



Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura

Carrera de Ingeniería Marítima

Trabajo de Titulación

Modalidad Proyecto Técnico

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE
IMPRESIÓN 3D BASADA EN LA TECNOLOGÍA DE
SINTERIZADO SELECTIVO POR LÁSER (SLS) CON FINES
ACADÉMICOS”**

Autores:

Basurto Pazmiño Gabriela Estefanía

Zambrano Andrade Kevin Eleroisy

Tutor Académico:

Ing. Israel Terán Lozano

Manta – Ecuador

2025

	NOMBRE DEL DOCUMENTO: CERTIFICADO DE TUTOR(A).	CÓDIGO: PAT-04-F-004
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	REVISIÓN: 1
		Página 1 de 1

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría de la estudiante **BASURTO PAZMIÑO GABRIELA ESTEFANÍA**, legalmente matriculado en la carrera de Ingeniería Marítima, período académico **2025-1**, cumpliendo el total de **384 horas**, cuyo tema del proyecto es **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE IMPRESIÓN 3D BASADA EN LA TECNOLOGÍA DE SINTERIZADO SELECTIVO POR LÁSER (SLS) CON FINES ACADÉMICOS.”**.

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, 15 de agosto de 2025.

Lo certifico,

Israel Terán Lozano
Docente Tutor
Ingeniería, Industria y Arquitectura

	NOMBRE DEL DOCUMENTO: CERTIFICADO DE TUTOR(A).	CÓDIGO: PAT-04-F-004
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	REVISIÓN: 1
		Página 1 de 1

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría de la estudiante **ZAMBRANO ANDRADE KEVIN ELEROISY**, legalmente matriculado en la carrera de Ingeniería Marítima, período académico **2025-1**, cumpliendo el total de **384 horas**, cuyo tema del proyecto es **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE IMPRESIÓN 3D BASADA EN LA TECNOLOGÍA DE SINTERIZADO SELECTIVO POR LÁSER (SLS) CON FINES ACADÉMICOS.”**.

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Manta, 15 de agosto de 2025.

Lo certifico,

Israel Terán Lozano
Docente Tutor
Ingeniería, Industria y Arquitectura

AUTORIA DEL PROYECTO TÉCNICO

El trabajo de grado que presentamos es inédito y justifica el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Ingeniería, Carrera de Ingeniería Marítima de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí ULEAM. En tal virtud, los fundamentos teóricos – científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.

Manta, 08 de agosto del 2025

Gabriela Basurto.

Gabriela Estefanía Basurto Pazmiño

CI: 131494087-3



Kevin Elerois Zambrano Andrade

CI: 135065028-7



Ing. Israel Terán Lozano, MSc

CI: 110421309-3

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación va dedicado a mi mamá Viviana, a mi abuelita Tita, a mi papá Gabriel, que en cada uno de estos años me han acompañado, ayudado y apoyado en cada decisión, cada logro y cada reto. Sin su guía y amor no estaría hoy aquí.

A mis hermanos Agustín y Anthony, que me inspiran a crecer cada día y me impulsan a ser un buen ejemplo para ustedes.

A cada uno de mis amigos, y ahora colegas, con los que he compartido aulas, conocimientos, risas y desvelos; hicieron de la universidad un mejor lugar.

Basurto Pazmiño Gabriela Estefanía

Este presente trabajo de titulación le dedico a mis padres Elerois y Victoria, que con amor, esfuerzo y comprensión me impulsan a seguir mis metas. Sus valores hablan en mi lo que por hoy soy.

A mis hermanas Tanya y Carolina, por brindar consejos y apoyo en cada momento de mi vida.

A mi mascota Bruno, el acompañante de gran parte de mi vida, ojalá siguiera con vida.

A las personas que en el trayecto de esta meta me han brindado el apoyo necesario para culminar el proyecto, en especial a aquellos docentes e ingenieros que genuinamente desinteresados nos compartieron sus valiosos conocimientos.

Zambrano Andrade Kevin Elerois

AGRADECIMIENTO

Doy gracias a Dios por permitirme estar hoy aquí culminando mi carrera, por la vida y por las bendiciones que día a día recibo.

Doy gracias a mis seres queridos: madre, abuela, padre, hermanos, tíos, tías y primos por haberme acompañado y aconsejado cada día durante todo este tiempo. Han sido mi motivación para superarme y mejorar cada día.

Agradezco a mi compañero de tesis que ha sido un apoyo moral y académico a lo largo de este proyecto. También quiero agradecer a mi tutor el Ing. Israel Terán, quien desde el inicio de la carrera fue un docente guía. De igual manera, agradezco a aquellos ingenieros que han sabido enseñar y han sido mi inspiración profesional.

Basurto Pazmiño Gabriela Estefanía

En primer lugar, agradezco a mis Padres y Hermanas por su guía, paciencia, y valiosos consejos a lo largo de este camino. Por su amor incondicional, su apoyo constante y por creer en mí. Gracias por ser mi motor.

A mis amigos y compañera, que compartieron conmigo tantos desafíos como alegrías.

Finalmente, al Ing. Israel Terán y a todas las personas que me acompañaron, ayudaron y apoyaron durante la realización de este proyecto.

Zambrano Andrade Kevin Eleroisy

INDICE GENERAL DE CONTENIDOS

Título.....	1
Antecedentes.....	1
Planteamiento del problema.....	1
Justificación	2
Objetivos.....	2
Objetivo general.....	2
Objetivos específicos	2
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	3
1.1 Introducción a la Impresión 3D	3
1.2 Ventajas y Desventajas de la Impresión 3D	4
1.3 Historia de la Impresión 3D	5
1.4 Tipos de Impresión 3D	6
1.4.1 Modelado por Deposición Fundida	6
1.4.2 Estereolitografía (SLA).....	7
1.4.3 Sinterizado Selectivo por Láser (SLS).....	8
1.4.4 Fabricación de Objetos Laminados (LOM)	8
1.5 Aplicaciones	9
1.6 Impresión por Sinterizado Selectivo por Láser (SLS).....	10
1.7 Principio de Funcionamiento de la Impresión SLS	11
1.8 Partes de la Impresora SLS.....	12
1.9 Ventajas y Desventajas.....	13
1.10 Materiales para la Impresión SLS	14
1.10.1 Nylon	15
1.10.2 Polvo de Polipropileno.....	16
1.10.3 Polvos de TPU.	16
1.11 Aplicaciones	16
1.12 Impresoras SLS Comerciales	17
1.13 Impresoras Open SLS	21
1.14 Tipos de Impresión por Sinterizado Láser.....	22

1.14.1	Fusión Selectiva por Láser (SLM).....	22
1.14.2	Deposición de Metales por Láser (LDM)	23
CAPÍTULO II: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN		25
2.1	Diseño de la Estructura de la Impresora 3D	25
2.1.1	Selección del Tipo de Perfil V-SLOT	26
2.1.2	Modelado de la Estructura	27
2.1.3	Modelado de la Estructura de la Cama de Sinterizado	30
2.1.4	Modelo de la Base para Depósitos de Material.....	31
2.1.5	Modelado del Sistema de Elevación de los Depósitos.....	31
2.2	Ensamblaje de la Impresora 3D.....	32
2.2.1	Ensamble de la Estructura.....	32
2.2.2	Ensamblaje de la Estructura para la Base del Sinterizado	33
2.2.3	Ensamblaje de la Base para Motores del Sistema de Alimentación	35
2.2.4	Ensamblaje de Base y Depósitos de Material	35
2.3	Diseño de los Sistemas de Movimiento.....	37
2.3.1	Subsistema de Movimiento Láser	38
2.3.1.1	Integración de Motores	38
2.3.1.2	Integración de Carros de Desplazamiento Lineal	39
2.3.1.3	Integración de Mecanismo de Transmisión	40
2.3.2	Subsistema de Movimiento del Suministro de Material	40
2.3.2.1	Integración de Motores	40
2.3.2.2	Integración de Carros Lineales	41
2.3.2.3	Integración de Mecanismo de Transmisión	42
2.3.2.4	Integración de Barredera.....	43
2.3.3	Subsistema de Movimiento de la Base de Impresión y Depósitos.....	43
2.3.3.1	Integración de Motores	44
2.3.3.2	Integración de Mecanismo de Transmisión	44
2.4	Láser	45

2.5	Conexiones Eléctricas y Electrónicas.....	46
2.5.1	Instalación de la Placa Controladora.....	46
2.5.1.1	Identificación de los Pines para Cableado en la Placa RAMPS 1.4 ...	47
2.5.2	Instalación de Drivers de Control para Motores	48
2.5.3	Instalación de la Pantalla.....	48
2.5.4	Instalación de la Fuente de Alimentación	49
2.5.4.1	Cálculo de Consumo Total del Sistema.....	49
2.5.5	Conexión de Motores y Sensores.....	50
2.5.6	Control del Módulo Láser Mediante Señal PWM.....	50
2.5.6.1	Diseño de Placa PCB para Control de Láser	50
2.5.6.2	Generador de PWM	51
2.6	Programación: Modificación del Firmware Marlin.....	51
2.7	Configuración del Software PrusaSlicer	54
2.7.1	Configuración de Impresión.....	55
2.7.2	Configuración de Filamentos	59
2.7.3	Configuración de Impresora.....	60
2.8	Recursos Materiales y Económicos.....	64
CAPÍTULO III: PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO		66
3.1	Funcionamiento de la Impresora 3D SLS	66
3.2	Pruebas de Movimiento de los Ejes.....	67
3.3	Pruebas del Módulo Láser	68
3.4	Pruebas del Sistema de Alimentación y Distribución	71
3.5	Pruebas de Impresión	73
CONCLUSIONES		80
RECOMENDACIONES.....		82
Bibliografía		83
ANEXOS		86

INDICE DE TABLAS Y FIGURAS

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Impresión 3D.....	4
Figura 2. Chuck Hull junto a impresora SLA.....	5
Figura 3. Esquema de Impresora FDM.....	7
Figura 4. Componentes para máquina SLA.....	7
Figura 5. Esquema tecnología SLS.....	8
Figura 6. Esquema de Impresión LOM.	8
Figura 7. Casa sismorresistente impresa 3D en Japón.....	10
Figura 8. Pieza impresa por SLS.	11
Figura 9. Mecanismo SLS.	12
Figura 10. Partes de la Impresora 3D Fuente: Barreda, 2015.....	13
Figura 11. Impresión hecha con Alumide. Fuente: xometry.pro	15
Figura 12. Tipos de Polvos PA. Fuente: sinterit.com	16
Figura 13. Férula para mano. Fuente: formlabs.com	17
Figura 14. Kit LISA PRO de Sinterit.....	18
Figura 15. Sintratec S3.....	19
Figura 16. Fuse 1+ 30 W de Formlabs.....	19
Figura 17. Impresora sPro 230 de 3D Systems. Fuente: Gruposg.com (2022)	20
Figura 18 Impresora Industrial EOS P810. Fuente: Eosstore.com (2024)	21
Figura 19. Impresora OpenSLS desarrollada por SLS4ALL.....	22
Figura 20. Esquema SLM.....	23
Figura 21. Esquema LDM	24

Figura 22. Prototipo de impresora 3D SLS.....	25
Figura 23. Instrumentos para perfiles V-SLOT.....	26
Figura 24. Medidas del perfil V-SLOT 2020.	27
Figura 25. Medidas del Perfil V-SLOT 2040.	27
Figura 26. Modelado de perfil V-SLOT 2040 para eje Z.	28
Figura 27. Modelado del perfil V-SLOT 2020 para eje Y.....	28
Figura 28. Modelado del perfil V-SLOT 2020 para eje X.....	29
Figura 29. Ensamblaje de la estructura en SolidWorks.	29
Figura 30. Modelado de la estructura: dimensiones.	30
Figura 31. Diseño de la estructura de la cama de sinterizado.....	30
Figura 32. Diseño de la base para depósitos de material.	31
Figura 33. Diseño del sistema de elevación.....	31
Figura 34. Ensamblaje virtual del sistema de elevación con los depósitos.	32
Figura 35. Ensamble virtual de sistema de elevación y estructura de la impresora.....	32
Figura 36. Estructura de la impresora 3D.	33
Figura 37. Perfil V-SLOT para cama del material.....	33
Figura 38. Diseño del módulo para el perfil V-SLOT 2040.....	34
Figura 39. Ensamblaje de la estructura de la cama de sinterizado.	34
Figura 40. Refuerzo de la estructura con ángulos.....	35
Figura 41. Ensamblaje para base de los motores.	35
Figura 42. Base para los depósitos del material.....	36
Figura 43. Ensamblaje de los depósitos a la cama base.....	36
Figura 44. Impresora 3D TRONYX X5SA FDM.....	38
Figura 45. Ensamblaje de subsistema de movimiento del láser.	38

Figura 46. Diseño y montaje del carro lineal para el láser.	39
Figura 47. Ensamblaje de carros lineales.....	39
Figura 48. Integración de poleas y correas dentadas para movimiento del láser.....	40
Figura 49. Montaje de motores de subsistema de alimentación.	41
Figura 50. Integración carros lineales y perfil sistema de alimentación de material.....	41
Figura 51. Diseño de la placa tensora.	42
Figura 52. Ensamble de poleas y correas del sistema de alimentación.	42
Figura 53. Integración de barredera.	43
Figura 54. Movimiento de las Bases de una Impresora SLS.	43
Figura 55. Instalación de los motores eje Z.	44
Figura 56. Ensamblaje sistema de elevación de los depósitos.....	45
Figura 57. Integración del módulo láser.	46
Figura 58. Placa Arduino Mega 2560.	46
Figura 59. Placa RAMPS 1.4.....	47
Figura 60. Identificación de pines.....	47
Figura 61. Instalación de drivers DRV8825.	48
Figura 62. Pantalla 12864 LDC.	48
Figura 63. Conexión de los motores y sensores final de carrera.	50
Figura 64. Placa de control PWM en PCB.	51
Figura 65. Generador de señal PWM.....	51
Figura 66. Comando de los drivers DRV8825.	52
Figura 67. Comando COREXY.....	52
Figura 68. Comando de final de carrera.	53
Figura 69. Definición de pasos y aceleración de motores.	53

Figura 70. Definición de medidas de la cama del sinterizado.	54
Figura 71. Control de pantalla.	54
Figura 72. Interfaz de PrusaSlicer.....	55
Figura 73. Configuración de una nueva impresora.	56
Figura 74. Configuración de la altura de la capa.	56
Figura 75. Configuración de la densidad de relleno.	57
Figura 76. Desactivación de las opciones para impresoras FDM.....	57
Figura 77. Configuración de la velocidad.....	58
Figura 78. Configuración de la velocidad de primera capa.	58
Figura 79. Configuración avanzada.	59
Figura 80. Configuración de filamento extrusor 1.....	59
Figura 81. Configuración de retracciones.....	60
Figura 82. Configuración del extrusor 2.....	60
Figura 83. Configuración de la cama y tipo de firmware.	61
Figura 84. Comando de activación y desactivación del láser.	61
Figura 85. Comando para finalizar proceso.....	62
Figura 86. Comando de ciclo avance y retroceso de la barredora.	62
Figura 87. Configuración del extrusor 1.....	63
Figura 88. Configuración de las retracciones.	63
Figura 89. Configuración del extrusor 2.....	64
Figura 90. Códigos G de un ancla.....	66
Figura 91. Encendido de la impresora 3D SLS.	67
Figura 92. Prueba de movimiento del eje X.	67
Figura 93. Laminado de una figura para prueba del láser.	68

Figura 94. Prueba en una superficie de cartón.....	69
Figura 95. Resultado de la prueba del módulo láser.....	69
Figura 96. Configuración del home del módulo láser.	70
Figura 97. Módulo láser en el punto de inicio.	70
Figura 98. Instalación de guías para barredera.	71
Figura 99. Mala distribución del material.....	71
Figura 100. Diseño de nueva barredera.	72
Figura 101. Instalación de la barredera.....	72
Figura 102. Filtración de material por la parte inferior.	73
Figura 103. Generación de códigos G para la prueba de sinterizado.	74
Figura 104. Preparación del material previo sinterizar.....	74
Figura 105. Resultado de la primera sinterización.	75
Figura 106. Laminado de la prueba 2.	75
Figura 107. Prueba de sinterización 2.....	76
Figura 108. Laminado de la prueba 3.	76
Figura 109. Prueba de sinterizado 3.....	77
Figura 110. Cabina.....	77
Figura 111. Pieza fallida.	78
Figura 112. Pieza fallida.	78
Figura 113. Pieza Sinterizada.	79

INDICE DE TABLAS

Tabla 1	26
Tabla 2	37
Tabla 3	45
Tabla 4	49
Tabla 5	64

RESUMEN

El presente trabajo de titulación hace referencia al diseño y construcción de una máquina de impresión 3D SLS, destinada a ser operada por los estudiantes de la materia de Procesos Sin Arranque de Viruta, siendo un aporte académico en los talleres de la Carrera de Ingeniería Marítima, ayudando a los futuros profesionales al entendimiento de conceptos relacionados a la metalurgia de polvos, fomentando habilidades y competencias frente a los diferentes procesos de manufactura aditiva emergentes.

El prototipo de impresora 3D SLS emplea un láser de 10 W de potencia para poder fusionar capas de material en polvo y, así, dar paso a la construcción de piezas. Consta de dos depósitos de 10x10x10cm, uno destinado a abastecer material con la ayuda del recorrido de una barredera, mientras que el siguiente depósito funciona como cama (área de impresión) en donde se obtendrá la pieza final. Este mecanismo integra un sistema de elevación con motores paso a paso NEMA 17 que trabajan en sincronía, es decir, mientras un motor eleva la base del depósito de alimentación, el otro motor hace que el área de impresión descienda, creando así una nueva capa de polvo para sinterizar. De esta forma se repetirá el proceso capa por capa hasta lograr obtener la pieza final. Una vez terminada la sinterización, la pieza queda rodeada de polvo no sinterizado, por lo que solo queda extraer la pieza final de entre todo este polvo que la rodea.

Una de las ventajas de esta tecnología es la reutilización del polvo residual. En lugar de ser desechado, puede ser reciclado y mezclado con polvo nuevo para la producción de otras piezas.

Palabras clave: Impresión 3D, Sinterizado Selectivo por Láser, Manufactura Aditiva, Pulvimetalurgia, Metalurgia de polvos, SLS.

ABSTRACT

The present degree project refers to the design and construction of an SLS 3D printing machine, intended to be operated by students of the subject *Non-Chip Removal Processes*, serving as an academic contribution to the workshops of the Maritime Engineering program, assisting future professionals in understanding concepts related to powder metallurgy, and fostering skills and competencies in the face of emerging additive manufacturing processes.

The SLS 3D printer prototype employs a 10 W laser to fuse layers of powdered material, thus enabling the construction of parts. It consists of two 10x10x10 cm containers: one intended to supply material with the aid of a sweeper's movement, while the other functions as the bed (printing area) where the final piece is obtained. This mechanism integrates a lifting system with NEMA 17 stepper motors that work in synchrony; that is, while one motor raises the base of the feed container, the other motor lowers the printing area, thereby creating a new powder layer to be sintered. This process is repeated layer by layer until the final part is obtained. Once the sintering is completed, the piece remains surrounded by unsintered powder, so the only step left is to extract the final piece from the surrounding powder.

One of the advantages of this technology is the reuse of residual powder. Instead of being discarded, it can be recycled and mixed with new powder for the production of other parts.

Keywords: 3D Printing, Selective Laser Sintering, Additive Manufacturing, Powder Metallurgy, SLS.

TÍTULO

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE IMPRESIÓN 3D BASADA EN LA TECNOLOGÍA DE SINTERIZADO SELECTIVO POR LÁSER (SLS) CON FINES ACADÉMICOS

ANTECEDENTES

La impresión 3D es un método de fabricación aditivo que busca la obtención de piezas funcionales en un menor tiempo; el cual ha ganado terreno en la industria de la manufactura gracias a la variedad de tipos de impresión 3D, entre los que se encuentra: Estereolitografía (SLA), Modelado por Deposición Fundida (FDM), Sinterizado Selectivo por Láser (SLS), entre otros. Los avances tecnológicos en cuanto a métodos de fabricación son de interés en el ámbito educativo ingenieril, dando lugar al desarrollo de investigaciones y trabajos de titulación desarrollados en torno a estas nuevas técnicas de producción; como el elaborado por Arcos Valencia & Nuela Yanchapanta (2019) en la Universidad de las Fuerzas Armadas del Ecuador (ESPE), el mismo que se concentra en el prototipado rápido mediante Sinterizado Selectivo por Láser (SLS). A pesar de su alta precisión y detalle, la tecnología SLS aún no se ha explotado ampliamente en el país, por lo que, implementar esta máquina dentro de la carrera, facilitará la comprensión y la visualización de los mecanismos SLS, ayudando al estudiante y futuro profesional a interesarse en la innovación, generando así, un posible escenario laboral inexplorado nacionalmente.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El presente trabajo de titulación pretende diseñar y construir una máquina de impresión 3D basada en la tecnología de Sinterizado Selectivo por Láser (SLS) con el propósito de que se convierta en una herramienta académica para los estudiantes de la materia de Procesos Sin Arranque de Viruta, generando un mejor entendimiento de conceptos relacionados a la metalurgia de polvos a través del desarrollo de clases prácticas; fomentando habilidades y competencias frente a los procesos de manufactura en los futuros profesionales.

JUSTIFICACIÓN

El presente proyecto de titulación busca diseñar e implementar una impresora 3D basada en la tecnología de Sinterizado Selectivo por Láser (SLS), presentada como un método de fabricación de alta precisión y eficiencia para la creación de piezas y elementos mecánicos complejos. La implementación de esta surge con la finalidad de tener una relevante aportación en la formación académica de los estudiantes, desarrollando destrezas y competencia frente a nuevos procesos de producción y manufactura. Se prevé que los principales beneficiarios sean los estudiantes de la materia de Procesos Sin Arranque de Viruta de la carrera de Ingeniería Marítima, a través del desarrollo de clases prácticas, en donde se explique cómo funciona el sinterizado láser y la impresión 3D; ganando así experiencia y habilidades dentro del sector de manufactura industrial, además de motivar a los futuros profesionales a incursionar en nuevas tecnologías.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Diseñar y construir una máquina de impresión 3D basada en la tecnología de Sinterizado Selectivo por Láser (SLS) para la carrera de Ingeniería Marítima.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar información referente a la impresión 3D, en especial, sobre el Sinterizado Selectivo por Láser.
- Diseñar una máquina de prototipado rápido basado en la tecnología SLS a través del software CAD SolidWorks.
- Construir una máquina SLS para la creación de piezas sencillas que emplee materiales plásticos en polvo.
- Realizar pruebas de funcionamiento a través de la impresión de diferentes geometrías básicas para garantizar el correcto desempeño de la máquina.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1 Introducción a la Impresión 3D

Hoy en día los procesos de fabricación desempeñan un papel crucial en el diseño, construcción y creación de productos. La impresión 3D es un método de fabricación aditivo que busca la obtención de piezas funcionales en un menor tiempo; el cual ha ganado terreno en la industria de la manufactura gracias a la variedad de tipos de impresión 3D. Entre algunos tipos de impresión se encuentran: Estereolitografía (SLA), Modelado por Deposición Fundida (FDM), Sinterizado Selectivo por Láser (SLS), entre otros.

Para Rodríguez (2019), “La tecnología de impresión 3D es el proceso por el cual, se hace un objeto tridimensional, casi de cualquier forma, a partir de un modelo 3D, básicamente bajo un proceso de adición de material. Es por lo que también se le denomina manufactura aditiva”. La impresión 3D implica diseñar la pieza en una herramienta de Diseño Asistido por Computadora (CAD) para, posteriormente exportarlo al software que codificará las instrucciones de impresión mediante la adición capa por capa hasta lograr el objetivo final; es por esa sumatoria de capas que se le denomina manufactura aditiva.

Otra definición menciona que, “La impresión 3D es un proceso por medio del cual se pueden producir objetos tridimensionales sólidos a partir de un modelo digital, a través de una PC” (Galbiati, 2019, pág. 14). La fabricación aditiva permite no sólo la creación de geometrías complejas, sino también la reducción del desperdicio de los materiales a usar. Es una tecnología de manufactura que ha reducido tiempo y costos de fabricación con resultados semejantes o aproximados a los métodos de mecanizado tradicionales, a pesar de diferir en el concepto de “sustraer material”.

Se entiende por impresión 3D al proceso de acumulación de material sobre una base. Este proceso de acumulación de material se realiza de forma secuencial, a través de diferentes métodos de fabricación con un mismo fin: crear un objeto en 3 dimensiones a partir de un diseño dado, dibujado en un software especializado. (Miranda, 2020, pág. 1)

Gracias a su versatilidad y rapidez de fabricación ha experimentado un crecimiento exponencial en distintos ámbitos de la industria y el hogar. Galbiati (2019) afirma: “La impresión 3D puede utilizarse para rubros muy variados como la producción de prototipos, diseño industrial y artístico, autopartes, joyería, calzado, arquitectura, ingeniería en general, construcción, industria aeroespacial, medicina, educación, sistemas de información, y muchos otros” (pág. 14).

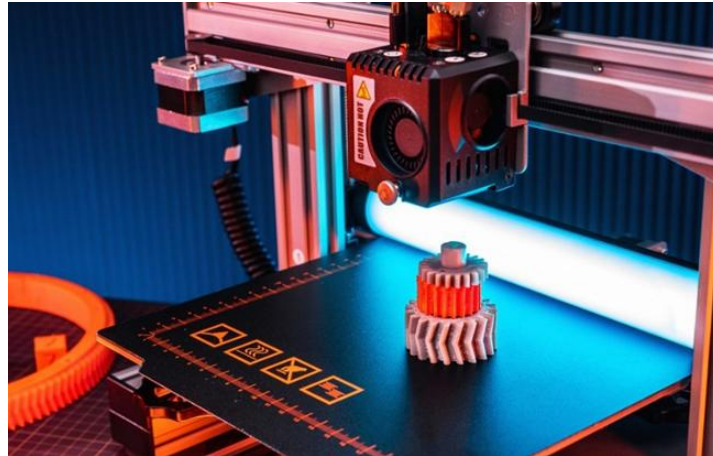


Figura 1. Impresión 3D.

Fuente: Universidad de Salamanca (2020)

1.2 Ventajas y Desventajas de la Impresión 3D

La impresión 3D permite la creación de objetos tridimensionales que se ajustan a las necesidades y preferencias de diseño sin costos adicionales. Siendo de mucha utilidad en diversos sectores, tanto en ingeniería para la creación de piezas precisas y exactas; así como también, en áreas de medicina donde se pueden imprimir prótesis y dispositivos médicos a medida. Por otra parte, Merino (2023), menciona algunas ventajas que ofrece este proceso:

- La impresión 3D permite obtener ejemplares funcionales en menor tiempo, ayudando a acelerar el proceso de diseño y desarrollo de productos, reduciendo además los costos asociados a la producción de moldes y herramientas.
- No genera desperdicio de material, se utiliza la cantidad de material exacta para imprimir un objeto, lo que reduce los desperdicios, y por tanto disminución de costo, en comparación con distintos métodos de fabricación habituales.

Sin embargo, no todo son beneficios, también existen algunas desventajas:

- **Limitaciones de materiales.** A pesar de que la impresión 3D avanza exponencialmente en la variedad de materiales disponibles, aún existen limitaciones en comparación con métodos de fabricación tradicionales.
- **Velocidad de impresión.** La impresión 3D suele ser un proceso lento, especialmente cuando se imprimen objetos de gran volumen y alta complejidad, lo que limita la capacidad de producción en masa.
- **Calidad y precisión.** La impresión 3D puede tener limitaciones en términos de calidad y precisión en comparación con los métodos de fabricación tradicionales, lo que puede afectar la funcionalidad y durabilidad de los objetos impresos. (pág. 24)

1.3 Historia de la Impresión 3D

La impresión 3D nació como una tecnología robusta y exclusivamente de uso industrial, usada para el prototipado rápido. Actualmente, existen impresoras 3D de tipo comercial y más accesibles a la población en general. Los primeros trabajos de fabricación aditiva se llevaron durante la década de 1980; según Toledano (2023) la primera impresora 3D fue la “SLA 250” lanzada en 1988 por la empresa 3D Systems a cargo del ingeniero Chuck Hull. Al siguiente año, Scott y Liza Crump desarrollan el Modelado por Deposición Fundida y su comercialización en 1990.

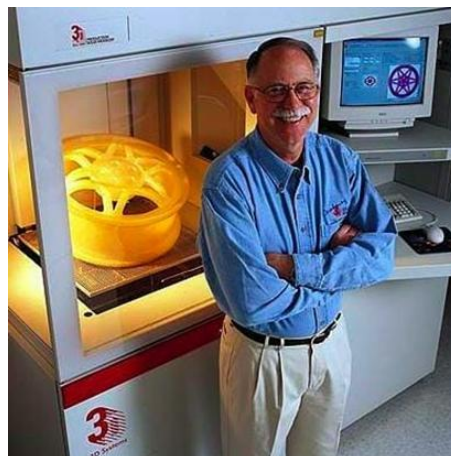


Figura 2. Chuck Hull junto a impresora SLA.
Fuente: Impresoras3d.com

Existían otros inventores trabajando en la fabricación aditiva pero sus investigaciones tomaron más tiempo y no hubo mayor interés en la industria. Galbiati (2019) menciona que la tecnología de impresión 3D SLS se empezó a estudiar y patentar en 1987 por los

doctores Carl Deckard y Joseph Beaman en la Universidad de Texas, pero no tuvo comercialización hasta el 2006.

La creación de la impresión FDM y SLA fue el despegue para la fabricación aditiva, se empezó a aplicar en distintas industrias, se generaron nuevos materiales, máquinas de código abierto y comerciales, entre otros trabajos, que han hecho de la impresión 3D una opción de calidad a un menor precio y tiempo.

1.4 Tipos de Impresión 3D

La manufactura aditiva ha sido el foco para investigaciones y patentes, que han dado lugar a distintas técnicas de impresión 3D, empleando un mismo concepto (adición de material) pero diferente forma de aporte de material. Fernández (2019) distingue las siguientes tecnologías de impresión 3D:

- Modelado por Deposición Fundida (FDM)
- Estereolitografía (SLA)
- Fabricación de Objetos Laminados (LOM)
- Sinterizado Selectivo por Láser (SLS)
- Fusión Selectiva por Láser (SLM)
- Fusión por electrohaz (EBM)

Existe gran variedad de tecnologías de manufactura aditiva, sin embargo, los tipos de impresión más difundidos a nivel global son el Modelado por Deposición Fundida (FDM), la Estereolitografía (SLA) y el Sinterizado Selectivo por Láser (SLS).

1.4.1 *Modelado por Deposición Fundida*

A esta tecnología también se le denomina Fabricación por Filamento Fundido (FFF). Se basa en la fundición y extrusión de un filamento termoplástico, a través de una boquilla, en forma de minúsculos hilos que se solidifican conforme van las capas, para ir creando la pieza capa a capa, de abajo a arriba, sobre una plataforma o base. (Miranda, 2020)

La principal ventaja de este método de impresión es su versatilidad, ya que permite imprimir con una gran variedad de polímeros. Además, la relativa simplicidad del proceso lo convierte en una opción interesante capaz de fabricar piezas en tiempos de producción

cortos. El principal inconveniente es su limitada exactitud y precisión, lo que puede dificultar la obtención de una buena repetibilidad de las piezas. (Arufe García, 2021)

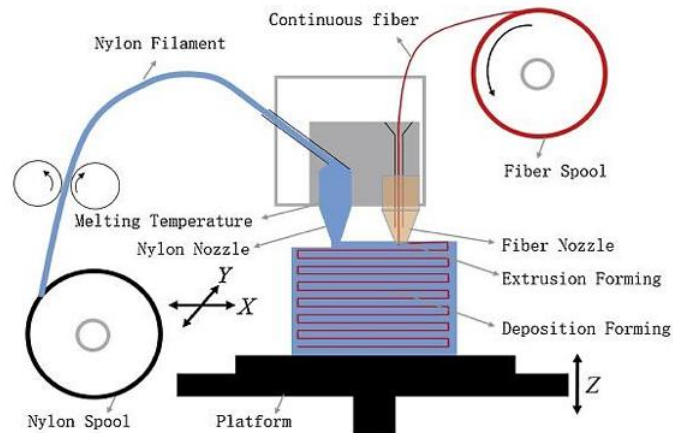


Figura 3. Esquema de Impresora FDM.

Fuente: Study on 3D Printing with Fiber Reinforcement and its Aerospace Applications (2021)

1.4.2 Estereolitografía (SLA)

Es el primer método de impresión 3D. Inicialmente el método consistía en la fotopolimerización de una resina a través de un láser que describe punto a punto la forma de las capas de la pieza. Una vez terminada una capa, la plataforma desciende sumergiendo la capa curada en resina líquida, repitiéndose el proceso. (Miranda, 2020)

Luego de unos años, este tipo de impresión sufre cambios: en lugar de trabajar con un láser, trabajan con un proyector de luz (ultravioleta o cristal líquido), logrando la solidificación de la resina por capa en lugar de punto a punto (Miranda, 2020).

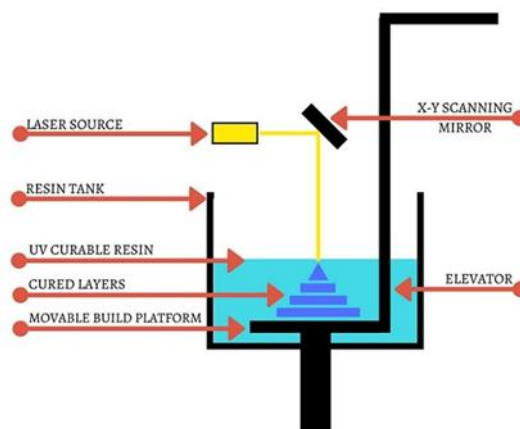


Figura 4. Componentes para máquina SLA.

Fuente: Manufactur3Mag (2019)

1.4.3 Sinterizado Selectivo por Láser (SLS)

La sinterización selectiva por láser es el más utilizado en la industria. Se basa en la fusión de un material en polvo; utilizan un láser de alta potencia para fundir pequeñas partículas de polvo polimérico. El polvo no fundido soporta la pieza durante la impresión, eliminando la necesidad de medios especiales (Salomón, 2020). Las piezas resultantes tienen buenas propiedades mecánicas y alta resistencia, de aquí que sea de uso industrial.

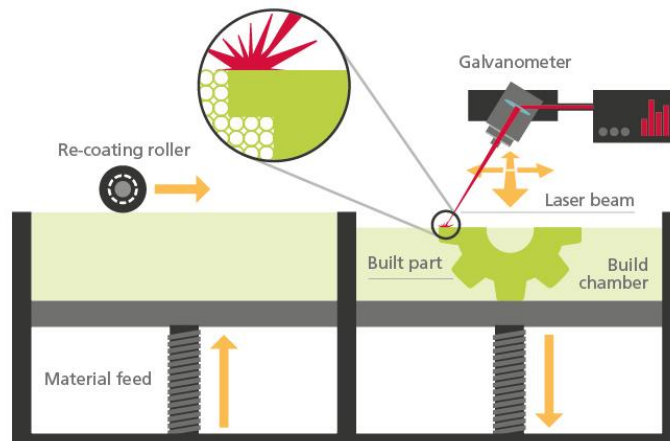


Figura 5. Esquema tecnología SLS.

Fuente: RICOH 3D

1.4.4 Fabricación de Objetos Laminados (LOM)

“Este método utiliza capas de papel, plástico o laminados metálicos recubiertos con pegamento, que se funde con calor y presión y se corta con un láser controlado por una computadora. El objeto 3D se crea capa por capa” (Arcos Valencia & Nuela Yanchapanta, 2019). Es una tecnología de bajo costo y poco difundida.

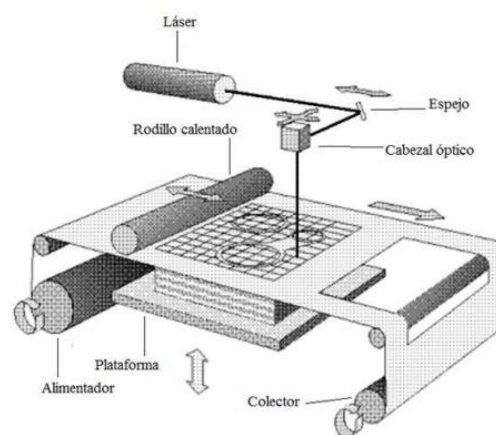


Figura 6. Esquema de Impresión LOM.

Fuente: Auros (2018)

1.5 Aplicaciones

Actualmente hay muchos sectores de la industria que están adoptando tecnología de impresión 3D para el desarrollo de piezas, partes y prototipos de algunos sectores de importancia que están en fases de producción.

