



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



TEC
de Teziutlán

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE TEZIUTLÁN

Tesis



“Rediseño de prototipo de enrollado de filamento de
impresión 3D para su incorporación al proceso de extrusión”

PRESENTA:

JESÚS ANTONIO RAMÍREZ BANDALA

CON NÚMERO DE CONTROL
19TE0364

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO MECATRÓNICO

CLAVE DEL PROGRAMA ACADÉMICO
IMCT-2010-229

DIRECTOR (A) DE TESIS:
M.S.C. GABRIEL ÁNGEL RAMÍREZ VICENTE

“La Juventud de hoy, Tecnología Del Mañana”

TEZIUTLÁN, PUEBLA, FEBRERO DE 2024



PRELIMINARES

Agradecimientos

En primer lugar, quiero dedicar mis más profundas y sinceras palabras de gratitud a mi madre, Francisca Bandala Córdoba, cuyo amor, paciencia y sabiduría han sido la fuente de mi inspiración y el motor que me ha impulsado a superar cada desafío. Gracias por ser el corazón y el alma de nuestra familia, y por enseñarme, con tu ejemplo, el verdadero significado de la perseverancia y el amor.

A mi padre, aunque la distancia física nos ha separado desde mi infancia, le agradezco profundamente por mantener esa conexión vital a través de los años. Su apoyo y motivación, han sido un pilar importante en mi vida.

De igual manera, mis hermanas, Ana Angélica, Cecilia y Araceli Ramírez Bandala, merecen un agradecimiento muy especial. Gracias por su amor incondicional, su apoyo constante y sus consejos, que siempre han sabido guiarme y darme fuerza en los momentos más difíciles. Su presencia en mi vida es una bendición y una fuente de alegría y motivación constante.

No puedo dejar de mencionar a mis amigos más cercanos: Rosa Izel Casanova Calzada, Juan Uriel Montiel del Carmen, Eduardo González Murrieta y Wendy Mariel Flores Medina. Su amistad, compañerismo y los buenos momentos compartidos han sido un refugio y una gran fuente de felicidad. Gracias por estar siempre ahí, por sus palabras de aliento y por las risas que aligeraron la carga de este viaje.

Un agradecimiento especial y lleno de gratitud se dirige al M.S.C. Ramírez Vicente Gabriel Ángel, mi asesor de tesis, por su invaluable orientación, paciencia y conocimiento. Su guía experta y su compromiso con la excelencia han sido cruciales en el desarrollo y culminación de este trabajo. Estoy profundamente agradecido por su apoyo y enseñanzas, que trascienden el ámbito académico.

A todos aquellos que, directa o indirectamente, han contribuido a mi formación y a la realización de este proyecto. Su apoyo y colaboración han sido esenciales para alcanzar esta meta.

Resumen

Este proyecto se centra en el rediseño de un prototipo destinado al enrollado de filamento para impresión 3D a base de material reciclado, con el propósito de su integración al proceso de extrusión. El estudio se fundamenta en la necesidad de mejorar la eficiencia y calidad del proceso de enrollado de filamento, considerando aspectos técnicos y prácticos en el diseño del prototipo. Se llevó a cabo un análisis exhaustivo del dispositivo existente, identificando áreas de mejora para optimizar el funcionamiento. A través de un enfoque metodológico, se implementaron modificaciones estructurales y funcionales en el prototipo, con el objetivo de maximizar su rendimiento y compatibilidad con la fase de extrusión externa, independiente del prototipo de enrollado presentado en este documento.

En este trabajo se realizó el ajuste y modificaciones correspondientes del diseño actualmente existente, poniendo énfasis en las limitaciones que el modelo pasado presentaba. En este nuevo modelo presenta la implementación de interruptores de límite para realizar el ajuste manual de las dimensiones de la anchura del carrete que se desee ocupar, así como también, los apartados de enrollado y guía de filamento se desarrollaron en base a dos motores Nema 17 debido a la gran precisión para movimientos discretos que estos presentan y el torque necesario para los apartados destinados, además se incorporó un sistema de refrigeración para adecuar la temperatura del material al entrar al equipo.

Palabras claves: Impresión 3D, filamento, enrollado, rediseño.

Introducción

La fabricación aditiva, más conocida como impresión 3D, ha experimentado un crecimiento exponencial en los últimos años, transformando industrias y abriendo nuevas fronteras en la manufactura de productos. Un aspecto crítico para la sostenibilidad y eficiencia de este proceso es el uso de materiales reciclados, lo que plantea desafíos únicos en términos de calidad y manejo del material. En este contexto, el enrollado de filamento se convierte en un eslabón fundamental entre la producción de material reciclado y su uso efectivo en impresoras 3D.

El filamento, al ser creado a través del proceso de extrusión, debe cumplir con estándares rigurosos de uniformidad, resistencia y estabilidad térmica durante el proceso de enrollado para garantizar una impresión 3D precisa y de alta calidad.

Esta investigación aborda un análisis crítico y el rediseño de un prototipo existente, identificando áreas de mejora que permitan optimizar su funcionamiento y, por ende, contribuir a la sustentabilidad del proceso de fabricación aditiva. La relevancia de este estudio radica en su enfoque práctico y técnico, buscando no solo avanzar en el campo de la ingeniería y diseño de dispositivos mecánicos, sino también promover prácticas de reciclaje y reutilización de materiales en la industria de la impresión 3D.

El desarrollo de este proyecto se fundamenta en un enfoque metodológico riguroso, que incluye el análisis exhaustivo del prototipo existente, la identificación de limitaciones y la implementación de mejoras estructurales y funcionales.

Este trabajo, por tanto, se sitúa en la intersección de la ingeniería mecánica, el diseño de prototipos y la sostenibilidad, ofreciendo aportaciones valiosas para la industria de la impresión 3D y la gestión de materiales reciclados. Además, este estudio aborda la necesidad imperiosa de considerar la sostenibilidad y la ecoeficiencia en la fabricación de filamento para impresión 3D.

ÍNDICE GENERAL

PRELIMINARES	2
Agradecimientos	3
Resumen	4
Introducción	5
CAPÍTULO I	13
Generalidades del proyecto	13
1.1 Descripción de la institución	14
1.1.1 Misión	14
1.1.2 Visión	15
1.1.3 Ubicación	15
1.1.4 Estructura orgánica	16
1.2 Planteamiento del problema	17
1.3 Preguntas	18
1.4 Objetivos	18
1.4.1 Objetivo general	18
1.4.2 Objetivos específicos	18
1.5 Hipótesis	19
1.6 Justificación	19
1.7 Alcances	20
1.8 Limitaciones	21
1.9 Antecedentes	22
1.9.1 Estado del arte	22
1.9.2 Máquinas Comercializadas de acondicionamiento final de filamento para impresión 3D	30
1.9.2.1 Filawinder	30
1.9.2.2 Filabot Spooler	31
1.9.2.3 Wellzoom	32
CAPÍTULO II	33
Marco teórico	33
2.1 Generalidades de la impresión 3D	34
2.1.1 Impresión 3D	34

2.1.2	Tecnologías de impresión 3D	34
2.1.2.1	Modelado por deposición fundida (FDM).....	35
2.1.2.2	Estereolitografía (SLA)	36
2.1.2.3	Sinterizado selectivo por láser (SLS)	36
2.1.2.4	Chorro de aglomerante	37
2.1.2.5	Chorro de Material	38
2.1.3	Impresora 3D	39
2.1.4	Funcionamiento de la Impresión 3D	40
2.1.5	Extrusión de materiales	40
2.2	Filamento para Impresión 3D	41
2.2.1	Características del filamento para impresión 3D	41
2.2.2	Fabricación de filamento 3D	42
2.2.3	Termoplásticos	43
2.2.4	Tipos de plásticos empleados para la impresión 3D.....	43
2.2.4.1	PLA	44
2.2.4.2	PETG	44
2.2.4.3	ABS.....	45
2.2.5	Importancia del embobinado del filamento para impresión 3D	46
2.3	Componentes mecánicos y electrónicos	47
2.3.1	Arduino	47
2.3.1.1	Placas de programación Arduino	47
2.3.1.2	Protocolos de comunicación.....	48
2.3.2	Motores paso a paso.....	49
2.3.3	Driver DRV8825	50
2.3.4	Sensor de Temperatura infrarrojo MLX90614	50
2.3.5	Rodamientos	50
CAPÍTULO III		52
Desarrollo y metodología		52
3.1	Análisis e investigación	54
3.2	Requisitos.....	56
3.3	Diseño	57
3.3.1	Enrollador	57

3.3.1.1 Iteración 1	58
3.3.1.2 Iteración 2	59
3.3.1.3 Iteración 3	69
3.3.2 Guía del filamento	70
3.3.2.1 Iteración 1	70
3.3.2.2 Iteración 2	71
3.3.2.3 Iteración 3	72
3.3.3 Sistema de enfriamiento.....	73
3.4 Construcción.....	74
3.4.1 Elaboración de piezas con impresión 3D	74
3.4.2 Esquema eléctrico	75
3.4.3 Ensamble del prototipo	77
3.4.4 Cálculos para el control de velocidad de enrollado	78
3.5 Programación.....	79
3.5.1 Ingreso de valores	79
3.5.2 Mecanismo de enrollado	81
3.5.2.1 Motor del soporte de carrete.....	83
3.5.2.2 Motor de guía de filamento	85
3.5.3 Sistema de enfriamiento.....	88
CAPÍTULO IV	91
Resultados	91
4.1 Resultados	92
4.1.1 Placa PCB.....	92
4.1.2 Diseño final.....	93
4.1.2.1 Diseño final del prototipo.....	93
4.1.3 Descripción del diseño obtenido	94
4.1.3.1 Base	95
4.1.3.2 Componentes	96
4.1.3.3 Carcasa	97
4.2 Pruebas	97
4.2.1 Interacción con el programa	97
4.2.2 Simulación del proceso.....	101

CAPITULO V	104
Conclusiones y trabajos futuros	104
5.1 Conclusiones	105
5.2 Trabajos Futuros.....	106
CAPITULO VI	108
Competencias desarrolladas	108
6.1 Competencias desarrolladas y/o aplicadas	109
6.1.1 Competencias genéricas	109
6.1.2 Competencias específicas.....	109
6.1.3 Competencias aplicadas.....	109
CAPITULO VII	111
Fuentes de Información	111
7.1 Referencias	112
CAPÍTULO VIII	117
Anexos	117

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación Geográfica del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán.....	15
Figura 2. Estructura orgánica del instituto superior de Teziutlán.	16
Figura 3. Mecanismo de recolección de filamento del trabajo de José Alberto Esquivel Cubillo, José Martin Jiménez Abarca y Adrián Josué Mena Valverde.	23
Figura 4. Estación de enrollado.	23
Figura 5. Mecanismo de enrollado.	24
Figura 6. Mecanismo de posicionamiento del filamento en el carrete.	25
Figura 7. Método de recolección de filamento PLA a base de material reciclado del trabajo de Olger Jeyson Cutipa Mamani y Edgar Arián Rodríguez Flores.	26
Figura 8. Sistema de bobinado del trabajo de Juan David Navarro Nájera y Yorman Andrés Torres Páez.....	27
Figura 9. Sistema de enrollado del proyecto de Giancarlo Ramos Espinosa y Guillermo Andrés Lombana Gómez.....	28
Figura 10. Sistema de embobinado del trabajo de Gonzalo García Hernantes.....	30
Figura 11. Enrollador de filamento “Filawinder”.	31
Figura 12. Enrollador de filamento “Filabot Spooler”.	32
Figura 13. Máquina automática de bobinado “Wellzoom”.....	32
Figura 14. Impresión 3d.	34
Figura 15. FDM Modelado por Deposición Fundida.	35
Figura 16. Estereolitografía.	36
Figura 17. Sinterizado selectivo por láser (SLS).	37
Figura 18. Chorro de aglomerante.....	38
Figura 19. Chorro de Material.....	38
Figura 20. Impresora 3D.	39
Figura 21. Impresión por capas.	40
Figura 22. Fases de la metodología seleccionada.	53
Figura 23. Diseño del prototipo actual.	54
Figura 24. Carretes para filamento de impresión 3D	55
Figura 25. Primera iteración del diseño del apartado de enrollado.	58
Figura 26. Diagrama de fuerza cortante y momento flexionante del eje.	60
Figura 27. Especificaciones del motor nema 17.	63
Figura 28. Análisis estático (Von Mises).....	64

