz.

Parámetros	Características
Diámetro	1"
Distancia focal	200 mm
Dioptrías	+ 5.0
Radio de curvatura	92.0 mm
Espesor de centro	2.9 mm
Espesor de borde	2.0 mm

Tabla 3-3 Datos de la lente seleccionada en el cabezal diseñado [33]



Figura 3-7 Lente de 1" utilizada en el diseño. (Thorlabs) [30]

En la Figura 3-8 se observa una de las piezas que componen este cabezal. En este caso se ha utilizado una vista en la que se puedan ver las aristas ocultas, para así entender mejor la función de todos los componentes en el interior del modelo. Encontramos dos ranuras, en las cuáles, en una de ellas, la que está más arriba, se introducirá el portales.

La decisión de hacer un portales es debido al mantenimiento que debe tener la lente ya que es un elemento muy sensible y el cuál hay que cambiarlo por uno de repuesto cada cierto tiempo de uso. Este diseño permite un cambio rápido de la lente haciendo que en unos minutos podamos disponer de una nueva en nuestro cabezal de procesamiento. Ésta reposa sobre unos salientes que posee el portales en su parte inferior y está sujeta en la parte superior por una arandela que irá roscada para mantenerla fija. La ranura que hay justo debajo no es más que un saliente de aire para la refrigeración del proceso inmediatamente después de que el haz láser atraviese la lente planoconvexa. La refrigeración se produce con la introducción de aire a través de un racor de 4 mm de diámetro cuya entrada, observando la imagen, está a la misma altura que la ranura por donde sale éste.

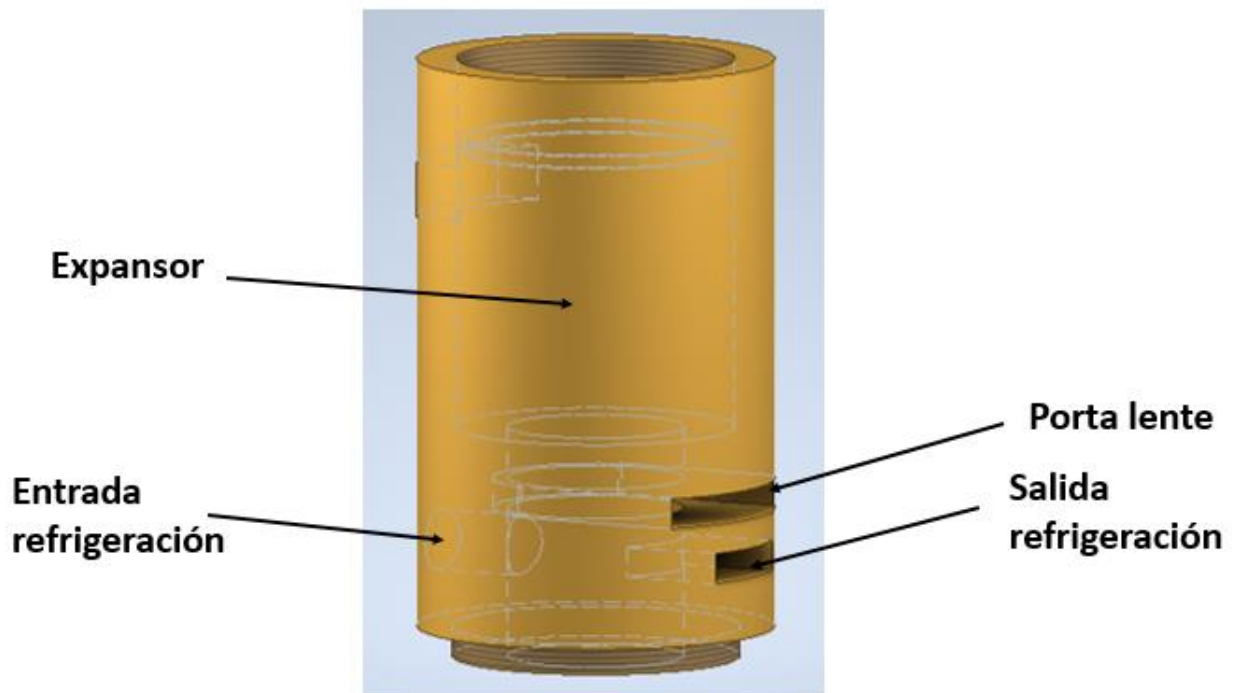


Figura 3-8 Pieza cabezal de procesamiento. Porta lente y refrigeración.

Por otro lado, se puede ver otra ranura en la superior de la pieza, la cuál se ha hecho para dar salida a la rueda que posee el expansor. En caso de ser necesario acceder a ésta, no es necesario desmontar el cabezal de procesamiento.

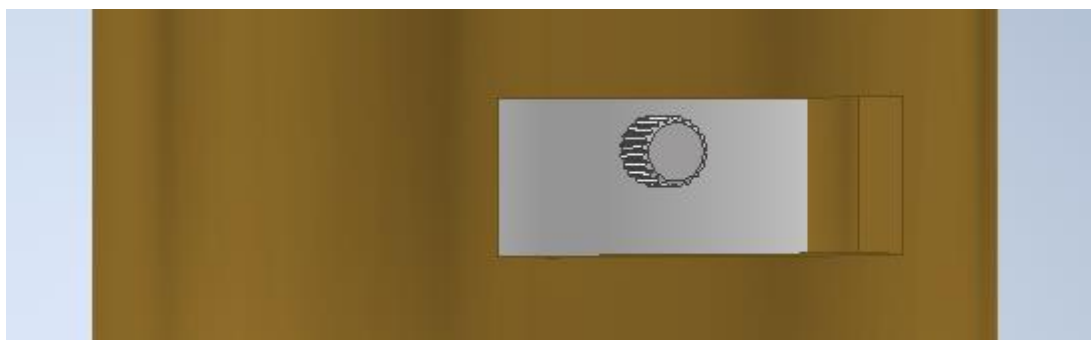


Figura 3-9 Ranura para la rueda del expansor

Como se observa en la vista de corte de la Figura 3-10, la lente estará firme gracias a una sujeción roscada que evitará la rotación de la lente. Lo que deseamos con la eliminación de esta rotación es que el haz láser no incida en distintos puntos de la lente y que con esto se modifique tanto su posición vertical como la posición del plano horizontal, haciendo que tuviésemos que calibrar el cabezal cada vez que quisiéramos utilizarlo en un proceso nuevo. Es por esto, que se ha decidido diseñar un portalentes, citado anteriormente, para depositar la lente sujeta con una arandela roscada y además que se pueda intercambiar fácilmente cuando finalice su vida útil o cuando se tenga que sustituir por otra de diferente distancia focal si fuera preciso.

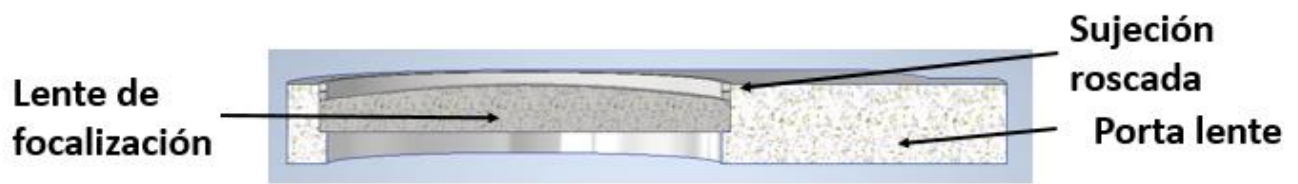


Figura 3-10 Corte porta lente con componentes ensamblados

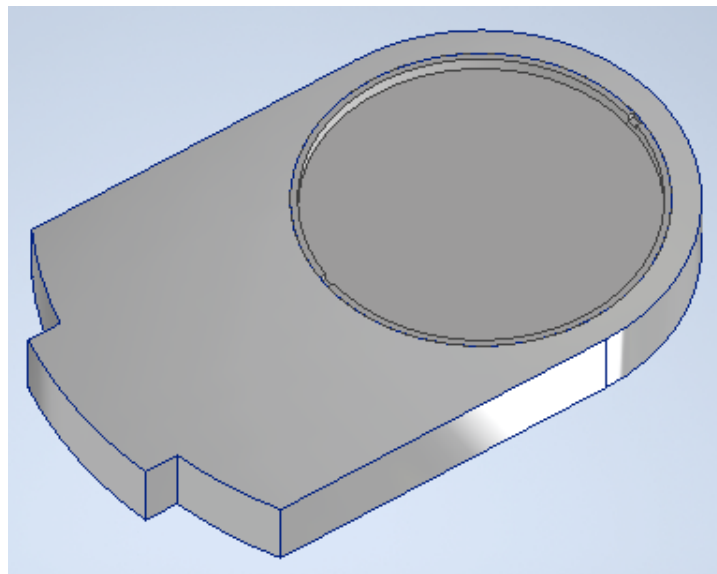


Figura 3-11 Porta lentes diseñado

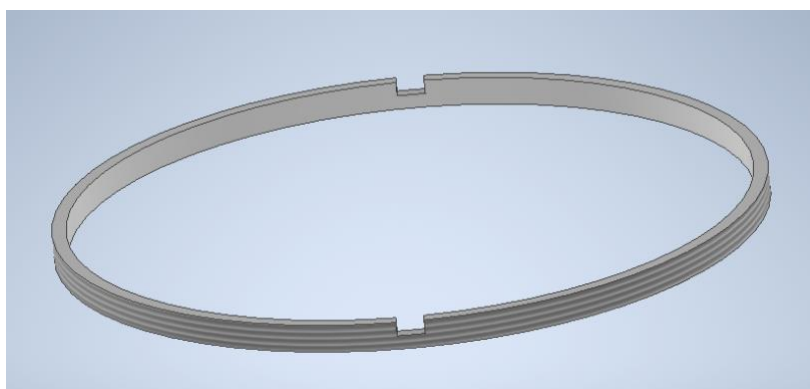


Figura 3-12 Sujeción roscada de la lente

3.3.3 Ventana de protección

Para evitar la ascensión de partículas de polvo a través del orificio por el que sale el haz láser del cabezal se ha colocado una ventana de manera que sirva de protección de la lente para impedir la incrustación de partículas del material precursor en ella. De esta forma evitamos el dañar la lente como tal, ensuciarla, alargar la vida útil de los demás elementos del cabezal y lo más importante, no alteramos la eficiencia del proceso.

Este problema se debe a que no todo el polvo metálico se adhiere a la pieza, rebotando contra la superficie y subiendo por el interior del cabezal. Es por esto que debemos tener cuidado con la lente y prolongar su uso ya que no es un elemento barato. Por ello se decidió aislar la lente de la atmósfera de la plataforma de trabajo con una ventana de protección la cuál permite el paso del haz, pero no el de virutas o proyecciones del material precursor.

Esta ventana al estar en contacto directo con estos restos de material, deberá ser cambiada asiduamente y de la manera más rápida y sencilla posible. Utilizar este tipo de elemento en sistemas con láseres de fibra permite cambiarlas cada poco tiempo ya que las ventanas transparentes con longitud de onda de 1064 nm son muy económicas.

La ventana de protección tiene un espesor de borde de 1 mm con un diámetro de 1/2" con un recubrimiento para una longitud de onda de entre 950-1150 nm. Esta ventana esta fabricada por la empresa británica “*Edmund Optics*”.



Figura 3-13 Ventana de protección utilizada en el diseño (Edmund Optics) [32]

Para instalar la ventana de protección en nuestro sistema, se ha colocado sobre unos salientes dentro de nuestro cabezal apoyándose en estos y quedando fija gracias a la sujeción que provoca una anilla con rosca encima de ella. En caso de tener que cambiar la ventana, ya que nuestro cabezal se basa en piezas roscadas unas con otras, tendríamos que desenroscar el cuerpo donde se encuentra la ventana de protección y posteriormente, desenroscar la anilla para, a liberar la ventana. Este elemento óptico es el que más deterioro sufrirá en nuestro sistema ya que como se dijo anteriormente, protege a la lente de las virutas y restos del material precursor que entren dentro del cabezal. Se trata de un elemento muy económico por lo que su cambio se hará cada poco tiempo sin ningún tipo de problema que afecte al funcionamiento de nuestro extrusor láser.

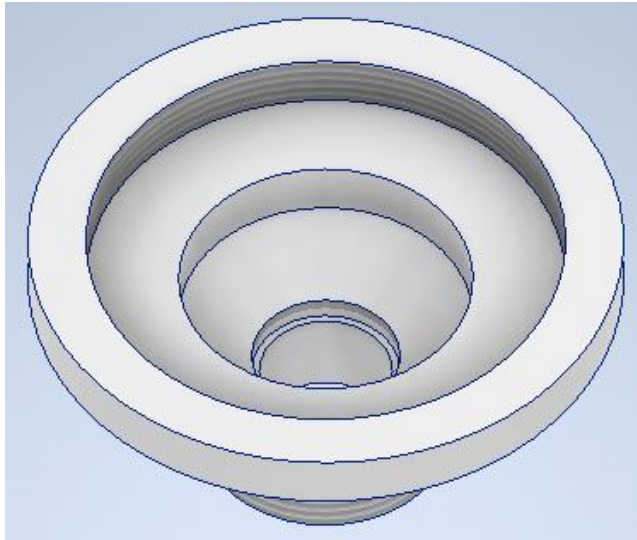


Figura 3-14 Cuerpo soporte de la ventana de protección

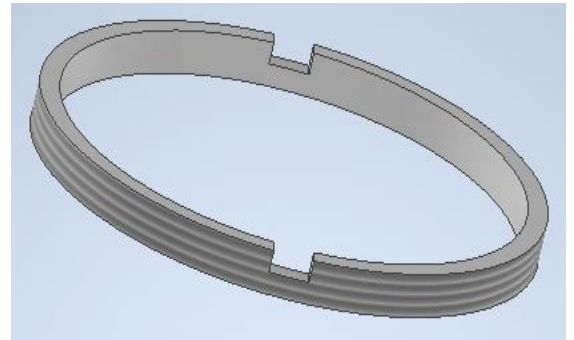


Figura 3-15 Sujeción ventana de protección

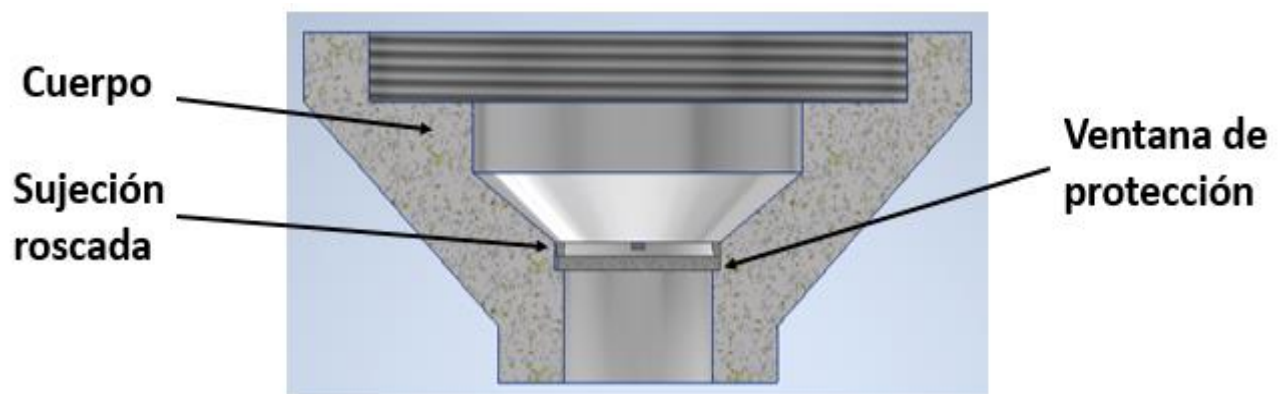


Figura 3-16 Corte con componentes ensamblados

Parámetros	Características
Diámetro	1/2"
Apertura	90%
Recubrimiento	BBAR (950-1150 nm)
Longitud onda	92.0 mm
Grosor	1.00 mm
Longitud de onda	950-1150 nm

Tabla 3-4 Datos de la ventana de protección seleccionada [32]

3.3.4 Sistema de inyección

La salida del haz láser se producirá a través de un orificio de 5 mm de diámetro una vez haya atravesado previamente el expansor, la lente de focalización y la ventana de protección. La parte inferior del cabezal posee una forma de cono y en total contiene 8 perforaciones cilíndricas de 4 mm diámetro a las cuáles se enroscará unos racores de presión por donde se conectarán cables de PVC. Estos agujeros a los que se conectarán los cables están colocados en la superficie superior y en los laterales del cabezal, pudiéndose observar en la Figura 3-17. Por aquellos que están colocados en la parte superior se conectarán cables que introducirán material precursor con un cierto ángulo de inclinación, distribuyéndolo de manera uniforme sobre la plataforma de manufactura logrando un punto de trabajo más fino y preciso. Los orificios laterales tendrán la función de insertar chorros de gas inerte, en nuestro caso, Argón (Ar), formando una capa de gas protectora que evite la oxidación dentro del proceso. Para esta pieza hemos ensamblado al cuerpo principal una especie de cubierta formada un espacio entre ambas pudiendo introducir por ese hueco el gas, como aparece en la Figura 3-18. El hueco que existe entre ambos conos concéntricos es por donde se moverá el gas. Una vez se introduzca a través del racor este golpeará contra la pared de la cara interior y de esta forma el gas fluirá a través de ese espacio hasta salir por el orificio de manera coaxial al resto de salidas de gas y polvo metálico.