Algunas de los sectores que utilizan la tecnología de impresión 3D especificado por Salomón (2020), son los siguientes:

- **Automovilismo:** Llantas, tornillos antirrobo, pinzas de freno, alerones, son ejemplos cada vez más habituales en la fabricación de automóviles que utiliza la impresión 3D dada la flexibilidad que ofrece en diseño.
- **Electrónica:** La impresión 3D de componentes electrónicos está ganando terreno en el marco de la producción en el sector de la electrónica. Se ha embarcado en productos electrónicos impresos en 3D, ganando rapidez de producción y aumentado también la demanda personalizada.
- **Aeronáutica:** La Impresión 3D en la industria aeronáutica, ha sido donde mayor adopción se ha logrado. Hoy en día, el 68% de las empresas del ámbito aeroespacial y defensa aérea, utilizan la impresión 3D como una herramienta de sus procesos, o como la base de ellos. Las aplicaciones van desde un prototipo, hasta la producción de partes que hoy en día, han vuelto las turbinas y motores mucho más eficientes. La Impresión 3D en Aeronáutica permite crear herramientas de manufactura completamente a medida, que no solo ahorrarán en peso, sino que mantendrán una mayor resistencia y precisión dimensional.
- **Medicina:** Una de las principales revoluciones en el ámbito de salud vinculada con la impresión 3D es la fabricación de bio-modelos que sirven para ensayar la intervención quirúrgica. Consiste en la impresión de una réplica exacta de aquellos órganos o huesos dañados, que son objetivo para realizarles una operación quirúrgica. La impresión 3D también se está empleando en pacientes con deformidades craneofaciales, deformidades oncológicas de cráneo y cara o reconstrucciones maxilofaciales, es decir la fabricación de prótesis con la capacidad de ser muy personalizadas. (pág. 59-61)

Los autores Arcos Valencia & Nuela Yanchapanta (2019), también toman en cuenta áreas como:

- **Arquitectura.** La impresión 3D ayuda en la fabricación de maquetas de proyectos arquitectónicos con mayor facilidad y precisión, permitiendo realizar trabajos en menor tiempo y con detalles. Además, se han desarrollado máquinas que permiten imprimir casas de concreto. En Japón, por ejemplo, se logró construir una casa sismorresistente mediante impresión 3D.
- **Arte.** Se puede desarrollar y crear un nuevo arte moderno. Estas impresoras son capaces de recrear modelos tridimensionales que pueden ser accesibles para todas las personas a nivel mundial, lo que puede ayudar en museos.
- **Alimentación.** Imprimir en 3D ha ido evolucionando paulatinamente a tal punto de llegar al campo de la alimentación. Prácticamente, cualquier cosa líquida o en polvo se puede utilizar para imprimir en 3D. (Pág. 17-18)



Figura 7. Casa sismorresistente impresa 3D en Japón.
Fuente: Nippon.com (2023)

1.6 Impresión por Sinterizado Selectivo por Láser (SLS)

El proceso de sinterización selectiva por láser, también conocido como SLS, es un tipo de impresión tridimensional a base de polvo que produce artículos con gran exactitud y precisión. Utiliza un láser para fusionar partículas microscópicas de material en un objeto sólido (Lakraimi y otros, 2024). Se basa en la metalurgia de polvos, resultando en piezas de alta calidad y con un menor gasto en materia prima a consecuencia de que, comparado con los demás tipos de impresión, no necesita soporte porque el polvo no sinterizado sirve de apoyo haciendo posible la impresión de piezas complejas.

El autor Arufe García (2021) menciona que la impresión SLS es una técnica en la que un lecho de polvo se calienta selectivamente mediante un láser, uniendo el material, y dando forma a la parte final. Los parámetros del proceso tienen una gran influencia en las propiedades mecánicas finales y la microestructura de la pieza producida. Siendo los parámetros más importantes: la potencia del láser, la velocidad de escaneo del láser, la distancia de eclosión, las superposiciones de sombreado, los estilos de sombreado, etc.

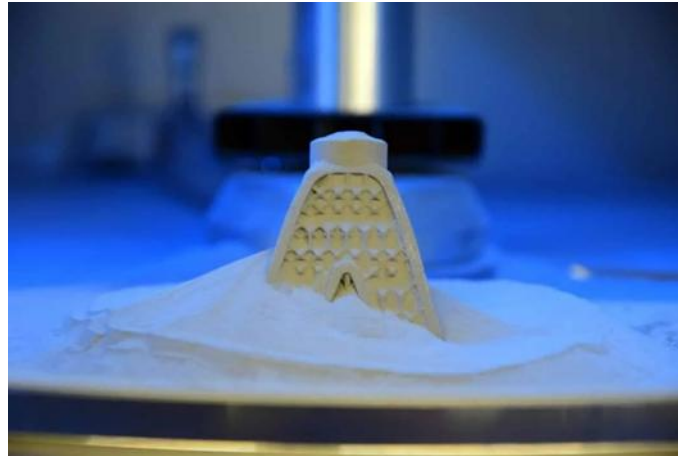


Figura 8. Pieza impresa por SLS.

Fuente: Dassault Systèmes

1.7 Principio de Funcionamiento de la Impresión SLS

El proceso se realiza capa por capa, a partir de polvos fusionados, gracias a la temperatura generada por un láser. Para ello, este deposita una fina capa de material en polvo sobre la plataforma dentro de la cámara de impresión. El láser recorre una sección transversal del modelo 3D y precalienta el polvo hasta alcanzar una temperatura cercana a la de fusión del material, provocando que las partículas se fusionen y solidifiquen. Cuando la capa se completa, la plataforma se desplaza hacia abajo, se vuelve recubrir la superficie de material en polvo y se repite el proceso hasta que la pieza se completa. (Miranda, 2020)

La pieza terminada queda completamente encapsulada en el polvo y se deja enfriar de manera gradual dentro de la impresora (este proceso puede llevar hasta 12 horas). Cuando la pieza se ha enfriado, se retira la cámara de impresión y se limpia con aire comprimido u otro medio, para quitar el exceso de polvo. El polvo no solidificado actúa de material de soporte y puede ser reciclado para posteriores trabajos sin afectar los resultados finales. (Miranda, 2020)

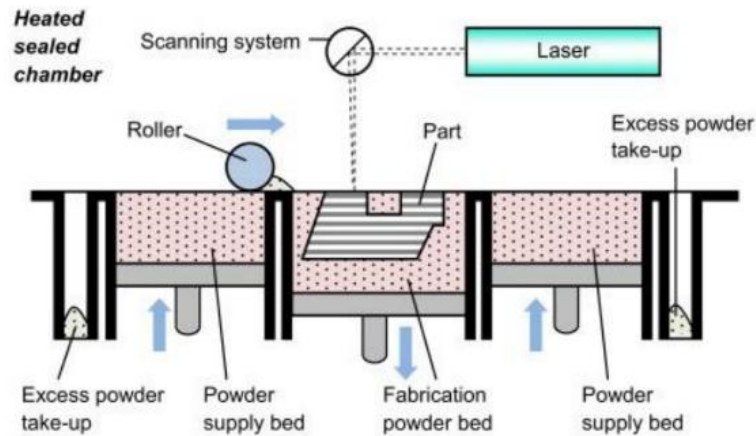


Figura 9. Mecanismo SLS.

Fuente: Study on 3D Printing with Fiber Reinforcement and its Aerospace Applications (2021)

De acuerdo con Arufe García (2021) el proceso de impresión 3D SLS inicia con el diseño de la pieza en un software CAD generando un archivo STL, el cual debe ser compatible con slicer; este es el programa encargado de las coordenadas de posicionamiento, la inserción de parámetros y descomponer el diseño en capas. El resultado final del Slicer siempre será un archivo de código G, con toda la información e instrucciones necesarias para que la impresora fabrique la pieza final.

1.8 Partes de la Impresora SLS

De acuerdo con Pring (2023), las partes principales de esta tecnología son las siguientes:

- **Cilindro o Deposito de Alimentación:** Es el depósito que contiene el polvo necesario para realizar la impresión. Cuenta con una plataforma móvil encargada de exponer el polvo para que sea trasvasado a la zona de impresión.
- **Cilindro o Deposito de Impresión:** Es la zona donde se formarán las piezas. Cuenta con una plataforma móvil sobre la cual se comenzarán a fabricar las piezas.
- **Depósito de desbordamiento:** Es el depósito donde se almacena el exceso de polvo arrastrado por el rodillo de distribución.
- **Rodillo de distribución:** Es el elemento responsable de trasladar el polvo desde el cilindro de alimentación al de impresión y formar así las capas. El exceso de polvo arrastrado acaba en el depósito de desbordamiento.

- **Láser:** Es el dispositivo responsable de sinterizar selectivamente el polvo. Lo hace mediante un barrido donde el movimiento puede ser mediante un sistema de movimiento en pórtico (más lento) o mediante galvo (más rápido).
- **Sistema de Control:** Controla y monitoriza todos los parámetros de la impresión, como la potencia del láser, velocidad de escaneo, temperatura, etc.

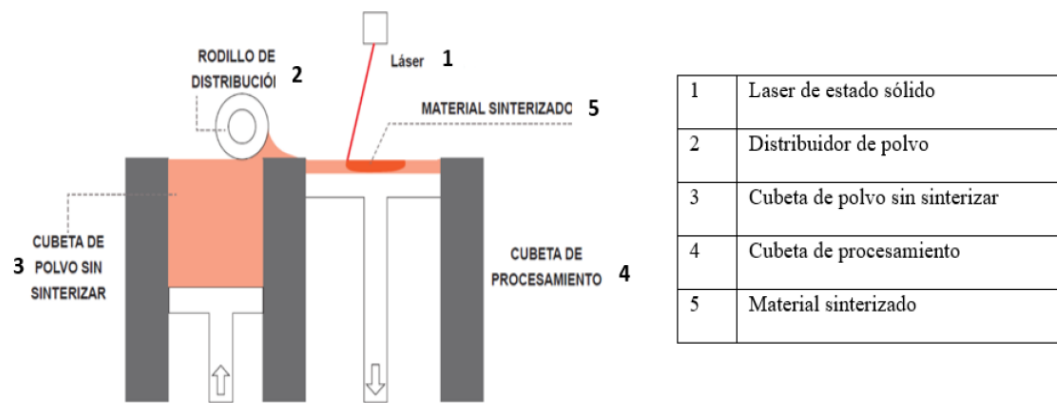


Figura 10. Partes de la Impresora 3D

Fuente: Barreda, 2015

1.9 Ventajas y Desventajas

La impresión 3D SLS es una tecnología ampliamente usada industrialmente ya que posee características clave para el desarrollo técnico, además de que las piezas finales son de alta calidad y resistencia. De acuerdo con Shenzhen Rapid Direct Co., Ltd. (2022) la impresión SLS tiene las siguientes ventajas:

- A diferencia de otros procesos de manufactura aditiva, el Sinterizado Selectivo por Láser no requiere de estructuras de soporte, lo que se traduce en menor cantidad de materia prima, lo que genera un ahorro monetario.
- Permite realizar diseños de alta complejidad con alta precisión y detalle, generando piezas resistentes y funcionales en un menor tiempo.
- Minimiza el desperdicio de materiales en polvo debido a que las partículas no sinterizadas son reciclables pudiéndose usar en próximos procesos.

A pesar de las bondades que tiene y lo popular que es en la industria, tiene ciertas limitantes que se deben considerar. El autor Shenzhen Rapid Direct Co., Ltd. (2022) enlista las siguientes desventajas:

- Al ser la materia prima en forma de polvo se puede inhalar si no se tiene cuidado, lo que puede conducir en enfermedades respiratorias. Además, los fabricantes deben invertir más en equipos de protección adecuados.
- Las impresoras SLS tienen un costo elevado en comparación que las demás tecnologías, al igual que la materia prima.
- Las piezas al tener una textura rugosa requieren de posprocesamiento, y al ser diseño complejo se dificulta la elección de un método posprocesamiento adecuado.

1.10 Materiales para la Impresión SLS

La impresión SLS cuenta con una variedad de materiales; desde aleaciones, metales y plásticos, presentados a manera de polvo. Cada tipo de material tiene propiedades específicas, y la elección dependerá de los factores de diseño y requerimientos de la pieza a fabricar. Normalmente las impresoras 3D SLS utilizan polímeros termoplásticos en polvo, de los cuales la familia más común y versátil es la de la PA (poliamida), también llamada nylon, otros polvos utilizados son el TPE (elastómero termoplástico) y TPU (poliuretano termoplástico), los plásticos como la goma y el PP (polipropileno), un material resistente a las sustancias químicas, así mismo, también se puede sinterizar con diferentes metales como el aluminio, plata y acero, aunque para estos se utiliza el Fundido Selectivo por Láser (SLM). Sin embargo, para poder tener una composición mejor en diferentes aspectos se ha creado una aleación entre el nylon y el aluminio, esta aleación normalmente es conocida como “alumide”. Los autores Awad, Fina, Goyanes, Gaisford, & Basit, (2020) mencionan que actualmente la mayoría de las impresoras SLS comercialmente emplean láseres de dióxido de carbono (CO₂), que proporcionan mayor potencia a menor costo, lo que permite el uso de una amplia gama de termoplásticos en polvo. El Alumide se podría considerar como un tipo de material compuesto utilizado en la impresión 3D combinando las propiedades características del aluminio - nylon, ofreciendo a su vez una alta resistencia mecánica y térmica, una excelente estabilidad dimensional y siendo de fácil impresión por su ligereza en comparación con otros metales.

Los autores Awad, Fina, Goyanes, Gaisford, & Basit, (2020) mencionan que actualmente la mayoría de las impresoras SLS comercialmente emplean láseres de dióxido de carbono (CO₂), que proporcionan mayor potencia a menor costo, lo que permite el uso de una

amplia gama de termoplásticos en polvo. Entre los materiales/polvos más comunes para el SLS incluyen: Nylon, Prolipopileno y TPU



Figura 11. Impresión hecha con AlumiDE.

Fuente: xometry.pro

1.10.1 Nylon

Existen varios tipos de nylon para la creación de piezas por SLS. Los nombres más comerciales son los siguientes:

- El **Nylon 12 Powder** es un material de gran eficacia, tanto para el prototipado funcional como para la producción de uso final de ensamblajes complejos y piezas resistentes con una gran estabilidad ambiental. Formlabs (2021), ha desarrollado específicamente para su uso en las impresoras 3D SLS de la serie Fuse.
- El **Nylon P11 CF** y la fibra de carbono se lleva muy bien con este material de gran estabilidad y alto rendimiento, perfecto para aplicaciones de uso final que requieran una gran rigidez y una tenacidad superior. El Nylon 11 CF Powder puede fabricar piezas ligeras y rígidas, con una de sus más grandes cualidades es capaz de soportar impactos repetidamente y permanecer estables con el paso del tiempo, incluso a temperaturas elevadas.
- El **Nylon 12 GF** es un material que contiene partículas de vidrio que proporcionan mayor dureza y estabilidad térmica para entornos industriales exigentes. El Nylon 12 GF Powder es ideal para fabricar prototipos funcionales rígidos o piezas de uso final para aplicaciones en las que la rigidez estructural y la estabilidad térmica son cruciales.

- El **Nylon 11 Powder** proporciona un alto rendimiento, es ideal para la producción de lotes pequeños de piezas dúctiles y robustas. En comparación con el Nylon 12 Powder, el polvo de Nylon 11 Powder es más flexible, menos frágil y mejor para imprimir paredes delgadas. (pág. 10-15)



Figura 12. Tipos de Polvos PA.
Fuente: sinterit.com

1.10.2 Polvo de Polipropileno.

El polvo de polipropileno que “Formlabs (2021)” fabrica, se utiliza para producir prototipos funcionales y piezas de uso final duraderas que sean resistentes a los productos químicos, soldables y estancos. El “Polypropylene Powder” ofrece una gran ductilidad que permite doblarlo y flexionarlo repetidamente con una buena durabilidad, sin que haga falta un control de inertización atmosférica.

1.10.3 Polvos de TPU.

Los polvos de poliuretano termoplástico (TPU) tiene una libertad de diseño y una facilidad sin igual. Al equilibrar un gran alargamiento de rotura y una excelente resistencia al desgarro, el TPU 90A Powder permite imprimir en 3D prototipos flexibles seguros para la piel y piezas de uso final que soporten los rigores de un uso diario. (Formlabs, 2021)

1.11 Aplicaciones

Para Formlabs (2021), la impresión 3D por SLS acelera la innovación e impulsa a los negocios en muchas industrias, incluyendo la ingeniería, la fabricación y el sector sanitario. Las aplicaciones de SLS abarcan muchos campos, incluidos los sectores

aeroespacial, automotriz, militar, médico, odontológico, de ingeniería y electrónico. Shenzhen Rapid Direct Co., Ltd. (2022) especifica ciertas aplicaciones en diversos sectores industriales y comerciales:

- **Industria aeroespacial:** Se usa para fabricar piezas interiores de aeronaves y componentes de cabina, como cubiertas de monitoreo de video y rejillas de ventilación.
- **Industria automotriz:** Porsche Classic utiliza la impresión SLS para fabricar recambios de plástico para algunos de sus coches clásicos raros. La empresa considera que imprimir estas piezas en 3D bajo demanda es la única forma práctica de proporcionar recambios a vehículos que ya no se fabrican.
- **Medicina:** Es utilizado en la fabricación de implantes individualizados, modelos orgánicos, dispositivos médicos o herramientas quirúrgicas de gran precisión.
- **Ingeniería:** Permite la creación de modelos a escala, piezas funcionales, como engranajes, tornillo sin fin, etc. o partes de máquinas discontinuadas.



Figura 13. Férula para mano.

Fuente: formlabs.com

1.12 Impresoras SLS Comerciales

Las impresoras 3D SLS se destacan por su eficiencia y alta precisión; no obstante, su comercialización está limitada a las grandes industrias debido a su elevado costo de adquisición. A continuación, se detallan ciertas impresoras del mercado, sus dimensiones y rango de precio:

- **Lisa Pro de Sinterit:** Es una máquina creada por la empresa polaca Sinterit en 2015. Se presentó como una solución de escritorio incorporada con una atmósfera antioxidante de nitrógeno. Ofrece compatibilidad con dos poliamidas, cuatro elastómeros y polipropileno, además de PA12 Smooth y PA11 Onyx. Utiliza un láser diodo de 5W y su volumen de impresión es de 150 x 200 x 260 mm (Contreras, 2022). Su precio en el mercado supera los \$15000, adquirir un KIT con todos los instrumentos necesarios para el pre y postratamiento tiene un costo de 27 990 €, es decir, \$30406,80.



Figura 14. Kit LISA PRO de Sinterit.
Fuente: Sinterit 2024

- **S3 de Sintratec:** Es una máquina suiza que tiene la posibilidad de ampliar el volumen de impresión a través de módulos. El Sintratec S3 es un módulo de fusión de alta tecnología que procesa materiales de grado industrial con un potente láser de fibra de 30 W con un volumen de impresión de 1490 x 990 x 600 mm. Su precio en página y sin impuestos va a partir de los 25 800 €. (Contreras, 2022)



Figura 15. Sintratec S3.
Fuente: Sintratec (2024)

- **Fuse 1+ 30 W de Formlabs:** Formlabs es una empresa estadounidense que desarrolló su impresora 3D SLS Fuse 1 en el 2021. Es una máquina industrial compacta que emplea un láser de 30 W de fibra de iterbio con un volumen máximo de impresión de 165 x 165 x 300 mm, permite imprimir con seis materiales industriales de alto rendimiento, que incluyen el nylon 11, el nylon 12, el poliuretano termoplástico, el polipropileno y materiales compuestos de nylon reforzados con vidrio y carbono. Además, cuenta con la opción de trabajar con una atmosfera de nitrógeno. Su precio va desde los \$28 989, hasta los \$54 583 la estación completa de trabajo. (Contreras, 2022)



Figura 16. Fuse 1+ 30 W de Formlabs.
Fuente: Formlabs (2024)

- **SPro 230 de 3D Systems:** El gigante de la impresión 3D estadounidense. 3D Systems tiene múltiples impresoras 3D SLS disponibles a través de sus líneas. La impresora SLS “sPRo 230”, de gran capacidad ha sido diseñada para la

producción de piezas termoplásticas. La máquina es compatible tanto con nylon duradero, asimismo, con materiales compuestos como el nylon 11 y 12. Con un volumen de construcción de 550 x 550 x 750 mm, Permitiendo fabricar piezas de gran tamaño sin necesidad de realizarlo por partes. Además, la máquina cuenta con una serie de funciones interesantes como el anidamiento automatizado de piezas en 3D.



Figura 17. Impresora sPro 230 de 3D Systems.

Fuente: Gruposg.com (2022)

- **P 810, de EOS:** EOS el fabricante de impresoras 3D de origen alemán, siendo un pilar en la impresión 3D industrial centrada sobre todo en la fusión de polímeros y metales con lecho de polvo láser. Es una impresora 3D SLS con un volumen de construcción de 700 x 380 x 380 mm que es precisa y rápida. La impresora está diseñada para crear piezas de polietercetona (PEKK) rellenas de fibra de carbono, HT-23. La combinación de uno de los polímeros más resistentes junto con un 23% de fibra de carbono, permite obtener piezas con una excelente resistencia y bajo peso que son capaces de soportar altas temperaturas. Además, el material es ignífugo y resistente a los rayos UV y cumple con las normas aeroespaciales (FAR 25.853) y de movilidad (EN 45545).



Figura 18 Impresora Industrial EOS P810.

Fuente: Eosstore.com (2024)

1.13 Impresoras Open SLS

La falta de una tecnología de sinterizado láser asequible motivó la construcción de un sistema de sinterizado selectivo por láser de código abierto. “Open-source” hace alusión a un software que todos pueden ver, manipular, colaborar y utilizar de forma gratuita. Kinstlinger y otros (2016), mencionan que el Open-SLS representa una importante incorporación al creciente conjunto de tecnologías de código abierto que ofrecen a los ingenieros y científicos acceso y control sin precedentes sobre herramientas avanzadas de fabricación y análisis a bajo costo.

Kinstlinger, y otros (2016) indican que para su construcción se aprovechan las características de un cortador láser comercial junto con un módulo de distribución de polvo simple. La electrónica y el firmware de control se desarrollan utilizando una placa base electrónica de código abierto; RAMBo o Arduino, con firmware de código abierto. Para realizar la impresión se requiere de un software libre generador de código G, como: REPETIER, Slic3r, Mach3, entre otros. Cabe señalar que OpenSLS es una opción económica por lo que no incorpora el conjunto completo de características que se encuentran en los sistemas SLS comerciales: como el precalentamiento de polvos y el entorno de sinterización con gas inerte; su rango de precio va desde los \$2000 hasta los \$4000, dependiendo de la región y especificaciones que se incluyan.



Figura 19. Impresora OpenSLS desarrollada por SLS4ALL.
Fuente: SLS4ALL (2024)

1.14 Tipos de Impresión por Sinterizado Láser

Aunque los procesos de fabricación por láser llevan la misma filosofía, cada tecnología tiene sus características específicas, que van desde material, posprocesamiento hasta aplicaciones. Dongdong (2015) señala tres tipos: Sinterizado Selectivo Láser (SLS), Fusión Selectiva por Láser (SLM) y Deposición de Metales por Láser (LDM).

1.14.1 Fusión Selectiva por Láser (SLM)

La Fusión Selectiva por Láser permite trabajar con polvos metálicos. “Se basa en un mecanismo completo de fusión/solidificación. La idea de la fusión total está respaldada por las condiciones de procesamiento láser continuamente mejoradas en los últimos años, lo que lleva a propiedades microestructurales y mecánicas significativamente mejoradas en relación con los de las primeras piezas procesadas con SLS” (Dongdong, 2015). Cabe destacar que posee alta viabilidad en el procesamiento de metales puros no ferrosos como el titanio, aluminio, cobre, etc.

Otros autores han afirmado lo siguiente:

Este método a diferencia del SLS se caracteriza por producir elementos de alta complejidad con densidad completa, y usar polvos sin aditivos de tal forma que no disminuye el punto de fusión y es requerida una mayor potencia de láser. Sin embargo, debido al último punto son generados mayores gradientes térmicos y conllevan a su vez a mayores esfuerzos residuales y distorsión en la pieza. (Rodríguez, 2022, págs. 18-19)

Dongdong (2015) describe que la impresión SLM surge impulsado por la demanda de producir componentes completamente densos con propiedades metálicas comparables a las de los materiales a granel, y con la finalidad de evitar posprocesamientos que consumen tiempo y recursos; sin embargo, se requiere de mayor potencia energética, que normalmente se logra aplicando una buena calidad del haz, una alta potencia del láser y un espesor de capa de polvo fino (es decir, un tiempo de construcción prolongado).

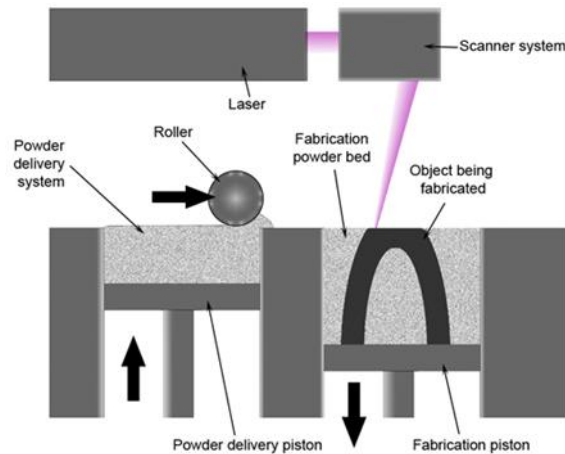


Figura 20. Esquema SLM.
Fuente: PCB WAY

1.14.2 Deposición de Metales por Láser (LDM)

“Aunque la estrategia de procesamiento de LMD sigue el principio general de sinterizado, la forma de abastecimiento de polvo cambia por un sistema alimentador de polvo, especialmente diseñado, que suministra el polvo a un sistema de gas a través de las boquillas” (Dongdong, 2015). El contar con un mecanismo de deposición de polvos multitejes permite la integración de varios materiales, generando compuestos mucho más resistentes.

LMD puede recubrir, construir y reconstruir componentes que tengan geometrías complejas, buena integridad del material. y precisión dimensional. En consecuencia, tiene una capacidad de proceso altamente versátil y puede aplicarse para fabricar nuevos componentes, reparar y reconstruir componentes desgastados o dañados y preparar recubrimientos resistentes al desgaste y a la corrosión. (Dongdong, 2015)

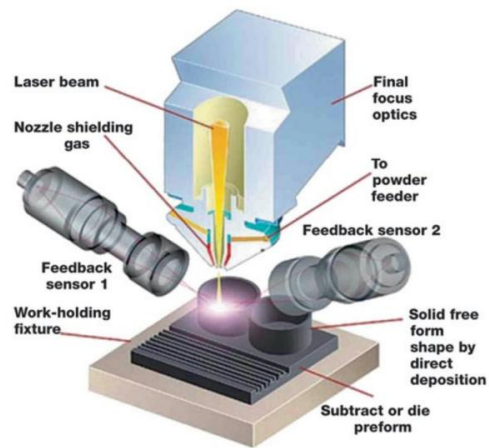


Figura 21. Esquema LDM
Fuente: Dongdong (2015)

CAPÍTULO II: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

2.1 Diseño de la Estructura de la Impresora 3D

Para el diseño estructural de la impresora 3D SLS, se utiliza de manera complementaria los softwares SolidWorks y Fusión 360, herramientas de modelado CAD ampliamente reconocidas en el ámbito del diseño mecánico e industrial. SolidWorks se emplea principalmente para el modelado detallado de perfiles estructurales y ensamblajes mecánicos, mientras que Fusión 360 se aprovecha para realizar ajustes paramétricos, simulaciones de esfuerzos y visualizaciones dinámicas, lo cual permitió validar aspectos funcionales del diseño.

El diseño de la impresora SLS se basa en una estructura formada por perfiles de aluminio V-SLOT, que tiene como medidas generales 530 mm de largo, 500 mm de ancho y 570 mm de alto, el depósito de polvo tiene una capacidad de 1000 cm³, que junto con un láser de 10W configuran un área de impresión de 100x100x100 mm.

Para simplificar el montaje de la estructura de la impresora 3D SLS se usa como base una máquina de impresión por extrusión de filamento TRONXY X5SA, la misma que es adaptada con un sistema de almacenamiento de polvo, un láser, rodillo de alimentación, paredes acrílicas transparentes, entre otras modificaciones necesarias para el sinterizado.

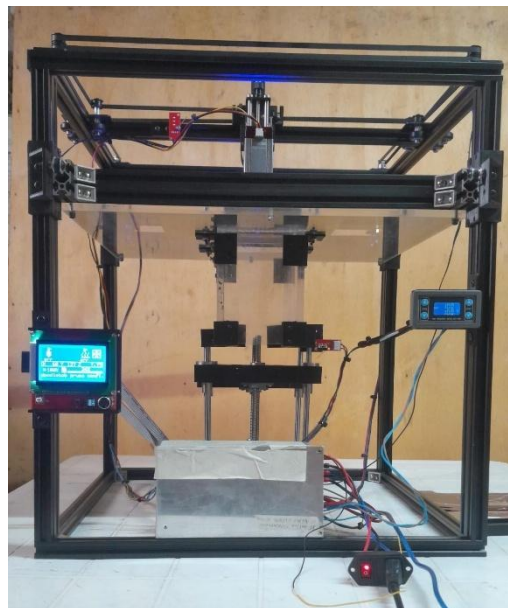


Figura 22. Prototipo de impresora 3D SLS.

Fuente: Elaboración propia

2.1.1 Selección del Tipo de Perfil V-SLOT

V-SLOT hace referencia a un sistema de perfiles de aluminio y accesorios que constituyen una base estructural ideal para el desarrollo de máquinas con un diseño profesional y modular. Gracias a su versatilidad, precisión y facilidad de ensamblaje, son ampliamente utilizados en la construcción de diversos sistemas, tales como: cortadoras láser, plotters 2D, fresadoras CNC, impresoras 3D, deslizadores para cámaras y actuadores lineales, entre otros (Naylamp Mechatronics, 2020).

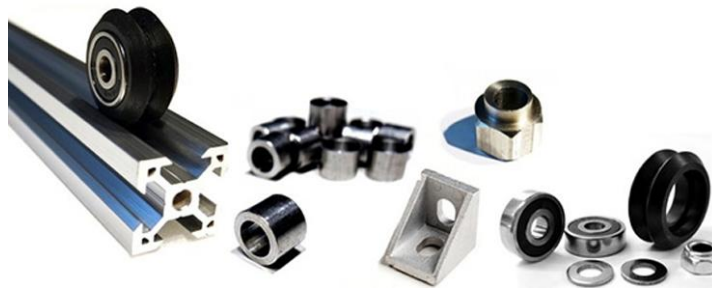


Figura 23. Instrumentos para perfiles V-SLOT.

Fuente: <https://naylampmechatronics.com/>

Tabla 1

Catálogo de perfiles V-SLOT

	1 CM Corte a medida por centímetro	50 cm	100 cm	150 cm	20 cm	320 cm Barra completa
2020	S/0.40 (ID#693)	S/20	S/36	S/50	S/60	S/95 (ID#687)
2040	S/0.66 (ID#694)	S/33	S/60	S/83	S/100	S/160 (ID#688)
2060	S/0.86 (ID#695)	S/43	S/78	S/108	S/130	S/205 (ID#689)
2080	S/01.24 (ID#696)	S/62	S/114	S/157	S/190	S/300 (ID#690)
4040	S/1.20 (ID#698)	S/60	S/105	S/145	S/175	S/290 (ID#692)
C-Beam	S/1.70 (ID#697)	S/85	S/156	S/215	S/260	S/140 (ID#691)

Fuente: Datos recopilados de la web https://naylampmechatronics.com/img/cms/catalogo_v-slot.pdf

A través de la tabla del tipo de perfiles estructurales V-SLOT, se realiza la selección de dos modelos para el diseño de la impresora 3D SLS: el perfil 2020 y el perfil 2040. Esta elección responde a las propiedades mecánicas, la compatibilidad con accesorios y la facilidad de integración en sistemas de movimiento lineal, factores determinantes para garantizar una estructura rígida, precisa y adaptable a los requerimientos del proyecto. El

empleo de este tipo de estructura modular facilita el montaje y el mantenimiento del prototipo, ofreciendo flexibilidad para futuras modificaciones. Además, su estructura liviana pero robusta contribuye a minimizar vibraciones, garantizando mayor estabilidad durante el proceso de sinterizado láser.

2020

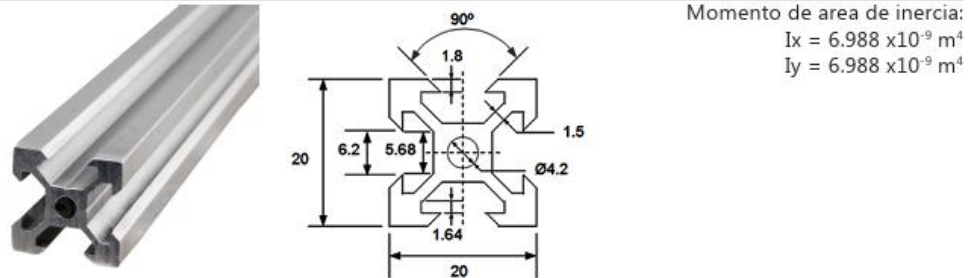


Figura 24. Medidas del perfil V-SLOT 2020.

Fuente: NAYLAMPMECHATRONICS (2020)

2040

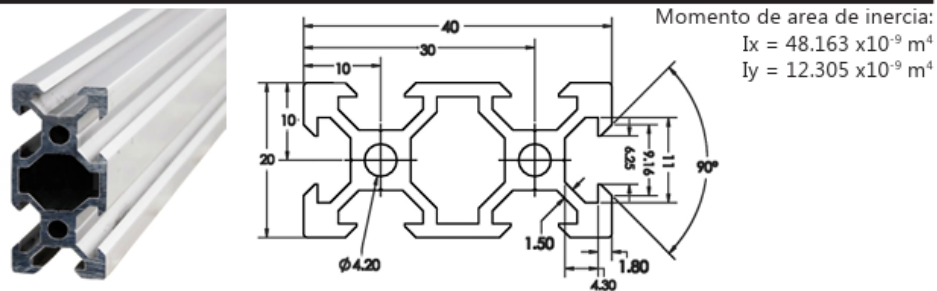


Figura 25. Medidas del Perfil V-SLOT 2040.

Fuente: NAYLAMPMECHATRONICS (2020)

2.1.2 Modelado de la Estructura

Para el diseño del eje vertical de la estructura (eje Z), se elabora el boceto inicial utilizando el software Fusión 360, aprovechando sus herramientas de diseño paramétrico y simulación. Se decide emplear un perfil de aluminio tipo V-SLOT 2040 con una longitud de 530 mm, seleccionado por su rigidez estructural, compatibilidad con sistemas de movimiento lineal y facilidad de integración con otros componentes mecánicos.

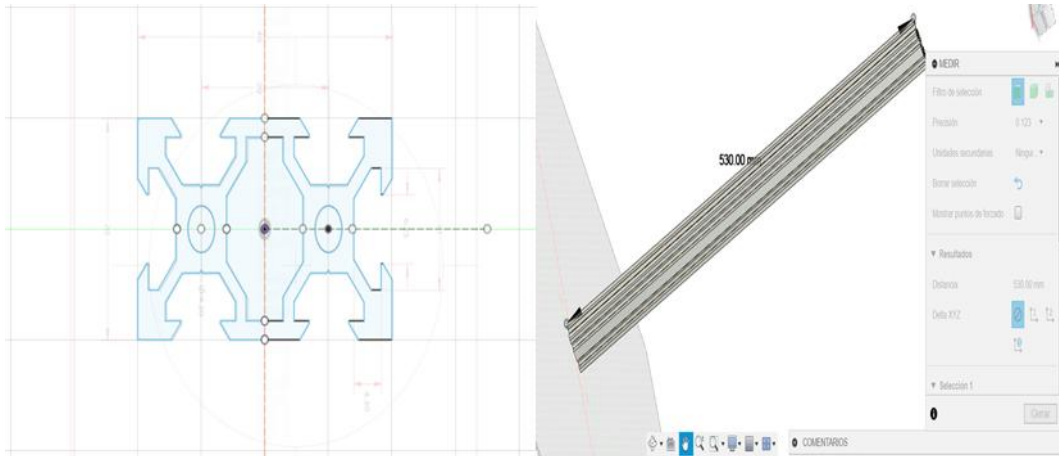


Figura 26. Modelado de perfil V-SLOT 2040 para eje Z.

Fuente: Elaboración Propia

Se realiza el boceto del perfil estructural V-SLOT 2020, con una longitud de 460 mm, el cual está destinado a conformar el eje Y de la impresora. Esta medida es seleccionada porque ensambla de forma precisa con el perfil V-SLOT 2040 correspondiente al eje Z. La elección del perfil 2020 en esta configuración permite una estructura liviana pero firme soportando desplazamientos lineales con mínima vibración, lo que favorece la precisión del sistema de movimiento a lo largo del eje Y.

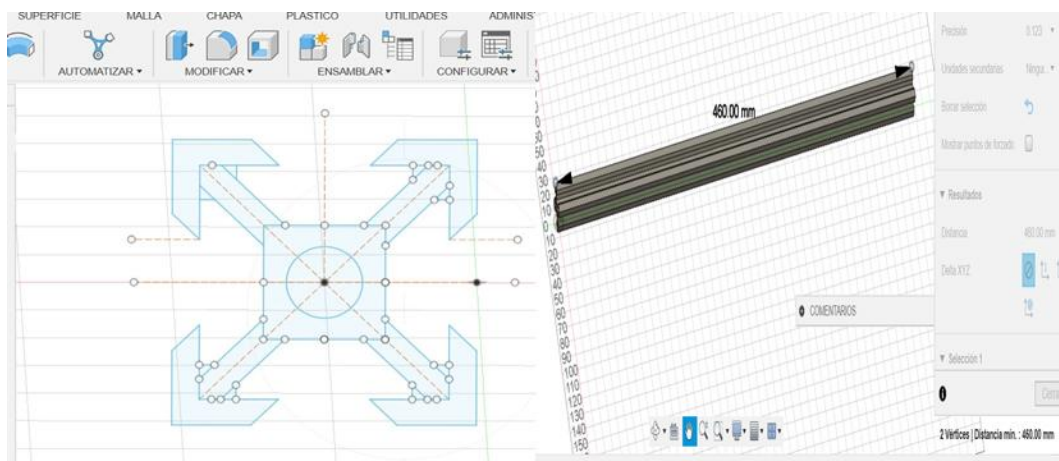


Figura 27. Modelado del perfil V-SLOT 2020 para eje Y.