Figura 29. Análisis estático (Desplazamiento del eje).....	65
Figura 30. Análisis estático (deformaciones unitarias).	65
Figura 31. Tabla de factores de cálculo para rodamientos rígidos de bolas.	67
Figura 32. Accesorio con cuerda para el eje.	68
Figura 33. Segunda iteración del diseño del apartado de enrollado.	69
Figura 34. Tercera iteración del diseño del apartado de enrollado.	70
Figura 35. Primera iteración del diseño del apartado de la guía del filamento.....	71
Figura 36. Segunda iteración del diseño del apartado de la guía del filamento.	72
Figura 37. Tercera iteración del diseño del apartado de la guía del filamento.....	73
Figura 38. Diseño del sistema de enfriamiento.....	74
Figura 39. Impresión de piezas en impresora 3D.....	75
Figura 40. Esquema eléctrico de los elementos electrónicos con la placa Arduino MEGA 2560, realizado en el software "Fritzing".	76
Figura 41. Ensamble del prototipo de enrollado.....	77
Figura 42. Definir teclado matricial 4x4	80
Figura 43. Función para solicitar un valor numérico.	81
Figura 44. Variables y constantes para motor 1.....	82
Figura 45. Variables y constantes para motor 2.....	83
Figura 46. Función para configurar el motor 1.	84
Figura 47. Función de Interrupción del Timer para el Motor 1.	85
Figura 48. Configurar el motor 2 para su colocación inicial.....	86
Figura 49. Configurar los interruptores de límite para el sentido del motor a la izquierda. 87	
Figura 50. Configurar los interruptores de límite para el sentido del motor a la derecha. . 87	
Figura 51. Sincronizar el movimiento del motor 2 para accionarse con las revoluciones del motor 1.	88
Figura 52. Variables y constantes para el control de temperatura.	89
Figura 53. Lectura del sensor infrarrojo MLX90614.	89
Figura 54. Accionamiento del ventilador por medio del PWM.	90
Figura 55. Vista 3D de la placa PCB diseñada en el software Proteus.	92
Figura 56. Placa PCB elaborada físicamente.	92
Figura 57. Visualización del diseño final del prototipo de enrollado.....	93
Figura 58. Visualización del diseño final del prototipo de enrollado.....	94
Figura 59. Prototipo final construido físicamente.	94

Figura 60. Vista explosionada del diseño final.	95
Figura 61. Base del diseño final.	96
Figura 62. Componentes montados en la base.	96
Figura 63. Carcasa del diseño final.	97
Figura 64. Posicionamiento de la guía.	98
Figura 65. Velocidad ingresada por el usuario.	98
Figura 66. Temperatura ingresada por el usuario.	99
Figura 67. Opciones para iniciar o reconfigurar.	99
Figura 68. Proceso en ejecución.	100
Figura 69. Programa finalizado por el usuario.	100
Figura 70. Pruebas de funcionamiento del enrollador.	101
Figura 71. Temperatura establecida a 25°.	102
Figura 72. Prueba del apartado de enrollado en coordinación con la guía del filamento.	103

CAPÍTULO I

Generalidades del proyecto

1.1 Descripción de la institución

El Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán es una institución de educación superior regulado por el organismo nacional conocido como Tecnológico Nacional de México, el ITST está ubicado en el municipio de Teziutlán en el Estado de Puebla de la república mexicana, con domicilio en Fracción I y II S/N en la localidad de aire libre, Cp. 73960.

El Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán establece, implementa, mantiene y mejora continuamente su Sistema de Gestión de Calidad de acuerdo a los requisitos de la Norma ISO 9001:2015.

Actualmente el ITST ofrece 8 licenciaturas que como resultado del esfuerzo para el cumplimiento de estándares de calidad educativa el instituto ha obtenido acreditaciones internacionales. Las carreras con las que cuenta son:

- Ingeniería en gestión empresarial.
- Ingeniería en industrias alimentarias.
- Ingeniería en sistemas computacionales.
- Ingeniería industrial.
- Ingeniería informática.
- Ingeniería mecatrónica.
- Ingeniería en animación digital y efectos visuales.
- Licenciatura en turismo.

1.1.1 Misión

El instituto Tecnológico Superior de Teziutlán tienen como Misión, formar Profesionales que se constituyan en agentes de cambio y promuevan el desarrollo integral de la sociedad, mediante la implementación de procesos académicos de calidad.

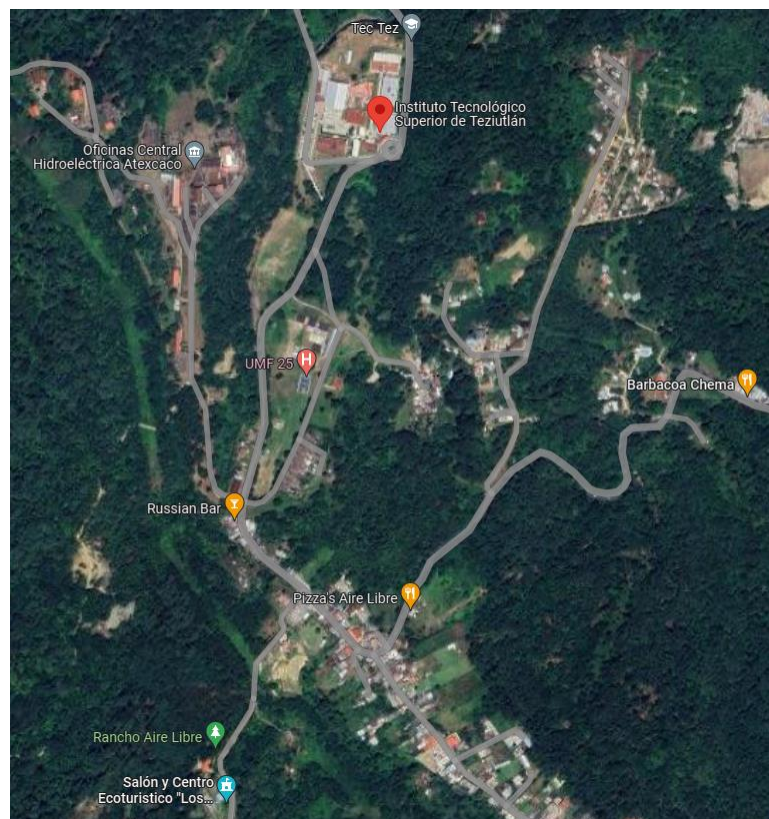
1.1.2 Visión

Llegar a ser la Institución de Educación Superior Tecnológica más reconocida en el Estado de Puebla, que ofrezca un proceso de Enseñanza – Aprendizaje certificado, comprometido con la excelencia académica y la formación integral del Alumno, contribuyendo al desarrollo sustentable, económico, político y social de nuestro Estado.

1.1.3 Ubicación

A continuación, se presenta la ubicación geográfica del Instituto tecnológico superior de Teziutlán, la cual fue obtenida a través de Google Maps.

Figura 1. Ubicación Geográfica del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán.



Fuente: (Google Maps, 2023)

A continuación, se muestran los datos de contacto con los que actualmente cuenta el ITST.

Teléfonos:

- +(52)2313114001
- +(52)2313114002

Correo:

- itsteziutlan@hotmail.com

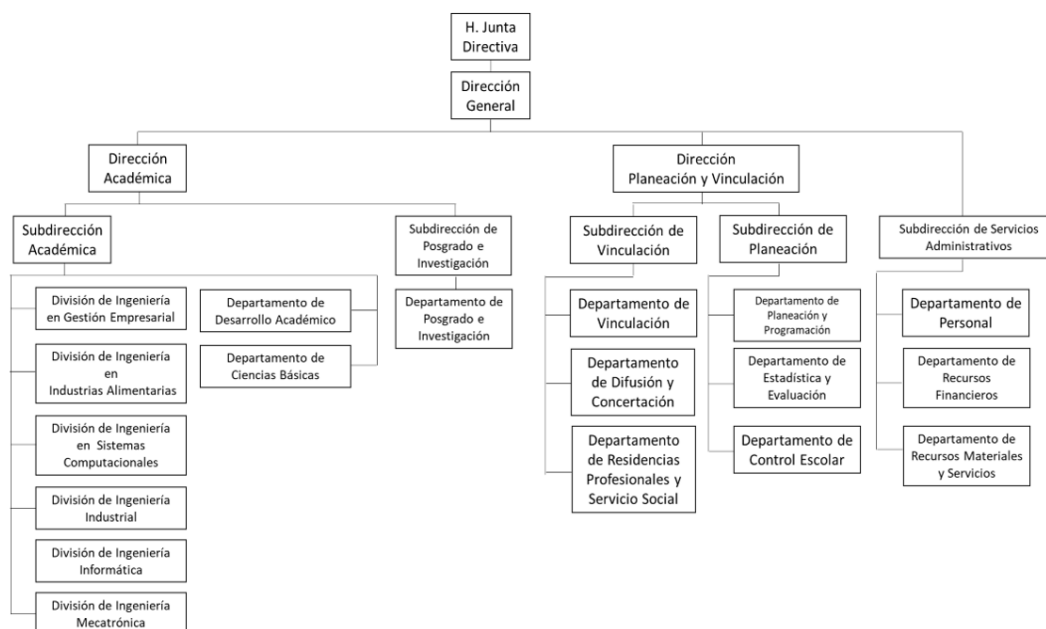
Sitio Web:

- <http://www.teziutlan.tecnm.mx/>

1.1.4 Estructura orgánica

En la siguiente ilustración se muestra la estructura orgánica con la que cuenta el Instituto tecnológico superior de Teziutlán, la imagen fue obtenida del sitio web oficial de la institución.

Figura 2. Estructura orgánica del instituto superior de Teziutlán.



Número de registro: **GEP1719/09/00012A/11/18**

Última fecha de modificación: **NOVIEMBRE DE 2018**

Fuente: <https://teziutlan.tecnm.mx/index.php/estructura-organica/>

1.2 Planteamiento del problema

En el Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, la impresión 3D, y en particular el Modelado por Deposición Fundida (FDM) utilizando filamento plástico, se ha convertido en una herramienta indispensable en el ámbito académico y de investigación. No obstante, a pesar de la accesibilidad a esta tecnología proporcionada por el instituto, surge un problema significativo: los costos asociados con el material de impresión no son completamente cubiertos por la institución. Esta situación resulta en una carga económica adicional para estudiantes y docentes, quienes se ven obligados a financiar por su cuenta el filamento necesario para sus proyectos.

La búsqueda de alternativas económicas en el Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán ha llevado al uso de filamento producido a partir de materiales reciclados, como las botellas de PET. Esta solución ofrece un alivio económico y beneficios ambientales, pero introduce nuevos desafíos. Los métodos actuales para crear filamento a partir de botellas PET tienen limitaciones, especialmente en términos de la longitud de filamento que pueden generar. Esto implica un esfuerzo adicional para unir segmentos durante el enrollado continuo.

En respuesta a ello, en el ITST cuenta con una propuesta de diseño para el sistema de enrollado de filamento. Sin embargo, este diseño presenta ciertas limitaciones, siendo algunas de ellas su estructura relativamente voluminosa, la falta de adaptabilidad a diferentes tamaños de carretes del mercado y errores en su funcionamiento. Esta situación subraya la necesidad de un rediseño que ofrezca una solución más compacta y ajustable, capaz de manejar eficientemente las particularidades del filamento. Tal mejora no solo facilitaría la operación y manejo del material, sino que también elevaría la calidad de los prototipos producidos por estudiantes y docentes, reduciendo costos operativos y enriqueciendo el proceso educativo en el instituto.

1.3 Preguntas

¿Cómo afecta la inclusión de interruptores de límite ajustables a la capacidad del prototipo para manejar carretes de diferentes tamaños y formas?

¿Mejora la precisión del enrollado del filamento la implementación de interruptores de límite ajustables en comparación con un sistema sin esta capacidad?

