



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE MECATRÓNICA

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE RESIDUOS

GENERADOS EN LA IMPRESIÓN 3D

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingeniero en Mecatrónica

AUTOR: RICHARD SEBASTIÁN ALMEIDA GAVILANES

TUTOR: RENÉ PATRICIO QUITIAQUEZ SARSOZA

Quito – Ecuador

2024

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

Yo, Richard Sebastián Almeida Gavilanes con documento de identificación N° 1722244934 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de maneta total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 17 de julio de 2024

Atentamente,



Richard Sebastián Almeida Gavilanes
1722244934

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Yo, Richard Sebastián Almeida Gavilanes con documento de identificación N° 1722244934 expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy el autor del Dispositivo Tecnológico: “Implementación de un sistema de recuperación de residuos generados en la impresión 3D”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 17 de julio de 2024

Atentamente,



Richard Sebastián Almeida Gavilanes

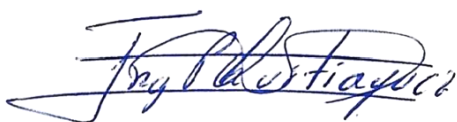
1722244934

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, René Patricio Quitiaquez Sarsoza con documento de identificación N° 1710597269 docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE RESIDUOS GENERADOS EN LA IMPRESIÓN 3D, realizado por Richard Sebastián Almeida Gavilanes con número de identificación N° 1722244934, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Dispositivo Tecnológico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 17 de julio de 2024

Atentamente,



Ing. René Patricio Quitiaquez Sarsoza, Mgs.
1710597269

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres, Richard y Sonia, fuentes inagotables de amor, apoyo y sacrificio. Su constante aliento y ejemplo de perseverancia han sido mi guía en cada paso de este desafiante camino académico y de vida. Su consejo, confianza y sabiduría han sido la base de los logros alcanzados y de las enseñanzas recibidas.

A mi hermano Daniel, por sus palabras de inspiración y disposición constante, que han sido un sostén crucial para alcanzar mis objetivos.

A mi pareja Katty, pilar fundamental de mi progreso, por estar presente en cada paso y ayudarme a superar los retos que la vida presenta.

A mis amigos y seres queridos, quienes han compartido conmigo las alegrías y desafíos de esta travesía. Este éxito es un tributo a cada uno de ustedes, cuya huella en mi vida es imborrable.

Este proyecto no solo contribuye a mi crecimiento académico, sino que también sienta las bases para un futuro lleno de éxitos, gracias a la positiva influencia que han tenido en mi vida. Su apoyo incondicional ha sido la fuerza motriz que me impulsa a alcanzar nuevas metas, y cada logro obtenido refleja el amor y la dedicación que me han brindado a lo largo de mi trayectoria académica.

Agradecimiento

Agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana y a cada uno de los docentes que han guiado y forjado en mí el conocimiento necesario para ser un profesional de calidad, con principios éticos y morales que marcarán la trayectoria en esta nueva etapa de mi vida.

A mi tutor, el Ingeniero Patricio Quitiaquez, por su invaluable guía y el generoso compartir de sus conocimientos durante el desarrollo de este proyecto. Su perseverancia y preocupación en cada reto han sido fundamentales para la culminación exitosa de mi carrera universitaria.

A mi familia y amigos, quienes han sido parte integral de este arduo proceso y se han hecho presentes en las muchas etapas que abarca. Su apoyo incondicional, comprensión y aliento han sido esenciales para superar los desafíos y alcanzar mis metas.

A todos ustedes, expreso mi más profundo agradecimiento, ya que su influencia y respaldo han sido decisivos en cada paso de este camino.

Índice de contenidos

Introducción	1
Planteamiento del problema	2
Formulación del problema	3
Justificación	3
Objeto de estudio	3
Objetivos	4
Alcance del proyecto	4
Descripción de la estructura de los capítulos del proyecto	5
CAPÍTULO 1	7
MARCO CONTEXTUAL Y TEÓRICO	7
1.1 Introducción	7
1.2 Marco teórico	7
1.2.1. Antecedentes	7
1.2.1.1. Impresión 3D FDM	7
1.2.1.2. Filamento PLA	8
1.2.1.3. Filamento ABS	9
1.2.1.4. Trituradora de plástico	10
1.2.1.5. Motor eléctrico	11
1.2.1.6. Tornillo sin fin transportador	11
1.2.1.7. Marlín	12
1.2.1.8. Placa Base Creality V 4.2.7	12
1.3 Fundamentación teórica	13
1.4 Formulaciones	15
1.4.1. Fuerza	15

1.4.2.	Esfuerzo Axial	15
1.4.3.	Esfuerzo Cortante	16
1.4.4.	Esfuerzo en Flexión	16
1.4.5.	Factor de Seguridad	16
1.4.6.	Masa y Peso	17
1.4.7.	Potencia	17
1.4.8.	Ley de corrientes de Kirchhoff	17
1.4.9.	Ley de voltajes de Kirchhoff	18
1.4.10.	Ley de Ohm	19
1.4.11.	Potencia total	19
1.4.12.	Velocidad de movimiento	19
1.4.13.	Ratio de compresión	20
1.4.14.	Anchura del filete	20
1.4.15.	Anchura del canal	20
1.4.16.	Paso del tornillo sin fin transportador	21
1.4.17.	Largo de la zona de sujeción	21
1.4.18.	Largo de la zona de sujeción	21
1.4.19.	Balance energético del extrusor	22
1.4.20.	Potencia de Watts a HP	22
1.4.21.	Ángulo de inclinación	22
1.4.22.	Esfuerzo promedio de soldadura GTAW	23
1.4.23.	Ángulo de inclinación	23
1.4.24.	Payback	23
1.4.25.	Torque	23
CAPÍTULO 2		24
SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS		24

2.1	Introducción	24
2.2	Diseño del proyecto	24
2.3	Metodologías empleadas	24
2.3.1.	Análisis de alternativas	25
2.3.2.	Cuadros comparativos de Selección de alternativas	25
2.4	Aspectos teóricos fundamentales	28
2.4.1.	Calentador de banda	29
2.4.2.	Hotend	30
2.4.3.	Soldadura TIG	30
2.4.4.	Termistor NTC	31
2.5	Diagrama Causa - Efecto	32
2.6	Operacionalización de las variables	32
2.7	Técnicas e instrumentos	33
2.7.1.	Potencia de trabajo	34
2.7.2.	Tamaño del sistema	34
2.7.3.	Proporciones del material	34
2.7.4.	Temperatura de trabajo	34
2.7.5.	Velocidad de trabajo	35
CAPÍTULO 3		36
DISEÑO Y SIMULACIÓN		36
3.1	Introducción	36
3.2	Descripción de la situación actual	36
3.2.1.	Impresión 3D	36
3.2.2.	Desperdicios de la Impresión 3D	36
3.2.3.	Reciclaje plástico aplicado a la impresión 3D	37
3.3	Cálculos y Selección	38

3.3.1.	Justificación del material	38
3.3.2.	Temperatura de operación	39
3.3.3.	Dimensionamiento del tornillo	39
3.3.3.1.	Ángulo del tornillo	40
3.3.3.2.	Diámetro del tornillo	40
3.3.3.3.	Longitud del tornillo	41
3.3.3.4.	Cálculo de <i>h1</i> (Profundidad de la zona de alimentación)	43
3.3.3.5.	Cálculo de <i>h3</i> (Profundidad de la zona de dosificación)	44
3.3.3.6.	Cálculo de la anchura del filete <i>e</i> y la anchura del canal <i>w</i>	44
3.3.3.7.	Cálculo del paso del tornillo extrusor	45
3.3.3.8.	Diseño del eje de sujeción	45
3.3.4.	Diseño del cañón	46
3.3.5.	Selección del material para el tornillo	48
3.3.6.	Diseño de la boquilla	49
3.3.7.	Selección del motor	50
3.3.8.	Diseño de la montura del motor	52
3.3.9.	Velocidad de operación	53
3.3.10.	Selección de la chumacera	55
3.3.11.	Diseño de la tolva	57
3.3.12.	Diseño de los apoyos del cañón	58
3.3.13.	Diseño de la base de los elementos mecánicos	59
3.3.14.	Sistema de enfriamiento	60
3.3.15.	Selección de perfiles	62
3.3.15.1.	Perfiles V-SLOT	62
3.3.16.	Selección de pernos de sujeción para el motor	63
3.3.17.	Pernos de sujeción para la montura del motor.	64

3.3.17.1.	Longitud de agarre	65
3.3.17.2.	Longitud del perno	65
3.3.18.	Selección de pernos de sujeción para los apoyos del cañón	66
3.3.18.1.	Longitud de agarre	67
3.3.18.2.	Longitud del perno	67
3.3.19.	Pernos de sujeción para la base y protecciones de acrílico	68
3.3.20.	Cálculo de la soldadura del cañón	69
3.3.21.	Cálculo de potencia eléctrica	71
3.4	Simulaciones del proceso	72
3.4.1.	Estructura	72
3.4.2.	Tornillo sin fin transportador	73
3.5	Sistema electrónico	74
3.6	Selección de cableado	75
3.7	Esquema eléctrico de control	77
3.8	Esquema eléctrico de potencia	78
CAPÍTULO 4		79
IMPLEMENTACIÓN Y ANÁLISIS ECONÓMICO		79
4.1	Introducción	79
4.2	Comprobación de Resultados	79
4.2.1.	Construcción de la máquina	79
4.2.2.	Pruebas de funcionamiento	89
4.2.3.	Resultados de las pruebas	91
4.3	Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema	94
4.4	Manual de operación y mantenimiento	95
4.4.1.	Manual de operación	95
4.4.2.	Manual de mantenimiento	97

4.5	Análisis de costos de la implementación del proyecto	98
4.5.1.	Costos Directos	98
4.5.2.	Costos Indirectos	100
4.5.2.1.	Costo de diseño	100
4.5.2.2.	Costos imprevistos	101
4.6	Justificación de costos	101
4.7	Análisis económico	101
4.7.1.	Flujo de caja	104
4.7.2.	Valor actual neto (VAN) y Tasa de retorno (TIR)	106
4.7.3.	Tiempo de retorno de la inversión	106
	Conclusiones	108
	Recomendaciones	110
	Referencias	111
	Anexos	116

Índice de tablas

Tabla 1. Clasificación cuantitativa de las alternativas.	26
Tabla 2. Clasificación según el tamaño de la máquina.	26
Tabla 3. Clasificación por tipo de máquina.	27
Tabla 4. Ponderación final.	28
Tabla 5. Operacionalización de las variables.	33
Tabla 6. Propiedades físicas del PLA y el ABS [24].	37
Tabla 7. Índice óptimo para el ángulo de hélice y flujo [29].	40
Tabla 8. Diámetros comerciales en tornillos extrusores [30].	41
Tabla 9. Dimensionamiento estandarizado de las zonas de un tornillo extrusor [30].	42
Tabla 10. Composiciones mecánicas de distintos aceros comerciales [32],[33].	48
Tabla 11. Propiedades caloríficas de los polímeros [35].	50
Tabla 12. Costo de materiales.	98
Tabla 13. Gasto por hora de servicios de maquinado.	100
Tabla 14. Costo total de la máquina.	101
Tabla 15. Flujo de caja estimado a 10 años	105
Tabla 16. Resultados del VAN y TIR	106

Índice de figuras

Figura 1. Filamentos PLA para impresión 3D [4].	9
Figura 2. Filamento ABS [6].	10
Figura 3. Trituradora de plástico [8].	10
Figura 4. Partes de un motor eléctrico [10].	11
Figura 5. Diagrama de conexión de la Creality Mainboard V 4.2.7 [14].	13
Figura 6. Diagrama causa-efecto de las posibles problemáticas.	14
Figura 7. Ley de Corrientes de Kirchhoff [16].	18
Figura 8. Ley de voltajes de Kirchhoff [16].	18
Figura 9. Calentador de banda cerámico [18].	29
Figura 10. Partes de un Hotend [20].	30
Figura 11. Proceso de soldadura TIG [22].	31
Figura 12. Termistor NTC [23].	32
Figura 13. Diagrama causa-efecto de las posibles variables de control.	32
Figura 14. Filamento extruido [28].	39
Figura 15. Selección del diámetro de la zona de sujeción.	45
Figura 16. Plano de perfil tubular 1 ^{1/2} pulgadas por 1.5 mm de espesor.	47
Figura 17. Vista cortada del sistema de boquilla.	49
Figura 18. Ficha técnica motor 90YYJT60-1 [36].	51
Figura 19. Ficha de relación de reducción del motor 90YYJT60-1 [36].	52
Figura 20. Simulación de cargas en SolidWorks.	53
Figura 21. Propiedades físicas del tornillo sin fin simulado en SolidWorks.	54
Figura 22. Catálogo de chumaceras CPR [37].	56
Figura 23. Plano de la vista frontal de la chumacera [37].	56
Figura 24. Plano de la vista superior de la chumacera [37]	57
Figura 25. Altura total de la tolva en el plano.2	58
Figura 26. Ubicación de los apoyos del cañón.	59
Figura 27. Factor de seguridad determinado por simulación en el software SolidWorks.	60
Figura 28. Canal de enfriamiento por líquido.	61
Figura 29. Aplicaciones de los perfiles V-SLOT [40].	62
Figura 30. Ficha técnica perfil de aluminio 20x40 [40].	63
Figura 31. Ficha técnica perfil de aluminio 20x60 [40].	63

Figura 32. Diagrama técnico del motor [36].	64
Figura 33. Catálogo de pernos cabeza Allen.	64
Figura 34. Áreas y diámetros de roscas con paso grueso y fino.	65
Figura 35. Dimensiones de tuercas [41].	66
Figura 36. Áreas y diámetros de roscas con paso grueso y fino.	67
Figura 37. Dimensiones de tuercas [41].	68
Figura 38. Tuerca T insertable en perfil serie 20 [40].	69
Figura 39. Propiedades mecánicas del electrodo ER308L [42].	69
Figura 40. Secciones soldadas del cañón.	70
Figura 41. Análisis estático de soldadura del cañón el SolidWorks.	71
Figura 42. Estudio de cargas estáticas a la estructura en SolidWorks.	73
Figura 43. Análisis de cargas aplicadas al tornillo.	73
Figura 44. Pantalla LCD Creality [43].	74
Figura 45. Recubrimiento del cableado con protección térmica.	75
Figura 46. Diagrama de conexión Placa Creality V4.7.2.	76
Figura 47. Diagrama del esquema eléctrico de control.	77
Figura 48. Diagrama del esquema eléctrico de potencia.	78
Figura 49. Vista Isométrica del sistema.	80
Figura 50. Vista Frontal del Sistema.	80
Figura 51. Corte plasma de la base del sistema.	81
Figura 52. Corte láser de los paneles de acrílico.	81
Figura 53. Boquilla de extrusión.	82
Figura 54. Tornillo sin fin acoplado en el cañón de extrusión.	82
Figura 55. Instalación de la base en la estructura	83
Figura 56. Instalación de los calefactores de banda.	84
Figura 57. Electrónica del sistema.	84
Figura 58. Captura de las configuraciones realizadas en Marlin.	85
Figura 59. Motor del sistema.	86
Figura 60. Filament Maker.	86
Figura 61. Piezas desechadas separadas por colores	87
Figura 62. Extracción del material triturado.	88
Figura 63. Material de color blanco enfundado y pesado.	88
Figura 64. Mezcla de pellets con material triturado.	89
Figura 65. Primera extrusión exitosa.	89

Figura 66. Ensamblaje final de la máquina.	90
Figura 67. Material extruido.	90
Figura 68. Filamento extruido estandarizado.	91
Figura 69. Impresión con filamento reciclado con sistema de extrusión directa.	92
Figura 70. Comparación de impresiones por extrusión directa.	92
Figura 71. Impresión con filamento reciclado con sistema tipo bowden.	93
Figura 72. Comparación de impresiones por sistema bowden.	93
Figura 73. Diagrama de flujo del proceso completo del sistema.	94

Índice de anexos

Anexo 1. Pruebas de impresión en distintos colores.	116
Anexo 2. Distintos diámetros obtenidos en experimentación.	116
Anexo 3. 100 gramos de filamento imprimible.	117
Anexo 4. Diagrama de flujo del proceso completo del sistema.	118
Anexo 5. Diagrama de flujo del proceso completo del sistema.	119
Anexo 6. Diagrama de flujo del proceso completo del sistema.	120
Anexo 7. Plano de despiece de la Filament Maker.	121
Anexo 8. Plano de la estructura del sistema.	122
Anexo 9. Plano del tornillo sin fin transportador.	123
Anexo 10. Plano del canal de enfriamiento.	124
Anexo 11. Plano del ensamblaje del cañón.	125

Resumen

El proyecto se enfocó en el diseño y construcción de un sistema de recuperación para los residuos generados por la impresión 3D mediante deposición de material. El objetivo principal fue la reformulación y reciclaje de los soportes, impresiones fallidas y rollos caducados resultantes del uso de esta tecnología. Para abordar esta problemática, se realizó un análisis detallado de diversos factores influyentes, incorporando datos obtenidos a través de una exhaustiva investigación bibliográfica y presentando un modelo propuesto que fue refinado mediante pruebas de campo. Dichas pruebas incluyeron la determinación de las temperaturas y velocidades óptimas para la fundición e inyección del termoplástico, así como la formulación adecuada para su recomposición química.

En el ámbito económico, se llevó a cabo un análisis exhaustivo de la rentabilidad del sistema. Este análisis comprendió una evaluación detallada de costos y beneficios, proporcionando una visión integral del proyecto que incluyó elementos como el retorno de inversión y el periodo de recuperación. La esencia de este enfoque integral radicó en alcanzar un rendimiento económico sostenible, destacando la innovación en la recuperación de los residuos generados por la impresión 3D como materia prima para su reutilización como componente distintivo de este proyecto.

Palabras claves: diseño de sistemas, impresión 3D, reciclaje de residuos, reformulación de materiales, tecnología de materia

Abstract

The project focused on the design and construction of a recovery system for the waste generated by 3D printing through material deposition. The main objective was the reformulation and recycling of supports, failed prints, and expired rolls resulting from the use of this technology. To address this issue, a detailed analysis of various influential factors was conducted, incorporating data obtained through exhaustive bibliographic research and presenting a proposed model that was refined through field testing. These tests included determining the optimal temperatures and speeds for the melting and injection of thermoplastic, as well as the appropriate formulation for its chemical recompositing.

In the economic sphere, an exhaustive analysis of the system's profitability was conducted. This analysis comprised a detailed evaluation of costs and benefits, providing an integral vision of the project that included elements such as the return on investment and the payback period. The essence of this comprehensive approach lay in achieving sustainable economic performance, highlighting innovation in the recovery of waste generated by 3D printing as raw material for its reuse as a distinctive component of this project.

Keywords: 3D printing, material reformulation, material technology, system design, waste recycling

Introducción

En el ámbito de la fabricación aditiva, los avances significativos en la tecnología de impresión 3D han marcado el inicio de una nueva era en términos de eficiencia productiva. No obstante, dentro de este panorama de innovación, surge un desafío crucial: la adecuada gestión de los desechos generados por estas técnicas. La proliferación rápida del uso de la impresión 3D ha ocasionado un incremento considerable en la producción de desechos, los cuales abarcan desde soportes desechados hasta materiales de impresión no utilizados y obsoletos. Estos desechos plantean una preocupación tanto ambiental como económica, ya que no solo contribuyen a la contaminación ambiental, sino que también representan una pérdida de recursos valiosos y un aumento en los costos de eliminación.

Este proyecto tiene como objetivo abordar de manera integral este desafío mediante la concepción e implementación de un sistema completo de gestión y recuperación de residuos diseñado específicamente para satisfacer las necesidades de la impresión 3D. Más allá de la simple gestión de desechos, se busca transformarlos en recursos valiosos mediante procesos de reformulación y reciclaje de materiales. Esto no solo permitirá reducir el impacto ambiental asociado con la impresión 3D, sino que también fomentará la sostenibilidad y eficiencia dentro del sector manufacturero.

A través de un análisis meticuloso y riguroso y con experimentación, se pretende determinar los métodos más eficaces para la recuperación y reutilización de los residuos derivados de la impresión 3D. Se explorarán diversas técnicas de reformulación de materiales y procesos de reciclaje, teniendo en cuenta factores como la calidad del material regenerado, la viabilidad económica y la escalabilidad del sistema propuesto para implementar un sistema capaz de recuperar los desechos producidos por la impresión 3D.

Planteamiento del problema

El constante avance y evolución de los sistemas de impresión 3D mediante deposición de material, conocidos como Fused Deposition Modeling (FDM, por sus siglas en inglés), ha permitido que esta tecnología se posicione globalmente como una de las principales herramientas para la creación de prototipos, apoyo en proyectos educativos, y fabricación de piezas y herramientas para el uso cotidiano. Además, se ha convertido en una fuente significativa de emprendimiento, facilitando la producción de una amplia gama de productos adaptados a diversas áreas. Esta creciente popularidad ha llevado a los fabricantes a diseñar equipos de bajo costo y accesibles al público en general, consolidando a la tecnología FDM como una de las más comunes en instituciones educativas, negocios y hogares.

Uno de los principales problemas asociados con las máquinas de impresión 3D FDM es la generación de residuos durante el proceso de impresión. Estos residuos, en gran medida, se deben a la necesidad de soportes adicionales para imprimir ciertas geometrías complejas. La tecnología FDM construye modelos a partir de capas sucesivas de material, pero enfrenta dificultades con superficies horizontales o semi inclinadas que no se adhieren directamente a la pieza principal. Para solucionar esto, se utilizan soportes hechos del mismo material, los cuales se desechan una vez completada la impresión. Esta práctica puede resultar en una pérdida considerable de material, que en algunos casos puede representar hasta el 50% del peso total del producto impreso.

El uso de soportes en la impresión 3D FDM y otros factores como impresiones fallidas o material degradado por el tiempo de almacenamiento, contribuyen significativamente a la generación de residuos. Se estima que miles de kilogramos de filamento se desechan anualmente, especialmente en negocios que utilizan estas máquinas para la producción de sus productos. Este desecho no solo representa una pérdida económica considerable, sino que también tiene un impacto ambiental debido a la falta de métodos eficaces para reciclar estos materiales. La acumulación de residuos plásticos derivados de la impresión 3D plantea desafíos importantes tanto para la sostenibilidad económica como para la protección ambiental.

Formulación del problema

La problemática aborda la implementación de un sistema de recuperación de residuos generados en la impresión 3D, estudiando distintos tipos de reciclaje de plásticos para reducir los desechos mediante la reformulación a través de pellets de ácido poliláctico (PLA). Estos pellets, comunes en la industria, servirán como materia base para elaborar el filamento PLA. Se busca lograr una mezcla homogénea entre los residuos y el material virgen, asemejando las cualidades originales del material. Además, se estudiarán sistemas para el transporte e inyección del material mezclado mediante un sistema extrusor para generar un filamento de 1.75 mm de espesor, similar a los producidos comercialmente. Finalmente, se establecerá un sistema de bobinado que, mediante actuadores electromecánicos, enfriará y enrollará el material extruido en una bobina, facilitando su uso en impresoras 3D.

Justificación

Teniendo en cuenta la presente problemática en los distintos negocios y hogares que utilizan esta tecnología, se ha propuesto el diseño y fabricación de un sistema reciclador de residuos para la impresión 3D, con el fin de poder recuperar este material a partir de su trituración en varias fases, su mezcla con material virgen con el fin de recomponer su estado deteriorado para lograr volver a imprimir con este material reciclado y su rebobinado para un nuevo uso en piezas fabricadas con esta modalidad. De tener acceso a esta tecnología, todos aquellos usuarios de estos equipos podrían generar nuevos rollos de filamento a partir de residuos, soportes e impresiones fallidas, las cuales se reciclarían y permitirían generar un material base estandarizado con las propiedades y especificaciones requeridas para impresoras de tipo FDM por filamento.

Objeto de estudio

La generación de un proceso de reciclaje de residuos de impresión 3D por medio de su trituración, reacondicionamiento con material virgen, fundición, extrusión y bobinado para la obtención de filamentos de PLA y su impacto en la aplicación de este basándose en sus características mecánicas resultantes, así como la implicación económica y ambiental que resulta del reciclaje de este material en beneficio de productores, negociantes y hogares que día a día manejan esta tecnología como herramienta de trabajo.

Objetivos

Objetivo general

Implementar un sistema de recuperación de residuos generados en la impresión 3D.

Objetivos específicos

- Verificar por medio de análisis comparativo las proporciones necesarias para aproximarse a las propiedades originales del material previo a su impresión.
- Diseñar los elementos mecatrónicos mediante cálculos verificados con simulaciones en los softwares adecuados para la correcta implementación del sistema de mezcla y triturado.
- Desarrollar pruebas de campo mediante la molienda y mezcla del material reciclado verificando el correcto funcionamiento del equipo.

Alcance del proyecto

La propuesta presentada para la implementación de un sistema de recuperación de residuos generados en la impresión 3D, supone generar un sistema optimizado para aprovechar de la manera más eficiente el material que resulta como desperdicio en la impresión 3D FDM, que para la gran mayoría de productores y usuarios constantes de este tipo de tecnologías implica un costo no recuperable, así como un impacto ambiental por la falta de reciclaje de estos. Se propone la reutilización de materiales poliméricos de manufactura aditiva a través de seguir un proceso complejo que requiere de 4 fases primordiales:

- Fase teórica: Esta fase implicará una investigación sobre proyectos relacionados con el reciclaje de materiales plásticos por fundición, así como los parámetros necesarios para una correcta extrusión y bobinado del material reciclado. Se utilizará un método investigativo bibliográfico para aplicar agentes externos, como Pellets de PLA, que recuperen las características físicas óptimas de un filamento PLA. Para ello, se revisarán tesis, artículos científicos, libros y páginas web. Además, se investigarán dispositivos para triturar, transportar y fundir el material reciclado, comparando sus características técnicas en el mercado para seleccionar la mejor opción. Esto proporcionará una base

sólida de conocimientos para crear un sistema que maximice el aprovechamiento de los residuos de impresión 3D FDM.

- Fase de diseño: Mediante un software CAD se diseñará y simulará el cañón de extrusión conectado al tornillo sin fin transportador, el sistema de calefacción y salida de inyección, para poder comprobar parámetros tales como fricción, fuerza y factores de seguridad, los cuales son indispensables en la creación de la máquina. De igual forma, se diseñarán los componentes mecánicos requeridos para acoplar todas las secciones de la máquina y la simulación de los sistemas electrónicos que serán utilizados para el empuje y extrusión del material y su bobinado.
- Fase de Implementación: Una vez generados todos los cálculos necesarios para garantizar la fuerza, estabilidad y factores de seguridad del sistema, se realizará el ensamblaje y adaptación del tornillo sin fin alimentador y el sistema de embobinado con sus respectivos sensores, controladores y actuadores eléctricos, así como la construcción de todos aquellos elementos que acoplarán las secciones.
- Fase de prueba: Se analizará con un método científico experimental el correcto funcionamiento del sistema por medio de pruebas, que definirán y permitirán realizar una retroalimentación para el ajuste de parámetros como la velocidad de los motores, el ajuste de la sensibilidad de los sensores, los periodos de enfriamiento que requiere el material reciclado, así como la factibilidad del uso del reciclador a la hora de imprimir con este resultado obtenido de la máquina.

Descripción de la estructura de los capítulos del proyecto

Este proyecto adoptará un enfoque investigativo estructurado en varias fases. Inicialmente, se desarrollará una fase teórica para analizar los conceptos fundamentales, sustentando la bibliografía y la recopilación de datos. Estos conocimientos influirán en la siguiente etapa, donde se evaluarán y seleccionarán diferentes alternativas para la fabricación del sistema, incluyendo su dimensionamiento y funcionalidad. Esto dará paso al diseño y prototipado de un sistema para reciclar efectivamente los desechos de la impresión 3D, permitiendo su reutilización.

Esta fase estará respaldada por cálculos y simulaciones que garantizarán la integridad del diseño. Posteriormente, en la fase de experimentación, se ajustarán y perfeccionarán los detalles de los sistemas mecatrónicos diseñados. También se probarán distintas proporciones de mezcla entre material virgen y material reciclado triturado, para analizar los resultados obtenidos. Finalmente, se generarán conclusiones que evaluarán el éxito del sistema desarrollado, determinando su viabilidad y eficiencia.

CAPÍTULO 1

MARCO CONTEXTUAL Y TEÓRICO

1.1 Introducción

Este apartado se enfoca en la investigación y estudio de distintos conceptos básicos y específicos del estado del arte en el ámbito de distintas máquinas recicladoras de plástico, destacando principalmente sistemas recicladores de polímeros, con el fin de proporcionar un marco conceptual sólido que sustente el desarrollo y la comprensión de los principales aspectos relacionados con el reciclaje de residuos de impresión 3D FDM.

Se abordarán conceptos fundamentales de la impresión 3D por deposición de material, las propiedades del material PLA y su relevancia en el contexto de la sostenibilidad. Además, se explorarán estudios previos sobre el reciclaje de plásticos y residuos de impresión 3D para identificar las mejores prácticas y tecnologías aplicadas en este ámbito. De igual manera, se ampliarán conceptos de los distintos sistemas mecánicos que competen al sistema de transporte, compresión y fundición plástica, requeridos para el funcionamiento óptimo del sistema.

1.2 Marco teórico

1.2.1. Antecedentes

1.2.1.1. Impresión 3D FDM

Kiendl y Gao [1] definen que la impresión por deposición fundida FMD es una tecnología de impresión 3D en la que un filamento termoplástico se funde y extruye parcialmente mediante una boquilla calentada y se deposita capa por capa en una plataforma de construcción. Hay muchos materiales de filamento diferentes disponibles, siendo el acrilonitrilo butadieno estireno (ABS, por sus siglas en inglés) y el ácido poli láctico (PLA) los más comunes. La versatilidad y los bajos costes de equipamiento han convertido a FDM en la tecnología de impresión 3D más extendida hoy. Si al principio se utilizaba solo para crear prototipos, ahora se está desplazando hacia un proceso de fabricación de componentes mecánicos, accesorios, artículos de venta y otros productos que se pueden elaborar y comercializar mediante esta técnica de impresión.

1.2.1.2. Filamento PLA

Ramanadha et al. [2] en su investigación, indican que, según su sostenibilidad, los polímeros biodegradables de origen vegetal se pueden clasificar en dos categorías: Los polímeros producidos en plantas: este grupo de polímeros extraídos de polímeros naturales como celulosa, caucho, gliadina, almidón, glutenina, zeína, aislado de proteína de soja, entre otros son producidos por las plantas de forma natural. El segundo grupo se compone de polímeros producidos por procesamiento de plantas, estos se extraen de productos vegetales a través de diversas técnicas de procesamiento como fermentación bacteriana, polimerización de crecimiento en cadena, entre otros, que produce ácido poliláctico PLA, valerato de poli hidroxilo (PHV, por sus siglas en inglés), co-polihidroxibutirato (PHBV, por sus siglas en inglés), y estos son de naturaleza biodegradable, los polímeros como tereftalato de adipato de poli butileno (PBAT, por sus siglas en inglés) y poli-caprolactona (PCL, por sus siglas en inglés) también pueden derivarse de fuentes fósiles.

Destacan así mismo algunas características que lo vuelven un material sumamente adaptable para un sinfín de aplicaciones:

- **Transparencia:** destaca su capacidad de transparencia y traslucides para alcanzar campos como el transporte aeroespacial, creación rápida de prototipos con funcionamientos internos, industria automotriz y otras.
- **Eco amigable:** dada su procedencia vegetal, es fácilmente recuperable tras su desecho, aprovechando su fácil descomposición se puede considerar como uno de los biopolímeros más ecológicos, si se los sabe tratar correctamente.[2]
- **Biocompatibilidad:** PLA es el más adecuado para los implantes Bio debido a su biocompatibilidad en la naturaleza. Athanasiou et al. [3] informó que la presencia de material PLA en interacción con los tejidos musculares no provoca la liberación de sustancias venenosas o cancerígenas. Los implantes de PLA incorporados en órganos humanos se hidrolizan lentamente y se convierten en hidroxiaácidos como ácido cítrico, ácido tartárico, ácido glicólico, ácido oxálico y se expulsan del cuerpo humano a través del proceso de excreción.

Como se puede apreciar en la Figura 1, el filamento PLA se ha posicionado como uno de los más importantes filamentos en la impresión 3D FDM, dentro de los cuales se puede encontrar muchos proveedores con distintas calidades, variedades y colores.



Figura 1. Filamentos PLA para impresión 3D [4].