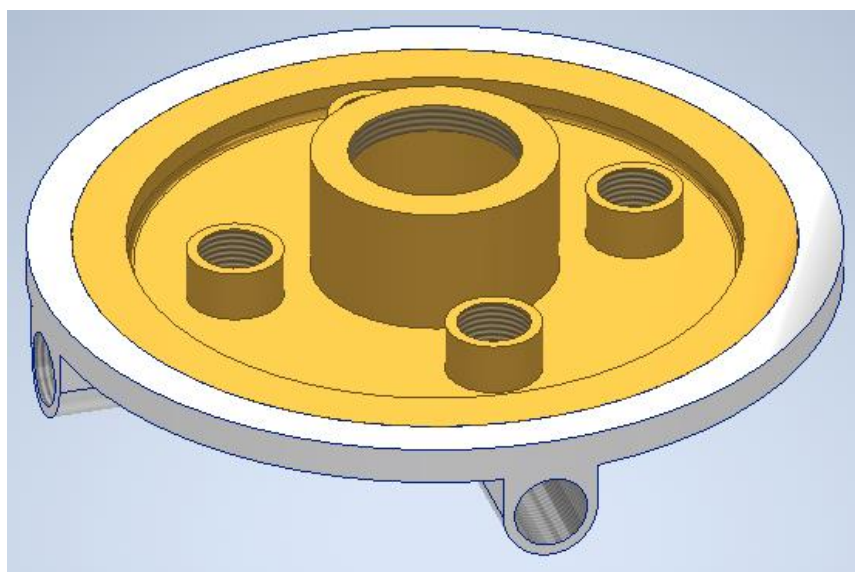


Figura 3-17 Pieza diseñada para la salida del haz láser

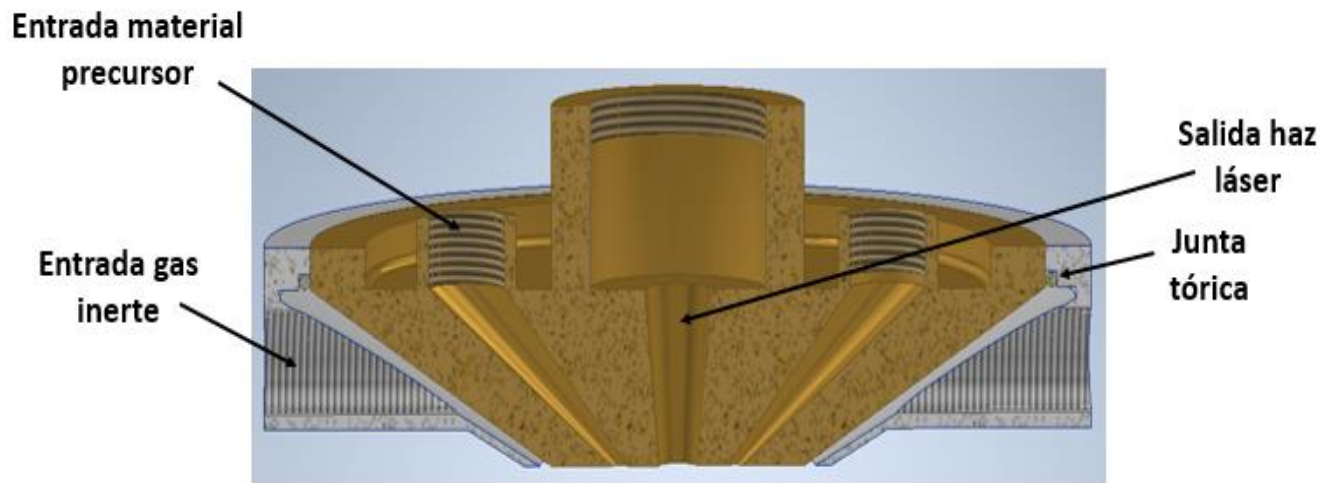


Figura 3-18 Vista de corte. Funcionamiento de la introducción de material y gas inerte

Además, para proporcionar estanqueidad durante el proceso y evitar el escape del Argón se ha colocado entre la pieza y su recubrimiento una junta tórica de goma.

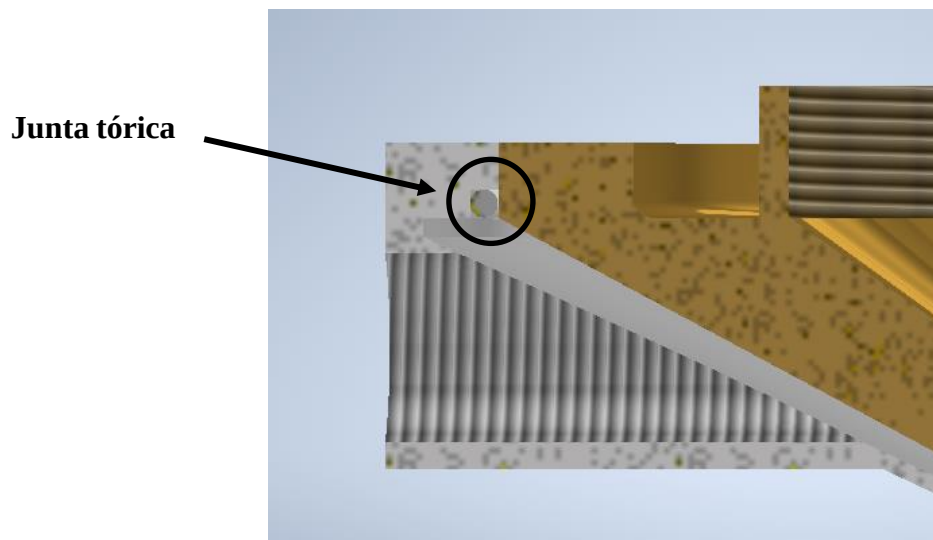


Figura 3-19 Detalle junta tórica

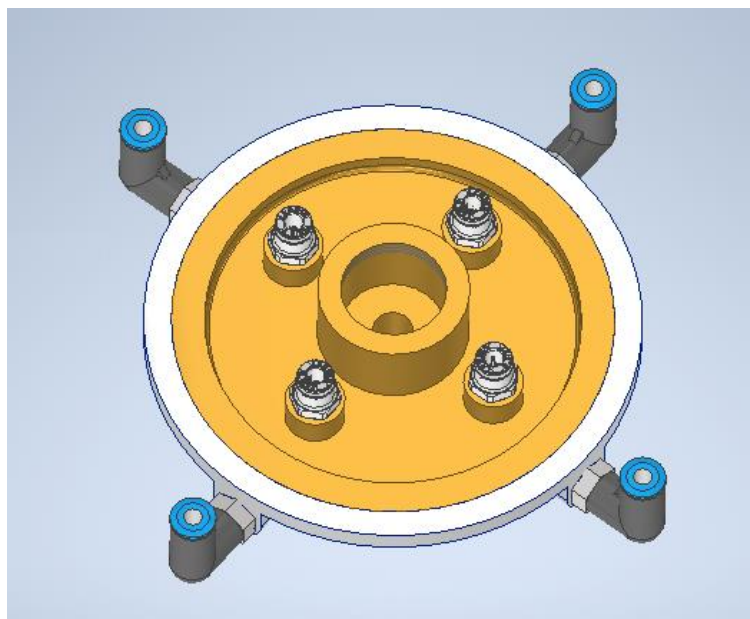


Figura 3-20 Racores conectados a la pieza diseñada

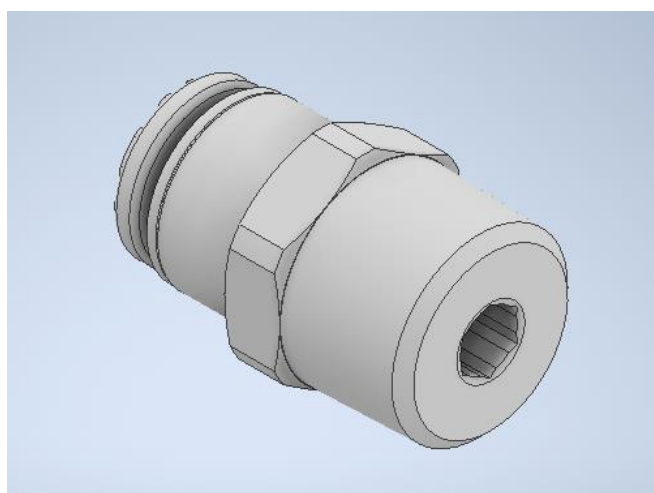


Figura 3-21 Racor. Entrada de material precursor

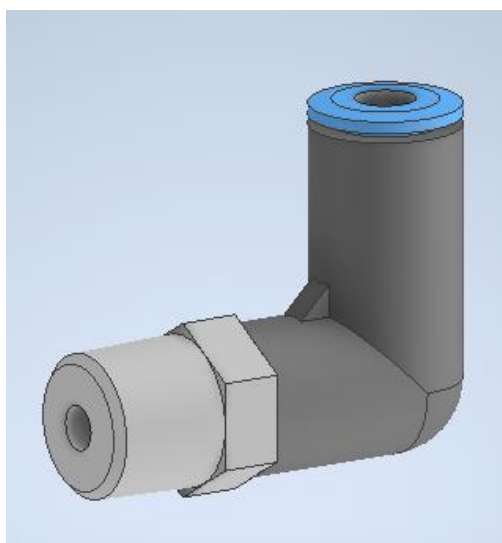


Figura 3-22 Racor acodado. Entrada del gas inerte

3.3.5 Pletina. Soporte del cabezal de procesamiento

Para poder ensamblar nuestro cabezal de procesamiento diseñado al modelo de impresora elegido necesitamos una pieza auxiliar que nos permita conectar ambos elementos. De esta forma, se ha decidido diseñar una pletina como la que se puede observar en la Figura 3-23.

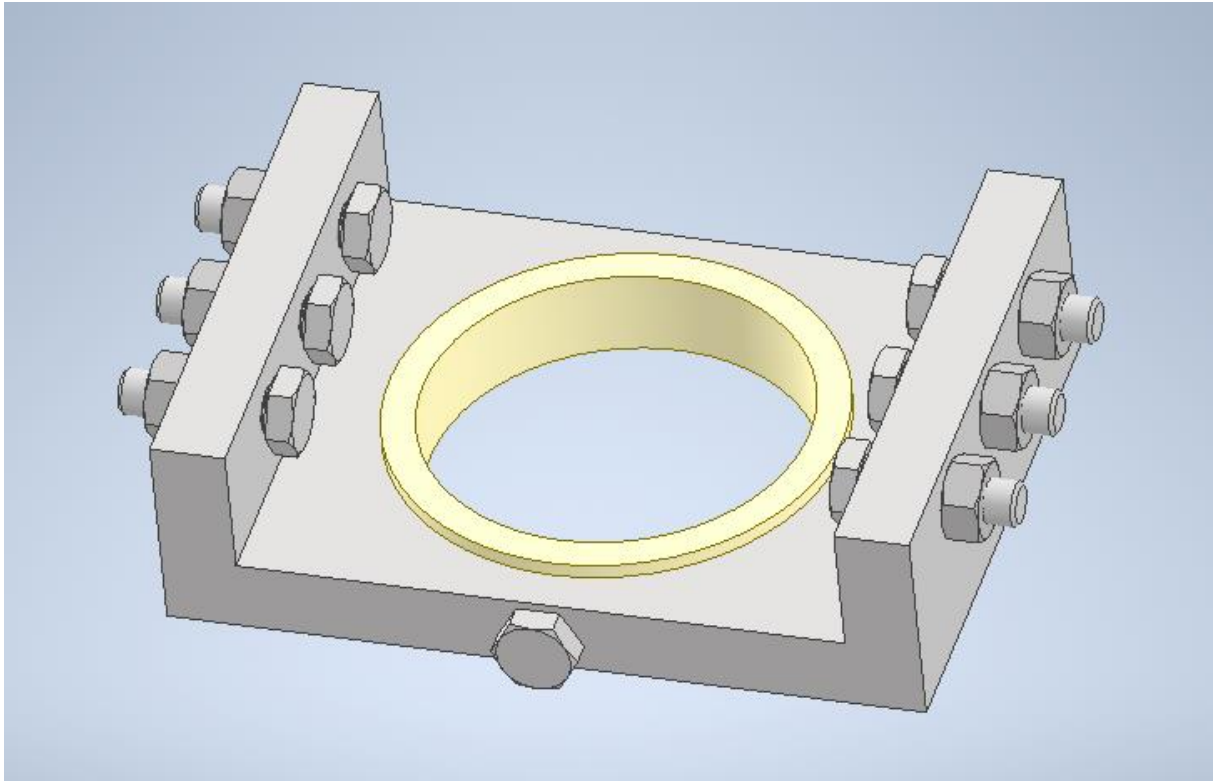


Figura 3-23 Pletina diseñada para la sujeción del cabezal de procesamiento

Como podemos observar la pletina posee un agujero donde irá colocado el cabezal de procesamiento. Éste está recubierto por una goma de nylon la cuál protegerá el cuerpo de la pieza evitando que ésta se desgaste debido al roce entre ambas. Al introducir el cabezal por este agujero el tornillo de cabeza hexagonal que atraviesa la pletina se encargará de hacer presión sobre la goma de nylon y a su vez sobre la pieza para mantenerla fija. Por otro lado, observamos seis tornillos en línea los cuáles se encargarán de sujetar la pletina a la impresora 3D roscados sobre unas tuercas. Se ha decidido diseñar la pletina de esta forma simétrica para tener un soporte más fuerte y asegurarnos de que no haya opción de que la pletina pandee al introducir nuestro cabezal de procesamiento.

En la Figura 3-24 se muestra como quedaría la pletina ensamblada en nuestro cabezal, colocándola sobre el cuerpo principal entre el portales y la ranura de la rueda de ajuste del expansor.

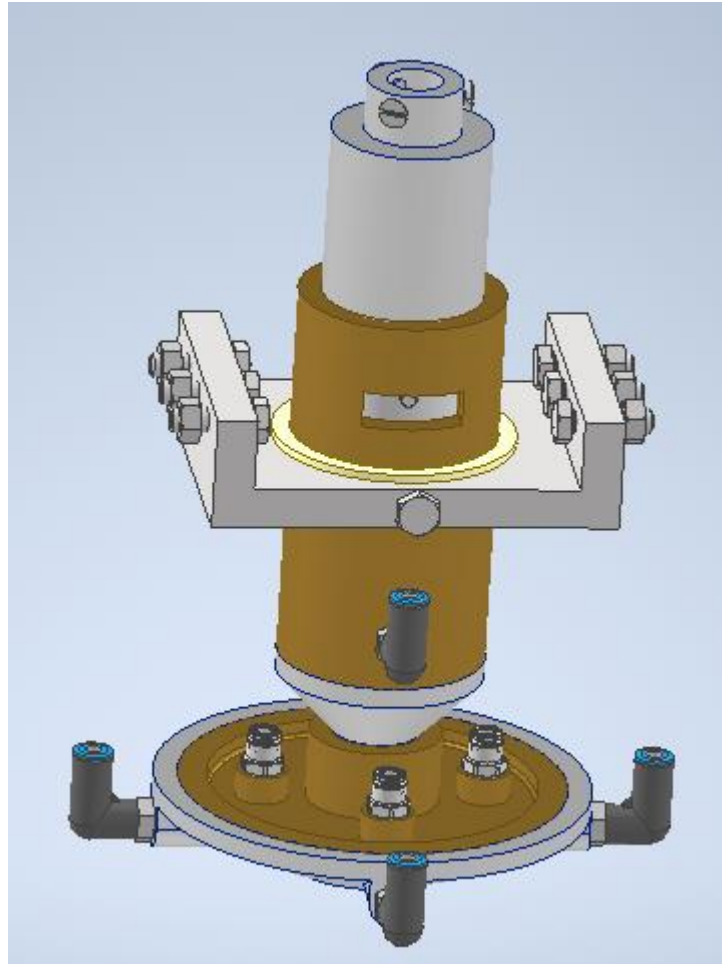


Figura 3-24 Cabezal de procesamiento sujeto en la pletina

4 RESULTADOS

4.1 Cabezal de procesamiento

En la siguiente imagen se muestra el resultado final de nuestro diseño con las piezas que lo forman ya ensambladas.

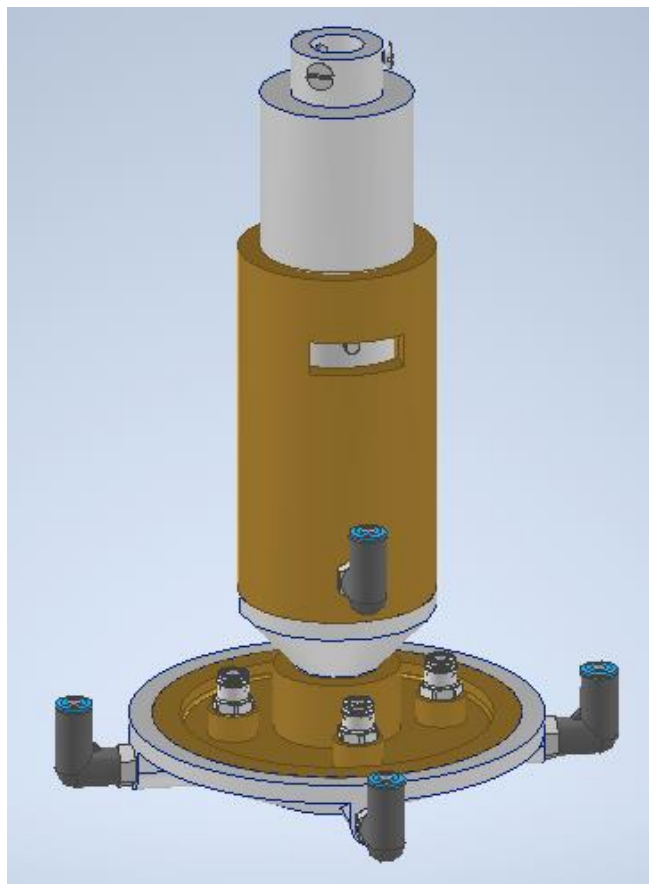


Figura 4-1 Cabezal de procesamiento diseñado

A continuación, en la Figura 4-2 se muestra una imagen con la vista de corte de nuestro cabezal de procesamiento. Esta vista se ha realizado para poder observar como están colocados los distintos

componentes dentro de nuestro sistema diseñado. Por otro lado, para dar una idea simple de cómo funciona el láser en su interior se ha querido simular el recorrido de éste hasta terminar incidiendo sobre la plataforma de trabajo.