¿Cuáles son las posibles limitaciones o desafíos en la implementación de interruptores de límite en el sistema de enrollado de filamento para impresión 3D y cómo podrían superarse?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Rediseñar y optimizar un sistema de enrollado de filamento para impresoras 3D en el Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, mejorando su eficiencia y facilitando la integración con el proceso de extrusión, a través de la mejora estructural y funcional del prototipo existente.

1.4.2 Objetivos específicos

- Analizar y evaluar el prototipo de enrollado de filamento de impresión 3D actualmente diseñado para el proceso de extrusión, identificando sus limitaciones y áreas de mejora.
- Realizar una investigación sobre los procesos de enrollado de filamento de impresión 3D existentes y analizar los desafíos y oportunidades asociados.
- Establecer los requisitos específicos del rediseño del prototipo de enrollado.
- Elaborar un diseño del prototipo de enrollado seleccionado, utilizando herramientas de modelado y diseño asistido por computadora (CAD).
- Desarrollar un control de velocidad que permita ajustar los parámetros del proceso de enrollado.
- Realizar pruebas en el prototipo para evaluar su funcionamiento, identificar posibles problemas y proponer mejoras a futuro.

1.5 Hipótesis

La implementación de interruptores de límite ajustables manualmente en la guía del sistema de enrollado, logrará adaptar la distribución del filamento según las dimensiones específicas de distintos tipos de carretes. Esta flexibilidad permitirá una mayor versatilidad en el prototipo, mejorando su capacidad para trabajar con diferentes carretes.

1.6 Justificación

La presente tesis, centrada en el rediseño de un sistema de enrollado de filamento para impresoras 3D en el Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán (ITST), aborda desafíos clave en la intersección de la tecnología de impresión 3D, la sostenibilidad y la eficiencia en la educación y la investigación. Esta investigación es significativa debido a su potencial para mejorar la eficiencia del proceso de extrusión y enrollado, garantizando un producto de alta calidad y coherente en sus propiedades físicas, y reduciendo la generación de residuos plásticos.

El rediseño propuesto se enfoca en optimizar la recolección ordenada y precisa del filamento reciclado, a través de un enrollado uniforme y compacto. Esta mejora no solo optimiza el enrollado en la línea de reciclaje, maximizando la capacidad de producción, sino que también juega un papel crucial en el control de calidad del filamento reciclado. Al mantener una distribución uniforme del material, se evitan inconsistencias y posibles defectos en el proceso de impresión, asegurando un resultado final de alta calidad.

La relevancia de esta investigación se amplía en el contexto de un crecimiento acelerado en la tecnología de impresión 3D y la consiguiente preocupación ambiental debido a la generación de residuos de plástico. El rediseño de un sistema de enrollado que promueve la reutilización de desechos plásticos y reduce la dependencia de plásticos vírgenes, alinea directamente este proyecto con los principios de desarrollo sostenible y disminución de la huella ambiental asociada a la impresión 3D.

Además, el enfoque sostenible del proyecto tiene un impacto significativo en la reducción de costos para el ITST. La reutilización de materiales para la elaboración de los filamentos disminuye la necesidad de adquirir nuevos materiales, lo que se traduce en una optimización de costos y una mejor administración del presupuesto institucional. Esto no solo beneficia al instituto, sino también a los estudiantes y docentes, quienes actualmente enfrentan una carga económica adicional para financiar el filamento necesario para sus proyectos.

1.7 Alcances

Esta tesis se enfoca en el rediseño y mejora de un prototipo existente de sistema de enrollado de filamento para impresoras 3D en el Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán. El alcance del trabajo incluye una evaluación detallada del diseño actual, identificando sus limitaciones y áreas de mejora, particularmente en términos de eficiencia, compatibilidad con diferentes tamaños de carretes y adaptabilidad al proceso de extrusión. Se propondrá un rediseño que incorpore interruptores de límite ajustables manualmente y un sistema de refrigeración, mejorando así la versatilidad y eficiencia del prototipo.

El trabajo contempla la implementación de soluciones técnicas para manejar las particularidades del filamento reciclado, como la variabilidad en sus propiedades físicas y la necesidad de un control preciso de la temperatura. Este enfoque no solo busca mejorar la calidad del filamento producido, sino también promover prácticas sostenibles a través del uso de material reciclado. El proyecto se limita a la fase de diseño, construcción y pruebas iniciales del prototipo rediseñado, sin incluir una implementación a gran escala.

Se espera que el prototipo resultante sea una herramienta útil y eficiente para el Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, proporcionando una solución económica y ambientalmente sostenible para la producción de filamento para impresión 3D.

Además, este estudio no solo busca resolver un problema práctico en el ITST sino también contribuir a la literatura existente sobre las tecnologías de impresión 3D y

el reciclaje de plásticos. Al ofrecer un caso práctico de una solución innovadora, este trabajo se posiciona como un aporte significativo tanto para la comunidad académica como para la práctica en el campo de la impresión 3D y el reciclaje de materiales.

1.8 Limitaciones

Este estudio sobre el rediseño del sistema de enrollado de filamento para impresión 3D en el Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán enfrenta diversas limitaciones que son importantes para contextualizar los resultados y conclusiones. Una limitación significativa radica en los recursos y equipamiento disponibles en el Instituto, los cuales pueden restringir el alcance de las mejoras que se pueden implementar en el prototipo. Las limitaciones presupuestarias y el acceso a ciertas tecnologías o materiales pueden influir en la ejecución de las modificaciones propuestas.

Además, es importante considerar que el diseño y las pruebas del prototipo se realizan en un entorno simulado no necesariamente representa las condiciones de una operación real. Esto significa que los resultados obtenidos podrían variar cuando el sistema se implemente en un proceso final, ya que, actualmente no se cuenta con un sistema de extrusión funcional dentro del instituto para llevar a cabo estos estudios. De la misma manera, otra limitación a tener en cuenta es la variabilidad en la calidad y las propiedades de los materiales reciclados, que pueden afectar el rendimiento del sistema de enrollado. Esta variabilidad incluye diferencias en la composición, limpieza y consistencia del material reciclado.

La generalización de los resultados también presenta una limitación. Aunque el prototipo está diseñado para satisfacer las necesidades específicas del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán, las conclusiones y recomendaciones podrían no ser completamente aplicables en otros contextos o configuraciones de impresoras 3D que utilicen diferentes tipos de filamento o procesos de extrusión.

Finalmente, aunque el proyecto busca reducir la huella ambiental mediante el uso de materiales reciclados, no se realiza un análisis exhaustivo del impacto ambiental

total del sistema rediseñado. Las afirmaciones relacionadas con la sostenibilidad se basan principalmente en la premisa de la reutilización de materiales, y no en un estudio detallado del ciclo de vida del producto.

1.9 Antecedentes

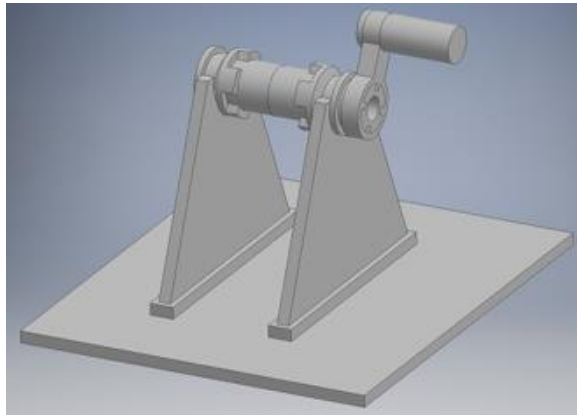
1.9.1 Estado del arte

La transformación o reciclaje de residuos plásticos en material nuevamente funcional no es reciente; de hecho, ha existido durante varias décadas. Sin embargo, con los avances en tecnología y la creciente conciencia sobre los problemas ambientales asociados con los plásticos, el reciclaje de plásticos para la fabricación de filamento 3D ha ganado impulso en los últimos años.

En este contexto, tomando relevancia al apartado del enrollado final de filamento en el proceso de extrusión de plásticos reciclados, se han encontrado algunos antecedentes relevantes para este trabajo, como lo es el proyecto de graduación titulado “Diseño de una maquina extrusora de filamento termoplástico alimentada por desechos plásticos” (Cutipa Mamani & Rodríguez Flores, 2020), elaborado por José Alberto Esquivel Cubillo, José Martin Jiménez Abarca y Adrián Josué Mena Valverde, presentada en la Universidad de Costa Rica en el 2008. En este proyecto, desarrollaron una propuesta de una maquina extrusora que utiliza desechos plásticos para producir filamento de uniformidad suficiente para su uso en impresión 3D por deposición de termoplástico, así como también, se desarrolló un diseño que permite recolectar el filamento extruido.

El mecanismo de recolección para el filamento extruido, se diseñó en base a un carrete con unas dimensiones específicas, el mecanismo incluye en el diseño una manivela, por lo que da a entender que funciona de manera manual, de la misma forma, las piezas que se muestran en dicho trabajo mencionan que serán impresas en 3D, con un fácil ensamble. En el proyecto únicamente se muestra el diseño elaborado, especificando que se realizara a futuro.

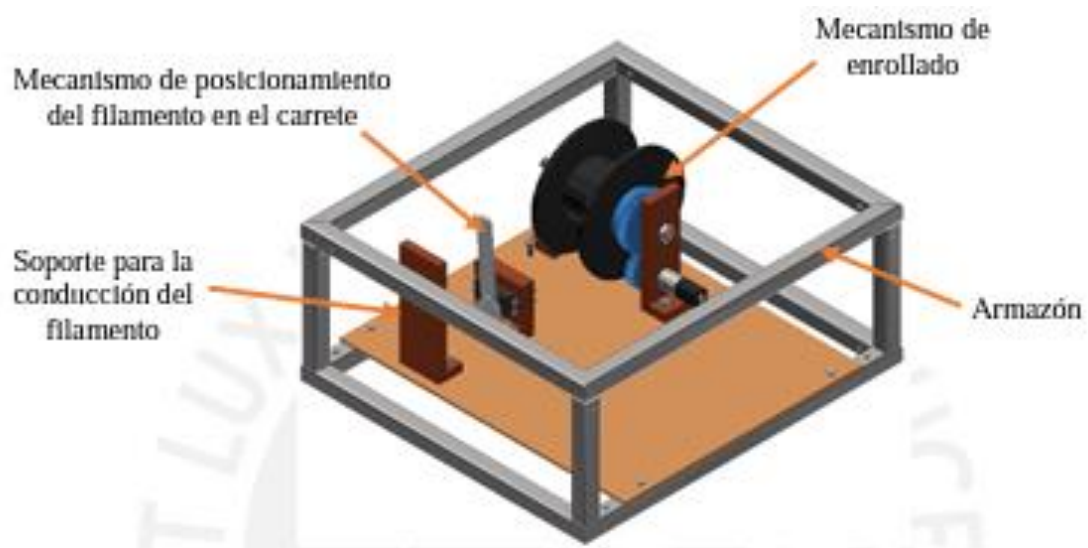
Figura 3. Mecanismo de recolección de filamento del trabajo de José Alberto Esquivel Cubillo, José Martin Jiménez Abarca y Adrián Josué Mena Valverde.



Fuente: (Cutipa Mamani & Rodríguez Flores, 2020)

Así mismo, en octubre del 2018, Jean Peare Porras Solorzano con su tesis titulada “Diseño de una máquina recicladora orientada a la producción de filamentos de plástico ABS para la impresión 3d en la PUCP” (Solorzano, 2018) presentada en la Pontificia Universidad Católica del Perú. Realizo una propuesta de una maquina automática que permite reciclar el plástico ABS de las piezas funcionales desechadas y transformarlas en filamentos de impresión 3D.

Figura 4. Estación de enrollado.