Fuente: Elaboración propia

De igual manera, se modela y extruye el perfil estructural V-Slot 2020 con una longitud de 530 mm, destinado a conformar el eje X de la impresora.

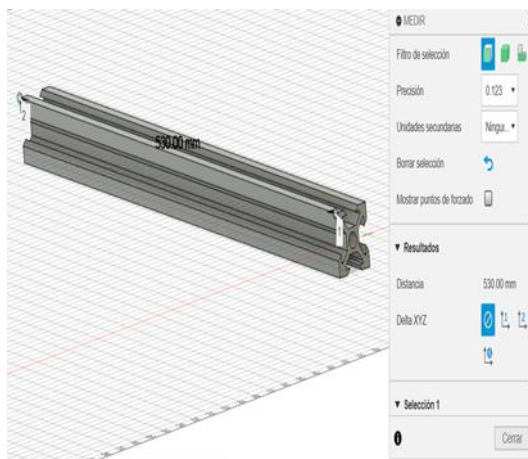


Figura 28. Modelado del perfil V-SLOT 2020 para eje X.

Fuente: Elaboración propia

Mediante el software SolidWorks se produce el ensamble de la estructura formada por los perfiles V-SLOT. Esta herramienta permite realizar un montaje preciso de los componentes, asegurando la correcta alineación y disposición espacial de los perfiles en cada uno de los ejes estructurales. Asimismo, SolidWorks permite el análisis de restricciones mecánicas y la optimización del diseño para garantizar una estructura rígida, funcional y adecuada para los requerimientos del proceso de sinterizado selectivo por láser (SLS).

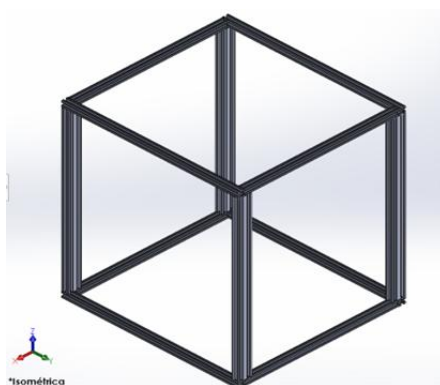


Figura 29. Ensamblaje de la estructura en SolidWorks.

Fuente: Elaboración propia

Se establecen las medidas generales de la estructura con respecto a los ejes cartesianos de la impresora 3D SLS, se define como dimensiones finales de eje a eje: 530 mm para el eje X, correspondiente al desplazamiento transversal del sistema láser; 500 mm para el eje Y, destinado del movimiento longitudinal de la plataforma de impresión; y 570 mm para el eje Z, encargado al desplazamiento vertical del sistema de elevación de capas.

Estas dimensiones han sido pensadas cuidadosamente para asegurar un volumen de trabajo eficiente y una estructura equilibrada.

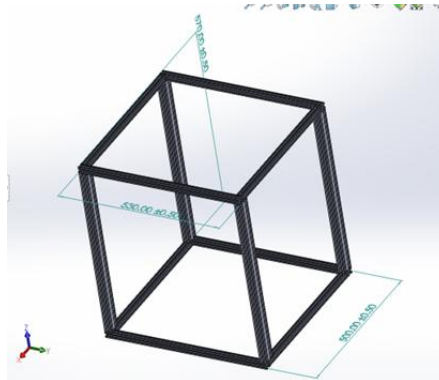


Figura 30. Modelado de la estructura: dimensiones.

Fuente: Elaboración propia

2.1.3 Modelado de la Estructura de la Cama de Sinterizado

La estructura correspondiente a la cama de sinterizado es diseñada empleando perfiles de aluminio tipo V-Slot 2040. Para su conformación se utiliza dos perfiles de 500 mm de longitud, dispuestos de forma longitudinal, y dos perfiles de 440 mm de longitud, colocados de manera transversal. Esta configuración permite establecer un marco rectangular robusto y estable, adecuado para soportar las cargas mecánicas generadas durante el proceso de sinterizado selectivo por láser (SLS), así como para garantizar una base rígida y alineada sobre la cual se montarán los mecanismos de movimiento y los componentes del sistema de deposición de material.

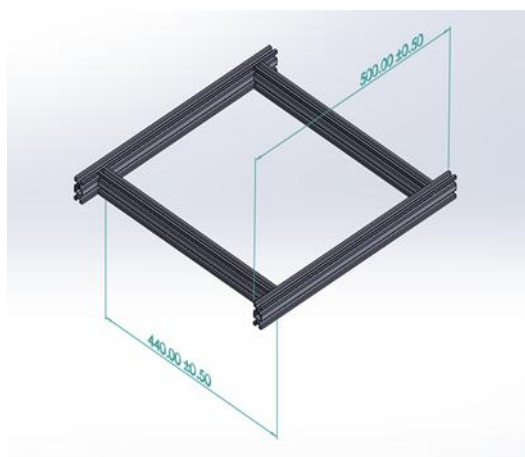


Figura 31. Diseño de la estructura de la cama de sinterizado.

Fuente: Elaboración propia

2.1.4 Modelo de la Base para Depósitos de Material

Tomando en consideración las dimensiones de la estructura destinada a la cama de sinterizado, se procede a diseñar la base sobre la cual se aloja los depósitos de material. Esta es configurada para asegurar la correcta alineación y estabilidad de los depósitos durante el proceso de alimentación del polvo. Además, se considera aspectos como el espacio requerido para el desplazamiento del rodillo distribuidor, la accesibilidad para recargar el material y la integración mecánica con los sistemas de movimiento vertical que permiten el ascenso y descenso controlado del material.

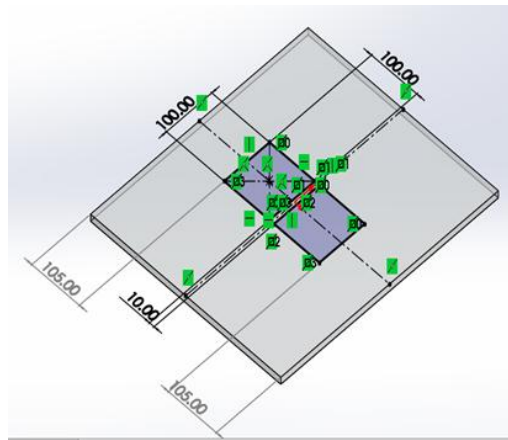


Figura 32. Diseño de la base para depósitos de material.
Fuente Elaboración propia

2.1.5 Modelado del Sistema de Elevación de los Depósitos

El sistema de elevación destinado al alojamiento de los materiales es diseñado de forma personalizada y a medida, con el fin de asegurar un desplazamiento fluido y preciso tanto en el ascenso como en el descenso, sin presentar inconvenientes durante su funcionamiento.

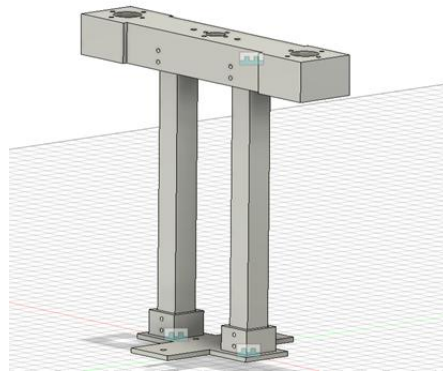


Figura 33. Diseño del sistema de elevación.
Fuente: Elaboración Propia

Seguidamente, se procede con el ensamblaje del sistema de elevación, integrando los depósitos de material y área de sinterizado, cada uno con dimensiones de 100 mm de ancho, 100 mm de largo y 100 mm de altura. El sistema modelado permite una dosificación uniforme del polvo durante el proceso de sinterización. La estructura es fijada cuidadosamente a la base de la impresora para garantizar estabilidad y alineación, permitiendo así un funcionamiento confiable en cada ciclo de impresión.

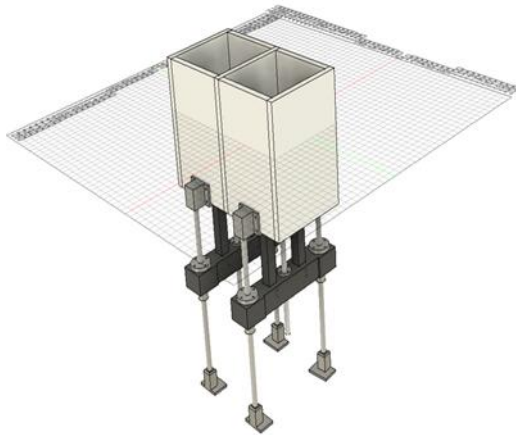


Figura 34. Ensamblaje virtual del sistema de elevación con los depósitos.

Fuente: Elaboración propia

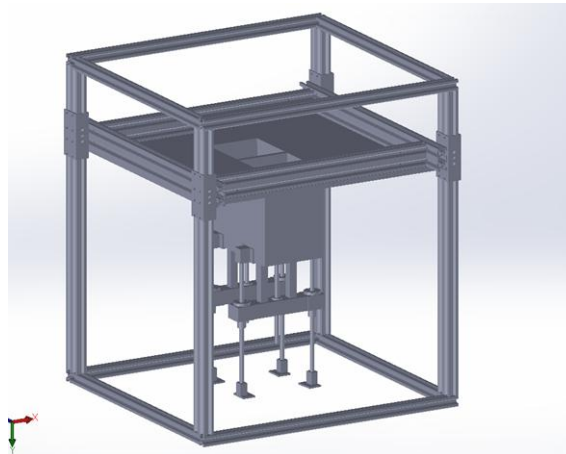


Figura 35. Ensamble virtual de sistema de elevación y estructura de la impresora.

Fuente: Elaboración propia

2.2 Ensamblaje de la Impresora 3D

2.2.1 *Ensamble de la Estructura*

Para el ensamblaje de la estructura de la impresora 3D SLS, se toma como guía principal el modelo digital elaborado en el software de diseño asistido por computadora

SolidWorks. Este entorno permite visualizar con precisión cada componente y facilita la planificación del proceso de ensamblaje de manera secuencial y organizada.

La estructura mecánica de la impresora es construida utilizando perfiles de aluminio del tipo V-slot; específicamente, se emplea dos tipos de perfiles: el perfil V-SLOT 2020 y el perfil V-SLOT 2040. El perfil 2020, con una sección transversal cuadrada de 20 x 20 mm, se utiliza en áreas donde se requiere una estructura ligera pero estable. En contraste, el perfil 2040, de sección rectangular de 20 x 40 mm, se destina a zonas que deben soportar mayores esfuerzos mecánicos o brindar mayor rigidez a la base del sistema.



Figura 36. Estructura de la impresora 3D.

Fuente: Elaboración propia

2.2.2 Ensamblaje de la Estructura para la Base del Sinterizado

Para realizar el montaje de la estructura de la base en donde se alojará la cama del material se utiliza dos perfiles de aluminio tipo V-SLOT 2040 con una longitud de 500 mm, junto con dos perfiles V-SLOT 2040 de 440 mm de longitud. Estos perfiles son seleccionados por su capacidad para proporcionar rigidez y estabilidad estructural en zonas críticas de la impresora.



Figura 37. Perfil V-SLOT para cama del material.

Fuente: Elaboración propia

El ensamblaje de dicha estructura utiliza módulos diseñados únicamente para alojar y soportar estos perfiles. Estos elementos son modelados digitalmente y fabricados mediante impresión 3D FDM, lo que permite adaptar sus dimensiones a los requerimientos del proyecto. Gracias a esta solución, se logra una unión firme, alineada y modular entre los perfiles.

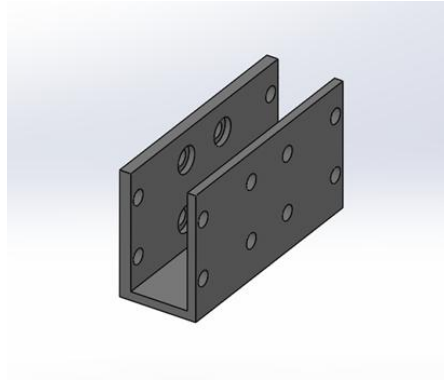


Figura 38. Diseño del módulo para el perfil V-SLOT 2040.

Fuente: Elaboración Propia

Esta estructura constituye el soporte principal sobre el cual es montada la cama de sinterización del material, por lo que su solidez y nivelación son aspectos fundamentales para el correcto funcionamiento del sistema SLS.



Figura 39. Ensamblaje de la estructura de la cama de sinterizado.

Fuente: Elaboración propia

Complementando y reforzando el ensamblaje de la estructura base, donde se alojará la cama de sinterizado, se utiliza ángulos metálicos, compatibles con los perfiles V-SLOT empleados. El uso de estos ángulos en específico permite aumentar la rigidez en las uniones y asegurar una correcta alineación entre los perfiles.

La integración de los ángulos se realiza mediante tornillos M4 x 8. Aplicar esta solución mejora significativamente la estabilidad de la estructura base, aspecto crucial para garantizar el correcto funcionamiento y la precisión del proceso de sinterizado.



Figura 40. Refuerzo de la estructura con ángulos.

Fuente: Elaboración propia

2.2.3 Ensamblaje de la Base para Motores del Sistema de Alimentación

Se procede con el ensamblaje de la base destinada a alojar los dos motores correspondientes al depósito de material. Dicha base está conformada por dos perfiles de aluminio V-slot 2040, cada uno con una longitud de 460 mm, los cuales proporcionan una estructura robusta y alineada para el soporte de los motores. Esta configuración garantiza una distribución uniforme de la carga y facilita la integración del sistema de alimentación de material dentro del conjunto general de la impresora SLS.



Figura 41. Ensamblaje para base de los motores.

Fuente: Elaboración propia

2.2.4 Ensamblaje de Base y Depósitos de Material

Se procede a la instalación de la base en donde estarán ensamblados los depósitos que contendrán el material en polvo utilizado durante el proceso de sinterizado. Dicha base

es fabricada con una plancha de acrílico de 9 mm de espesor. Esta plataforma garantiza una superficie firme y nivelada, lo que permite una correcta alineación de los depósitos y asegura el desplazamiento preciso del mecanismo de alimentación y compactación del material. Emplear acrílico también ayuda a reducir el peso general del sistema sin comprometer la rigidez necesaria para un funcionamiento eficiente y seguro del equipo.



Figura 42. Base para los depósitos del material.
Fuente: Elaboración propia

Seguidamente, se ensambla dos depósitos destinados a contener el material en polvo: uno para el almacenamiento y dosificación del material, y otro donde se llevará a cabo el proceso de sinterizado. Ambos son instalados sobre la base previamente montada. Las dimensiones empleadas para el acabado final de los depósitos fueron de 100 mm de ancho, 100 mm de largo y 100 mm de profundidad, lo que garantiza un volumen uniforme y adecuado para contener el material requerido en cada ciclo de sinterizado.

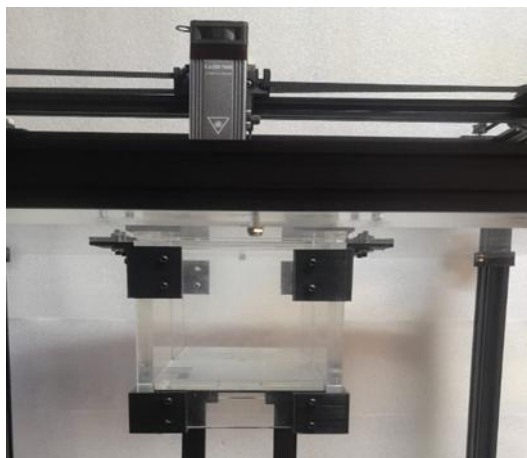


Figura 43. Ensamblaje de los depósitos a la cama base.
Fuente: Elaboración propia

2.3 Diseño de los Sistemas de Movimiento

El movimiento de la impresora es un factor muy importante a tener en cuenta, por ello, para un correcto diseño se divide en subsistemas de acuerdo con la función que realicen:

- Configuración de la impresora o subsistema de movimiento láser
- Subsistema de movimiento del suministro de material
- Subsistema de movimiento de la base de impresión y almacenamiento

En cada uno de estos subsistemas se integra motores NEMA 17; la elección estos en esta etapa del diseño responde a su fiabilidad, torque adecuado y compatibilidad con los sistemas de transmisión empleados en el eje cartesiano de la impresora.

Tabla 2

Especificaciones Técnicas del Motor 42SHDC3030Z-23WB-1

Tipo de motor	Paso a paso bipolar
Tamaño del marco (NEMA)	NEMA 17 (42X42MM)
Longitud del cuerpo	Aproximadamente 30 mm
Corriente por fase	2.3 A
Resistencia por fase	Aproximadamente 1.2 Ω
Inductancia por fase	Aproximadamente 3.0 mH
Torque de retención	0.4 N.m
Ángulo de paso	1.8° (200 pasos por revolución)
Voltaje nominal	Alrededor de 2.8 V
Configuración del bobinado	Bipolar (dos pares de cables)
Peso aproximado	Alrededor de 180 a 220 gramos

Fuente: Datos recopilados de la web https://reprap.org/wiki/NEMA_17_Stepper_motor

2.3.1 Subsistema de Movimiento Láser

La configuración de la impresora determina los ejes y tipo de movimiento del láser. De acuerdo a lo mencionado por Arcos Valencia & Nuela Yanchapanta (2019) la configuración de una impresora 3D puede ser de tipo cartesiana, delta, polar o brazo robótico. El presente prototipo incorpora un sistema de movimiento cartesiano de tipo COREXY, el cual permite mover el láser en los ejes X y Y.

La selección de este tipo de configuración es a razón de su versatilidad, sencillez y adaptabilidad. Para realizar este arreglo se usa como base la impresora TRONXY X5SA, la cual trae incorporado este sistema.



Figura 44. Impresora 3D TRONYX X5SA FDM.
Fuente: TRONYX FACTORY (2025)

2.3.1.1 Integración de Motores

Para lograr el movimiento del láser se emplea dos motores paso a paso NEMA 17, ubicados en la parte superior de la estructura. Estos motores son dispuestos estratégicamente para garantizar un desplazamiento preciso y coordinado del láser, lo cual es fundamental para la definición del patrón de sinterizado sobre la superficie del material.



Figura 45. Ensamblaje de subsistema de movimiento del láser.

2.3.1.2 Integración de Carros de Desplazamiento Lineal

Para lograr un desplazamiento preciso y estable del módulo láser a lo largo del eje Y, se opta por el diseño de un carro lineal personalizado. Este componente permite el movimiento suave sobre los perfiles estructurales tipo V-slot mediante ruedas en V; y actúa como soporte mecánico del módulo láser, lo que asegura una correcta alineación, nivelación y rigidez durante el proceso de sinterizado. El carro es diseñado considerando las dimensiones del sistema y los requisitos de montaje, e integra elementos de rodadura, puntos de anclaje para el láser y estructuras de fijación para la correa dentada

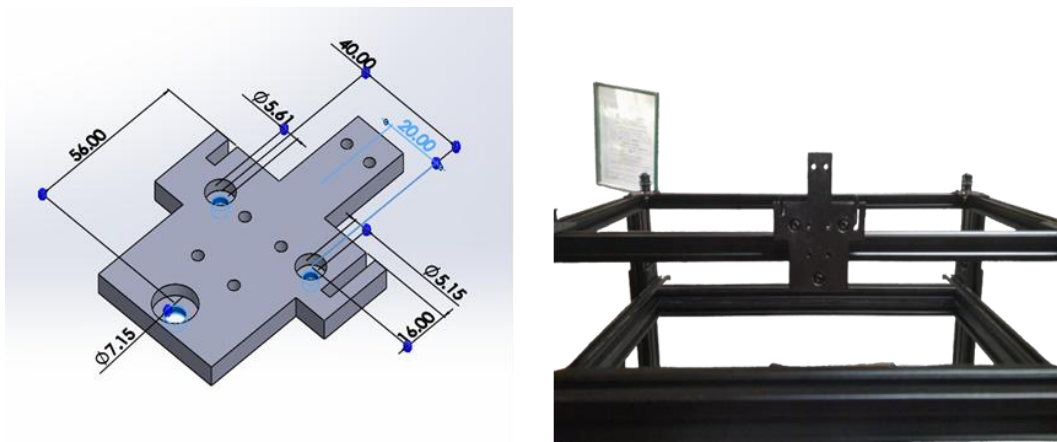


Figura 46. Diseño y montaje del carro lineal para el láser.

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, se ensambla carros lineales equipados con ruedas en 'V', los cuales se desplazan sobre un perfil de aluminio tipo V-slot 2020. Estos carros no son diseñados a medida, sino que se son componentes comerciales que, al ser montados en paralelo, permiten el desplazamiento controlado del módulo láser a lo largo del eje X.



Figura 47. Ensamblaje de carros lineales

Fuente: Elaboración propia

2.3.1.3 Integración de Mecanismo de Transmisión

El mecanismo de transmisión está conformado por poleas dentadas y lisas, combinadas con correas dentadas tipo GT2 de 6 mm de ancho, seleccionadas por su precisión y baja elongación. Las poleas dentadas se fijan a los ejes de los motores, transmitiendo el movimiento a través de las correas hacia el conjunto móvil del cabezal láser. Las poleas lisas, por su parte, actúan como elementos de retorno y guía, asegurando una trayectoria estable y sin desviaciones en las correas.



Figura 48. Integración de poleas y correas dentadas para movimiento del láser.
Fuente: Elaboración propia

2.3.2 *Subsistema de Movimiento del Suministro de Material*

2.3.2.1 Integración de Motores

Mediante el movimiento horizontal de una espátula se realiza la adición de las capas de material. Para este mecanismo se opta por la utilización de dos motores NEMA 17 junto con una correa dentada, lo que permite distribuir de manera equilibrada la fuerza de arrastre del material, asegurando un avance constante y controlado durante las etapas de alimentación y compactación previas al sinterizado.

Para lograr un montaje adecuado y la correcta alineación de los motores a la estructura, se diseña una placa especial que garantiza un ensamblaje adecuado. El diseño es impreso mediante una impresora 3D FDM, e instalado en el exterior del armazón, alineada a la altura de la estructura de la cama de sinterizado. Para mejorar la rigidez del conjunto y asegurar una sujeción estable de los motores, se decide emplear dos placas de montaje

por cada uno. Esta configuración permite minimizar posibles desalineaciones y vibraciones durante el funcionamiento, asegurando así una mayor precisión en el desplazamiento de los componentes móviles. Además, su ubicación externa facilita el acceso para tareas de mantenimiento o ajustes posteriores.

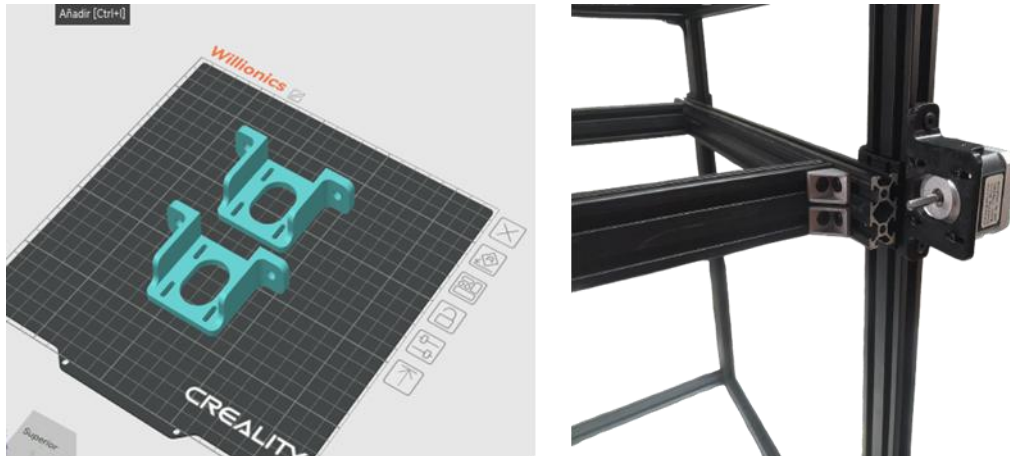


Figura 49. Montaje de motores de subsistema de alimentación.

Fuente: Elaboración propia

2.3.2.2 Integración de Carros Lineales

Para el sistema de alimentación del material, específicamente para el movimiento de la barredera, se integra dos carros lineales montados sobre un perfil de aluminio tipo V-slot 2020. Esta configuración permite un desplazamiento suave, preciso y estable a lo largo del eje asignado, asegurando que la barredera pueda distribuir uniformemente el polvo en cada capa del proceso de sinterizado.



Figura 50. Integración carros lineales y perfil sistema de alimentación de material.

Fuente: Elaboración propia

2.3.2.3 Integración de Mecanismo de Transmisión

Para perfeccionar el subsistema de transmisión de movimiento, se diseña una placa tensora destinada a alojar la polea de tensión. Esta pieza es acoplada en el extremo opuesto a la placa de montaje del motor paso a paso, lo que permite mantener la correa dentada con la tensión adecuada durante el funcionamiento. La inclusión de esta placa tensora mejora la estabilidad del sistema, contribuyendo a una mayor precisión en el desplazamiento, al evitar la pérdida de pasos en el mecanismo de tracción.

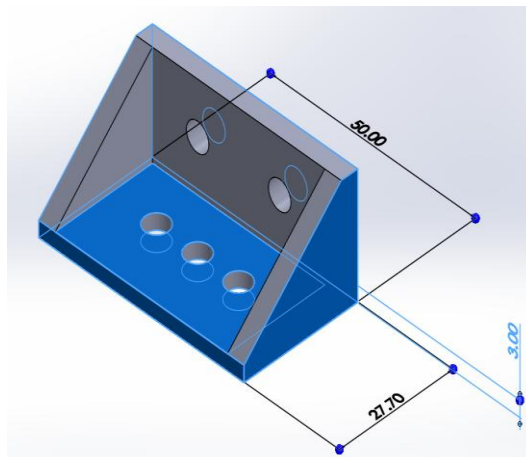


Figura 51. Diseño de la placa tensora.

Fuente: Elaboración propia

Para generar el movimiento del sistema de alimentación, se ensambla poleas GT2 de 6 mm de ancho, acopladas al conjunto de correas dentadas de igual medida. Esta combinación permite transmitir el movimiento de manera precisa y eficiente.

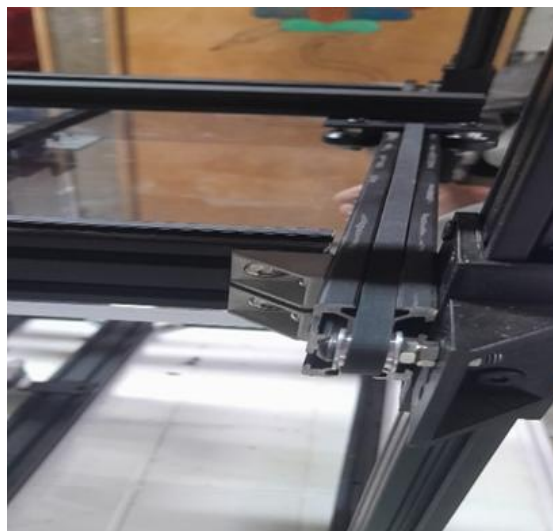


Figura 52. Ensamble de poleas y correas del sistema de alimentación.

Fuente: Elaboración propia

2.3.2.4 Integración de Barredera

Una vez instaladas las poleas y correas, se procede a colocar la barredera que va a esparcir el material de manera uniforme en el depósito de sinterizado. Esta instalación garantizó un desplazamiento controlado y una distribución homogénea del polvo, facilitando la preparación óptima de cada capa para el proceso de sinterizado.

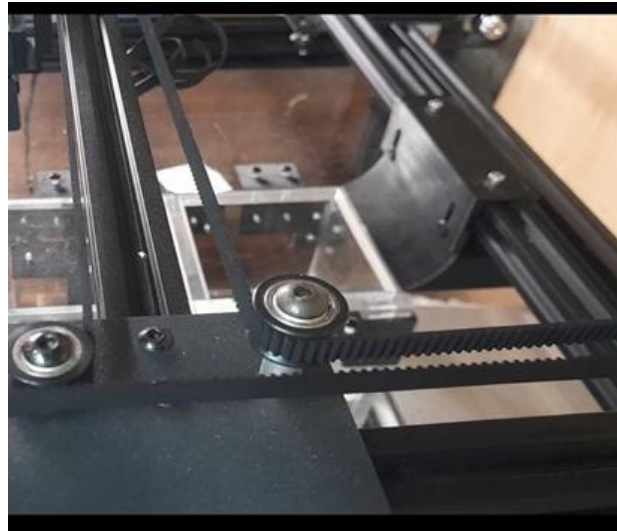


Figura 53. Integración de barredera.

Fuente: Elaboración propia

2.3.3 Subsistema de Movimiento de la Base de Impresión y Depósitos

Este subsistema tiene movimiento en el eje Z; dispone de dos depósitos, uno para almacenar el material a sinterizar, el cual ascenderá, y otro en el que se imprime el objeto tridimensional a medida que va descendiendo.

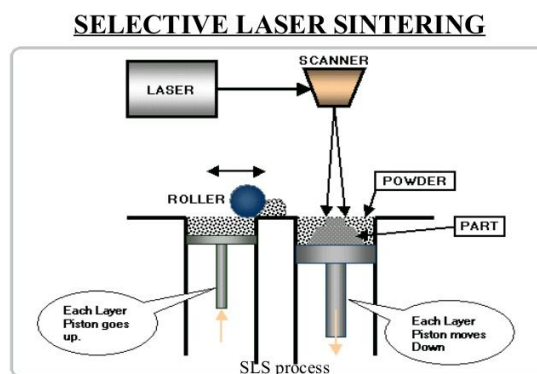


Figura 54. Movimiento de las Bases de una Impresora SLS.

Fuente: REPLICANT 3D (2016)

2.3.3.1 Integración de Motores

Para el movimiento vertical en los depósitos, correspondientes al eje Z, se integra dos motores paso a paso, uno para cada depósito. El diseño del sistema contempla que uno de los motores accione el ascenso del depósito de material, a fin de alimentar la capa siguiente, mientras que el otro motor controla el descenso del depósito de sinterizado, permitiendo así la acumulación ordenada de las capas procesadas. Esta configuración asegura un desplazamiento sincronizado y preciso en ambos extremos del eje Z, fundamental para mantener la uniformidad del proceso capa por capa durante la impresión.

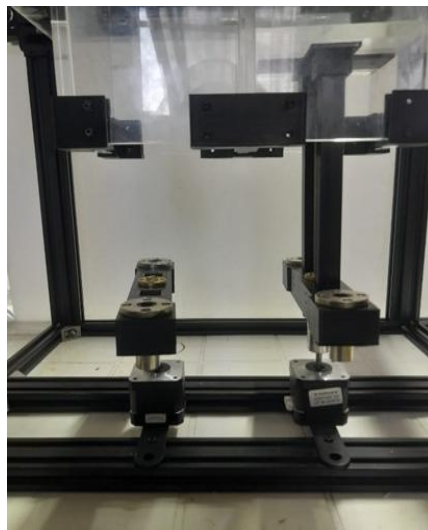


Figura 55. Instalación de los motores eje Z.
Fuente: Elaboración propia

2.3.3.2 Integración de Mecanismo de Transmisión

Una vez instalados los motores paso a paso, se procede a integrar el sistema de elevación encargado de subir y bajar el material en los respectivos depósitos. Este sistema se acopla mediante dos barras lisas tipo T8 ubicadas a los costados, una barra roscada T8 central para la transmisión del movimiento, y soportes diseñados específicamente para garantizar la estabilidad y precisión del mecanismo.

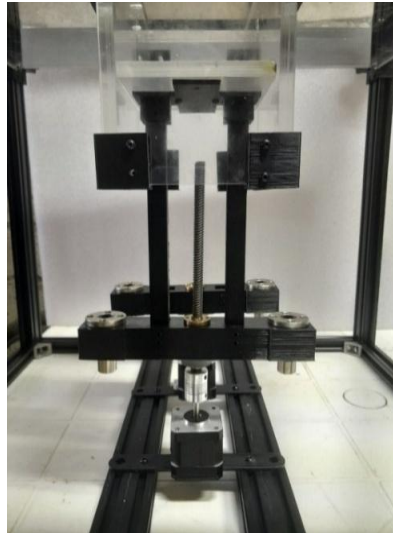


Figura 56. Ensamblaje sistema de elevación de los depósitos.
Fuente: Elaboración propia

2.4 Láser

Para la sinterización del material, se selecciona un láser de 10W de potencia, el cual cuenta con un sistema de enfoque ajustable y una lente de colimación que permite concentrar el haz en un punto preciso sobre la superficie de trabajo. Este componente se caracteriza por su capacidad para emitir un haz de luz láser de hasta 10 vatios en el espectro visible, lo que le permite trabajar con una gran variedad de materiales, incluyendo madera, acrílico, cartón y algunos metales suaves. Además, este módulo puede adaptarse fácilmente a distintos entornos de trabajo, incluyendo máquinas CNC e incluso a la fundición de un material para ser sinterizado.

Tabla 3

Especificaciones Técnicas del Laser

Tipo	Diodo
Potencia	10 W
Voltaje	12V DC
Tipo de enfoque	Enfoque fijo
Longitud de onda	450 ± 10nm

Fuente: Elaboración propia

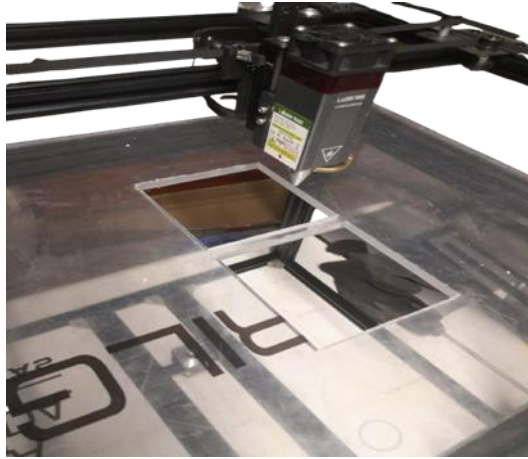


Figura 57. Integración del módulo láser.
Fuente: Elaboración propia

2.5 Conexiones Eléctricas y Electrónicas

2.5.1 *Instalación de la Placa Controladora*

Para el control del prototipo de impresora 3D SLS se selecciona el microcontrolador Arduino Mega 2560, debido a sus características técnicas, versatilidad y compatibilidad con hardware libres. La placa proporciona 54 pines digitales de entrada/salida y 16 entradas analógicas lo que permite conectar simultáneamente los motores del sistema CoreXY, actuadores del eje Z, alimentadores de polvo, sensores de final de carrera, ventiladores y control de encendido del láser mediante señal PWM.

Además, este microcontrolador ofrece 256 KB de memoria flash, 8 KB de SRAM y una frecuencia de reloj de 16 MHz, lo cual resulta suficiente para ejecutar firmware avanzado, como Marlin, que coordina el movimiento de los motores, la lectura de sensores, el control térmico y el disparo del láser con alta precisión sin desarrollar un software desde cero.

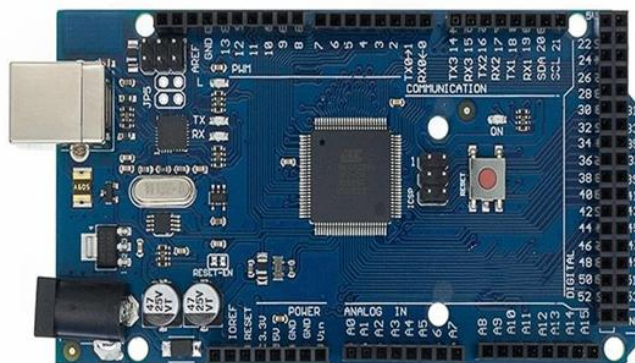


Figura 58. Placa Arduino Mega 2560.
Fuente: <https://tecmikro.com/content/>

En conjunto con el microcontrolador, se escoge la placa RAMPS 1.4, utilizada comúnmente en impresoras 3D. La compatibilidad entre ambas placas permite una interfaz modular entre el microcontrolador y los componentes de potencia, como los drivers de motor, resistencias calefactoras, ventiladores y pantallas LCD. La RAMPS actúa como puente físico, simplificando la conexión de todos los periféricos necesarios en una impresora SLS.



Figura 59. Placa RAMPS 1.4.

Fuente: <https://roboticsec.com/producto/placa-de-control-impresora-3d-ramps-1-4/>

2.5.1.1 Identificación de los Pines para Cableado en la Placa RAMPS 1.4

La placa RAMPS 1.4 fue creada para controlar impresoras 3D y otros sistemas automatizados con motores paso a paso. Requiere ser instalada sobre el Arduino Mega 2560, aprovechando sus pines de entrada/salida para controlar todos los elementos del sistema. Permite conectar motores paso a paso en todos los ejes; finales de carrera, fuente de alimentación, ventiladores, pantalla LDC y drivers de control.