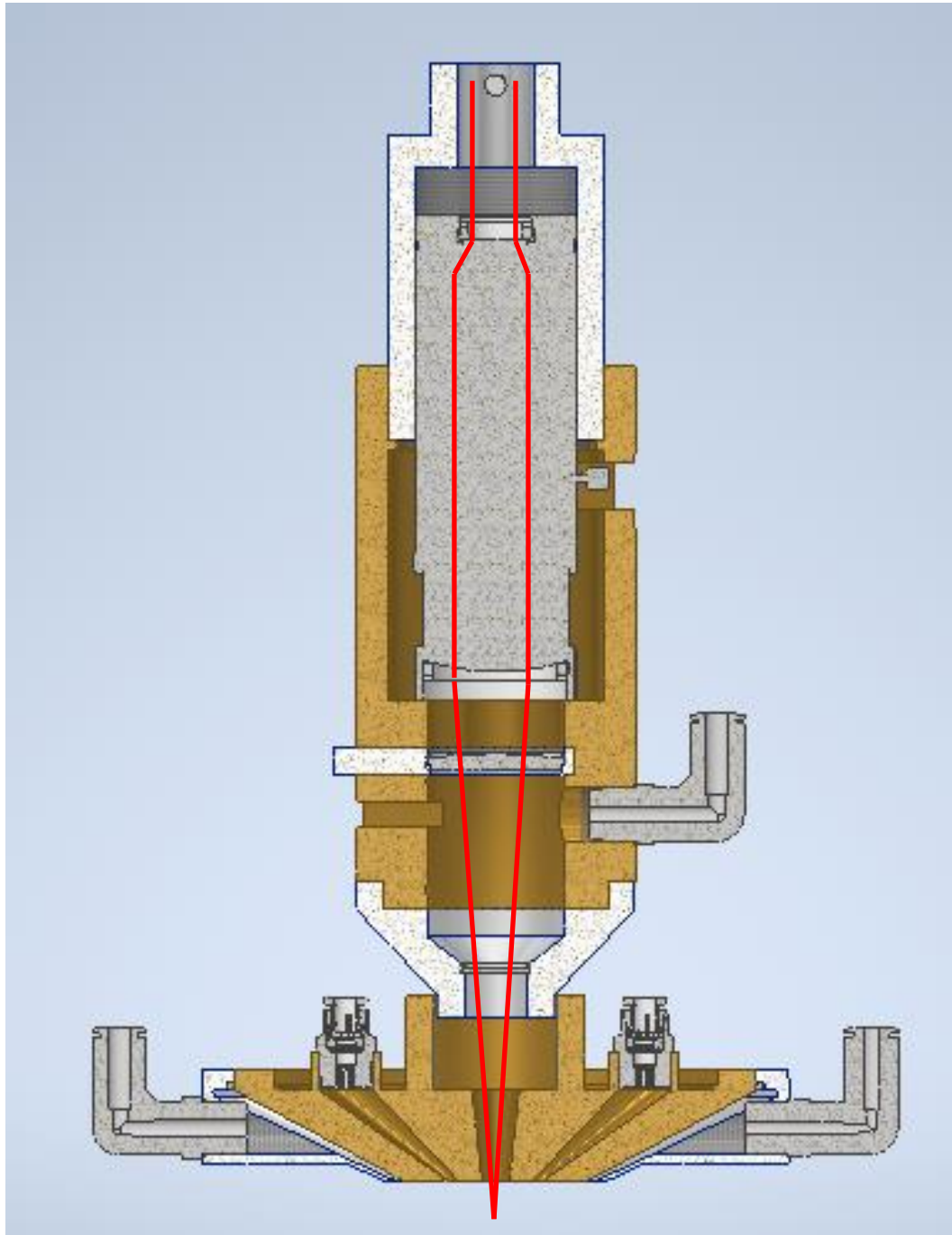


Figura 4-2 Vista de corte del cabezal de procesamiento

4.2 Ensamblaje cabezal de procesamiento en la impresora

En las siguientes imágenes se mostrará la disposición del cabezal de procesamiento ya instalado en la estación de trabajo del modelo de impresora 3D elegido, la “Ender 5”. Para llevar a cabo el ensamblaje

de la pletina con el soporte de la impresora se ha decidido alargar la pieza donde se sujetaba el antiguo extrusor de la impresora, para así poder atornillar nuestro cabezal sin que choque con otros componentes. Además, se ha decidido duplicar la pieza de la impresora que permite moverse en el eje “x” para dar más firmeza al cabezal y evitar que la pletina pueda doblarse por sobrepasar el peso permitido. Los motores están sincronizados para el correcto funcionamiento y movimiento del sistema.

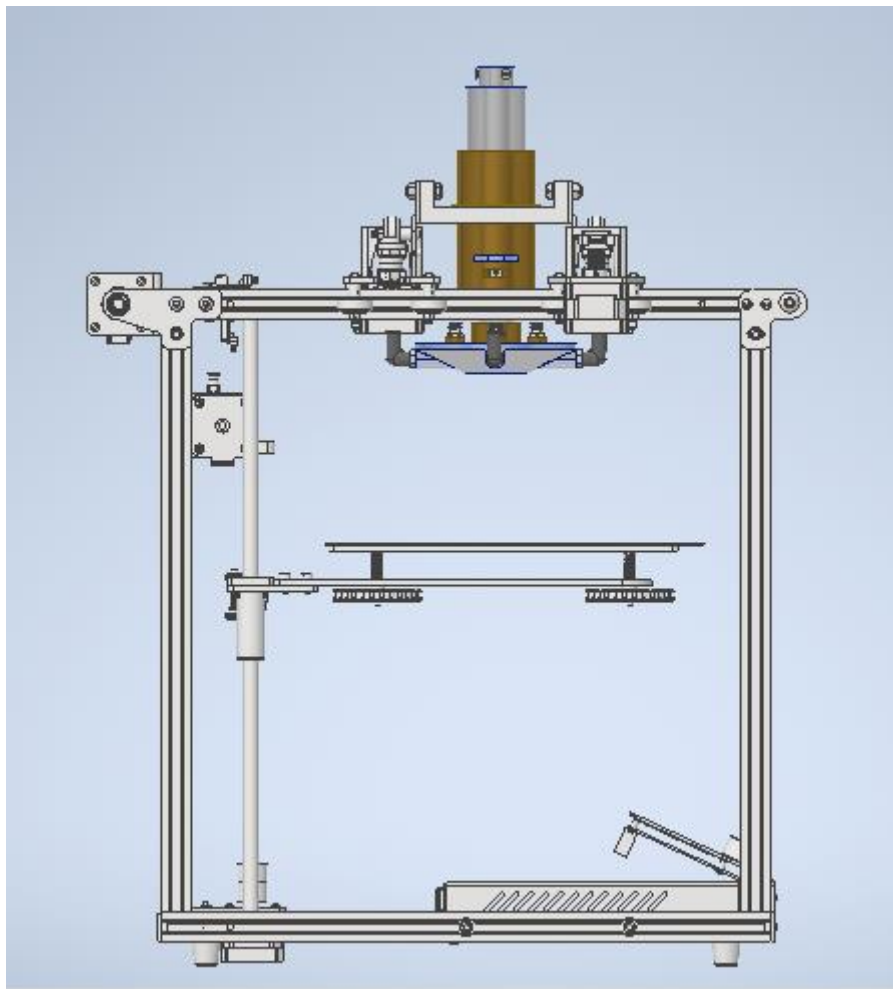


Figura 4-3 Cabezal de procesamiento instalado en la impresora

Respecto del modelo de impresora que viene de serie se ha decidido quitar algunos componentes que para nuestro diseño no son necesarios como, por ejemplo, el extrusor del filamento de polímero donde actualmente va instalada nuestra pletina con el cabezal de procesamiento de fabricación aditiva asistida por láser, así como la bobina donde va enrollado éste.

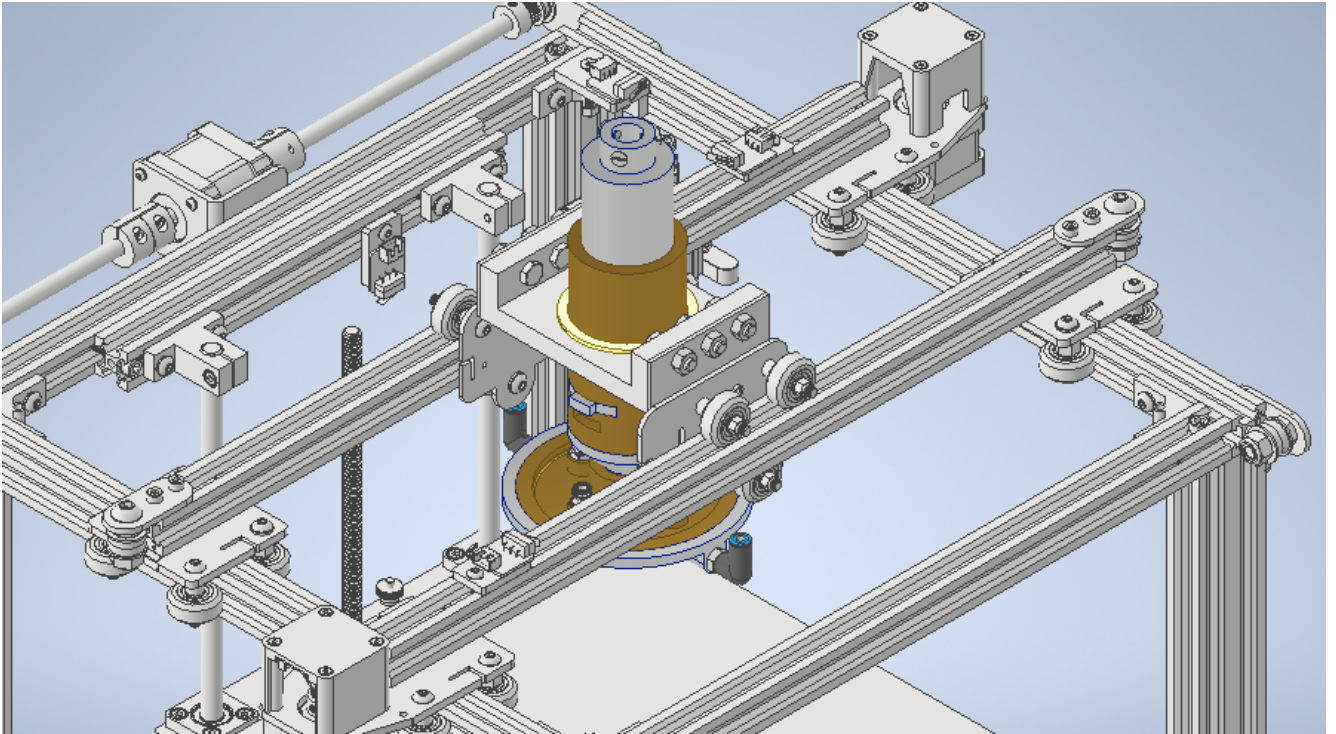


Figura 4-4 Cabezal de procesamiento instalado en la impresora

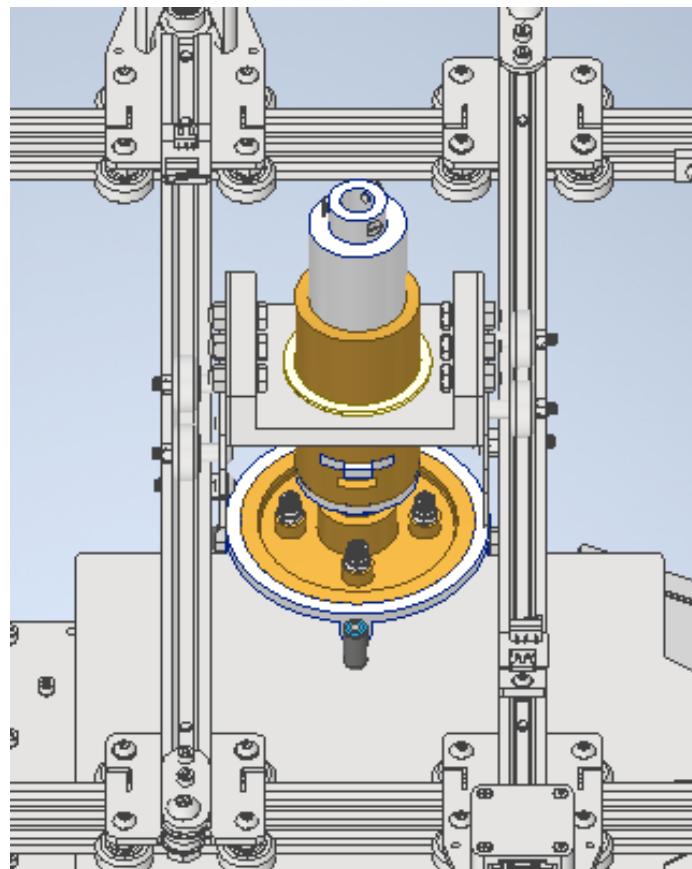


Figura 4-5 Cabezal de procesamiento instalado en la impresora

4.3 Análisis estructural

Para comprobar la validez de nuestro diseño una vez modelado, llega la validación de éste realizando un análisis estructural comprobando el valor de las tensiones y esfuerzos a los que se puede someter nuestra pieza y el soporte donde va a ir acoplado, en nuestro caso, en un modelo de impresora 3D aguantado por una pletina. El análisis será llevado a cabo sobre la pletina de sujeción. Tratará de un ensayo estático donde nos fijaremos en el valor de la tensión de Von Mises para cerciorarnos de si nuestra pletina rompe o no cuando la unimos a nuestro cabezal de procesamiento. Se ha supuesto un peso del cabezal de procesamiento de 1,8 kg aplicando 18 N en la cara central superior, además de haber hecho fijo los agujeros de los tornillos y haber fijado las paredes laterales.

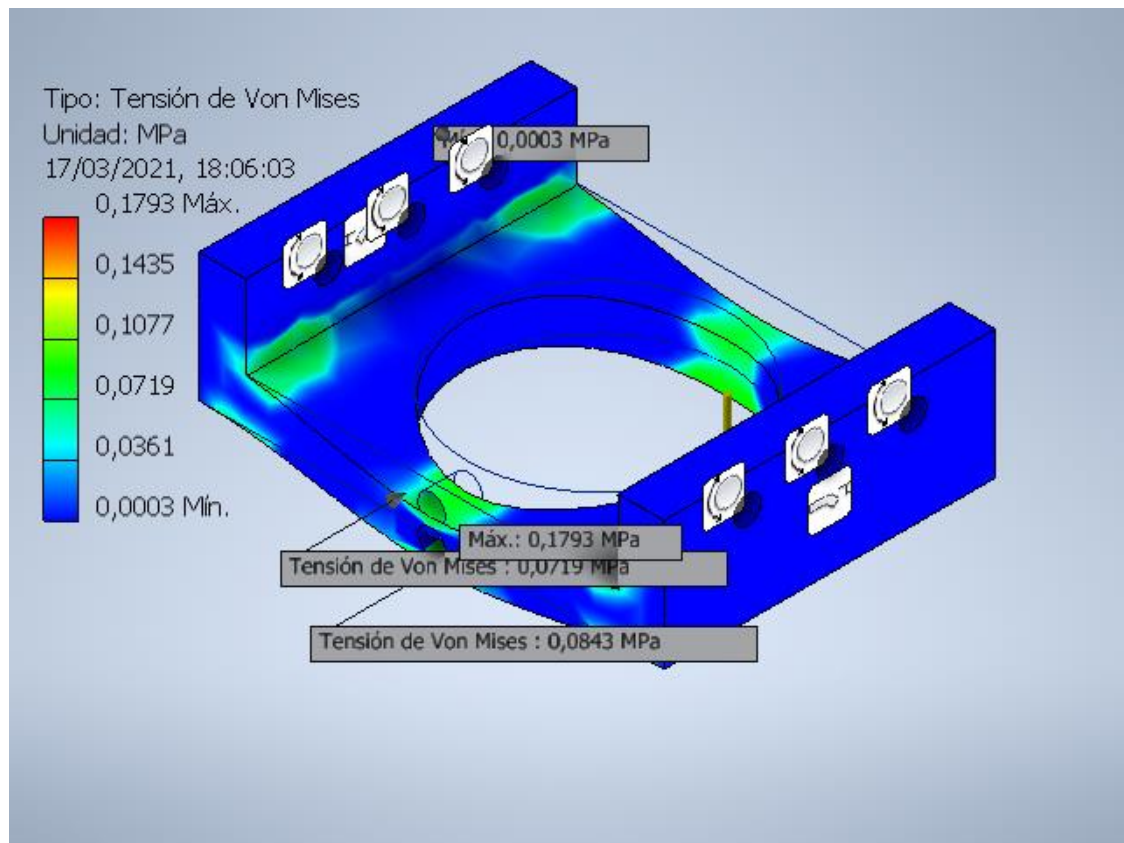


Figura 4-6 Análisis estructural. Tensión de Von Mises

Como observamos en la Figura 4-6 el valor máximo es de 0,1793 MPa. Comparándolo con el límite elástico del material (en nuestro caso, 275 MPa) comprobamos que es menor y concluimos que la pletina no romperá.