1.2.1.3. Filamento ABS

Rajesh K. y Ganesh N et al. [5] indican en su investigación que el acrilonitrilo butadieno estireno se presenta como un polímero termoplástico cuyas características físicas y químicas lo posicionan como un material de gran importancia en la impresión 3D. La combinación de su rigidez y flexibilidad moderada facilita la producción de objetos con capacidad para resistir impactos y tensiones, brindando durabilidad a las piezas resultantes. La habilidad del ABS para ser procesado a través de técnicas de impresión 3D por fusión de filamento, en las cuales se calienta y extruye capa por capa, lo convierte en una opción habitual para la elaboración de prototipos y modelos funcionales. Su superficie suave y capacidad para aceptar acabados estéticos, junto con su adecuada resistencia a productos químicos, lo establecen como un material versátil y ampliamente empleado en diversas aplicaciones industriales. La impresión 3D con ABS no solo ofrece resultados visualmente atractivos, sino que también sobresale en la fabricación de piezas sólidas y duraderas, contribuyendo de manera significativa al progreso y la eficacia en el desarrollo de productos. En la Figura 2 se ilustra distintas aplicaciones del ABS en la industria en general.



Figura 2. Filamento ABS [6].

1.2.1.4. Trituradora de plástico

Muthiah et al. [7] mencionan que las máquinas trituradoras tienen como objetivo reducir grandes piezas a un tamaño menor con el fin de poder manipular y tratar de mejor manera estos materiales. Este dispositivo está compuesto de diferentes elementos mecánicos y eléctricos que ayudan a generar una tracción y fuerza necesaria para fragmentar elementos, como los son el plástico y termoplásticos. El triturador de plástico es un actuador que por transmisión de potencia genera un torque determinado que empujará los distintos elementos plásticos entre dos juegos de ruedas dentadas que reducirán los elementos más grandes a pequeñas piezas para que cuando cumplan un determinado tamaño las mismas sean depositadas por gravedad a un tanque almacenador. Tal como se muestra en la Figura 3, el sistema de trituración industrial cuenta con varios juegos de cuchillas que pretenden reducir significativamente el tamaño del plástico que ingresa, el cual por medio de motores impulsan a la ruptura y trituración del material en cuestión.



Figura 3. Trituradora de plástico [8].

1.2.1.5. Motor eléctrico

Un motor eléctrico es una máquina rotatoria capaz de transformar la energía eléctrica con la que es alimentado a energía mecánica para algún trabajo. Estos motores están compuestos principalmente por el estator, el cual constituye la parte fija del motor, elemento que opera como base permitiendo la rotación del motor. está constituido por un conjunto de láminas de acero al silicio, que permite que pase a través de él flujo magnético con facilidad; aloja los devanados llamados polos magnéticos, los polos de un motor siempre son pares. [9]

En la Figura 4 se presenta de manera gráfica los distintos componentes de un motor eléctrico, así como su ubicación.

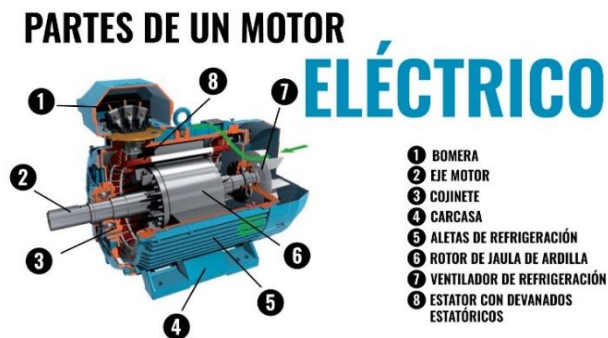


Figura 4. Partes de un motor eléctrico [10].

1.2.1.6. Tornillo sin fin transportador

Narayani et al. [11] menciona en su investigación, que el tornillo sin fin o tornillo de Arquímedes, es un mecanismo transportador de tipo tornillo, el cual contiene un ahoja helicoidal giratoria, que generalmente se encuentra en un tubo o cañón, el cual tiene el fin de mover materiales granulares o líquidos, siendo generalmente materiales semisólidos, incluidos desechos sólidos municipales, granos de cereales, desechos de alimentos, agregados, astillas de madera y pellets plásticos, como se lo puede observar en la mayoría de industrias que realizan inyección de plástico o soplado de plástico a partir de esta materia prima.

1.2.1.7. Marlin

Marlin es el firmware de código abierto con el cual se programa la placa base de la mayoría de las impresoras FDM de nivel comercial, así lo menciona Moraza [12] en su investigación; es un controlador de impresora adaptable a diversos tipos de máquinas de impresión ya que permite configurar las características físicas propias de cada dispositivo de una forma sencilla mediante los ficheros de definición. se ejecuta en la placa principal de la impresora 3D, y es el encargado de gestionar todas las actividades del equipo en tiempo real. Coordina los calentadores, steppers, sensores, pantalla LCD, botones y demás componentes involucrados en el proceso de impresión 3D y como tal el firmware tiene implementadas las siguientes características principales:

- Algoritmos de control de movimiento.
- Configuración digital de los controladores de motor paso a paso L6474.
- Monitorización de la temperatura de la cama y los extrusores.
- Tablas de asignación de archivos para el tratamiento de archivos en una tarjeta SD.
- Análisis de los G-Code. Interfaces SD, UART y Wifi.

1.2.1.8. Placa Base Creality V 4.2.7

M. Sood y C. Wu [13] establecen en su investigación, que la placa base destinada a impresoras 3D de la reconocida marca Creality se distingue por su notable capacidad para operar en silencio. Este componente crucial aprovecha la tecnología de controladores TMC2225 y se encuentra equipado con un avanzado procesador de 32 bits ARM STM32F103. La combinación de estos elementos resulta en una reducción significativa del ruido generado por los motores, garantizando que los movimientos sean fluidos y operen a niveles de sonido inferiores a 50dB. Adicionalmente, la versatilidad de esta placa base se ve ampliada gracias a la inclusión de un conector que facilita la instalación de un sensor de filamento, así como la provisión de otro conector específicamente diseñado para la incorporación de la función de auto nivelación mediante el sensor BLTouch. Estas características adicionales contribuyen a la eficiencia y la precisión en la impresión 3D, elevando la experiencia del usuario y proporcionando un rendimiento óptimo en diversos entornos de trabajo. A continuación, en la Figura 5 se muestra el diagrama de conexión de la tarjeta.

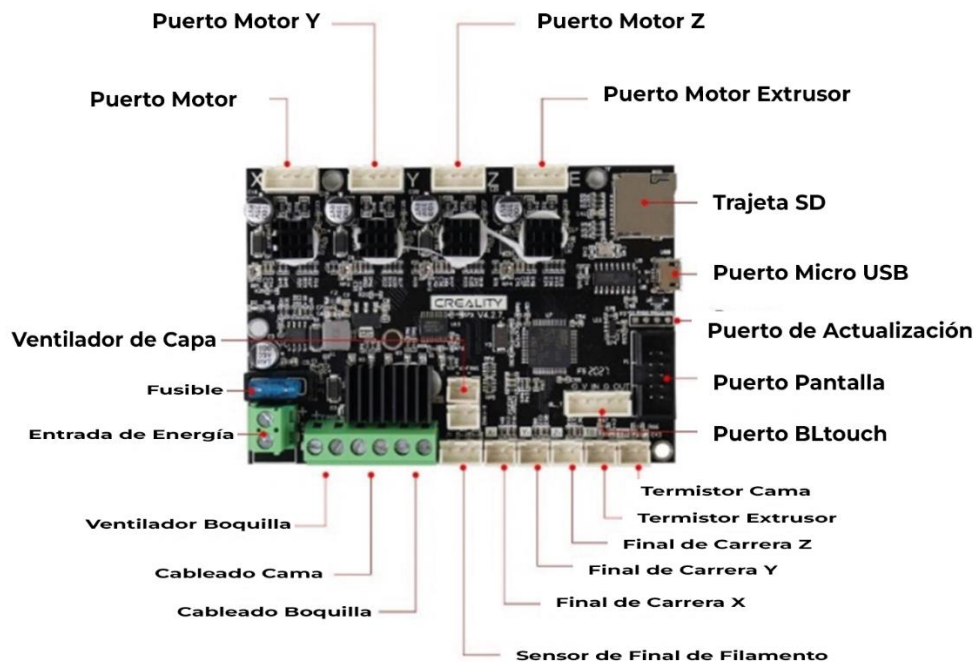


Figura 5. Diagrama de conexión de la Creality Mainboard V 4.2.7 [14].

1.3 Fundamentación teórica

La impresión 3D ha innovado como una tecnología versátil a la hora de formar artículos útiles para el día a día, así como el rápido prototipado, generación de fuentes de ingresos para comercios y brindar soluciones rápidas como alternativa de diseño y manufacturación. Sin embargo, ha presentado de igual manera distintas problemáticas que se plantean a continuación:

- Residuos provocados en la impresión 3D: La problemática radica en la cantidad de residuos que puede generar una impresora 3D FDM, mismos que son producidos a la hora de colocar soportes necesarios para una correcta impresión, así como fallas al momento de imprimir que culminan con el desecho de estas piezas sin terminar o con alguna falla.
- Costos elevados: Al tratarse de una tecnología utilizada principalmente por negocios, centros educativos y hogares, los desechos que se provocan por la misma representan un gasto económico no recuperable, teniendo valores elevados en materia prima de algunas de las marcas que elaboran este material.

- **Opción sustentable:** Se debe a que, si bien el material PLA contiene compuestos que lo hacen biodegradable, el ser un termoplástico crea un alto tiempo de degradación para el mismo, por lo que, al no existir un proceso concreto para el desecho y recuperación de este material, tiende a ser mezclado con otros residuos de los negocios y desechado sin procesarse, ni reutilizarse.
- **Economía circular inexistente:** Al ser un material que requiere una fundición para generar las formas deseadas a través del posicionamiento de capas, una vez la máquina ha empezado a elaborar un modelo o ha culminado con el mismo, es imposible reutilizar el material ocupado en nuevos proyectos o corregir errores que se pudieron haber presentado durante el proceso, por lo que inexistente una economía circular que se basa en permitir que los materiales se reutilicen y reciclen en lugar de ser desechados, creando un ciclo cerrado de producción y consumo.

A continuación, en la Figura 6 se presenta de manera gráfica, las causas y posibles repercusiones ilustradas como problemáticas que actualmente afectan a hogares y negocios que utilizan esta tecnología día a día.

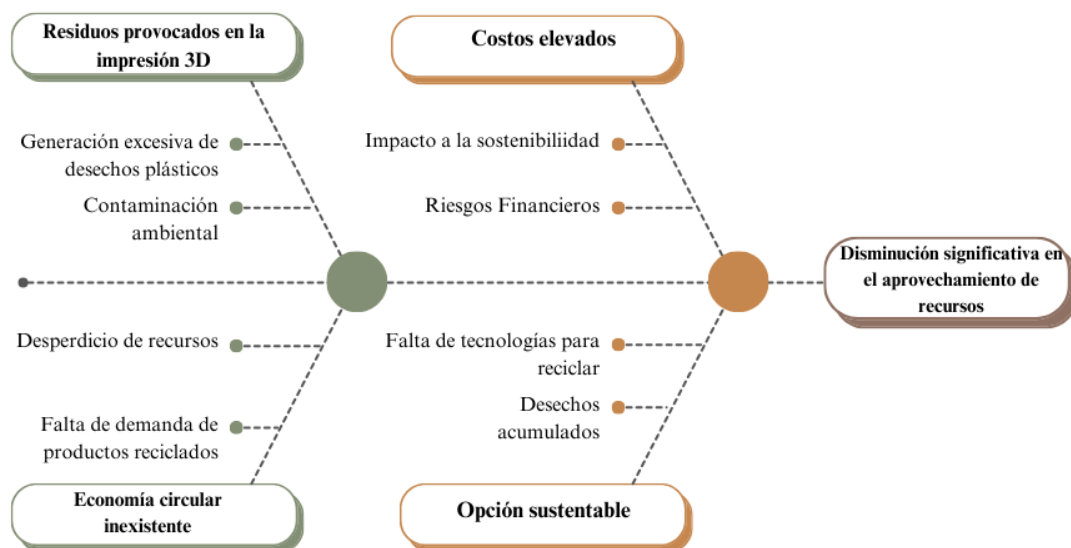


Figura 6. Diagrama causa-efecto de las posibles problemáticas.

1.4 Formulaciones

Para dimensionar y diseñar los diversos componentes del equipo, se lleva a cabo inicialmente un análisis matemático. Este enfoque tiene como objetivo incrementar la seguridad en la implementación y simplificar la obtención de los dispositivos necesarios. De esta manera, se reduce el riesgo de errores debido a la incertidumbre, al tiempo que se establece una base matemática y científica que garantiza el correcto funcionamiento del proyecto. A continuación, se describen las ecuaciones que se emplean en estos cálculos, para lo cual Budynas et al. [15] establecen las siguientes ecuaciones:

1.4.1. *Fuerza*

$$F = m * a \quad (1)$$

F = Fuerza [N]

m = Masa [kg]

a = Aceleración $\left[\frac{m}{s^2}\right]$

1.4.2. *Esfuerzo Axial*

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2)$$

σ = Esfuerzo [MPa]

F = Fuerza [N]

A = Área [m²]

1.4.3. Esfuerzo Cortante

$$\tau = \frac{4F}{3A} \quad (3)$$

τ = Esfuerzo [MPa]

F = Fuerza [N]

A = Área [m²]

1.4.4. Esfuerzo en Flexión

$$\sigma_x = -\frac{My}{I} \quad (4)$$

σ_x = Esfuerzo axial [MPa]

M = Momento [Nm]

y = Distancia del eje neutro [m]

I = Momento de inercia [m⁴]

1.4.5. Factor de Seguridad

$$\sigma = \frac{P}{A_p} = \frac{s_y}{n_d} \quad (5)$$

σ = Esfuerzo [MPa]

P = Carga [N]

A_p = Área del perfil [m²]

s_y = Resistencia del material [MPa]

n_d = Factor de diseño

1.4.6. Masa y Peso

$$m = \rho V \quad (6)$$

$$W = Fg = mg \quad (7)$$

m = Masa [Kg]

ρ = Densidad $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$

V = Volumen $[m^3]$

W = Peso [N]

g = Gravedad $\left[9.81 \frac{m}{s^2}\right]$

Fg = Fuerza gravitacional [N]

1.4.7. Potencia

$$P = T\omega \quad (8)$$

P = Potencia [W]

ω = Velocidad $\left[\frac{rad}{s}\right]$

T = Torque [Nm]

1.4.8. Ley de corrientes de Kirchhoff

Bhunja y Tehranipoor [16] establecen en su investigación, que la ley de corrientes de Kirchhoff es una restricción lineal de la carga que ingresa en base al nodo que sale. Establece que la suma de la corriente que fluye hacia el nodo de un circuito es exactamente igual a la suma de la corriente que fluye fuera del mismo nodo y se puede expresar como:

$$\sum_{k=1}^N I_k = 0$$

Como se puede apreciar en la Figura 7 la corriente que ingresa es proporcional a la corriente de salida y se puede expresar de la siguiente manera:

$$i_1 + i_2 = i_3 + i_4 \quad (9)$$

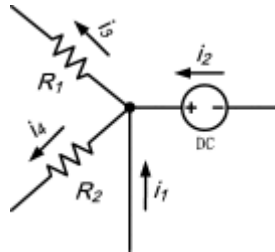


Figura 7. Ley de Corrientes de Kirchhoff [16].

1.4.9. Ley de voltajes de Kirchhoff

La ley de Kirchhoff sobre voltajes se ocupa de la preservación de la energía en torno a un circuito cerrado. Estipula que la suma algebraica de los voltajes a lo largo de una trayectoria cerrada en un circuito es nula. Esto se debe a que el voltaje se conceptualiza como una magnitud con orientación (positiva o negativa), que refleja las polaridades y los sentidos de las fuentes, mientras que la caída de voltaje se produce a lo largo del bucle [16]. Se puede expresar a continuación:

$$\sum_{k=1}^N V_k = 0$$

Es decir que la suma de los voltajes de las ramas alrededor del bucle es igual a cero tal como se ilustra en la Figura 8.

$$V_1 + V_2 + V_3 + V_4 = 0 \quad (10)$$

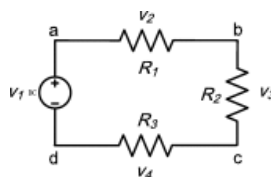


Figura 8. Ley de voltajes de Kirchhoff [16].

1.4.10. Ley de Ohm

$$I = \frac{V}{R} \quad (11)$$

I = Corriente [A]

V = Voltaje [V]

R = Resistencia [Ω]

1.4.11. Potencia total

$$P_{total} = P_1 + P_2 + \dots + P_n \quad (12)$$

P total = Potencia Total [W]

1.4.12. Velocidad de movimiento

$$V = \frac{V_{extrusión}}{\left(\pi * \frac{(R)^2}{1000} \right)} \quad (13)$$

V = Velocidad de movimiento $\left[\frac{mm}{s} \right]$

V extrusión = Velocidad de extrusión $\left[\frac{mm^3}{s} \right]$

R = Radio del filamento [mm]

1.4.13. Ratio de compresión

$$\beta = \frac{h1}{h3} \quad (14)$$

β = Ratio de compresión o altura de la zona de compresión

$h1$ = Altura de la zona de alimentación [mm]

$h3$ = Altura de la zona de dosificación [mm]

1.4.14. Anchura del filete

$$e = 0.25 * D \quad (15)$$

e = Anchura del filete [mm]

D = Diámetro del tornillo [mm]

1.4.15. Anchura del canal

$$w = (0.2 \text{ a } 0.3) * D \quad (16)$$

e = Anchura del canal [mm]

D = Diámetro del tornillo [mm]

1.4.16. Paso del tornillo sin fin transportador

$$P = \frac{\pi * D}{\sqrt{e^2 + w^2}} * \cos(\hat{w}) \quad (17)$$

P = Paso del tornillo [mm]

w = Anchura del filete [mm]

e = Anchura del canal [mm]

D = Diámetro del tornillo [mm]

$\hat{w}$ = Ángulo del filete

1.4.17. Largo de la zona de sujeción

$$L \text{ sujeción} = L_{tc} * 0.1 \quad (18)$$

Ls = Longitud de sujeción [mm]

Lt = Longitud total del tornillo en su zona útil [mm]

1.4.18. Largo de la zona de sujeción

$$D \text{ acople} = \frac{D}{3.5} \quad (19)$$

D = Diámetro del tornillo [mm]

1.4.19. Balance energético del extrusor

$$N = (32 * 10^{-5}) * Q * C * (T_m - T_0) \quad (20)$$

N = Balance energético [W]

Q = Producción o caudal $\left[\frac{\text{Kg}}{\text{h}}\right]$

C = Capacidad calorífica del material $\left[\frac{J}{\text{Kg} * ^\circ\text{C}}\right]$

T_m = Temperatura de la masa fundida [$^\circ\text{C}$]

T_0 = Temperatura de la masa a la salida del extrusor [$^\circ\text{C}$]

1.4.20. Potencia de Watts a HP

$$N_{HP} = \frac{W}{746} \quad (21)$$

W = Potencia [W]

1.4.21. Ángulo de inclinación

$$\theta = \tan^{-1}(ff) \quad (22)$$

θ = Ángulo de inclinación [$^\circ$]

ff = Factor de fricción

1.4.22. Esfuerzo promedio de soldadura GTAW

$$\tau = \frac{1.414 * F}{h * l} \quad (23)$$

τ = Esfuerzo promedio $\left[\frac{N}{m^2} \right]$

F = Carga sometida en [N]

h = Garganta se soldadura [m]

l = Longitud de soldadura [m]

1.4.23. Ángulo de inclinación

$$n = \frac{0.5 * S_y}{\tau} \quad (24)$$

τ = Esfuerzo promedio $\left[\frac{N}{m^3} \right]$

S_y = Resistencia del material [MPa]

n = Factor de seguridad

1.4.24. Payback

$$Payback = \left[\begin{array}{c} \text{Último periodo con flujo} \\ \text{acumulado negativo} \end{array} \right] + \left[\frac{\begin{array}{c} \text{Valor absoluto del último flujo} \\ \text{flujo acumulado negativo} \end{array}}{\begin{array}{c} \text{Valor del flujo en el siguiente} \\ \text{periodo} \end{array}} \right] \quad (25)$$

1.4.25. Torque

$$T = F * r \quad (26)$$

T = Torque [N.m]

F = Fuerza [N]

r = Radio [m]

CAPÍTULO 2

SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

2.1 Introducción

El presente apartado expone la metodología empleada con el propósito de abordar las problemáticas inherentes al proceso de reciclaje de residuos generados por la impresión 3D. En este contexto, se examinarán diversas propuestas de diseño concebidas para la creación de dicho sistema, junto con un análisis detallado de alternativas actualmente disponibles en el mercado. Asimismo, se abordará la selección de variables críticas destinadas a un riguroso control, tal como la fundamentación teórica esencial para la implementación de una solución viable.

2.2 Diseño del proyecto

Ante el tiempo destinado para la elaboración del presente proyecto, se ha propuesto una serie de métodos acoplados secuencialmente para la elaboración de este, los cuales comprenden:

- Identificación de los problemas que involucran al proyecto.
- Identificación de las variables relacionadas con cada problemática.
- Hipótesis de las posibles soluciones a las mencionadas problemáticas.
- Selección de la solución a implementar.

Tomando en cuenta estos aspectos, se han seleccionado las metodologías que guiarán a la investigación aplicada a su correcta fundamentación, implementación y funcionamiento.

2.3 Metodologías empleadas

Con el propósito de alcanzar las metas establecidas, se propone un enfoque de trabajo específico para cada fase de la investigación. Estas etapas se detallan a continuación:

- Método analítico: Identifica las variables.
- Método cuantitativo: Aplica el uso de formulaciones matemáticas, cálculos y herramientas de software para análisis y simulación.

- Método experimental: Implementación de la solución elegida, así como prueba y error para la mejora y calibración de algunos aspectos requeridos.
- Método comparativo cualitativo: Análisis de los resultados obtenidos a través del proyecto, ponderación de este y establecimiento de futuras mejoras requeridas por el sistema.

2.3.1. Análisis de alternativas

Para el análisis de alternativas se plantean distintas características, las cuales serán ponderadas según parámetros como: facilidad en el mantenimiento, costos operativos y de construcción, operabilidad, materiales para la fabricación, tamaño de la máquina y tipo de máquina.

Las alternativas que se plantean son:

- Compra de una máquina recicladora de plásticos.
- Uso de la materia base en moldes de inyección.
- Construcción de un sistema de recuperación de residuos generados en la impresión 3D.

2.3.2. Cuadros comparativos de Selección de alternativas

Dentro de la Tabla 1 se puede apreciar una ponderación comparativa de la facilidad de mantenimiento, el costo operativo y los materiales de construcción con el fin de seleccionar la mejor alternativa disponible. En esta selección se utilizará un rango de 1-5 como se muestra en la tabla, donde 1 es bajo o malo y 5 es alto o excelente.

Tabla 1. Clasificación cuantitativa de las alternativas.

Alternativas	Facilidad de mantenimiento	Costo	Materiales	Operabilidad	Puntaje total
Compra de una máquina recicladora de plásticos.	3	3	4	3	13
Uso de la materia base en moldes de inyección.	2	1	4	2	9
Construcción de la máquina	5	4	4	5	18

De igual forma, según el tipo de máquina, puede tener distintos tamaños que destacan en diferencias notorias incluso en escalas muy grandes. En la siguiente tabla se calificará en el aspecto de máquinas industriales, semiindustriales y caseras, comparando sus ponderaciones como 1 si la máquina requiere un gran espacio, es difícil de transportar y si su instalación resulta compleja. Por su lado, se calificará con 5 si el equipo es de tamaño adecuado para el trabajo, manejabilidad sencilla e instalación adecuada sin requerir un alto nivel de conocimiento.

Tabla 2. Clasificación según el tamaño de la máquina.

Tamaño	Espacio requerido	Facilidad de Transporte	Facilidad de Instalación	Facilidad de mantenimiento	Puntaje Total
Industrial	1	2	1	2	6
Semi Industrial	3	3	3	4	13
Casera	5	5	5	4	19

Finalmente, se definirá en la Tabla 3 la capacidad operativa de la máquina, siendo cualificada en aspectos como el rendimiento, la operabilidad y la funcionalidad con el fin de crear una máquina automática, semiautomática o manual. La ponderación se registrará del 1 al 5, siendo 1 un sistema con bajo desempeño, difícil operabilidad y baja funcionalidad, y 5 una máquina con excelentes prestaciones en los mismos aspectos.

Tabla 3. Clasificación por tipo de máquina.

Tipo	Rendimiento	Operabilidad	Funcionalidad	Puntaje Total
Automática	5	5	4	14
Semi automática	5	5	5	15
Manual	3	2	3	8

Basándose en los resultados presentados en las Tablas 1, 2 y 3, se calificarán las opciones en una ponderación del 1 al 5, donde los aspectos fundamentales de cada clasificación indican el tipo de máquina ideal para la hipótesis planteada, como se puede observar en la Tabla 4.

Tabla 4. Ponderación final.

Alternativa, Tamaño, Tipo	Puntuación Total	Ponderación	Opciones más altas (≥ 4)
Compra de una máquina recicladora de plásticos.	13	3.25	
Uso de la materia base en moldes de inyección.	9	2.25	
Construcción de la máquina	18	4.50	4.5
Industrial	6	1.5	
Semi industrial	13	3.25	
Casera	19	4.75	4.75
Automática	14	4.67	
Semi automática	15	5	5
Manual	8	2.67	

La Tabla 4, presenta como resultante de la calificación final un sistema que, como solución a la hipótesis, plantea un equipo cuya construcción es la opción de mejor beneficio, que disponga de un tamaño casero para la facilidad de su uso y que su construcción y diseño presenten una semiautomatización en los procesos que ha de realizar.

2.4 Aspectos teóricos fundamentales

Es fundamental establecer los componentes físicos que constituirán este proyecto. Por lo tanto, en los puntos siguientes, se hace una declaración general sobre ciertos elementos que formarán parte del equipo a diseñar.

2.4.1. Calentador de banda

Chudjuarjeen y Chakkuchan [17] exponen en su investigación que un calentador de banda es un mecanismo de calefacción empleado en entornos industriales. Su principio de operación se basa en la corriente que fluye a través de una bobina conductora resistiva, generando calor en el cable conductor y transfiriéndolo a la carga. Por ende, el cable calefactor debe poseer propiedades de alta resistencia al calor para la producción efectiva de calentadores. La mayoría de estos dispositivos cuentan con aislante de polvo de magnesio, y en el caso de calentadores de infrarrojos, tubulares y de placas, el óxido de magnesio actúa como barrera entre el devanado del conductor y la pared metálica del calentador. Este polvo aislante exhibe una excelente conductividad térmica pero baja conductividad eléctrica, lo que exige precaución para evitar la presencia de humedad, ya que esta podría aumentar la conductividad eléctrica y ocasionar cortocircuitos en el calentador.

En caso de detectar humedad en el calentador, confirmada mediante mediciones eléctricas, se puede proceder a un proceso de horneado para eliminar la humedad. Es esencial evaluar el valor de aislamiento en calentadores de calidad para garantizar la ausencia de fugas de corriente en el devanado del conductor al utilizarlos. El principio de funcionamiento del calentador indica que cuando el calentador eléctrico está funcionando, fluirá corriente hacia la bobina del calentador. La mayoría de los cuales están hechos de serpentines calefactores de níquel-cromo de alta resistencia. La corriente que fluye a través de la resistencia pierde energía y la convierte en energía térmica. El calor generado se transferirá al objeto que tenga menos calor, es decir el líquido o el objeto que se requiere calentar. Tal como se muestra en la Figura 9.



Figura 9. Calentador de banda cerámico [18].

2.4.2. Hotend

Flores [19], estipula en su investigación que un hotend es el dispositivo encargado de fundir el filamento, generalmente consta de una boquilla y un conjunto de elementos calefactores y sensores de temperatura. La boquilla es la parte final del hotend por donde fluye el filamento fundido y finalmente es arrojado en un diámetro específico determinado por la boquilla de extrusión que se considere en base a la aplicación necesaria. La temperatura precisa de este es crucial para generar con éxito un filamento acorde a las necesidades requeridas y mantener la calidad esperada y su composición se puede apreciar en la Figura 10.

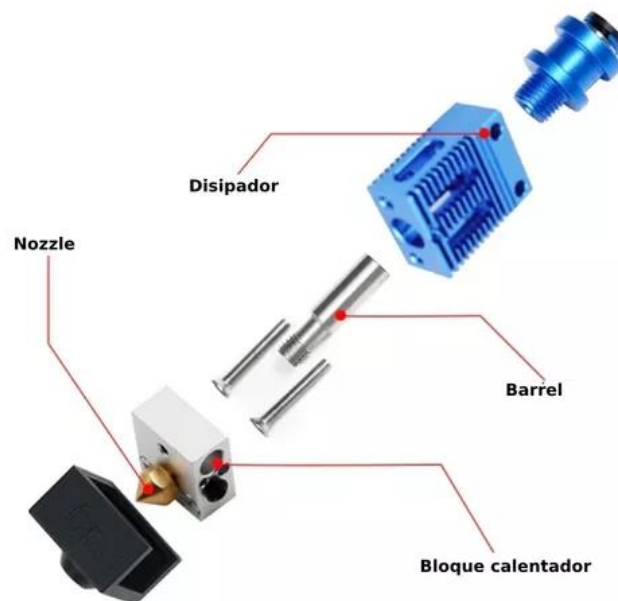


Figura 10. Partes de un Hotend [20].

2.4.3. Soldadura TIG

La soldadura Tungsten Inert Gas (TIG, por sus siglas en inglés) es un procedimiento que emplea un electrodo de tungsteno no consumible y un gas inerte para proteger el arco y el área circundante del baño de fusión de la atmósfera. En casos de necesidad de aportar material adicional, este debe ser introducido desde un lateral del baño de fusión. Esta técnica garantiza la producción de soldaduras de alta calidad, exentas de escoria, lo que minimiza la posibilidad de inclusiones en el material depositado y elimina la necesidad de limpieza final. Además, la soldadura TIG es versátil y puede aplicarse en la unión de prácticamente todos los tipos de metales, ya sea de manera manual o automática. Es especialmente destacada en la soldadura de

aluminio y aceros inoxidable, donde se prioriza una calidad óptima en la unión. Su aplicación es frecuente en la unión de juntas de alta precisión en sectores tales como centrales nucleares, industrias químicas, construcción aeronáutica y procesamiento de alimentos [21]. Se puede apreciar su composición y proceso en la Figura 11.

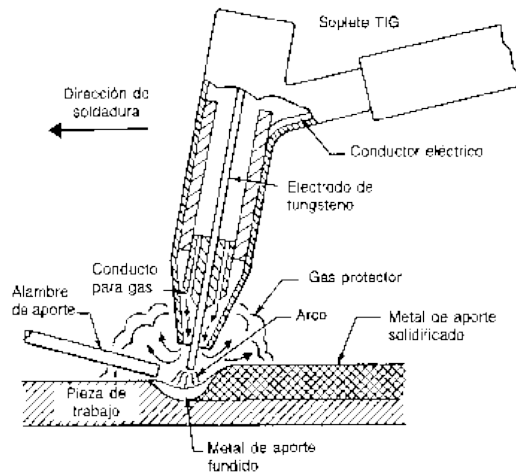


Figura 11. Proceso de soldadura TIG [22].

2.4.4. Termistor NTC

C. Shi et al. [23] definen en su investigación que los termistores de coeficiente de temperatura negativo o Negative Temperature Coefficient (NTC, por sus siglas en inglés) constituye un dispositivo de medición de temperatura caracterizado por una resistencia eléctrica que decrece proporcionalmente al incremento de la temperatura. La denominación "Negativa" atribuida al sensor alude a la relación inversamente proporcional existente entre la resistencia del dispositivo y la temperatura ambiente. Estos sensores se confeccionan a partir de materiales semiconductores, tales como óxidos metálicos, cuya resistencia experimenta una disminución conforme la temperatura aumenta. En el contexto de los sensores NTC, se destaca una reducción sustancial de la resistencia a medida que la temperatura se eleva, como se ilustra en la Figura 12.



Figura 12. Termistor NTC [23].

2.5 Diagrama Causa - Efecto

En la Figura 13 se logra apreciar de manera gráfica a través de un diagrama de Ishikawa las problemáticas dependientes del sistema que se plantea a través de las cuales se busca generar las posibles variables de control a contemplar durante el diseño e implementación del proyecto.