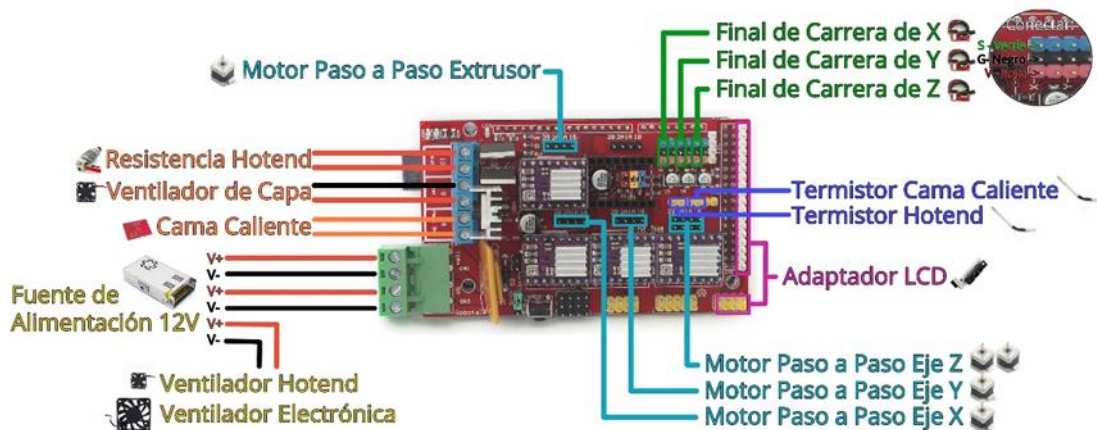


Figura 60. Identificación de pines.

Fuente: <https://www.hta3d.com/es/blog/>

2.5.2 Instalación de Drivers de Control para Motores

Una vez identificados correctamente los pines de la placa RAMPS 1.4, se procede a la instalación de los controladores DRV8825 en las ranuras correspondientes. Estos drivers son seleccionados debido a su alta resolución en los micro pasos, esto permite tener control del movimiento de los motores paso a paso.

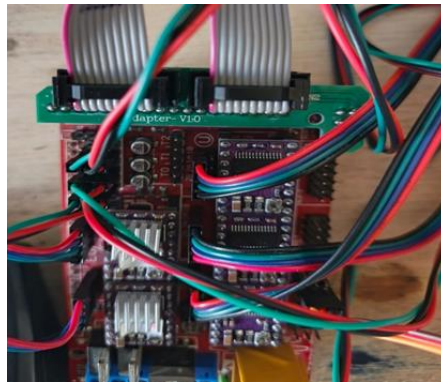


Figura 61. Instalación de drivers DRV8825.

Fuente: Elaboración propia

2.5.3 Instalación de la Pantalla

Para complementar el hardware de la impresora SLS se conecta una pantalla gráfica modelo 12864 LDC, lo que permite la operación autónoma del sistema sin necesidad de un computador externo. Esta interfaz se caracteriza por ofrecer una visualización clara y funcional mediante una matriz gráfica de 128 columnas por 64 filas de píxeles, lo que permite acceder a funciones como movimientos manuales, control del láser, monitoreo de temperatura y gestión de archivos desde tarjetas SD.



Figura 62. Pantalla 12864 LDC.

Fuente: Elaboración propia

2.5.4 Instalación de la Fuente de Alimentación

Para el funcionamiento del sistema de impresión SLS, se ha seleccionado una fuente de poder modelo S-250-12, la cual es una fuente conmutada de corriente continua que proporcionar un voltaje de salida de 12 voltios con una corriente máxima de 20.8 amperios, lo que equivale a una potencia total de 250 vatios.

Tabla 4

Características Técnicas de la Fuente de Poder S-250-12

Voltaje de entrada	110/220 V AC
Voltaje de salida	12V DC
Corriente máxima de salida	20.8 A
Potencia total	250 W
Tipo de fuente	Conmutada (Switching power supply)
Protecciones	Sobrecarga, sobrevoltaje y cortocircuito
Refrigeración	Ventilación forzada por ventilador
Dimensiones aproximadas	215x115x50 mm

Fuente: Datos recopilados de la web

2.5.4.1 Cálculo de Consumo Total del Sistema

El sistema de impresión SLS implementa seis motores NEMA 17, que operan a un consumo estimado de 2 amperios cada uno. Además, el módulo láser requiere una corriente de funcionamiento de 7 amperios a 12V. El cálculo total del consumo de corriente es el siguiente:

CONSUMO TOTAL= Consumo de motores + Consumo Láser

CONSUMO DE MOTORES= # DE MOTORES x AMPERAJE

CONSUMO DE MOTORES= 6 MOTORES X 2A = 12 A

CONSUMO DEL LÁSER= 7A

CONSUMO TOTAL ESTIMADO= 12 A + 7A=19A

La fuente de poder S-250-12, al proporcionar 20.8 A a 12V, cumple con los requerimientos del sistema, ya que permite alimentar simultáneamente los seis motores y

el módulo láser, sin sobrepasar su límite de corriente nominal. Además, deja un margen de aproximadamente 1.8 A para compensar picos de arranque de los motores, pérdidas por eficiencia o el funcionamiento de componentes auxiliares como ventiladores o la placa base. Su integración resulta adecuada tanto por capacidad eléctrica como por compatibilidad con los componentes utilizados en el diseño del sistema.

2.5.5 Conexión de Motores y Sensores

Se procede a realizar las conexiones de los seis motores paso a paso del sistema en los pines correspondientes de la placa RAMPS 1.4. Dos de estos motores son destinados al eje Z para el movimiento independiente de los depósitos de polvo y la cama de sinterizado. Otros dos motores son asignados al sistema CoreXY, encargado del desplazamiento preciso del módulo láser sobre los ejes X y Y. Finalmente, los dos motores restantes se conectan al sistema como extrusor 1 que controla el láser mediante la señal PWM y al extrusor 2 que es asignado al sistema de alimentación para distribuir el polvo capa por capa mediante una barredora. Además, se integra sensores de final de carrera en cada uno de los ejes, los cuales permiten detectar las posiciones límites de movimiento y garantizar la correcta posición inicial o calibración de los componentes móviles.

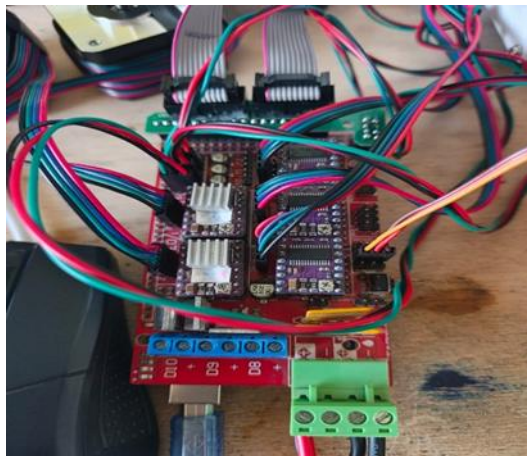


Figura 63. Conexión de los motores y sensores final de carrera.

Fuente: Elaboración propia

2.5.6 Control del Módulo Láser Mediante Señal PWM

2.5.6.1 Diseño de Placa PCB para Control de Láser

Para controlar el módulo láser, se decide diseñar un circuito específico para generar y regular una señal PWM (modulación por ancho de pulso). El diseño del circuito PWM

permite regular la energía suministrada al láser sin necesidad de variar el voltaje directamente, lo cual resulta más eficiente y seguro para los demás componentes electrónicos.



Figura 64. Placa de control PWM en PCB.
Fuente: Elaboración propia

2.5.6.2 Generador de PWM

Para permitir el ajuste de la frecuencia y del ciclo de trabajo del láser, se implementa un generador de señal PWM, el cual ofrece la posibilidad de modificar estos parámetros según la conveniencia del usuario, permitiendo tanto el aumento como la disminución de los valores de forma precisa.



Figura 65. Generador de señal PWM.
Fuente: Elaboración propia

2.6 Programación: Modificación del Firmware Marlin

Desde el firmware Marlin versión 2.1.2.5, se modifican diversos parámetros con el fin de adaptarlos a los requerimientos específicos de la impresora 3D SLS. Para llevar a cabo dichos cambios, se utiliza el entorno de desarrollo Visual Studio Code. La primera modificación es definir el tipo de placa utilizada para controlar los motores, sensores,

pantalla y el láser, en este caso fue la placa RAMPS 1.4. Seguido de ello, se define el tipo de driver empleado para el movimiento de los motores NEMA 17.

```

158 * TMC2130, TMC2130_STANDALONE, TMC2160, TMC2160_STANDALONE,
159 * TMC2209, TMC2209_STANDALONE, TMC2209, TMC2209_STANDALONE,
160 * TMC26X, TMC26X_STANDALONE, TMC2660, TMC2660_STANDALONE,
161 * TMC5130, TMC5130_STANDALONE, TMC5160, TMC5160_STANDALONE
162 * :['A4988', 'A5984', 'DRV8825', 'LV8729', 'TB6600', 'TMC2100', 'TMC2130', 'TMC2130_STAN
163 */
164 #define X_DRIVER_TYPE DRV8825
165 #define Y_DRIVER_TYPE DRV8825
166 #define Z_DRIVER_TYPE DRV8825
167 // #define X2_DRIVER_TYPE A4988
168 // #define Y2_DRIVER_TYPE A4988
169 // #define Z2_DRIVER_TYPE A4988
170 // #define Z3_DRIVER_TYPE A4988
171 // #define Z4_DRIVER_TYPE A4988
172 // #define I_DRIVER_TYPE A4988
173 // #define J_DRIVER_TYPE A4988
174 // #define K_DRIVER_TYPE A4988
175 // #define U_DRIVER_TYPE A4988
176 // #define V_DRIVER_TYPE A4988
177 // #define W_DRIVER_TYPE A4988
178 #define E0_DRIVER_TYPE DRV8825
179 #define E1_DRIVER_TYPE DRV8825
180 // #define E2_DRIVER_TYPE A4988
181 // #define E3_DRIVER_TYPE A4988
182 // #define E4_DRIVER_TYPE A4988

```

Figura 66. Comando de los drivers DRV8825.

Fuente: Elaboración propia

Para el movimiento de los ejes X y Y se define el comando COREXY

```

C:\Users\william\Desktop> C:\Configuration> ...
891 // Enable one of the options below for CoreXY, CoreXZ, or CoreYZ kinematics,
892 // either in the usual order or reversed
893 #define COREXY
894 // #define COREXZ
895 // #define COREYZ
896 // #define COREYX
897 // #define COREZX
898 // #define COREZY
899
900 //
901 // MarkForged kinematics
902 // See https://reprap.org/forum/read.php?152,584842
903 //
904 // #define MARKFORGED_XY
905 // #define MARKFORGED_YX
906
907 // Enable for a belt style printer with endless "Z" motion
908 // #define BELTPRINTER
909
910 // Enable for Polargraph kinematics
911 // #define POLARGRAPH
912 #if ENABLED(POLARGRAPH)
913 #define POLARGRAPH_MAX_BELT_LEN 1035.0 // (mm) Belt length at full extension. Override with M668
914 #define DEFAULT_SEGMENTS_PER_SECOND 5 // Move segmentation based on duration
915 #endif
916

```

Figura 67. Comando COREXY.

Fuente: Elaboración propia

Para que se detecte las dimensiones de la cama del sinterizado se ejecuta los comandos de final de carrera para los 3 ejes.

```

// Mechanical endstop with COM to ground and NC to Signal uses "false" here (most common setup).
#define X_MIN_ENDSTOP_INVERTING true // Set to true to invert the logic of the endstop.
#define Y_MIN_ENDSTOP_INVERTING true // Set to true to invert the logic of the endstop.
#define Z_MIN_ENDSTOP_INVERTING true // Set to true to invert the logic of the endstop.
#define I_MIN_ENDSTOP_INVERTING false // Set to true to invert the logic of the endstop.
#define J_MIN_ENDSTOP_INVERTING false // Set to true to invert the logic of the endstop.
#define K_MIN_ENDSTOP_INVERTING false // Set to true to invert the logic of the endstop.
#define U_MIN_ENDSTOP_INVERTING false // Set to true to invert the logic of the endstop.
#define V_MIN_ENDSTOP_INVERTING false // Set to true to invert the logic of the endstop.
#define W_MIN_ENDSTOP_INVERTING false // Set to true to invert the logic of the endstop.
#define X_MAX_ENDSTOP_INVERTING false // Set to true to invert the logic of the endstop.
#define Y_MAX_ENDSTOP_INVERTING false // Set to true to invert the logic of the endstop.
#define Z_MAX_ENDSTOP_INVERTING false // Set to true to invert the logic of the endstop.
#define I_MAX_ENDSTOP_INVERTING false // Set to true to invert the logic of the endstop.
#define J_MAX_ENDSTOP_INVERTING false // Set to true to invert the logic of the endstop.
#define K_MAX_ENDSTOP_INVERTING false // Set to true to invert the logic of the endstop.
#define U_MAX_ENDSTOP_INVERTING false // Set to true to invert the logic of the endstop.
#define V_MAX_ENDSTOP_INVERTING false // Set to true to invert the logic of the endstop.
#define W_MAX_ENDSTOP_INVERTING false // Set to true to invert the logic of the endstop.
#define Z_MIN_PROBE_ENDSTOP_INVERTING false // Set to true to invert the logic of the probe.

```

Figura 68. Comando de final de carrera.

Fuente: Elaboración propia

Para que los motores funcionen correctamente se define los pasos en mm y se ejecuta los comandos para la aceleración de los motores.

```

1197 * X, Y, Z [, I [, J [, K...]]], 1221 // #define LIMITED_MAX_ACCEL_EDITING // Limit edit via M201 or LCD to DEFAULT_MAX_ACCELERATION
1198 */ 1222 #if ENABLED(LIMITED_MAX_ACCEL_EDITING)
1199 #define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT { 80, 80, 400, 80 } 1223 #define MAX_ACCEL_EDIT_VALUES { 6000, 6000, 2000, 6000, } // ...or, set your own edit limit
1200 | 1224 #endif
1201 /** 1225
1202 * Default Max Feed Rate (linear=mm/s, rotational=°/s) 1226
1203 * Override with M203 1227
1204 * X, Y, Z [, I [, J [, K...]]], 1228 * Default Acceleration (speed change with time) (linear=mm/(s^2), rotational=°/(s^2))
1205 */ 1229 * Override with M204
1206 #define DEFAULT_MAX_FEEDRATE { 300, 300, 150, 300, } 1230 * M204 P Acceleration
1207 // #define LIMITED_MAX_FR_EDITING // Limit edit via M203 or LCD 1231 * M204 R Retract Acceleration
1208 #if ENABLED(LIMITED_MAX_FR_EDITING) 1232 * M204 T Travel Acceleration
1209 #define MAX_FEEDRATE_EDIT_VALUES { 600, 600, 300, 600, } // ... 1233 */
1210 #endif 1234 #define DEFAULT_ACCELERATION 1000 // X, Y, Z and E acceleration for printing moves
1211 1235 #define DEFAULT_RETRACT_ACCELERATION 1000 // E acceleration for retracts
1212 1236 #define DEFAULT_TRAVEL_ACCELERATION 1000 // X, Y, Z acceleration for travel (non printing) mov
1213 /** 1237
1214 * Default Max Acceleration (speed change with time) (linear=mm/(s^2), 1238 //
1215 * (Maximum start speed for accelerated moves) 1239 * Default Jerk limits (mm/s)
1216 * Override with M201 1240 * Override with M205 X Y Z . . . E
1217 * X, Y, Z [, I [, J [, K...]]], 1241
1218 */
1219 #define DEFAULT_MAX_ACCELERATION { 1000, 1000, 1000, 1000, }
1220 // #define LIMITED_MAX_ACCEL_EDITING // Limit edit via M201 or LCD
1221 #if ENABLED(LIMITED_MAX_ACCEL_EDITING)
1222 #define MAX_ACCEL_EDIT_VALUES { 6000, 6000, 2000, 6000, } //
1223 #endif

```

Figura 69. Definición de pasos y aceleración de motores.

Fuente: Elaboración propia

Se define las medidas de la cama para la sinterización con una longitud de 164 mm en el eje Y y 127 mm en el eje X.

```

725
726 // The size of the printable area
727 #define X_BED_SIZE 127
728 #define Y_BED_SIZE 164
729
730 // Travel limits (linear=mm, rotational=°) after homing, corresponding to endstop positions.
731 #define X_MIN_POS 0
732 #define Y_MIN_POS 0
733 #define Z_MIN_POS 0
734 #define X_MAX_POS X_BED_SIZE
735 #define Y_MAX_POS Y_BED_SIZE
736 #define Z_MAX_POS 200
737 // #define I_MIN_POS 0
738 // #define I_MAX_POS 50
739 // #define J_MIN_POS 0
740 // #define J_MAX_POS 50
741 // #define K_MIN_POS 0
742 // #define K_MAX_POS 50
743 // #define U_MIN_POS 0
744 // #define U_MAX_POS 50
745 // #define V_MIN_POS 0
746 // #define V_MAX_POS 50
747 // #define W_MIN_POS 0
748 // #define W_MAX_POS 50

```

Figura 70. Definición de medidas de la cama del sinterizado.

Fuente: Elaboración propia

También se ejecuta los comandos para poder controlar manualmente los motores desde la pantalla entre las opciones están: mover a los ejes a su posición inicial desde 0.01mm a 10mm, imprimir desde la tarjeta SD, pausar y detener la impresión, controlar el láser.

```

2481 */
2482 #define DISPLAY_CHARSET_HD44780 JAPANESE
2483
2484 /**
2485  * Info Screen Style (0:Classic, 1:Prüsa)
2486  *
2487  * :{0:'Classic', 1:'Prüsa'}
2488  */
2489 #define LCD_INFO_SCREEN_STYLE 0
2490
2491 /**
2492  * SD CARD
2493  *
2494  * SD Card support is disabled by default. If your controller has an SD slot,
2495  * you must uncomment the following option or it won't work.
2496  */
2497 #define SDSUPPORT
2498
2499 /**
2500  * SD CARD: ENABLE CRC
2501  *
2502  * Use CRC checks and retries on the SD communication.
2503  */
2504 #define SD_CHECK_AND_RETRY
2505

```

Figura 71. Control de pantalla.

Fuente: Elaboración propia

2.7 Configuración del Software PrusaSlicer

El software PrusaSlicer permite preparar los modelos 3D a imprimir en códigos G y códigos M. Prusa Slicer (2025) menciona qué al ser de código abierto se permite a los usuarios modificar el software libremente, adaptándolo a sus necesidades de impresión

específicas. Además, es compatible con diversos formatos de archivo, como STL, 3MF, OBJ y AMF.

Este programa es compatible con Marlin, lo que permite adaptar sus configuraciones y parámetros específicos del hardware de una impresora 3D SLS. Entre sus características más destacadas se encuentra la capacidad de gestionar múltiples extrusores o módulos funcionales, que en el caso de una impresora SLS pueden incluir cabezales láser.

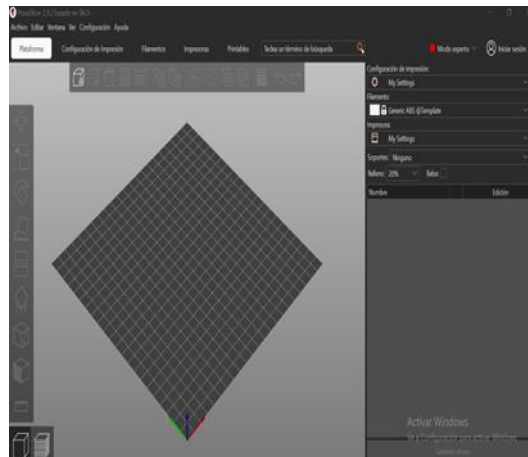


Figura 72. Interfaz de PrusaSlicer.

Fuente: Elaboración propia

Se prefiere utilizar este tipo de laminador debido a que permite la incorporación de más de dos extrusores. En este caso específico, se emplea dos extrusores, ya que se modifica el sistema para que el módulo láser funcione como un extrusor adicional mediante una señal PWM. Además, el software ofrece la posibilidad de ajustar múltiples parámetros de impresión de acuerdo a las necesidades. A continuación, se detallan los parámetros ajustados en cada pestaña según las configuraciones para el funcionamiento de la impresora 3D SLS

2.7.1 Configuración de Impresión

Una vez descargado el software desde la página oficial de PrusaSlicer, se procede a crear una nueva impresora. Para ello, en la parte derecha de la interfaz se encuentra una pestaña denominada "Impresora", en la cual se debe seleccionar la opción "Crear impresora física" para iniciar el proceso de configuración del equipo.

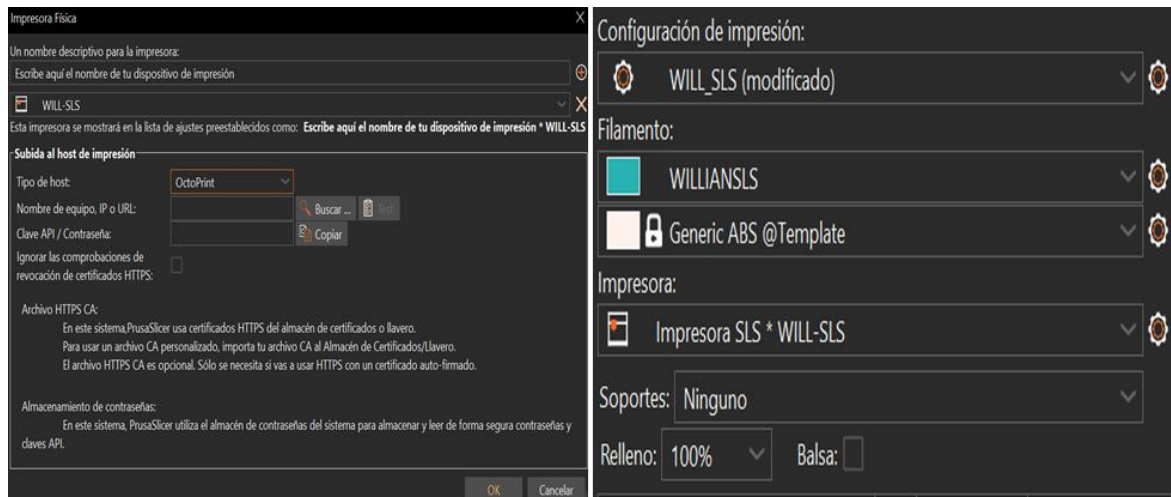


Figura 73. Configuración de una nueva impresora.

Fuente: Elaboración propia

En la pestaña de *configuración de impresora*, se presentan varias opciones. La primera de ellas corresponde a "*Capas y perímetros*", donde se debe ajustar la altura de capa según los requerimientos del proceso. En este caso, se configura en 0,05 mm, aunque es posible incrementarla hasta una altura máxima de 0,4 mm. En el apartado *denominado "Carcasas horizontales"*, el valor se deja en cero, mientras que el resto de parámetros se mantienen con los valores predeterminados al momento de la instalación del software.

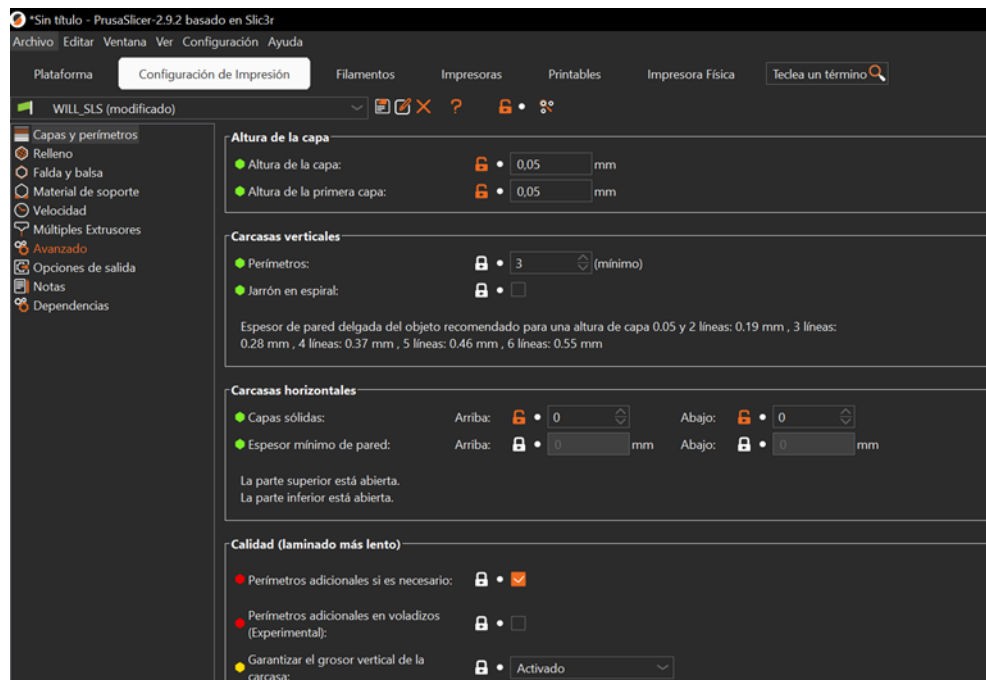


Figura 74. Configuración de la altura de la capa.

Fuente: Elaboración propia

En la opción de "*Relleno*" se deja al 100 % con el patrón en rectilíneo para que la pieza se sinterice de manera sólida.

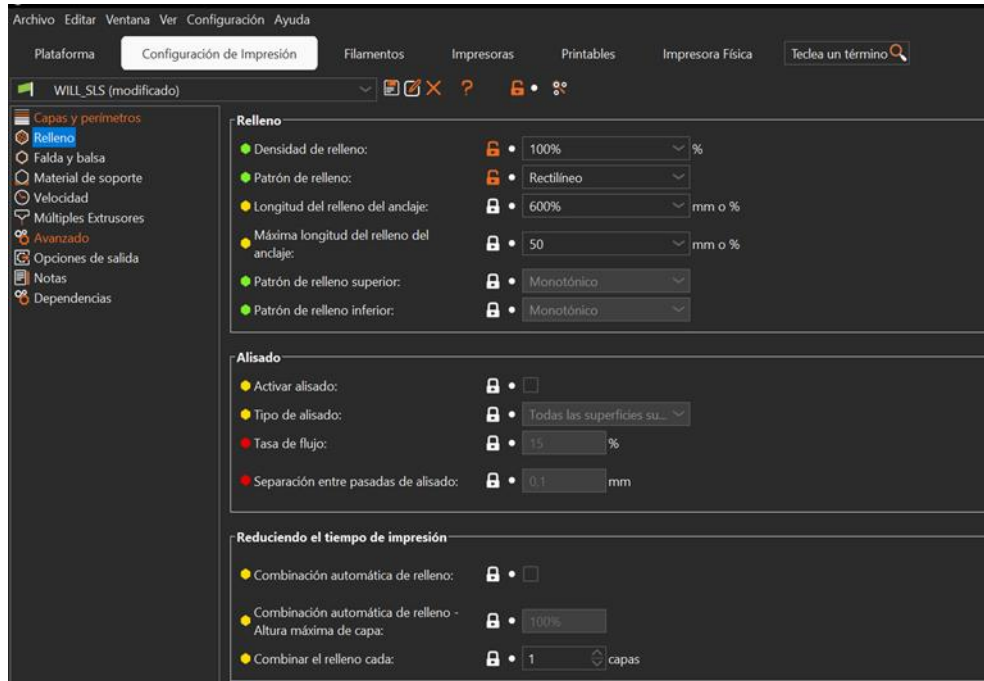


Figura 75. Configuración de la densidad de relleno.

Fuente: Elaboración propia

Las opciones de “falda y balsa” y “Material de soporte” son desactivadas ya que únicamente se utilizan con una impresora FDM.

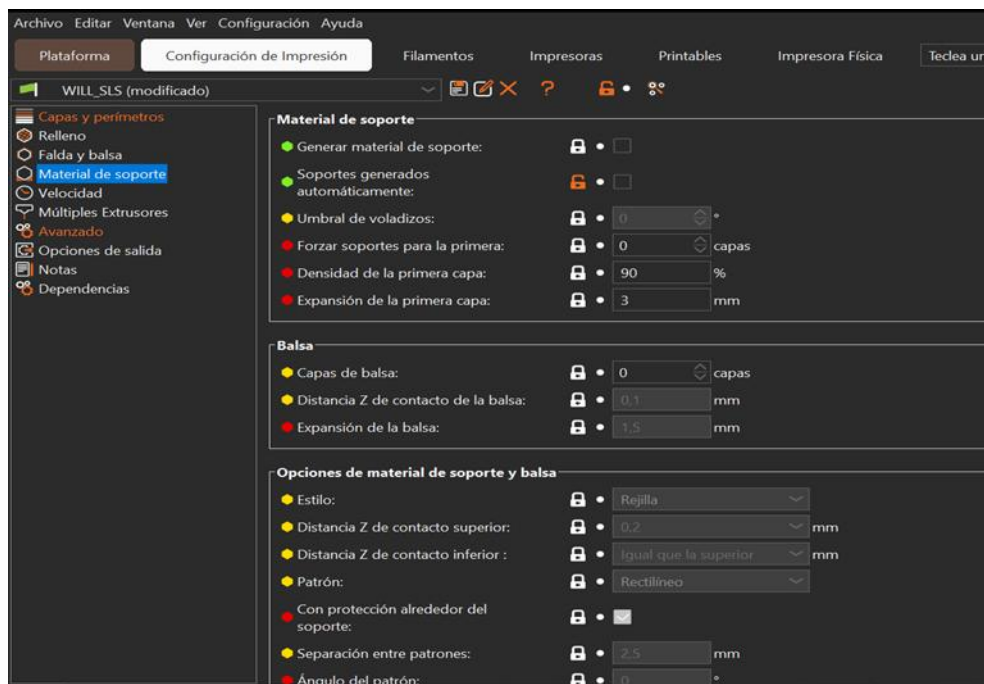


Figura 76. Desactivación de las opciones para impresoras FDM.

Fuente: Elaboración propia

Para el control de la *velocidad de impresión*, se realiza primero diversas pruebas con el fin de optimizar el rendimiento del sistema. Como resultado, se determina que la configuración más adecuada es la que se presenta en la figura 76.

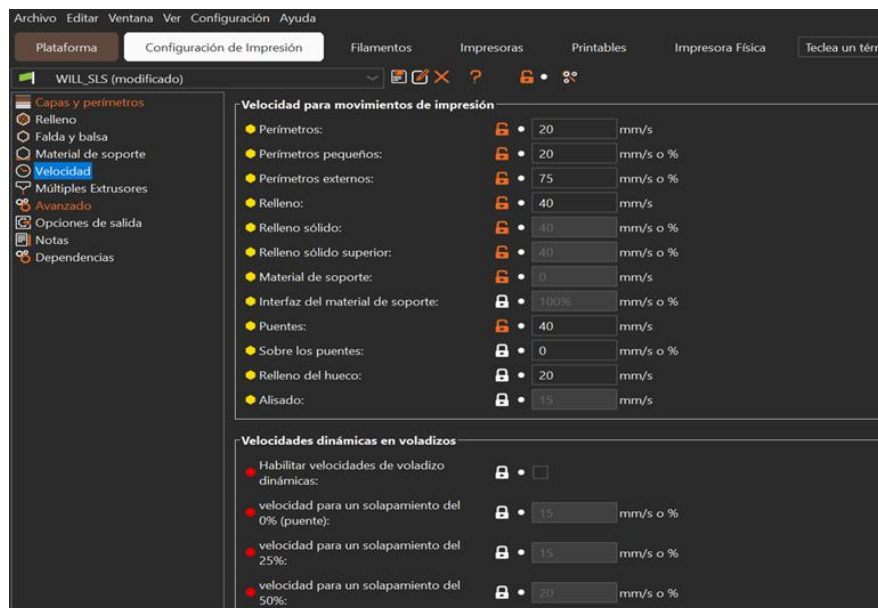


Figura 77. Configuración de la velocidad.

Fuente: Elaboración propia

En la sección correspondiente a *Movimiento sin impresión*, la velocidad se configura en 150 mm/s. Por otra parte, para la *velocidad de la primera capa*, se opta por un valor de 20 mm/s, con el objetivo de asegurar una mejor adhesión y precisión en las capas iniciales del proceso de sinterizado. Para el resto de las opciones se deja por defecto.

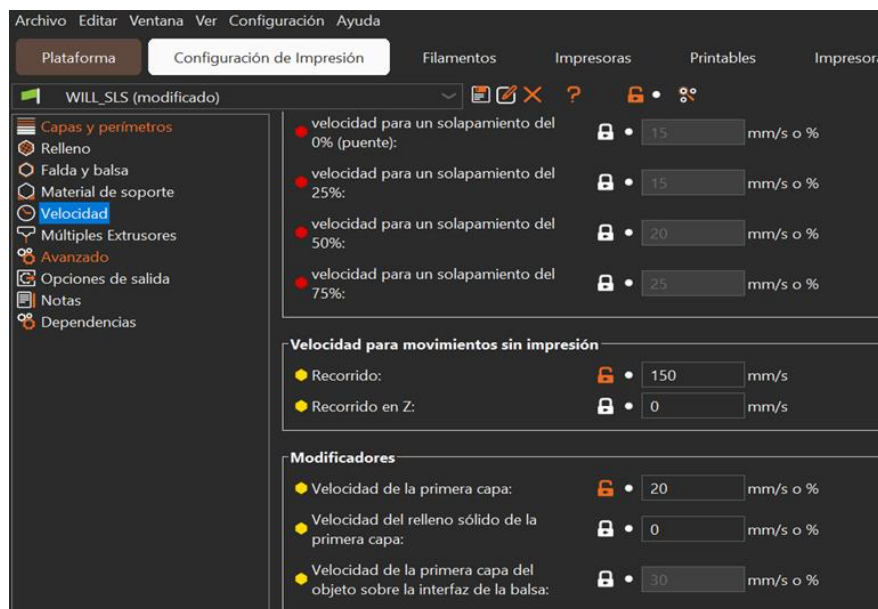


Figura 78. Configuración de la velocidad de primera capa.

Fuente: Elaboración propia

La opción de *múltiples extrusores* se mantiene como venía por defecto; y, por último; en opciones avanzadas se modifica los parámetros de ancho de extrusión a 0,1 mm y el resto se deja por defecto.

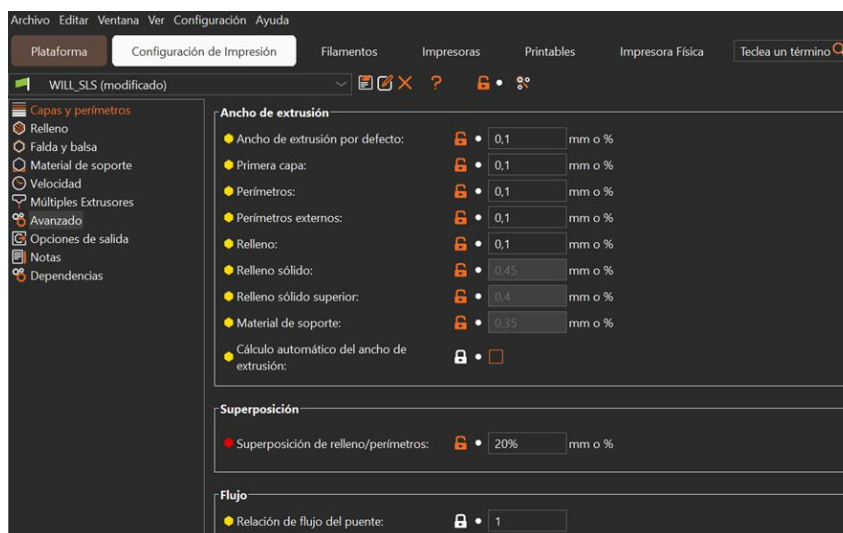


Figura 79. Configuración avanzada.

Fuente: Elaboración propia

2.7.2 Configuración de Filamentos

En la configuración del *filamento* para el extrusor 1, el diámetro se mantiene con el valor predeterminado. En la opción de *multiplicador* se establece un valor de 5, el cual ajusta proporcionalmente la cantidad de flujo de material, esto es para que la señal del láser sea más rápida. En cuanto a las opciones de *temperatura*, todas son desactivadas, dado que en este caso la impresora SLS no requiere el uso de un hotend.

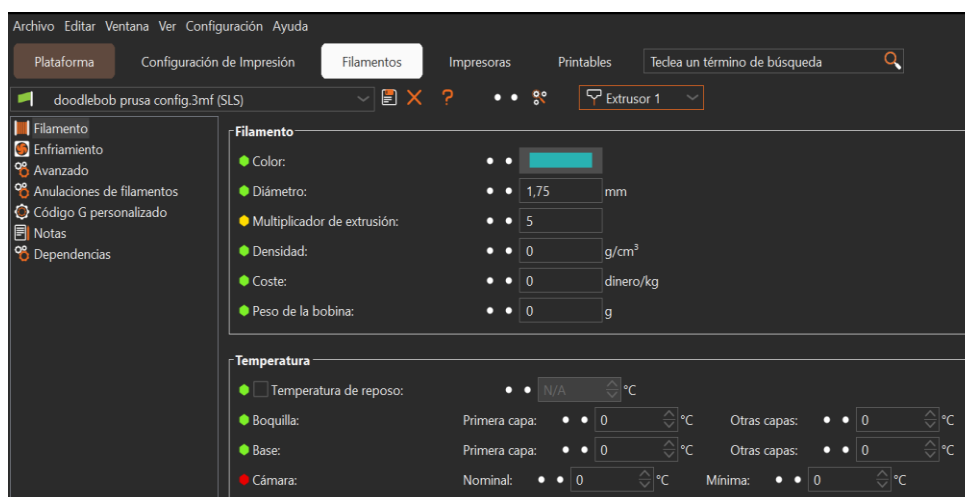


Figura 80. Configuración de filamento extrusor 1.