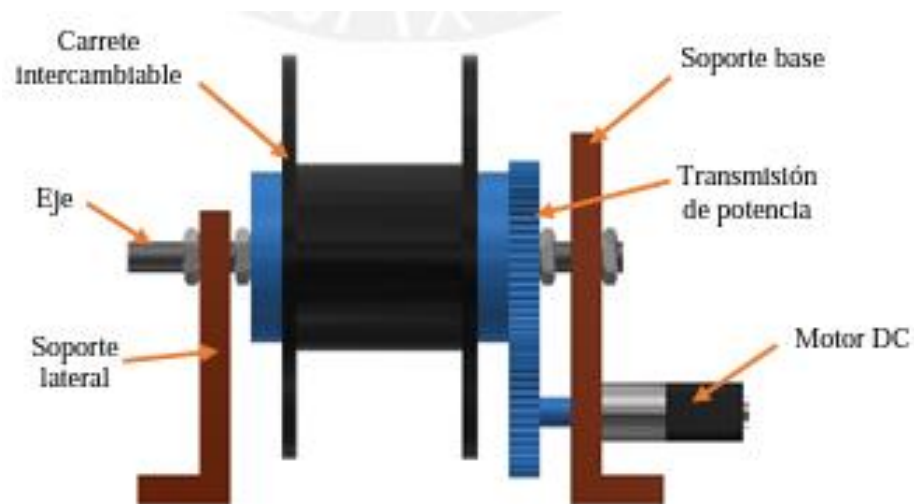


Fuente: (Solorzano, 2018)

En el diseño se encuentra integrada una estación de enrollado, la cual contiene un mecanismo de enrollado, mecanismo de posicionamiento del filamento en el carrete, soporte para la conducción del filamento y un armazón. Dicho armazón está conformado por perfiles cuadrados soldados de 20x2.5mm. Las estructuras de la trituradora, la enrolladora y la del soporte del cilindro extrusor están ensambladas sobre la de la extrusora mediante uniones atornilladas.

El mecanismo de enrollado está compuesto por dos soportes base, dos soportes laterales, una transmisión de potencia por engranajes, un eje y un motor DC. El mecanismo de posicionamiento del filamento se encuentra formado por un soporte, un brazo y un servomotor.

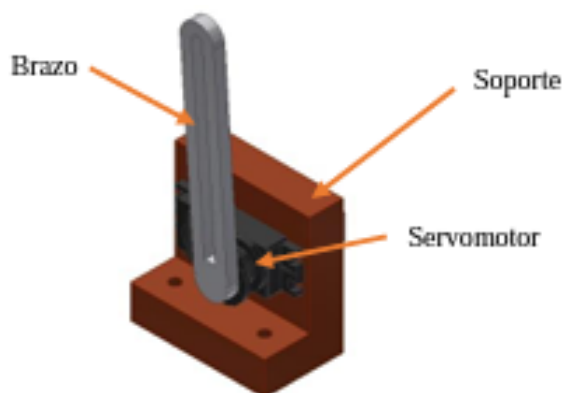
Figura 5. Mecanismo de enrollado.



Fuente: (Solorzano, 2018)

También, el soporte para la conducción del filamento está dividido en dos partes, uno está posicionado a la salida del filamento del cabezal extrusor y otro en la estación de enrollado. Ambos están conectados mediante un tubo de plástico que se posiciona en los agujeros de ambos soportes.

Figura 6. Mecanismo de posicionamiento del filamento en el carrete.



Fuente: (Solorzano, 2018)

También, de acuerdo con Olger Jeyson Cutipa Mamani y Edgar Arián Rodríguez Flores en su investigación titulada "Diseño de extrusora para la fabricación de filamento a base de polímeros termoplásticos utilizados en el FabLab de la Universidad Continental Arequipa-2020" (Cutipa Mamani & Rodríguez Flores, 2020) el cual llevaron a cabo en la Universidad Continental en Arequipa en el año 2020, nos describen que el prototipo es un "maquina con la capacidad de generar filamento PLA, teniendo una dimensión de 100cmx30cmx30, además lograr reducir el tamaño de las mermas con la trituradora que está incorporada, favoreciendo así al FabLab de la universidad Continental Arequipa, reduciendo la contaminación mediante la reutilización de este termoplástico PLA". (Cutipa Mamani & Rodríguez Flores, 2020)

En este caso, la forma en la que se pretende recolectar el filamento extruido lo proponen únicamente mostrando mediante un rodete y un ventilador. El rodete seleccionado es de un diámetro de 30 mm y con un diámetro para el eje del motor de 6mm, estas características fueron elegidas de acuerdo a los cálculos que realizaron. De la misma forma, el ventilador se eligió de la misma forma, mediante ciertos cálculos para el enfriamiento del filamento, dicho ventilador es de 1500 RPM con diámetro de 90mm y 25 mm de altura.

Figura 7. Método de recolección de filamento PLA a base de material reciclado del trabajo de Olger Jeyson Cutipa Mamani y Edgar Arián Rodríguez Flores.



Fuente: (Cutipa Mamani & Rodríguez Flores, 2020)

En dicho trabajo analizado, solo se muestra un diseño CAD el cual hace ilusión al sistema de enrollado que se pretende elaborar, pero no se encuentran evidencias de la construcción o pruebas del funcionamiento. La imagen mostrada a continuación es tomada del trabajo mencionado anteriormente, en la figura 7 se puede ver el diseño CAD de la propuesta elaborada.

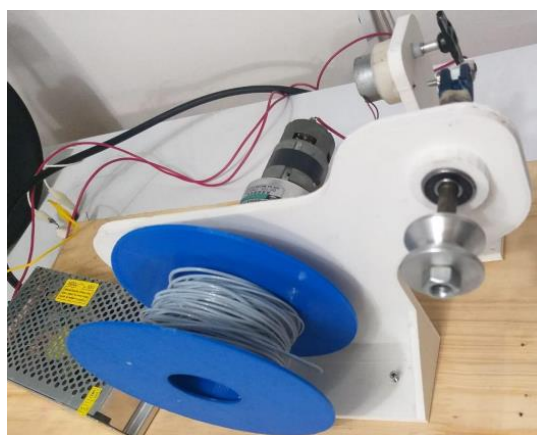
Otro aporte es el proyecto titulado "Desarrollo de un prototipo de máquina recicladora de polímeros para la elaboración de filamento para impresión 3D" (Nájera & Paez, 2022) elaborado por Juan David Navarro Nájera y Yorman Andrés Torres Páez de la Universidad Autónoma de Bucaramanga en el año 2022. Diseñaron y construyeron un prototipo de una máquina para reciclar polímeros para la elaboración de filamento de impresión 3D, este prototipo se divide en 3 partes, las cuales son, el triturado, la fundición y extrusión y por último es el bobinado.

Resaltando esta última etapa, se puede encontrar que este sistema creado está conformado por un puller de movimiento transversal que es el que se encarga de la distribución del filamento a lo largo del carrete, esto con ayuda de un movimiento rotacional realizado por un motor DC colocado directamente en el carrete donde se obtendrá el bobinado final.

El control que tendrá el bobinado, se seleccionó primeramente con el desarrollo de los cálculos, para los cuales se hicieron tomando en cuenta ciertos datos como la velocidad de salida del filamento, el caudal y la sección de la boquilla. De acuerdo a los resultados que se obtuvieron, mencionan que tomaron la decisión de emplear el uso de un motorreductor 60GA775 y que el ajuste final se llevó a cabo a través de un dimmer para regular la velocidad que se requería.

Esto es lo único que mencionan en la documentación, los demás componentes no se aclaran con exactitud como está construido, en la siguiente imagen se puede mostrar una imagen del sistema.

Figura 8. Sistema de bobinado del trabajo de Juan David Navarro Nájera y Yorman Andrés Torres Páez.



Fuente: (Nájera & Paez, 2022)

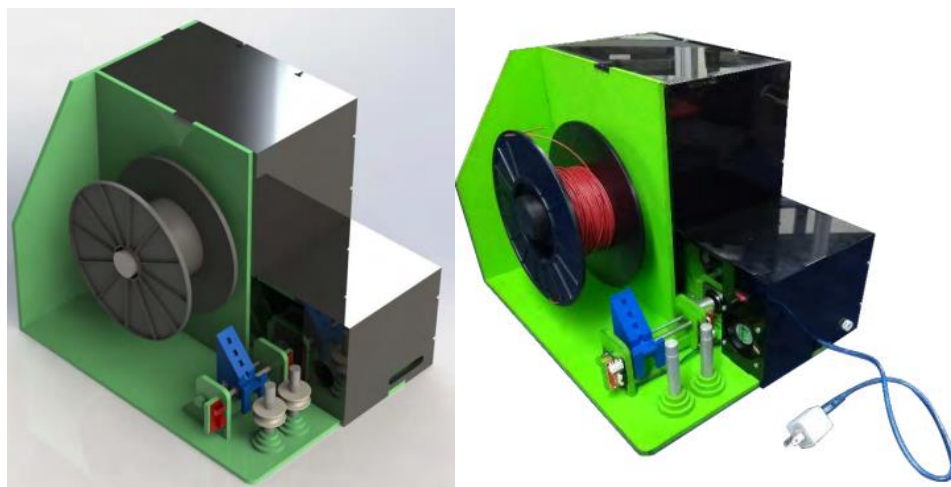
En cuanto al proyecto de grado para optar al título de ingeniero Mecatrónico nombrado "Diseño e implementación de un sistema de extrusión de filamento para impresión 3D a partir de botellas recicladas" (Ramos Espinosa & Lombana Gómez, 2019) realizado por Giancarlo Ramos Espinosa y Guillermo Andrés Lombana Gómez, de igual manera se centra en el diseño de un sistema capaz de reciclar botellas u objetos hechos de plásticos para convertirlo en filamento para impresión 3D, el sistema fue elaborado en dos etapas, las cuales son la etapa del triturado y la otra es la de extrusión.

De acuerdo al trabajo elaborado, se puede hallar que para el apartado final del embobinado se realizó un sistema de enrollado, dicho sistema este compuesto por dos subsistemas, el primero es un sistema con movimiento lineal que manipula el riel para direccionar el filamento que va entrando, esto para distribuirlo de manera longitudinal por el tubo del carrete, el cual está integrado por dos sensores de carrera para detectar los extremos y el mecanismo que utiliza es de tipo tuerca – tornillo, la pieza que guía el filamento al tocar algún sensor, invierte la dirección de giro para que vaya en dirección contraria, todo este movimiento es realizado a través de un motor nema 17.

El otro subsistema incorporado en este trabajo es el de movimiento rotacional, el cual está construido a partir de un eje torneado de aluminio y se encuentra fijado mediante un rodamiento en la pared de la estructura, un motor nema 17 y un acople fabricado con PLA, también, para la programación usaron un driver drv8825.

En las siguientes imágenes tomadas el trabajo original, se muestra el diseño y el sistema realizado físicamente.

Figura 9. Sistema de enrollado del proyecto de Giancarlo Ramos Espinosa y Guillermo Andrés Lombana Gómez.



Fuente: (Ramos Espinosa & Lombana Gómez, 2019)

En cuanto al trabajo de Gonzalo García Hernantes para obtener el grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática titulado "Maquina de reciclado de

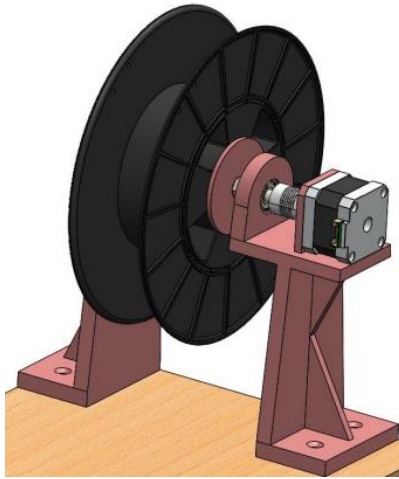
material para impresión 3D” (García Hernantes, 2020) presentado en la Universidad de Valladolid en el año 2020. Este trabajo está enfocado en el diseño y construcción de una máquina para el reciclaje y transformación de plástico en filamento útil para la impresión 3D. Enfocándonos en el contexto principal de este trabajo, se puede notar que en dicho diseño está integrado un sistema de embobinado, dicho componente está diseñado de forma que pueda sujetar la bobina y poder enrollar el filamento, este sistema este situado en la parte final del prototipo.