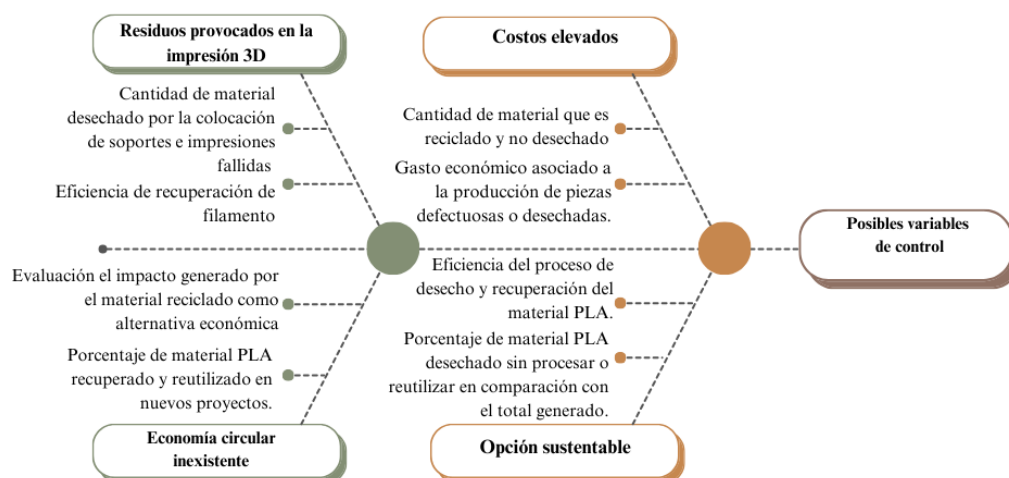


Figura 13. Diagrama causa-efecto de las posibles variables de control.

2.6 Operacionalización de las variables

Basándose en las distintas problemáticas encontradas, se ha considerado las variables independientes y su solución respectiva en base a cada definición operacional del sistema, las cuales se contemplan en la Tabla 5.

Tabla 5. Operacionalización de las variables.

Variable	Definición Operacional	Unidades	Problemática	Técnicas Instrumentales
Tamaño del sistema	Medidas generales del sistema	Milímetros	¿Es posible que el sistema sea de menor tamaño que sus alternativas industriales?	El diseño y construcción de un sistema cerrado ayuda a la eficiencia a nivel de espacio proyectada a una máquina de pedestal.
Fuerza	Fuerza requerida para el transporte y extrusión	Newtons	¿Cómo se logrará un empuje constante para el transporte y extrusión?	Aplicando un sistema de tornillo sin fin impulsado por un motor eléctrico se generará la fuerza requerida para la alimentación del sistema.
Temperatura	Temperatura requerida para la fundición	Celsius o Fahrenheit	¿Es posible llegar a la temperatura de fundición del PLA que varía entre 185 °C a 270 °C?	El uso de calentadores de banda ubicados en serie genera la temperatura de fundición adecuada.
Velocidad	Velocidad requerida por los motores a pasos para una correcta fluencia	Milímetros por segundo	¿Cómo generar una velocidad adecuada para el sistema?	Se establecerá la velocidad acorde a alternativas presentes en el mercado, así como tras experimentación el ajuste de esta para obtener resultados óptimos.

De igual manera se establece que el material ingresa al sistema de manera granulada como material virgen y triturada como material reciclado, este proceso se lo realiza externamente en otros sistemas independientes al proyecto.

2.7 Técnicas e instrumentos

Para el control de cada una de las variables establecidas en la Tabla 5 se requiere una sustentación teórica y experimental que se adecue a estas.

2.7.1. Potencia de trabajo

El diseño de un sistema de potencia y la selección de un motor adecuado para el trabajo se establecerá aplicando la ecuación 8. Además de la utilización de la ecuación 11, para el diseño e implementación del sistema de alimentación eléctrica, que suministre la energía requerida para las funciones del equipo.

Los componentes mecánicos que desempeñen un papel crucial o formen parte integral del sistema de potencia serán predefinidos utilizando las ecuaciones 1, 2, 3, 4 y 5. Posteriormente, se someterán a evaluación mediante el uso de herramientas de software antes de llevar a cabo su implementación.

2.7.2. Tamaño del sistema

El diseño estructural del sistema se implementará con ayuda de distintas herramientas del software de diseño, con el fin de obtener datos cuantificados acerca de la utilidad y funcionamiento de la máquina. Y la selección de pernos, rodamientos, perfiles y materiales basándose en tablas y catálogos de acuerdo con las normativas de diseño.

2.7.3. Proporciones del material

Al manejar un material reciclado, es necesario recomponer su estructura química para el correcto restablecimiento de este, por lo cual se realizará a través de pruebas una formulación proporcional de la cantidad de material reciclado con material virgen para obtener una masa homogénea, con cualidades cercanas a las originales y que sea capaz de fundirse a través del sistema diseñado para la máquina. La proporción experimental en la que se basará el inicio de las pruebas será de entre el 40% al 85% como lo establecen M. Nikam et al. [24] en su investigación.

2.7.4. Temperatura de trabajo

Para el correcto establecimiento de los parámetros de temperatura, se realizará de manera experimental la fundición del material formulado basándose en las temperaturas establecidas

para la impresión 3D del PLA de distintos fabricantes, las cuales oscilan entre 175°C y 270°C según las fichas técnicas de este material fabricado por marcas como Creality, Artillery, Amolen y Sunlu.

2.7.5. Velocidad de trabajo

La velocidad de funcionamiento del tornillo sin fin es un parámetro crucial para obtener una correcta fundición del material formulado, así como un flujo constante una vez se extruya por la boquilla de 1.75 mm. Este parámetro no solo garantiza la calidad del material fundido, sino también la uniformidad y consistencia del flujo durante el proceso de extrusión.

Para establecer la velocidad óptima, se tomará como referencia el desempeño de equipos similares disponibles en el mercado. A partir de esta referencia inicial, se realizarán ajustes experimentales para determinar el valor ideal. Este enfoque permitirá optimizar el proceso, asegurando así un rendimiento superior y una mejor calidad del producto final.

CAPÍTULO 3

DISEÑO Y SIMULACIÓN

3.1 Introducción

El presente capítulo expone de manera analítica la situación actual de la problemática previamente establecida, así como los detalles técnicos de cálculo y diseño de la solución propuesta. Se establecerá, además, la selección de distintos componentes tabulados y normalizados presentes en el mercado para la implementación del sistema de recuperación de residuos provocados por la impresión 3D, que será previamente diseñado y simulado con la ayuda de herramientas de software y posteriormente verificadas las especificaciones del proyecto a través de las debidas pruebas de funcionamiento.

3.2 Descripción de la situación actual

3.2.1. *Impresión 3D*

En la actualidad, la tecnología de fabricación aditiva (FDM) ha experimentado un notable desarrollo y expansión en diversas aplicaciones industriales, abarcando sectores como la industria aeroespacial, automotriz, biomateriales, dispositivos médicos, entre otros. En términos generales, el proceso de modelado por deposición fundida (FDM) se emplea para la extrusión continua de filamentos de material termoplástico, los cuales se funden y se depositan capa por capa mediante una boquilla con el fin de producir objetos tridimensionales mediante impresión 3D indican Q. Ma et al. [25] en su investigación. Esta tecnología ha evolucionado y adaptado su mercado para la fabricación al punto en que se ha convertido en una herramienta útil para la generación de negocios, así como para el hogar, poblando múltiples escenarios donde el uso de este tipo de equipos se ha vuelto común.

3.2.2. *Desperdicios de la Impresión 3D*

Debido al acelerado crecimiento de esta tecnología y su cada vez más notada presencia en centros de enseñanza, negocios y hogares, los desperdicios que la impresión 3D FDM también son cada vez mayores. M. Hassan et al. [26] estipulan que el mal manejo de los residuos de plásticos y biomasas es una importante preocupación mundial. Cada año se producen alrededor

de 380 millones de toneladas de plástico, de las cuales solo el 9% se recicla, lo que provoca una contaminación generalizada. Se establece que alrededor del 5 al 10% de todos los productos de impresión 3D son desechados, así lo expuso Christian Lölkes [27] durante el Congreso del Club de Caos (CCC, por sus siglas en inglés) en Hamburgo.

3.2.3. *Reciclaje plástico aplicado a la impresión 3D*

La versatilidad de creación presentada por la impresión 3D ha dejado a su paso un sinfín de artículos que pueden ser elaborados a partir de esta tecnología, así como parte de proceso de elaboración de muchos otros. Sin embargo, el uso de un material termoplástico ubicado en capas ha generado como consecuencia la necesidad de usar soportes para la correcta impresión de ciertas piezas, mismos que tras finalizar la impresión son retirados y desechados ya que no presentan ninguna utilidad como material para reutilización. De igual manera, constantes externas como cortes de energía, efectos comunes en la impresión 3D como el levantamiento de capas, deformación en las bases o falta de agarre del modelo a la cama de impresión provocan que los modelos se dañan durante su producción, siendo imposible recuperarlas por lo que terminan por ser desechados. Siendo esta premisa el antecedente para la implementación del reciclaje de plásticos aplicado a los desechos generados por la impresión 3D. M. Nikam et al. [24] indican en su investigación, que el proceso ideal para el reciclaje de desechos basados en PLA y ABS es muy similar al reciclaje de piezas de polipropileno encontradas en fábricas de productos elaborados a partir de este material. Para una óptima reestructuración de este hay que tomar en cuenta algunos factores propios del material. La Tabla 6 expone estos datos.

Tabla 6. Propiedades físicas del PLA y el ABS [24].

Propiedades Mecánicas	Valores de PLA	Valores de ABS
Módulo de Young (E)	1280 MPa	2800 – 3100 MPa
Esfuerzo Máximo	65 MPa	40 MPa
Resistencia a la tracción	45 – 65 MPa	55 – 75 MPa
Coefficiente de expansión térmica	$68 \frac{\mu m}{m \cdot ^\circ C}$	$90 \frac{\mu m}{m \cdot ^\circ C}$
Límite elástico	3 – 6 %	2 – 5 %
Temperatura de fusión	180 °C	255 °C

M. Nikam et al. [24] estipulan que el proceso para el reciclaje de PLA y ABS se compone de 3 fases similares a las vistas en la industria de inyección de plástico para la fabricación de fundas, cucharas y demás producido a partir del polipropileno:

- Trituración: se busca reducir el tamaño de las piezas desechadas con el fin de facilitar su mezcla y reformulación, así como buscar una fundición homogénea del material
- Mezcla: se realiza una mezcla entre material sin procesar y el material reciclado, generalmente variando entre 40% y 85% dependiendo de la calidad del material reciclado.
- Fundición: se calienta la mezcla al punto de fusión y se procede a inyectar para obtener nuevamente Figuras a partir del mismo, dependiendo de la proporción puede tener mayor maleabilidad y ser bobinado nuevamente para una nueva impresión.

3.3 Cálculos y Selección

Haciendo uso de las formulaciones descritas en anteriores capítulos, se realiza el cálculo de los diferentes subsistemas que componen al dispositivo.

3.3.1. Justificación del material

La selección del material del sistema de recuperación de residuos generados en la impresión 3D se basa en dos criterios principales:

- La sección estructural plantea el uso de una perfilaría de aluminio estandarizada para el marco del sistema, acrílico como secciones de protección laterales, así como para el mantenimiento del calor del equipo y acero al carbono AISI 1010 para la base que sostendrá los elementos del sistema de extrusión, los cuales presentan secciones cercanas al calor emitido por los calefactores de banda y en el caso de la base las cargas de todos los componentes mecánicos de la máquina. Los materiales han sido seleccionados con el fin de facilitar los procesos de maquinado, ensamblaje y costos a través de su producción por corte láser en el caso del acrílico y el acero negro.
- La sección funcional como el cañón, tornillo sin fin, tobera, boquilla, entre otros, plantea el uso de materiales acordes a las características de funcionamiento estándar de

la máquina, por lo que se ha realizado análisis de esfuerzos y temperaturas a las cuales el sistema debe trabajar.

3.3.2. Temperatura de operación

Basándose en la investigación realizada por M. Nikam et al. [24] y los datos de la Tabla 6 se ha considerado que el sistema requiere una temperatura mínima de 175 °C y una máxima de 295 °C esto considerando un margen de trabajo de ± 10 °C para así lograr obtener una mezcla homogénea, con cualidades viscosas que garanticen la fusión del material a reciclar con el material virgen durante el movimiento y transporte del tornillo. En la Figura 14 se puede apreciar el tipo de masa que se busca obtener en el interior del sistema y posterior extrusión.

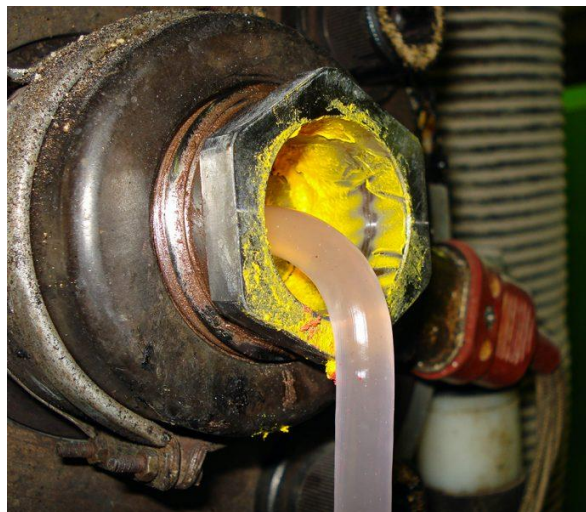


Figura 14. Filamento extruido [28].

3.3.3. Dimensionamiento del tornillo

El sistema de extrusión empleará un tornillo sin fin transportados de paso constante y profundidad de canal variable, esto para seccionar el diseño en 3 secciones, alimentación, compresión y dosificación, relacionadas con la capacidad de reciclaje planificada para la máquina, la cual se estima como 0.4 kg/h cantidad estandarizada respecto a otras máquinas similares existentes en el mercado.

3.3.3.1. Ángulo del tornillo

El ángulo del tornillo depende de la disminución en la profundidad del filete del tornillo ($\hat{w}$) y varia en base al cambio del diámetro del tornillo para generar las 3 secciones previamente mencionadas. La Tabla 7 presenta los valores de $\hat{w}$ y flujo (φ) según el material presentados por Baird y Dimitris [29] en su libro procesamiento de polímeros.

Tabla 7. Índice óptimo para el ángulo de hélice y flujo [29].

Índice óptimo para el ángulo de hélice y flujo				
Polímero	φ	$\hat{w} = 0.1$	$\hat{w} = 0.2$	$\hat{w} = 0.3$
PMMA, ABS	0.25	18	33	50
PS, PVC	0.3	20	32	46
Polipropileno	0.35	21	32	44
HDPE	0.5	24	32	41
PET	0.6	26	33	41
Polycarbonato	0.7	27	33	40
Nylon 6.6	0.75	28	34	40
Fluido Newtoniano	1.0	30	35	41

Tomando en cuenta el material más fuerte que se pretende procesar según las propiedades físicas mencionadas en la Tabla 7, el ABS constituye la mayor dificultad de procesamiento para el sistema, por lo que seleccionando este y tomando en cuenta un $\hat{w} = 0.1$ se establece que el ángulo óptimo del tornillo es de 18° .

3.3.3.2. Diámetro del tornillo

Basándose los parámetros de uso del sistema, el diámetro del tornillo determina el ajuste ideal para el transporte del material, por las distintas secciones de este, analizando las especificaciones del sistema se ha considerado el diámetro nominal de un pellet de PLA el cual varía entre los 3 a 3.5 mm por lo que la profundidad en la zona de alimentación debe cumplir este parámetro mínimo de diseño. Para la selección del diámetro se considera la Tabla 8 que expone los diámetros típicos de los tornillos extrusores comerciales versus el largo comercial

dividido en dos secciones, mayores a 4 pulgadas y menores a 4 pulgadas, expuestos por J. Wagner et al. [30] en su investigación.

Tabla 8. Diámetros comerciales en tornillos extrusores [30].

< 4 in. (100 mm)		> 4 in. (100 mm)	
in.	mm	in.	mm
0.5	15	4.5	120
0.75	20	6	150
1	25	-	180
-	30	8	220
1.25	35	10	250
1.5	-	12	300
1.75	45	14	350
2	50	16	400
2.5	60	18	450
3	70	20	500
3.5	90	24	600

Tomando en cuenta el tipo de trabajo y los materiales que se pretenden procesar se ha elegido un tornillo de 35 mm de diámetro para el trabajo. Sin embargo dado el coeficiente de expansión del ABS expuesto en la Tabla 6, se determina un juego entre el tornillo y la pared del cañón o huelgo radial (δ) de 1.4 mm, siendo necesario un tornillo transportador de 33.6 mm medida cercana a la estandarizada por J. Wagner et al. [30] en su libro.

3.3.3.3. Longitud del tornillo

Para establecer el largo total de tornillo es crucial espaciar el tornillo en base a las secciones que se desea ubicar, en el caso de este sistema se pretende tener 3 secciones alimentación, compresión y dosificación, para lo cual se calculará mediante las formulaciones propuestas en la Tabla 9, la cual expone los dimensionamientos estandarizados para las zonas de un tornillo sin fin extrusor como lo exponen J. Wagner et al. [30].

Tabla 9. Dimensionamiento estandarizado de las zonas de un tornillo extrusor [30].

Parámetros	Relación
Longitud zona de alimentación	(2 a 4) * Diámetro del tornillo
Longitud zona de compresión	(2.5 a 4) * Diámetro del tornillo
Longitud zona de dosificación	(2.5 a 4) * Diámetro del tornillo
Profundidad de la zona de alimentación	(0.1 a 0.15) * Diámetro del tornillo

Utilizando la relación expuesta en la Tabla 9 se determina la longitud de la zona de alimentación y se selecciona un valor de 2.2 para la zona de alimentación considerando el tamaño del pellet:

$$L_{\text{alimentación}} = 2.2 * 35 \text{ mm}$$

$$L_{\text{alimentación}} = 77 \text{ mm}$$

Se acerca la relación 80 mm para mayor facilidad de maquinado.

Se considera de igual forma, la relación para la longitud de la zona de compresión tomando un valor de 2.8 para esta sección cónica:

$$L_{\text{compresión}} = 2.8 * 35 \text{ mm}$$

$$L_{\text{compresión}} = 98 \text{ mm}$$

Se acerca la relación a 100 mm para mayor facilidad de maquinado.

J. Wagner et al. [30] indican que la relación para la longitud de la zona de dosificación debe ser similar a la zona de compresión por lo que se toma un valor de 2.8 para esta sección:

$$L_{\text{dosificación}} = 2.8 * 35 \text{ mm}$$

$$L_{\text{dosificación}} = 98 \text{ mm}$$

Se acerca la relación a 100 mm para mayor facilidad de maquinado.

Además J. Wagner et al. [30] establecen que la sección de dosificación debe contener una punta que ayudará a una mejor salida del material por la boquilla de extrusión, la misma corresponde a un 25% de la longitud de la sección de dosificación, por lo que obtener que:

$$L_{punta} = 0.25 * 100mm$$

$$L_{punta} = 25 \text{ mm}$$

Se selecciona además un área de longitud de 15 mm que fungirá como tapón tras la sección de alimentación, esto para evitar el retorno de material o la salida de este fuera del cañón que contiene al tornillo. Por lo que se obtiene que la longitud final de tornillo es:

$$L_{total} = L_{tapón} + L_{alimentación} + L_{compresión} + L_{dosificación} + L_{punta}$$

$$L_{total} = 15 \text{ mm} + 80 \text{ mm} + 100 \text{ mm} + 100 \text{ mm} + 25 \text{ mm}$$

$$L_{total} = 320 \text{ mm}$$

3.3.3.4. Cálculo de h_1 (Profundidad de la zona de alimentación)

El cálculo de la zona de alimentación garantiza que el material con el que se pretende trabajar ingrese sin presentar atascos durante el movimiento del tornillo y el transporte. Tomando en cuenta el tamaño nominal de un pellet de ABS que es de 3 a 3.5 mm y las relaciones de la Tabla 9 se selecciona un valor de 0,12 y se obtiene:

$$h_1 = 0.12 * 35 \text{ mm}$$

$$h_1 = 4.2 \text{ mm}$$

Se obtiene un valor de 4.2 mm de profundidad que abastece con un rango de seguridad al material usado en el sistema.

3.3.3.5. Cálculo de h_3 (Profundidad de la zona de dosificación)

El cálculo de la zona de dosificación depende del valor de h_2 considerado como el valor del ratio de compresión que se estima como la diferencia entre la zona de alimentación por la zona de dosificación. J. Wagner et al. [30] establecen que el β idealizado para un ABS es 2.33 mm aproximadamente por lo que aplicando la Ecuación 14 se obtiene:

$$\beta = \frac{h_1}{h_3}$$

$$h_3 = \frac{h_1}{\beta}$$

$$h_3 = \frac{4.2 \text{ mm}}{2.33}$$

$$h_3 = 1.8 \text{ mm}$$

3.3.3.6. Cálculo de la anchura del filete e y la anchura del canal w

Los valores de e y w pueden ser calculados aplicando las ecuaciones 15 y 16 respectivamente.

$$e = 0.25 * D$$

$$e = 0.25 * 35 \text{ mm}$$

$$e = 8.75 \text{ mm}$$

Se obtiene un ancho del filete de 8.75 mm

Para el ancho del canal se escoge un valor de 0.28 y se obtiene:

$$w = (0.2 - 0.3) * D$$

$$w = 0.28 * 35 \text{ mm}$$

$$w = 9.8 \text{ mm}$$

Se obtiene un ancho del canal de 9.8 mm

3.3.3.7. Cálculo del paso del tornillo extrusor

Una vez conocidos los aspectos básicos de transporte del tornillo sin fin extrusor es posible calcular su paso aplicando la ecuación 17:

$$P = \frac{\pi * D}{\sqrt{e^2 + w^2}} * \cos(\hat{w})$$

$$P = \frac{\pi * (35 \text{ mm})}{\sqrt{(8.75 \text{ mm})^2 + (9.8 \text{ mm})^2}} * \cos(18^\circ)$$

$$P = \frac{35\pi}{\sqrt{168.29}} * \cos(18^\circ)$$

$$P = 8.06 \text{ mm}$$

Se obtiene un paso de 8.06 mm para el sistema.

3.3.3.8. Diseño del eje de sujeción

Para la ubicación del tornillo se registra como el eje sujeción la zona en donde el tornillo es equilibrado por medio de la chumacera y posteriormente conectado al sistema de transmisión de potencia para su movimiento. J. Wagner et al. [30] establece mediante la Tabla 8 que la selección de esta zona debe ser un escaño menor al seleccionado para el diámetro general del tornillo sin fin. Puesto que para el tornillo se seleccionó una medida general de 1.25” se establece que la zona de sujeción debe tener 1” tal como se muestra en la Figura 15.

< 4 in. (100 mm)		> 4 in. (100 mm)	
in.	mm	in.	mm
0.5	15	4.5	120
0.75	20	6	150
1	25	-	180
-	30	8	220
1.25	35	10	250
1.5	-	12	300
1.75	45	14	350
2	50	16	400
2.5	60	18	450
3	70	20	500
3.5	90	24	600

Figura 15. Selección del diámetro de la zona de sujeción.

Para la longitud de la zona de sujeción se aplica la Ecuación 18 y se obtiene:

$$L_{\text{sujeción}} = L_{tc} * 0.1$$

$$L_s = 320 \text{ mm} * 0.1$$

$$L_s = 32 \text{ mm}$$

Se obtiene una longitud de 32 mm que es acercada a 35 mm por motivos de seguridad en el caso de variación de características de modelos con algunas chumaceras presentes en el mercado. Finalmente se dejará una sección de 20 mm para la conexión del tornillo con el motor mediante un acople flexible, con el fin de generar una relación de transmisión 1:1. El diámetro de esta sección se calcula aplicando la ecuación 19:

$$D_{\text{acople}} = \frac{35 \text{ mm}}{3.5}$$

$$D_{\text{acople}} = 10 \text{ mm}$$

Por lo que se obtiene un diámetro de 10 mm para la sección de acople con el motor.

3.3.4. Diseño del cañón

El cañón o cilindro del sistema de extrusión es un sistema tubular que alberga en su interior al tornillo sin fin transportador, cuyo material debe ser resistente a la corrosivo y desgaste mecánico producido por el movimiento circular de transporte usualmente siendo utilizado acero por su composición y características mecánicas. Usualmente aplicado a sistemas de extrusión, el cañón suele poseer sistemas de transferencia de calor y zonas integradas a la par del tornillo para ayudar a las secciones de alimentación, mezcla y dosificación presentes, así los estipulan M. Beltrán y A. Marcilla [31] en su libro Tecnologías de polímeros.

El sistema del cañón debe poseer un mínimo espaciado entre el material a tratar y el tornillo, específicamente para extrusoras de polímeros se utiliza un juego de 1 a 1.5 mm dada la

expansión térmica que puede producirse en el tornillo al aplicarse calor. Por lo cual para el sistema del cañón se ha calculado un espacio de trabajo útil del tornillo.

$$L \text{ cañón} = L \text{ alimentación} + L \text{ compresión} + L \text{ dosificación}$$

$$L \text{ cañón} = 80 \text{ mm} + 100 \text{ mm} + 100 \text{ mm}$$

$$L \text{ cañón} = 280 \text{ mm}$$

Se obtiene una longitud útil de cañón de 280 mm que cubre las 3 zonas especificadas en el tornillo. Para el diámetro del cilindro se toma en cuenta el diseño previo del sistema de extrusión del tornillo, que se estableció en un diámetro de 35 mm con un juego de 1.4 mm dado el tamaño de los pellets. Basándose en este diámetro interno se seleccionó tubos cilíndricos de 1 ½ pulgadas presentes en el mercado, con un espesor de 1.5 mm establecido para obtener un diámetro interno de 35.1 mm, ajustado a lo requerido por el tornillo sin fin, así como para el juego interno del material al ser transportado, tal como se puede apreciar en la Figura 16.

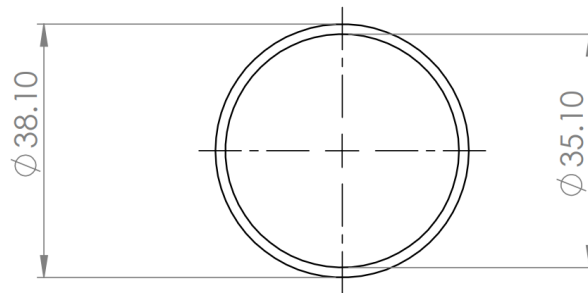


Figura 16. Plano de perfil tubular 1 ½ pulgadas por 1.5 mm de espesor.

Dadas las características que debe poseer el cañón de un sistema extrusor como un índice adecuado de transmisión de calor, resistencia a la corrosión y dureza mecánica, por lo que dado el diámetro del cañón y la necesidad calorífica que requiere el material para fundirse, se ha optado por seleccionar un material metálico, a continuación, en la Tabla 10 se presentan las características de algunos materiales metálicos presentes en el mercado.

Tabla 10. Composiciones mecánicas de distintos aceros comerciales [32],[33].

Tipo de acero	Conductividad térmica	Limite elástico	Resistencia a la tracción	Esfuerzo cortante promedio
ASTM 500	25 – 47 W/(m*K)	250 – 450 MPa	350 – 550 MPa	55 – 80 MPa
SAE J 403 1008	38 – 52 W/(m*K)	140 – 270 MPa	270 – 410 MPa	50 – 75 MPa
AISI 304	14.9 – 16.2 W/(m*K)	215 MPa	515 MPa	75 – 110 MPa
ASTM A 36	20 – 35 W/(m*K)	250 MPa	400 – 550 MPa	250 MPa

Dado que se requiere una media conductividad térmica para la transmisión de calor al interior del cilindro y una alta resistencia a la tracción, se selecciona al acero AISI 304 para la elaboración del cañón del sistema de extrusión, dadas sus características mecánicas, baja porosidad interna y su baja rugosidad estructural resulta ideal para el transporte de un material viscoso a altas temperaturas, sin degradar su estructura interna o recibir algún tipo de afección química.

3.3.5. Selección del material para el tornillo

Dada la geometría especificada para el tornillo, junto con las cargas previstas para el sistema y las tareas a desempeñar, se ha optado por utilizar acero AISI 304 como material. Esta elección se basa en sus propiedades óptimas de conductividad térmica, lo que facilita la fusión del material, así como su baja porosidad, lo que contribuirá a prevenir la acumulación de residuos durante el transporte. Además, el acero AISI 304 ofrece una excelente resistencia a la corrosión y a la degradación química, asegurando así la integridad del material durante su uso.

3.3.6. *Diseño de la boquilla*

Una boquilla de extrusora es un componente esencial en el proceso de extrusión, que se utiliza en una variedad de industrias, desde la fabricación de plásticos hasta la producción de alimentos y la impresión 3D. La extrusión es un método de procesamiento que implica forzar un material fundido o semilíquido a través de una abertura para crear una forma específica.

La boquilla de la extrusora es la parte final del sistema de extrusión, donde el material fundido se moldea en la forma deseada. Consiste en una abertura de forma y tamaño precisos a través de la cual el material se extruye. La geometría de la boquilla determina la forma y las características del producto final [34]. Wagner et al. [30] expone que la boquilla para un tornillo de flujo simple debe cubrir el diámetro de la punta del mismo y su largo puede variar hasta 15 mm de la finalización de este, debe superponerse una forma cónica al igual que la punta y finalizar con el canal de salida en base a la Figura o diámetro que se desee producir.

En el caso del sistema a implementar se busca un diámetro de salida de 1.75 mm por lo que se selecciona un espacio entre la punta de salida de 10 mm para generar una salida uniforme hasta el diámetro deseado. En la Figura 17 se ilustra la forma cónica de la salida de la boquilla con el espaciado para la inyección.

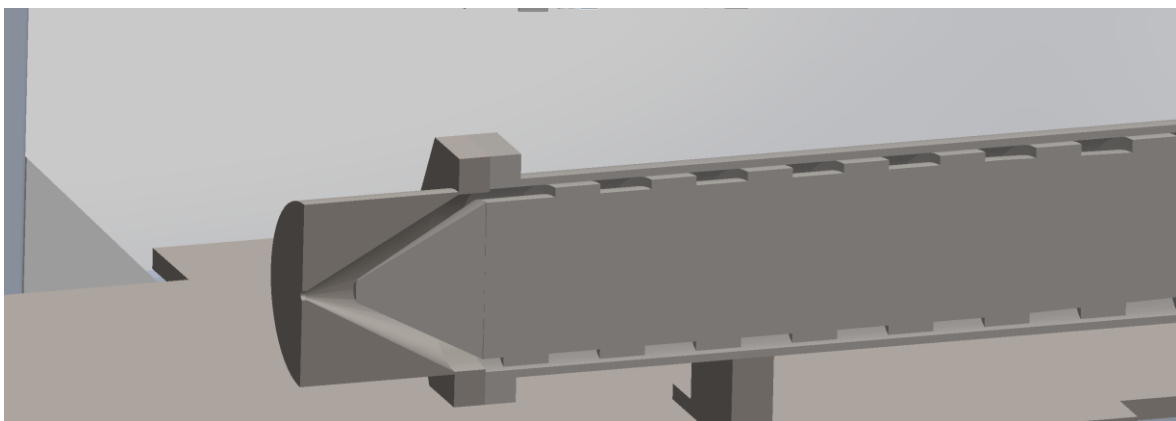


Figura 17. Vista cortada del sistema de boquilla.

Para la boquilla se seleccionó un AISI 1018 por su mayor conductividad térmica ante el AISI 304 lo que garantiza un calor distribuido en la zona de salida del material.

3.3.7. Selección del motor

La selección del motor es un aspecto crucial para el funcionamiento del sistema, dado a que se trabaja con un sistema de transporte de material, el cual se encontrará en un sistema de calor y cuyo estado cambiará en el interior del cañón es necesario calcular la potencia necesaria para accionar el tornillo. J. Colwill [35] en su investigación Energy-efficient Systems for the Sensing and Separation of Mixed Polymers, establece la ecuación para el balance energético del extrusor basándose en las densidades, capacidades caloríficas y conductividad térmica de los polímeros más utilizados en la manufactura aditiva. La Tabla 11 presentan algunas características de dichos materiales

Tabla 11. Propiedades caloríficas de los polímeros [35].