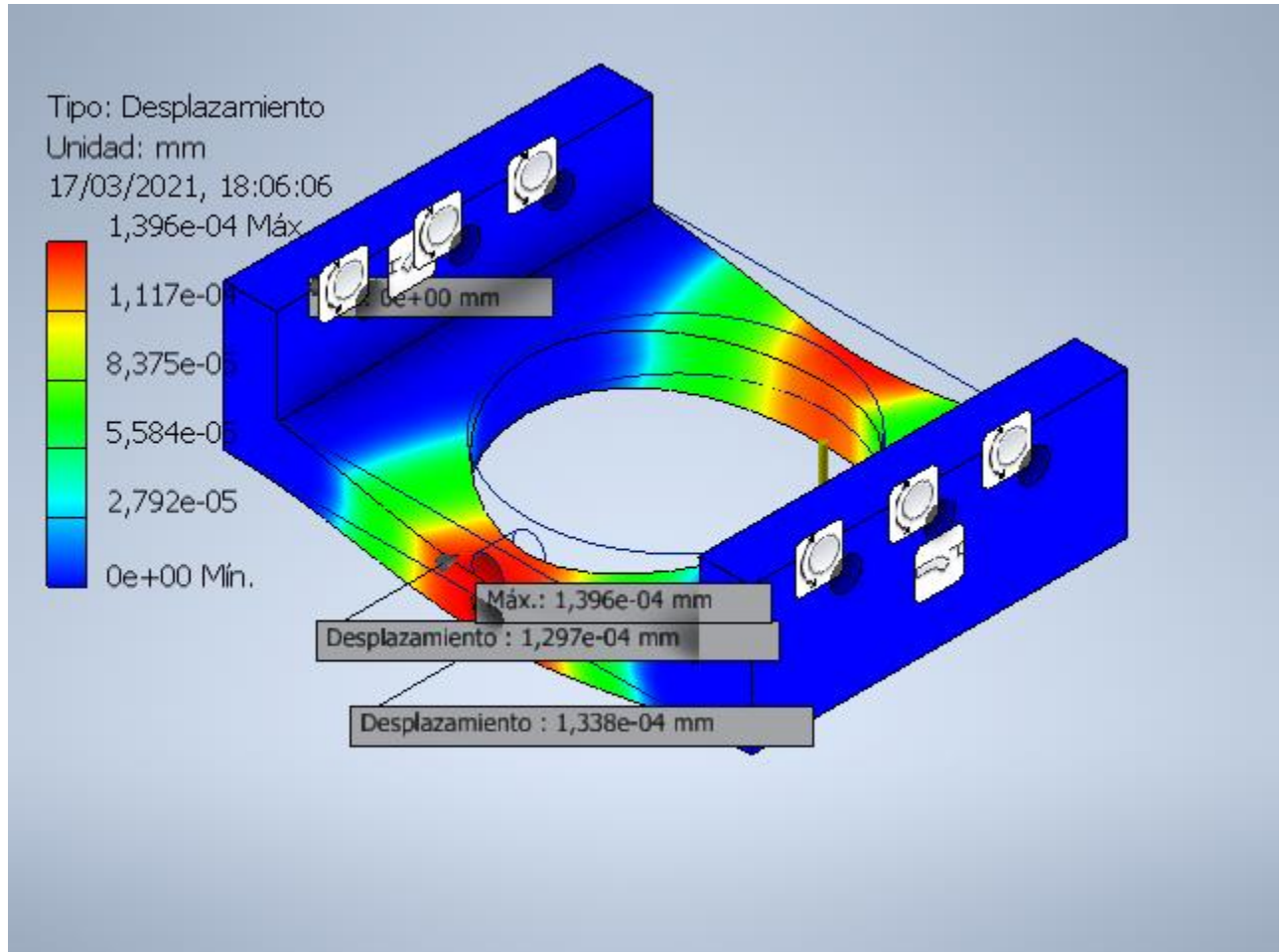


Figura 4-7 Desplazamiento en la pletina

Por otro lado, se observa en la Figura 4-7 el desplazamiento que esta pieza tiene, siendo el máximo de $1,4 \times 10^{-4}$ mm, es decir, 0,1 micrómetros, siendo éste prácticamente despreciable.

Se vuelve a concluir, por lo tanto, que la pletina no tendrá ningún problema aguantando el peso del cabezal de procesamiento

5 PRESUPUESTO

A continuación, se muestra en la siguiente tabla el presupuesto que tendrá el diseño y mecanizado de los componentes que forman nuestro cabezal de procesamiento, así como, los elementos que han sido comprados. Además, se añaden las horas de trabajo del operario que empleará para el mecanizado de piezas junto con el precio de cada hora de trabajo. Se concluye que el precio total de los elementos es de 1135,42 € y el trabajo de ingeniería de 10200 €, obteniendo un presupuesto total de 11335,42 €.

Cantidad	Denominación	Precio unitario	Precio (€)
1	Expansor 2x (1064 nm VEGA)	299,00	299,00
1	Cubierta expansor	130,00	130,00
1	Cuerpo principal	170,00	170,00
1	Cuerpo ventana de protección	90,00	90,00
1	Cono exterior inferior	60,00	60,00
1	Cono interior inferior	85,00	85,00
1	Portaletes	64,00	64,00
1	Lente 1”	102,30	102,30
1	Ventana protección 1/2”	79,00	79,00
1	Sujeción roscada lente	20,00	20,00
1	Sujeción roscada ventana	18,00	18,00
4	Racor recto Ø4 Rc 1/8	1,20	4,80
5	Racor acodado Ø4 Rc 1/8	1,50	7,50
3	Tornillo Nylon Ø4 M2	0,15	0,45
1	Junta tórica	3,00	3,00
1	Tornillo cabeza hexagonal M8	0,25	0,25
3	Tornillo cabeza hexagonal M6	0,22	0,66
3	Tuerca	0,12	0,36
1	Cubierta Nylon	1,10	1,10
		SUBTOTAL	1135,42
COSTE HORA DE TRABAJO (€)	1 hora	85,00	
HORAS TRABAJADAS	120 horas		
INGENIERÍA		SUBTOTAL	10200,00
TOTAL			11335,42 €

Tabla 5-1 Presupuesto del cabezal de procesamiento

6 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

6.1 Conclusiones

En base a los objetivos marcados al comienzo de este Trabajo de Fin de Grado se ha obtenido el diseño de un cabezal de procesamiento láser para Laser Cladding, el cual se ha implementado en la estación de trabajo de una impresora 3D previamente seleccionada según los requisitos requeridos.

El diseño de este cabezal de procesamiento se ha conseguido mediante el diseño de varias piezas independientes en las cuáles se han utilizado diferentes materiales como han sido el aluminio y el latón, así como algunas piezas de nylon. Lo que se ha buscado con la alternancia de piezas con distinto material es evitar el gripado entre dos cuerpos metálicos, ya que el juntar piezas del mismo material es perjudicial para el tiempo de vida útil que queremos conseguir en éstas. En todo momento se ha buscado realizar un diseño fácil de montar, fácil de mecanizar, con componentes que no tuviesen un coste elevado y que permitieran un recambio de elementos de manera rápida en caso de fallo en el proceso. Para conseguir el diseño fácil del que hablamos, se decidió que el montaje del cabezal de procesamiento se basará en el roscado de las piezas entre sí, todas ellas con un diseño que fuera fácil de mecanizar, comprando a empresas componentes necesarios para el montaje como pueden ser tornillos, tuercas, racores o juntas tóricas.

Por otro lado, se ha conseguido realizar un cabezal de procesamiento capaz de inyectar material precursor simultaneado con el aporte de gas protector sobre la plataforma de trabajo mientras se produce la técnica de plaqueado láser sobre el material metálico en cuestión. Todo ello, montándolo sobre la estación de trabajo de una impresora 3D aprovechando la estructura de ésta. Para poder llevar a cabo esta instalación hemos observado mediante un análisis estructural los esfuerzos a los que puede estar sometido la estructura de la impresora, en otras palabras, calculando si era capaz de soportar el peso de cabezal de procesamiento, diseñando para ello una pletina que uniese ambas.

En definitiva, gracias a este trabajo, se ha conseguido conocer en que consisten las técnicas de fabricación aditiva, los tipos de láseres que existen con sus distintos funcionamientos, así como conocer en profundidad el proceso de laser Cladding y los componentes que participan dentro de él obteniendo como resultado el cabezal de procesamiento presentado. De esta manera, con el montaje de éste en el modelo de impresora 3D hemos demostrado la posibilidad de poder realizar dos técnicas distintas en una misma estación de trabajo, pudiendo llevar a cabo el proceso de laser Cladding en una en una estación diseñada para realizar modelado por deposición fundida para la creación de piezas. En caso de querer volver a instalar el extrusor de filamento, solo habría que desmontar la pletina junto con el cabezal para obtener nuestro modelo inicial de impresión 3D

6.2 Líneas futuras

Al finalizar el TFG y observando los resultados obtenidos, sería adecuado realizar pruebas para comprobar si el funcionamiento del cabezal de procesamiento es el apropiado optimizando, si fuera necesario, el diseño de algunas de las piezas. En sintonía con esta posible mejora, sería de utilidad el estudio de una opción distinta tanto para el aporte de material precursor como para la inyección del gas inerte.

Por otra parte, sería recomendable realizar un análisis de elementos finitos sobre el comportamiento del fluido bifásico formado por el gas de arrastre y el material precursor de partículas ya que en ocasiones es difícil conocer el funcionamiento en el interior de estas las cavidades por donde circulan.

Por último, otra línea futura aplicable a este proyecto podría ser el estudio de la posibilidad de implementar este tipo de modelaje de piezas utilizando esta técnica de fabricación aditiva dentro del ámbito de defensa y de la Armada principalmente.

7 BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. Esmena, «MECALUX,» [En línea]. Available: <https://www.mecalux.es/blog/fabricacion-aditiva>. [Último acceso: 13 Marzo 2021].
- [2] T. D. Ngo, Additive Manufacturing: A review of materials, methods, applications and challenges.
- [3] Kuzu, «KUZU,» [En línea]. Available: <https://kuzudecoletaje.es/la-fabricacion-aditiva-en-los-talleres-de-mecanizado/>. [Último acceso: 17 Marzo 2021].
- [4] K. Gupta, Near Net Shape Manufacturing Processes, Johannesburgo, Sudáfrica: Springer, 2019.
- [5] «Dynatec,» 2019. [En línea]. Available: <https://dynatec.es/2020/07/13/la-fabricacion-aditiva-clave-en-la-industria-4-0/>. [Último acceso: 08 Febrero 2021].
- [6] «3D Natives,» [En línea]. Available: <https://www.3dnatives.com/es/guia-impresion-3d-metal/>. [Último acceso: 2021 Enero 29].
- [7] M. Ceramica, «MARPHIL,» [En línea]. Available: <https://www.marphil.com/como-utilizar-una-impresora-3d-para-ceramica/>. [Último acceso: 17 Marzo 2021].
- [8] 3. Natives, «3D Natives,» [En línea]. Available: <https://www.3dnatives.com/es/guia-impresion-3d-metal/>. [Último acceso: 13 Marzo 2021].
- [9] M. Á. S. Umpiérrez, «Gobierno de Canarias,» [En línea]. Available: <http://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/ecoblog/msuaump/sociales-2o-eso/tema-8-edad-de-los-metales/>. [Último acceso: 08 Marzo 2021].
- [10] J. O. Milewski, Additive Manufacturing of Metals, Santa Fe, Nuevo Méxio, EEUU: Springer, 2017.
- [11] «Abanca Innova,» [En línea]. Available: <http://abancainnova.com/es/opinion/la-impresion-3d-un-invento-del-pasado-muy-presente-pero-con-mucho-futuro/>. [Último acceso: 22 Enero 2021].
- [12] Gearbest, «Gearbest,» [En línea]. Available: https://es.gearbest.com/3d-printers--3d-printer-kits/pp_009156537606.html. [Último acceso: 17 Marzo 2021].

- [13] «Autodesk,» [En línea]. Available: <https://www.autodesk.mx/solutions/cad-design>. [Último acceso: 25 Enero 2021].
- [14] «Simscale,» 20 Enero 2021. [En línea]. Available: <https://www.simscale.com/docs/simwiki/general/what-is-cae-computer-aided-engineering/>. [Último acceso: 30 Enero 2021].
- [15] M. Deans, «Autodesk,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/blog/computer-aided-manufacturing-beginners/>. [Último acceso: 30 Enero 2021].
- [16] C. A. Manufacturing, «CT Advanced Manufacturing,» [En línea]. Available: <https://www.ctadvancedmanufacturing.com/en/3d-printers/choose-by-technology/stereolithography/>. [Último acceso: 09 Marzo 2021].
- [17] TFMRIMUNED. [En línea]. Available: <https://tfmrimuned.wordpress.com/sinterizado-selectivo-por-laser-sls/>. [Último acceso: 17 Marzo 2021].
- [18] C. IMPRESORAS-3D. [En línea]. Available: <https://comprarimpresoras-3d.com/tipo/slm/>. [Último acceso: 17 Marzo 2021].
- [19] S. S. Restrepo, «3D Natives,» 4 Septiembre 2019. [En línea]. Available: <https://www.3dnatives.com/es/sinterizado-directo-de-metal-por-laser-les-explicamos-todo/>. [Último acceso: 2 Febrero 2021].
- [20] [En línea]. Available: <https://lasercladding.tech/about/what-is-laser-cladding/>. [Último acceso: 09 Marzo 2021].
- [21] R. Comesaña, *Tesis, Application of rapid prototyping based on laser cladding to the production of bone implants*.
- [22] B.Derby, «Additive Manufacture of Ceramics Components by Inkjet Printing,» 2015, pp. 113-123.
- [23] S. T.Moritz, «Additive Manufacturing of ceramic components,» 2018, pp. 105-161.
- [24] L. I. M.Galati, «A literature review of powder-based electron beam melting focusing on numeral simulations,» 2018, pp. Volume 19, 1-20.
- [25] A.-T. L. U. B. C. K.Obata, High-aspect 3D two- photon polymerization structuring with widened objective working range, *Nature Group Light*, 2013.
- [26] AliExpress, «AliExpress,» [En línea]. Available: <https://es.aliexpress.com/i/32790335720.html>. [Último acceso: 09 Marzo 2021].
- [27] «Circuit Globe,» [En línea]. Available: <https://circuitglobe.com/ndyag-laser.html>. [Último acceso: 09 Marzo 2021].
- [28] E. F. Planes, «Planes,» 30 11 2016. [En línea]. Available: <https://ferroplanes.com/laser-fibra-ventajas/>. [Último acceso: 7 Febrero 2021].
- [29] M. D. Mendigure, *La Tecnología Láser, Fundamentos,Aplicaciones y Tendencias*, McGraw-Hill.
- [30] «20 Standard,» [En línea]. Available: <https://20standard.wordpress.com/2009/12/03/el-envio-de-30000-soldados-a-afganistan-un-reto-logistico/>. [Último acceso: 16 Marzo 2021].

- [31] S. Lasers, «SPI Lasers,» [En línea]. Available: <https://www.spilasers.com/register-for-datasheets/product-datasheets-register/product-datasheets/>. [Último acceso: 28 Febrero 2021].
- [32] E. Optics, «Edmund Optics| Worldwide,» [En línea]. Available: <https://www.edmundoptics.es/f/thin-fused-silica-laser-windows/39666/>. [Último acceso: 16 Febrero 2021].
- [33] THORLABS, «THORLABS,» [En línea]. Available: https://www.thorlabs.com/newgrouppage9.cfm?objectgroup_id=6535. [Último acceso: 16 Febrero 2021].

ANEXO I: PLIEGO DE CONDICIONES

Montaje del cabezal de procesamiento diseñado

El siguiente apartado contiene información detallada para poder llevar a cabo el montaje del cabezal de procesamiento diseñado. Se trata de un manual con una serie de instrucciones que se deberán seguir para ensamblar cada una de las piezas. El orden que se seguirá será de abajo arriba comenzando por el sistema de inyección y finalizando por la cubierta del expansor.

Paso 1: Roscar el cuerpo del sistema de inyección a su pieza de recubrimiento. Al unir ambas piezas roscando una con otra, hay un pequeño hueco que es por circulará el gas de protección que se introducirá en el proceso. Añadir, que entre las dos piezas se colocará una junta tórica para evitar el escape del gas mencionado anteriormente.

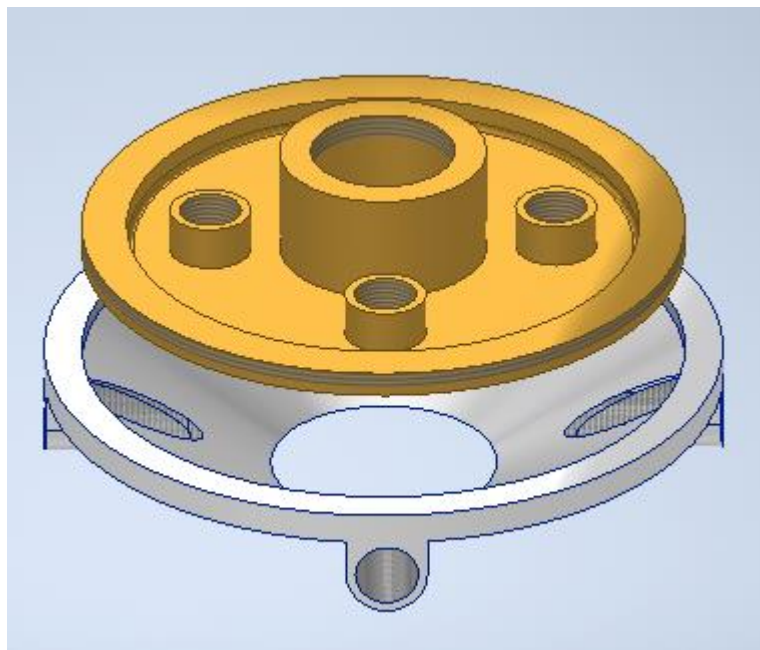


Figura I- 1 Paso 1 en el montaje del cabezal de procesamiento

Paso 2: Conectar los racores a la pieza anterior. Encontramos dos tipos de racores en nuestro diseño, siendo éstos, rectos o acodados.