Fuente: Elaboración propia

En el apartado de *anulaciones de filamento*, se configura la opción de retracciones, ya que es necesario emplear estos valores para lograr que la señal del láser responda con mayor rapidez al momento de activarse y desactivarse durante el cambio de capa.

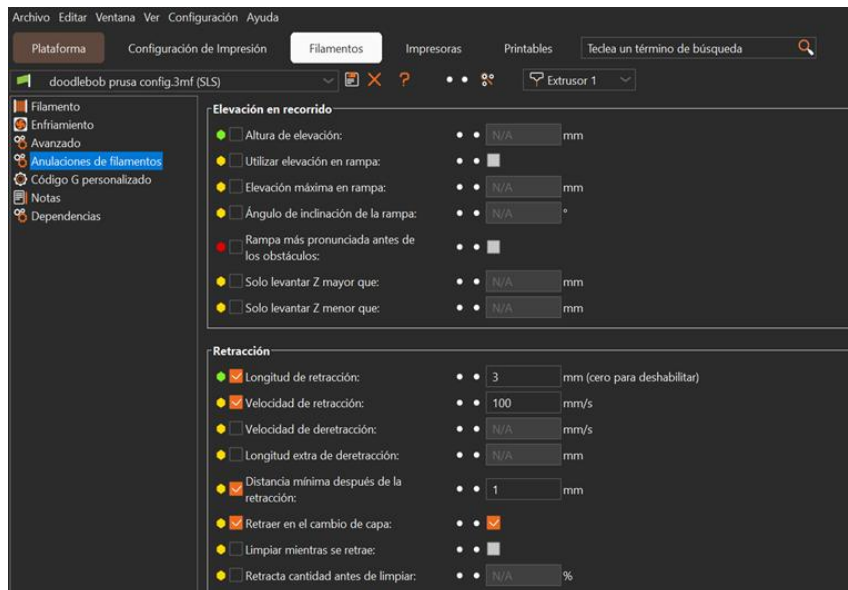


Figura 81. Configuración de retracciones.

Fuente: Elaboración propia

Para el extrusor 2, se aplica las mismas configuraciones establecidas anteriormente para el extrusor 1, garantizando así uniformidad en los parámetros de funcionamiento y coherencia en el rendimiento del sistema.

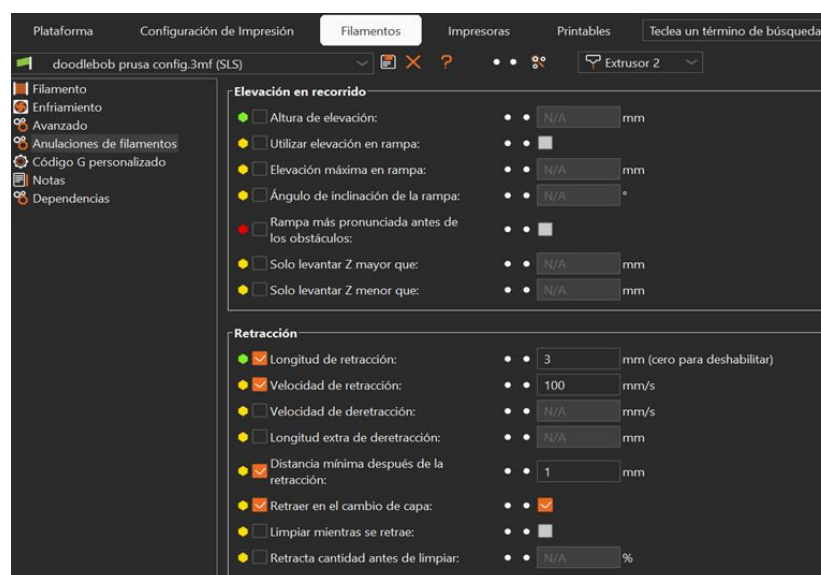


Figura 82. Configuración del extrusor 2.

Fuente: Elaboración propia

2.7.3 Configuración de Impresora

En la opción de impresora, se modifica las dimensiones y coordenadas con el fin de ajustar el tamaño de la cama de sinterización en los ejes X y Y, así como establecer la altura máxima de impresión en el eje Z. En cuanto al firmware, se seleccionó Marlin

(Legacy), ya que este permite realizar las modificaciones necesarias en el código G para adaptar el funcionamiento a los requerimientos de la impresora SLS.

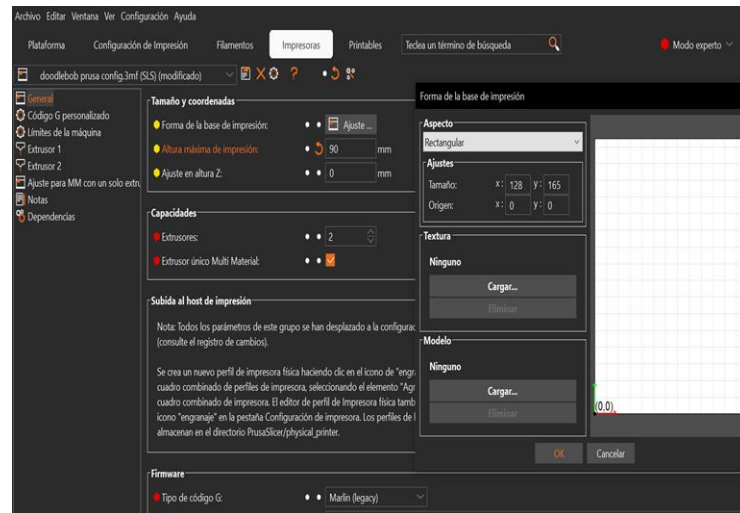


Figura 83. Configuración de la cama y tipo de firmware.

Fuente: Elaboración propia

En el contexto de la impresora SLS, la secuencia presentada en la figura 83 permite que los movimientos del motor del extrusor simulen la activación y desactivación del láser, logrando un control más preciso durante el cambio de capa.

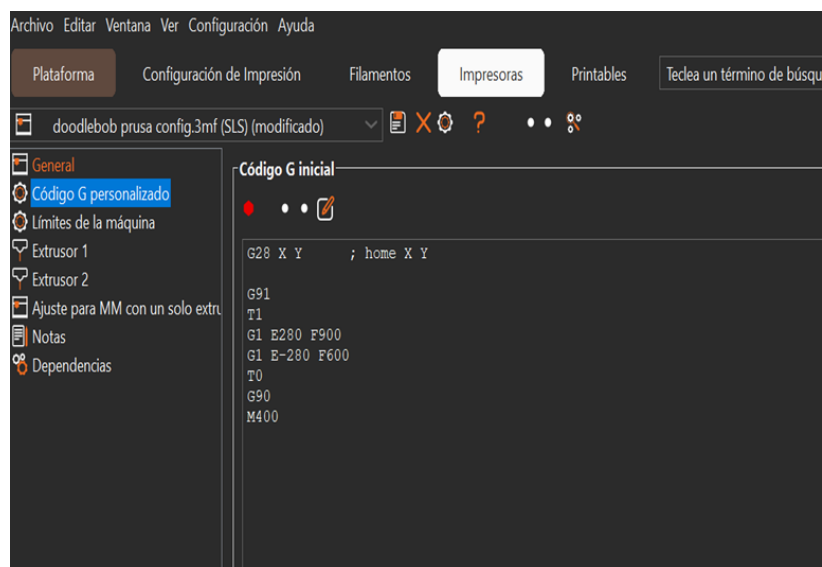


Figura 84. Comando de activación y desactivación del láser.

Fuente: Elaboración propia

Los comandos de la figura 84 permiten finalizar el proceso de trabajo apagando cualquier control de temperatura innecesario, posicionando el eje X en su punto de referencia y liberando los motores para evitar consumo de energía o esfuerzos mecánicos innecesarios.

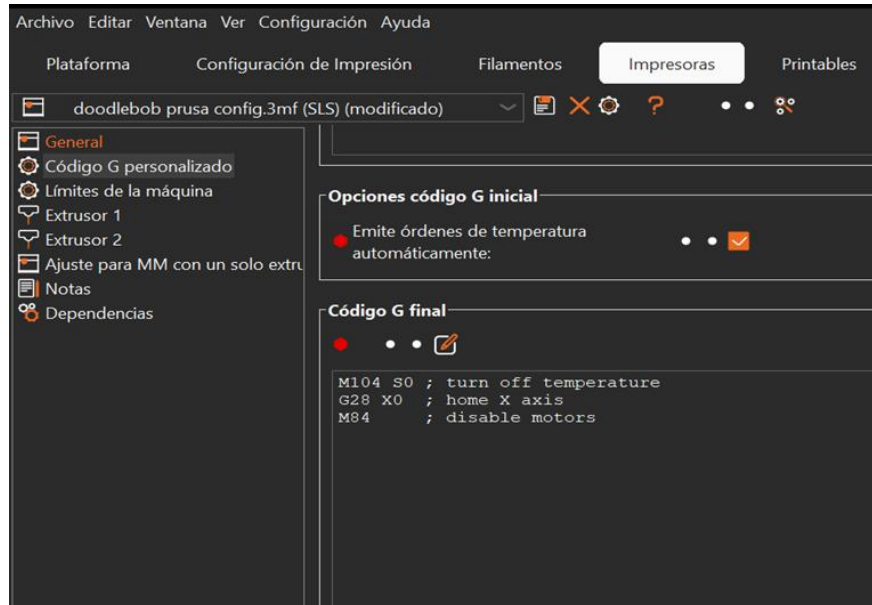


Figura 85. Comando para finalizar proceso.

Fuente: Elaboración propia

La secuencia de la figura 85 se emplea para mover el láser a una posición segura, realizar el ciclo de avance y retroceso del rodillo de alimentación de polvo, y posteriormente retornar al control de la herramienta principal, asegurando que todos los movimientos se ejecuten antes de continuar con el siguiente paso del proceso.

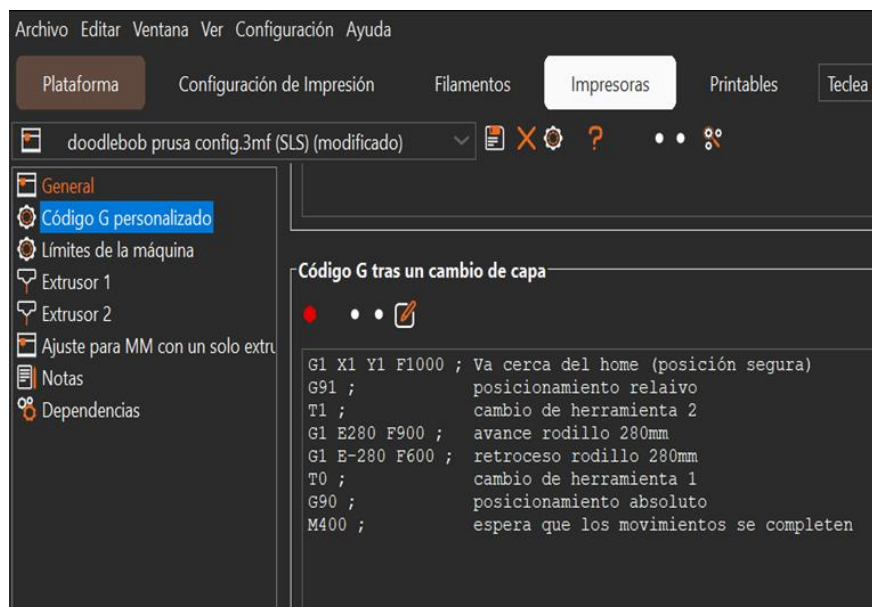


Figura 86. Comando de ciclo avance y retroceso de la barredera.

Fuente: Elaboración propia

En el apartado correspondiente al *extrusor 1*, se modifica el diámetro de la boquilla y se ajusta los límites de altura de capa, con el fin de optimizar el rendimiento y la precisión durante el proceso de impresión.

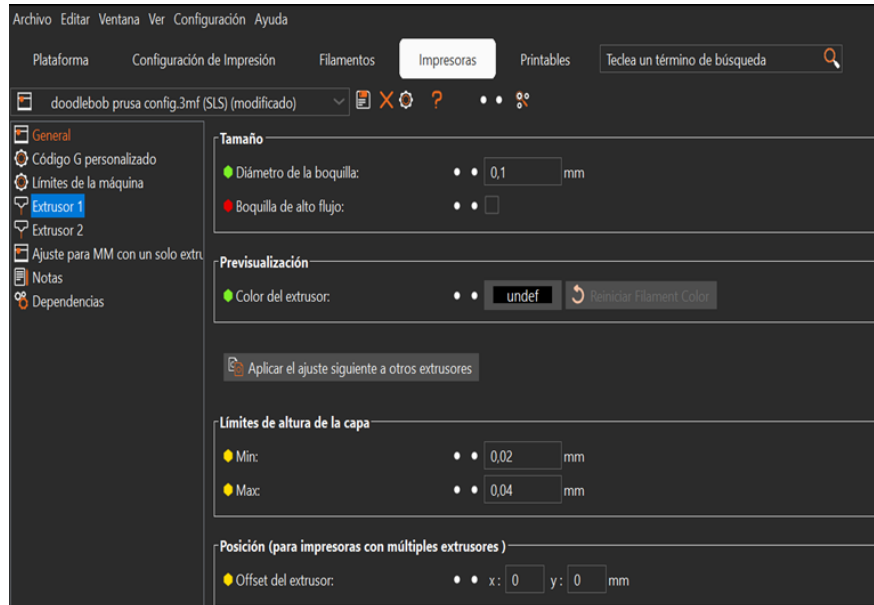


Figura 87. Configuración del extrusor 1.

Fuente: Elaboración propia

En la sección de *retracciones*, se configura los parámetros correspondientes, ya que estos permiten optimizar la activación y desactivación de la señal PWM mediante un sensor de final de carrera.

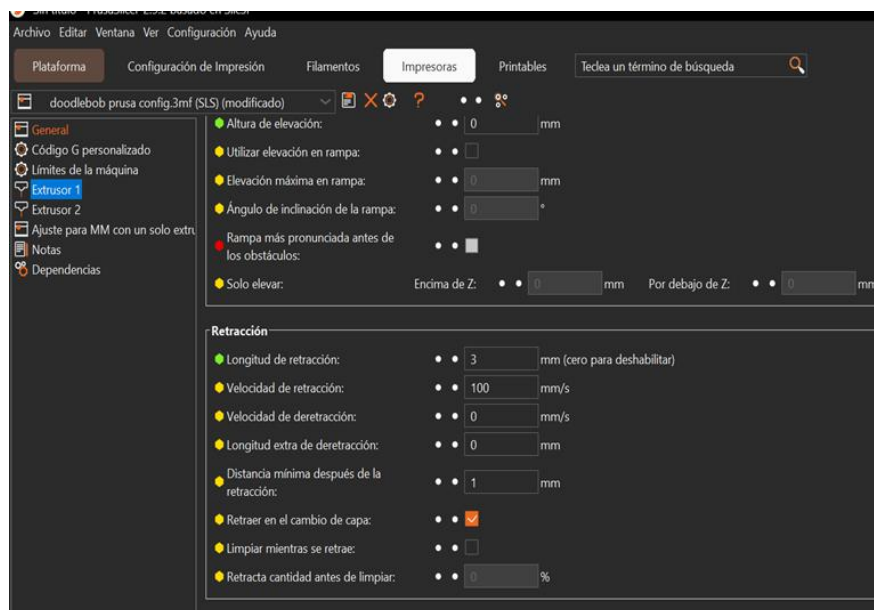


Figura 88. Configuración de las retracciones.

Fuente: Elaboración propia

Para la configuración del extrusor 2, se utiliza los mismos parámetros referentes al diámetro de la boquilla y a los límites de altura de capa que fueron establecidos para el extrusor 1. No obstante, en la sección de retracciones, dichos parámetros son desactivados, ya que el extrusor 2 corresponde al sistema de la barredera.

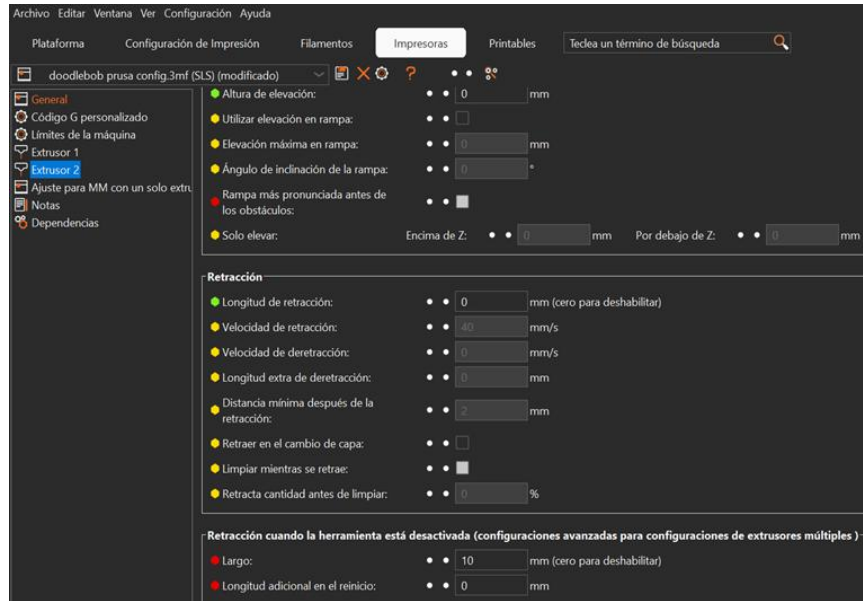


Figura 89. Configuración del extrusor 2.

Fuente: Elaboración propia

2.8 Recursos Materiales y Económicos

Tabla 5

Recursos Materiales y económicos

Nº	Descripción	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
1	Impresora TRONXY X5SA	1	\$ 249.91	\$ 249.91
2	Láser de 10W	1	\$ 256.80	\$ 256.80
3	Poliamida – Paquete de 2 KG	2	\$ 18.00	\$ 36.00
4	Motor NEMA 17	6	\$15.00	\$90.00
5	Corte de acrílico 9mm	1	\$85.00	\$85.00
6	Placa de control GT2560	1	\$65.12	\$65.12
7	Pantalla LCD 12864	1	\$19.91	\$19.91
8	Drivers DRV8825	11	\$3.40	\$37.40
9	Ventilador 12VDC	3	\$4.51	\$13.53
10	Polea sin dientes diámetro 6mm	2	\$3.00	\$6.00
11	Polea GT2 20 dientes diámetro 6mm	2	\$3.02	\$6.04
12	Conectores XH2.54 mm 4 pines	6	\$0.70	\$4.20
13	Metro de perfil de aluminio 2040	3	\$17.50	\$52.5
14	Metro de correa dentada GT2	2	\$3.00	\$6.00

15	Fin de carrera	4	\$2.50	\$10.00
16	Soporte de equina para perfil de aluminio	16	\$2.50	\$40.00
17	Tornillos M5 varias medidas + tuerca M5	100	\$0.50	\$50.00
18	Kit de poleas lisas X5	1	\$5.73	\$5.73
19	Carros lineales con ruedas en V	2	\$14.00	\$28.00
20	Metro de perfil V-Slot 2020	1	\$10.00	\$10.00
21	Juego de pernos y tuercas M2, M3, M4, M5	1	\$10.00	\$10.00
22	Módulo de enfoque fijo para laser	1	\$15.00	\$15.0
23	Generador PWM	1	\$15.00	\$15.00
24	Filamento PETG NEGRO 1KG	3	\$24.00	\$72.00
25	Servicio de ingeniería (programación)	1	\$500.00	\$500.00
26	Servicio de impresión 3D	1	\$150.00	\$150.00
27	Servicio logístico por importación	1	\$169.58	\$169.58
28	Impuestos de aduana por importación	1	\$43.43	\$43.43
29	Servicio logístico local	1	\$20.44	\$20.44
			TOTAL	\$2067.59

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III: PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

3.1 Funcionamiento de la Impresora 3D SLS

Para iniciar con la impresión 3D SLS se requiere contar con el archivo de la pieza modelada digitalmente en formato STL, el diseño previo se puede realizar en softwares como SolidWorks, Inventor o Fusion360. Cabe destacar qué, la extensión STL es el único formato permitido por el laminador PrusaSlicer.

El programa ya se encuentra modificado con los parámetros correspondientes para impresoras 3D SLS; únicamente se debe cargar el documento para que se genere el respectivo código de instrucciones de la impresora. Una vez laminada la pieza, se exporta el archivo con el código G en una micro tarjeta SD; la misma que es insertada en la ranura de la pantalla de la impresora para empezar con la impresión.

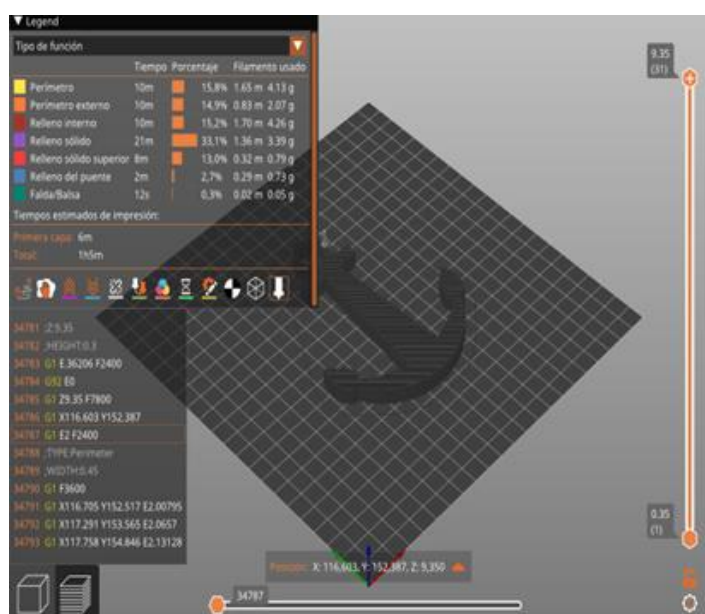


Figura 90. Códigos G de un ancla.

Fuente: Elaboración propia

Para la preparación del área de impresión, únicamente se necesita colocar polvo en el depósito de almacenamiento. Una vez iniciada la impresión, se genera la primera capa de polvo, tras lo cual el láser se posiciona y sinteriza la forma correspondiente. Este procedimiento se repite capa por capa hasta completar el objeto tridimensional. Finalizada la impresión, el depósito que contiene la pieza se eleva desde la opción “mover ejes” para

proceder a su extracción. Es importante recordar que el polvo remanente se puede guardar y reutilizarse en siguientes procesos de impresión.

3.2 Pruebas de Movimiento de los Ejes

Una vez finalizadas las configuraciones necesarias, se enciende la máquina sin presentar ningún problema. Se constata que la pantalla funciona correctamente, incluyendo los menús incorporados en el firmware Marlin. Así mismo, el generador de la señal PWM opera adecuadamente, permitiendo ajustar al 100 % la frecuencia y el ciclo de trabajo del láser.



Figura 91. Encendido de la impresora 3D SLS.

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, se realiza las pruebas manuales de movimiento de cada uno de los ejes, donde se comprueba que los pasos de cada motor son correctos.



Figura 92. Prueba de movimiento del eje X.

Fuente: Elaboración propia

3.3 Pruebas del Módulo Láser

Realizar pruebas con el módulo láser tiene como objetivo verificar el rango de enfoque disponible. Para ello, inicialmente se efectuó una prueba sobre una superficie de cartón, en la cual se procedió a laminar una figura de prueba. En esta operación, el parámetro de relleno se configuró en un valor del 0 %, permitiendo así evaluar exclusivamente la definición del contorno y la precisión del haz láser. Estas pruebas permiten recopilar datos del comportamiento del haz del láser en condiciones controladas y establecer una referencia inicial para posteriores ajustes y calibraciones.

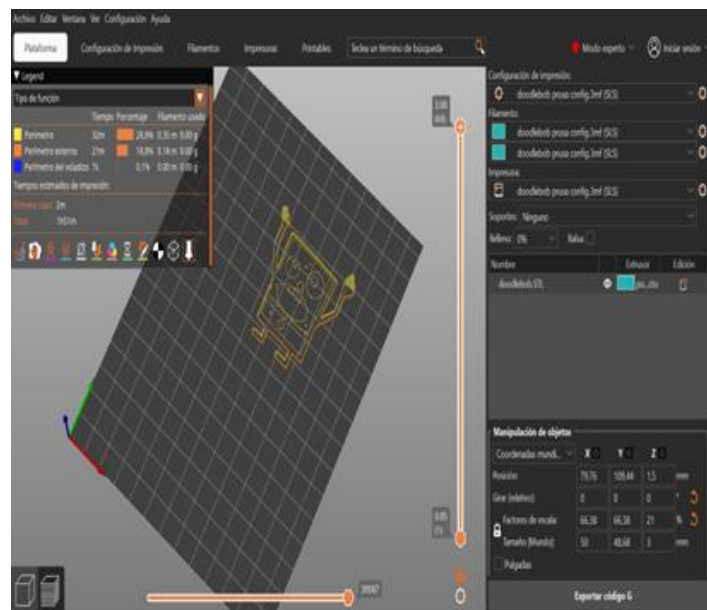


Figura 93. Laminado de una figura para prueba del láser.

Fuente: Elaboración propia

El enfoque del láser es ajustado a una altura de 1 cm para realizar el corte, obteniéndose resultados satisfactorios al trabajar con un cartón de 3 mm de espesor; esta configuración logra un corte limpio y preciso. Durante la prueba, tanto la frecuencia como el ciclo de trabajo en el generador de señal PWM se configura al 100 %, garantizando así la máxima potencia de salida del láser y optimizando el proceso.

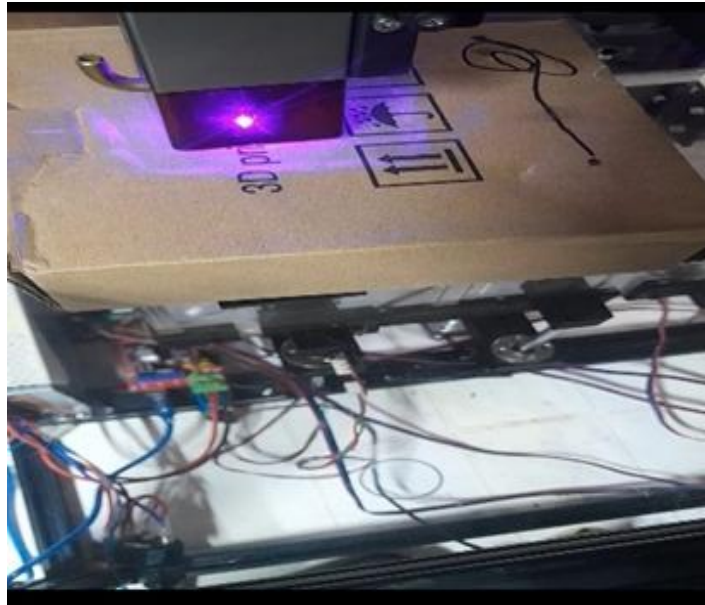


Figura 94. Prueba en una superficie de cartón.

Fuente: Elaboración propia



Figura 95. Resultado de la prueba del módulo láser.

Fuente: Elaboración propia

Durante la simulación del proceso de sinterizado, que involucraba el funcionamiento conjunto del láser y la barredora, se evidencia que la barredora colisiona con el módulo láser durante su recorrido. Como medida inicial, se opta por elevar el módulo láser a una altura aproximada de 6 cm para evitar el choque; sin embargo, esta modificación no

proporciona resultados satisfactorios, ya que la distancia de enfoque resultó excesiva, afectando significativamente la precisión y la eficacia del sinterizado.

Para resolver este inconveniente, se realiza ajustes en el firmware de la máquina, se programa el desplazamiento automático del módulo láser hacia un punto de inicio seguro cada vez que la barredora efectúa su recorrido a lo largo de los depósitos de material. Una vez que la barredora completa su ciclo, el láser regresa a su posición de trabajo y reanuda el proceso de sinterizado. Esta modificación permite mantener la distancia de enfoque óptima, prevenir colisiones y garantizar un ciclo de trabajo continuo y seguro durante toda la operación de sinterizado.

```
C:\Configuration> Marlin
C:\Configuration> C:\Users\william\Desktop> C:\Configuration> ...
1709 // MINIMAL Z HEIGHT BEFORE HOMING (used for Z clearance)
1710 #define Z_AFTER_HOMING 0 // (mm) Height to move to after homing Z
1711
1712 // Direction of endstops when homing; 1=MAX, -1=MIN
1713 // [-1,1]
1714 #define X_HOMING_DIR -1
1715 #define Y_HOMING_DIR -1
1716 #define Z_HOMING_DIR -1
1717 // #define I_HOMING_DIR -1
1718 // #define J_HOMING_DIR -1
1719 // #define K_HOMING_DIR -1
1720 // #define U_HOMING_DIR -1
1721 // #define V_HOMING_DIR -1
1722 // #define W_HOMING_DIR -1
1723
1724 // Section geometry
1725
1726 // The size of the printable area
1727 #define X_BED_SIZE 127
1728 #define Y_BED_SIZE 164
1729
1730 // Travel limits (linear=mm, rotational=°) after homing, corresponding to endstop positions.
1731 #define X_MIN_POS 0
1732 #define Y_MIN_POS 0
1733 #define Z_MIN_POS 0
1734 #define X_MAX_POS X_BED_SIZE
1735 #define Y_MAX_POS Y_BED_SIZE
1736 #define Z_MAX_POS 200
1737 // #define T_MIN_POS 0
```

Figura 96. Configuración del home del módulo láser.

Fuente: Elaboración propia

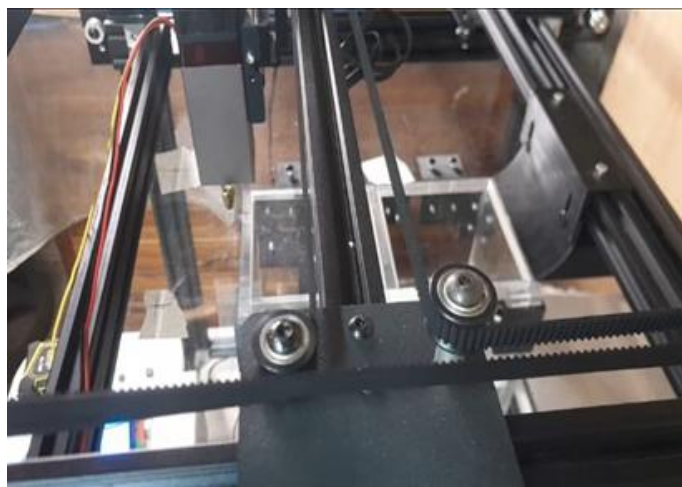


Figura 97. Módulo láser en el punto de inicio.

Fuente: Elaboración propia

3.4 Pruebas del Sistema de Alimentación y Distribución

Antes de realizar las pruebas con el polvo de sublimación textil, se observa que la barredera tendería a esparcir el material de forma descontrolada por toda la base. Para evitar este inconveniente y asegurar una distribución uniforme, se instala perfiles cuadrados de $1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$ a ras de la barredera. Esta adaptación permite que el material se distribuya de manera homogénea sobre la cama de sinterizado, optimizando así la preparación de cada capa antes del proceso de fusión con el láser.

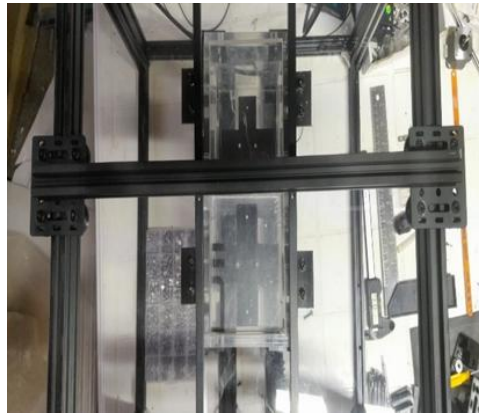


Figura 98. Instalación de guías para barredera.

Fuente: Elaboración propia

Luego de instalación de las varillas guía para la barredera, se procede a introducir el polvo para realizar pruebas de desplazamiento y verificar la correcta distribución del material. Durante estas pruebas, se observa que parte del material queda adherido a la superficie de la barredera, lo que impide una distribución uniforme sobre la cama de sinterizado. Además, se detecta que, durante el recorrido, el polvo excedente rebosa y se derrama fuera del área de trabajo, generando pérdidas y desorden en la superficie de impresión.

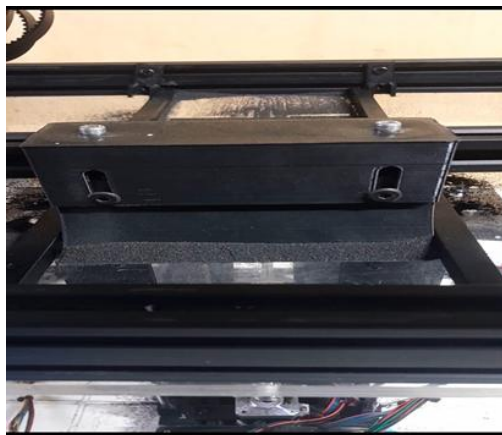


Figura 99. Mala distribución del material.

Fuente: Elaboración propia

Para corregir los inconvenientes, se realiza una modificación en el diseño de la barredera. La nueva propuesta consiste en una estructura con un ángulo de 90 grados, orientada a mejorar la eficiencia en el barrido y a garantizar que el material se distribuya de forma más homogénea. Esta mejora optimiza el rendimiento del sistema de alimentación, y contribuye a mantener limpio y ordenado el entorno de trabajo durante el proceso de sinterizado.

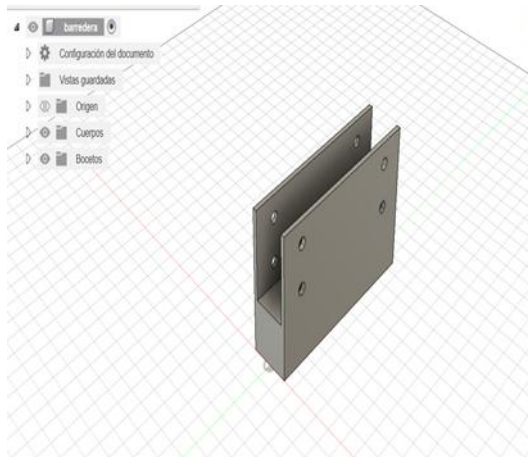


Figura 100. Diseño de nueva barredera.

Fuente: Elaboración propia

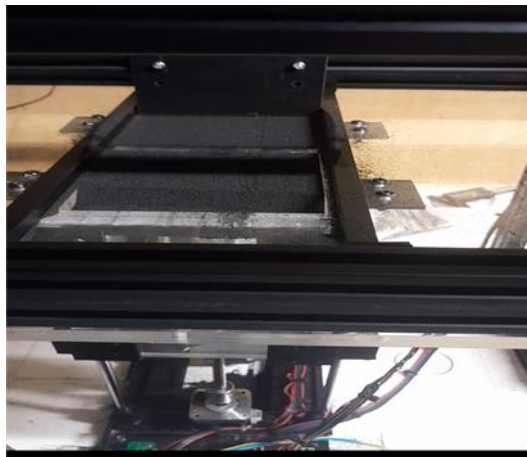


Figura 101. Instalación de la barredera.

Fuente: Elaboración propia

Una vez solucionado el problema de la barredera, se procede a realizar las pruebas de desplazamiento, en las cuales se confirma que el inconveniente inicial está resuelto. Sin embargo, durante estas pruebas se detecta un nuevo problema: al descender el eje Z de la cama de sinterizado, parte del material se escapa por los costados. Esto se debe a que la

cama presenta un juego de aproximadamente 1 mm, lo que permite que el polvo se filtre y se disperse por la parte inferior.

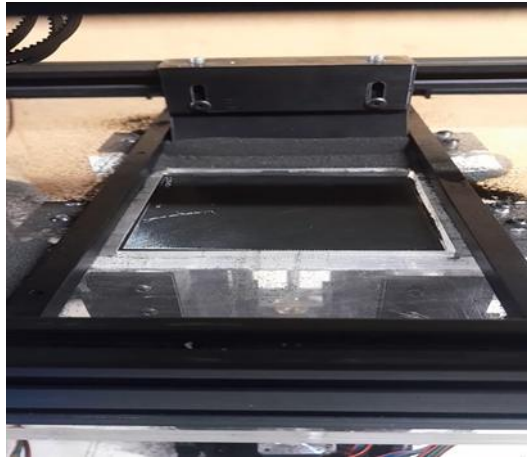


Figura 102. Filtración de material por la parte inferior.

Fuente: Elaboración propia

Para corregir este inconveniente, se fabrica e instala una plataforma de cierre en material PETG, con el objetivo de evitar que el material se derramara. No obstante, los resultados no son completamente satisfactorios, ya que persisten pequeñas fugas. Ante esta situación, se opta por una solución adicional: aplicar silicona fría en los bordes de la cama, creando un sellado hermético. Este material es seleccionado debido a su flexibilidad, lo que le permite adaptarse a posibles dilataciones o movimientos durante el proceso de sinterizado sin comprometer la estanqueidad. Con esta mejora, se logra reducir al mínimo las pérdidas de material y optimizar la eficiencia del sistema de contención en la zona de trabajo.