Polímero	Densidad $\left(\frac{g}{cm^3}\right)$	Capacidad calorífica $\left(\frac{J}{Kg \cdot ^\circ C}\right)$	Conductividad térmica $\left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$
PET	1.38 -1.56	1000 – 1350	0.15 – 0.4
PLA	1.25	1750	0.13
ABS	1.35	1800	0.15
HDPE	0.95 -1.27	1300 - 2400	0.45 – 0.52

Aplicando los datos de ABS que es el material para el cual se ha diseñado en su mayoría el sistema dado a su similitud con el PLA pero manteniendo propiedades mecánicas superiores, se reemplazan en la ecuación 20, tomando en cuenta que como temperatura de la masa dado el material del cañón, se selecciona la temperatura mínima de trabajo de 220 °C y una temperatura de salida de 125 °C como lo exponen Baird y Dimitris [29] en su investigación, para mantener la elasticidad requerida para un filamento por lo que aplicando la ecuación 20 se obtiene:

$$N = (32 * 10^{-5}) * 0.5 \frac{Kg}{h} * 1800 \frac{J}{Kg * ^\circ C} * (220^\circ C - 125^\circ C)$$

$$N = 27.36 W$$

Y se aplica un factor de seguridad de 1.5 para garantizar la potencia en arranque, así como la asegurar la integridad del motor:

$$N_f = 1.5 * 27.36 W$$

$$N_f = 41.04 W$$

Reemplazándolo en la ecuación 21 se obtiene:

$$N_{HP} = \frac{41.04 W}{746}$$

$$N_{HP} = 0.055 HP$$

Dada las opciones presentes en el mercado y la necesidad de una velocidad variable para el control de flujo del material, se ha seleccionado un motor de 60 W y una fase con funcionamiento de corriente 110 V. En la Figura 18 se presenta de manera detallada la ficha técnica del motor seleccionado.

电机型号 Motor model		规格 Specs	输出功率 Output Power W	电源电压 Voltage V	频率 Frequency Hz	电流 Current A	启动扭矩 Starting Torque		额定扭矩 Rated Torque		额定转速 Rated Revolution r/min	电容容量耐压 Capacity/Ve μ F/VAC
公司型号 JWD types	对应其它厂家 型号Other types						mN.m	gf.cm	mN.m	gf.cm		
90YYJT60-3	5IK60GK	感应 Induction 可逆Reversible 30min	60	单相 1-phase 220	50	0.45	380	3800	441	4410	1300	3.5/450
	5IK60A				60	0.48	319	3190	370	3700	1550	3.5/450
	5RK60GK				50	0.5	400	4000	670	6700	1300	4/450
	5RK60A				60	0.52	336	3360	554	5540	1550	4/450
90YYJT60-1	5IK60GK	感应 Induction 可逆Reversible 30min	60	单相 1-phase 110	50	0.90	380	3800	441	4410	1300	14/250
	5IK60A				60	0.88	319	3190	370	3700	1550	14/250
	5RK60GK				50	1.0	400	4000	670	6700	1300	16/250
	5RK60A				60	1.2	336	3360	554	5540	1550	16/250
90YSCJ60-4	5IK60GK	—	60	三相 3-phase 380	50	0.30	1014	10140	441	4410	1300	—
	5IK60A				60	0.28	851	8510	370	3700	1550	—
90YSCJ60-3	5RK60GK	—	60	三相 3-phase 220	50	0.52	1014	10140	441	4410	1300	—
	5RK60A				60	0.48	851	8510	370	3700	1550	—

Figura 18. Ficha técnica motor 90YYJT60-1 [36].

Además, al ser un reductor, cuenta con relaciones de reducción establecidas por el fabricante, como se muestra en la Figura 19.

减速参数 Geared-down parameter	同步转速r/min Synchronous speed		500	300	200	120	100	60	50	30	20	15	10	6	5	3	2	1.5	1
	减速比i ratio		3	5	7.5	12.5	15	25	30	50	75	100	150	250	300	500	750	1000	1500
最大允许负载 Max allowable load	60W	$\frac{\text{Kg.cm}}{\text{N.m}}$	11 1.08	18 1.77	27 2.64	41 4.02	50 4.80	74 7.25	89 8.73	150 14.71									

Figura 19. Ficha de relación de reducción del motor 90YYJT60-1 [36].

3.3.8. Diseño de la montura del motor

Dada la selección del motor de 60 W se ha obtenido de su hoja de datos que el motor posee un peso de 2.6 Kg, por lo que aplicando la ecuación 7 se obtiene:

$$Fg = m * g$$

$$Fg = 2.6 \text{ Kg} * 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$Fg = 25.50 \text{ N}$$

Con los resultados obtenidos se realizó un estudio estático mediante el software SolidWorks y la aplicación del material ASTM A36 (AISI 1010) seleccionado por sus propiedades físicas previamente expuestas en la Tabla 11, la selección de este material se debió a su alta resistencia a la tracción además de su facilidad para maquinado por medio de corte laser metálico y precio.

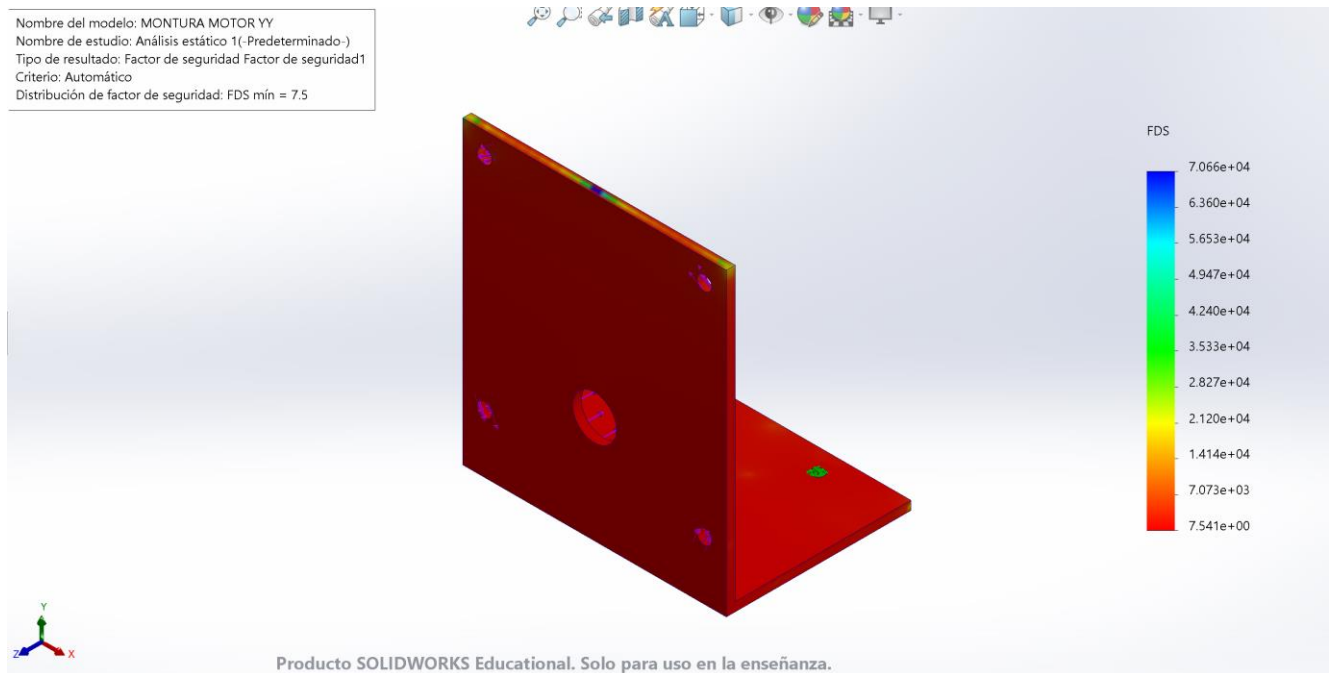


Figura 20. Simulación de cargas en SolidWorks.

En la Figura 20 se puede apreciar el factor de seguridad simulado, tras aplicar las cargas de peso de 25,50 N y el torque de arranque estipulado en la hoja de datos del motor, de 0.335Nm, dando como resultado un factor de seguridad de 7.54 asegurando la integridad de la pieza ante el movimiento del motor y trabajo continuo.

3.3.9. *Velocidad de operación*

Dadas las características del sistema y el motor seleccionado, la velocidad de operación del sistema se establece por medio de la relación de reducción del motor, para lo cual por medio de simulación se establece que el peso del tornillo sin fin es de 1.96 kg como se muestra en la Figura 21.

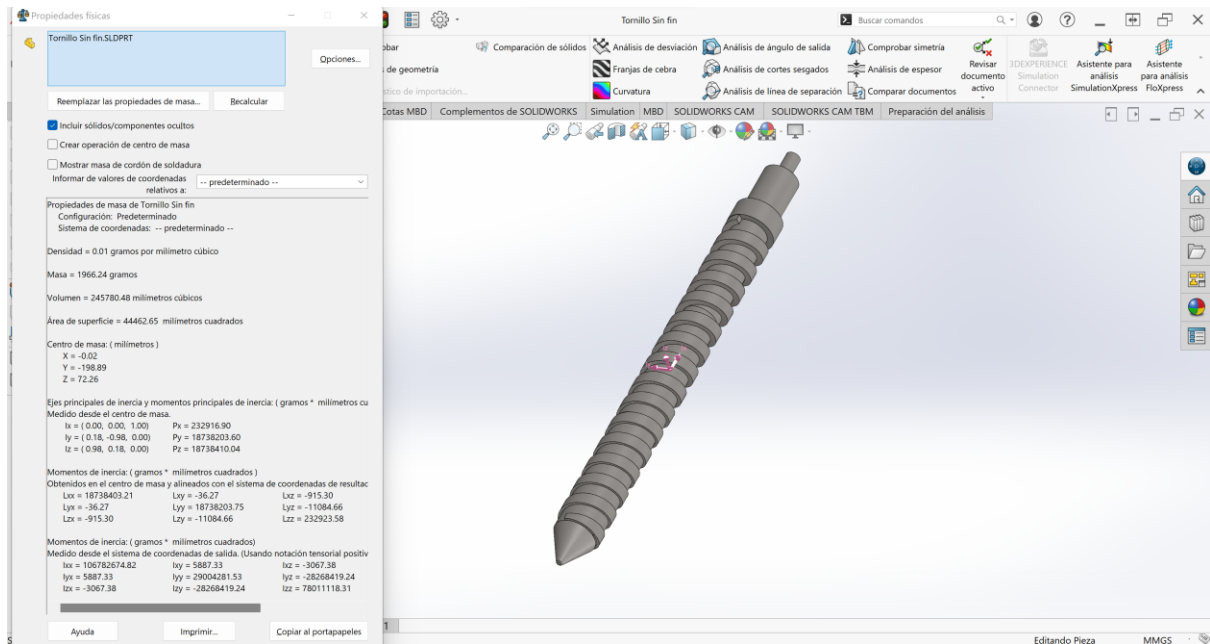


Figura 21. Propiedades físicas del tornillo sin fin simulado en SolidWorks.

Para aplicaciones prácticas se aproxima el peso del tornillo a 2 kg por lo que aplicando la ecuación 7 se obtiene:

$$W = m * g$$

$$W = 2 \text{ kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$W = 19.62 \text{ N}$$

Como se estableció en este capítulo, el tornillo tendría un diámetro de 36 mm mismo que se puede establecer como un radio de 0.018 m. Aplicando la ecuación 26 se obtiene:

$$T = F * r$$

$$T = 19.62 \text{ N} * 0.018 \text{ m}$$

$$T = 0.35 \text{ Nm}$$

Se ha determinado un torque de 0.35 Nm. Dado que el tornillo posee un peso de 2 kg, se han considerado las relaciones de reducción disponibles en la tabla técnica del motor, presentada en la Figura 19. Las misas de 50:1, 75:1 y 100:1, que reducen la velocidad sincrónica a 30 rpm, 20 rpm y 15 rpm respectivamente, permiten soportar cargas máximas de 7.25 Nm, 8.73 Nm y 14.71 Nm, respectivamente, las cuales exceden ampliamente el torque requerido para el tornillo. Adicionalmente, se contempla una relación de reducción de 500:1, que permite soportar cargas máximas de 1.08 Nm, siendo esta la máxima reducción especificada para el motor.

En vista de que todas las opciones de reducción mencionadas son más que suficientes para manejar el torque requerido, se establece que la velocidad del motor se seleccionará de manera experimental. Para ello, se utilizará el regulador de velocidad incorporado por el fabricante en el motor. Esta selección tomará en cuenta factores críticos, como la fluidez del material durante el proceso de fusión, la cual puede variar en función de los componentes específicos y el color del material reciclado. Esto asegura que el proceso de reciclaje sea eficiente y se adapte de manera óptima a las características particulares del material analizado.

3.3.10. Selección de la chumacera

La chumacera será utilizada en el eje principal del tornillo sin fin, responsable de transferir el movimiento del motor al material para ser transportado por medio de las inserciones y posteriormente ser mezclado e inyectado. Al elegir la chumacera más adecuada, se considera el diámetro del eje en el que se montará, que es de 1 pulgada. Por consiguiente, se escogerá una chumacera con un diámetro adecuado, seleccionándola de entre las opciones disponibles en el catálogo, como se indica en la Figura 22.

No. De parte	Diámetro del eje d		Dimensiones (mm)										tornillo utilizado		No. Rodamiento	No. Alojamiento	peso (kg)
	(in.)	(mm)	h	a	e	b	S ₂	S ₁	g	w	Bl	n	(mm)	(in.)			
UCP201 201-8	1/2	12	30.2	127	96	38	19	13	15	62	31.0	12.7	M10	3/8	UCP201 201-8	P201	0.61
UCP202 202-10	5/8	15	30.2	127	96	38	19	13	15	62	31.0	12.7	M10	3/8	UCP202 202-10	P202	0.59
UCP203 203-11	11/16	17	30.2	127	96	38	19	13	15	62	31.0	12.7	M10	3/8	UCP203 203-11	P203	0.58
UCP204 204-12	3/4	20	33.3	127	96	38	19	13	15	65	31.0	12.7	M10	3/8	UCP204 204-12	P204	0.61
UCP205-14 205-15 205 205-16	7/8 15/16 1	25	36.5	140	105	38	19	13	16	70	34.1	14.3	M10	3/8	UCP205-14 205-15 205 205-16	P205	0.69
UCP206-18 206 206-19 206-20	1 1/8 1 1/4	30	42.9	165	121	48	21	17	18	83	38.1	15.9	M14	1/2	UCP206-18 206 206-19 206-20	P206	1.13
UCP207-20 207-21 207-22 207	1 1/4 1 5/16 1 3/8	35	47.6	167	126	48	21	17	19	92	42.9	17.5	M14	1/2	UCP207-20 207-21 207-22 207	P207	1.34
UCP208-24 208-25 208	1 1/2 1 9/16	40	49.2	184	136	54	21	17	19	98	49.2	19.0	M14	1/2	UCP208-24 208-25 208	P208	1.80
UCP209-26 209-27 209-28 209	1 5/8 1 11/16 1 3/4	45	54.0	190	146	54	21	17	20	106	49.2	19.0	M14	1/2	UCP209-26 209-27 209-28 209	P209	1.96
UCP210-30 210-31 210 210-32	1 7/8 1 15/16 2	50	57.2	206	159	60	25	20	22	112	51.6	19.0	M16	5/8	UCP210-30 210-31 210 210-32	P210	2.49
UCP211-32 211-34 211 211-35	2 2 1/8 2 3/16	55	63.5	219	172	60	25	20	22	126	55.6	22.2	M16	5/8	UCP211-32 211-34 211 211-35	P211	2.91
UCP212-36 212 212-38 212-39	2 1/4 2 1/8 2 7/16	60	69.8	241	186	70	25	20	25	137	65.1	25.4	M16	5/8	UCP212-36 212 212-38 212-39	P212	4.4
UCP213-40 213	2 1/2	65	76.2	265	203	70	29	25	27	150	65.1	25.4	M20	3/4	UCP213-40 213	P213	5.17
UCP214-44 214	2 3/4	70	79.4	266	210	72	30	25	27	156	74.6	30.2	M20	3/4	UCP214-44 214	P214	5.57

Figura 22. Catálogo de chumaceras CPR [37].

En las Figuras 23 y 24 se puede apreciar el diseño de la chumacera seleccionada para el sistema.

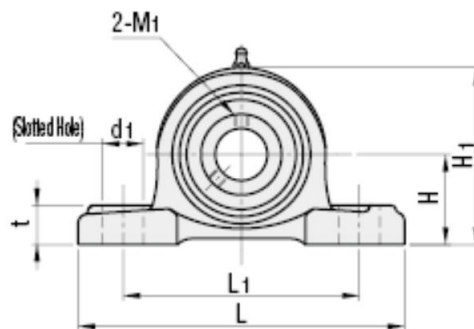


Figura 23. Plano de la vista frontal de la chumacera [37].

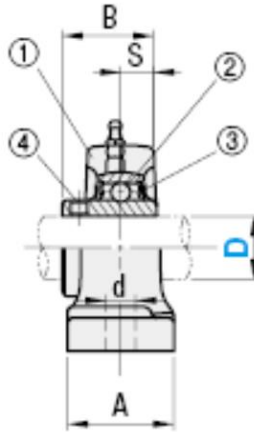


Figura 24. Plano de la vista superior de la chumacera [37]

3.3.11. Diseño de la tolva

Una tolva se define como un dispositivo de tipo embudo, concebido para el almacenamiento y la canalización de materiales granulares o pulverizados, entre otros. Frecuentemente, se instala sobre un chasis que facilita su movilidad. Por lo general, adopta una geometría cónica con paredes inclinadas, similar a un cono de grandes proporciones, permitiendo la carga desde su parte superior y la descarga a través de una compuerta ubicada en su base. Es importante destacar que las dimensiones de la tolva pueden variar dependiendo de los requerimientos específicos de su aplicación, así lo explican D. Pérez y M. De Jesús [38] en su investigación. El cálculo del ángulo mínimo de inclinación en este elemento se fundamenta en la composición granulométrica del material, la proporción de partículas finas o la humedad presentes. Para lo cual se requiere calcular el coeficiente de fricción del material. Se examinó el coeficiente de fricción entre la tolva y los pellets con el objetivo de prevenir un acumulamiento del material en la zona de alimentación del tornillo. Para lo cual, se seleccionó un ángulo de 65° para la inclinación de zona de entrada de la tolva, y se evalúa con la ecuación 22:

$$65^\circ = \tan^{-1}(ff)$$

$$ff = \tan(65^\circ)$$

$$ff = 2.14$$

Se obtiene un factor de fricción de 2.14, valor que contempla de manera suficiente para el material que se pretende trabajar. De igual manera para el tamaño de la tova se ha seleccionado una altura de 243.5 mm que se redondea a 245 mm incluido la zona de alimentación, con el fin de poder ingresar el material granulado y pulverizado de manera continua sin el retorno de este dado el movimiento del tornillo, en la Figura 25 se puede apreciar las secciones en el plano.

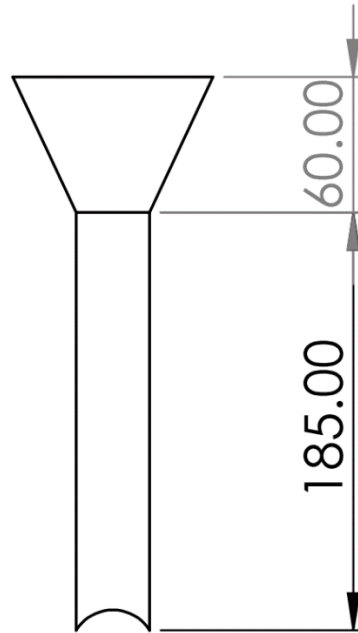


Figura 25. Altura total de la tolva en el plano.2

Dado que la tolva no presenta ningún tipo de esfuerzo y su objetivo es ser un canal guía para el ingreso de la mezcla de pellets y filamento reciclado a la zona de alimentación del tornillo, se ha seleccionado como material para la misma el acero AISI 1010, puesto su resistencia a la tracción que brindara una sección que no puede fallar además de facilitar su elaboración mediante corte láser metálico y su reducción de costos en son de la fabricación.

3.3.12. Diseño de los apoyos del cañón

Para la selección de los apoyos del cañón se optó por generar una geometría circular aplicada al diámetro del cañón la cual será soldada a la estructura y culminando con una sección rectangular que ayudará a empotrar por medio de pernos el sistema a la base de la máquina. Este se elaborará por medio de corte láser metálico en acero AISI 1010 dadas las características

mecánicas previamente expuestas y se trabajará en 3 placas de 8 mm, las cuales se ubicarán con una separación de 100 mm desde el centro de la geometría para fungir como un apoyo, sin embargo, estas piezas no mantienen cargas elevadas, por lo que el sistema no presentará fallas. En la Figura 26 se puede apreciar la ubicación de los apoyos.

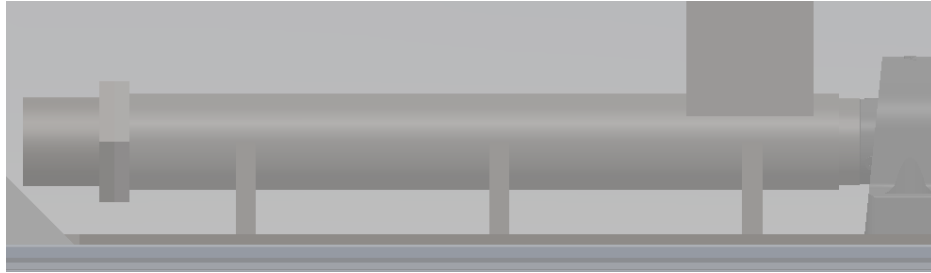


Figura 26. Ubicación de los apoyos del cañón.

3.3.13. Diseño de la base de los elementos mecánicos

Los elementos mecánicos del sistema generan un subconjunto el cual requiere una base sólida para la ubicación de este, la base requiere soportar las cargas generadas por todo el subconjunto de extrusión, por lo cual se ha diseñado un espacio que abarque la longitud total del cañón, boquilla, tornillo y motor, los cuales presentan una longitud de 593 mm una vez ensamblado el subconjunto y un peso de 7.31 kg.

Mediante simulación se seleccionó una base de 600 mm de largo por 250 mm de ancho y 4 mm de espesor del material AISI 1010 y se generó un estudio de cargas para determinar el factor de seguridad de este. En la Figura 27 se puede apreciar los resultados del estudio.

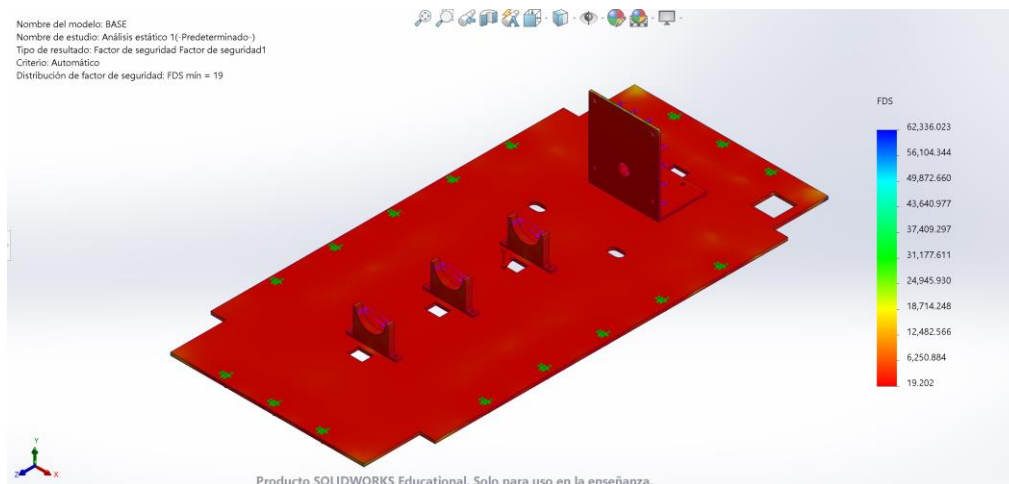


Figura 27. Factor de seguridad determinado por simulación en el software SolidWorks.

Como se puede observar se obtuvo un factor de seguridad de 19, asegurando la integridad de la pieza al estar sometida a las cargas de los elementos mecánicos, así como el peso del material a procesar.

3.3.14. Sistema de enfriamiento

Dadas las altas temperaturas a las que se encuentran los plásticos tras la extrusión, un sistema de enfriamiento adecuado es crucial para mantener sus características, tales como tamaño, forma y propiedades físicas. Un enfriamiento insuficiente puede provocar deformaciones, cambios en las propiedades mecánicas y dimensiones imprecisas, afectando la calidad del producto final. Por otro lado, un enfriamiento demasiado rápido puede inducir tensiones internas y fragilizar el material. Por ello, el diseño del sistema de enfriamiento debe ser cuidadosamente optimizado para asegurar una solidificación controlada, preservando la integridad estructural y funcional del plástico extruido. Este sistema puede incluir ventiladores, baños de agua o enfriadores de aire, dependiendo del tipo de plástico y de las especificaciones del proceso de extrusión, así lo expone A. Rosero y J. Guerra [39] en su investigación. Puesto que la temperatura mínima de trabajo que se espera es de 210 °C valor estandarizado para la fusión del material a reciclar y manteniendo una salida caliente que mantenga en un estado viscoso al material con el fin de evitar una sobre expansión tras su inyección por la boquilla de 1,75 mm se ha seleccionado un canal de enfriamiento por agua a temperatura ambiente, ya que esto permitirá mantener el material a un descenso de temperatura continuo con el fin de

conservar su diámetro de salida así como sus propiedades físicas y una temperatura manejable para el bobinado del mismo. Para el sistema se ha seleccionado un canal de agua rectangular comprendido por 3 barras transversales que fungirán como rodillos para guiar al material para que quede completamente sumergido por un área de 280 mm, misma distancia que mantiene dentro del cañón la mezcla. Dado el uso de agua como líquido de enfriamiento, se ha seleccionado el AISI 304 como material para el canal dadas sus cualidades inoxidable, así como su superficie lisa para el correcto flujo de material. En la Figura 28 se puede apreciar la geometría del tanque de enfriamiento, mismo que contará con un motor a pasos que conectará los sistemas de bobinado con la inyectora.

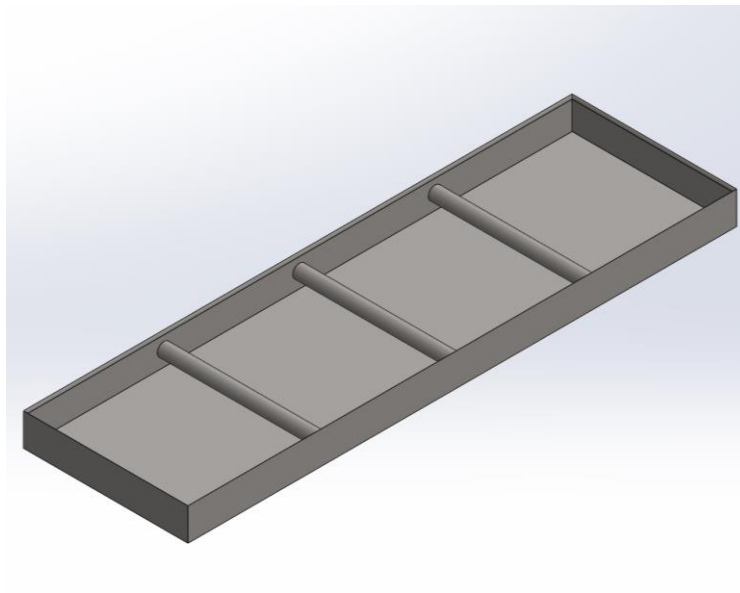


Figura 28. Canal de enfriamiento por líquido.

3.3.15. Selección de perfiles

3.3.15.1. Perfiles V-SLOT

Para el sistema estructural de la máquina se ha seleccionado el uso de perfiles V-SLOT los cuales se tratan de un sistema de aluminio con complementos para construir máquinas, siendo completamente de código abierto y creado por Open BuildsTM. Su diseño modular facilita la creación de diversas máquinas, especialmente aquellas con deslizadores lineales tipo CNC. Los perfiles V-Slot se derivan de los conocidos perfiles T-Slot, ampliamente utilizados en la industria por su peso ligero y excelentes características estructurales. La ventaja clave de estos perfiles radica en su amplia gama de accesorios, convirtiéndolos en una plataforma modular fácil de fabricar con resultados sobresalientes. La modificación principal que introducen los perfiles V-Slot al T-Slot es una ranura en forma de V, que permite el deslizamiento de ruedas a lo largo de la pieza. Gracias a la precisión de la fabricación mediante extrusión de metal, se obtiene una plataforma de alta precisión para estructuras y deslizadores lineales, así lo presentan Naylamp Mechatronics en su catálogo [40]. En la Figura 29 se pueden apreciar distintas aplicaciones para estos perfiles.



Figura 29. Aplicaciones de los perfiles V-SLOT [40].

Dadas las dimensiones requeridas para la base de la máquina se ha diseñado un área útil de funcionamiento de 600 mm de largo, por 250 mm de ancho y 350 en altura, para lo cual se estableció el uso de perfiles 20x40 para la sección superior y el marco de la tapa superior, así como perfiles 20x60 para la zona inferior la cual soportaría todos los elementos mecánicos y

resguardaría la electrónica de la máquina. En las Figuras 30 y 31 se puede apreciar los diagramas técnicos de cada perfil.

2040

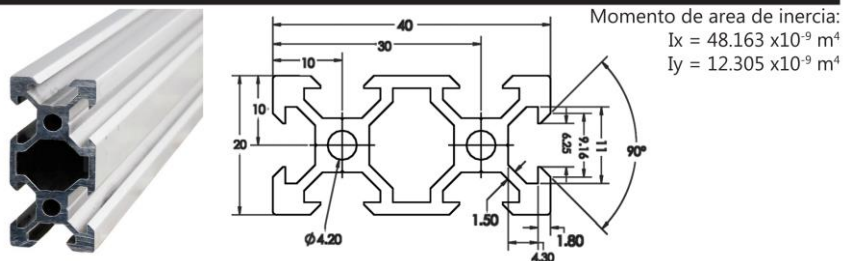


Figura 30. Ficha técnica perfil de aluminio 20x40 [40].

2060

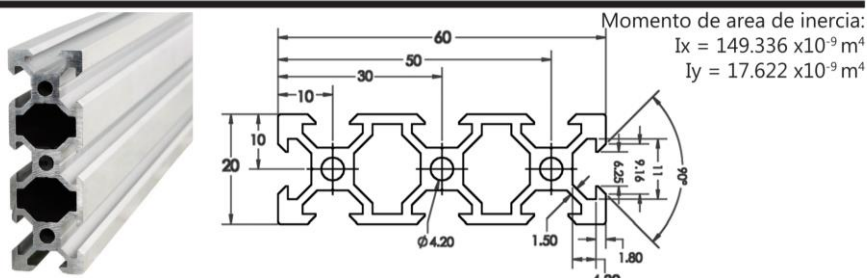
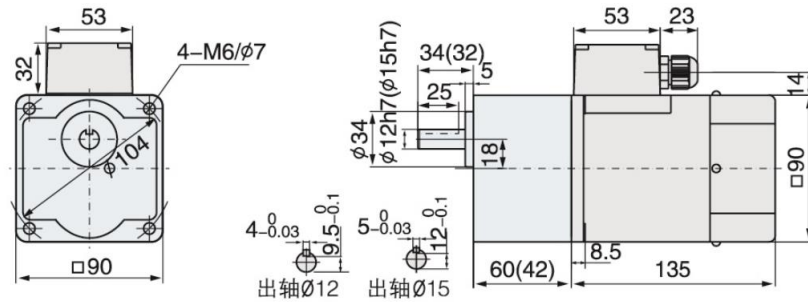


Figura 31. Ficha técnica perfil de aluminio 20x60 [40].

3.3.16. Selección de pernos de sujeción para el motor

Para establecer la selección de los pernos requerido para montar el motor a la altura necesaria de alineación con el tornillo, se optó por seleccionar pernos de cabeza tipo Allen M6x20 mm medida estipulada por el fabricante dada la sección roscada del mismo motor. En la Figura 32 se puede apreciar el diagrama técnico del motor seleccionado.



结构：减速器+电动机+端子箱（调速器可选并内置）

Figura 32. Diagrama técnico del motor [36].

En la Figura 33 se puede apreciar las características del perno seleccionado en base a catálogos.