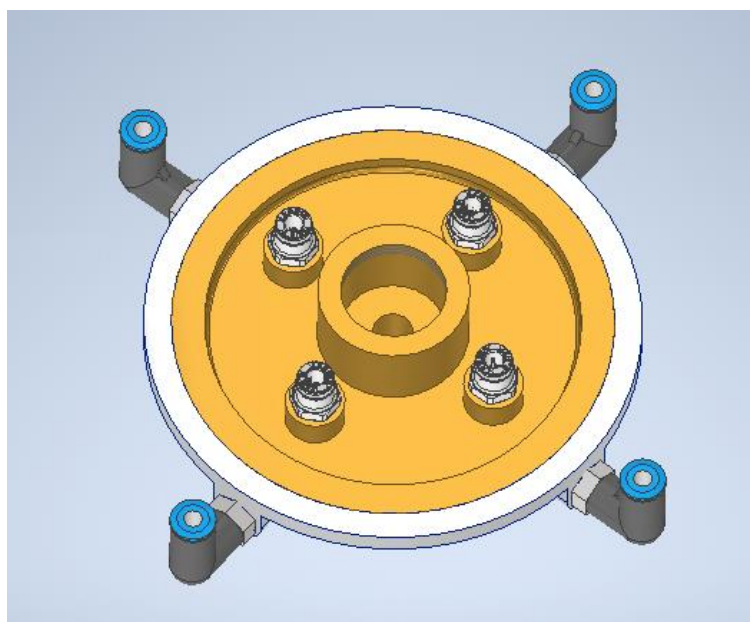


Figura I- 2 Paso 2 en el montaje del cabezal de procesamiento

Paso 3: Roscar al ensamblaje anterior el cuerpo de la ventana de protección. Dentro de este se sujetará la ventana de protección con una sujeción roscada manteniéndola inmóvil durante el proceso.

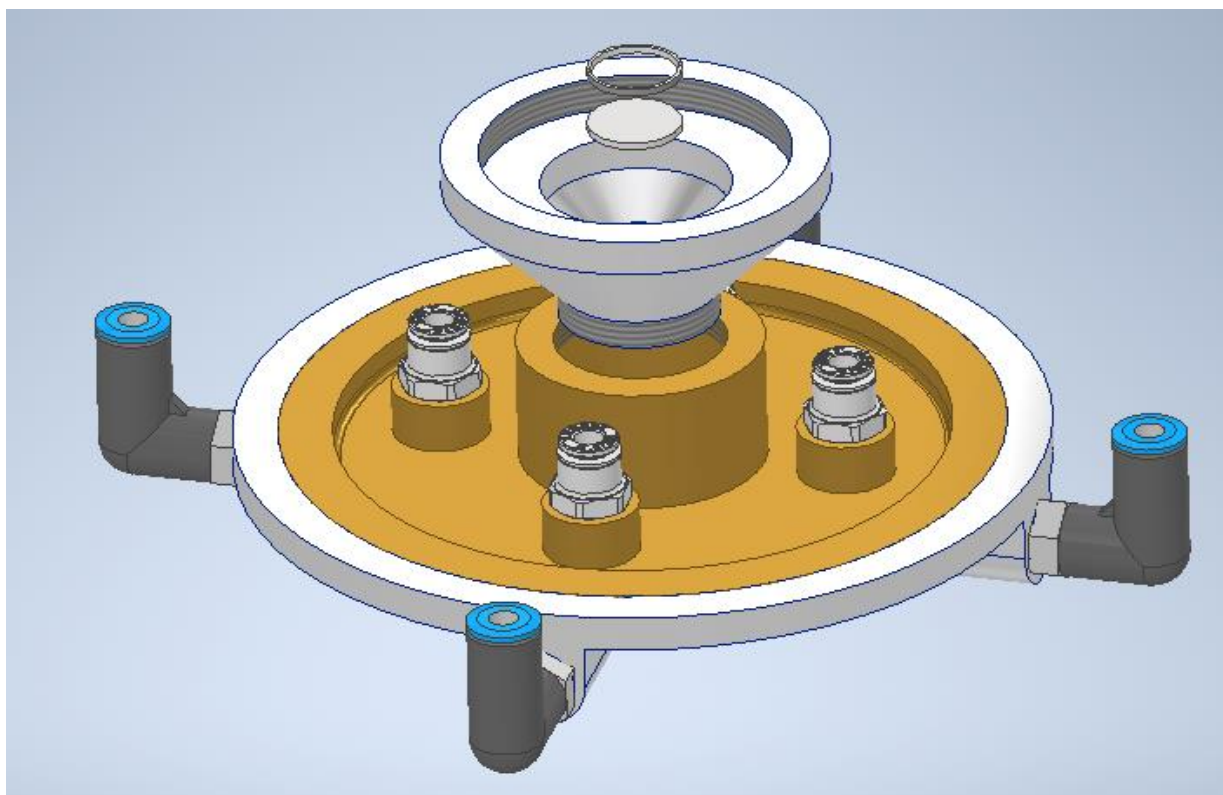


Figura I- 3 Paso 3 en el montaje del cabezal de procesamiento

Paso 4: Roscar al ensamblaje anterior el cuerpo principal donde se encuentra el portamental y el expansor, además de la entrada de refrigeración del sistema diseñado (Paso 4.2). Previamente se introducirá la lente con su sujeción roscada en el interior del portamental (Paso 4.1). Por último se enroscará el racor acodado a la entrada de la refrigeración que se sitúa a una altura por debajo del portamental con una ranura en frente para que salga por ahí el aire.

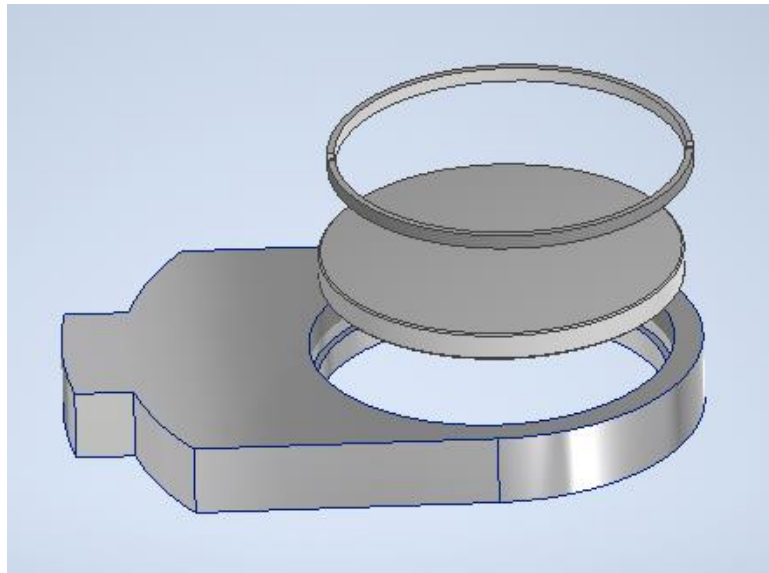


Figura I- 4 Paso 4.1 en el montaje del cabezal de procesamiento

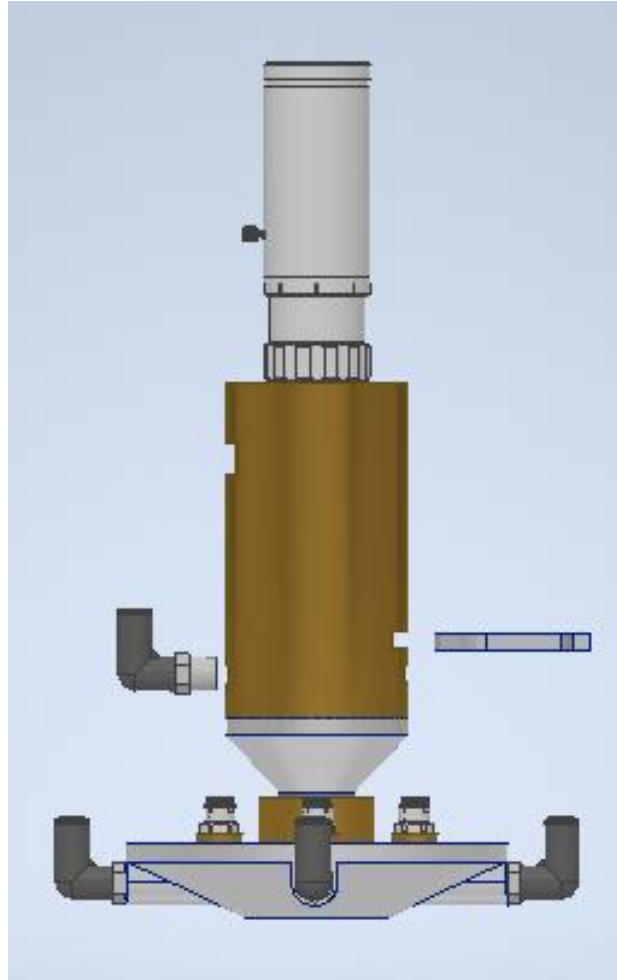


Figura I- 5 Paso 4.2 en el montaje del cabezal de procesamiento

Paso 5: Roscar al cuerpo principal la pieza que recubre al expansor protegiéndolo del exterior. La cubierta del expansor irá acompañada de tres tornillos de nylon que harán firme al colimador de la fuente láser una vez se introduzca en esta pieza.

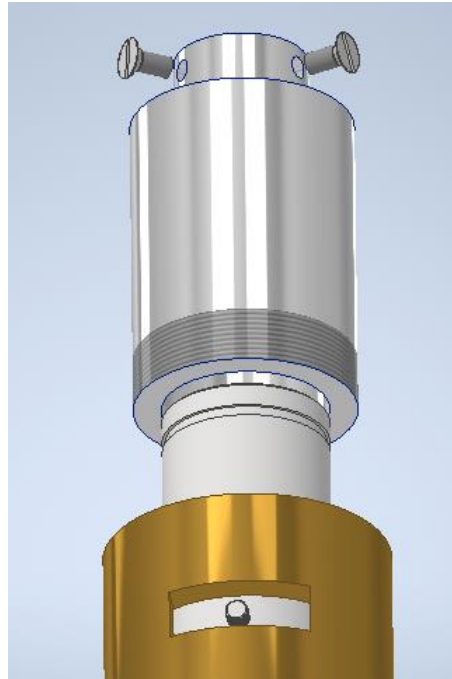


Figura I- 6 Paso 5 en el montaje del cabezal de procesamiento

Paso 6: Después de montar todo nuestro cabezal de procesamiento llega la hora de instalarlo en el modelo de la impresora 3D. Primero deberemos hacerlo firme introduciéndolo por el agujero que tiene la pletina, recubriéndolo con una goma de nylon para no desgastar el material y apretándolo con un tornillo que se introducirá por uno de los lados de la pletina (Paso 6.1). Por último, se atornillará la pletina con el cabezal, desmontando el extrusor de filamento que trae la impresora de serie y sustituyéndolo por nuestro diseño (Paso 6.2).

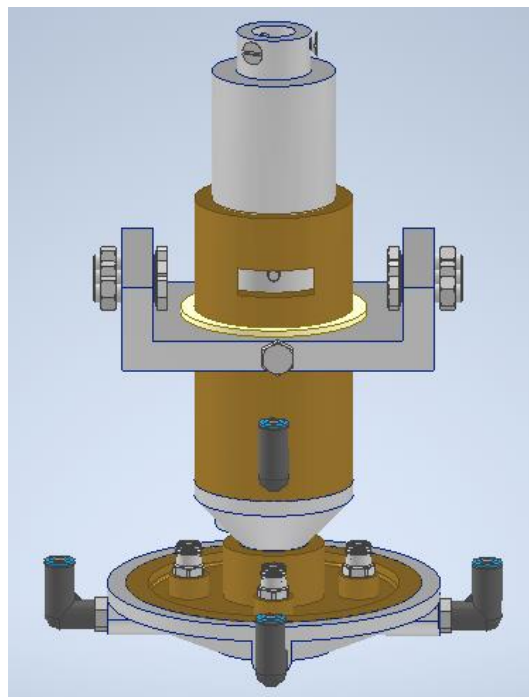


Figura I- 7 Paso 6.1 en el montaje del cabezal de procesamiento

En esta última imagen (Figura I-8) se observa el cabezal de procesamiento ya instalado en la estación de trabajo.

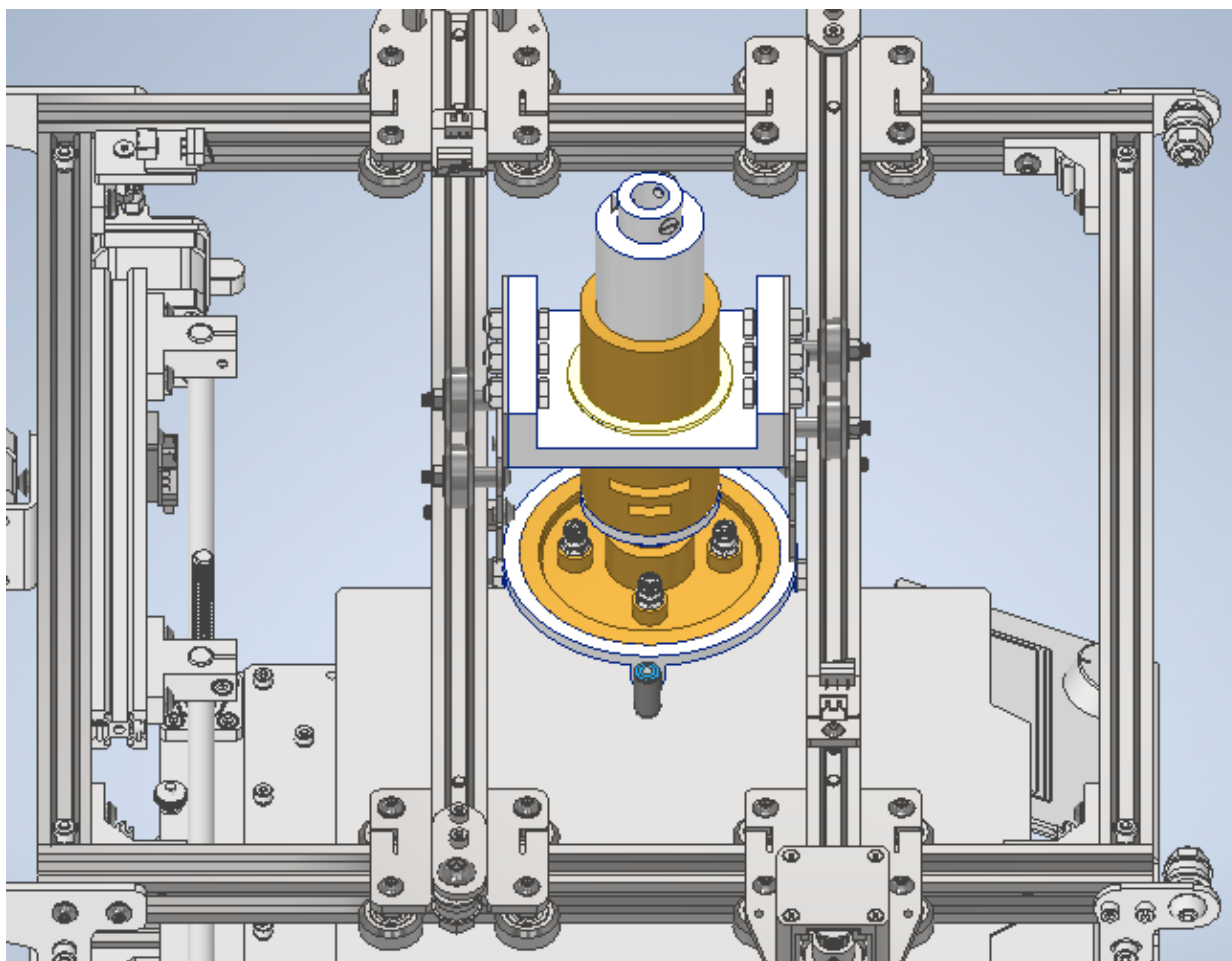
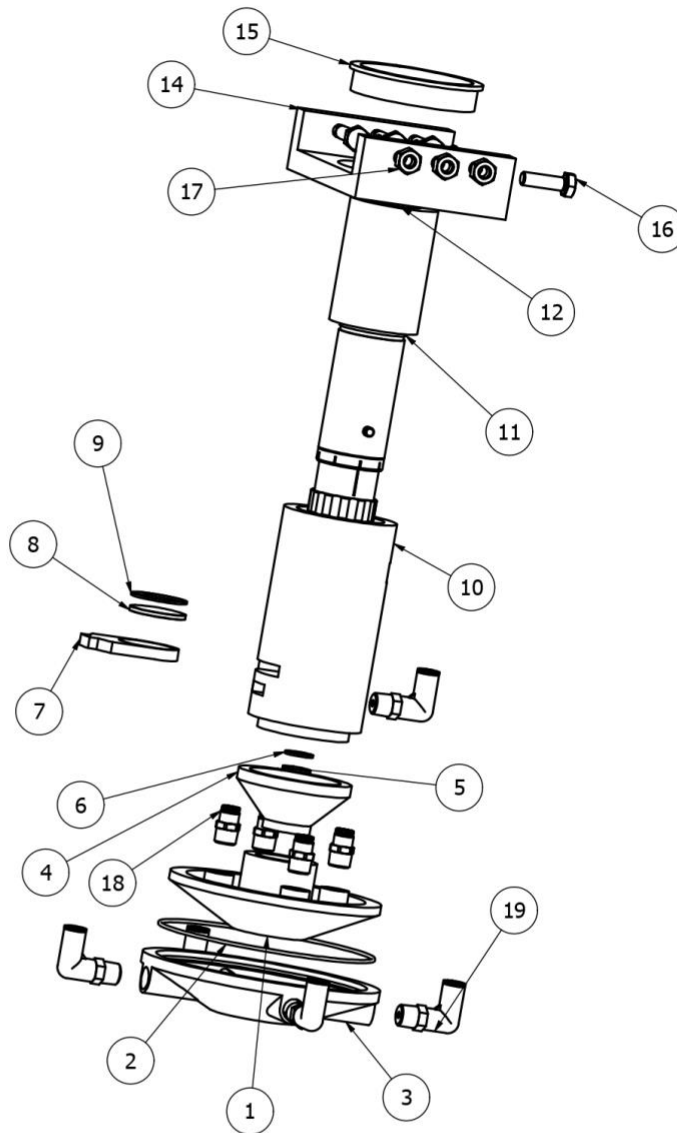