3.5 Pruebas de Impresión

Una vez realizadas todas las correcciones necesarias, se lleva a cabo una sinterización de prueba con el objetivo de verificar el correcto funcionamiento de la máquina en condiciones reales de operación. Durante la prueba se ajusta las dimensiones efectivas de los ejes, el desplazamiento completo de la barredora y la altura del módulo láser.

Cabe destacar que, para esta evaluación, se retira la protección original del módulo láser con el fin de permitir un ajuste más preciso del enfoque, estableciéndose una altura de 2 cm respecto a la superficie de trabajo. Esta configuración busca optimizar la concentración del haz láser y mejorar la calidad del sinterizado. La prueba permite constatar el comportamiento general del sistema, así como identificar parámetros que

podrían afinarse en futuras calibraciones para maximizar la precisión y la eficiencia del proceso.

Para la primera prueba de impresión, se lamina una pequeña llave en PrusaSlicer. Una vez cargado el archivo, se debe preparar el material para sinterizar en el respectivo depósito, en el presente proyecto se hace uso de poliamida, la cual es un polvo destinado a la sublimación de textiles. El tiempo total del proceso de sinterización de esta primera pieza es de 2 horas con 29 minutos.

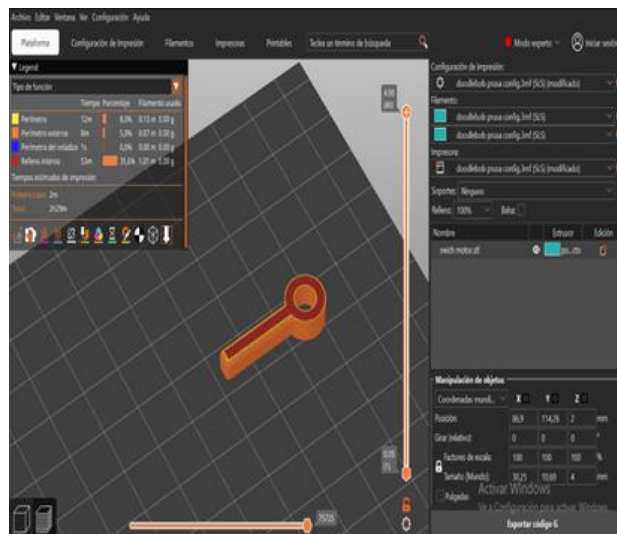


Figura 103. Generación de códigos G para la prueba de sinterizado.
Fuente: Elaboración propia

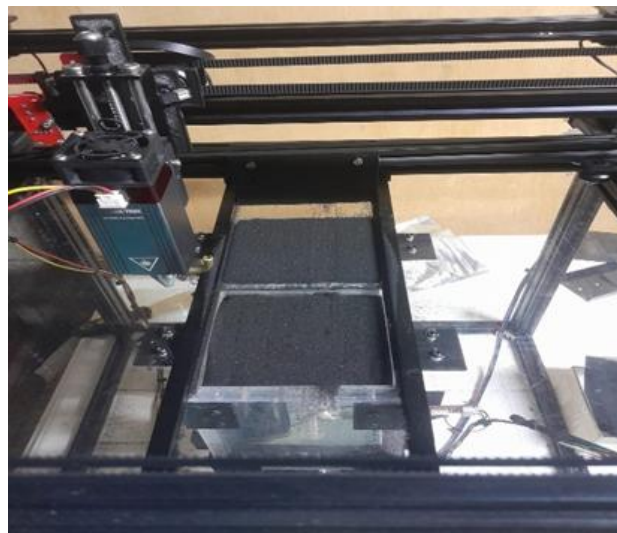


Figura 104. Preparación del material previo sinterizar.
Fuente: Elaboración propia



Figura 105. Resultado de la primera sinterización.
Fuente: Elaboración propia

En la primera prueba (Figura 105) se observa que el proceso de sinterizado no alcanza los resultados deseados, ya que se obtiene una pieza sólida pero no tan prolija, lo que es probable que sea consecuencia del enfoque del láser que se encuentra ligeramente elevado. Para corregir esta situación, se ajusta la altura del módulo láser, estableciéndola finalmente en 1.5 cm sobre la superficie de trabajo, mejorando así la concentración del haz y, por consiguiente, la calidad y precisión del sinterizado en las pruebas posteriores.

Además, se verifica que el ciclo de trabajo del PWM este configurado al 50 % de su capacidad, lo que limita la potencia efectiva del láser durante el sinterizado. Este parámetro es ajustado al 100 % de su capacidad, garantizando así la máxima potencia disponible y optimizando la eficiencia del proceso de fusión del material en las pruebas posteriores.

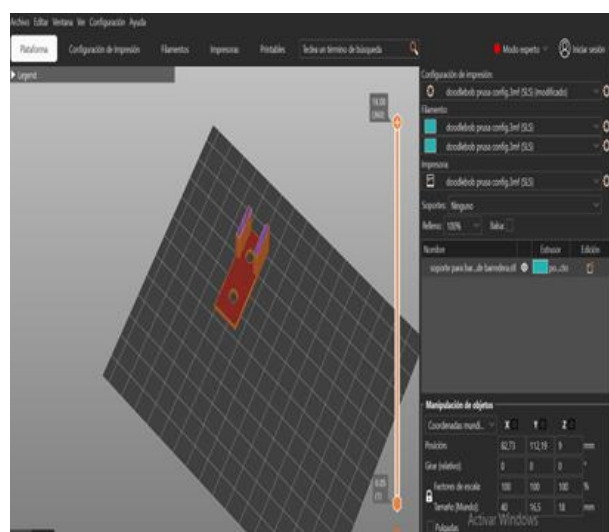


Figura 106. Laminado de la prueba 2.
Fuente: Elaboración propia



Figura 107. Prueba de sinterización 2.
Fuente: Elaboración propia

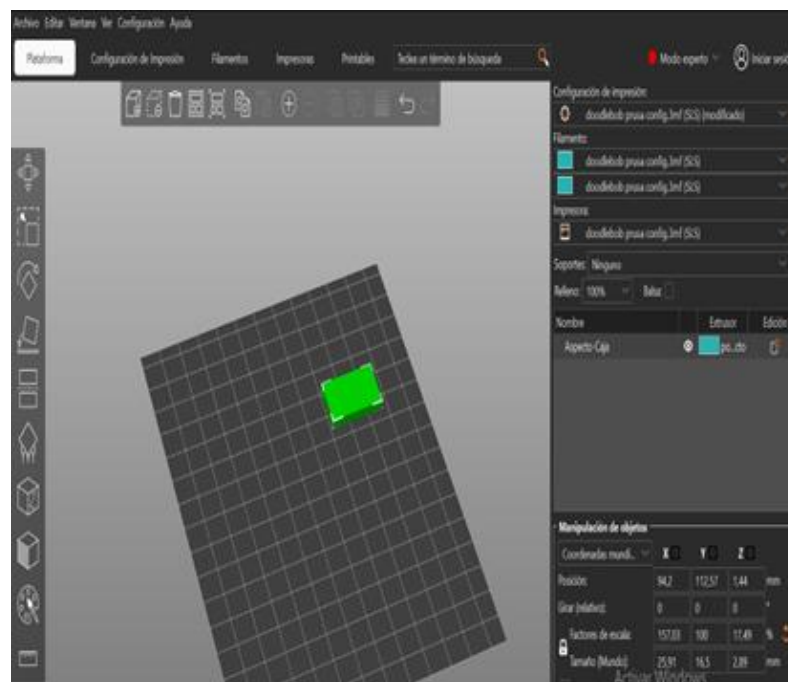


Figura 108. Laminado de la prueba 3.
Fuente: Elaboración propia



Figura 109. Prueba de sinterizado 3.

Fuente: Elaboración propia

Luego de ciertas pruebas con la máquina, se decide hacer una cabina para la zona de base específicamente el área donde se aloja el polvo y se lleva a cabo el proceso de sinterización. Esta modificación tiene como finalidad crear un entorno más controlado y seguro para el material, ya que se reduce la influencia de factores externos como corrientes de aire o variaciones de temperatura.

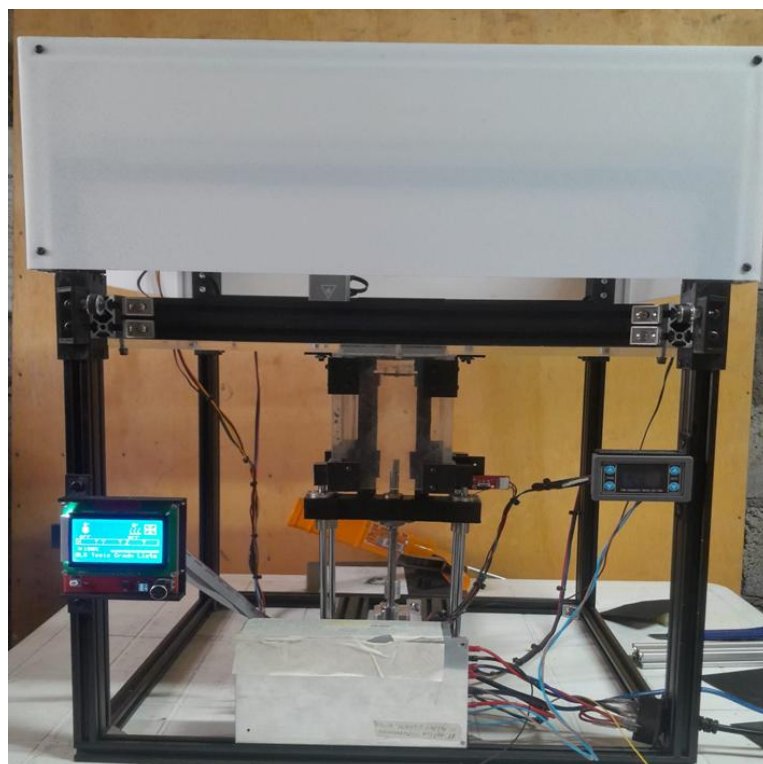


Figura 110. Cabina.

Fuente: Elaboración propia

Una vez implementada la cubierta, se procede a realizar nuevas pruebas de sinterización con el objetivo de evaluar el comportamiento del polvo dentro del espacio cerrado.

Al ejecutar nuevas pruebas de funcionamiento con piezas de mayor complejidad geométrica y utilizando un relleno con densidad del 100%, se observa que la primera capa se sinteriza de manera correcta. No obstante, a partir de la segunda y tercera capa el material comienza a presentar signos de quemado progresivo, lo que afecta la integridad de las piezas obtenidas.



Figura 111. Pieza fallida.

Fuente: Elaboración propia

Se considera que este comportamiento del material se debe a que se encuentra en un espacio más hermético, y al ser un polvo textil, es más susceptible a la inflamación. Para corroborar o descartar este argumento, se decide realizar pruebas con una menor intensidad en el láser. Se procede a regular el láser a un 75% de su potencia. Sin embargo, durante el proceso de sinterización se evidencia nuevamente que, a partir de la segunda capa, el material se funde en exceso.



Figura 112. Pieza fallida.

Fuente: Elaboración propia

Tras obtener resultados insatisfactorios, se decide experimentar retirando la cubierta superior y manteniendo la potencia del láser en un 75%. Bajo estas condiciones, se consigue complementar la sinterización sin inconvenientes. A partir de esta prueba, y considerando que el material es muy elástico, se concluye que la atmosfera hermética favorece a la fundición del polvo; razón por la cual se retira la parte superior de la cabina.



Figura 113. Pieza Sinterizada.

Fuente: Elaboración propia

En las distintas pruebas de impresión se puede apreciar el proceso de sinterizar un material en polvo, observándose la formación progresiva de las capas que forman la pieza 3D. Estos resultados evidencian el correcto funcionamiento del equipo y la viabilidad del proceso para la fabricación de piezas. Sin embargo, el acabado de las piezas no fue el esperado, esto se le atribuye a que el polvo no es tan fino, por lo que la pieza queda rugosas al tacto.

CONCLUSIONES

A lo largo del desarrollo de este proyecto, se logró cumplir con el objetivo general de diseñar y construir una máquina de impresión 3D basada en la tecnología de Sinterizado Selectivo por Láser (SLS) para que los estudiantes de la carrera de Ingeniería Marítima puedan aprender la importancia y los avances de esta nueva tecnología, al mismo tiempo que desarrollarán habilidades y competencias en máquinas de prototipado rápido.

- Desde el inicio, se definió y abordó un proceso de investigación profundo que permitió sentar las bases teóricas sobre el principio de funcionamiento, ventajas y desafíos de la impresión 3D SLS. A partir de la información recopilada, se establece que la impresión por sinterizado selectivo es un proceso de manufactura aditivo que a través de un láser fusiona capas de material en polvo, resultando en piezas de gran acabado y resistencia frente a otras tecnologías; sin embargo, es un método de fabricación costoso e industrial por lo que la información publicada no es tan detallada.
- Se logró modelar la máquina con el apoyo de los softwares “SolidWorks y Fusion360”. La combinación de ambos permitió un equilibrio entre utilidad, precio y viabilidad de construcción. Para el diseño de la estructura y ensamblajes mecánicos, se empleó SolidWorks, siendo una herramienta ideal gracias a su simpleza y facilidad al momento de diseñar; por otro lado, Fusion360 fue empleado para realizar ajustes paramétricos, verificar funcionalidad del diseño y simular esfuerzos.
- La construcción de la máquina conllevó un reto importante, pero finalmente se consiguió ensamblar un prototipo funcional, capaz de utilizar material plástico en polvo para crear piezas simples, demostrando así la aplicabilidad de esta tecnología en un entorno académico y práctico. El mayor reto presentado durante la construcción fue la parte electrónica, conexiones y programación, ya que muchos de los componentes requeridos estaban agotados nacionalmente, por lo que fue necesario importar, dejando un margen de tiempo corto para realizar una programación a detalle.

- Finalmente, mediante la elaboración de pruebas con diferentes figuras geométricas, se comprobó que la máquina cumple con los requerimientos mínimos de funcionamiento, a pesar de no obtener piezas exactas, se logró evidenciar la tecnología del sinterizado, sentando una base importante para futuras mejoras y aplicaciones más complejas.

Este proyecto no solo demuestra la viabilidad técnica de construir una impresora SLS de bajo costo, sino que también abre nuevas posibilidades para la fabricación aditiva en el ámbito marítimo.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda el uso de Equipos de Protección Personal “EPP” como; Mascarillas o respirador con filtro, guantes resistentes a químicos de la fusión del polvo y al calor, lentes de seguridad con opacidad por la radiación del láser con el fin de proteger la salud y seguridad de los operadores.
- En caso querer una cabina completa, se sugiere instalar extractores de calor y/o humo. Así mismo, la utilización de la máquina debe ser en un área correctamente ventilada o en su caso contar con un sistema de extracción localizada por el desprendimiento de humo al momento de fusionar el material.
- El presente proyecto utiliza poliamida textil como material para sinterizar, se recomienda buscar otras opciones que den un mejor acabado y no genere demasiados gases (humo). Cabe mencionar, que la potencia del láser es ideal para trabajar con materiales plásticos, en caso utilizar polvos metálicos se debe usar un láser de mayor potencia.
- Se recomienda incorporar una placa metálica en la cama del sinterizado con el fin de proteger la base de la impresora y evitar que se queme durante el proceso. Esta medida contribuye a distribuir el calor de manera más uniforme y garantiza un entorno más seguro para la operación.
- Es necesario realizar mantenimientos preventivos a los diferentes mecanismos de la máquina, por ello, se sugiere revisar el “Manual de Usuario” previo a iniciar una nueva impresión.

El correcto almacenamiento del polvo de sinterización deberá ser en un sitio con baja humedad y baja temperatura (no mayor a 35°C). Adicionalmente, se sugiere guardar el polvo reutilizado en un lugar diferente al que contiene el polvo virgen.

BIBLIOGRAFÍA

- Arcos Valencia, T. A., & Nuela Yanchapanta, L. M. (2019). *Diseño e implementación de una máquina de prototipado rápido basada en la tecnología de sinterizado selectivo por láser (sls) que permita la manufactura de objetos tridimensionales (tesis de grado)*. Latacunga: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. <https://espe-el.espe.edu.ec/>.
- Arufe García, J. (2021). *STUDY ON 3D PRINTING WITH FIBER REINFORCEMENT AND ITS AEROSPACE APPLICATIONS (Tesis de grado)*. Universidad de Cádiz, Cádiz, España.
- Awad, A., Fina, F., Goyanes, A., Gaisford, S., & Basit, A. (2020). Impresión 3D: Principios y aplicaciones farmacéuticas de la sinterización selectiva por láser. *Revista Internacional de Farmacéutica.*, Volumen 586. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2020.119594>
- Contreras, L. (14 de Julio de 2022). 3D natives. <https://www.3dnatives.com/es/impresoras-3d-sls-220320182/#>
- Dongdong, G. (2015). *Laser Additive Manufacturing of High-Performance Materials*. China: Springer Berlin Heidelberg New York Dordrecht London. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-46089-4>
- Fernández, J. G. (2019). *Aplicaciones de la impresión 3D en los procesos artísticos y artesanales (tesis de posgrado)*. Universidad Politecnica de Valencia, Valencia, España.
- Formlabs. (2021). *Guía de impresión 3D por sinterizado selectivo por láser (SLS)*. formlabs.com.latam: <https://formlabs.com/latam/materials/sls-powders/>
- Galbiati, A. (2019). Impresión 3D, tecnología y polímeros. *AADECA*(12), 14-20. https://www.editores.com.ar/sites/default/files/AADECA_12_abril_junio_2019_baja.pdf
- Kinstlinger, I., Bastian, A., Paulsen, S., Hwang, D., Anderson, H. T., Yalacki, D. R., Schmidt, T., & Miller, J. S. (2016). Open-Source Selective Laser Sintering

- (OpenSLS) of Nylon and Biocompatible Polycaprolactone. *PLoS ONE*, 11(2).
<https://doi.org/https://doi.org/10.1371/journal.pone.0147399>
- Lakraimi, R., Abouchadi, H., & Taha Janan, M. (1 de Marzo de 2024). Modeling the Physics of Selective Laser Sintering Using the Discrete Element Method. *International Journal of Computational Methods and Experimental Measurements*, 12(1), 21-31.
<https://doi.org/https://doi.org/10.18280/ijcmem.120103>
- Merino, S. B. (2023). *Sistemas de impresión 3D: reseña histórica, tecnologías desarrolladas y creación de piezas mediante Robocasting empleando partículas nanométricas de Fe₂O₃ dopado. (Tesis de grado)*. Uiversidad de Sevilla, España.
<https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/94782/fichero/TFG-4782+Bueno+Merino.pdf>
- Miranda, C. V. (2020). Impresoras 3D: el futuro del modelado. *Revista Digital de ACTA*(074), 1-20. <https://www.acta.es/recursos/revista-digital-manuales-formativos/627-074>
- Moinuddin, S., Dewangan, A., & Roshan, S. (2021). Direct Metal Laser Sintering Process . *Advances In Additive Manufacturing Proceses*, 48-70.
<https://books.google.com.ec/books?id=QZRUEAAAQBAJ&lpg=PA28&ots=sF-4Hamf-u&dq=selective%20sintering%20laser%20advantages&lr&hl=es&pg=PP3#v=onepage&q=selective%20sintering%20laser%20advantages&f=false>
- Naylamp *Mechatronics*. (enero de 2020).
https://naylampmechatronics.com/img/cms/catalogo_v-slot.pdf
- Pring, F. 2. (25 de Enero de 2023). *Impresión SLS: Fundamentos y funcionamiento*. filament2print.com: https://filament2print.com/es/blog/163_impresion-3d-sls-fundamentos-funcionamiento.html
- Prusa Slicer. (2025). <https://prusaslicer.net/>
- RODRIGUEZ, F. D. (2019). *IMPRESIÓN 3D, UNA INTRODUCCIÓN*. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO, CUAUTITLÁN.

http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m9/IMPRESION%203D_UNA%20INTRODUCCION.pdf

Rodríguez, P. M. (2022). *ESTUDIO DE VIABILIDAD SOBRE LA IMPLEMENTACIÓN DE MANUFACTURA ADITIVA DE METAL A NIVEL ACADÉMICO EN COLOMBIA*. UNIVERSIDAD DE LOS ANDES Departamento de Ingeniería Mecánica Bogotá, Colombia.
<https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/a97b7bb3-a758-4cda-a788-07951cb6103d/content>

Salomón, J. P. (2020). *NUEVAS OPORTUNIDADES DE LA IMPRESIÓN 3D EN LA ECONOMÍA POSTCOVID* (. Universidad Politécnica de Cataluña, España.
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/339782/jane-salomon-joanpau-tfg.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Shenzhen Rapid Direct Co., Ltd. (21 de Marzo de 2022). *RAPID DIRECT*.
<https://www.rapiddirect.com/es/blog/selective-laser-sintering/>

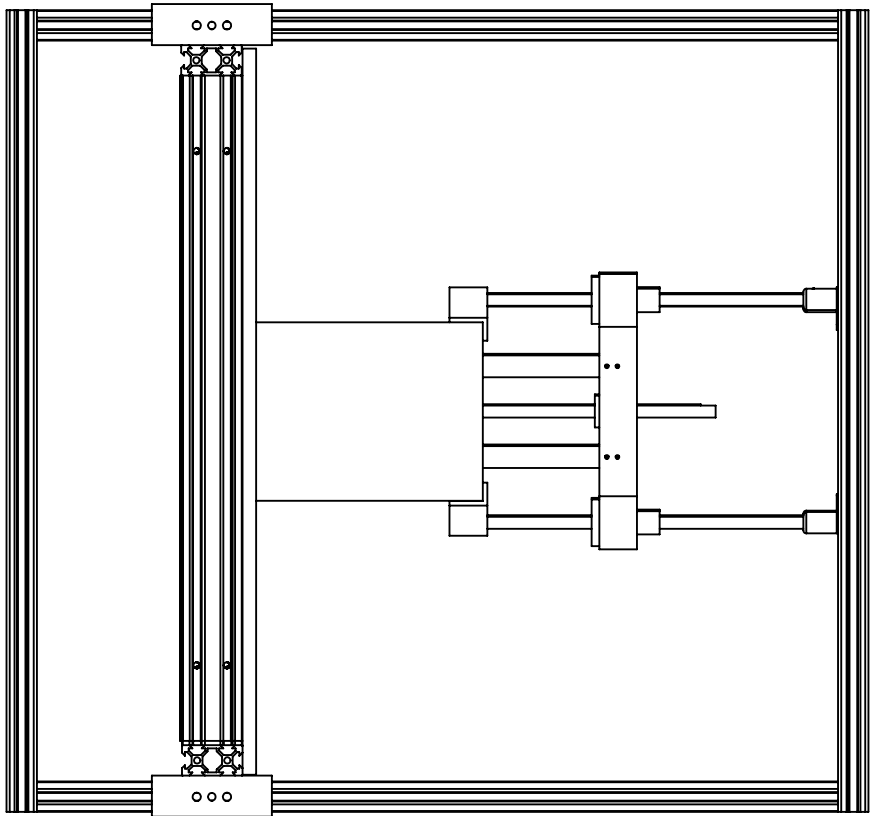
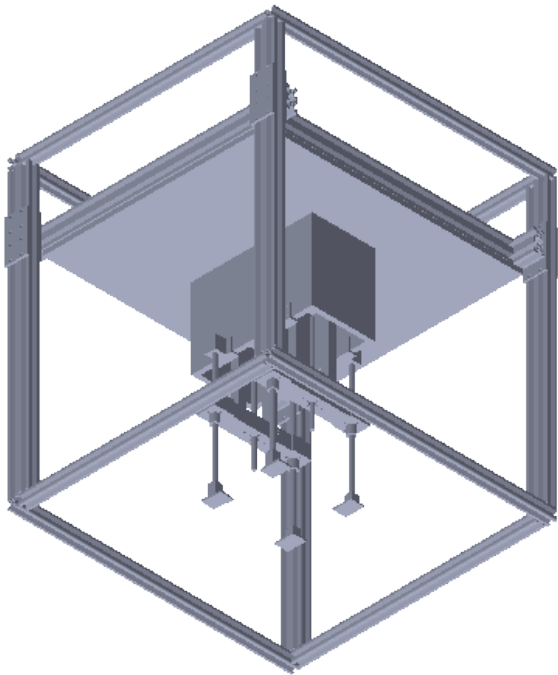
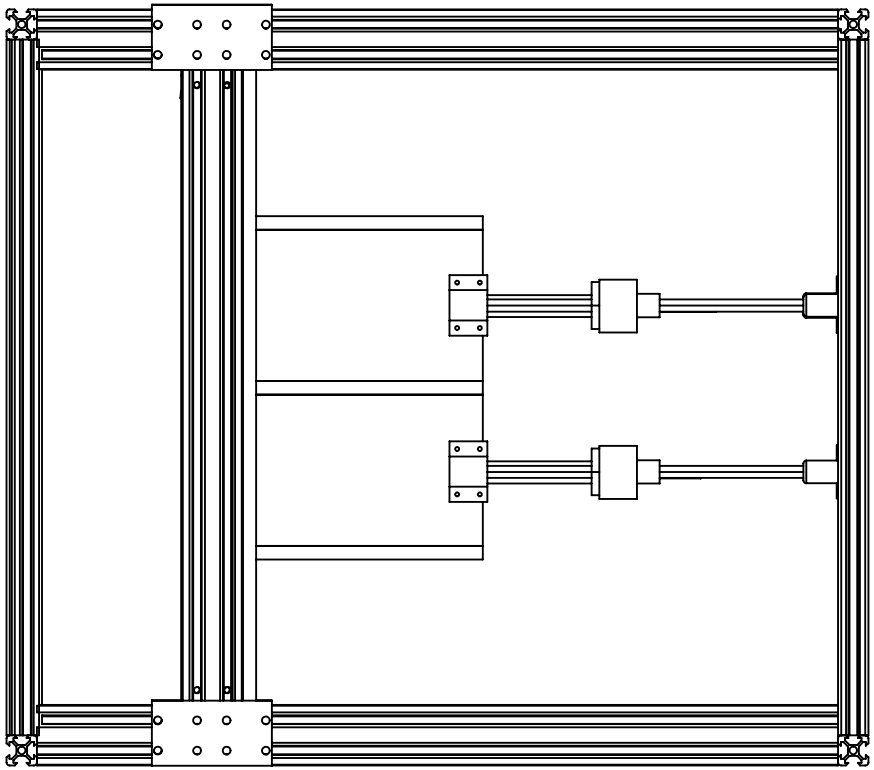
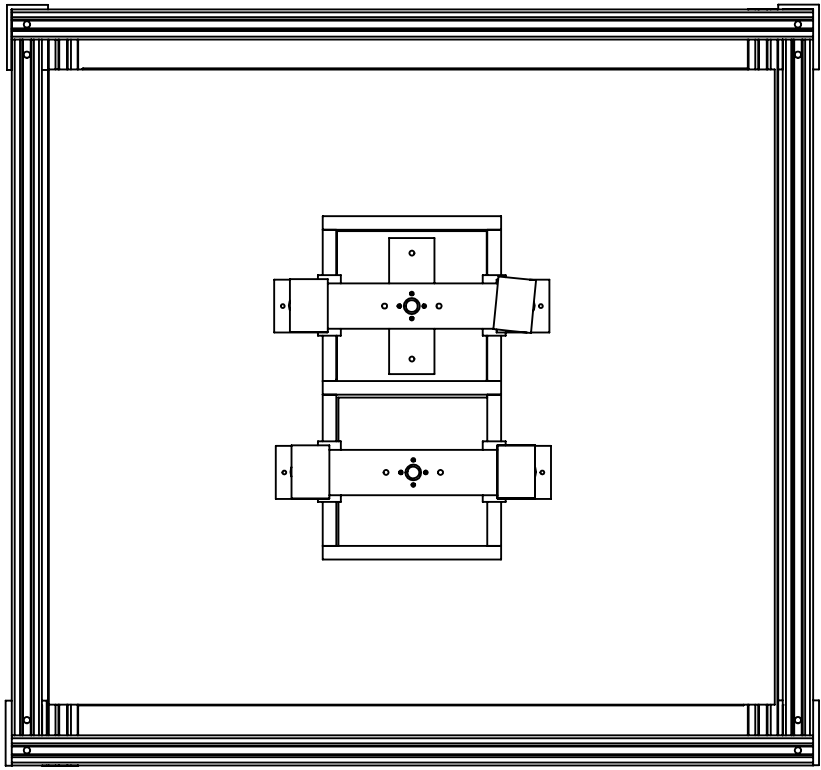
Toledano, R. S. (2023). *Introducción de la impresión 3D en el módulo de Diseño, dibujo y modelado para animación a estudiantes de formación profesional a través de ABP. (Tesis de Mater Unversitario)*. Universidad Internacional de la Rioja, España.
<https://reunir.unir.net/bitstream/handle/123456789/14545/Salazar%20Toledano%2c%20Roc%20ado.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

YE, R. (25 de julio de 2023). *3ERP*. <https://www.3erp.com/blog/g-code/>

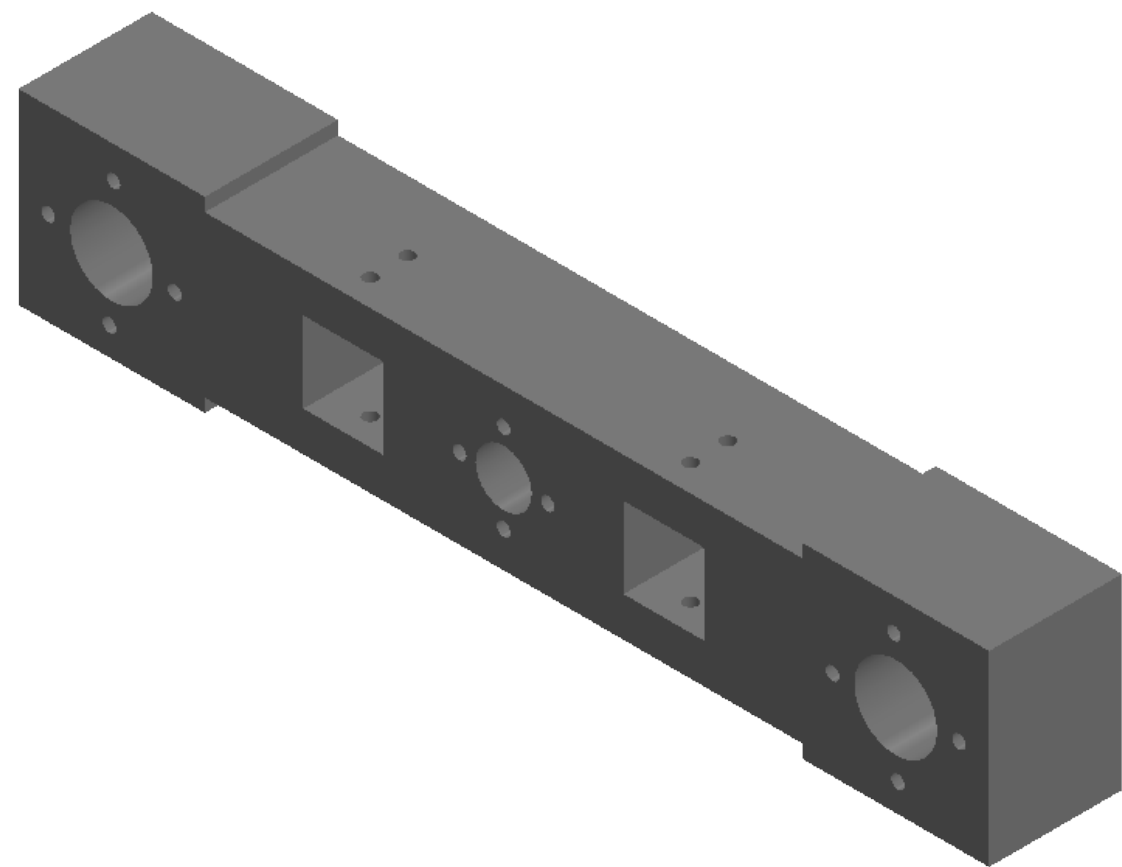
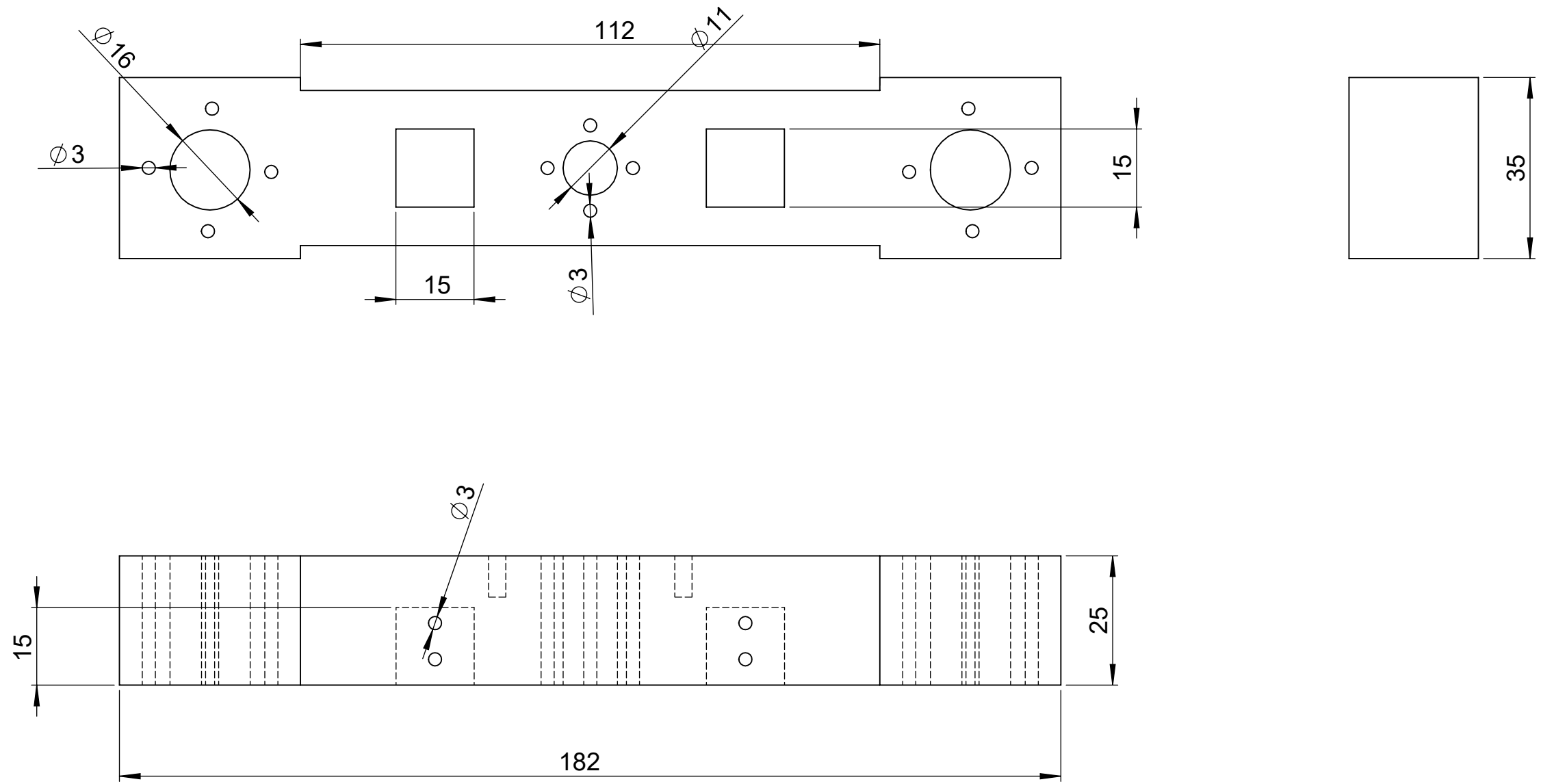
ANEXOS

ANEXO A:

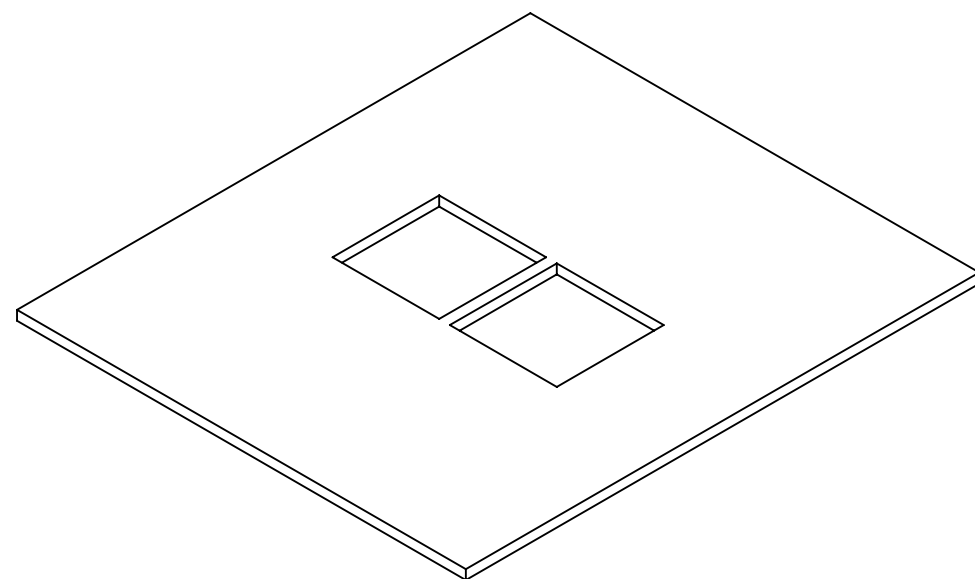
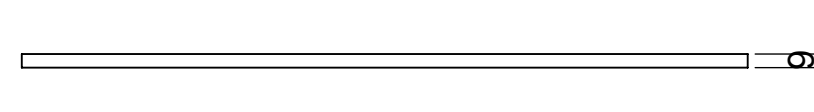
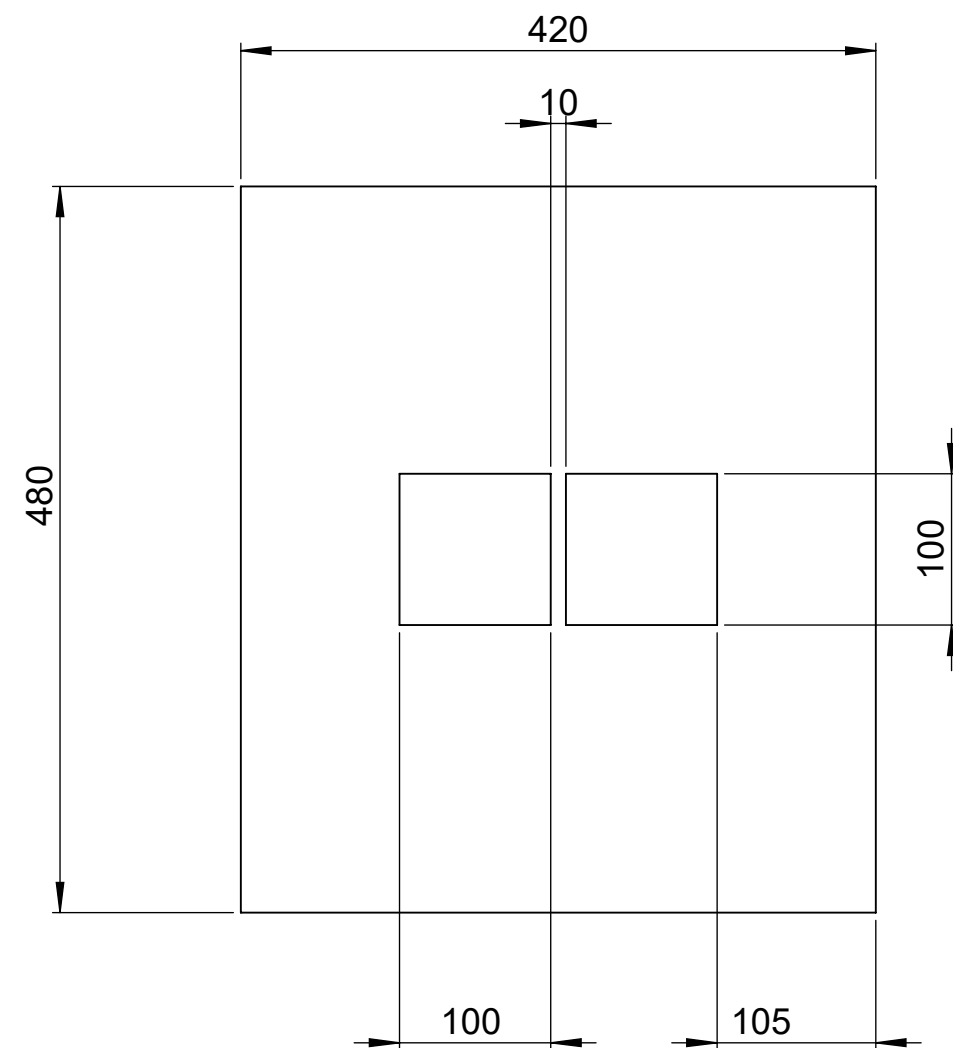
DISEÑO CAD Y PLANOS DE LA MÁQUINA DE IMPRESIÓN 3D SLS



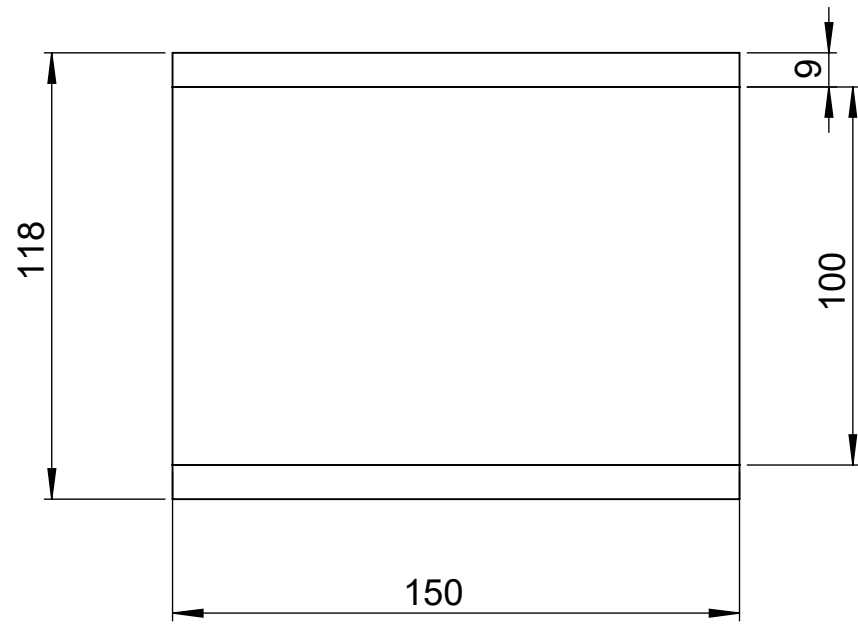
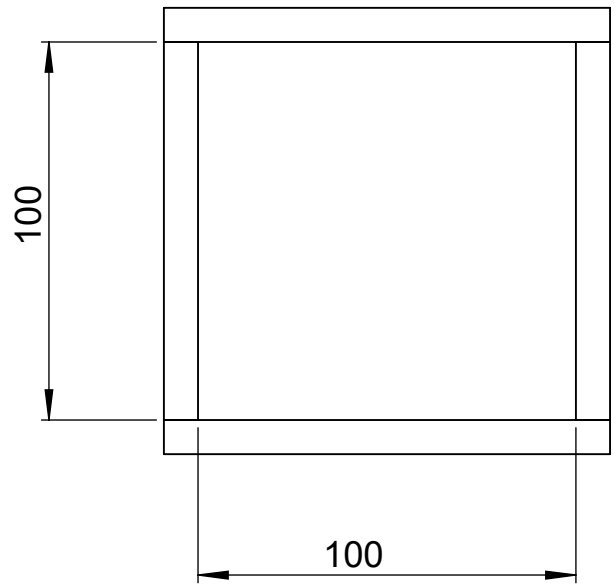
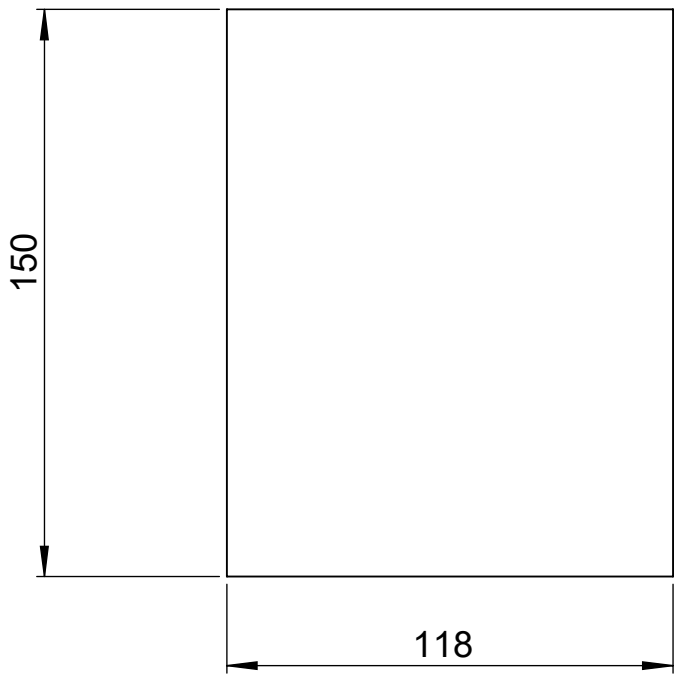
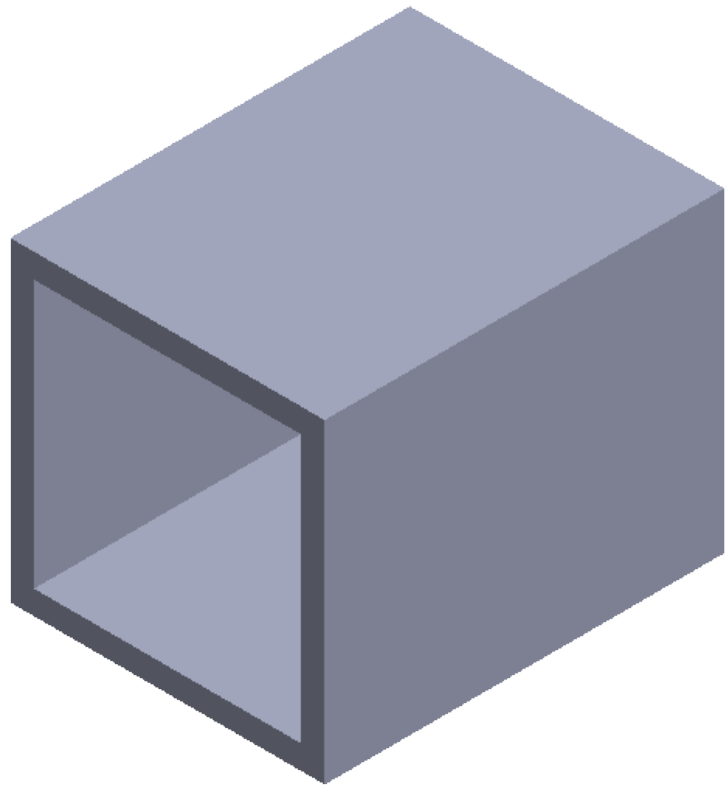
				Tolerancias N/A	(Peso)	Aluminio	
				10/08/25	Nombre	Estructura de la Impresora SLS	Escala 1:5
				Dib.			
				Rev.			
				Apro.		ING-MAR-2025(1)	
Edi- ción	Modifi- cación	Fe- cha	Nom- bre			(Sustitución)	



				Tolerancias N/A	(Peso)	PETG	
						Soporte del sistema de elevacion	Escala 1:1
					10/08/25	Nombre	ING-MAR-2025(1)
				Dib.			
				Rev.			
				Apro.			(Sustitución)
Edi- ción	Modifi- cación	Fe- cha	Nom- bre				



				Tolerancias N/A	(Peso)	Acrílico	
						Base	Escala 1:5
					10/08/25	Nombre	
				Dib.			
				Rev.			
				Apro.			
						ING-MAR-2025(1)	
Edi- ción	Modifi- cación	Fe- cha	Nom- bre			(Sustitución)	



				Tolerancias N/A	(Peso)	Acrílico	
						Depositos del materia	Escala 1:2
					10/08/25	Nombre	
				Dib.			
				Rev.			
				Apro.			
						ING-MAR-2025(1)	
Edi- ción	Modifi- cación	Fe- cha	Nom- bre			(Sustitución)	

ANEXO B:
MANUAL DEL USUARIO

MANUAL DEL USUARIO

PROTOTIPO DE IMPRESORA 3D SLS

GABRIELA BASURTO Y KEVIN ZAMBRANO
INGENIERÍA MARÍTIMA
2025

Contenido

CONFIGURACIÓN DE PRUSASLICER.....	2
IMPORTACIÓN DEL ARCHIVO.....	18
EXPORTACIÓN DEL G-CODE.....	19
INICIO DEL SINTERIZADO.....	20
MANTENIMIENTO.....	22

CONFIGURACIÓN DE PRUSASLICER

PrusaSlicer es un software de laminado diseñado para preparar modelos 3D antes de su fabricación. En este caso, ha sido adaptado y configurado específicamente para la impresora SLS desarrollada, con el fin de garantizar un funcionamiento correcto en el proceso de sinterizado selectivo por láser.

Este presente capítulo explica de manera clara las tres secciones principales de configuración en PrusaSlicer: Impresión, Filamento e Impresora, indicando el propósito de cada parámetro y las recomendaciones de uso.

1. DESCARGAR E INSTALAR PRUSASLICER

Instalar el software PrusaSlicer, el cual será utilizado para preparar los modelos 3D antes del proceso de sinterización.

1.1 Acceso a la página oficial

1. Abrir un navegador web actualizado (Google Chrome, Mozilla Firefox, Microsoft Edge o similar).
2. Ingresar a la página oficial de PrusaSlicer:

<https://www.prusa3d.com/prusaslicer/>

1.2 Selección de la versión

1. En la página de descargas, ubicar la sección **PrusaSlicer Downloads**.
2. Seleccionar el sistema operativo correspondiente:

- **Windows (64-bit)**
- **macOS**
- **Linux (AppImage o paquetes)**

1.3 Descarga del instalador

1. Hacer clic sobre el archivo de instalación correspondiente al sistema operativo.

2. Esperar a que la descarga finalice en la carpeta predeterminada del equipo (generalmente “Descargas”).

1.4 Instalación en Windows

1. Localizar el archivo descargado (ejemplo: PrusaSlicer-x.x.x-win64.exe).
2. Hacer doble clic en el archivo para iniciar el asistente de instalación.
3. Seguir los pasos del asistente:
 - Aceptar los términos y condiciones.
 - Seleccionar la carpeta de destino (por defecto: C:\Program Files\Prusa3D\PrusaSlicer).
 - Hacer clic en **Instalar**.
4. Una vez finalizada la instalación, seleccionar **Finalizar** para cerrar el asistente.

1.7 Verificación de instalación

1. Abrir el programa **PrusaSlicer** desde el menú de inicio (Windows)
2. Confirmar que el software se ejecute correctamente mostrando la interfaz inicial.

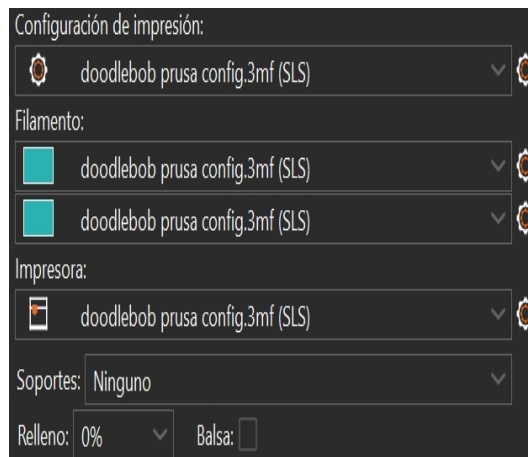
2. CREACIÓN DE UNA NUEVA IMPRESORA

2.1 Ubicación del menú de impresoras

En la parte derecha de la interfaz principal de PrusaSlicer se encuentra el apartado “**Impresora**”, junto con un menú desplegable de perfiles disponibles.

2.2 Acceso a la configuración

Junto a este menú, se debe hacer clic en el **ícono de engranaje** .



2.3 Opciones disponibles

Al hacer clic en el engranaje, se despliega un menú con tres opciones principales:

- **Editar ajustes de impresora**
- **Añadir/quitar ajustes de impresora**
- **Añadir impresora física**

2.4 Selección de “Añadir impresora física”

El usuario debe seleccionar la opción “**Añadir impresora física**”.

2.5 Creación de la impresora física

Se abrirá una nueva ventana donde se deben completar los siguientes campos:

2.6 Nombre de la impresora: asignar un identificador claro, por ejemplo

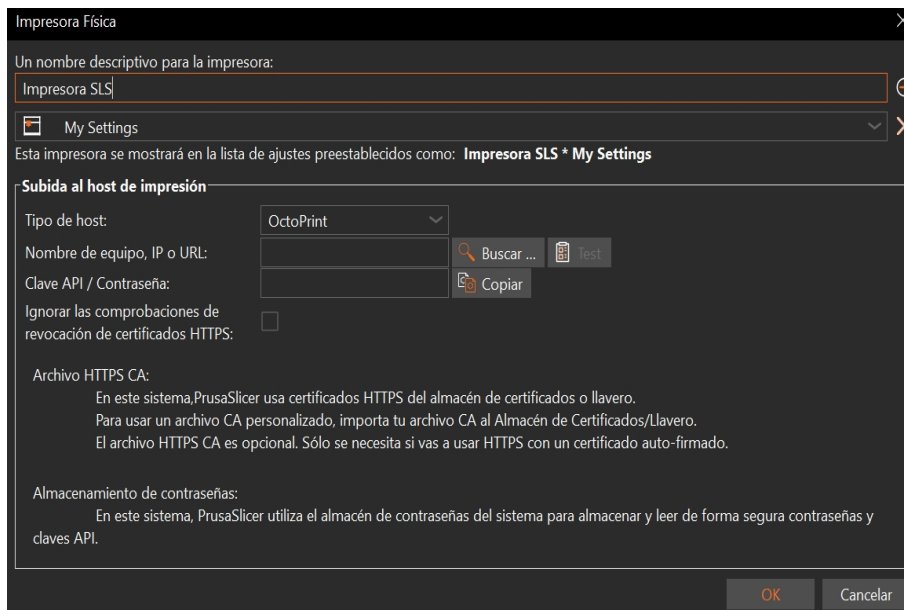
“**Impresora SLS**”.

En el apartado de My Settings se debe elegir cualquiera de los perfiles disponibles.

El resto de las configuraciones se debe dejar por defecto.

2.7 Confirmación y guardado

Una vez configurados los parámetros, pulsar en **Aceptar**. La nueva impresora física quedará registrada y lista para usarse en la lista de impresoras disponibles.



NOTA IMPORTANTE SOBRE LAS CONFIGURACIONES:

Todas las configuraciones deben mantenerse exactamente tal como están establecidas, ya que PrusaSlicer ha sido personalizado y optimizado para trabajar con la impresora SLS.

Modificar parámetros sin criterio técnico puede ocasionar:

- Errores en el laminado.
- Movimientos incorrectos de la máquina.
- Defectos en la sinterización del polvo.

Por lo tanto, se recomienda usar siempre los perfiles predefinidos de impresión, filamento e impresora, y realizar cambios únicamente bajo pruebas controladas.

3. CONFIGURACIÓN DE IMPRESIÓN

Este apartado controla la forma en que se construye la pieza durante el proceso de laminado.

Capas y perímetros

- **Altura de capa:** Define el grosor de cada capa; menor altura da más detalle, pero aumenta el tiempo de sinterización.

- **Perímetros:** Número de paredes externas de la pieza. Más perímetros mayor resistencia mecánica.
- **Capas superiores e inferiores:** Garantizan la solidez de las superficies externas.

Relleno

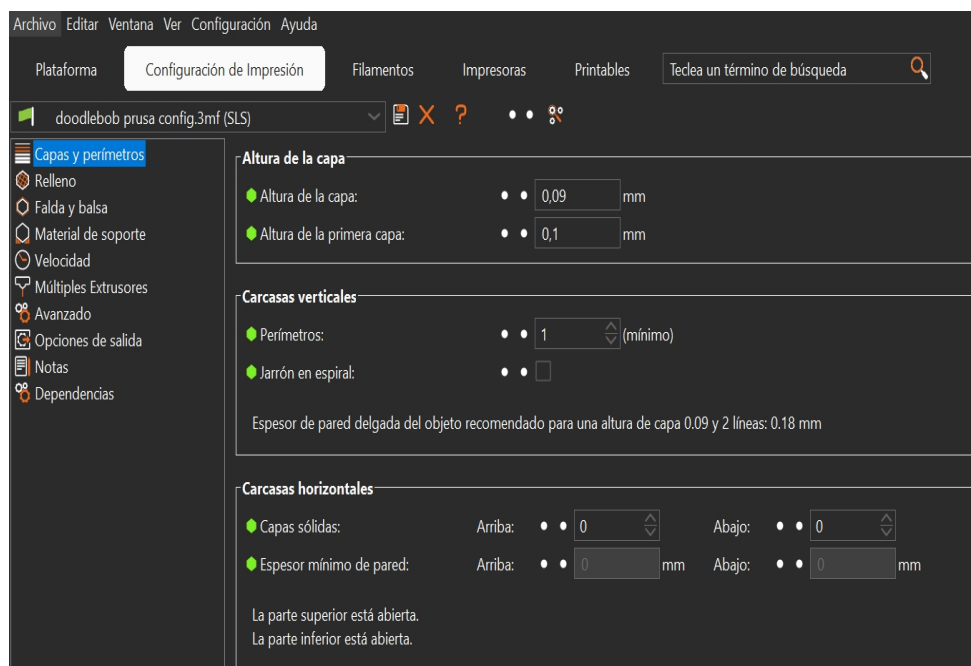
- **Densidad de relleno:** Porcentaje de material interno de la pieza.
- **Patrones:** (rectilinear, honeycomb, gyroid, etc.) cada uno con diferentes propiedades mecánicas.

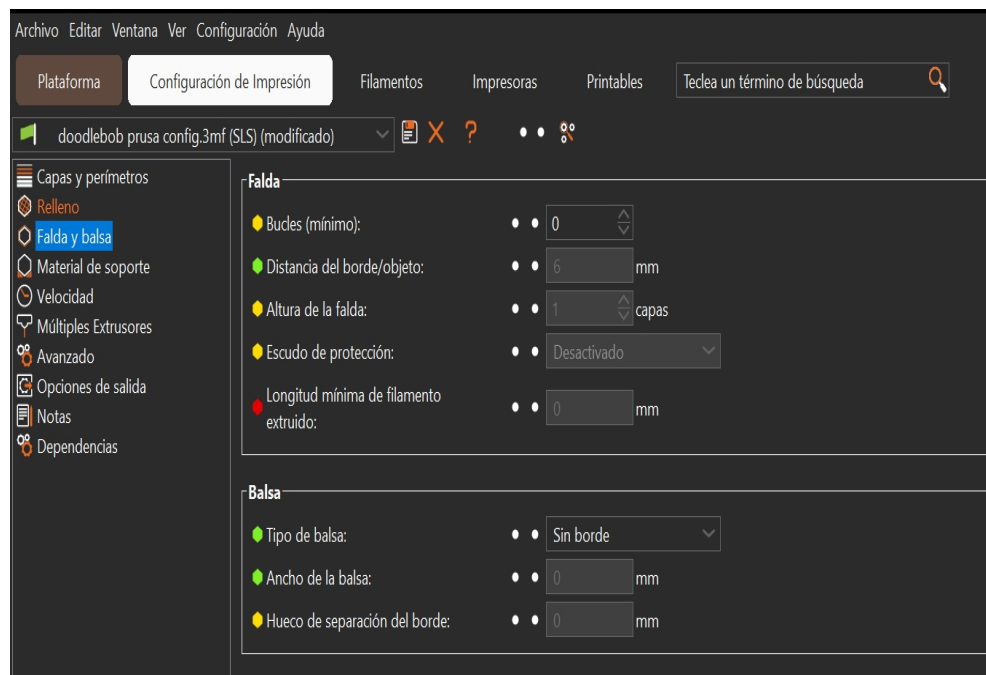
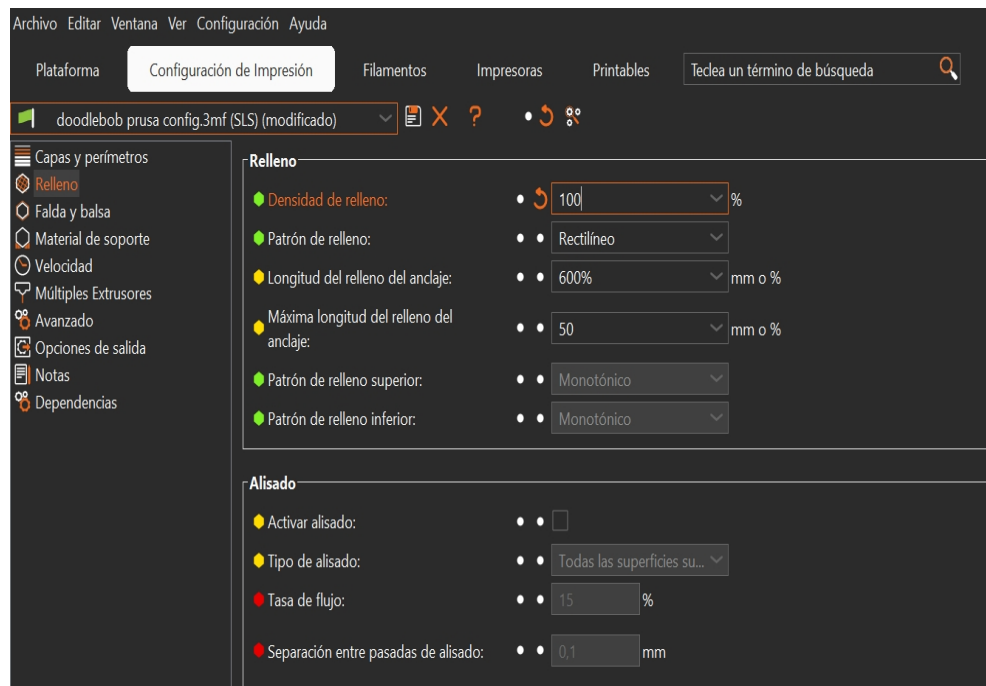
Soportes

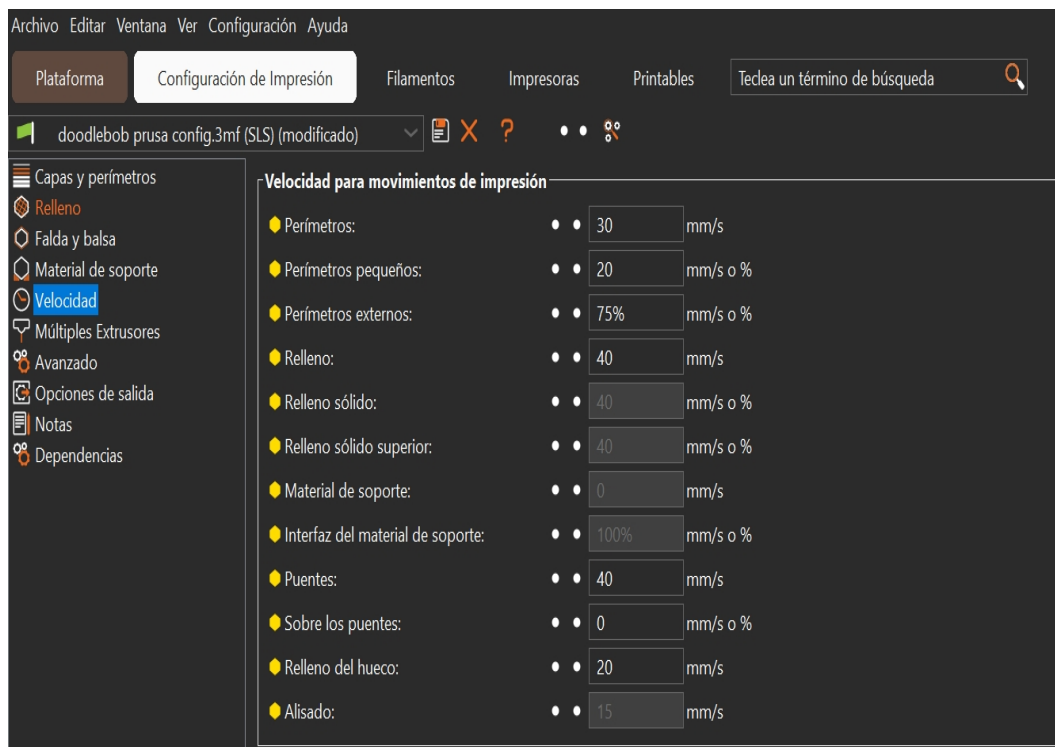
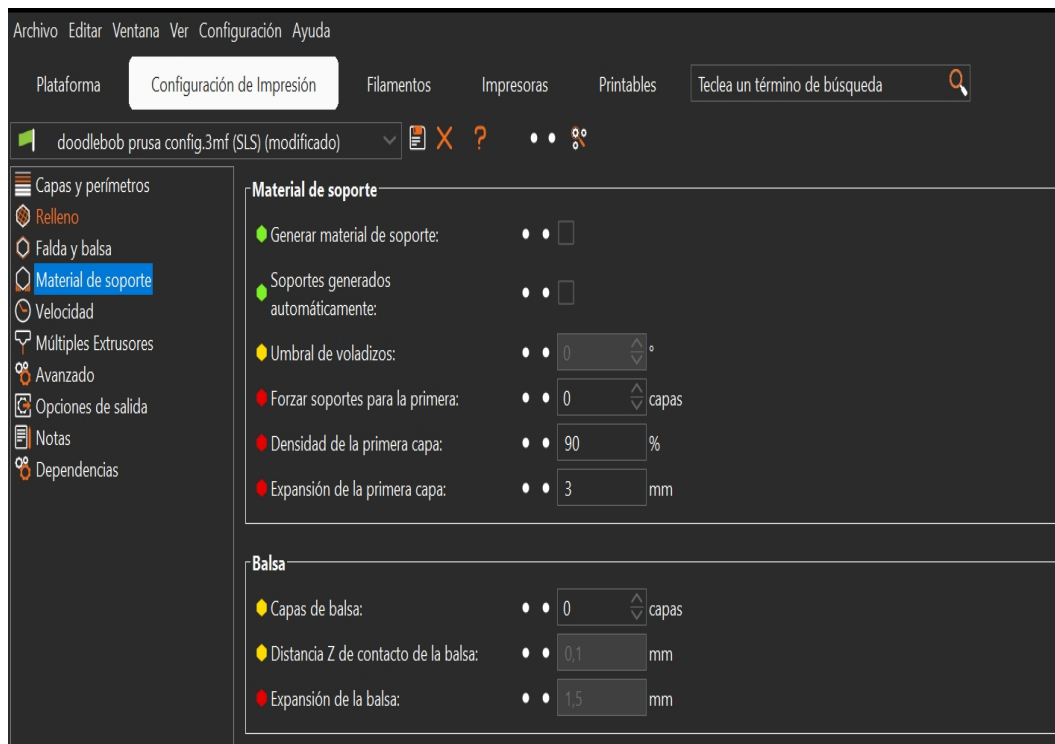
- Se generan para sostener voladizos y áreas sin base de apoyo.
- El usuario puede definir ángulos y tipo de soporte.

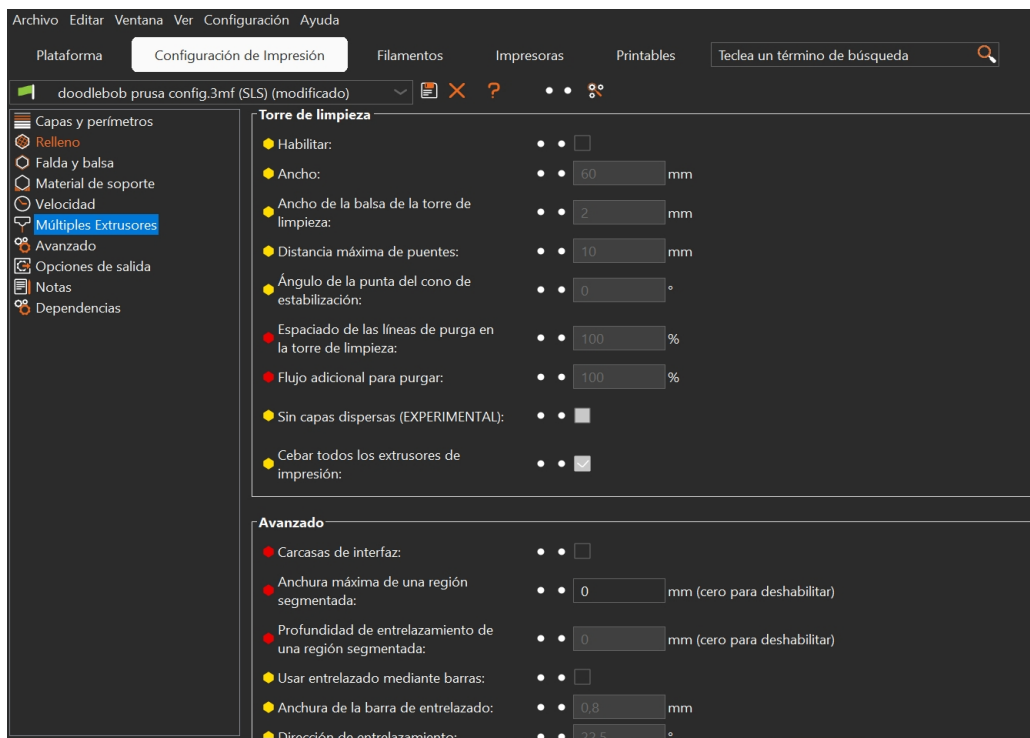
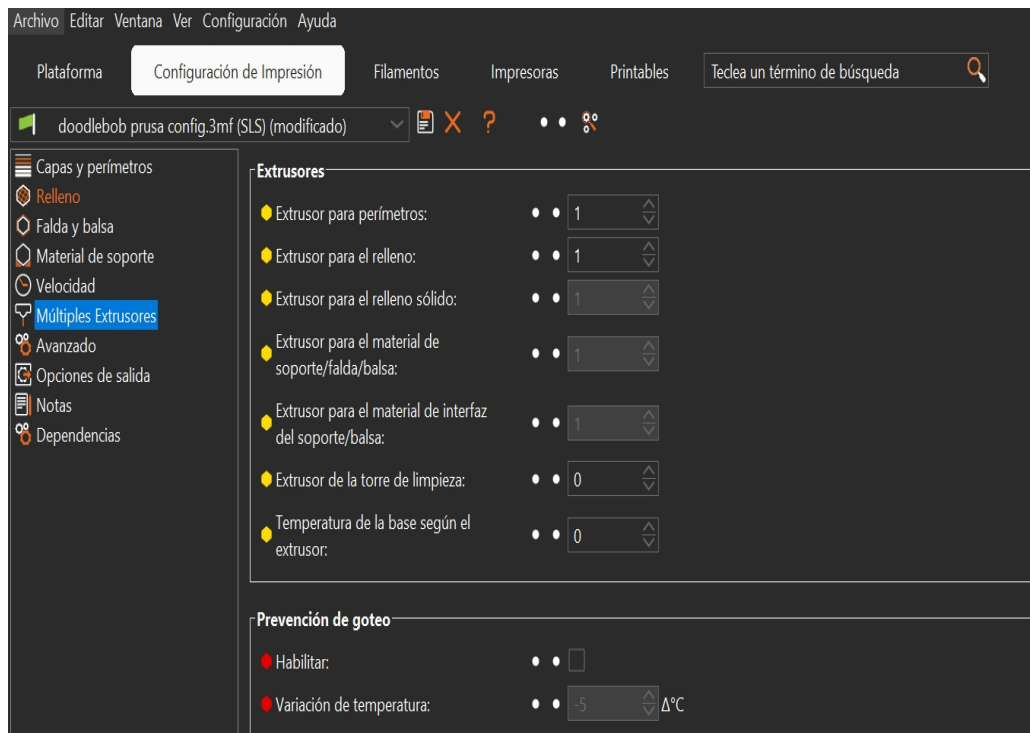
Velocidades

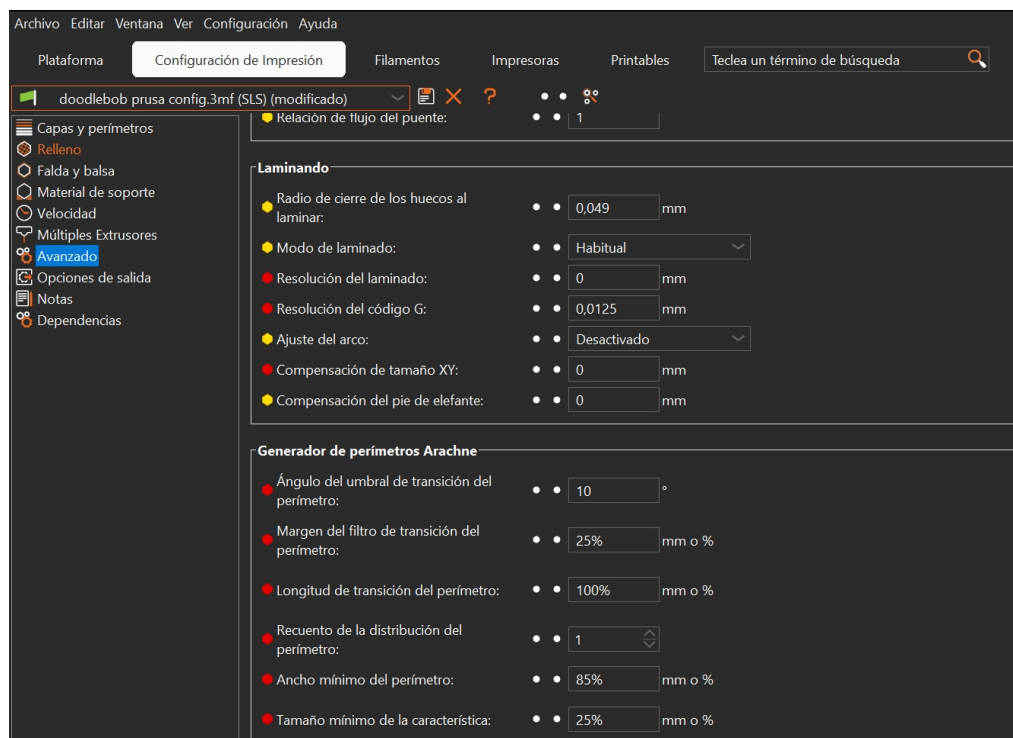
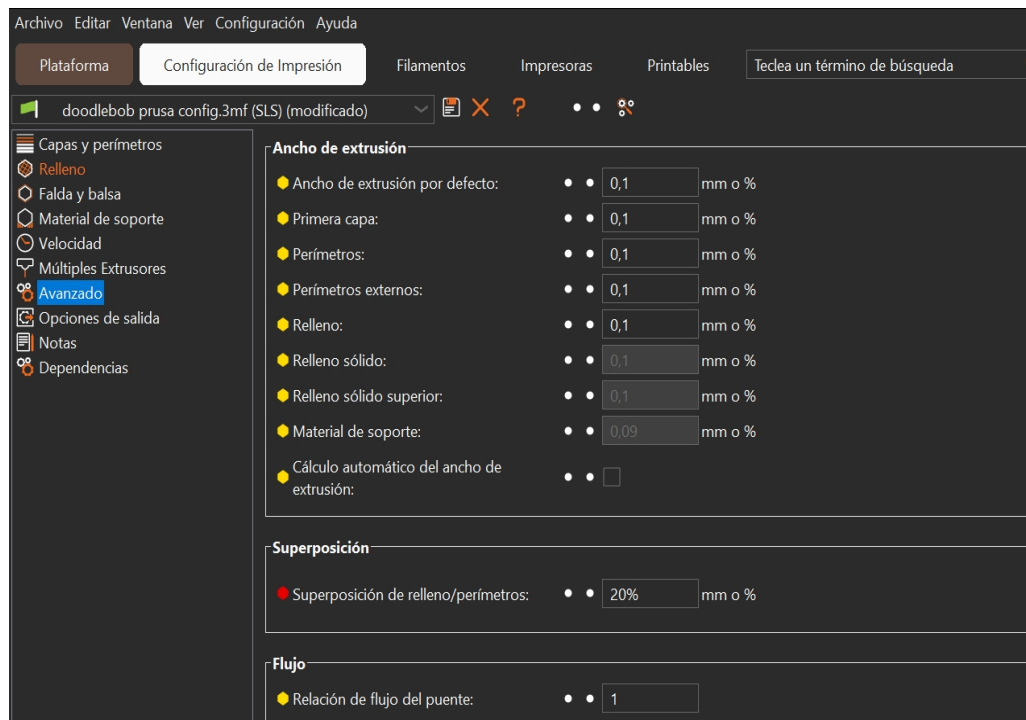
- **Velocidad de impresión:** Afecta calidad y tiempo.
- **Velocidad de primera capa:** Se mantiene baja para asegurar la correcta adherencia.
- **Velocidad de desplazamiento:** Alta, ya que no implica deposición de material.