METRICOS

PASO	P 0,70	P 0,80	P 1,00	P 1,00	P 1,25	P 1,50	P 1,75
DIAMETRO	4 mm	5 mm	6 mm	7 mm	8 mm	10 mm	12 mm
LARGO							
10 mm	•	•	•				
16 mm	•	•	•	•	•		
20 mm	•	•	•	•	•		•
25 mm	•	•	•	•	•	•	•
30 mm	•	•	•	•	•	•	•
35 mm	•	•	•	•	•	•	•
40 mm	•	•	•	•	•	•	•
45 mm		•	•	•	•	•	
50 mm		•	•	•	•	•	•
55 mm			•		•	•	
60 mm			•	•	•	•	•
65 mm			•		•		•
70 mm			•	•	•	•	•
80 mm			•		•	•	•
90 mm			•		•		•
100 mm					•	•	



Figura 33. Catálogo de pernos cabeza Allen.

3.3.17. Pernos de sujeción para la montura del motor.

Dadas las cargas generadas por el motor y los criterios de diseño, se establece un tamaño nominal M4 para los pernos, por lo cual se realiza la selección del paso de rosca como lo mencionan Budynas et al. [15] en su libro. En la Figura 34 se ilustra la selección:

Diámetro mayor nominal d , mm	Serie de paso grueso			Serie de paso fino		
	Paso p , mm	Área de esfuerzo de tensión A_t , mm ²	Área del diámetro menor A_r , mm ²	Paso p , mm	Área de esfuerzo de tensión A_t , mm ²	Área del diámetro menor A_r , mm ²
1.6	0.35	1.27	1.07			
2	0.40	2.07	1.79			
2.5	0.45	3.39	2.98			
3	0.5	5.03	4.47			
3.5	0.6	6.78	6.00			
4	0.7	8.78	7.75			
5	0.8	14.2	12.7			
6	1	20.1	17.9			
8	1.25	36.6	32.8	1	39.2	36.0
10	1.5	58.0	52.3	1.25	61.2	56.3
12	1.75	84.3	76.3	1.25	92.1	86.0
14	2	115	104	1.5	125	116
16	2	157	144	1.5	167	157
20	2.5	245	225	1.5	272	259
24	3	353	324	2	384	365
30	3.5	561	519	2	621	596
36	4	817	759	2	915	884
42	4.5	1 120	1 050	2	1 260	1 230
48	5	1 470	1 380	2	1 670	1 630
56	5.5	2 030	1 910	2	2 300	2 250
64	6	2 680	2 520	2	3 030	2 980
72	6	3 460	3 280	2	3 860	3 800
80	6	4 340	4 140	1.5	4 850	4 800
90	6	5 590	5 360	2	6 100	6 020
100	6	6 990	6 740	2	7 560	7 470
110				2	9 180	9 080

Figura 34. Áreas y diámetros de roscas con paso grueso y fino.

Como se indica el paso establecido es de 0.7 mm. Para el correcto funcionamiento de la montura, se busca establecer una junta empernada entre esta y la base de la máquina, misma que tiene un espesor de 4 mm y 3 mm para la sección de la montura, dado esto es necesario calcular la longitud de agarre y posteriormente la longitud total del perno.

3.3.17.1. Longitud de agarre

Esta longitud se obtiene al sumar los espesores mencionados, dando como resultado un espesor total de 7 mm.

3.3.17.2. Longitud del perno

Para la selección de la longitud total del perno es necesario establecer el espesor de la tuerca a través de Tablas. En la Figura 35 se ilustra la selección para un perno M4 en base a catálogos:

The diagram illustrates the geometry of a hex nut. The side view (left) shows a hexagonal profile with a 30° chamfer on the top edge, a 120° angle on the bottom edge, and a central hole with diameter dk . The total height is m . The top view (right) shows a regular hexagon with side length s , an inscribed circle with diameter d , and an outer circle with diameter e . The central hole has diameter dk .

Screw Nominal	Pitch		m		s		e		dk/dw	
	Coarse Thread	Reference Dimensions	Tolerance	Reference Dimensions	Tolerance	Approx.	Approx.			
M2	0.4	1.6	0 -0.25	4	0 -0.2	4.6	3.8			
M2.3	0.4	1.8		4.5		5.2	4.3			
M2.5	0.45	2		5		5.8	4.7			
M2.6	0.45	2		5		5.8	4.7			
M3	0.5	2.4	0 -0.25	5.5	0 -0.2	6.4	5.3			
M3.5	0.6	2.8		6		6.9	5.8			
M4	0.7	3.2		7		8.1	6.8			
M5	0.8	4	0 -0.3	8	0 -0.25	9.2	7.8			
M6	1.0	5	10	11.5		9.8				
M8	1.25	6.5	13	15		12.5				
M10	1.5	8	17	19.6		16.5				
M12	1.75	10	0 -0.36	19	0 -0.35	21.9	18			
M14	2.0	11		22		25.4	21			
M16	2.0	13		24		27.7	23			
M18	2.5	15		27		31.2	26			
M20	2.5	16	0 -0.52	30	0 -0.4	34.6	29			
M24	3.0	19		36		41.6	34			

Figura 35. Dimensiones de tuercas [41].

Se obtiene que el espesor de la tuerca será de 3.2 mm, así la longitud total del perno se calcula sumando la longitud de agarre y el espesor de la tuerca, como precaución se añade de igual forma 3 hilos después de la tuerca equivalente a 2.1 mm, resultando en una longitud total de 12.3 mm, seleccionando un perno de 12 mm por su disponibilidad en el mercado.

3.3.18. Selección de pernos de sujeción para los apoyos del cañón

Los apoyos del cañón como se mencionó en secciones anteriores no soportan cargas relevantes que puedan afectar a su integridad como pieza o las del sistema por lo cual se realiza la selección de pernos de tamaño nominal M3 dado el ancho individual de cada poyo. La selección del paso de la rosca se ilustra en la Figura 36:

Diámetro mayor nominal d , mm	Serie de paso grueso			Serie de paso fino		
	Paso p , mm	Área de esfuerzo de tensión A_t , mm ²	Área del diámetro menor A_r , mm ²	Paso p , mm	Área de esfuerzo de tensión A_t , mm ²	Área del diámetro menor A_r , mm ²
1.6	0.35	1.27	1.07			
2	0.40	2.07	1.79			
2.5	0.45	3.39	2.98			
3	0.5	5.03	4.47			
3.5	0.6	6.78	6.00			
4	0.7	8.78	7.75			
5	0.8	14.2	12.7			
6	1	20.1	17.9			
8	1.25	36.6	32.8	1	39.2	36.0
10	1.5	58.0	52.3	1.25	61.2	56.3
12	1.75	84.3	76.3	1.25	92.1	86.0
14	2	115	104	1.5	125	116
16	2	157	144	1.5	167	157
20	2.5	245	225	1.5	272	259
24	3	353	324	2	384	365
30	3.5	561	519	2	621	596
36	4	817	759	2	915	884
42	4.5	1 120	1 050	2	1 260	1 230
48	5	1 470	1 380	2	1 670	1 630
56	5.5	2 030	1 910	2	2 300	2 250
64	6	2 680	2 520	2	3 030	2 980
72	6	3 460	3 280	2	3 860	3 800
80	6	4 340	4 140	1.5	4 850	4 800
90	6	5 590	5 360	2	6 100	6 020
100	6	6 990	6 740	2	7 560	7 470
110				2	9 180	9 080

Figura 36. Áreas y diámetros de roscas con paso grueso y fino.

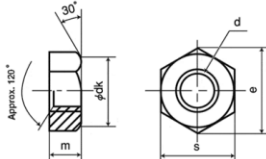
Como se indica el paso establecido es de 0.5 mm.

3.3.18.1. Longitud de agarre

La longitud de agarre entre el soporte del cañón y la base resulta en un total de 7 mm.

3.3.18.2. Longitud del perno

Para la selección de la longitud total del perno es necesario establecer el espesor de la tuerca a través de Tablas. En la Figura 37 se ilustra la selección para un perno M3 en base a catálogos:



Screw Nominal	Pitch	m		s		e	dk/dw
	Coarse Thread	Reference Dimensions	Tolerance	Reference Dimensions	Tolerance		
M2	0.4	1.6		4		4.6	3.8
M2.3	0.4	1.8		4.5		5.2	4.3
M2.5	0.45	2	0	5		5.8	4.7
M2.6	0.45	2	-0.25	5		5.8	4.7
M3	0.5	2.4		5.5	0 -0.2	6.4	5.3
M3.5	0.6	2.8		6		6.9	5.8
M4	0.7	3.2		7		8.1	6.8
M5	0.8	4	0 -0.3	8		9.2	7.8
M6	1.0	5		10		11.5	9.8
M8	1.25	6.5		13	0	15	12.5
M10	1.5	8	0 -0.36	17	0.25	19.6	16.5
M12	1.75	10		19		21.9	18
M14	2.0	11		22		25.4	21
M16	2.0	13	0 -0.43	24	0 -0.35	27.7	23
M18	2.5	15		27		31.2	26
M20	2.5	16		30		34.6	29
M24	3.0	19	0 -0.52	36	0 -0.4	41.6	34

Figura 37. Dimensiones de tuercas [41].

Se obtiene que el espesor de la tuerca será de 2.4 mm, así la longitud total del perno se calcula sumando la longitud de agarre y el espesor de la tuerca, como precaución se añade de igual forma 3 hilos después de la tuerca equivalente a 1.5 mm, resultando en una longitud total de 10.9 mm, seleccionando un perno de 12 mm por su disponibilidad en el mercado.

3.3.19. Pernos de sujeción para la base y protecciones de acrílico

Considerando el uso de perfiles de aluminio estandarizado tipo V-SLOT serie 20, se ha seleccionado pernos con cabeza tipo Allen M4 para la sujeción de la base del sistema, así como las protecciones laterales de acrílico, tapa superior y tapa inferior de la máquina. Estos pernos establecidos por el proveedor requiere una tuerca T de inserción la cual al ingresarse en la ranura del perfil y ajustarse crea un seguro que mantiene fija la estructura al perno con la geometría del perfil [40]. En la Figura 38 se puede apreciar el método de encaje de la tuerca con la geometría del perfil:



Figura 38. Tuerca T insertable en perfil serie 20 [40].

3.3.20. Cálculo de la soldadura del cañón

Dada la estructura de la máquina y el tipo de movimiento rotacional que presentará en la zona del cañón, se ha considerado la soldadura tipo GTAW (TIG) de los apoyos al marco externo de este para garantizar un correcto funcionamiento del sistema. Para determinar esto se verifica la resistencia a la fluencia del electrodo a trabajar. Tomando en cuenta la utilización de un AISI 304 para el cañón se utilizará un electrodo ER308L, en la Figura 39 se pueden apreciar las propiedades mecánicas del electrodo:

Mechanical properties of all-weld metal					
Heat-treatment	Yield strength $R_{p0.2}$	Tensile strength R_m	Elongation A ($L_0=5d_0$)	Impact work ISO-V CVN J	
	MPa	MPa	%	+20 °C	-196 °C
aw	400	570	35	100	35

Figura 39. Propiedades mecánicas del electrodo ER308L [42].

Dado el torque presentado por el motor y la geometría circular de la base soldada se calculó una fuerza de 17.63 N a la cual estará sometida el sistema. En la Figura 40 se pueden apreciar las secciones para la soldadura.

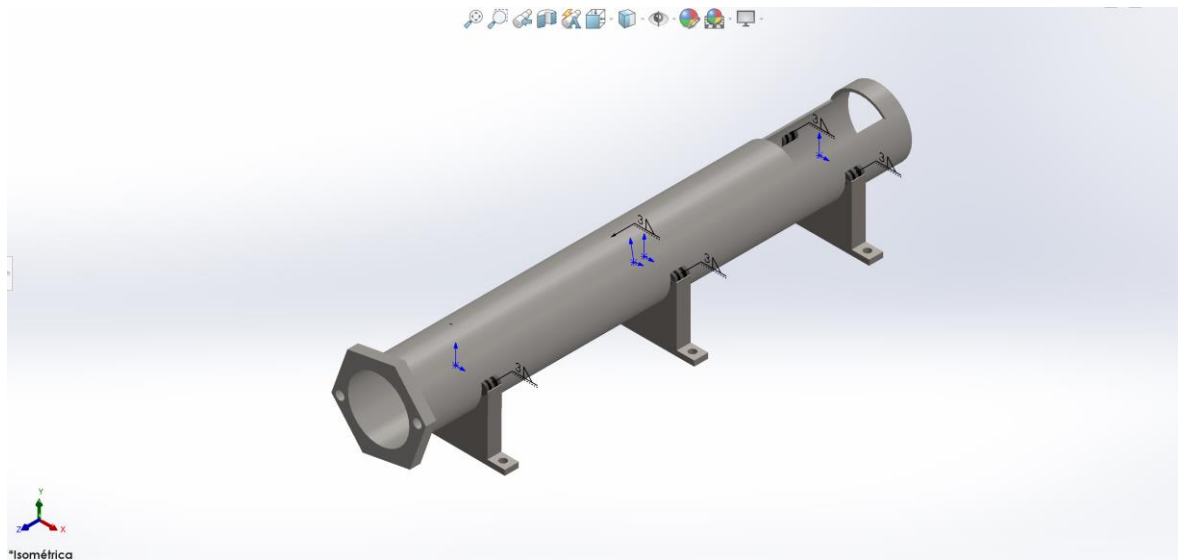


Figura 40. Secciones soldadas del cañón.

Budynas et al. [15] establecen que para calcular este tipo de soldadura es necesario analizar el esfuerzo promedio requerido, por lo que reemplazando en la ecuación 23 se obtiene:

$$\tau = \frac{1.414 * 17.63 \text{ N}}{8 \text{ mm} * 3 \text{ mm}}$$

$$\tau = 1.038 \text{ MPa}$$

Dando como resultado un esfuerzo promedio de 1.038 MPa y seleccionando la fuerza del electrodo se reemplaza en la ecuación 24:

$$n = \frac{0.5 * 400 \text{ MPa}}{1.038 \text{ MPa}}$$

$$n = 192.67$$

Por lo que se obtiene un factor de seguridad de 192.67 asegurando la integridad del sistema y que este no presentará fallos. De igual forma para su comprobación se realizó una simulación de uniones soldadas mediante el software SolidWorks.

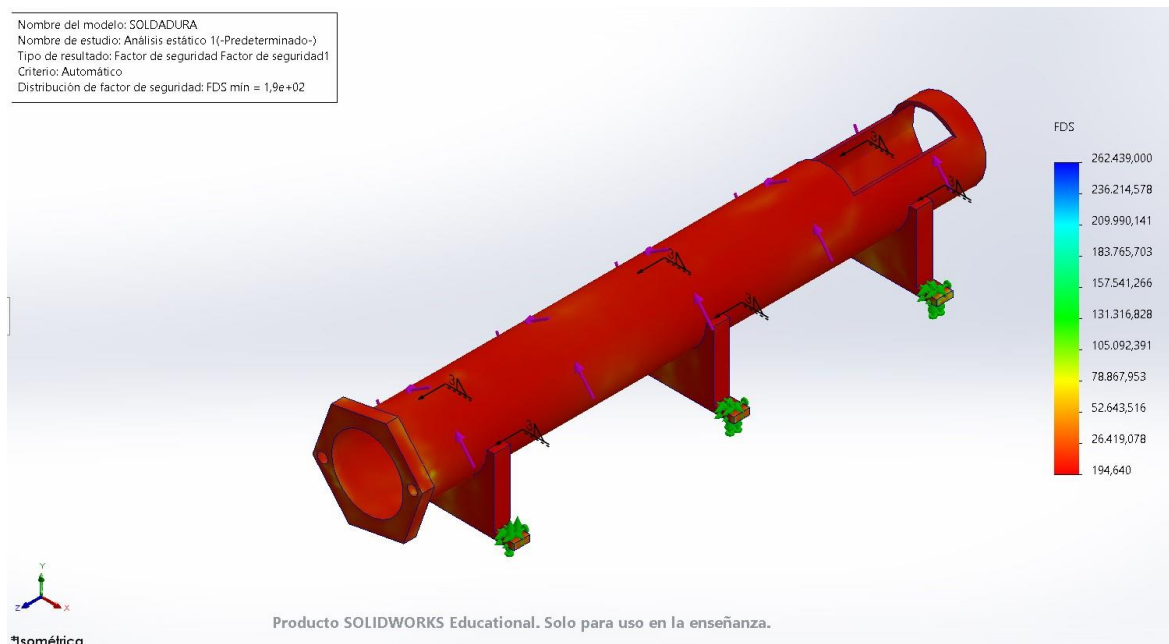


Figura 41. Análisis estático de soldadura del cañón el SolidWorks.

En la Figura 41 se ilustra que se obtuvo un factor de seguridad de 194,6 valor similar al calculado cerciorando la veracidad de estos.

3.3.21. Cálculo de potencia eléctrica

La potencia eléctrica del sistema es determinada por los elementos que están conectados a la fuente, por lo que para la potencia del sistema se han detallado todos los elementos eléctricos utilizados para el movimiento, calefacción, control y seguridad del sistema:

- Ventiladores de 24 V: entre 0.6 W y 2.4 W, por lo que se pretende utilizar un mínimo de 5 ventiladores, para el enfriamiento del motor, placa y material, así como extracción de gases en el sistema cerrado.
- Placa Base Creality V 4.2.7: para el sistema eléctrico de control, la utilización de una placa especializada es crucial para el trabajo requerido, la placa se encarga del control de los drivers para el motor, la pantalla de interacción del sistema, los sensores NTC y las señales emitidas para el accionamiento de relés de estado sólido seleccionados para

el control del calentamiento por banda del cañón. El consumo aproximado de la placa con todos estos sistemas es de 230 W a 270 W, establecido por el fabricante.

- Paro de emergencia y fusibles: para el control de seguridad se diseñó una entrada con protección por fusible además de un paro de emergencia para detener el sistema completo, estos elementos combinados pueden consumir entre 4 a 8 W.

Tomando en cuenta estos elementos se aplica ecuación 12:

$$P_{total} = P_1 + P_2 + \dots + P_n$$

$$P_{total} = 5 * (2.4 W) + 270 W + 8 W$$

$$P_{total} = 290 W$$

La potencia mínima del sistema debe ser de 290 W.

3.4 Simulaciones del proceso

3.4.1. Estructura

La estructura realizada en perfiles de aluminio es el componente esencial que debe soportar todas las cargas producidas por el peso de los componentes y el movimiento del motor. En este contexto se ha realizado un análisis estático de cargas para determinar el factor de seguridad de este, se ha seleccionado una fuerza de 14 Kg sobredimensionando la carga real de 12,51 Kg a la que está sometida la estructura. Como consecuencia se ha obtenido un factor de seguridad de 16 que asegura la integridad del sistema durante el trabajo. En la Figura 42 se puede apreciar los resultados del estudio.

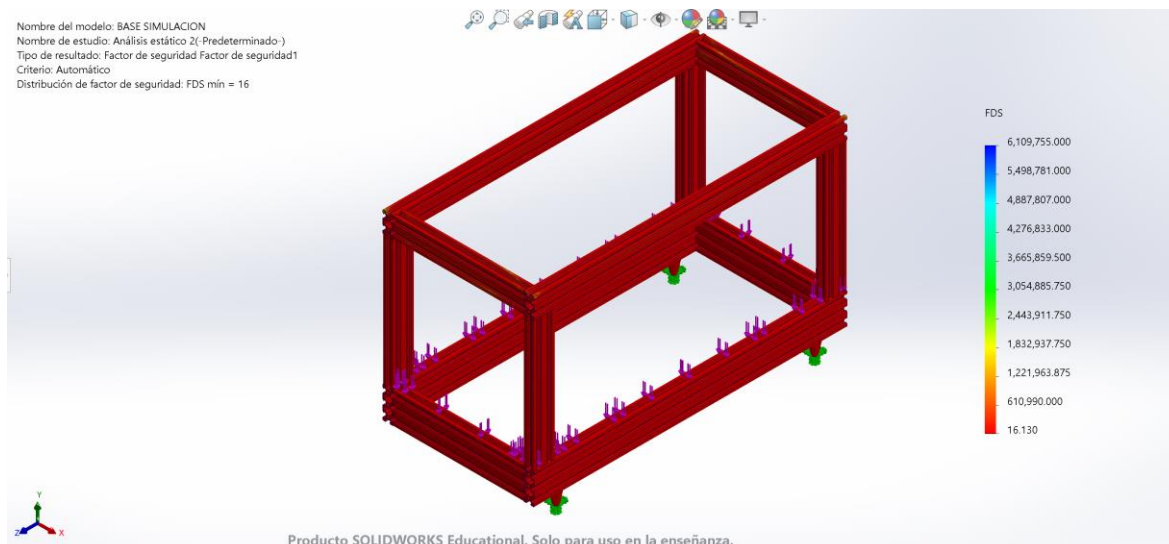


Figura 42. Estudio de cargas estáticas a la estructura en SolidWorks.

3.4.2. Tornillo sin fin transportador

En la Figura 43 se muestra la determinación del factor de seguridad por cargas estáticas tras someter al tornillo a esfuerzos cortantes simulados en son del material aplicado al calor mínimo de trabajo y la fuerza del motor. Se obtuvo un factor de seguridad de 64.51, garantizando que no se anticipa ninguna deformación permanente o fallo en la pieza durante su operación.

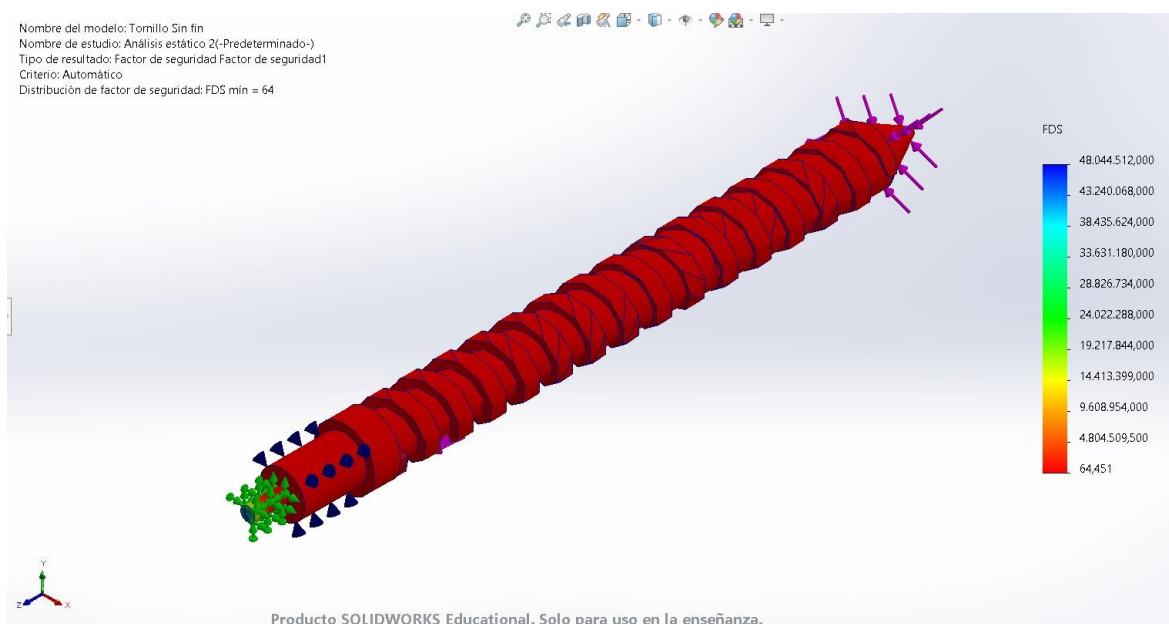


Figura 43. Análisis de cargas aplicadas al tornillo.

3.5 Sistema electrónico

Dadas las características del equipo, se ha optado por el uso de una placa Creality V4.7.2 como medio de control para el sistema, debido a sus funcionalidades clave para el control de temperatura, la regulación de ventiladores y su interfaz amigable con el usuario. Esta placa, basada en Marlin, permite controlar la temperatura de los distintos anillos calefactados mediante impulsos de 24V, los cuales son regulados por el sistema de sensores NTC. Estos sensores, gracias a su composición y estructura física, pueden detectar temperaturas de hasta 350 °C, lo cual es ideal para la aplicación en el sistema de control de la extrusora.

Los impulsos son gestionados por un sistema PID determinado por Marlin, comúnmente utilizado en impresoras 3D. Estos impulsos ingresan a un relé en estado sólido que está conectado secuencialmente al sistema de potencia protegido de 100V que alimenta la máquina y el motor. Una vez activado, el relé permite el flujo de corriente a través de los anillos, elevando su temperatura hasta alcanzar el valor establecido.

En el sistema eléctrico también se utiliza ventiladores para el enfriamiento de la placa, enfriamiento auxiliar del motor y extracción de gases de la cabina de acrílico. Finalmente, el sistema de control incluye una pantalla LCD de la marca Creality, que cuenta con un selector que permite al usuario interactuar con la configuración de temperatura, controlar parámetros preestablecidos y manejar los ventiladores tal como se puede apreciar en la Figura 44:



Figura 44. Pantalla LCD Creality [43].

3.6 Selección de cableado

Las condiciones operativas del sistema presentan un desafío para salvaguardar la integridad de sus componentes. Por esta razón, se ha optado por utilizar cables con protección térmica de fibra de vidrio para la conexión entre el sistema de control y el sistema de potencia, capaces de soportar temperaturas de hasta 600°C. Este cableado no solo permite la transmisión y recepción eficiente de las señales del PID para el control de temperatura, sino que también garantiza una conexión segura y robusta entre los componentes de la máquina, sin comprometer su integridad en entornos de trabajo a altas temperaturas. En la Figura 45 se puede observar el tipo de recubrimiento utilizado en el cableado.



Figura 45. Recubrimiento del cableado con protección térmica.

En la Figura 46 se presenta el diagrama de conexión de los distintos componentes a la placa de control.

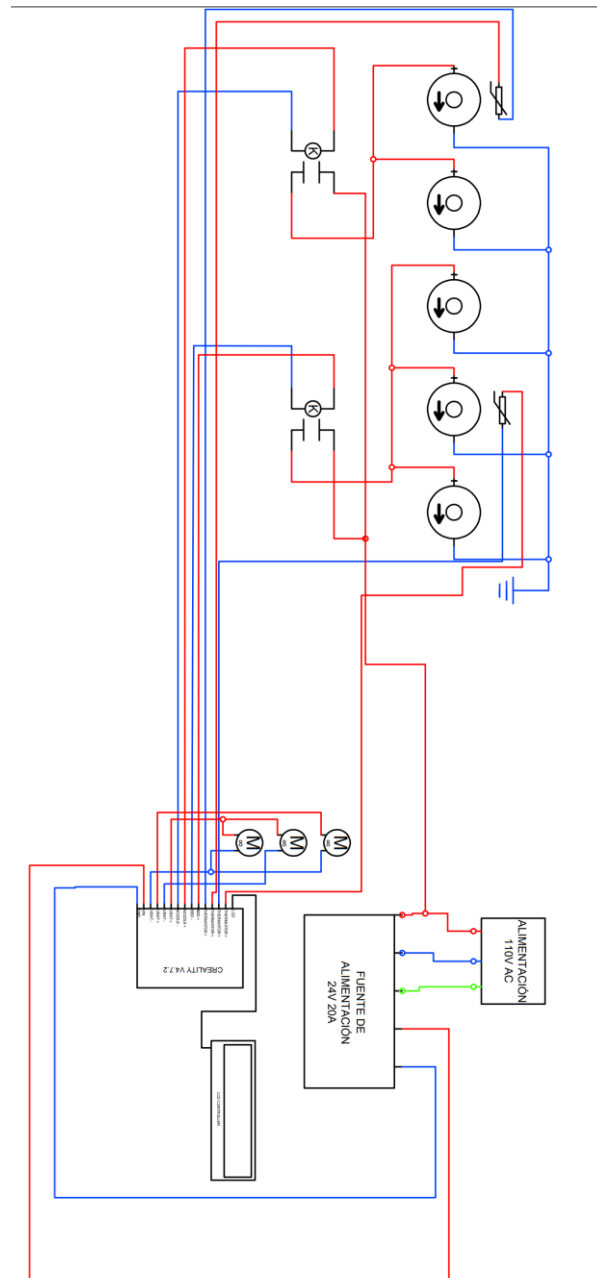


Figura 46. Diagrama de conexión Placa Crealty V4.7.2.

3.7 Esquema eléctrico de control

Para comprender el control del sistema, se ha diseñado un esquema detallado que ilustra la lógica operativa y la interconexión de los componentes. En la Figura 47, se observa cómo se conectan los distintos elementos, proporcionando una visión completa de su relación y funcionamiento conjunto.

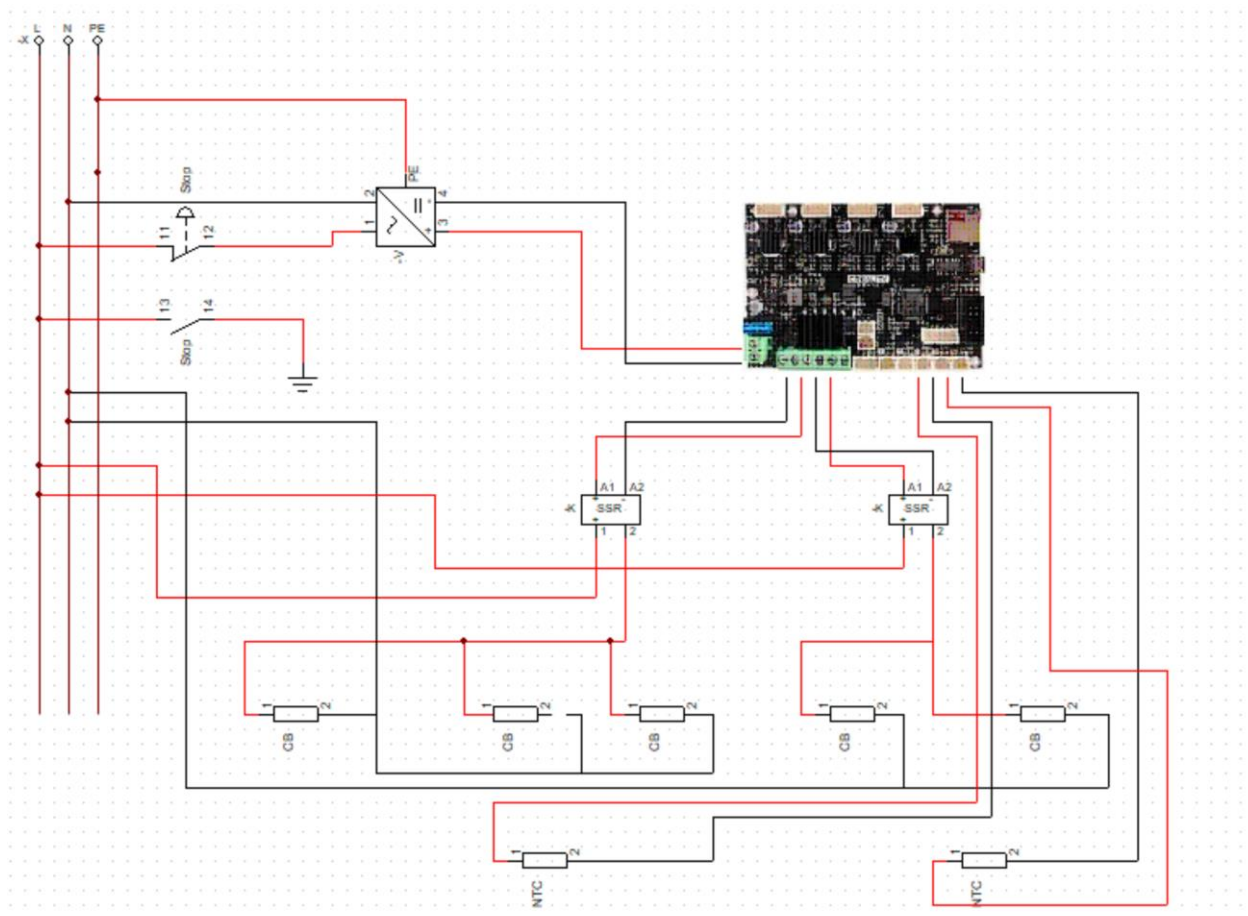


Figura 47. Diagrama del esquema eléctrico de control.

3.8 Esquema eléctrico de potencia

Por su parte, en la Figura 48 se presenta el esquema eléctrico de potencia, el cual muestra la conexión y el control del motor encargado del movimiento del tornillo sin fin.