Figura I- 8 Paso 6.2 en el montaje del cabezal de procesamiento

ANEXO II: PLANOS

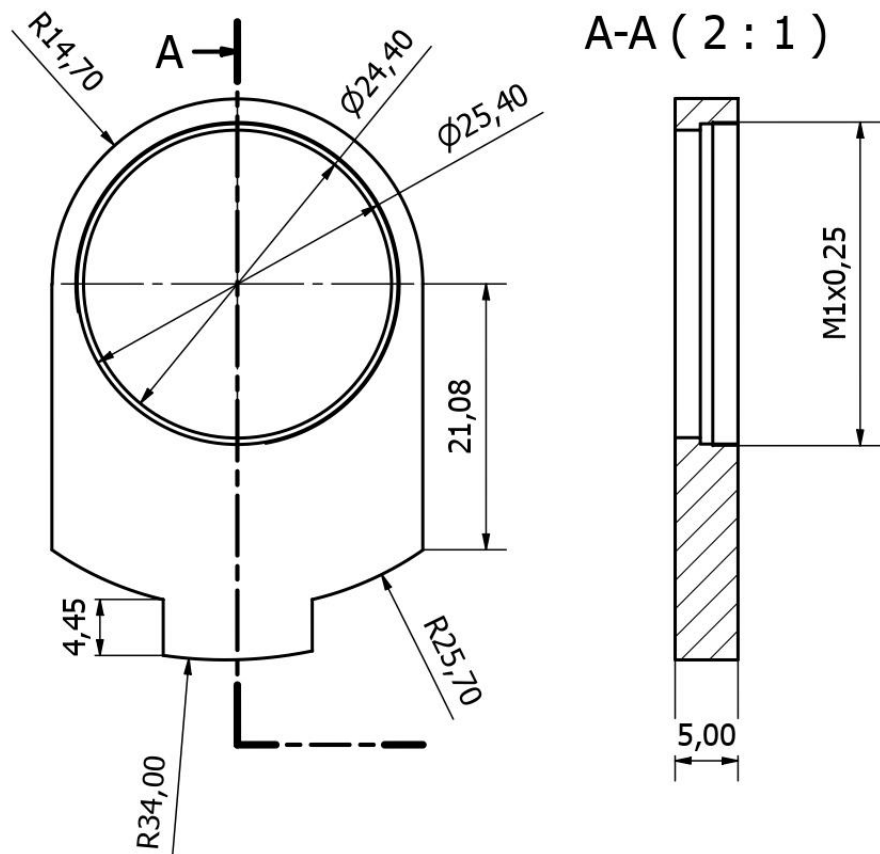
Índice de planos

Explosionado cabezal de procesamiento	Plano 0
Cajetín lente.....	Plano 1
Cubierta exterior inyector.....	Plano 2
Cuerpo sistema inyector	Plano 3
Cuerpo ventana.....	Plano 4
Cuerpo principal	Plano 5
Recubrimiento pletina	Plano 6
Pletina	Plano 7
Sujeción roscada lente	Plano 8
Sujeción roscada ventana	Plano 9
Cubierta exterior expansor	Plano 10
Expansor 2x.....	Plano 11
Lente de focalización.....	Plano 12
Junta tórica	Plano 13
Ventana de protección	Plano 14
Tornillo M6	Plano 15
Tuerca M6	Plano 16

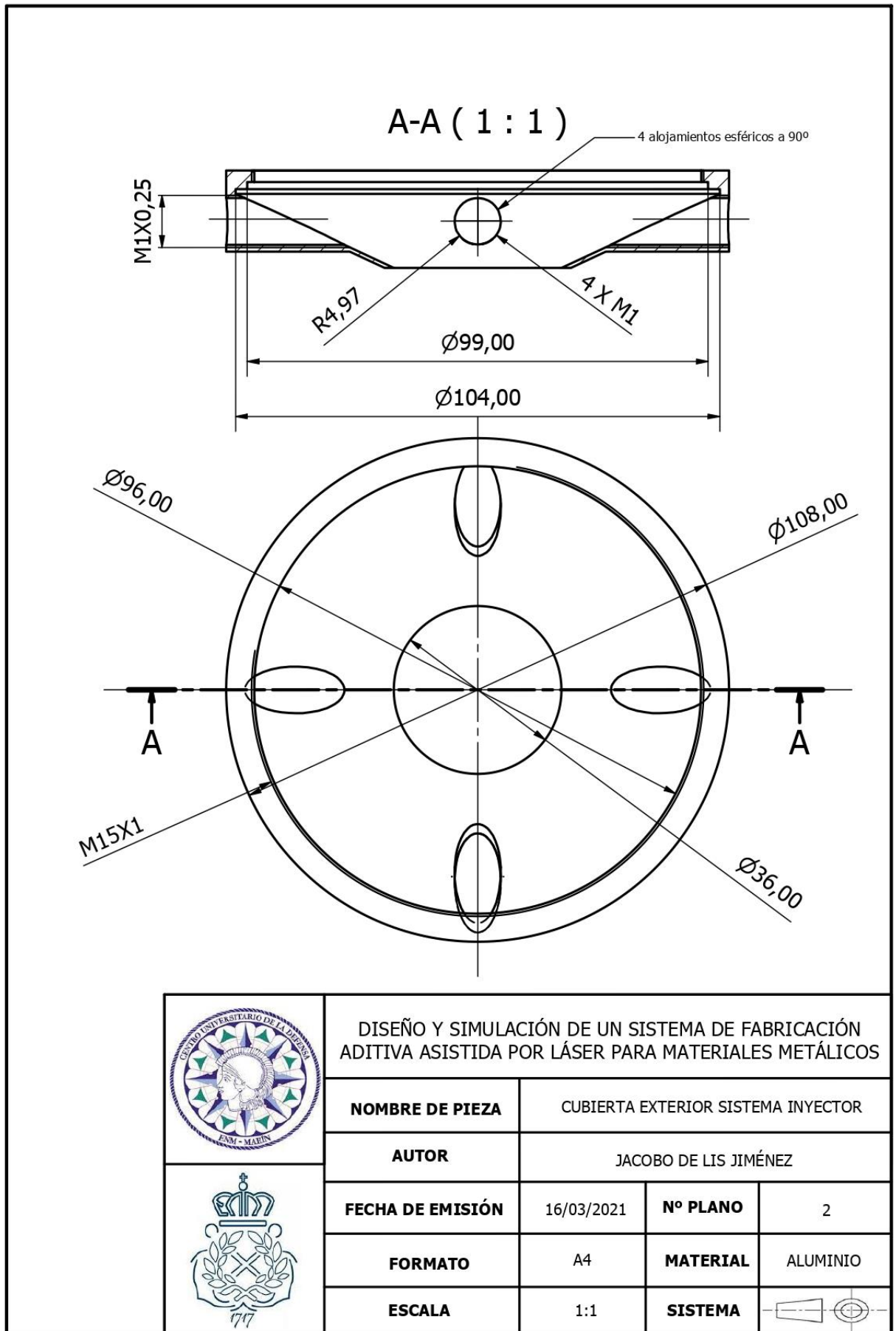


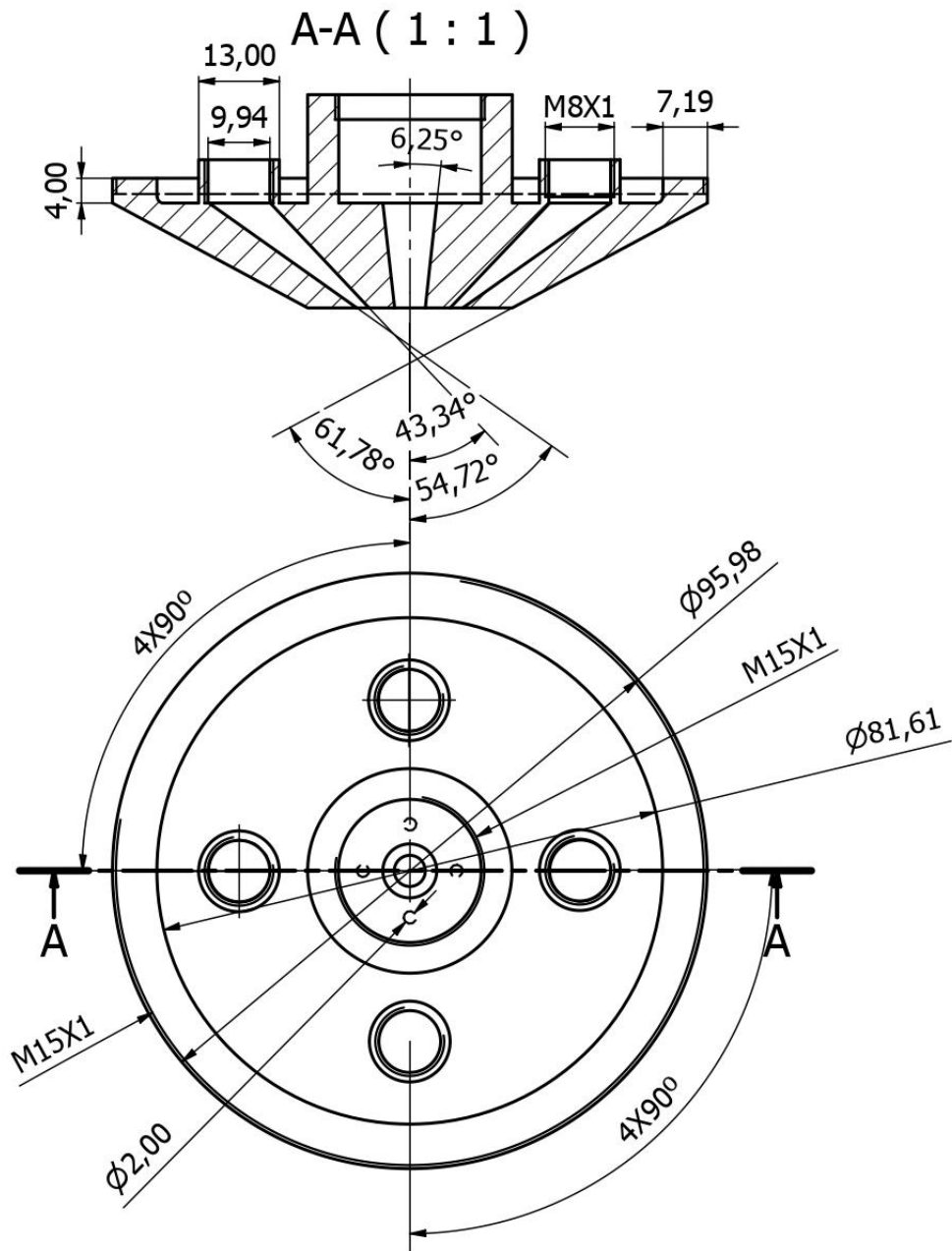
LISTA DE PIEZAS		
ELEMENTO	CTDAD	DESCRIPCIÓN
1	1	CUERPO SISTEMA INYECTOR
2	1	JUNTA TÓRICA
3	1	CUBIERTA EXTERIOR INYECTOR
4	1	CUERPO VENTANA
5	1	VENTANA PROTECCION
6	1	SUJECIÓN VENTANA
7	1	PORTALENTE
8	1	LENTE
9	1	SUJECIÓN LENTE
10	1	CUERPO PRINCIPAL
11	1	EXPANSOR
12	1	CUBIERTA EXPANSOR
13	3	TORNILLO NYLON
14	1	PLETINA
15	1	RECUBRIMIENTO PLETINA
16	7	TORNILLO M6
17	6	TUERCA M6
18	4	RACOR
19	5	RACOR ACODADO

	DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE FABRICACIÓN ADITIVA ASISTIDA POR LÁSER PARA MATERIALES METÁLICOS			
	NOMBRE DE PIEZA	EXPLOSIONADO CABEZAL DE PROCESAMIENTO		
	AUTOR	JACOBO DE LIS JIMÉNEZ		
	FECHA DE EMISIÓN	16/03/2021	Nº PLANO	0
	FORMATO	A3	MATERIAL	VARIOS
	ESCALA	1:2	SISTEMA	



	DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE FABRICACIÓN ADITIVA ASISTIDA POR LÁSER PARA MATERIALES METÁLICOS			
	NOMBRE DE PIEZA	CAJETIN LENTE		
	AUTOR	JACOBO DE LIS JIMÉNEZ		
	FECHA DE EMISIÓN	16/03/2021	Nº PLANO	1
	FORMATO	A4	MATERIAL	ALUMINIO
	ESCALA	2:1	SISTEMA	