De acuerdo al trabajo revisado, menciona que dicho sistema está compuesto por dos soportes de impresora 3D, una moto nema 17, un adaptador de 5mm a 8mm, un eje de 8mm, dos adaptadores de eje a bobina, dos rodamientos 608ZZ y dos tuercas M8. Demas, nos indica que está diseñado de una forma en la que se puedan colocar varios tipos de bobinas (el estándar es de 56mm el diámetro interior), los tornillos son para la sujeción de la bobina al eje y que el motor a pasos controla de manera precisa la velocidad de giro para mantener un diámetro constante del filamento reciclado.

Así mismo, menciona la parte del control, la cual se realizó por medio de un Arduino Nano y un driver para motores PAP (DRV8825). La programación se realizó de manera que el sistema se pueda controlar la velocidad del motor desde un HMI. Cabe aclarar que nuevamente en el trabajo muestra las conexiones y el funcionamiento del control de velocidad, así como también la forma en la que se diseñó, mas no hay evidencia de la construcción terminada físicamente o pruebas del funcionamiento del sistema completo, esto por motivos de la crisis del COVID-19 y el confinamiento causado.

A continuación, se muestran ilustraciones del sistema de embobinado, tomadas el trabajo citado:

Figura 10. Sistema de embobinado del trabajo de Gonzalo García Hernantes.



Fuente: (García Hernantes, 2020)

1.9.2 Máquinas Comercializadas de acondicionamiento final de filamento para impresión 3D

Las máquinas de acondicionamiento final del material desempeñan un papel esencial en la producción de filamento para impresión 3D. Los carretes son usados como modo de almacenamiento de filamento 3D y para que se logre el embobinado correctamente se utilizan maquinas especiales para el enrollado de cable, ya sean automáticas o manuales, en el siguiente contenido, se muestra algunas de las maquinas encontradas en el mercado para llevar a cabo este proceso.

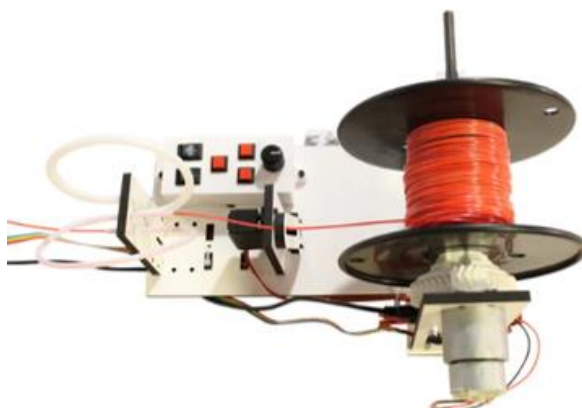
1.9.2.1 Filawinder

Este dispositivo llamado “Filawinder” es creado por la marca “Filastruder”, de acuerdo con su página de compra nos indica lo siguiente “Filawinder es un aparato que enrolla de forma automática el filamento que sale de la Filastruder, una extrusora de pellets que permite realizar filamentos con las características que se quieran”.

Esta máquina, incorpora dos apartados controlables, para dichos apartados hay un motor para cada uno, el primero es para el control de velocidad del enrollado donde se monta el carrete, además la velocidad es ajustable para el tipo de material a

extruir, Por otro lado, incorpora un segundo motor que en específico se |puede deducir que es un servomotor empleado para guiar el filamento a través de la longitud del carrete y pueda ser distribuido de manera correcta, esta máquina actualmente tiene opciones de compra, se puede encontrar en un costo de \$169.99 dólares americanos en su página oficial o en 550,55 € con IVA incluido en una página externa.

Figura 11. Enrollador de filamento "Filawinder".



Fuente: <https://www.filastruder.com/products/filawinder>

1.9.2.2 Filabot Spooler

Esta máquina es un dispositivo de sistema de enrollado de filamentos de escritorio, complementaria de la línea de extrusión de filabot. Esta unidad tiene la característica de poder enrollar filamentos con diámetros de 1.75, 2.75 y 3 mm. También posee un mecanismo transversal para distribuir de manera uniforme el filamento a través del carrete, incluye además un control de velocidad variable con perilla. El equipo funciona para carretes filabot spools estándar de 0,5 kg y 1kg, en caso de usar otro tipo de carrete, se necesitan personalizar los soportes. El costo de adquisición de este producto ronda los \$3,247.00 dólares americanos.

Figura 12. Enrollador de filamento "Filabot Spooler".



Fuente: <https://www.filabot.com/products/filabot-spooler>

1.9.2.3 Wellzoom

Este otro dispositivo, es una maquina automática de bobinado para impreso 3D de la marca Wellzoom, en páginas de distribución encontradas, no hay mucha información sobre el producto, solo se puede elegir entre dos opciones, si se requiere a 220V o 100V. El precio que posee esta máquina es de \$3,425.44 pesos mexicanos sin contar los costos de envío, el cual es de aproximadamente \$1,682.87 pesos mexicanos actualmente.

Figura 13. Máquina automática de bobinado "Wellzoom".



Fuente: <https://es.aliexpress.com/item/32890063489.html>

CAPÍTULO II

Marco teórico

2.1 Generalidades de la impresión 3D

En este apartado, se explorarán las bases, aplicaciones y avances fundamentales de la impresión 3D, explorando sus pilares fundamentales y las tecnologías clave que la impulsan, así como técnicas específicas usadas para la impresión 3D.

2.1.1 Impresión 3D

La impresión 3D, también llamada manufactura por adición (inglés), es un conjunto de procesos que producen objetos a través de la adición de material en capas que corresponden a las sucesivas secciones transversales de un modelo 3D. Los plásticos y las aleaciones de metal son los materiales más usados para impresión 3D, pero se puede utilizar casi cualquier cosa, desde hormigón hasta tejido vivo. (Autodesk, 2023)

Figura 14. Impresión 3d.



Fuente: (Sifontes, 2023)

2.1.2 Tecnologías de impresión 3D

Hay diversas maneras de realizar impresiones en 3D. De acuerdo con (Dassault Systemes, 2022) las principales tecnologías de impresión 3D disponibles en la actualidad son:

- FFF (fabricación de filamento fundido) o FDM (modelado por deposición fundida), que utilizan bobinas de filamento.
- SLA (estereolitografía), una tecnología que solidifica la resina fotosensible.

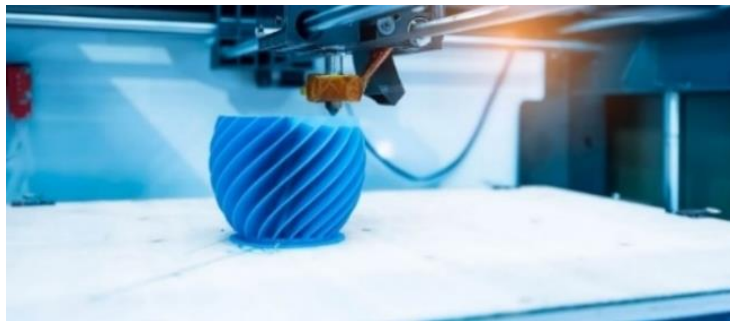
- PBF (fusión de lecho de polvo), una serie de métodos basados en el polvo que fusionan partículas con potentes láseres.
- El chorro de material o aglutinante, en el que se depositan diminutas gotas de material sobre un lecho de polvo.

A continuación, de muestra más información sobre las tecnologías de impresión 3D mencionadas en este apartado.

2.1.2.1 Modelado por deposición fundida (FDM)

El modelado por deposición fundida (FDM, por sus siglas en inglés, Fused Deposition Modeling) “fue desarrollado por S. Scott Crump a fines de la década de 1980 antes de fundar Stratasys. Con Stratasys, Crump comercializó FDM en 1990, y la exitosa empresa de impresoras 3D continúa fabricando impresoras de tecnología fdm 3d hasta el día de hoy.” (Innovación y Tecnología, 2020)

Figura 15. FDM Modelado por Deposición Fundida.



Fuente: (Innovación y Tecnología, 2020)

La impresión 3D FDM es un proceso de impresión 3D por extrusión de material. Un carrete alimenta filamento termoplástico a través de un extrusor que calienta, funde y extrude el plástico a través de una boquilla fina. Hay filamentos de 1,75 mm o 2,85 mm de diámetro y las boquillas estándar tienen un diámetro de 0,4 mm. (Dassault Systèmes, 2021a)

El cabezal automatizado produce dos movimientos planos X e Y en una plataforma con movimiento vertical. El cabezal realiza la función de extrusor, calentando el

filamento de material termoplástico, del que es alimentado, hasta derretirlo. La deposición del material sobre la base realiza la construcción de cada sección o capa de la pieza. Cada vez que se completa una capa, la mesa desciende para poder continuar con la siguiente. (INEO, 2018)

2.1.2.2 Estereolitografía (SLA)

Este proceso, conocido como SLA (estereolitografía), utiliza el principio de fotopolimerización para crear modelos 3D a partir de resinas sensible a los rayos UV. Esto se solidifica mediante el paso de un láser capa por capa, dotando con esto de mayor calidad a los modelos hechos con esta tecnología. (3Dnatives, 2017)

Figura 16. Estereolitografía.



Fuente: (3Dnatives, 2017)

Otro aspecto que cabe destacar es que hay que añadir unas estructuras de soporte durante el proceso de construcción, de modo que los voladizos tengan algo a lo que sujetarse. La impresión 3D en resina también conlleva varios pasos de postprocesamiento, el lavado de la resina (lavar cualquier exceso de resina que gotee de la pieza), extracción del soporte (romper las estructuras de soporte) y posendurecimiento (hay que exponer la pieza a más luz UV para una solidificación avanzada). (Dassault Systèmes, 2021b)

2.1.2.3 Sinterizado selectivo por láser (SLS)

La sinterización selectiva por láser (SLS) es una tecnología de impresión 3D a base de polvo que usa un láser para fusionar capas de materiales en una pieza definitiva.

El láser traza el patrón de cada sección transversal de un diseño 3D en una capa de polvo. Después de construir una capa, la plataforma de impresión baja y se construye otra capa encima de la capa anterior. Este proceso continúa hasta que se generan todas las capas y se completa la pieza. (3D Systems, 2017)

Figura 17. Sinterizado selectivo por láser (SLS).



Fuente: <https://www.3dnatives.com/es/sinterizado-selectivo-por-laser-les-explicamos-todo/>

Una vez realizadas las impresiones, el operador de la máquina debe retirarlas y limpiarlas de polvo. Es posible reciclar la mayor parte del polvo no utilizado, mezclándolo con polvo nuevo; otra de las ventajas del SLS. Sin embargo, es más eficiente imprimir tantas piezas como puedan encajar en la cámara de una vez. (Dassault Systemes, 2021a)

2.1.2.4 Chorro de aglomerante

La inyección de aglomerante es un método simple de impresión 3D que se basa en un agente de unión industrial para unir diferentes capas de una pieza. En la inyección de aglutinante, la entrada es el material clave en forma de polvo que la impresora deposita con una fina capa de aglutinante. El proceso trabaja con materiales como arena, algunos polímeros, polvos metálicos y compuestos metálicos cerámicos. (Rapiddirect, 2022)

Figura 18. Chorro de aglomerante.

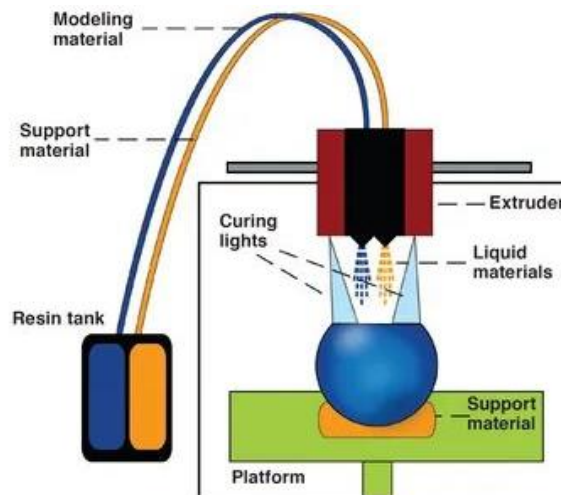


Fuente: (Rapiddirect, 2022)

2.1.2.5 Chorro de Material

En este caso, la impresora 3D utiliza gotas de material licuado para construir cada capa. Una cosa que hace que este proceso sea único es la capacidad de usar diferentes tipos de material en un solo objeto. Como resultado, puede fabricar piezas con colores y texturas mixtos que le pueden dar una apariencia estética personalizada al producto final. Generalmente, la resina de fotopolímero es el único material viable para este tipo de proceso de impresión 3D. (Rapiddirect, 2022)

Figura 19. Chorro de Material.