El motor es monofásico y, como se observa, posee un sistema de control de velocidad. Asimismo, en este esquema se muestra la conexión de la fuente de 24V y 20A utilizada para la alimentación de la placa y los elementos de control del sistema.

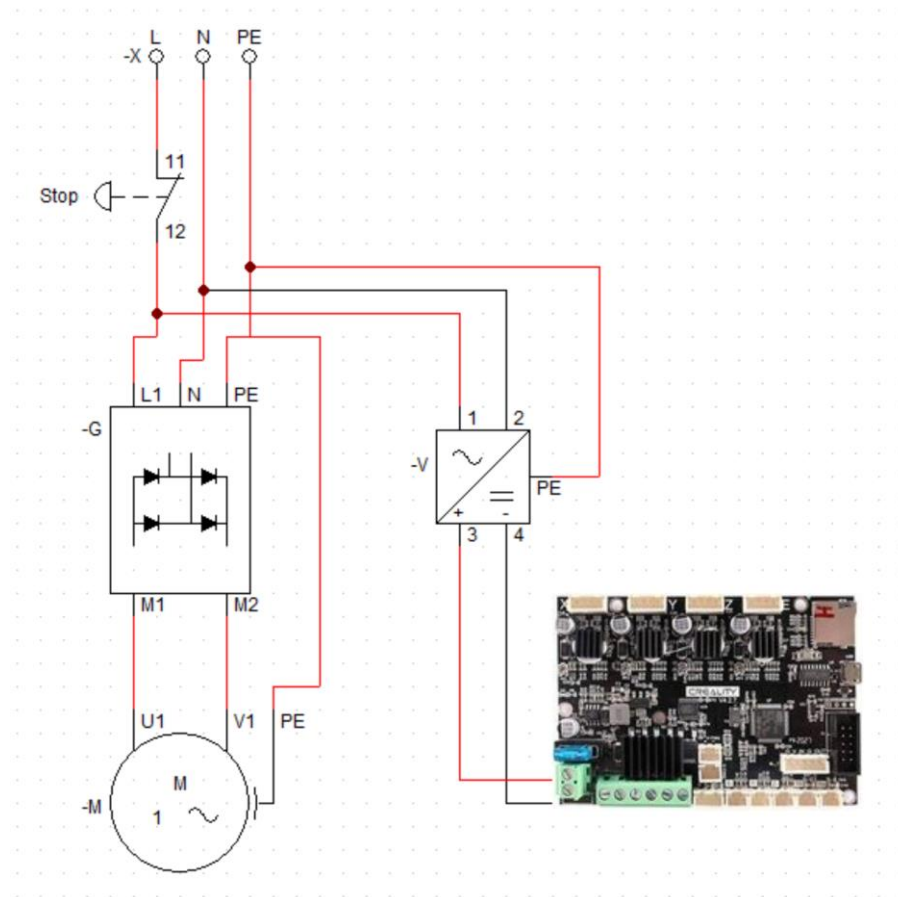


Figura 48. Diagrama del esquema eléctrico de potencia.

CAPÍTULO 4

IMPLEMENTACIÓN Y ANÁLISIS ECONÓMICO

4.1 Introducción

El presente capítulo se centra en el análisis exhaustivo de los resultados obtenidos a partir del diseño e implementación de un sistema destinado a la recuperación de residuos generados en la impresión 3D. Además, se lleva a cabo un detallado análisis económico que comprende los costos de inversión, así como los ingresos y gastos operativos asociados al funcionamiento del sistema. Se abordan aspectos fundamentales como el manual de operación de la máquina, su correcto uso y el proceso de mantenimiento requerido para garantizar su óptimo funcionamiento. Asimismo, se identifican áreas de mejora con el fin de alcanzar un rendimiento tanto mecánico como económico sostenible a lo largo del tiempo.

4.2 Comprobación de Resultados

La implementación del proyecto tomó una serie de pasos para obtener como resultado la máquina construida y realizar las pruebas de funcionamiento.

4.2.1. Construcción de la máquina

Como inicio del proyecto, se realizó el diseño estructural de la máquina determinado por la aplicación de los resultados obtenidos en los cálculos, utilizando el software de diseño CAD SolidWorks, se diseñó un boceto 3D con una simulación realista de los distintos elementos que componen al sistema tal como se puede apreciar en las Figuras 49 y 50 y se la nombró como Filament Maker.

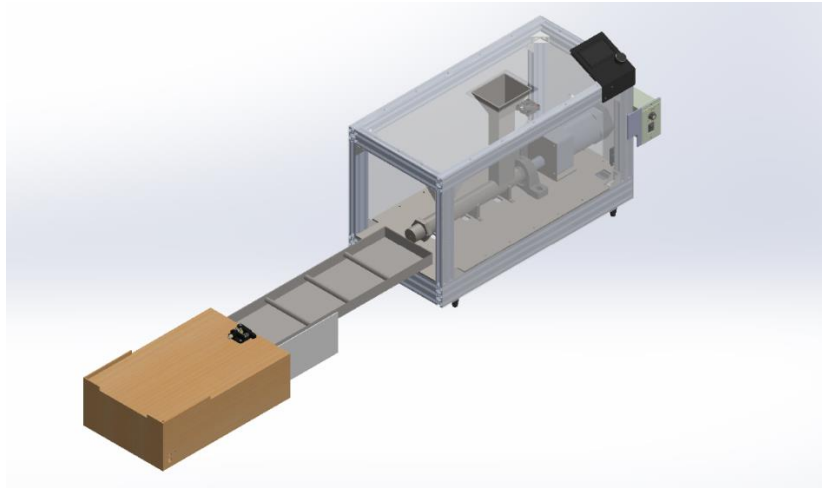


Figura 49. Vista Isométrica del sistema.

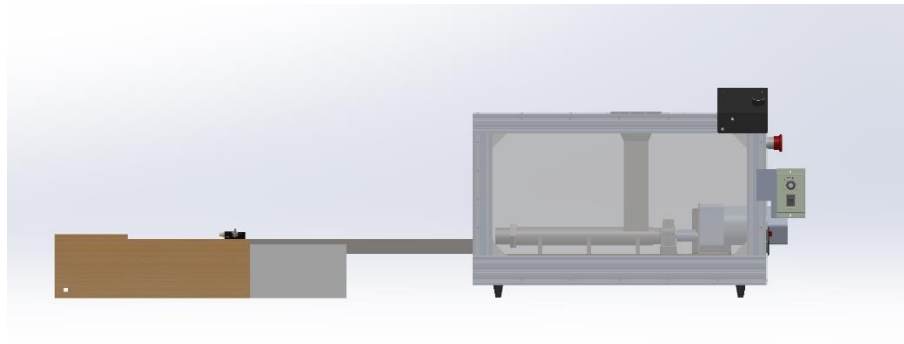


Figura 50. Vista Frontal del Sistema.

Cada elemento fue diseñado de manera individual y permitió realizar los distintos estudios presentados en el capítulo anterior, mismos que validan la selección de geometrías, materiales y dimensiones de cada componente de manera que se garantice el funcionamiento óptimo del sistema, así como su perduración en el tiempo de uso.

Una vez finalizada la fase de diseño y comprobados los cálculos por simulación, se realizó la compra y tratado de los materiales que conforman la estructura del sistema, como se muestra en las Figuras 51 y 52.



Figura 51. Corte plasma de la base del sistema.



Figura 52. Corte láser de los paneles de acrílico.

De igual manera se realizó mediante torno la elaboración del cañón, tornillo sin fin y boquilla como se ilustra en las Figuras 53 y 54.

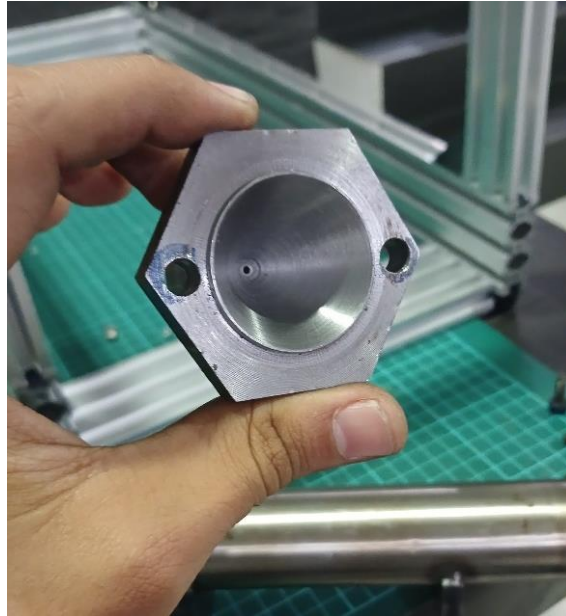


Figura 53. Boquilla de extrusión.



Figura 54. Tornillo sin fin acoplado en el cañón de extrusión.

Finalmente se soldaron las secciones de los soportes y tobera al cañón y empotraron mediante tornillos y tuercas previamente seleccionados a la base del sistema, misma que por medio de pernos con tuerca de sujeción V-Slot se aseguraron a los perfiles de aluminio que comprenden a la estructura tal como se presenta en la Figura 55.



Figura 55. Instalación de la base en la estructura

Para la sección de calor del sistema se optó por el uso de calefactores de banda a lo largo del cañón, los cuales por inducción calentarán el material para ser transportado y mezclado para su posterior inyección, mismos que se instalaron como se presenta en la Figura 56.

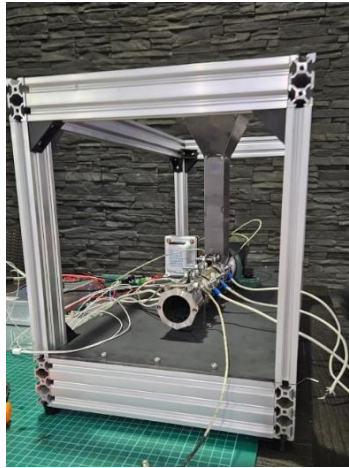


Figura 56. Instalación de los calefactores de banda.

Dada la potencia eléctrica requerida para el calentamiento del sistema se optó por el uso de relés de estado sólido como medio de comunicación entre la señal emitida por la placa de control de código libre Creality V4.2.7 y la corriente requerida, la placa también cuenta con la conexión de los sensores de temperatura NTC ideales para la detección en elevadas temperaturas y la interfaz con el usuario a través de la pantalla LCD y son refrigeradas por un ventilador axial. Todo el sistema electrónico de la máquina se ubica en una sección interna de la misma con el fin de proteger los componentes y preservar su tiempo de vida útil. La alimentación del sistema se lleva a cabo con una fuente de 24 V y 20 A que está sobredimensionada para abarcar más elementos que los indicados como se lo presenta en la Figura 57.

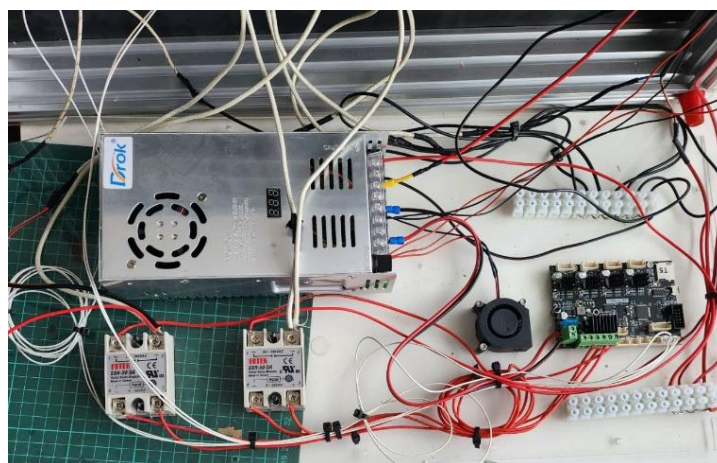


Figura 57. Electrónica del sistema.

Se estableció la codificación para el control de temperatura mediante el PID de un sistema de código abierto Marlin, mismo que configura el control de señales de encendido, recepción de señales de temperatura, interfaz con el usuario y alertas sobre anomalías en el sistema como se puede apreciar en la Figura 58.

```

488 /*
489 #define TEMP_SENSOR_0 11
490 #define TEMP_SENSOR_1 0
491 #define TEMP_SENSOR_2 0
492 #define TEMP_SENSOR_3 0
493 #define TEMP_SENSOR_4 0
494 #define TEMP_SENSOR_5 0
495 #define TEMP_SENSOR_6 0
496 #define TEMP_SENSOR_7 0
497 #define TEMP_SENSOR_BED 0
498 #define TEMP_SENSOR_PROBE 0
499 #define TEMP_SENSOR_CHAMBER 0
500 #define TEMP_SENSOR_COOLER 0
501 #define TEMP_SENSOR_BOARD 0
502 #define TEMP_SENSOR_REDUNDANT 0
503
504 // Dummy thermistor constant temperature readings, for use with 998 and 999
505 #define DUMMY_THERMISTOR_998_VALUE 25
506 #define DUMMY_THERMISTOR_999_VALUE 100
507
508 // Resistor values when using MAX31865 sensors (-5) on TEMP_SENSOR_0 / 1
509 // #define MAX31865_SENSOR_OHMS_0 100 // (D) Typically 100 or 1000 (PT100 or PT1000)
510 // #define MAX31865_CALIBRATION_OHMS_0 430 // (D) Typically 430 for Adafruit PT100; 4300 for Adafruit PT1000
511 // #define MAX31865_SENSOR_OHMS_1 100
512 // #define MAX31865_CALIBRATION_OHMS_1 430
513
514 #define TEMP_RESIDENCY_TIME 10 // (seconds) Time to wait for hotend to "settle" in M109
515 #define TEMP_WINDOW 1 // (°C) Temperature proximity for the "temperature reached" timer
516 #define TEMP_HYSTERESIS 3 // (°C) Temperature proximity considered "close enough" to the target
517
518 #define TEMP_BED_RESIDENCY_TIME 10 // (seconds) Time to wait for bed to "settle" in M190
519 #define TEMP_BED_WINDOW 1 // (°C) Temperature proximity for the "temperature reached" timer
520 #define TEMP_BED_HYSTERESIS 3 // (°C) Temperature proximity considered "close enough" to the target
521
522 #define TEMP_CHAMBER_RESIDENCY_TIME 10 // (seconds) Time to wait for chamber to "settle"
523 #define TEMP_CHAMBER_WINDOW 1 // (°C) Temperature proximity for the "temperature
524 #define TEMP_CHAMBER_HYSTERESIS 3 // (°C) Temperature proximity considered "close enough" to the target

```

Figura 58. Captura de las configuraciones realizadas en Marlin.

Para el movimiento del tornillo se seleccionó un motor de 60 W y alcance de hasta 1550 rpm ideal para cumplir con el movimiento del tornillo en distintas velocidades ajustable a la composición de los materiales a reciclar. El mismo cuenta con un controlador de velocidad independiente el cual se ubicó bajo el control de temperatura con el fin de facilitar su acceso y operación. La Figura 59 presenta el motor utilizado.



Figura 59. Motor del sistema.

Finalmente se colocaron los paneles de acrílico y se ubicaron los elementos de protección dentro de los cuales se tiene una entrada de energía protegida y un botón de paro de emergencia que detiene todo el sistema al ser pulsado. Además de ventiladores de extracción de gases y enfriamiento del motor, tal como se lo indica en la Figura 60.

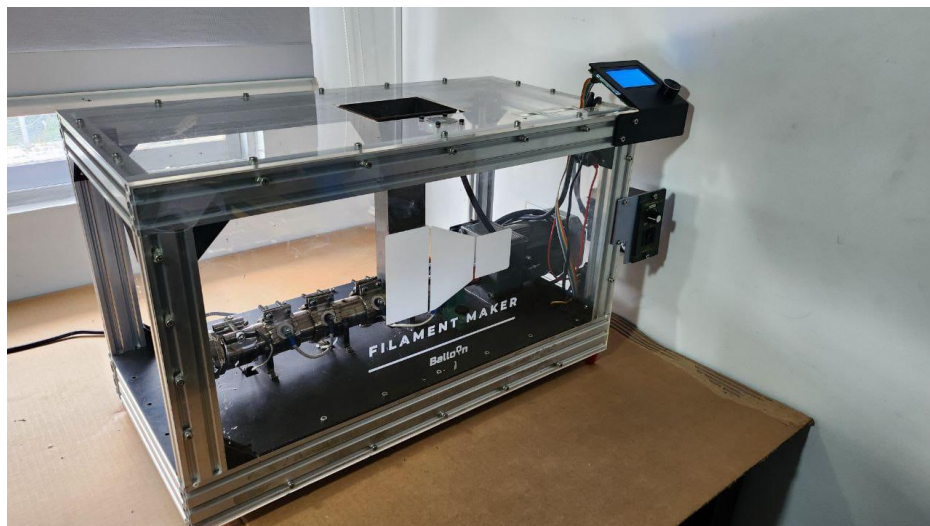


Figura 60. Filament Maker.

La materia prima para el trabajo de la máquina comprende dos elementos, pellets del material a reciclar, en este caso se optó por el uso de PLA Ingeo 2003 para extrusión, mismo que fue importado para el uso del equipo y principalmente el material a reciclar, el cual fue donado por la empresa Balloon Studio la cual se dedica a la producción al por mayor de distintos productos por medio de impresión 3D. La empresa generó en el lapso de dos meses de trabajo un total de 14.65 kg de material de desperdicio de distintos colores, los cuales competen a soportes, rollos caducados e impresiones fallidas como se lo puede apreciar en la Figura 61.



Figura 61. Piezas desechadas separadas por colores

En la Figura 62, se observa el proceso de extracción del material de la máquina trituradora. Una vez separadas las piezas por colores, se procedió a triturarlas utilizando los equipos proporcionados por la empresa. Posteriormente, las piezas trituradas fueron almacenadas en fundas para su manejo y acopio adecuados.



Figura 62. Extracción del material triturado.

Una vez se finalizó la trituración de todos los residuos, el material se pesa de manera individual. Este pesaje es crucial para la formulación precisa junto con los pellets, así como establecer las cantidades exactas de los componentes reciclados para determinar su impacto a nivel económico y ambiental una vez sean reciclados como se muestra en la Figura 63.



Figura 63. Material de color blanco enfundado y pesado.

4.2.2. Pruebas de funcionamiento

Para lograr obtener un material de calidad se realizaron distintas pruebas de formulación en mezcla de material para ajustar la misma a las características físicas y mecánicas requeridas por los equipos de impresión 3D. De igual manera se ajustaron parámetros como velocidad de extrusión, y temperatura de fusión. Obteniendo distintos resultados que se fueron puliendo como se muestra en las Figuras 64 y 65.



Figura 64. Mezcla de pellets con material triturado.



Figura 65. Primera extrusión exitosa.

Una vez ajustados los parámetros de extrusión, se incorporó el sistema de enfriamiento de material y jalado que comprende a un canal seccionado con barras para realizar un enfriamiento por líquido mismo que ayuda a mantener el diámetro del material para su posterior impresión y un sistema de jalado que ayuda a mantener una velocidad constante de extracción para su posterior bobinación, misma que se realiza con un modelo generado por M. Kiszley [44]. de código abierto y uso gratuito, como se lo puede observar en las Figuras 66 y 67.

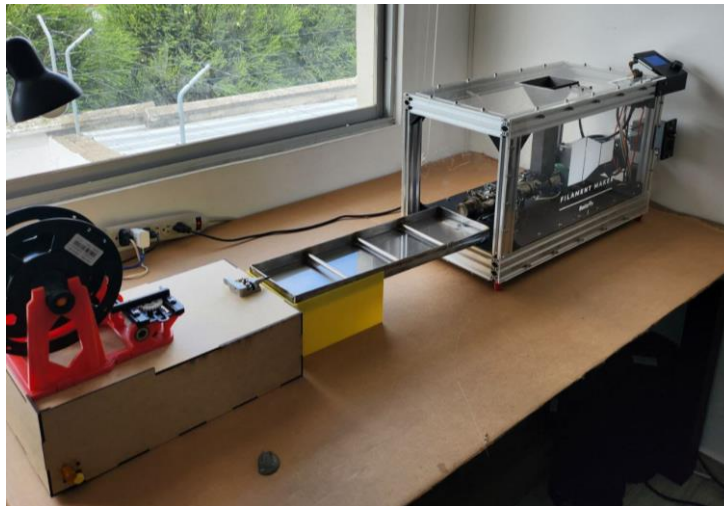


Figura 66. Ensamblaje final de la máquina.

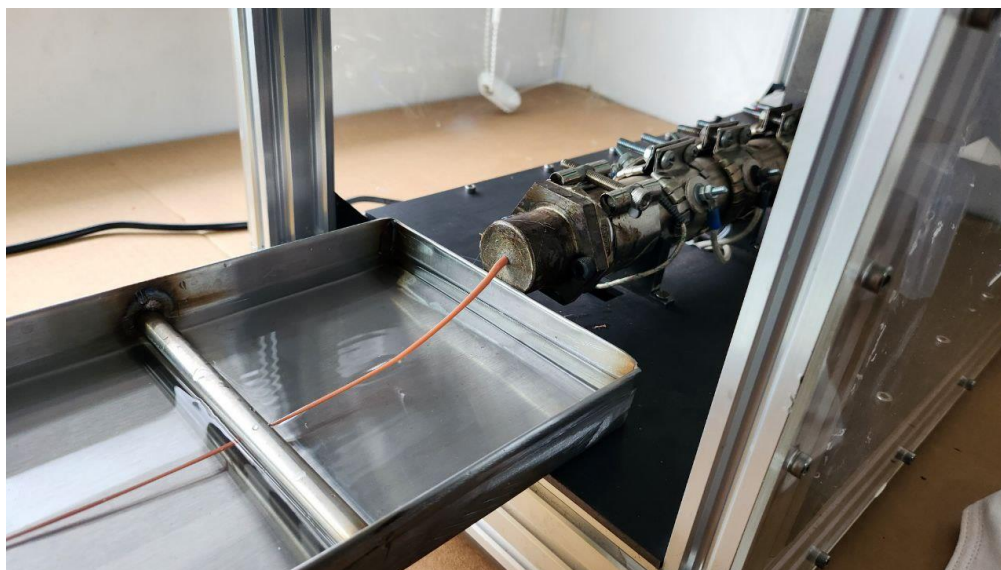


Figura 67. Material extruido.

4.2.3. Resultados de las pruebas

Finalmente, se realizaron pruebas de impresión con el material extruido y bobinado en distintos diámetros, como se lo presenta los Anexos 1, 2 y 3. El filamento fue siendo ajustado en su formulación, temperatura y velocidad de extracción, dentro de las cuales se obtuvo material de diámetro de 1.75 mm a una temperatura entre 240 °C y 270 °C y una velocidad de 50 mm/s en el jalado, así como piezas donde se ajustó la formulación a un porcentaje de 30% reciclado y 70% pellets, cuyas pruebas fueron comparadas con piezas similares impresas con filamento no tratado hasta llegar a una calidad similar con el material reciclado, tal como se puede apreciar en los Anexos 2 y 3, así como pruebas de extrusión y sus resultados por impresión 3D con extrusión directa y tipo bowden las más comunes en esta tecnología, como se lo puede observar en las Figuras 68, 69, 70, 71 y 72.

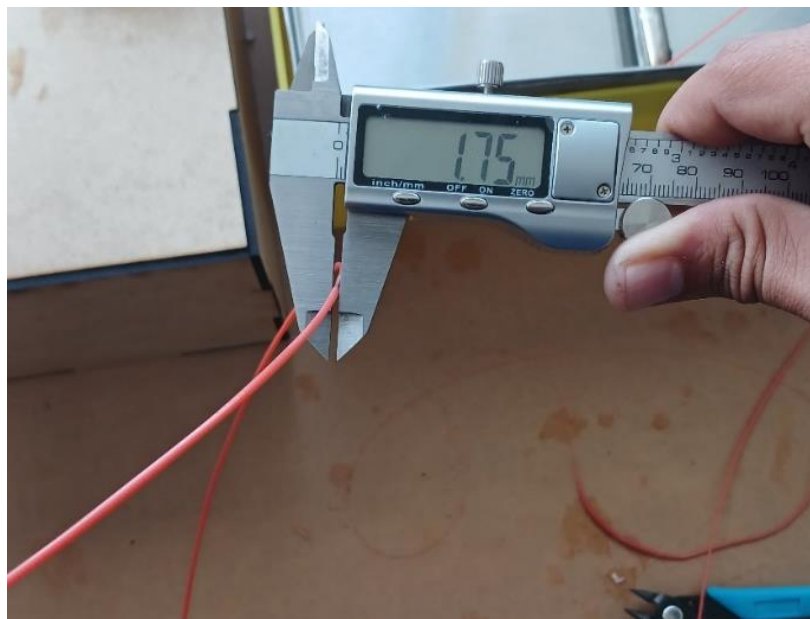


Figura 68. Filamento extruido estandarizado.

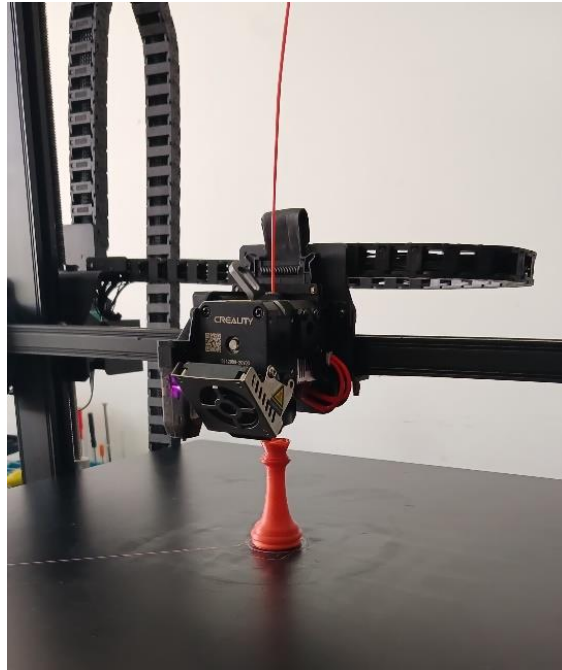


Figura 69. Impresión con filamento reciclado con sistema de extrusión directa.



Figura 70. Comparación de impresiones por extrusión directa.

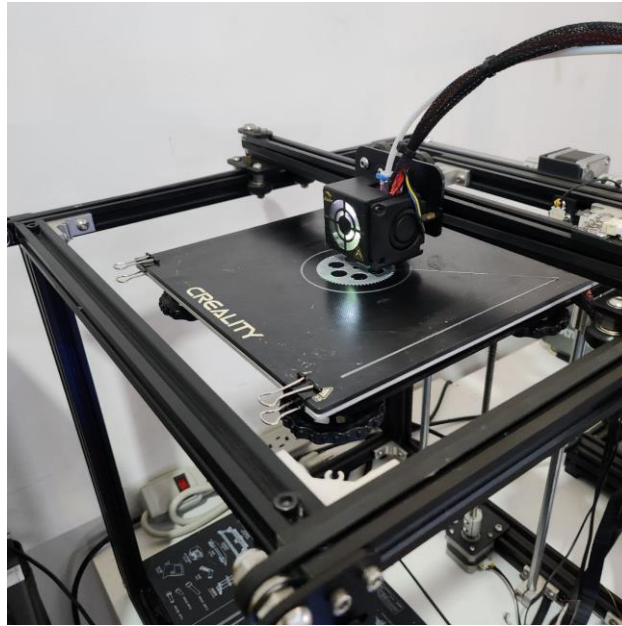


Figura 71. Impresión con filamento reciclado con sistema tipo bowden.



Figura 72. Comparación de impresiones por sistema bowden.

Con los resultados obtenidos se ha determinado que es posible obtener un material por medio de la mezcla de pellets y residuos de impresión 3D que cumple con las características para ser utilizado en la impresión 3D FDM como alternativa a su desecho.

4.3 Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema

Para lograr una comprensión más profunda del funcionamiento del sistema y de los diversos problemas que podrían surgir durante su operación, se ha diseñado un diagrama de flujo que presenta de manera jerárquica y descendente el proceso general en el que opera la máquina. Este diagrama detalla las posibles causas de fallas, así como los pasos a seguir para su resolución, proporcionando una guía clara y estructurada para el diagnóstico y solución de problemas potenciales. En la Figura 73 se presenta de manera general el diagrama de flujo del proceso del sistema, mismo que se puede observar de manera ampliada en los Anexos 4, 5 y 6 dada la extensión del mismo.

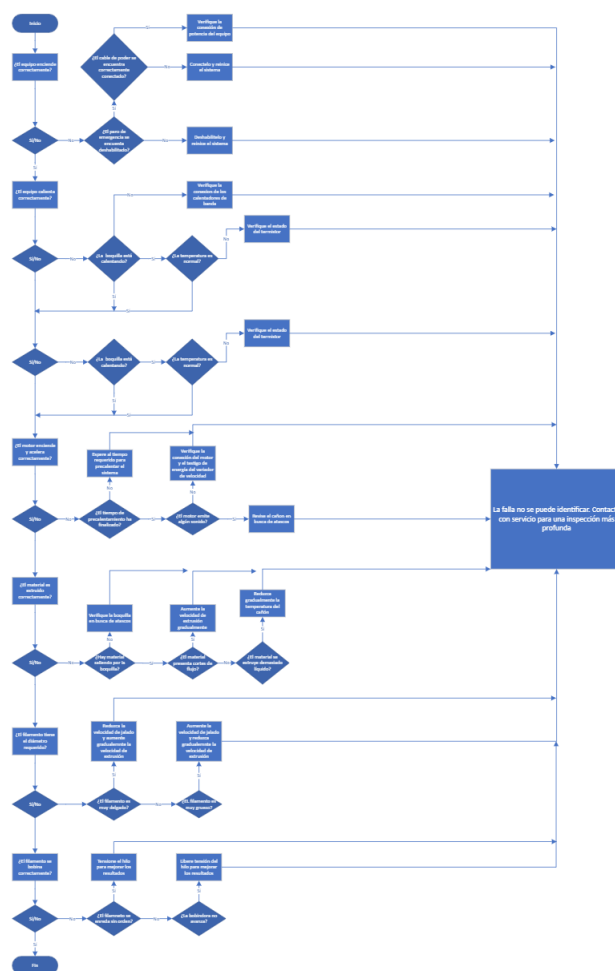


Figura 73. Diagrama de flujo del proceso completo del sistema.

4.4 Manual de operación y mantenimiento

Con el fin de prolongar la vida útil de la máquina, se implementa el manual de operación y el manual de mantenimiento del sistema, mismos que deberán ser obligatorios para el uso del equipo.

4.4.1. Manual de operación

Para la correcta operación de la Filament Maker se estipula los siguientes pasos a seguir:

- 1) Conectar el equipo a la red eléctrica de 110 voltios mediante el cable de alimentación ubicado en el lateral derecho inferior del equipo.
- 2) Verificar que el controlador de velocidad del motor se encuentre en estado apagado.
- 3) Activar la potencia eléctrica del sistema mediante el switch de encendido protegido.
- 4) Esperar la animación de inicio de la pantalla LCD que realiza una comprobación eléctrica del sistema.
- 5) Mediante el uso del seleccionador pulsar 1 vez para acceder al menú principal.
- 6) Mediante el uso del seleccionador navegar por el menú para llegar a la sección de “TEMPERATURE” y pulsar 1 vez para acceder al menú
- 7) Mediante el uso del seleccionador navegar por el menú para llegar a la sección de “PREHEAT PLA” y pulsar 1 vez y repetir esta acción en el siguiente menú. Esto devolverá al usuario al menú principal a la vez que inicia el precalentamiento del equipo en las temperaturas predeterminadas para PLA, que son de 240 °C para la boquilla y 270 °C para el cañón. El usuario puede ajustar las temperaturas de manera individual repitiendo los pasos 5 y 6 variando el paso 7 para acceder al apartado de “NOOZLE” para configurar la temperatura de la boquilla y el apartado “BED” para el cañón. La temperatura del sistema se elevará progresivamente hasta llegar a la temperatura seteada.
- 8) Esperar el precalentamiento del sistema alrededor de 20 minutos para que el material que se encuentra al interior cambie su estado y se tenga un correcto funcionamiento del equipo.
- 9) Generar la mezcla para la alimentación del sistema, misma que debe comprender entre el 30 al 40% de material reciclado dependiendo de las pruebas previas con el mismo.
- 10) Pasado el tiempo de precalentamiento acciona el interruptor del controlador de velocidad del motor y mediante el uso del potenciómetro ajustar la velocidad de giro

- de este y alimentar por medio de la tobera con la cuchara de alimentación (3gr. Aprox.)
- 11) Una vez el material inicie su salida por la boquilla, alimentar el sistema con una porción de la cuchara de alimentación en periodos de 1 cucharada cada 40 segundos con el fin de mantener una alimentación constante al sistema.
 - 12) Con el uso de la espátula limpiar la boquilla del material que no cuente con la forma requerida, una vez el material inicia su salida con el diámetro requerido con el uso de pinzas guiar el material caliente a través de las barras del sistema de enfriamiento previamente cargado con agua.
 - 13) Con el uso de pinzas cortar el inicio del hilo creado y pasarlo a través del motor a pasos del sistema de bobinado.
 - 14) Presionar el botón de inicio del sistema de bobinado para iniciar con el jalado del mismo.
 - 15) Ubicar la bobina en el sistema bobinador y conectar el hilo de filamento a la misma para iniciar con el bobinado. La velocidad de este se puede ajustar con el potenciómetro junto al botón de inicio.
 - 16) Una vez culminada la extrusión de material esperar de 5 a 10 minutos para purgar el sistema del material que haya podido quedar al interior y repetir los pasos 5 y 6. Tras esto seleccionar el apartado “COOLDOWN” que iniciará el enfriamiento del sistema.
 - 17) Reducir la velocidad del motor y apagar el mismo con el controlador de velocidad.
 - 18) Apagar y desconectar el equipo mientras no se utilice.
 - 19) En cualquier momento el usuario puede detener el sistema de movimiento del motor con el controlador de velocidad o a su vez todo el equipo con el paro de emergencia ubicado bajo la pantalla de control del equipo, mismo que al estar accionado corta la energía a todo el sistema de potencia, motor y calentadores.
 - 20) Es necesario para la operación del equipo el uso de lentes de seguridad, mascarilla para evitar la aspiración continua de gases nocivos y el uso de guantes con aislamiento térmico.