DISEÑO DE UN SISTEMA DE FABRICACIÓN ADITIVA ASISTIDA
POR LÁSER PARA MATERIALES METÁLICOS

NOMBRE DE PIEZA

CUERPO SISTEMA INYECTOR

AUTOR

JACOBO DE LIS JIMÉNEZ

FECHA DE EMISIÓN

16/03/2021

Nº PLANO

3

FORMATO

A4

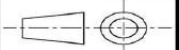
MATERIAL

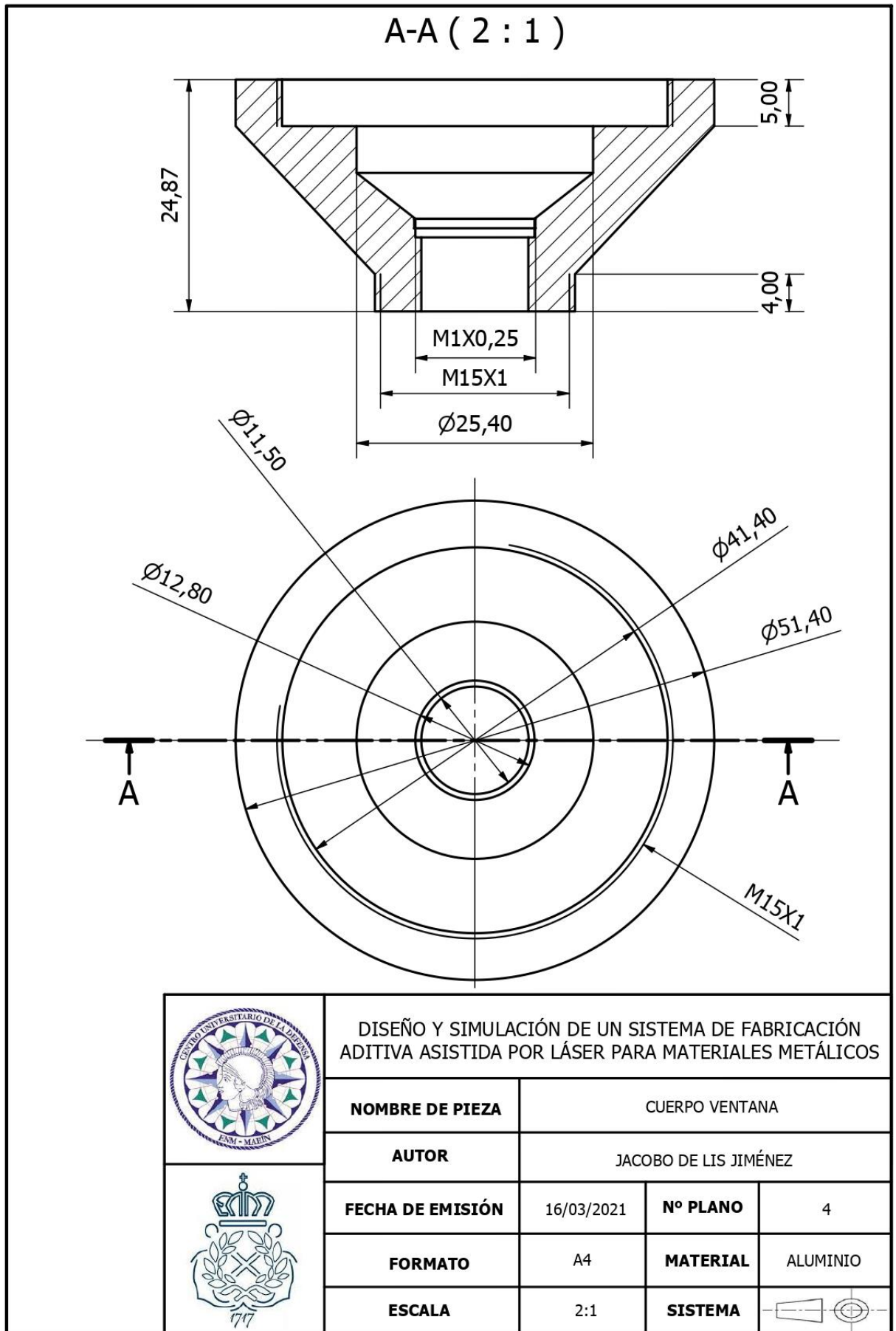
LATÓN

ESCALA

1:1

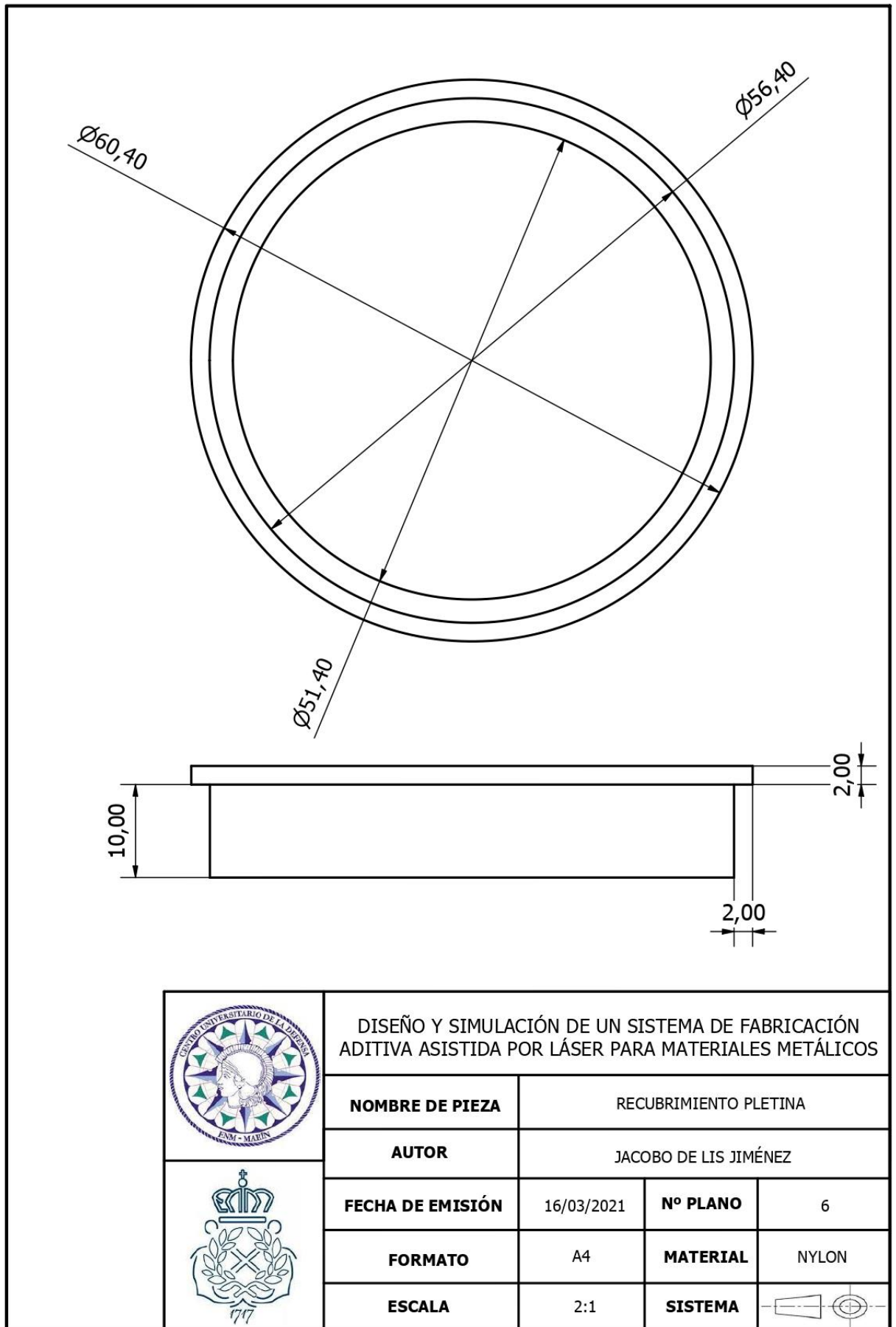
SISTEMA

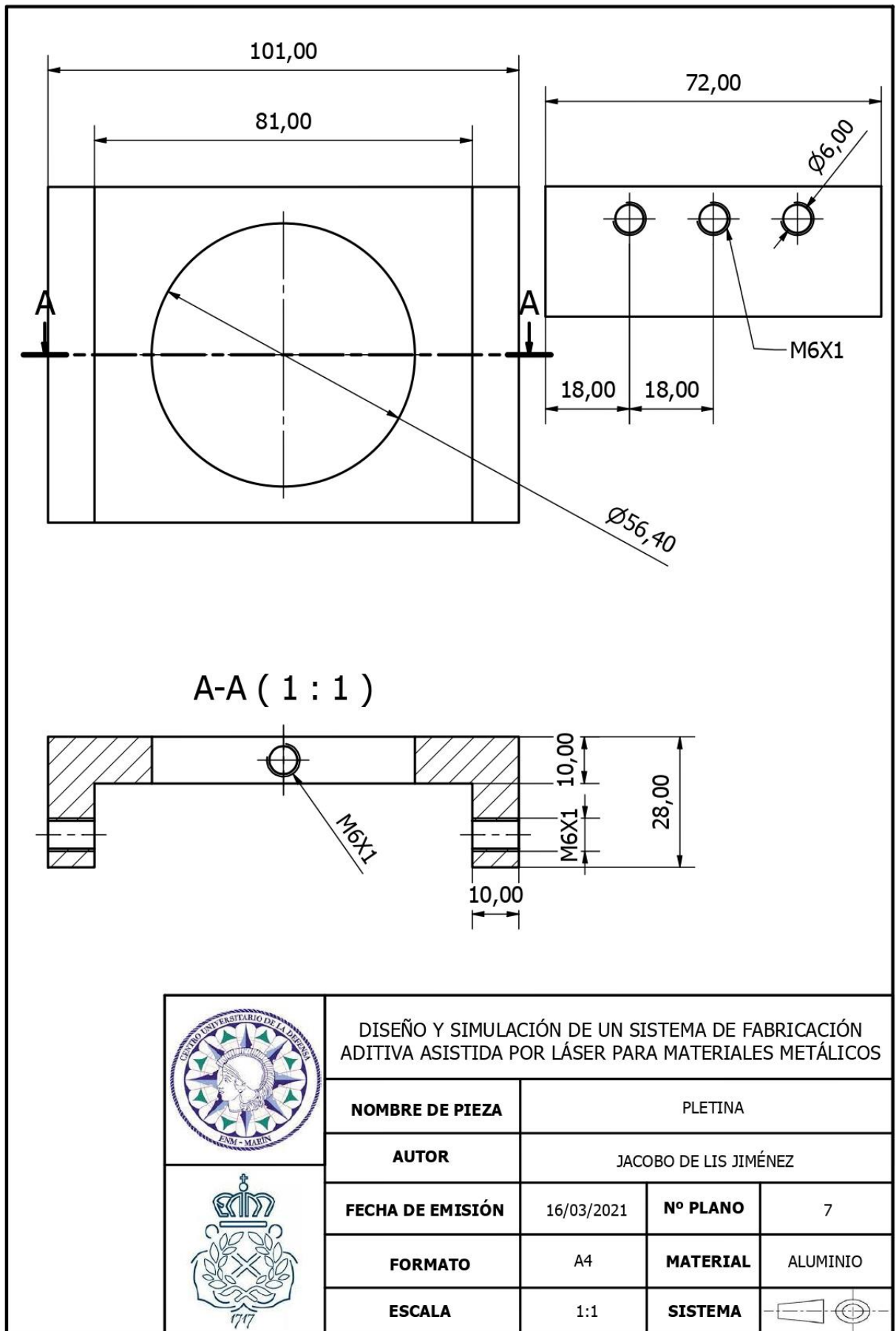


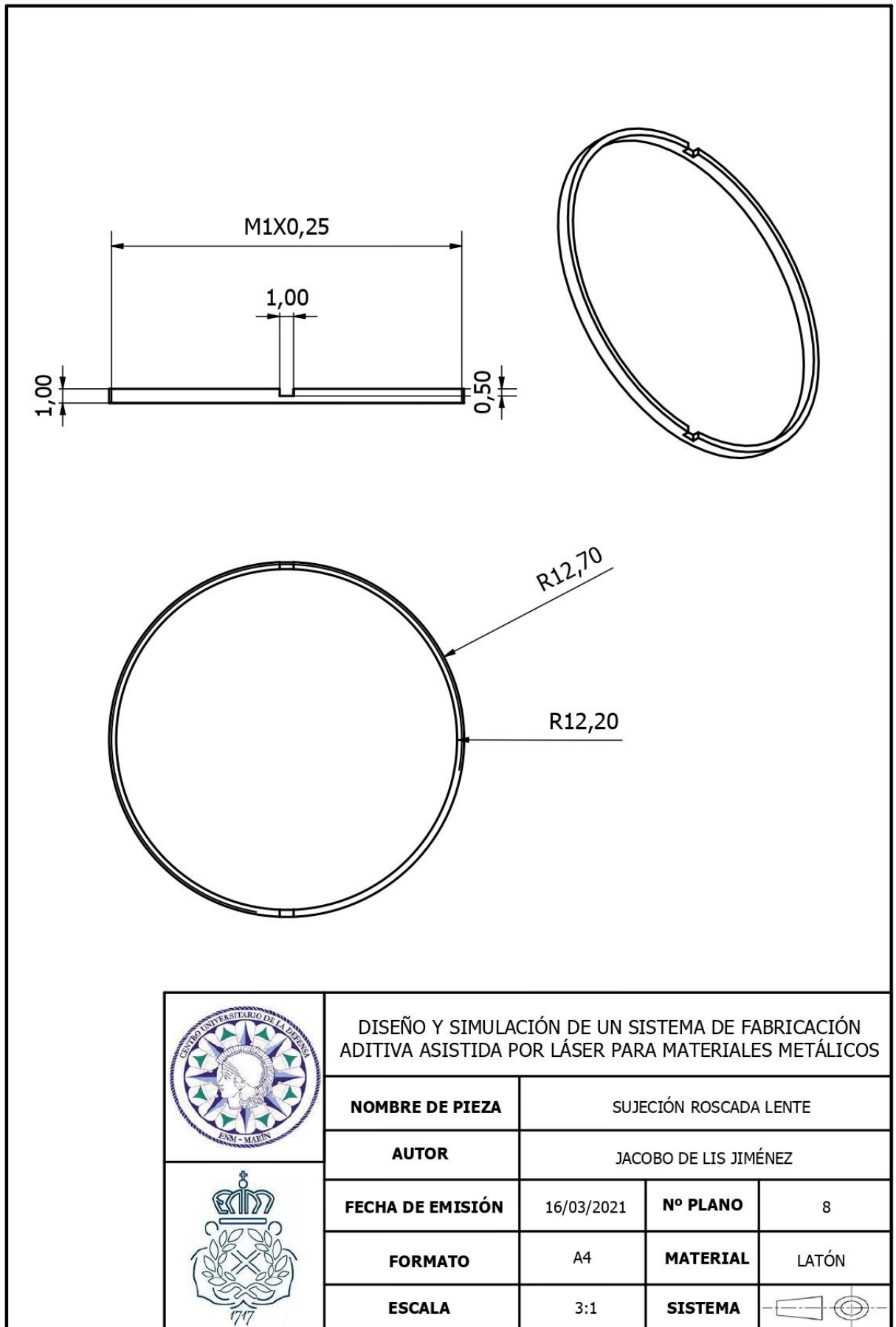


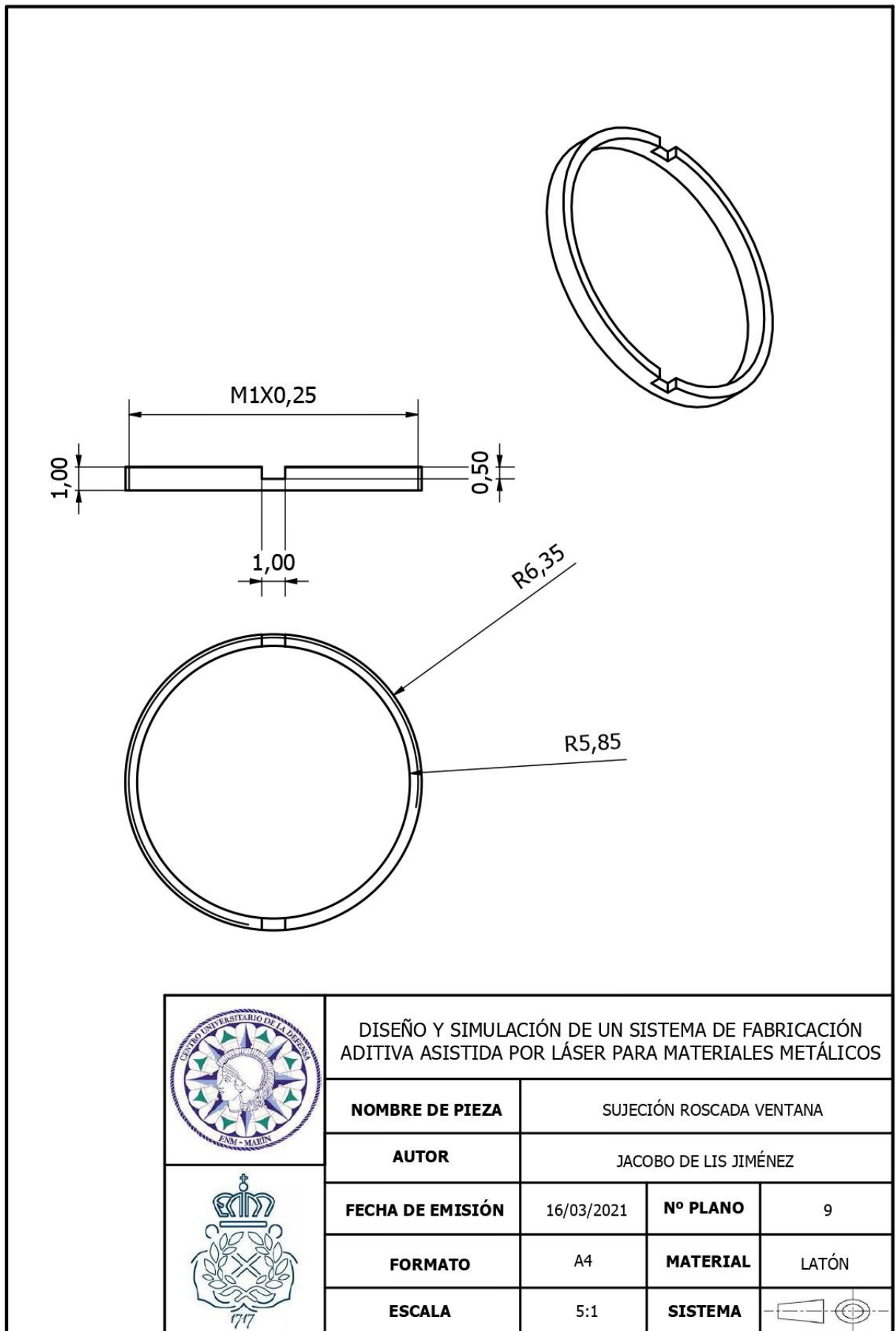


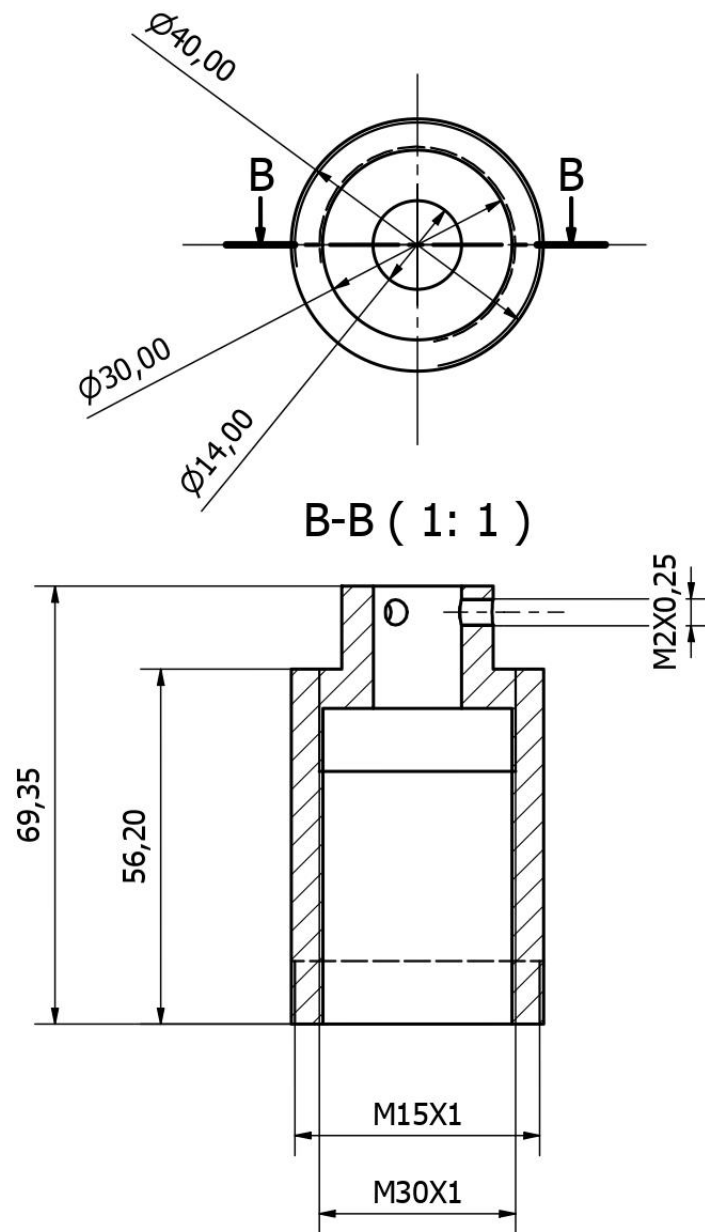
NOMBRE DE PIEZA	CUERPO PRINCIPAL		
AUTOR	JACOBO DE LIS JIMÉNEZ		
FECHA DE EMISIÓN	16/03/2021	Nº PLANO	5
FORMATO	A4	MATERIAL	LATÓN
ESCALA	1:1	SISTEMA	











DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE FABRICACIÓN ADITIVA ASISTIDA POR LÁSER PARA MATERIALES METÁLICOS

NOMBRE DE PIEZA

CUBIERTA EXTERIOR EXPANSOR

AUTOR

JACOBO DE LIS JIMÉNEZ

FECHA DE EMISIÓN

16/03/2021

Nº PLANO

10

FORMATO

A4

MATERIAL

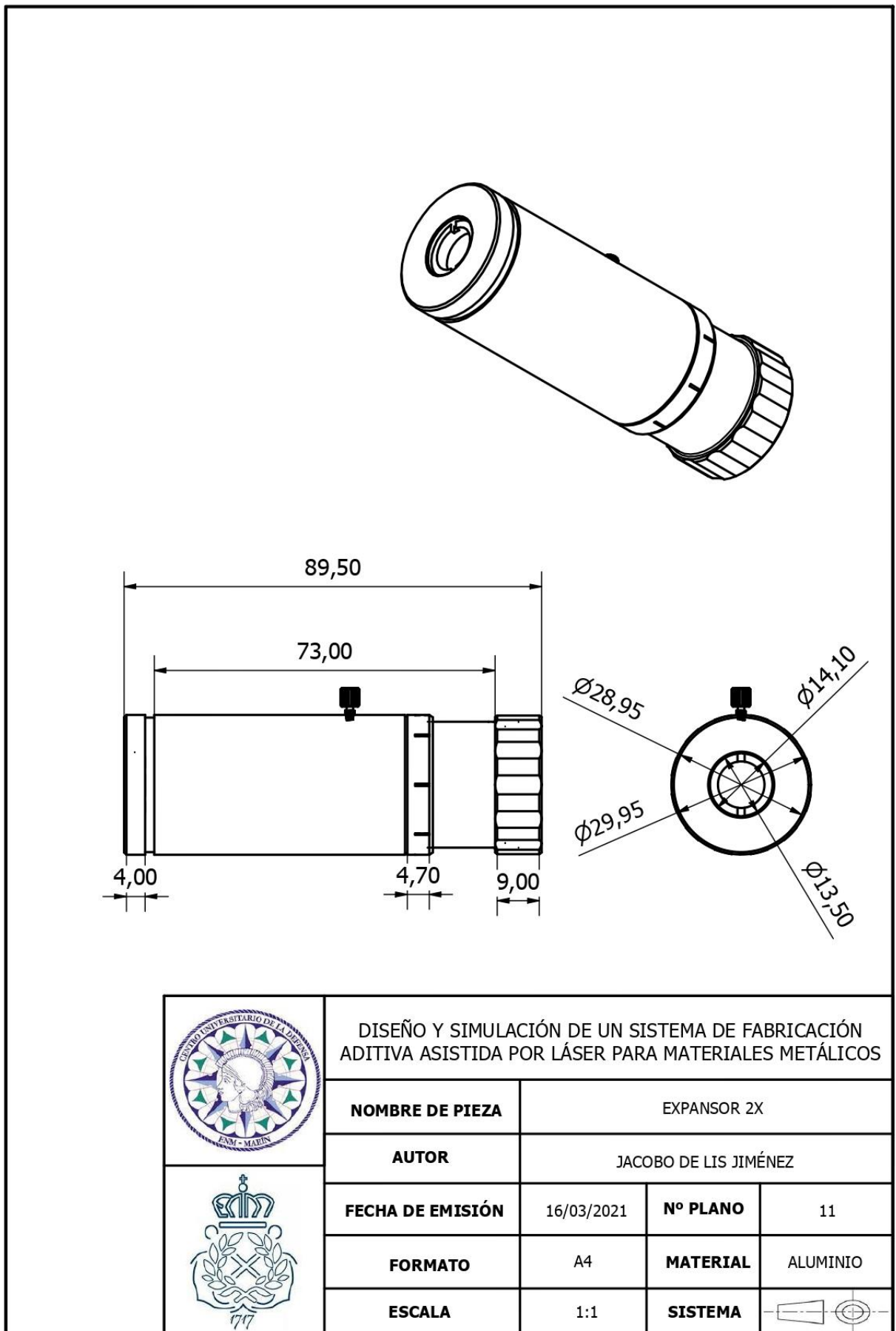
ALUMINIO

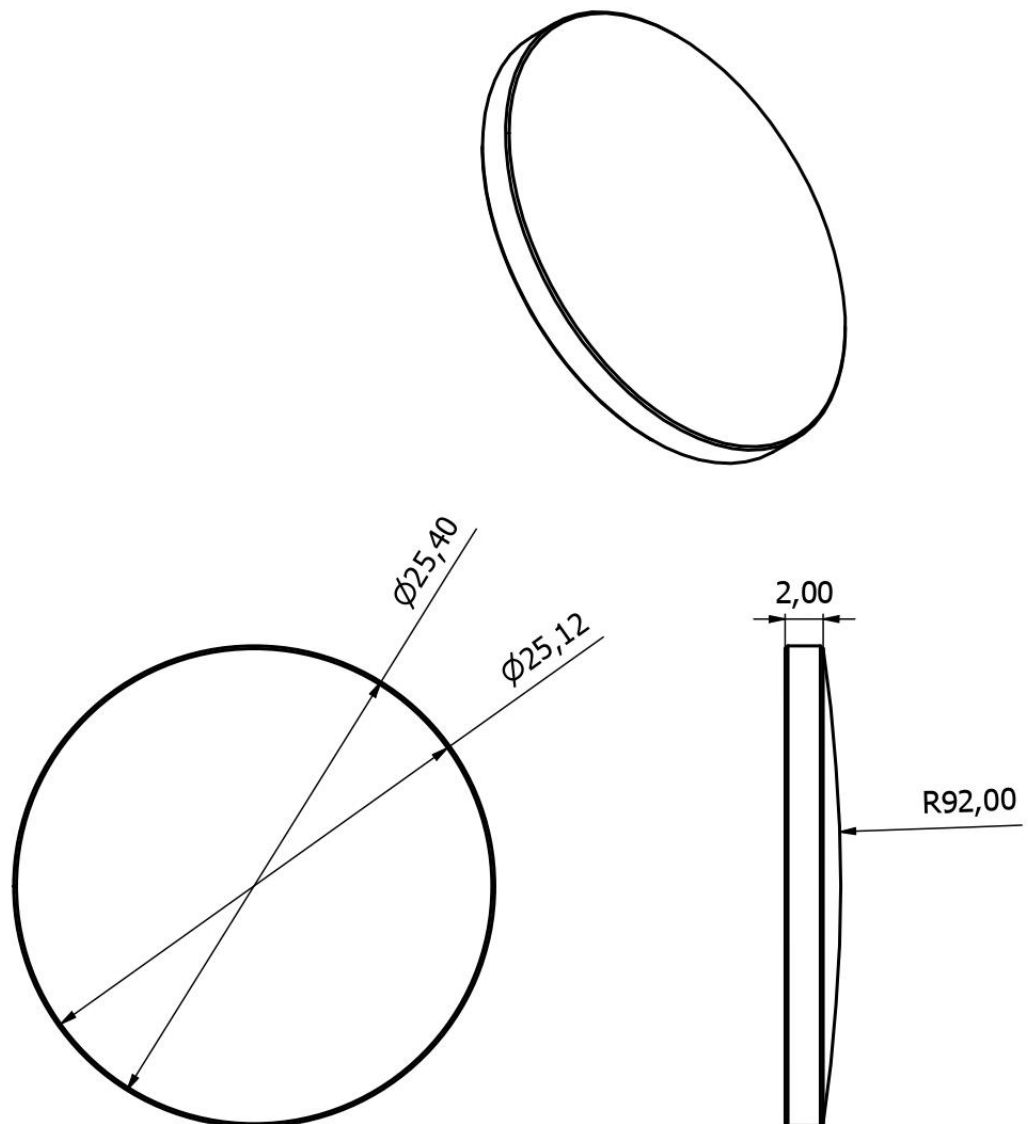
ESCALA

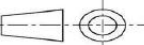
1:1

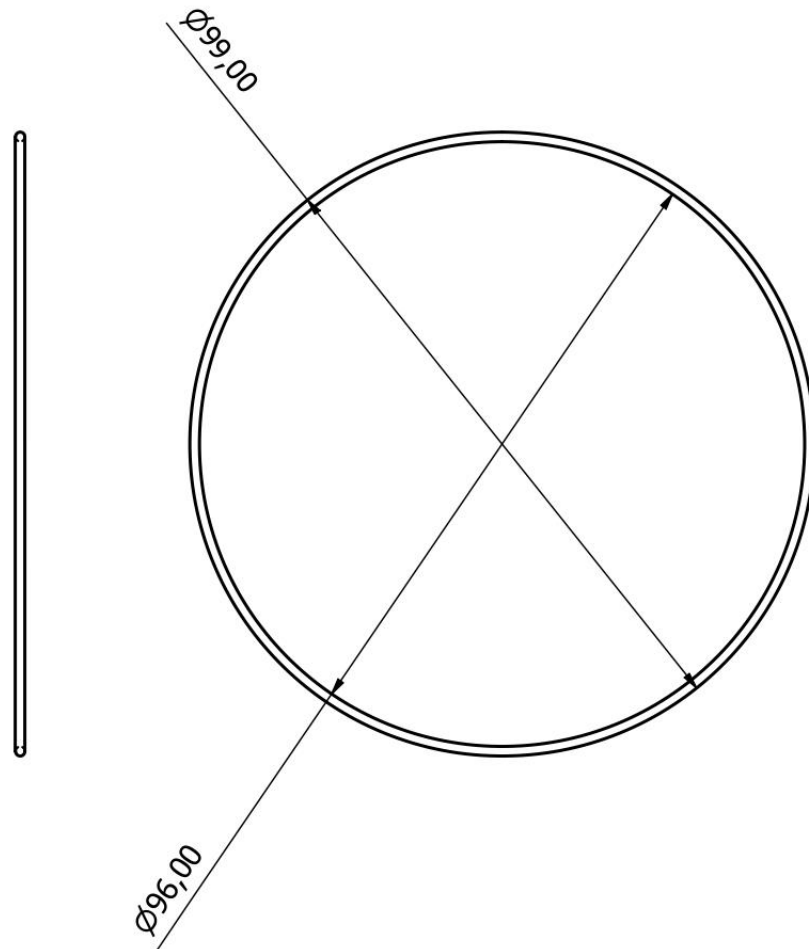
SISTEMA

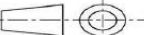


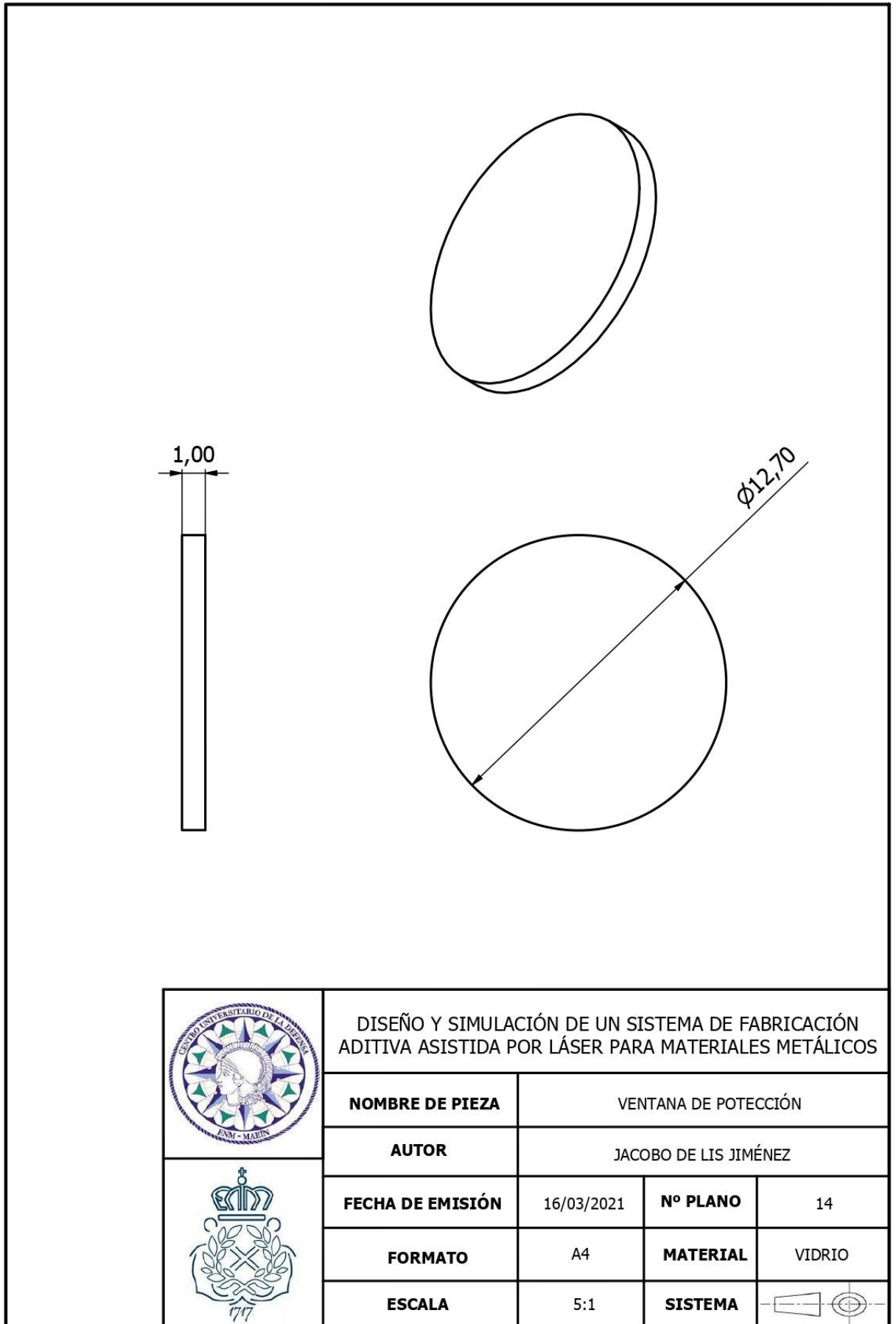


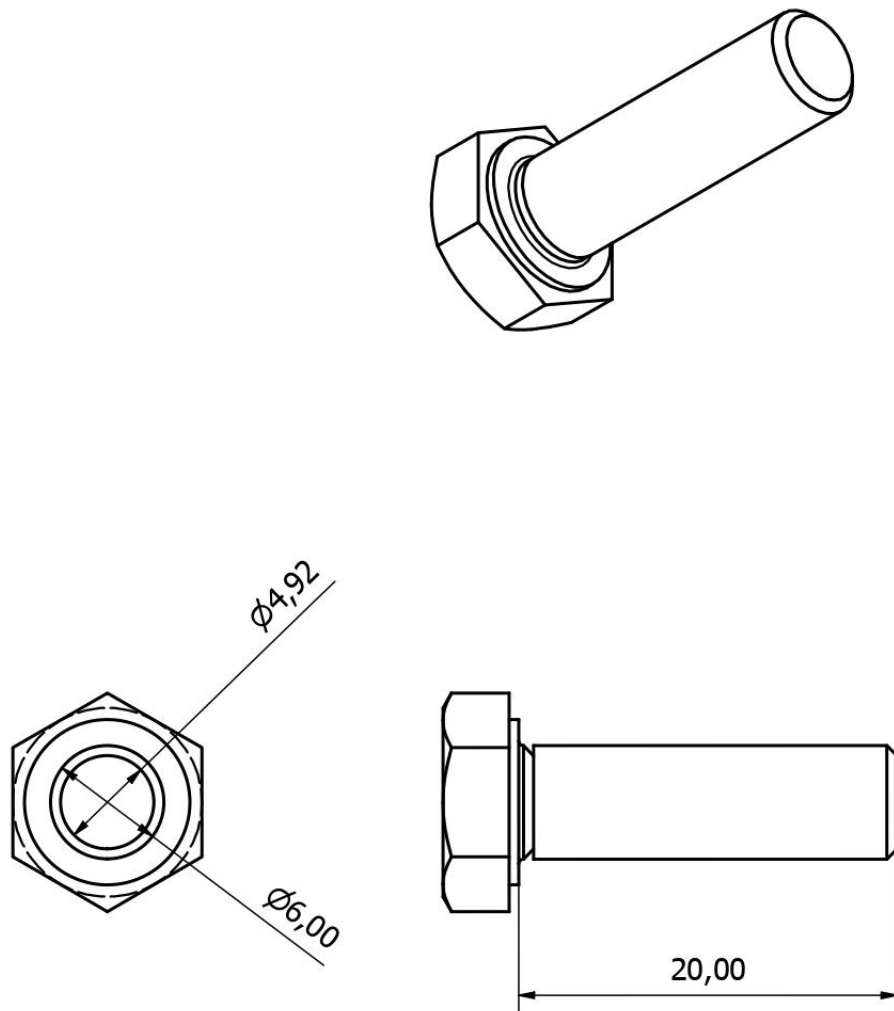


	DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE FABRICACIÓN ADITIVA ASISTIDA POR LÁSER PARA MATERIALES METÁLICOS			
	NOMBRE DE PIEZA	LENTE DE FOCALIZACIÓN		
	AUTOR	JACOBO DE LIS JIMÉNEZ		
	FECHA DE EMISIÓN	16/03/2021	Nº PLANO	12
	FORMATO	A4	MATERIAL	VIDRIO
	ESCALA	3:1	SISTEMA	



	DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE FABRICACIÓN ADITIVA ASISTIDA POR LÁSER PARA MATERIALES METÁLICOS			
	NOMBRE DE PIEZA	JUNTA TÓRICA		
	AUTOR	JACOBO DE LIS JIMÉNEZ		
	FECHA DE EMISIÓN	16/03/2021	Nº PLANO	13
	FORMATO	A4	MATERIAL	NYLON
	ESCALA	1:1	SISTEMA	





	DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE FABRICACIÓN ADITIVA ASISTIDA POR LÁSER PARA MATERIALES METÁLICOS			
	NOMBRE DE PIEZA	TORNILLO M6		
	AUTOR	JACOBO DE LIS JIMÉNEZ		
	FECHA DE EMISIÓN	16/03/2021	Nº PLANO	15
	FORMATO	A4	MATERIAL	ACERO INOXIDABLE
	ESCALA	3:1	SISTEMA	