Fuente: (Rapiddirect, 2022)

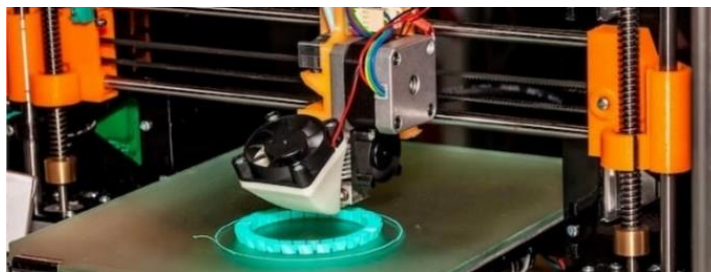
2.1.3 Impresora 3D

Las impresoras 3D utilizan el diseño asistido por ordenador (CAD) para crear objetos 3D a partir de diversos materiales, como plástico fundido, metales o polvos. Una impresora 3D típica es muy parecida a una impresora de inyección de tinta que se maneja desde un ordenador. Construye un modelo 3D capa a capa, de abajo a arriba, imprimiendo con repeticiones sobre la misma zona en un método conocido como modelado de deposición fundida (FDM).

“En su modelo más popular, es una máquina de fabricación digital de la categoría aditiva, ya que su modo de funcionamiento se basa en el depósito de varias capas de un insumo en general plástico hasta lograr la pieza completa. Opera a través de un inyector de material, que se desplaza en tres dimensiones (X, Y, Z), controlado por un software, el cual usa como patrón de fabricación un modelo 3D.” (Bordignon & Iglesias, 2018, p.14)

Estas impresoras tienen una flexibilidad extrema en cuanto a lo que se puede imprimir. Pueden utilizar plásticos para imprimir materiales rígidos, como gafas de sol. También pueden crear objetos flexibles, como fundas de teléfono o mangos de bicicleta, utilizando un polvo híbrido de goma y plástico. (AULA21, 2021)

Figura 20. Impresora 3D.



Fuente: (Sifontes, 2023)

Es importante destacar que, al principio, las impresoras 3D eran equipos que se utilizaban principalmente en el ámbito industrial, ya que solían tener grandes

dimensiones. Pero, con el paso del tiempo, su factor de forma se ha hecho más compacto y pueden utilizarse en casa sin problemas. (Sifontes, 2023)

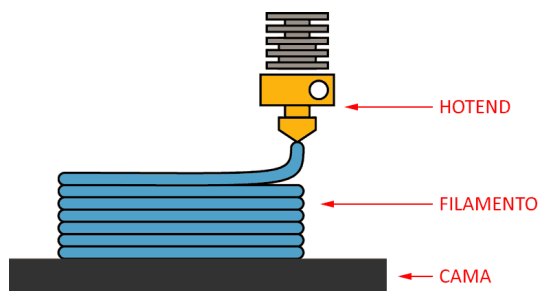
2.1.4 Funcionamiento de la Impresión 3D

Un modelo digital en 3D se corta en cientos de capas finas mediante un software específico para exportarlo en formato de código G. Este formato de impresión 3D es un lenguaje que la impresora 3D lee para saber con precisión cuándo y dónde depositar el material.

Cada capa corresponde a la forma 2D exacta de una sección o rebanada del objeto. Por ejemplo, si se imprimiera en 3D una pirámide, la primera capa (la inferior) sería un cuadrado plano, y la última capa (en la parte superior) sería un pequeño punto. (Dassault Systemes, 2022)

Un terminal caliente (hotend) va fundiendo el filamento, que se suministra desde una bobina. El material fundido se va depositando sobre el material anterior, donde se enfría y solidifica para conseguir nuestra pieza. (Llamas, 2020)

Figura 21. Impresión por capas.



Fuente: (Llamas, 2020)

2.1.5 Extrusión de materiales

La extrusión de material se conoce como fabricación de filamento fundido (FFF) y es uno de los procesos más populares para la impresión 3D de grado aficionado. Stratasys comenzó a comercializar en 1990 el término propietario Fused Deposition Modeling (FDM), creado por S. Scott Crump a finales de los años ochenta. Con la

expiración de la patente de esta tecnología, ahora existe una gran comunidad de desarrollo de código abierto llamada RepRap, así como variantes comerciales y de bricolaje, que utilizan este tipo de tecnología de impresión 3D. Esto ha provocado un descenso apreciable de los precios. Sin embargo, la técnica de extrusión de materiales tiene limitaciones de precisión dimensional y es muy anisotrópica.(Dassault Systemes, 2021)

La extrusión podría aplicarse a una amplia variedad de materiales, siendo los más populares los termoplásticos, como el acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), el ácido poliláctico (PLA), el poliestireno de alto impacto (HIPS), el poliuretano termoplástico (TPU), las poliamidas alifáticas (PA, también conocidas como nailon) y, más recientemente, los plásticos de alto rendimiento, como el éter cetona PEEK o la polieterimida PEI. Además, la impresión 3D podía extruir materiales pastosos como la cerámica, el hormigón y el chocolate. (Dassault Systemes, 2021)

2.2 Filamento para Impresión 3D

Los filamentos son la materia prima que utilizan las impresoras 3D para hacer posible los diseños y todas las increíbles cosas que las impresoras 3D pueden hacer. Por lo general, están hechos a partir de plásticos, pero los hay de otros elementos.(Lara, 2023)

Los materiales de impresión 3D se presentan en una amplia gama de formas. La mayoría de los productos de consumo impresos en 3D están hechos de termoplásticos. Los diseñadores e ingenieros prefieren crear prototipos funcionales a partir de materiales de impresión 3D que tengan las mismas o similares propiedades de los materiales que se utilizan para crear el producto final. (Mastertec 3D, 2022)

2.2.1 Características del filamento para impresión 3D

Los filamentos de proveedores reconocidos están disponibles en dos diámetros básicos de fibra: 1,75 mm y 2,85 mm.

Como regla general, se hacen con cuidado y sin engrosamientos accidentales ni irregularidades. Esto es muy importante para la calidad del proceso de impresión, porque cada cordón es un margen de material en la boquilla y un comportamiento ligeramente diferente del material al momento de aplicarlo en la capa actual, y vale recordar que el espesor de una sola capa típica es aproximadamente el 80 % del diámetro de la boquilla, que suele ser un poco menos de medio milímetro (por ejemplo, para una boquilla de Ø 0,4 mm, la capa resultante será de 0,32 mm). (TME, 2023)

2.2.2 Fabricación de filamento 3D

De acuerdo a la información del proceso de fabricación llevado a cabo por la empresa "EOLAS" (Eolas Prints, 2023) se tienen las siguientes etapas empleadas para la elaboración de filamento 3D.

Abastecimiento

Proceso de fabricación comienza con la obtención de materias primas en forma de gránulos. Solo se compra materia prima de primera calidad con total trazabilidad.

Secado

Se procede a secar los pellets. Los pellets son elementos hidrófilos, lo que significa que pueden absorber la humedad. Esta humedad se elimina durante el proceso de secado.

Extrusión

En esta etapa, los gránulos secos se alimentan a la extrusora que incluye una cámara de calentamiento. Se derriten en esta cámara y se les da forma de material similar a una cuerda, llamado filamento.

Enfriamiento

Después de salir de la cámara de calentamiento, el filamento pasa a través de múltiples cámaras de agua. La primera cámara contiene agua caliente que ayuda a

lograr una forma redondeada para su nuevo estado. La segunda cámara alberga agua tibia para ayudar a solidificar y enfriar el filamento.

Puesta en cola

Aquí, los motores tiran del filamento desde la cámara de enfriamiento hasta un mecanismo de bobinado. El proceso comienza midiendo el diámetro de ese filamento con un dispositivo láser, asegurándose de que esté dentro de la tolerancia: 1,75 mm o 2,85 mm.

Embalaje

Las bobinas se envasan al vacío y se empaquetan en una caja resistente. El producto terminado está listo para ser enviado a cualquier parte del mundo, asegurándose de que llegue sano y salvo sin daños

2.2.3 Termoplásticos

Se definen como polímeros que pueden fundirse y refundirse casi indefinidamente. Se funden cuando se calientan y se endurecen al enfriarse. Sin embargo, cuando se congelan, los termoplásticos se vuelven vítreos y se rompen. Estas características, que dan nombre al material, son reversibles, por lo que el material puede recalentarse, remodelarse y congelarse repetidamente. Por ello, los termoplásticos son mecánicamente reciclables. (Sintac, 2022)

2.2.4 Tipos de plásticos empleados para la impresión 3D

La elección de los materiales juega un papel crucial en el éxito y la versatilidad de la impresión 3D. Existen diversos materiales diseñados específicamente para satisfacer las demandas de esta tecnología innovadora, cada uno con sus propias propiedades y aplicaciones únicas. En el siguiente contenido se muestra algunos de los materiales más utilizados en la impresión 3D, destacando sus características distintivas y su impacto en la creciente diversidad de aplicaciones que abarca este fascinante campo. (Sintac, 2022)

2.2.4.1 PLA

El ácido poliláctico (PLA) es un poliéster termoplástico, alifático y compostable de origen natural, obtenido tanto de la condensación directa del ácido láctico (ácido 2-hidroxipropiónico) como de la polimerización de apertura de anillo (Polymerization de apertura de anillo, ROP) del dímero de lactida cíclica. (Mexpolimeros, 2014)

Algunas de las propiedades más relevantes de este material, de acuerdo con (Plásticos Brello, 2023) son las siguientes:

Propiedades físicas y mecánicas

- Densidad 1,24 g/cm³.
- Resistencia a la tracción de 3309 MPa.
- El límite elástico es de 55 MPa.
- Resistencia a la compresión 66 MPa.
- Resistencia a la flexión de 485 MPa.
- Temperatura de deformación 55 °C.
- Muy baja resistencia a la humedad.
- Elongación 3%.

Cuenta con exactitud en el color y buena reciclabilidad.

Propiedades térmicas

- Punto de fusión 145 °C.
- Temperatura de transición vítrea de 60 °C.
- Mínima temperatura en servicio de 20 °C.
- Calor específico (1,18*10³ – 1,21*10³) J/Kg*°C

Es un Buen aislante, con una máxima temperatura de servicio de 55 °C y Conductividad térmica de 0,13 W/m*°C.

2.2.4.2 PETG

El tereftalato de polietileno (PET) también se encuentra modificado con "glycol" por lo que se pasa a llamar PETG. El resultado de esta transformación, que se añade al

material durante la polimerización, es un material más claro, menos quebradizo y más fácil de manejar. (Bustos, 2018)

En ficha técnica proporcionada por “Polimer Tecnic” se encuentra información adicional sobre las características principales del material PETG, las más importantes son:

Propiedades físicas

- Densidad: 1,27 g/cm³
- Índice de refracción (20°): 1.57
- Absorción de humedad 24 horas, 23 °C, 50% RH: 0,2%

Propiedades mecánicas

- Resistencia a la tracción en la rotura: 55 MPa
- Alargamiento hasta la rotura: 40%
- Módulo elástico: 2200 N/mm²
- Módulo de flexión: 2300 N/mm²
- Impacto Izod, con entalla 3 mm + 23 °C: 11,5 kJ/m²
- Impacto Izod, con entalla 3mm -30 °C: 4,4 kJ/m²
- Dureza Rockwell: R115 Escala-R

Propiedades Térmicas

- Coeficiente lineal de la expansión térmica (23-70 °C): 51x10⁻⁶ K⁻¹
- Temperatura de deflexión térmica, HDT A (1,80 N/mm²): 68 °C
- Temperatura de deflexión térmica, HDT B (0,45 N/mm²): 72 °C
- Conductividad térmica: 0,19 W/m.K

2.2.4.3 ABS

El denominado plástico ABS es realmente acrilonitrilo butadieno estireno, un plástico muy reconocido por ser altamente resistente al impacto. Se trata de un termopolímero amorfo que se fabrica utilizando tres compuestos diferentes: el acrilonitrilo, butadieno y estireno. (Plásticos Brello, 2018)

Propiedades y especificaciones del ABS

Beneficios:

- Excelente rentabilidad
- Disponibilidad de colores: negro y color natural
- Fácil unión
- Excelente resistencia ante los rayos X y Gamma
- Fácil mecanización

Propiedades físico–mecánica:

- Resistente a la radiación
- Poca resistencia a las ultravioletas
- Densidad de 1.07 g/cm^3
- Resistencia al impacto Izod entre $200 - 400 \text{ J/m}^{-1}$
- Coeficiente de fricción de 0.654
- Permeabilidad entre $0.3 - 0.7 (\%)$ de H_2O por cada 24 horas
- Aguante a la tracción entre los $41 - 45 \text{ MPa}$
- 45% de alargamiento en la rotura

2.2.5 Importancia del embobinado del filamento para impresión 3D

Un embobinado adecuado del filamento es un aspecto muy importante para la obtención de una impresión 3D de alta calidad. El proceso de embobinado y almacenamiento correcto puede tener un impacto significativo en la impresión y en el resultado final.