4.4.2. Manual de mantenimiento

Para alargar la vida útil del equipo y preservar la integridad de sus componentes es necesario realizar los siguientes mantenimientos:

- 1) Inspeccionar visualmente el panel de control y el sistema en general en busca de cualquier anomalía, como cables sueltos, componentes dañados o indicadores apagados. Si se detecta alguna anomalía, es importante detener el proceso y realizar las reparaciones necesarias antes de continuar.
- 2) Realizar limpiezas diarias tras el uso del equipo de residuos que pueden haber caído al interior al momento de alimentar el sistema.
- 3) Verificar regularmente los sensores de temperatura asegurando la lectura precisa de las variables.

Cada 160 horas de uso es necesario realizar una limpieza el cañón de extrusión con el fin de eliminar impurezas que pueden haberse ubicado en su interior para lo cual se seguirán los siguientes pasos:

- 1) Realizar los pasos del 1 al 7 en el manual de usuario para calentar el sistema a 300 °C tanto en la boquilla como en el cañón.
- 2) Mediante el uso de llaves Allen desmontar el panel de acrílico posterior.
- 3) Mediante el uso de llaves Allen liberar los prisioneros de la chumacera y el matrimonio que une el motor con el tornillo sin fin.
- 4) Mediante el uso de llaves Allen liberar los pernos de sujeción que mantienen a la boquilla en su posición y desmontar la boquilla.
- 5) Una vez el sistema se encuentre a la temperatura indicada apague el equipo y extraiga el tornillo sin fin con el uso de guantes aislantes de temperatura y ubicarlo en una superficie resistente a la temperatura.
- 6) Mediante el uso de la espátula retirar los residuos de material quemado que puedan haberse almacenado en las horas de trabajo, así como del cañón del sistema.
- 7) Una vez culminada la limpieza siga los pasos de este manual de final a inicio para montar nuevamente todos los componentes del sistema, asegurando que los prisioneros de la chumacera y el matrimonio se encuentren correctamente ajustados, así como la boquilla para evitar fugas.

4.5 Análisis de costos de la implementación del proyecto

4.5.1. Costos Directos

Indica todos aquellos costos vinculados directamente con la producción del sistema, incluyendo el gasto en materiales, mano de obra y mecanizados correspondientes de los distintos procesos requeridos para la implementación del equipo. En la Tabla 12 se detalla de manera cuantitativa los materiales utilizados en la creación del equipo.

Tabla 12. Costo de materiales.

Ítem	Detalle del material	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
1	Perfil de aluminio V-Slot 20x60 serie 20 1.70 m	1	\$30.26	\$30.26
2	Perfil de aluminio V-Slot 20x40 serie 20 3.90 m	1	\$58.50	\$58.50
3	Tuerca T insertable M4 serie 20	160	\$0.18	\$28.80
4	Perno Allen cilíndrico M4X06 inox	160	\$0.09	\$14.40
5	Uniones 90° serie 20 ABS	20	\$2.00	\$40.00
6	Pies de goma TPU	4	\$2.00	\$8.00
7	Pared lateral acrílico perforado 350x600 mm espesor 3 mm	2	\$6.00	\$12.00
8	Pared superior/inferior acrílico perforado 600x290 mm espesor 3 mm	2	\$5.00	\$10.00
9	Pared posterior acrílico perforado 290x350 mm espesor 3 mm	1	\$4.00	\$4.00
10	Tapa base Acero A36 600x290 mm espesor 4 mm	1	\$20.00	\$20.00
11	Soporte Cañón Acero A36 espesor 8 mm	3	\$5.00	\$15.00
12	Tolva Acero A36 espesor 3 mm	1	\$20.00	\$20.00

13	Eje AISI 304 24,4 mm x 450 mm en maquinado para la función de tornillo sin fin transportador	1	\$200.00	\$200.00
14	Tubo AISI 304 38.1 mm x 400 mm con adaptación del sistema de enganche para la boquilla	1	\$40.00	\$40.00
15	Chumacera FK 1" UCP 205 -16	1	\$15.00	\$15.00
16	Montura ventiladores ABS	4	\$4.00	\$16.00
16	Motor reductor de engranaje eléctrico de CA pequeño 90YYJ-60, 60W	1	\$207.20	\$207.20
17	Fuente de alimentación de 24 V, CA 110 V/220 V a CC 0-24 V 20 A 480 W	1	\$40.00	\$40.00
18	Módulo de entrada de enchufe de 10 A Interruptor de fusible con cableado de 18 AWG de 3 pines	1	\$5.00	\$5.00
19	Placa base silenciosa V4.2.7 Creality	1	\$40.00	\$40.00
20	Pantalla LCD Creality Ender con montura metálica	1	\$20.00	\$20.00
21	Acople expandible Lovejoy 25 mm	1	\$15.00	\$15.00
22	Montura Motor AC	1	\$10.00	\$10.00
23	Ventilador Axial 24 V 40x40 mm	1	\$3.00	\$3.00
24	Ventilador Lateral 24 V 40x40 mm	1	\$3.00	\$3.00
25	Ventilador Axial 24 V 50x50	3	\$4.50	\$13.50
26	Relé estado sólido SSR-60D	2	\$8.00	\$16.00
27	Termistor NTC	2	\$3.40	\$6.80
28	Calefactor de banda cerámico 38.1 mm 110V	5	\$15.00	\$75.00
29	Cable gemelo con protección térmica 8 m	1	\$13.00	\$13.00
30	Paro de emergencia	1	\$4.50	\$4.50
31	Pernos M3X6	15	\$0.07	\$1.05
32	Tuercas M3	15	\$0.04	\$0.60
33	Pernos M4X6	10	\$0.09	\$0.90

34	Tuercas M4	10	\$0.07	\$0.70
35	Pernos M5	4	\$0.12	\$0.48
35	Sistema de extrusión con motor 40-42	2	\$45.00	\$90.00
	Creality			
35	Canal de enfriamiento	1	\$40.00	\$40.00
35	Boquilla maquinada con sección cónica y salida de 1,75 mm	1	\$30.00	\$30.00
TOTAL				\$1,167.69

De igual manera es necesario representar los gastos relacionados con los métodos de mecanizado, como en maquinaria, herramientas y mano de obra. Para lo cual en la Tabla 13 se puede observar a detalle las cotizaciones.

Tabla 13. Gasto por hora de servicios de maquinado.

Ítem	Descripción	Tiempo / Hora	Costo Hora	Total
1	Torno	8	\$9.00	\$72.00
2	Taladro	3	\$4.00	\$12.00
3	Cortadora laser	4	\$15.00	\$60.00
4	Impresora 3D	12	\$5.00	\$60.00
5	Soldadura GTAW	3	\$25.00	\$75.00
6	Herramientas	8	\$3.00	\$24.00
TOTAL				\$303.00

4.5.2. Costos Indirectos

4.5.2.1. Costo de diseño

Estos gastos se refieren a los costos necesarios para llevar a cabo la preparación de cálculos y la creación de planos. Estos costos totales abarcan alrededor del 25% del gasto global.

4.5.2.2. Costos imprevistos

Estos costos no influyen en el avance del proceso de construcción de la máquina, dado que no fueron anticipados en la planificación. Incluyen provisiones de oficina, transporte y ajustes en la maquinaria para asegurar su correcto funcionamiento. Representan alrededor del 20% de los gastos totales.

4.6 Justificación de costos

A continuación, en la Tabla 14, se puede apreciar un análisis global de la sumatoria total de gastos asociados con costos directos e indirectos, con el fin de facilitar una correcta comprensión del manejo financiero del proyecto.

Tabla 14. Costo total de la máquina.

Costos	Total
Directos	
Costo de materiales	\$1,167.69
Costo de maquinado	\$303
Indirectos	
Costos de diseño	\$367.67
Costos imprevistos	\$294.14
Total	\$2,132.50

4.7 Análisis económico

Para realizar una estimación correcta de la recuperación de capital y sustentabilidad del proyecto, es necesario conocer el valor del producto que se genera. La empresa Balloon Studio es una empresa dedicada al servicio de impresión 3D y corte láser con más de 3 años de experiencia en el mercado, trabajan principalmente con la generación de modelos de mediana y gran escala a través de la impresión 3D FDM, por lo cual al igual que distintos estudios de

impresión, escuelas, universidades, oficinas y hogares que utilizan esta tecnología para la enseñanza, comercialización y generación de productos generan desechos continuamente como se lo ha reflejado en capítulos anteriores de esta investigación. Balloon Studio ha conseguido generar en un período de 2 meses un proporcional de 14.65 kg en material de desecho entre distintos colores únicamente en material PLA, de distintos trabajos manejados durante este periodo.

Para el análisis se estableció una comparativa con el valor actual de 1 Kg de filamento PLA que es de \$26,99 ofertado por la empresa Radlab, uno de los más grandes proveedores de insumos para impresión 3D en el Ecuador [45] por lo cual se realiza el siguiente cálculo:

$$\begin{aligned} & \text{Cantidad de filamento desechado} * \text{Valor de filamento} \\ & = \text{Valor de material desechado} \end{aligned}$$

$$14.65 \text{ Kg} * 26.69 \frac{\$}{\text{Kg}} = \text{Valor de material desechado}$$

$$\text{Valor de material desechado} = \$391.01$$

Se obtuvo una pérdida de \$195.50 mensuales, estimada en \$2346.06 anuales, debido a la falta de un proceso de aprovechamiento de desechos. El método de reciclaje de estos elementos requiere combinar material reciclado con material virgen, como se ha descrito anteriormente, para generar un filamento con características similares al no procesado, mismo que dado el material en el caso particular de este proyecto. El costo de importación de pellets de PLA es de \$10 por kilogramo, utilizando una formulación 70/30 de material virgen con reciclado para obtener una mezcla óptima para impresión 3D. Por lo tanto, se establece la siguiente relación para la fabricación de 1 kg:

$$\text{Costo de pellets} = \$10 * 70\%$$

$$\text{Costo de pellets} = \$7$$

$$\text{Valor del material reciclado} = \$26.99 * 30\%$$

$$\text{Valor del material reciclado} = \$8.1$$

Tomando en cuenta este aspecto se determina que el costo de producción de un rollo de filamento de un 1 kg representaría el uso de 700 gramos de pellets con un costo de \$7 y 300 gramos de material reciclado con un valor de \$8.1 monto que se recupera gracias a la reutilización de este material. Tomando en cuenta que el sistema produce 400 gramos por cada hora de trabajo se requiere 2.5 horas para la fabricación y se establecerá un tiempo de trabajo de 3 horas con el precalentamiento y el enfriamiento del equipo. Tomando en cuenta un consumo de motor de 60 W, 5 calefactores de banda con un consumo de 30 W establecido por el fabricante y otros elementos como placa, ventiladores y sistemas de interacción con el usuario que pueden llegar a consumir hasta 100 W, se establece un valor de consumo de 410 W por hora, mismo que se elevará hasta 800 W por seguridad podemos establecer que en base al costo hora/watt en el Ecuador establecido por el Ministerio de Recursos y Energía [46] es de 10 centavos por kilovatio hora se puede realizar la siguiente relación

$$\text{Consumo total} = 800 \text{ W} * 3 \text{ horas}$$

$$\text{Consumo total} = 2400 \text{ Wh} = 2.4 \text{ kWh}$$

$$\text{Costo energético por cada kg producido} = 2.4 \text{ kWh} * \frac{\$0.10}{\text{kWh}}$$

$$\text{Costo energético por cada kg producido} = \$0.24$$

Este valor será asumido como un gasto general de insumos, energía y herramientas en un valor de \$2 por cada kilogramo por lo que la producción de 1 Kg de material reciclado tendría un costo de producción de \$9. Tomando en cuenta que el uso de 300 gramos de material reciclado implica evitar una pérdida de \$8.1 en caso de que esta cantidad no se recicle podemos establecer:

$$\text{Costo real de producción: } \$9 - 8.1$$

$$\text{Costo real de producción: } \$1.1$$

Es decir que el usuario gracias al reciclaje del material que se produce como desecho de la impresión 3D puede producir 1 Kg de filamento por \$1.1 eliminando el valor de pérdida mensual que representaba no tratar estos desechos.

Dado esta relación con el material consumible, el prospecto para la generación de material de calidad y con la posibilidad de venta de este a un precio competitivo al mercado, se ha establecido un valor de \$19 por rollo de 1 Kg de material reciclado estableciendo así el flujo de caja pertinente.

4.7.1. Flujo de caja

El flujo de caja tiene como objetivo principal informar sobre los ingresos operativos proyectados y los gastos necesarios para tomar decisiones que impulsen el crecimiento de la organización. Además, proporciona datos sobre los períodos en los que la empresa registra déficits o superávits, lo que facilita la planificación de proyectos futuros.

Esta herramienta también es fundamental para evaluar la viabilidad de proyectos mediante métricas como el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR), que ayudan a determinar la rentabilidad y el rendimiento esperado de las inversiones. [47]

Si se determina que el filamento reciclado tendría un valor de venta de \$19 por kilogramo se establecería que la máquina es capaz de producir 24 rollos a partir de los 14,65 kg de material desechado lo que implicaría un ingreso mensual de \$456 tomando en cuenta únicamente el material de desecho producido por Balloon Studio, sin la recolección o compra de filamento de desecho de otros productores a nivel nacional tal como se presenta en la Tabla 15.

Tabla 15. Flujo de caja estimado a 10 años

Detalle	Monto	Símbolo	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
	Mensual											
Inversión		I	2132.50									
Ingresos anuales		Ia					Ingreso Anual					
Venta mensual de 24 Rollos	456.00		5472.00	6019.20	6621.12	7283.23	8011.56	8812.71	9693.98	10663.38	11729.72	12902.69
Egreso anual		Ea					Egreso Anual					
Insumos	170.00		2040.00	2244.00	2468.40	2715.24	2986.76	3285.44	3613.98	3975.38	4372.92	4810.21
Mantenimiento	20.00		240.00	240.00	240.00	240.00	240.00	240.00	240.00	240.00	240.00	240.00
Consumo Eléctrico	2.00		24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00
Operador (bajo contrato media jornada)	300.00		3600.00	3600.00	3600.00	3600.00	3600.00	3600.00	3600.00	3600.00	3600.00	3600.00
Salvamento (10 años)		S	213.25									
Depreciación Anual	17.77	D anual	213.25	213.25	213.25	213.25	213.25	213.25	213.25	213.25	213.25	213.25
Evaluación del proyecto		E										
Ingreso Total			5472.00	6019.20	6621.12	7283.23	8011.56	8812.71	9693.98	10663.38	11729.72	12902.69
Egreso Total			8463.00	6321.25	6545.65	6792.49	7064.01	7362.69	7691.23	8052.63	8450.17	8887.46
Total			-2991.00	-302.05	75.47	490.74	947.54	1450.02	2002.75	2610.75	3279.55	4015.23

4.7.2. Valor actual neto (VAN) y Tasa de retorno (TIR)

La Tabla 16 muestra una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 15%, indicando un rendimiento positivo para el proyecto. Este porcentaje refleja la eficiencia financiera y el potencial de generación de beneficios a largo plazo, reforzando aún más la viabilidad económica del equipo como se puede observar en la Tabla 16.

Tabla 16. Resultados del VAN y TIR

Años	Flujo de caja
Año 0	-\$2,132.50
Año 1	-\$2,991.00
Año 2	-\$302.05
Año 3	\$75.47
Año 4	\$490.74
Año 5	\$947.54
Año 6	\$1,450.02
Año 7	\$2,002.75
Año 8	\$2,610.75
Año 9	\$3,279.55
Año 10	\$4,015.23
VAN	\$1,882.06
TIR	15%

4.7.3. Tiempo de retorno de la inversión

El método del Payback se emplea para calcular el tiempo necesario para recuperar la inversión inicial, proporcionando una medida sencilla y directa de la viabilidad económica de un proyecto. Utiliza una ecuación que considera tanto los flujos de caja positivos como sus valores negativos, permitiendo evaluar el impacto de los desembolsos iniciales y las ganancias generadas a lo largo del tiempo.

Este enfoque determina el periodo requerido para que los flujos de efectivo positivos acumulados compensen completamente las inversiones iniciales, proporcionando una visión clara del horizonte temporal en el que se recuperará la inversión. Para el cálculo específico del periodo de recuperación se emplea la ecuación 25, la cual está diseñada para integrar los distintos componentes de los flujos de caja y facilitar un análisis cuantitativo preciso del retorno de inversión.

$$Payback = \left[\begin{array}{c} \text{Último periodo con flujo} \\ \text{acumulado negativo} \end{array} \right] + \left[\frac{\text{Valor absoluto del último flujo} \\ \text{flujo acumulado negativo}}{\text{Valor del flujo en el siguiente} \\ \text{periodo}} \right]$$

$$Payback = [2] + \left[\frac{-302.05}{75.47} \right]$$

$$Payback = [2] + \left[\frac{|-302.05|}{75.47} \right]$$

$$Payback = 6 \text{ años}$$

Conclusiones

- Se analizaron diversas variables que podrían incidir en el proceso de reciclaje de diferentes desechos generados por la impresión 3D. La adopción de esta tecnología conlleva ventajas significativas tanto para los fabricantes como para los usuarios de impresoras 3D. Los fabricantes pueden disminuir sus gastos de material hasta en un 50% aproximadamente al reutilizar el filamento desechado en lugar de comprar un nuevo rollo, mientras que los usuarios pueden acceder a filamento reciclado de alta calidad a un costo más accesible, lo que les permite mejorar su rentabilidad y promover la sostenibilidad a largo plazo.
- La experimentación realizada proporcionó datos esenciales para perfeccionar la formulación y comprender las variables inherentes al proceso de extrusión de plásticos en general. Tras un exhaustivo análisis, se determinó una formulación con una relación de 70/30 entre pellets y material reciclado. Esta mezcla ha demostrado producir un compuesto homogéneo, caracterizado por un diámetro de 1,75 mm, idóneo para la impresión en equipos equipados con tecnología FDM, ya sea de extrusión directa o tipo bowden que cuenta con características mecánicas similares a su forma original como filamento sin requerir connotaciones específicas en dureza o tensión, sino más bien en calidad superficial de impresión debido a que es un reciclaje destinado principalmente a PLA, material cuyas características físicas se aplican a piezas decorativas y prácticas en su mayoría.
- Se ha logrado identificar y aplicar una combinación óptima de proporciones de material reciclado y virgen que se aproxima significativamente a las propiedades mecánicas originales del filamento PLA utilizado en impresión 3D alcanzando un aproximadamente 60% de los rasgos originales. Este hallazgo no solo facilita la reutilización de materiales, sino que también asegura que el filamento reciclado mantenga una calidad y resistencia comparable al nuevo, promoviendo una economía circular efectiva en la industria de la impresión 3D.

- A través de simulaciones y cálculos detallados, se diseñaron y validaron los componentes mecatrónicos del sistema de reciclaje, específicamente el sistema de mezcla y extrusión. Este diseño innovador no solo garantiza un proceso de reciclaje eficiente, sino que también puede ser adaptado y escalado para diferentes volúmenes de producción. Así, se ofrece una solución versátil y robusta para diversos entornos industriales y de investigación, contribuyendo al avance tecnológico en el campo de la mecatrónica aplicada al reciclaje de materiales.
- Las pruebas de campo realizadas con el sistema demostraron un funcionamiento eficiente y constante del equipo. Estas pruebas confirmaron que el sistema puede operar de manera continua y sin interrupciones significativas, asegurando un proceso de reciclaje estable y fiable. Logrando determinar una producción de 400 gramos en una hora, estableciendo un sistema de flujo constante y eficiente para largas jornadas de operación, mismo que con ajustes en la velocidad de extrusión, así como velocidad de jalado, puede variar para aumentar en son de las necesidades operativas.
- El proyecto no solo presenta una solución inmediata para mitigar las pérdidas económicas asociadas al desecho de filamento, sino que también abre nuevas oportunidades para el crecimiento y desarrollo en el sector de la impresión 3D. La implementación exitosa de esta tecnología podría catalizar la innovación en materiales reciclados, impulsar la adopción de prácticas más sostenibles y fomentar la creación de nuevos modelos de negocio en torno al reciclaje y reutilización de materiales en la industria de la impresión 3D.

Recomendaciones

- Es de suma importancia considerar que el material destinado al proceso de reciclaje debe ser segregado por colores, dado que la composición química de cada tonalidad puede incidir en los resultados de la extrusión, afectando las propiedades mecánicas del material una vez fundido y amalgamado con los pellets de material virgen. Es esencial tener presente que el material triturado debe poseer un tamaño uniforme de 3.5 mm, acorde con el tamaño de los pellets, ya que el tornillo sin fin ha sido diseñado con esta medida como base, y su uso deficiente podría ocasionar obstrucciones dentro del conducto de extrusión.
- Se debe otorgar primordial importancia a las medidas de seguridad durante todo el proceso. Esto implica el uso adecuado de equipo de protección personal, como gafas, mascarillas y guantes, con el fin de minimizar los riesgos asociados con la manipulación de materiales y el funcionamiento de la máquina. De igual forma seguir con detenimiento el manual de usuario y mantenimiento para prologar la vida útil del equipo y la seguridad del operario.
- Es esencial llevar a cabo una exhaustiva inspección de la materia prima con el fin de detectar posibles contaminantes como piezas metálicas u otros materiales ajenos al proceso de reciclaje, los cuales podrían ocasionar daños al tornillo sin fin o a las paredes del cañón. Además, se debe destacar la importancia de realizar una limpieza completa del sistema al finalizar cada jornada laboral. Esto se debe a que, una vez que el equipo se apaga, el material presente en su interior comenzará a enfriarse, solidificarse y expandirse, lo que podría afectar la integridad de los componentes de la máquina a largo plazo. Estos procedimientos son fundamentales para asegurar un proceso eficiente y seguro en la operación de la Filament Maker.

Referencias

- [1] J. Kiendl and C. Gao, "Controlling toughness and strength of FDM 3D-printed PLA components through the raster layup," *Compos. Part B Eng.*, vol. 180, p. 107562, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107562>.
- [2] S. Ramanadha and N. Venkatachalapathi, "Materials Today : Proceedings A review on characteristic variation in PLA material with a combination of various nano composites," *Mater. Today Proc.*, no. xxxx, 2023, doi: 10.1016/j.matpr.2023.04.616.
- [3] K. A. Athanasiou, G. G. Niederauer, and C. M. Agrawal, "Sterilization, toxicity, biocompatibility and clinical applications of polylactic acid/ polyglycolic acid copolymers," *Biomaterials*, vol. 17, no. 2, pp. 93–102, 1996, doi: [https://doi.org/10.1016/0142-9612\(96\)85754-1](https://doi.org/10.1016/0142-9612(96)85754-1).
- [4] Printex, "Los mejores filamentos PLA para tu impresora 3D Printex," vol. 1, 2023, [Online]. Available: <https://www.print3x.cl/>
- [5] K. V. Durga Rajesh, N. Ganesh, S. Yaswanth Kalyan Reddy, H. Mishra, and T. M. V. P. . Teja Naidu, "Experimental research on the mechanical characteristics of fused deposition modelled ABS, PLA and PETG specimens printed in 3D," *Mater. Today Proc.*, no. xxxx, 2023, doi: 10.1016/j.matpr.2023.06.343.
- [6] J. O'Connell, "ABS vs PLA: comparación de filamentos para impresión 3D," *ALL3DP*, vol. 1, 2021, [Online]. Available: <https://all3dp.com/es/2/abs-vs-pla-filamento-impresion-3d-plastico/>
- [7] E. Muthiah, R. Rathanasamy, D. Ravichandran, D. Palanichamy, and S. Sivaraj, "Experimental analysis on shredder for recycling thermoplastics using injection moulder," *Mater. Today Proc.*, vol. 66, pp. 797–803, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.353>.
- [8] M/AWG, "Sistema-accionamiento-trituradores-cambio-automatico.pdf." [Online]. Available: <https://satrindtech.com/wp-content/uploads/2018/05/Sistema-accionamiento-trituradores-cambio-automatico.pdf>
- [9] José H. Rosales Fernández, "Motores electricos para la industria," *Mot. Electr. Para La Ind.*, 2012.

- [10] Electrotec, “Partes de un motor electrico,” 2021, [Online]. Available: <https://electrotec.pe/blog/PartesdeunMotorElectricoNEW>
- [11] B. Narayani, S. Ravichandran, and P. Rajagopal, “Design optimization of a novel screw conveyor based system to scoop oil sludge from floor of storage tanks,” *Upstream Oil Gas Technol.*, vol. 6, no. February 2020, p. 100029, 2021, doi: 10.1016/j.upstre.2020.100029.
- [12] R. Moraza, “Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño Implementación y configuración de la funcionalidad de impresión 3D en una estructura CNC Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño,” 2022.
- [13] M. Sood and C. M. Wu, “Influence of structural arrangements on static and dynamic properties of additively manufactured polyester elastomer lattice metamaterials,” *Appl. Mater. Today*, vol. 35, no. June, p. 101933, 2023, doi: 10.1016/j.apmt.2023.101933.
- [14] Creality 3D Official Store, “Official Creality V4.2.7 Silent Board TMC2225 Driver Marlin 2.0.1 For Ender-3(Pro)/Ender-3V2/Ender 5/Ender-3Max,” 2023, [Online]. Available: <https://www.creality3dofficial.com/es/products/creality-silent-mainboard-v4-2-7>
- [15] K. J. BUDYNAS, RICHARD G. NISBETT, “DISEÑO EN INGENIERIA MECANICA DE SHIGLEY,” vol. 8, 2008.
- [16] S. Bhunia and M. Tehranipoor, “A Quick Overview of Electronic Hardware,” *Hardw. Secur.*, pp. 23–45, 2019, doi: 10.1016/b978-0-12-812477-2.00007-1.
- [17] S. Chudjuarjeen and P. Chakkuchan, “A comparative study of induction heater and heating on hot tensile test for SKD11 tool steel,” *Mater. Today Proc.*, no. May, 2023, doi: 10.1016/j.matpr.2023.09.171.
- [18] Jaye Industry, “Band Heaters,” pp. 1–6, 2018, [Online]. Available: <https://www.thermo-heater.com/Content/upload/PDF/2021568079/BAND-HEATER-CATALOG.pdf>
- [19] S. Flores, “CARACTERIZACIÓN DE UN EXTRUSOR ENFRIADO POR AIRE PARA IMPRESIÓN 3D MEDIANTE SIMULACIÓN COMPUTACIONAL Y PRUEBAS EXPERIMENTALES,” *Univ. TÉCNICA DEL NORTE Fac. Ing. EN CIENCIAS Apl. CARRERA Ing. EN MECATRÓNICA*, vol. 1, 2019, [Online]. Available: [http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/9953/2/04 MEC 289 TRABAJO DE](http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/9953/2/04_MEC_289_TRABAJO_DE)

- [20] Phaetus, “Phaetus PH-6973090161958 Rapido Hotend HF Instruction Manual”.
- [21] Granja M and Hidalgo V, “Proceso de soldadura GMAW para aceros ordinarios al carbón, aceros inoxidables y aluminio,” *Rev. Politécnica-Julio*, vol. 32, no. 1, p. 43, 2013.
- [22] Lincoln Electric Bester, “Manual del usuario Manual del usuario SIA,” no. 10, pp. 4–5, 2016.
- [23] C. Shi *et al.*, “Sintering and electrical properties of Mn–Co–Fe–Zn–Ni–O high-entropy ceramics for NTC thermistors,” *Ceram. Int.*, vol. 50, no. 4, pp. 7183–7192, 2023, doi: 10.1016/j.ceramint.2023.12.095.
- [24] M. Nikam, P. Pawar, A. Patil, A. Patil, K. Mokal, and S. Jadhav, “Sustainable fabrication of 3D printing filament from recycled PET plastic,” *Mater. Today Proc.*, no. August 2023, 2023, doi: 10.1016/j.matpr.2023.08.205.
- [25] Q. Ma *et al.*, “Effect of infill pattern of polylactide acid (PLA) 3D-printed integral sandwich panels under ballistic impact loading,” *Mater. Today Commun.*, vol. 38, no. October 2023, p. 107626, 2024, doi: 10.1016/j.mtcomm.2023.107626.
- [26] M. Hassan, A. K. Mohanty, and M. Misra, “Materials & Design 3D printing in upcycling plastic and biomass waste to sustainable polymer blends and composites : A review,” *Mater. Des.*, vol. 237, no. July 2023, p. 112558, 2023, doi: 10.1016/j.matdes.2023.112558.
- [27] National Geographic, “Who do 3D printers harm?,” *Chaos Commun. Congr.*, vol. 1, no. 1, 2018, [Online]. Available: <https://www.ngenespanol.com/ciencia/impacto-ambiental-impresora-3d-tercera-dimension/>
- [28] Science in School, “Plastic food packaging: simply awful, or is it more complicated?,” 2023.
- [29] D. Baird and C. Dimitris, *Polymer Processing*, 2nd ed. Wiley. [Online]. Available: [https://www.eng.uc.edu/~beaucag/Classes/Properties/Books/Donald G. Baird, Dimitris I. Collias - Polymer Processing_ Principles and Design-Wiley \(2014\).pdf](https://www.eng.uc.edu/~beaucag/Classes/Properties/Books/Donald G. Baird, Dimitris I. Collias - Polymer Processing_ Principles and Design-Wiley (2014).pdf)
- [30] J. R. Wagner, E. M. Mount, and H. F. Giles, *Extrusion: The Definitive Processing Guide*

- and Handbook*. 2013. doi: 10.1016/C2010-0-67040-4.
- [31] M. Beltrán and A. Marcilla, “Capítulo IV. Extrusión,” *Tecnol. polimeros*, pp. 99–139, 2012, [Online]. Available: https://books.google.co.ve/books?id=jxilUUn4_QAC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false
 - [32] DIPAC, “Catálogo de productos Febrero 2022,” *E.Econ*, pp. 198–201, 2022, [Online]. Available: <https://dipacmanta.com/wp-content/uploads/2022/07/Catalogo-actualizado-JULIO-2022.pdf-3.pdf>
 - [33] Import Aceros, “Tubo redondo estructural,” 2023. <https://www.importaceros.com/ecuador-quito/tubo-redondo-estructural/>
 - [34] P. Raimonda, “Procesado de Termoplásticos,” *Universidad pública en Montevideo*, 2018. https://eva.fing.edu.uy/pluginfile.php/352747/mod_folder/content/0/Clase6.pdf?forcedownload=1
 - [35] J. Colwill, A. Simeone, O. Gould, E. Woolley, and C. Mulvenna, “Energy-efficient Systems for the Sensing and Separation of Mixed Polymers,” *Procedia CIRP*, vol. 62, no. May 2017, pp. 512–517, 2017, doi: 10.1016/j.procir.2016.06.116.
 - [36] Taizhou JWD Motor, “Catálogo de motores YY 2018,” 2028, [Online]. Available: <https://en.jwdmotor.com/product/60W□90mm-72.html>
 - [37] CPR, “Catálogo de Chumaceras,” 2023.
 - [38] D. Pérez and M. De Jesús, “Tecnologico Nacional De Mexico Instituto Tecnologico De Tuxtla Gutierrez Informe Técnico De Residencia Profesional”.
 - [39] A. Rosero and J. Guerra, “Máquina Tensora Y Tina De Enfriamiento Para La Fabricación De Mangueras Con Plástico Reciclado,” *Univ. Técnica Del Norte* , 2017.
 - [40] Naylamp Mechatronics, “Perfil de aluminio rectangular,” 2020.
 - [41] MISUMI MX, “Catálogo tuercas hexagonales 2015,” 2015, [Online]. Available: <https://mx.misumi-ec.com/es/vona2/detail/221000544413/?HissuCode=HNT1C-ST-M48>
 - [42] Böhler Welding, “Böhler AWS ER308L,” no. 12939, p. 14343, 2015.
 - [43] Amazon, “Ender 3 Pantalla para Creality Ender 3 Pantalla LCD Original con Cable de