4. CONFIGURACIÓN DE FILAMENTOS

Este apartado regula el comportamiento del material durante el proceso de sinterizado.

4.1 Temperaturas

- **Extrusor/Láser:** Aunque no se extruye filamento en SLS, este parámetro se adapta al control del módulo láser.
- **Cama caliente:** Desactivar
- **Ventilador de capa:** Desactivar

4.2 Diámetro y flujo

- **Diámetro:** Se define según el material de referencia configurado en el sistema.
- **Flujo (Extrusion Multiplier):** Ajuste fino para asegurar una deposición o sinterización uniforme.

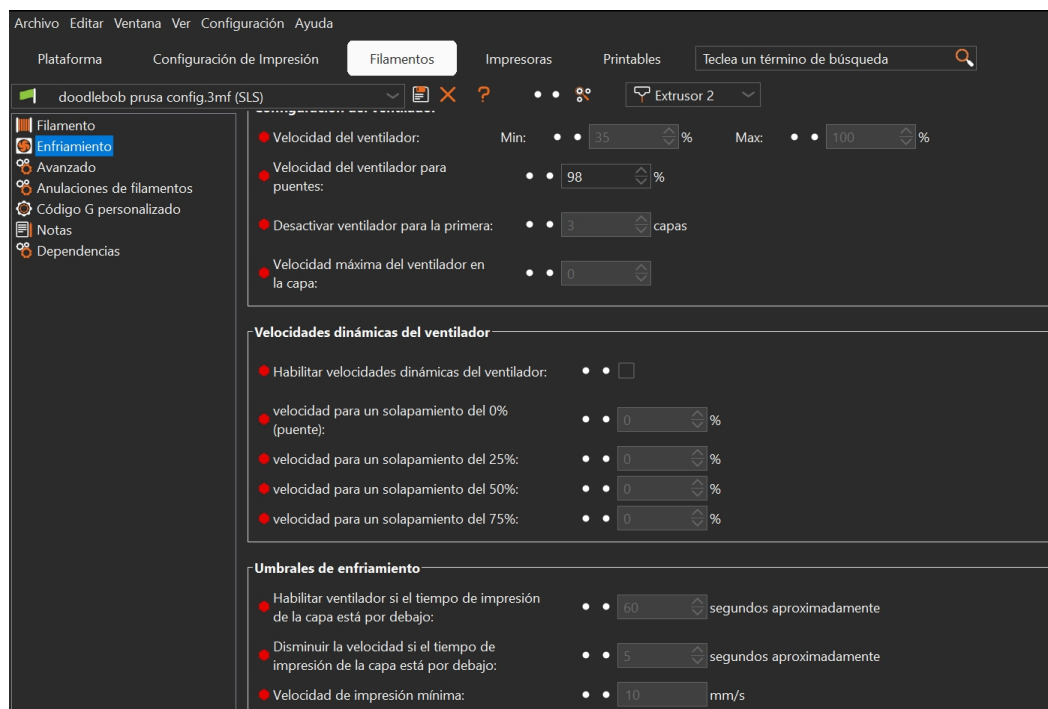
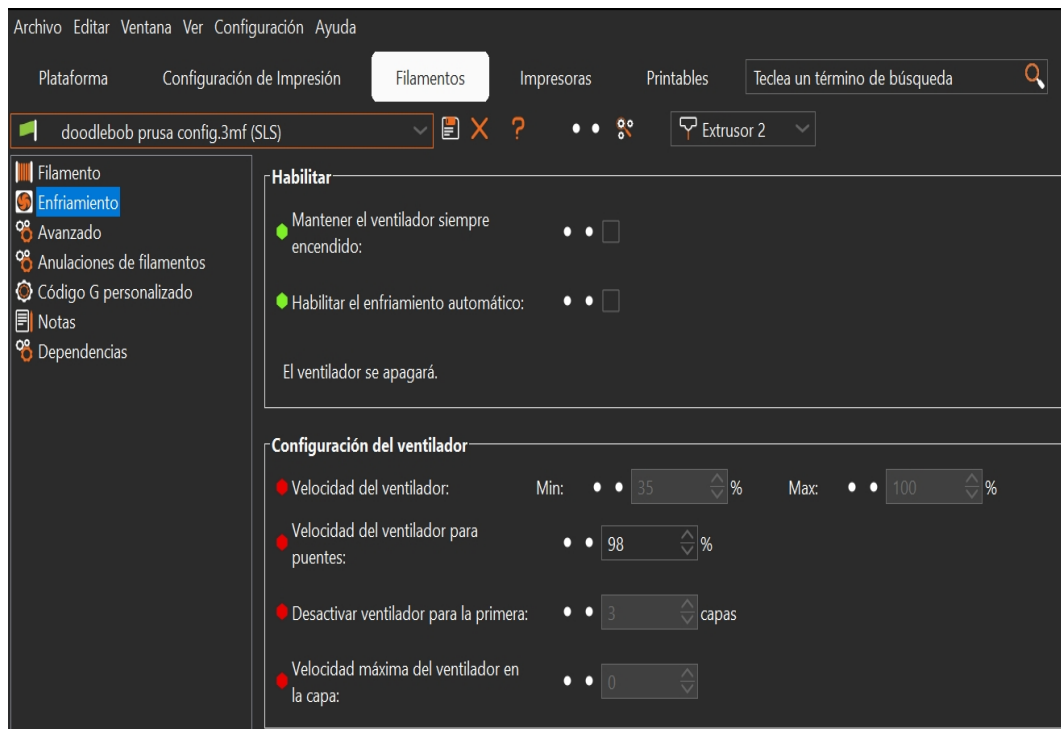
The screenshot shows the PrusaSlicer software interface with the 'Filamentos' (Filaments) tab selected. The left sidebar contains a list of settings: Filamento, Enfriamiento, Avanzado, Anulaciones de filamentos, Código G personalizado, Notas, and Dependencias. The main area is divided into two sections: 'Filamento' and 'Temperatura'.

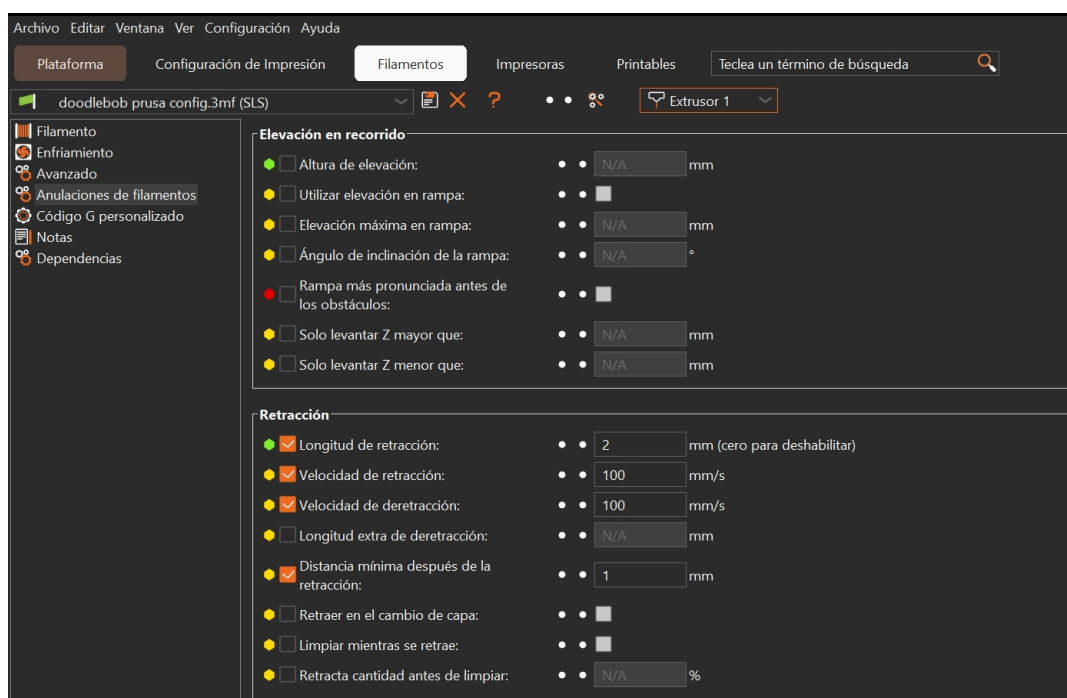
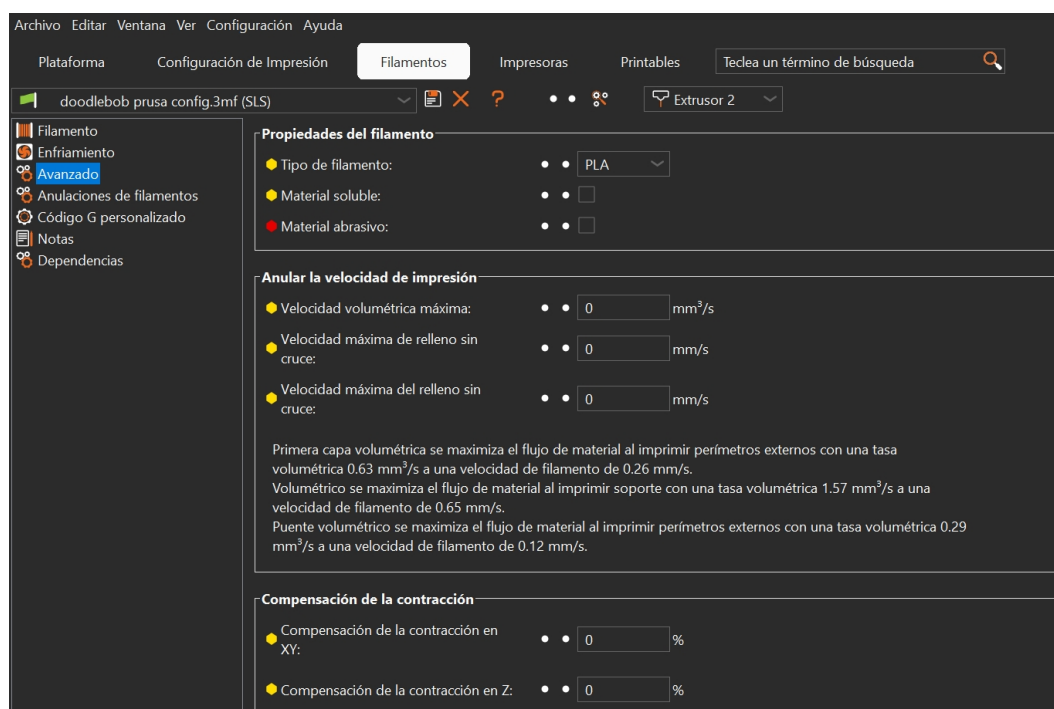
Filamento Section:

- Color: [Color selection box]
- Diámetro: 1,75 mm
- Multiplicador de extrusión: 5
- Densidad: 0 g/cm³
- Coste: 0 dinero/kg
- Peso de la bobina: 0 g

Temperatura Section:

- Temperatura de reposo: [N/A] °C
- Boquilla: Primera capa: 0 °C, Otras capas: 0 °C
- Base: Primera capa: 0 °C, Otras capas: 0 °C
- Cámara: Nominal: 0 °C, Mínima: 0 °C





5. CONFIGURACIÓN DE IMPRESORA

Este apartado define las características físicas de la máquina.

5.1 Dimensiones y hardware

- **Área de impresión:** Limitada a $128 \times 165 \times 90$ mm en el sistema actual.

- **Número de extrusores:** Adaptado al control del láser como herramienta de sinterización.

5.2 Firmware y comunicación

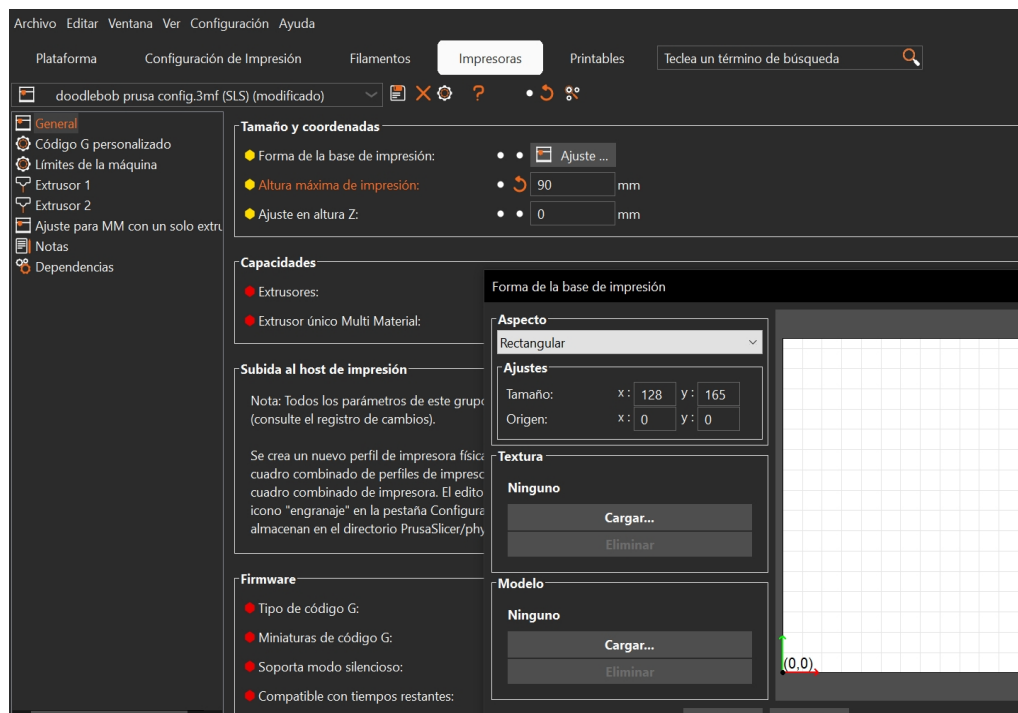
- PrusaSlicer está configurado para comunicarse correctamente con el firmware Marlin modificado de la impresora SLS.

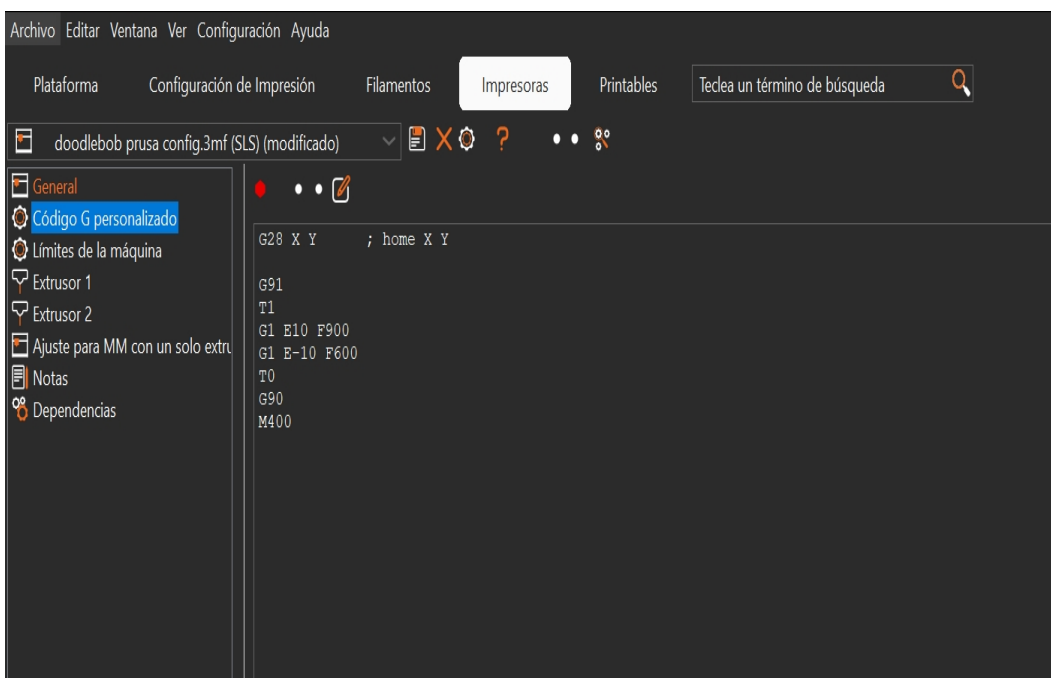
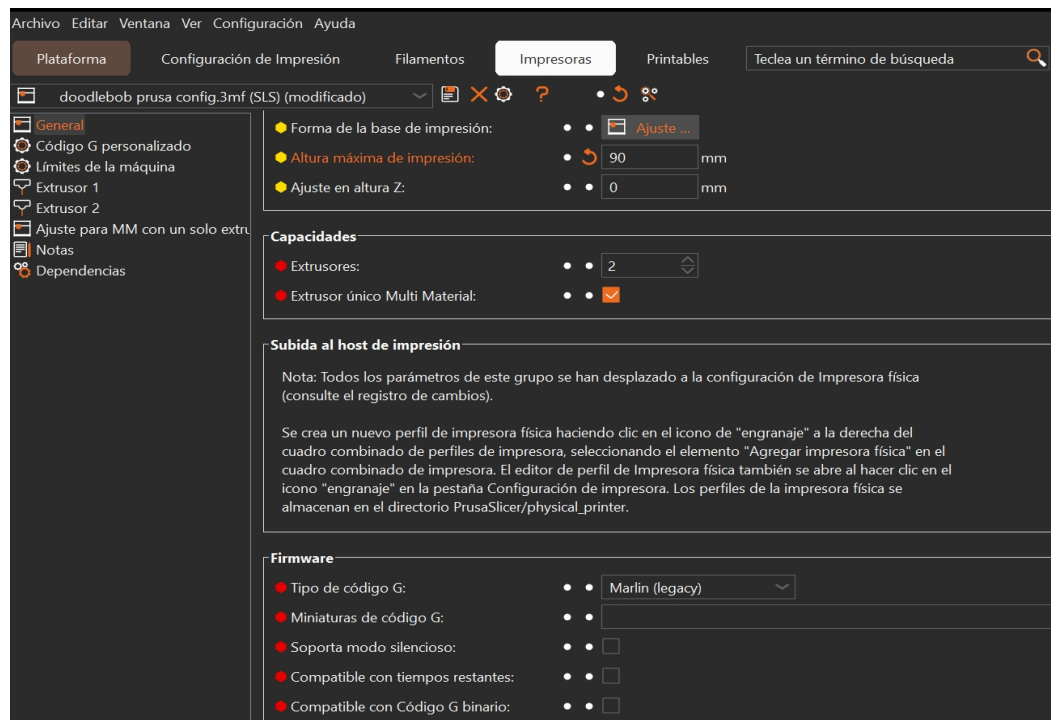
5.3 Movimiento y retracción

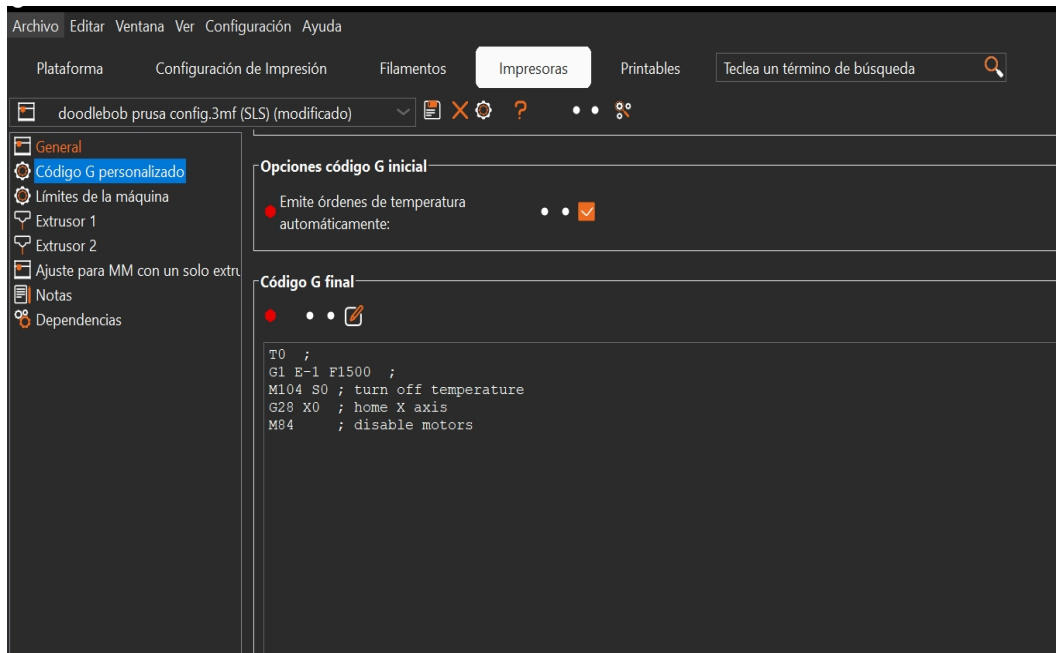
- Controla los parámetros de los ejes CoreXY y los motores del sistema de alimentación de polvo.

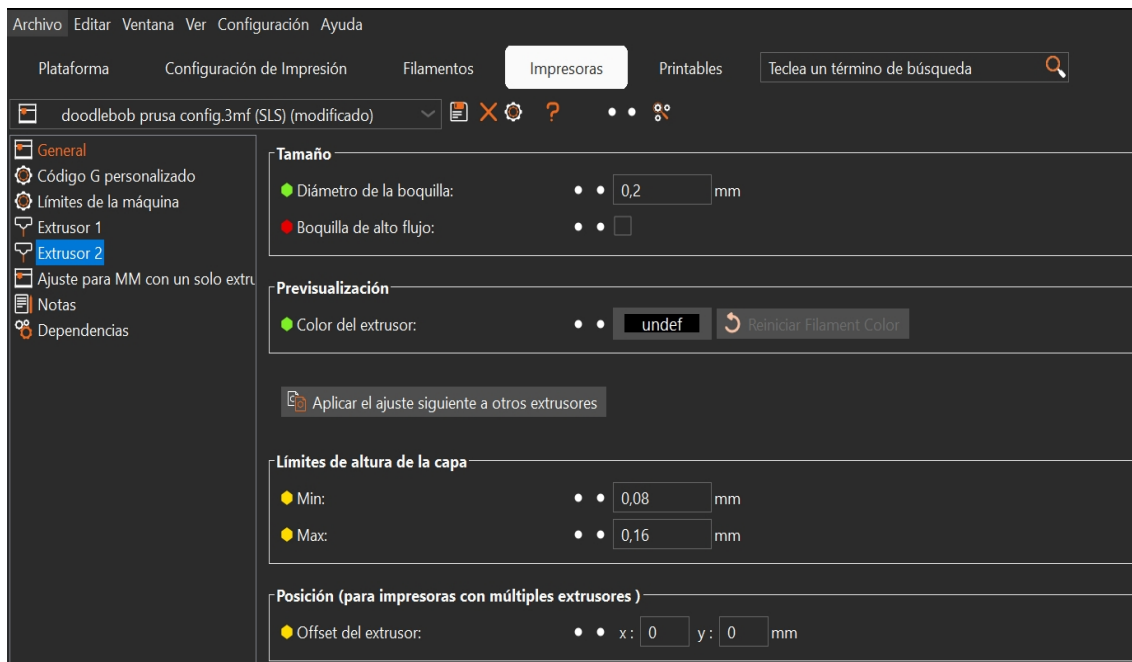
5.4 G-code de inicio y fin

- **Inicio:** Alinea ejes, enciende el láser y prepara la cama.
- **Fin:** Apaga el láser, detiene los motores y regresa a posición segura.









IMPORTACIÓN DEL ARCHIVO

Una vez realizadas todas las configuraciones necesarias en las pestañas de Impresión, Filamento e Impresora, el siguiente paso consiste en **IMPORTAR EL MODELO TRIDIMENSIONAL** que se desea sinterizar.

El programa trabaja principalmente con archivos en formato **STL**, aunque también admite otros como **OBJ** o **3MF**. El formato STL es el más utilizado, ya que define la geometría de la pieza mediante una malla de triángulos.

1. PROCEDIMIENTO DE IMPORTACIÓN

1. Abrir PrusaSlicer.
2. En la ventana principal, dirigirse a la parte superior izquierda y seleccionar la opción “**Agregar**” o utilizar el atajo de teclado.
3. Buscar en el ordenador la pieza en formato **STL** y cargarla en el área de trabajo.
4. El modelo aparecerá en la vista previa de la cama de impresión virtual.

2. AJUSTES BÁSICOS TRAS IMPORTAR LA PIEZA

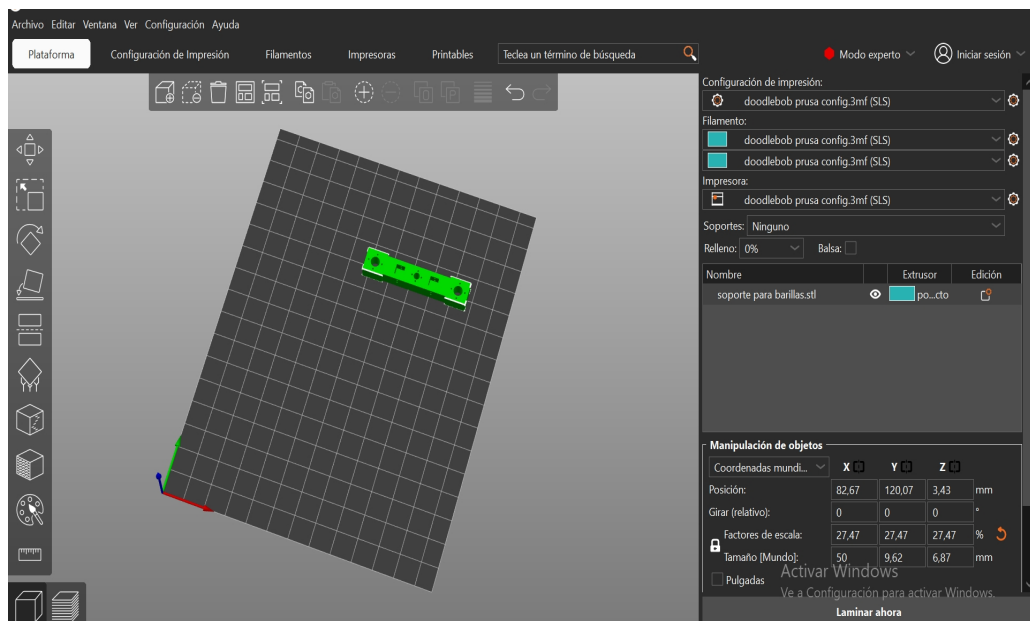
Una vez cargado el modelo, se pueden realizar las siguientes acciones:

- **Escalado:** Aumentar o reducir el tamaño de la pieza en los ejes X, Y o Z.
- **Rotación:** Girar el objeto para colocarlo en la orientación más adecuada para el sinterizado.
- **Duplicación:** Generar copias de la misma pieza si se desea sinterizar más de un objeto en la misma corrida.
- **Posición en la cama:** Ajustar manualmente la ubicación de la pieza dentro de la superficie de trabajo.

EXPORTACIÓN DEL G-CODE

Una vez que la pieza está ubicada correctamente, se debe laminar el modelo.

- Presionar el botón **“Laminar Ahora”**.
- El software generará el **G-code**, que contiene todas las instrucciones para el funcionamiento de la impresora SLS.
- Guardar el archivo en la memoria SD o transferirlo mediante conexión directa a la impresora.



El uso de PrusaSlicer adaptado asegura un control completo y preciso de la impresora SLS. Mantener las configuraciones predefinidas garantiza que el software trabaje en armonía con el hardware, evitando errores en la sinterización.

Se recomienda al usuario:

- No modificar parámetros sin pruebas controladas.
- Utilizar siempre los perfiles de impresión, filamento e impresora cargados en el software.
- Documentar cualquier cambio experimental para futuras calibraciones.

INICIO DEL SINTERIZADO

1.PREPARACIÓN DE LA IMPRESORA

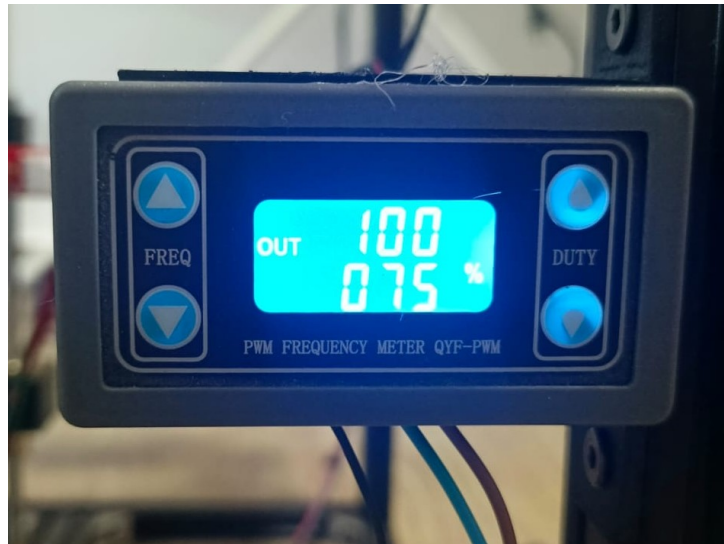
Antes de iniciar a trabajar con la impresora, la máquina debe pasar por una preparación manual. Estos son los pasos a seguir:

- Asignar y colocar fomix dentro de los depósitos con una medida de 9.9cm x 9.9cm. (nos ayuda a hermetizar los depósitos para evitar derrames de material en polvo)
- Agregar el polvo a sinterizar en el depósito de abastecimiento. (Lo suficiente para realizar el trabajo completo).
- Así mismo, agregar una fina capa de material en polvo en el depósito de trabajo. (Esto nos asegura una cama base para el objeto a sinterizar).
- Posterior a ello ya se puede energizar la máquina.



2.REGULACIÓN DE INTENSIDAD DEL LÁSER

- Con la ayuda de la pantalla controladora se puede regular la potencia y frecuencia del láser de 0 a 100.
- Se debe calibrar a la potencia que usted crea conveniente dependiendo el material a sinterizar.
- Es necesario alinear el interruptor del motor que acciona el láser con la señal de la tarjeta PWM antes de cada impresión.



3.INICIO DE LA IMPRESIÓN

Una vez preparada la impresora, se procede a llevar los ejes a su punto de origen:

- Alinear los ejes al punto de origen se puede realizar de dos formas:
 - 1 **de forma manual.** Para esta opción es necesario el apagado de los motores.
 - 2 **por medio del controlador.** Para esto, se debe ingresar a la sección de configuración y presionar en movimientos. Una vez dentro bastara con presionar en “Origen”.

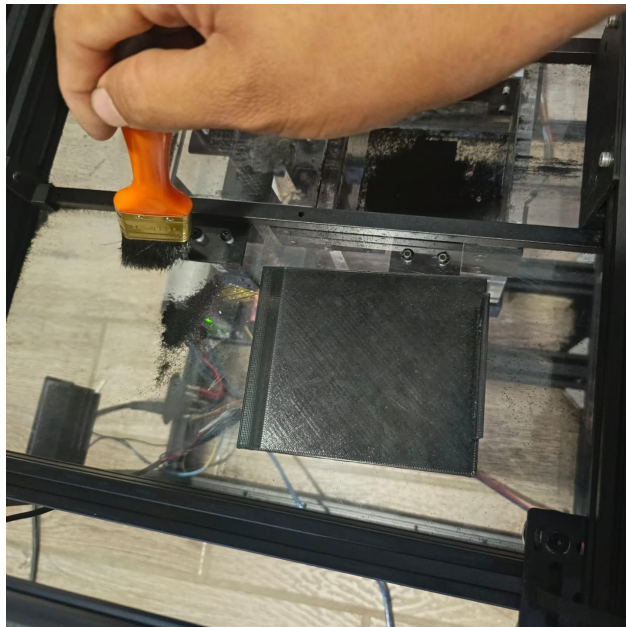
Después de colocar en el punto de origen los diferentes ejes. Se puede proceder con la impresión.

- Luego de ello, se busca el archivo previamente grabado en la tarjeta SD, dicha ubicación se encuentra al final de los índices mostrado en la pantalla, en la carpeta de “Imprimir desde SD/FDM”.
- Una vez finalizada la impresión, con ayuda del recogedor se puede extraer la pieza final.

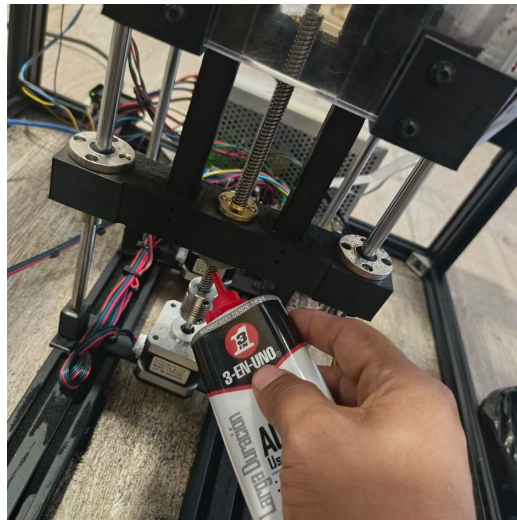
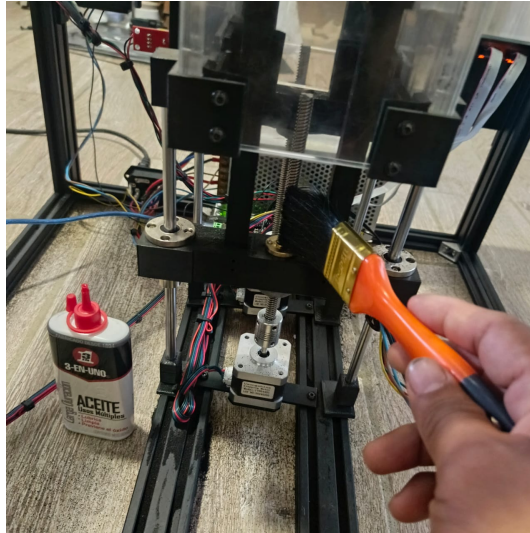
MANTENIMIENTO

Para el mantenimiento preventivo de la máquina se debe tomar en cuenta los siguientes pasos:

- Antes de iniciar y al finalizar cada sesión de sinterizado se recomienda limpiar el área de trabajo con la brocha y el recogedor.



- Limpiar y lubricar las varillas roscadas cada 3-4 sesiones de sinterizado, esto nos ayuda en caso de tener polvo en la rosca se libre de obstrucción.



- Cada 4-5 sesiones se debe revisar la base de los depósitos con la finalidad de asegurar la hermeticidad, en caso de ver desprendimiento de silicona, agregar nuevamente una pequeña capa.
- Se recomienda revisar periódicamente tuercas, pernos y barredera, en caso de alguna unión floja se deberá ajustar con el Kit de herramientas que se entrega junto a la máquina.