Los solapamientos, incorrectamente designados como nudos, se producen por la acción del usuario de la impresora 3D FDM. Los materiales plásticos tienen un efecto memoria, intentando en todo momento recuperar la forma en la que fueron fabricados, ocasionan que, al soltar el filamento del carrete, este intente bobinarse por sí mismo. (filament2print, 2019)

Un carrete de filamento embobinado de manera correcta garantiza una alimentación constante y uniforme a través del proceso de extrusión de la impresora. En dado caso que el filamento se enreda o atasca debido a un mal embobinado, puede afectar la calidad del modelo y causar interrupciones en la impresión.

También, el enrollado realizado de forma adecuada ayuda a preservar la integridad del filamento a lo largo del tiempo, lo que es especialmente importante si se planea almacenarlo durante un período prolongado.

2.3 Componentes mecánicos y electrónicos

En la vanguardia de la innovación tecnológica yace la intersección entre componentes mecánicos y electrónicos. Este cruce no solo define la estructura de sistemas modernos, sino que también moldea su funcionamiento y eficiencia. Por esta razón a continuación se describen las características generales de algunos elementos.

2.3.1 Arduino

Arduino es una plataforma electrónica de código abierto basada en hardware y software fáciles de usar. Las placas Arduino son capaces de leer entradas (luz en un sensor, un dedo en un botón, o un mensaje de Twitter) y convertirlo en una salida (activando un motor, encender un LED o publicar algo en línea). Puede decirle a su placa qué hacer enviando un conjunto de instrucciones al microcontrolador en la placa. Para hacerlo, se utiliza el Lenguaje de programación Arduino (basado en Cableado), y el Software Arduino (IDE), basado en Procesamiento. (Arduino, 2018)

2.3.1.1 Placas de programación Arduino

En el ecosistema de la electrónica open-source, las placas de desarrollo de Arduino han protagonizado un papel fundamental al proporcionar una gama diversa de opciones para aficionados, estudiantes y profesionales. Desde sus inicios, Arduino ha evolucionado para ofrecer una gran variedad de placas, cada una con

características y funciones únicas, adaptadas a diferentes usos y niveles de habilidad. Toda la información relacionada con las placas, las podemos encontrar en la página oficial de Arduino.

Las placas, más utilizadas de Arduino son:

- Arduino Uno.
- Arduino Nano.
- Arduino Mega.
- Arduino Due.
- Arduino Leonardo.

2.3.1.2 Protocolos de comunicación

La comunicación y la interconexión entre dispositivos electrónicos son elementos fundamentales en el desarrollo de sistemas y proyectos. En el mundo de la electrónica, los microcontroladores como Arduino sobresalen no solo por su versatilidad y capacidad de ejecutar programas, sino también por su habilidad para intercambiar datos con otros dispositivos y periféricos.

UART (recepción-transmisión asíncrona universal): Es uno de los protocolos serie más utilizados. La mayoría de los microcontroladores disponen de hardware UART. Usa una línea de datos simple para transmitir y otra para recibir datos. Comúnmente, 8 bits de datos son transmitidos de la siguiente forma: un bit de inicio, a nivel bajo, 8 bits de datos y un bit de parada a nivel alto. UART se diferencia de SPI y I2C en que es asíncrono y los otros están sincronizados con señal de reloj. La velocidad de datos UART está limitado a 2Mbps. (jecrespom, 2014)

SPI: Es otro protocolo serie muy simple. Un maestro envía la señal de reloj, y tras cada pulso de reloj envía un bit al esclavo y recibe un bit de éste. Los nombres de las señales son por tanto SCK para el reloj, MOSI para el Maestro Out Esclavo In, y MISO para Maestro In Esclavo Out. Para controlar más de un esclavo es preciso utilizar SS (selección de esclavo). (jecrespom, 2014)

I2C: Es un protocolo síncrono. I2C usa solo 2 cables, uno para el reloj (SCL) y otro para el dato (SDA). Esto significa que el maestro y el esclavo envían datos por el mismo cable, el cuál es controlado por el maestro, que crea la señal de reloj. I2C no utiliza selección de esclavo, sino direccionamiento. (jecrespom, 2014)

2.3.2 Motores paso a paso

El motor paso a paso es un motor de corriente continua sin escobillas en el que la rotación se divide en un cierto número de pasos resultantes de la estructura del motor. Normalmente, una revolución completa del eje de 360° se divide en 200 pasos, lo que significa que se realiza una sola carrera del eje cada $1,8^\circ$. También hay motores donde la carrera del eje se realiza cada 2; 2,5; 5, 15 o 30° .

Tipos:

- Motor de Paso Unipolar: Estos motores tienen dos bobinas por fase. Cada bobina tiene un extremo central que se conecta a una fuente de alimentación común, mientras que los otros extremos se conectan a tierra o se activan secuencialmente para generar el movimiento.
- Motor de Paso Bipolar: Tienen una bobina por fase con dos extremos. Requieren una inversión de corriente para cambiar la dirección del campo magnético y, por lo tanto, el paso del motor. Suelen ser más eficientes y pueden proporcionar más torque que los motores unipolares.
- Motor Híbrido: Estos motores combinan características de los motores unipolares y bipolares, ofreciendo un rendimiento mejorado y un control más preciso del movimiento. Pueden tener tanto configuraciones de bobinas unipolares como bipolares.
- Motores a Pasos Lineales: En lugar de rotar, estos motores generan movimientos lineales. Son utilizados en aplicaciones donde se necesita movimiento rectilíneo, como en impresoras 3D, máquinas de corte y sistemas de posicionamiento.

2.3.3 Driver DRV8825

El driver DRV8825 permite controlar motores paso a paso bipolares de hasta 2.5A. Basado en el chip DRV8825 de Texas Instruments, es una mejora o evolución comparado al chip A4988. Ampliamente utilizado con placas de control de impresoras 3D y Máquinas CNC Open Source, como: RAMPS y CNC Shield. El Driver DRV8825 es pin-compatible con el Driver A4988, lo que significa que puede usarse como reemplazo directo de mejor rendimiento.

Permite regular la corriente máxima de salida por medio de un potenciómetro. Además, posee seis resoluciones diferentes de microstepping (máx. 1/32). Trabaja con voltajes de alimentación entre 8.2V a 45V, puede suministrar 1.5A por bobina sin usar ventilación forzada o un disipador y soporta picos de corriente de hasta 2.5A. Para manejar el driver solo son necesarios 2 pines, uno para la dirección de giro (DIR) y otro para dar el paso (STEP). El pin Enable debe estar conectado a Tierra (GND) para que el motor funcione. El microstepping se configura con los pines MS1, MS2 y MS3 de acuerdo a la tabla del fabricante. (Naylamp Mechatronics, 2023)

Para más información, la hoja de datos se encuentra en la página oficial del fabricante el fabricante "Texas Instruments".

2.3.4 Sensor de Temperatura infrarrojo MLX90614

El sensor de temperatura infrarrojo MLX90614, permite medir temperatura de un objeto a distancia (sin contacto), el cual está diseñado para ser sensible a la radiación infrarroja emitida por un objeto a distancia, puede obtener lecturas desde los -70°C hasta 380°C, con una precisión de 0.5°C. La salida del sensor es lineal y se compensa de acuerdo a las variaciones de la temperatura ambiente.(UNIT Electronics, 2023)

2.3.5 Rodamientos

Los rodamientos desempeñan un papel esencial en el funcionamiento eficiente y suave de una amplia gama de equipos y dispositivos. Estos componentes mecánicos, compuestos por anillos y elementos rodantes, tienen una tarea fundamental de

reducir la fricción entre las partes móviles. Esta reducción de fricción no solo minimiza el desgaste de las piezas, sino que también permite que las máquinas funcionen con mayor fluidez y eficacia.

“Los rodamientos soportan y guían, con mínima fricción, elementos giratorios u oscilantes de las máquinas, por ejemplo, árboles, ejes o ruedas, y transfieren las cargas entre los componentes de la máquina. Los rodamientos ofrecen gran precisión y baja fricción y, por lo tanto, admiten velocidades de giro elevadas al tiempo que reducen el ruido, el calor, el consumo de energía y el desgaste. Son elementos rentables e intercambiables de las máquinas, que normalmente corresponden a los estándares de dimensiones nacionales o internacionales.” (SKF, 2023)

CAPÍTULO III

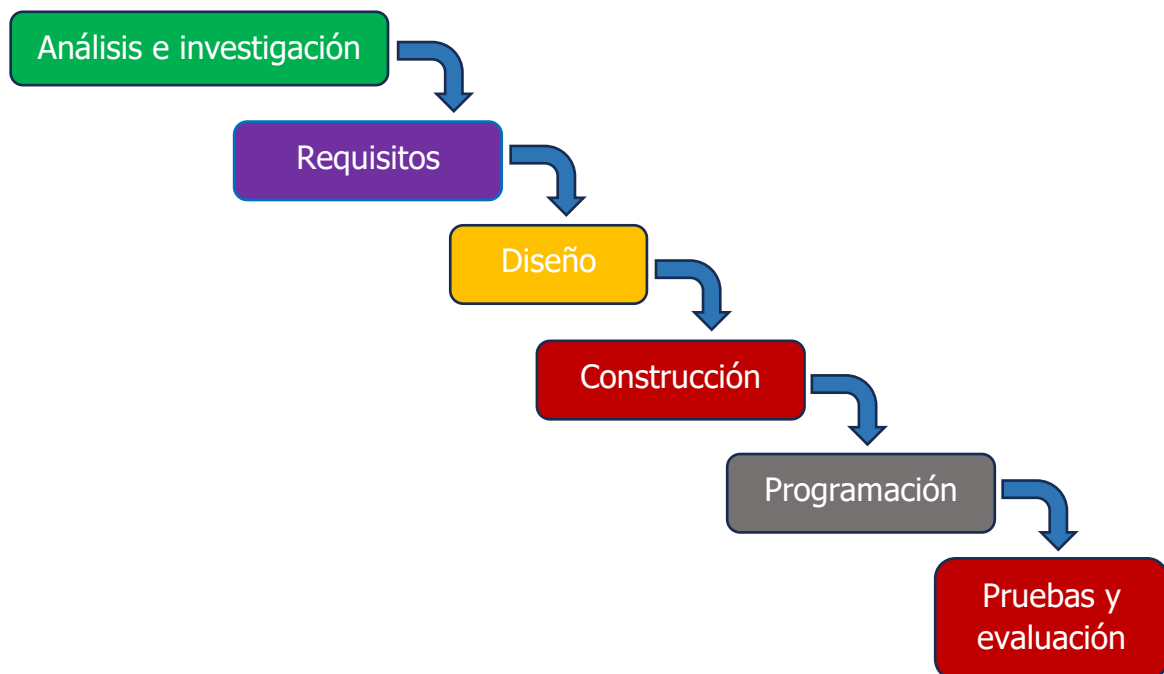
Desarrollo y metodología

Para el desarrollo de un proyecto de diseño, suelen ser utilizadas diferentes metodologías para la gestión de proyectos. Una de las más populares es la de cascada, esta también es conocida como “Ciclo de vida de desarrollo de sistemas” (SDLC) y es popular por su sencilla implementación. Esta metodología “es un proceso lineal en el que el trabajo se realiza de manera escalonada (similar a una cascada) y en orden secuencial”. (Asana, 2023)

Por lo general se visualiza en forma de diagrama de flujo o de Gantt. Se la llama waterfall o cascada porque cada tarea cae en cascada sobre el paso siguiente. En un diagrama de Gantt se puede ver cómo la fase anterior cae en cascada sobre la siguiente. (Laoyan, 2022)

Para poder alcanzar los objetivos de este proyecto se implementó esta metodología, para lo cual se optó por una estructura que incorpora 6 fases principales para el desarrollo del proyecto.