Cinta.” <https://www.amazon.com/-/es/CHPOWER-Ender-Pantalla-Creality-Original/dp/B09TKD58KV>

- [44] M. Kiszley, “Bambu Lab P1 / X1 / X1C / X1CC Filament Spool Switcher.,” 2023, [Online]. Available: <https://www.printables.com/model/407688-bambu-lab-p1-x1-x1c-x1cc-filament-spool-switcher-w>
- [45] Radlab, “Catálogo de productos Radlab 2024,” 2024, [Online]. Available: <https://www.radlab.com.ec/shop/?category=filamentos-y-resinas>
- [46] Ministerio de Recursos y Energía, “Costo de la tarifa eléctrica,” 2024, [Online]. Available: <https://www.rekursyenergia.gob.ec/costo-de-la-tarifa-electrica-se-mantiene-para-sectores-residencial-y-comercial-industriales-recibiran-incentivos-por-autogeneracion-de-energia/>
- [47] D. V. Bravo Zúñiga and M. M. Polo Vega, “Flujo de Caja para la toma de decisiones financieras a corto plazo en el sector manufacturero del cantón Cuenca,” pp. 1–106, 2021, [Online]. Available: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/10583>

Anexos



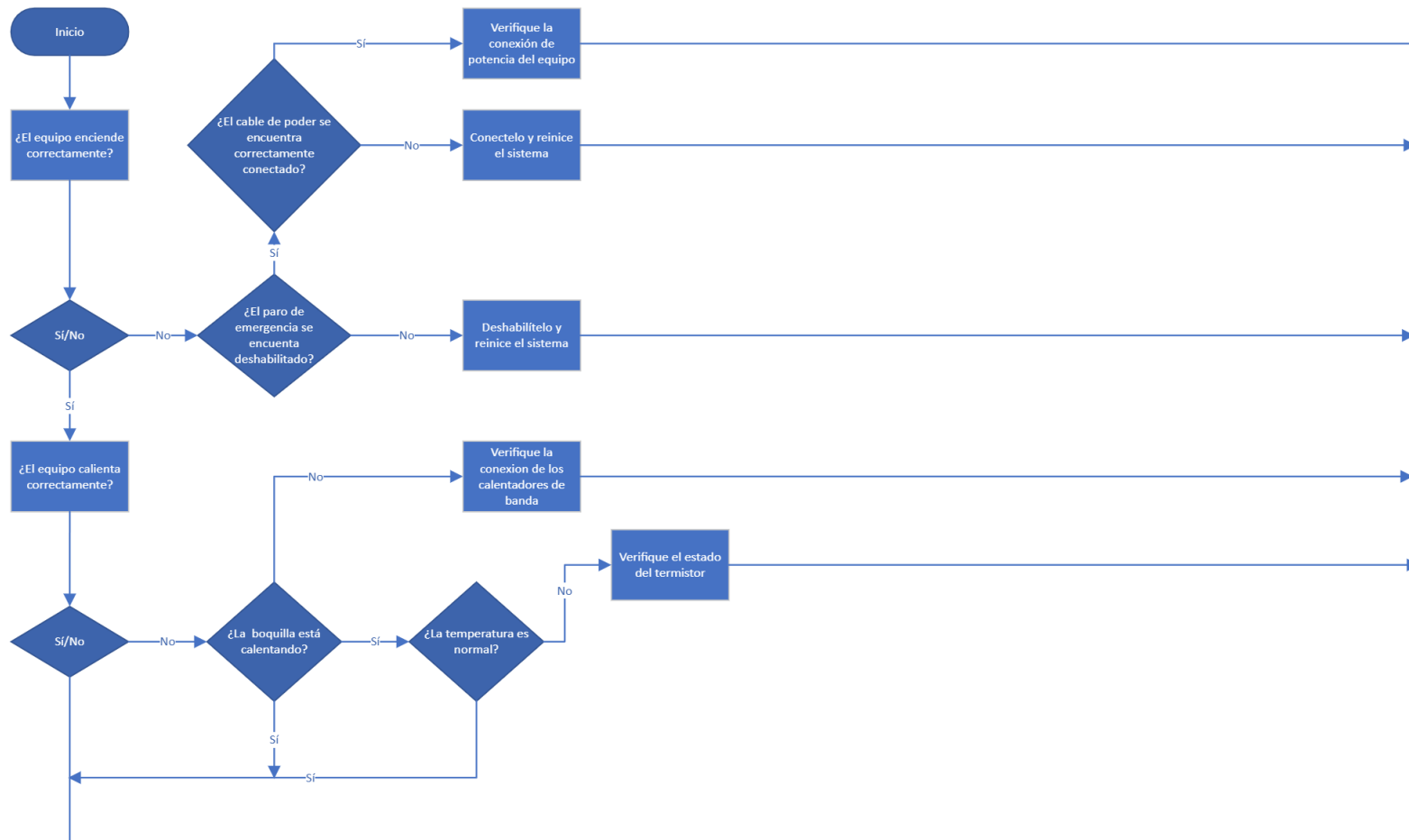
Anexo 1. Pruebas de impresión en distintos colores.



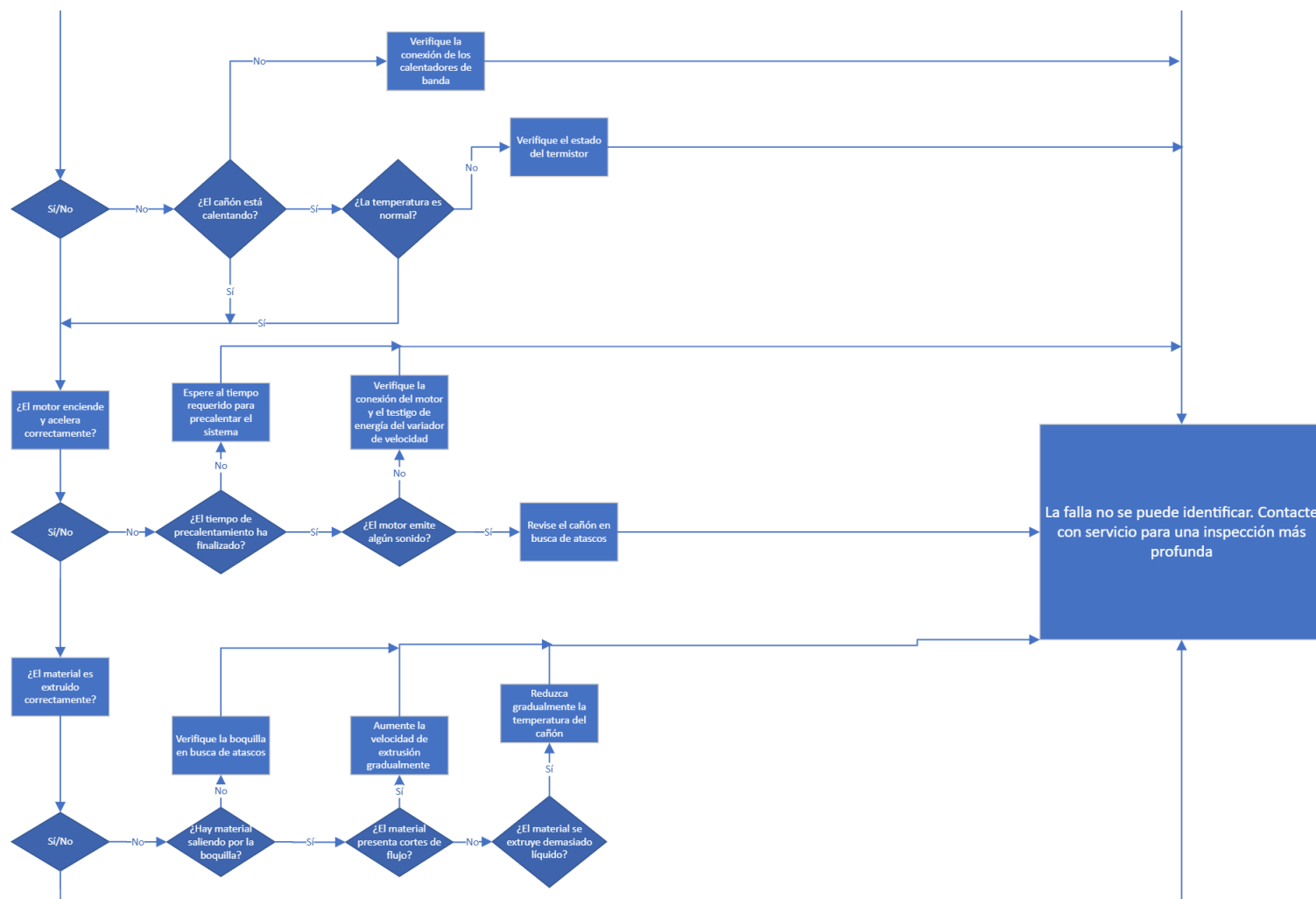
Anexo 2. Distintos diámetros obtenidos en experimentación.



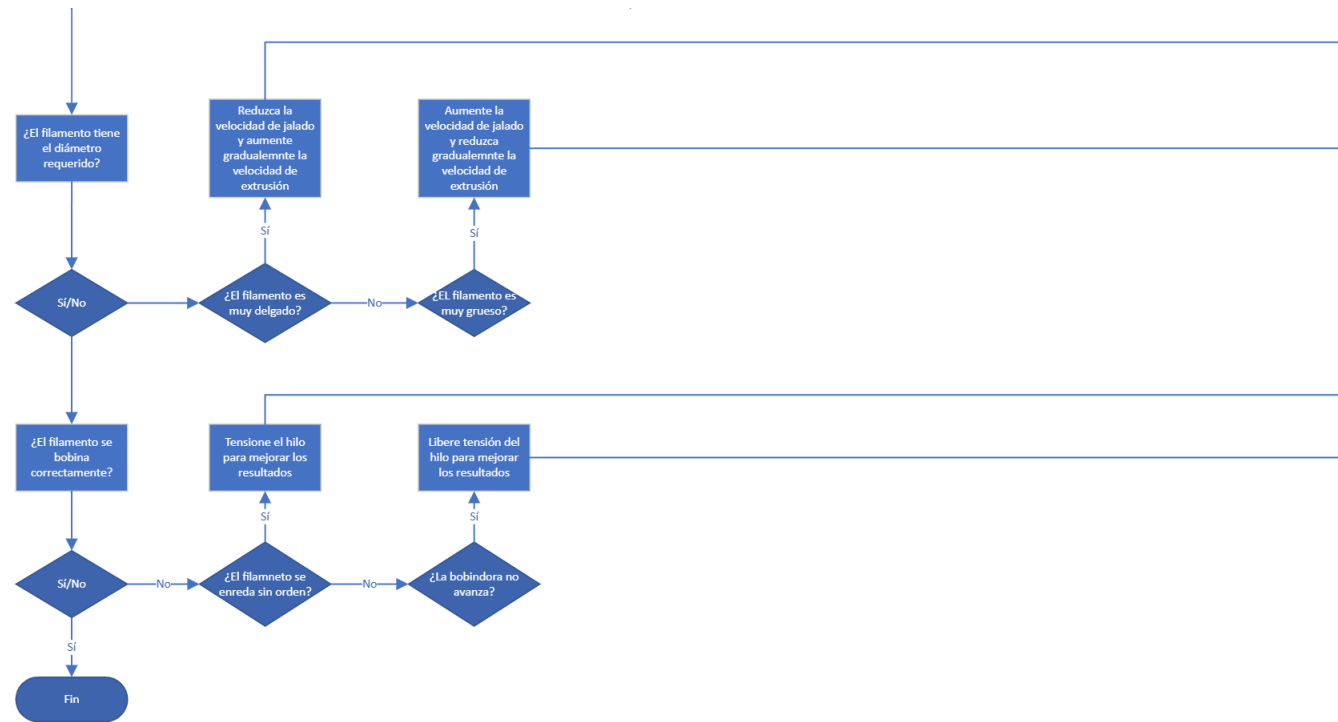
Anexo 3. 100 gramos de filamento imprimible.



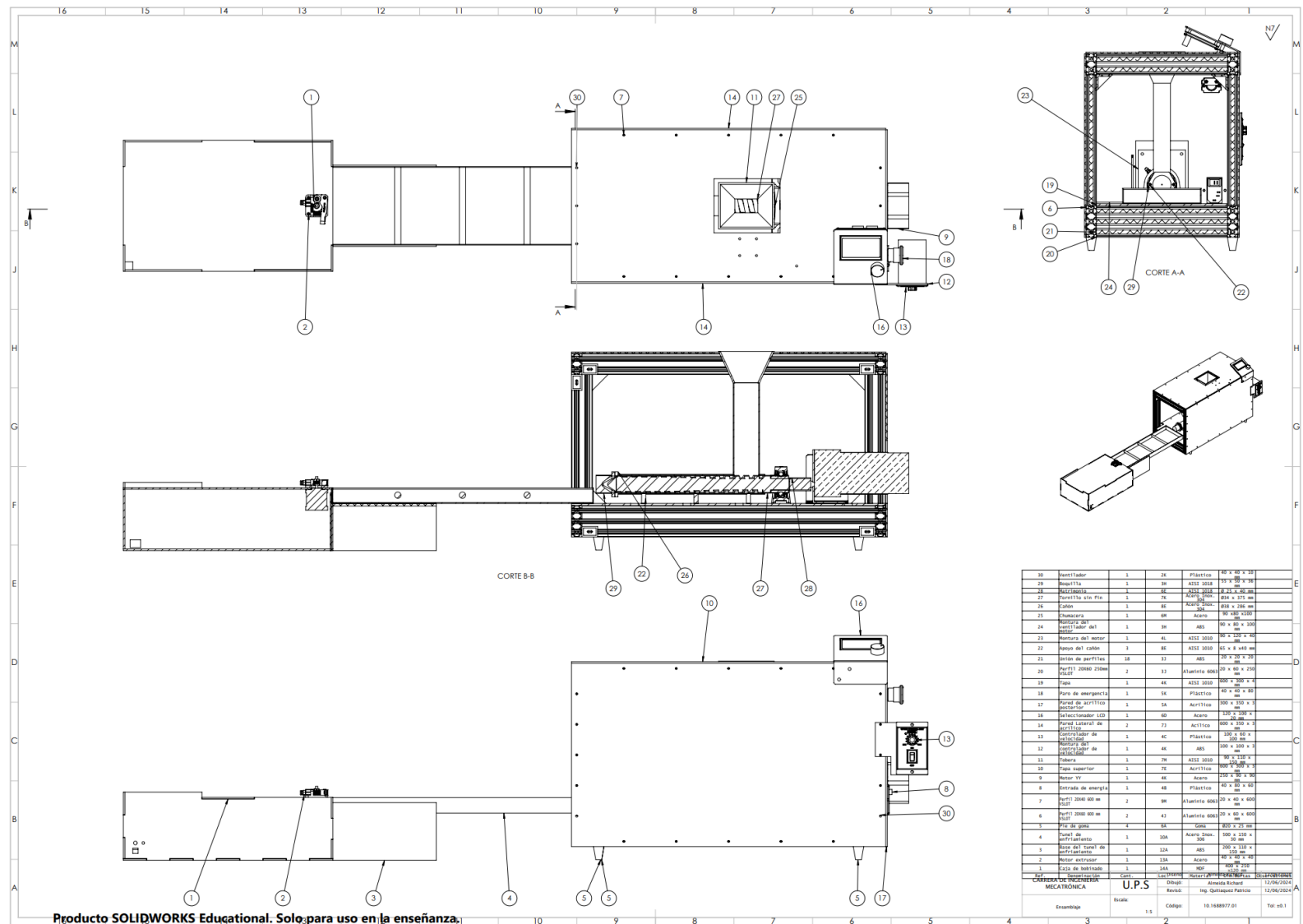
Anexo 4. Diagrama de flujo del proceso completo del sistema.



Anexo 5. Diagrama de flujo del proceso completo del sistema.

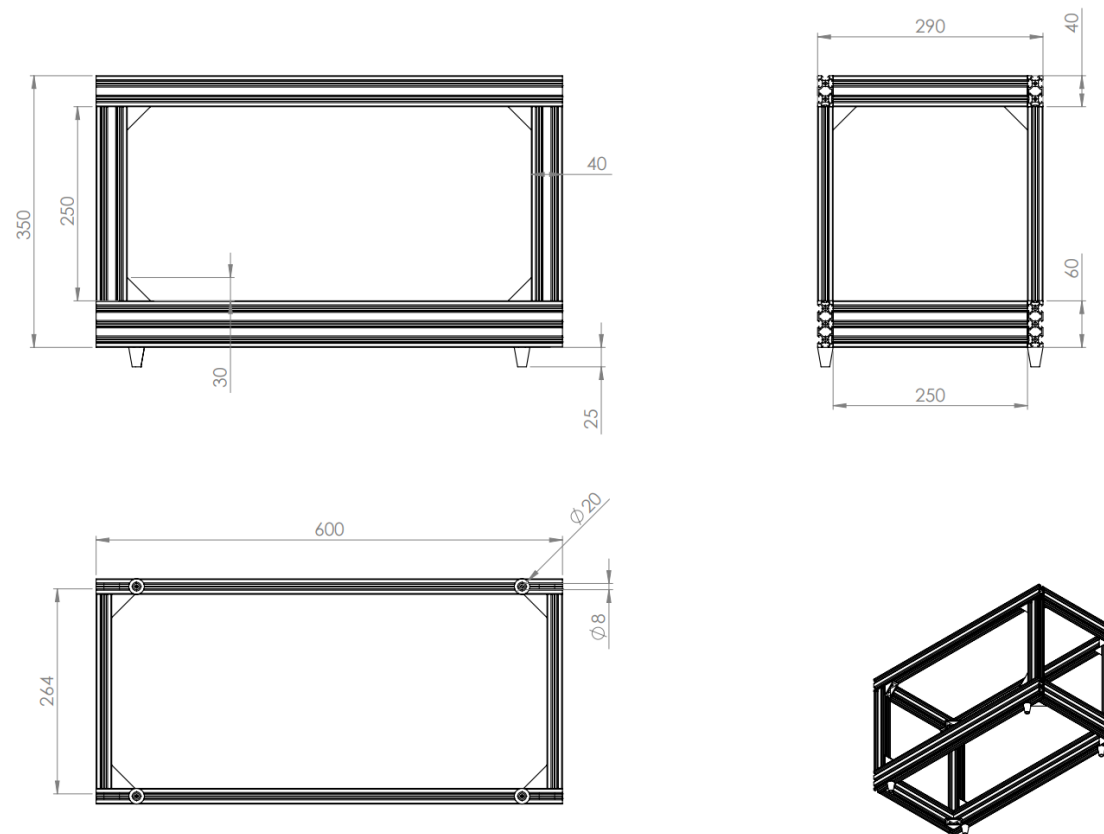


Anexo 6. Diagrama de flujo del proceso completo del sistema.



Anexo 7. Plano de despiece de la Filament Maker.

N6/

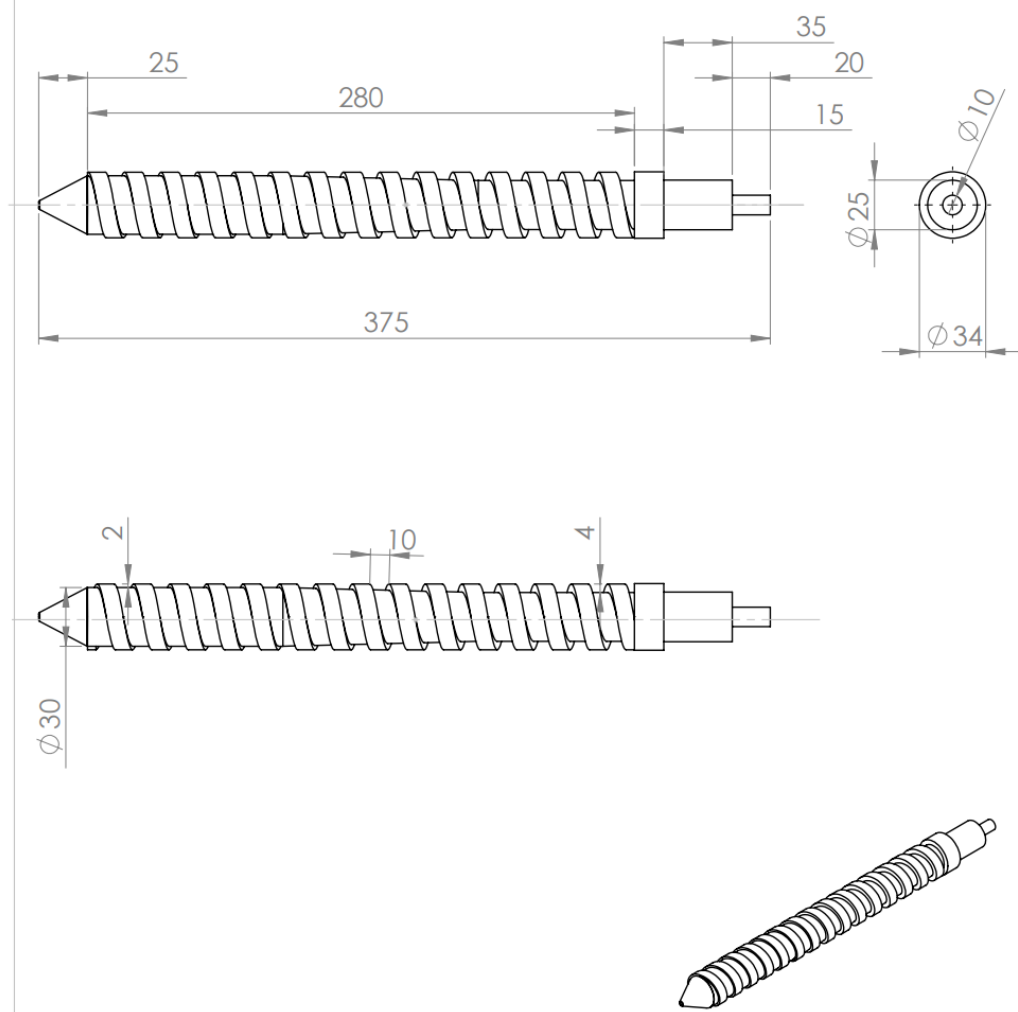


Tratamiento Térmico	N/A	Material:	Aluminio 6063 T5	Dimensiones brutas:	375 x 600 x 290 mm
Recubrimiento	N/A				
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA	U.P.S	Diseño:	Almeida Richard	12/06/2024	
		Dibujó:	Almeida Richard	12/06/2024	
		Revisó:	Ing. Quitiaquez Patricio	12/06/2024	
Estructura	Escala:	Código:	10.1688977.001.01	Tol: ±0.1	
	1:5				

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Anexo 8. Plano de la estructura del sistema.

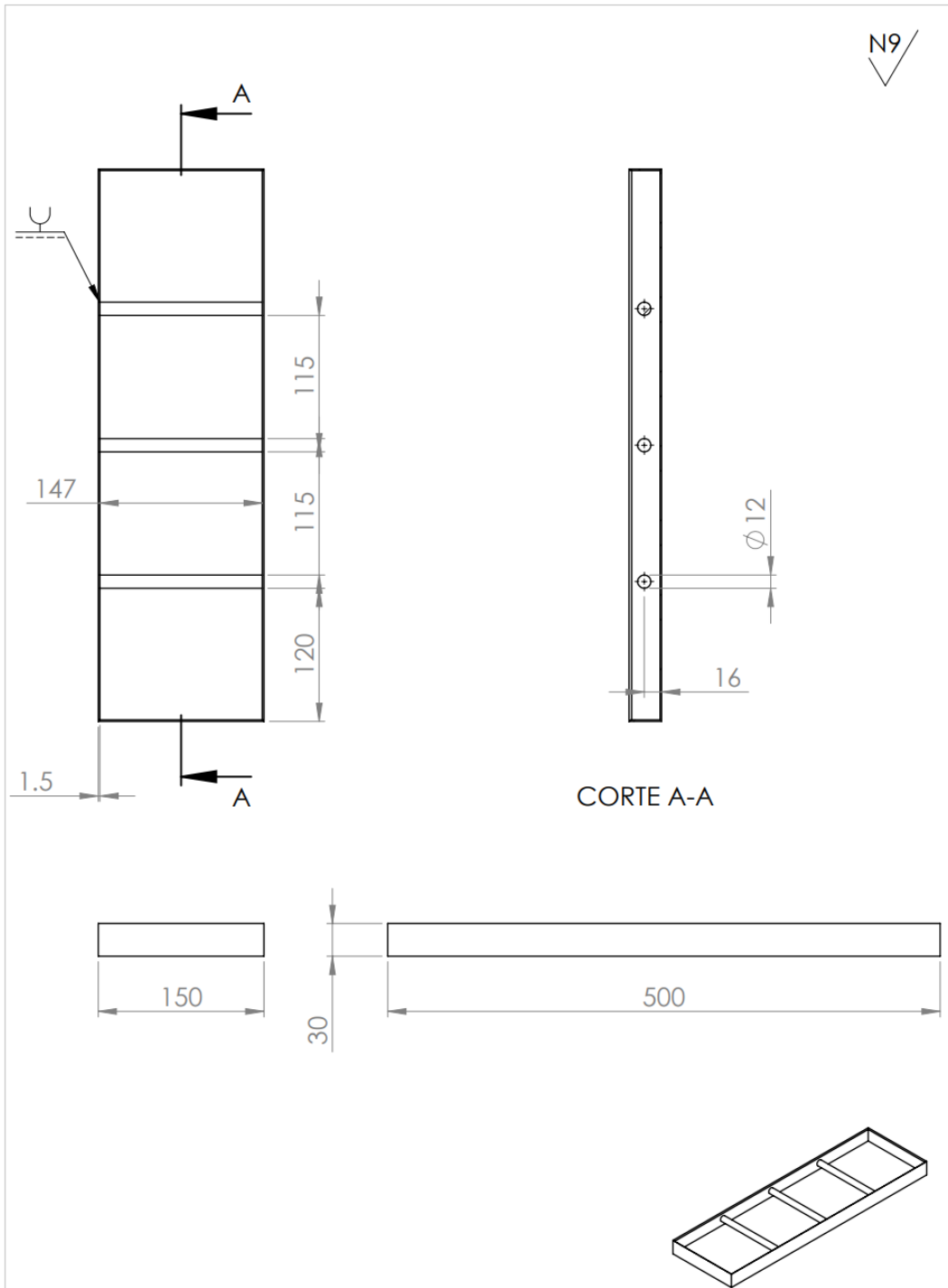
N6



Tratamiento Térmico	N/A	Material: Acero Inox. 304	Dimensiones brutas: ø34 mm x 375 mm	
Recubrimiento	N/A			
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA	U.P.S	Diseño:	Almeida Richard	12/06/2024
		Dibujó:	Almeida Richard	12/06/2024
		Revisó:	Ing. Quitiaquez Patricio	12/06/2024
Tornillo sin fin	Escala: 1:3	Código:	10.1688977.001.01.01	Tol: ±0.1

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

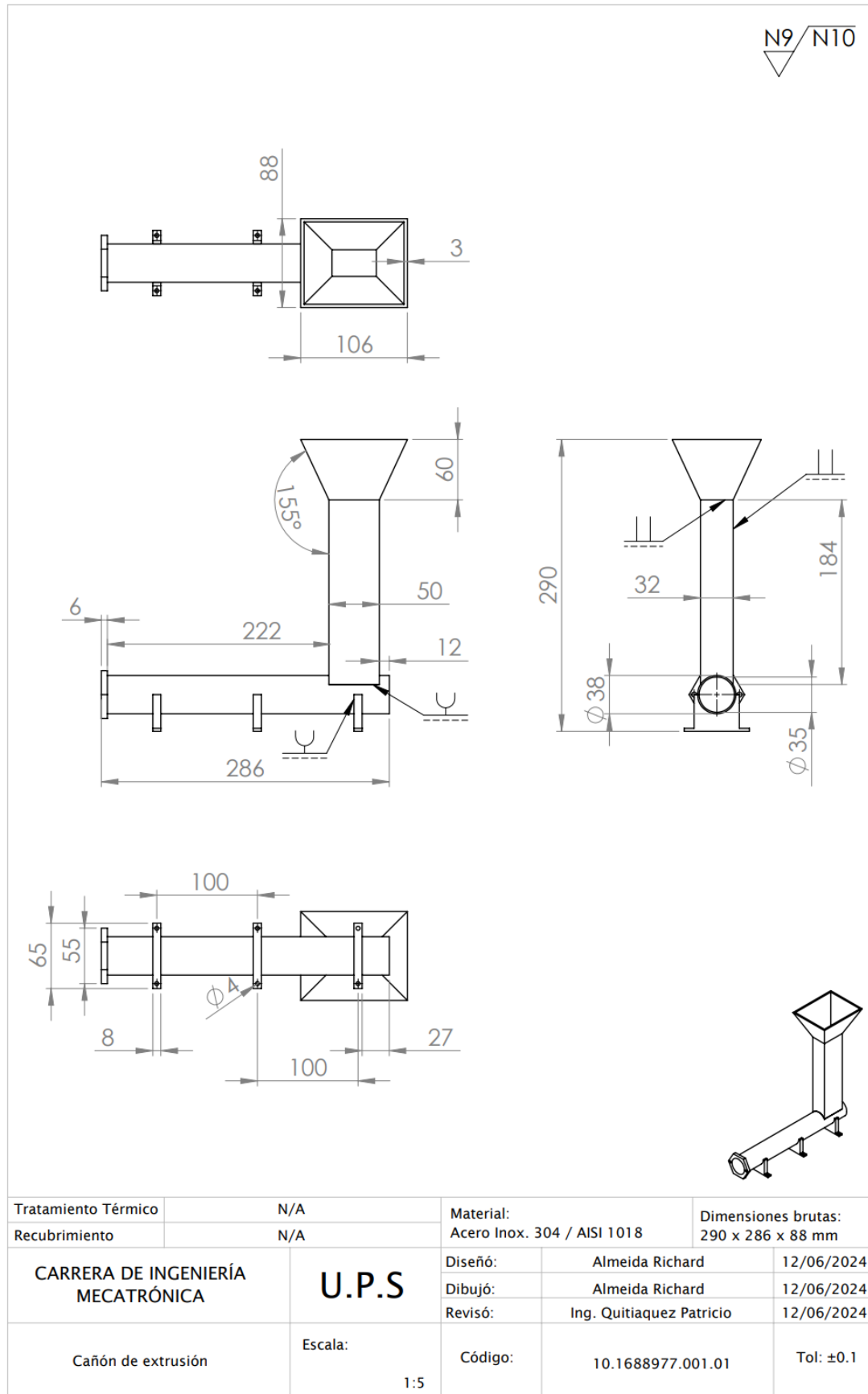
Anexo 9. Plano del tornillo sin fin transportador.



Tratamiento Térmico	N/A	Material: Acero Inox. 304	Dimensiones brutas: 500 x 150 x 30 mm	
Recubrimiento	N/A			
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA	U.P.S	Diseño:	Almeida Richard	12/06/2024
		Dibujó:	Almeida Richard	12/06/2024
		Revisó:	Ing. Quitiaquez Patricio	12/06/2024
CANAL DE ENFRIAMIENTO	Escala: 1:5	Código:	10.1688977.001.01	Tol: ±0.1

Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Anexo 10. Plano del canal de enfriamiento.



Anexo 11. Plano del ensamblaje del cañón.