Figura 22. Fases de la metodología seleccionada.



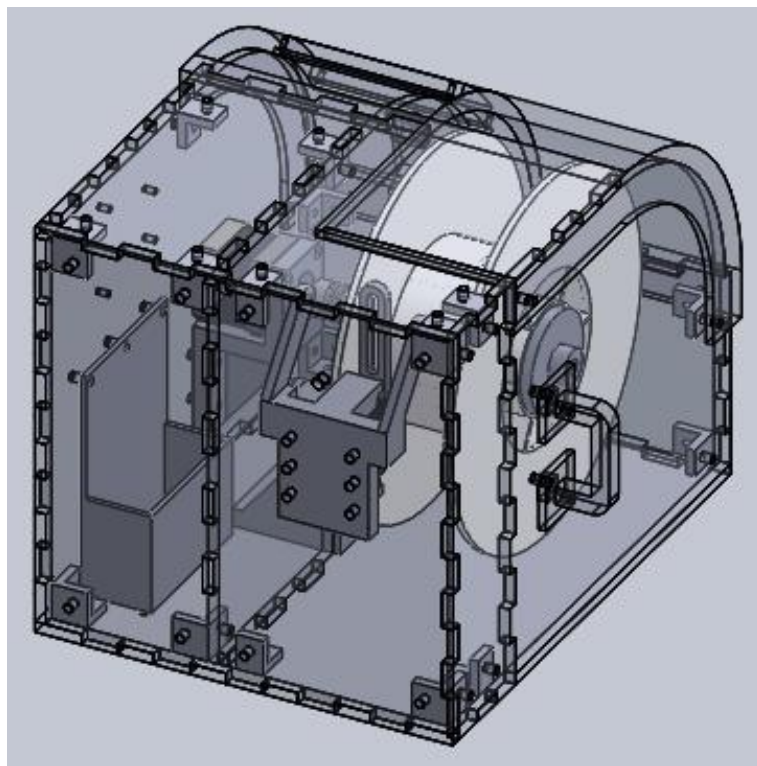
Fuente: (Autoría propia, 2023)

3.1 Análisis e investigación

El análisis y la investigación es crucial para entender el estado actual del proceso de enrollado de filamento de impresión 3D. En esta primera fase, se lleva a cabo una exploración profunda de las necesidades y objetivos del proyecto, así como también se realiza una investigación exhaustiva que abarca una revisión del prototipo de enrollado de filamento existente.

El diseño del prototipo existente es el que se muestra a continuación.

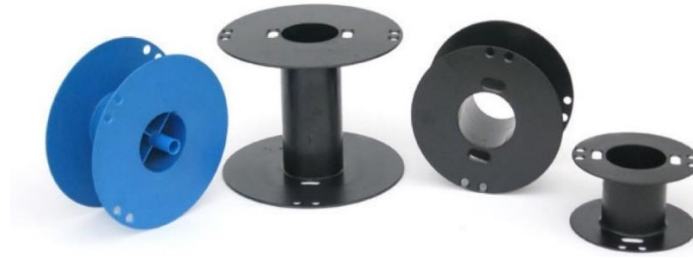
Figura 23. Diseño del prototipo actual.



Fuente: (Sebastián Salvador, 2023)

Algunas de las limitaciones que se encuentran presentes son, los soportes del carrete de filamento utilizados para la fijación del mismo en el eje, ya que el carrete no puede ser sustituido por otro a menos de que sea idéntico al que se presenta en el ensamble.

Figura 24. Carretes para filamento de impresión 3D



Fuente: <https://www.pozzinapoleone.com/es/carretes-para-el-filamento-impresoras-3d/>

También, al revisar los componentes que se encuentran integrados en el prototipo, se puede observar la incorporación de un servomotor para la parte de la guía del filamento, este motor es altamente preciso y suele ser capaz de mantener una posición con exactitud, sin embargo, no es adecuado para la precisión en movimientos discretos que se necesitan aplicar en el apartado de la guía del filamento.

Así mismo, esta etapa incluye investigaciones sobre las últimas tendencias tecnológicas y estándares industriales relacionados con la impresión 3D y el proceso de extrusión. Un punto importante son los datos o propiedades térmicas de los materiales empleados para filamentos de impresión 3D, ya que las características de extrusión hacen que el control de enrollado varíe, además, también se debe de tomar en cuenta los diferentes estándares de calibre que se usan para producir el filamento.

En este caso, el material con el que se planea comenzar el proceso de extrusión una vez estén terminados todos los subsistemas será el PETG, por lo cual un dato importante a tener en cuenta es la temperatura de transición vítrea la cual es de 85 °C.

3.2 Requisitos

La fase de Requisitos es la etapa en la que se definen de manera precisa y detallada los criterios que el nuevo prototipo de enrollado de filamento de impresión 3D debe cumplir.

La fase de Requisitos representa las bases para el desarrollo del nuevo diseño del prototipo y asegurar que se cumplan las expectativas y necesidades, lo cual sirve como guía sólida para las fases posteriores.

En base al análisis anteriormente del sistema, se encuentra que el diseño de un carrete puede variar de acuerdo al fabricante, puesto que actualmente no hay una estandarización de medidas de diseño de carretes, se pueden hallar similitud entre diversos proveedores, pero siempre pueden variar en dimensiones. Por ello es que se toma en cuenta que se necesita realizar el ajuste de los soportes de carrete, para ser adaptables a diferentes diseños, no específicamente a todos, pero si a los más comunes. De la misma forma, tomando en cuenta que las dimensiones cambian, se deben de adaptar los rangos de distribución y posicionamiento del filamento a través del carrete de extremo a extremo, estos deben de ser ajustables para dimensionar el área de reparto que tiene el carrete a utilizar.

Otra necesidad a contemplar, es el control de la temperatura del plástico a la hora de entrar en el sistema de enrollado, ya que se debe de tener muy presente las temperaturas en las que el filamento se puede deformar. El dispositivo de enrollado debe de contar con un sistema de refrigeración para que el filamento tenga una temperatura adecuada para ser manipulado dentro del prototipo, dicho esto se puede usar un sensor de temperatura infrarrojo posicionado de manera que el filamento este siendo transportado enfrente del área de detección para realizar la lectura constante de la temperatura y a cierto rango hacer que el sistema de enfriamiento se active.

De acuerdo con la temperatura de transición vítrea del PETG y tomando en cuenta que es un material que se vuelve maleable a temperaturas relativamente bajas en comparación con otros termoplásticos, es necesario que para el proceso de enrollado se mantenga en un rango de 60°C a 70°C, esto para que pueda volverse lo suficientemente flexible como para enrollarlo alrededor del carrete sin deformarse gravemente.

3.3 Diseño

Esta etapa comprende un proceso de evaluación de los elementos que conformará la estructura mecánica y el funcionamiento electrónico del prototipo inicial. Es por ello que se hace una elección lo más viable posible para lograr obtener un diseño mejorado, aunque esto implicó la posible sustitución de algún componente a lo largo de este desarrollo, todo esto para lograr un funcionamiento correcto del equipo.

En línea con el enfoque metodológico previo, se ha seguido un proceso iterativo que abarca varias fases de refinamiento para alcanzar un diseño más óptimo de cada una de las partes del enrollador. Esta exposición detallada tiene como objetivo ilustrar cómo cada iteración de las partes ha influido en la creación de un diseño funcional y adaptable.

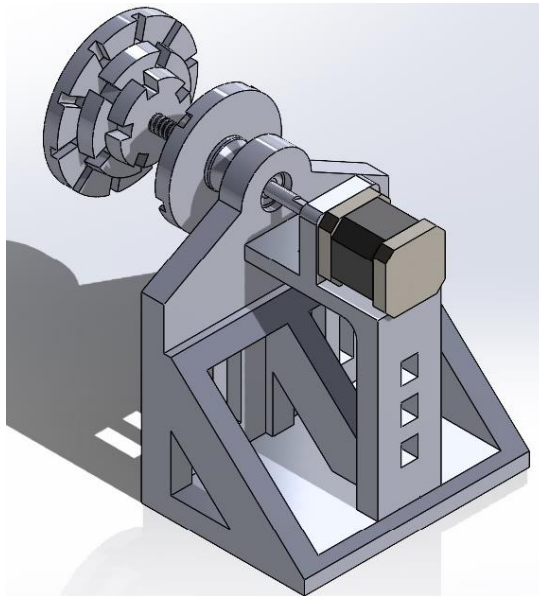
3.3.1 Enrollador

Los sujetadores diseñados en el primer prototipo fueron hechos especialmente para encajar con un carrete específico. Por ello es que se diseñó un sujetador que se adapte a más carretes comerciales, para que puedan ser intercambiables en el enrollador, se realizaron las siguientes iteraciones para poder llegar a un diseño funcional y adaptable a diferentes dimensiones, así como la elección de la estructura y componentes de este apartado. Es importante recalcar que el diseño no se enfoca a adaptarse a todos los tipos existentes que hay en el mercado, pero si a la mayoría de ellos.

3.3.1.1 Iteración 1

Se inicia con una idea de diseño en la que se planeaba obtener la geometría base de los sujetadores, se debía tomar en cuenta las medidas más comunes en las que se podría llegar a tener el diámetro interno del carrete, para esta parte se midió el diámetro interno de al menos 7 carretes diferentes, las medidas obtenidas fueron de 52, 57 y 72 mm de diámetro aproximadamente, por esta razón se toma un diseño de sujetador de dos niveles con los siguientes rangos, el primer nivel que fuera adaptable a los carretes que midieran de 51 a 62 mm y el segundo nivel de 72 a 77 mm .

Figura 25. Primera iteración del diseño del apartado de enrollado.



Fuente: (Autoría propia, 2023)

Para esta fase se propuso utilizar un eje roscado, por lo cual se planteaba un eje con cuerda y los sujetadores tendrían una cuerda interna para ser ajustados en el eje. Así mismo debido al tamaño del carrete, la altura a la que se encuentre posicionado el eje debía ser mayor a 20 cm como mínimo, ya que la mayoría de los carretes rondan entre los 19.5 a 20 cm. También, se contempla que la base donde estaría apoyado el motor a pasos, fuera independiente de la base que soportaría al eje, que se imprimieran por separado y se ensamblarán después.

En esta primera iteración lo que se busca es obtener una idea general para la ubicación y forma de la estructura, así como los elementos que componen el apartado de enrollado. La desventaja de esta primera opción radica principalmente en la elaboración y selección de material del que estaría hecho el eje y la forma para realizar la sujeción al motor.

3.3.1.2 Iteración 2

Tomando en cuenta la primera etapa de esta metodología, al realizar un análisis de la documentación actual realizada para el prototipo existente, el cual tiene como título "Diseño y desarrollo de un dispositivo de enrollado de filamento PET para su aplicación en la manufactura aditiva"(Sebastián Salvador, 2023) realizado por "Manuel Sebastián Salvador" y presentado en el Instituto Tecnológico superior de Teziutlán.

Se optó por utilizar el eje y rodamiento correspondiente al mismo ya que, de acuerdo con la documentación de su análisis de estos componentes, presenta resultados que corroboran que son totalmente funcionales para este trabajo.

Análisis del eje

Los cálculos e información tanto del eje como del rodamiento que se presentan a continuación, son obtenidos del trabajo citado anteriormente.

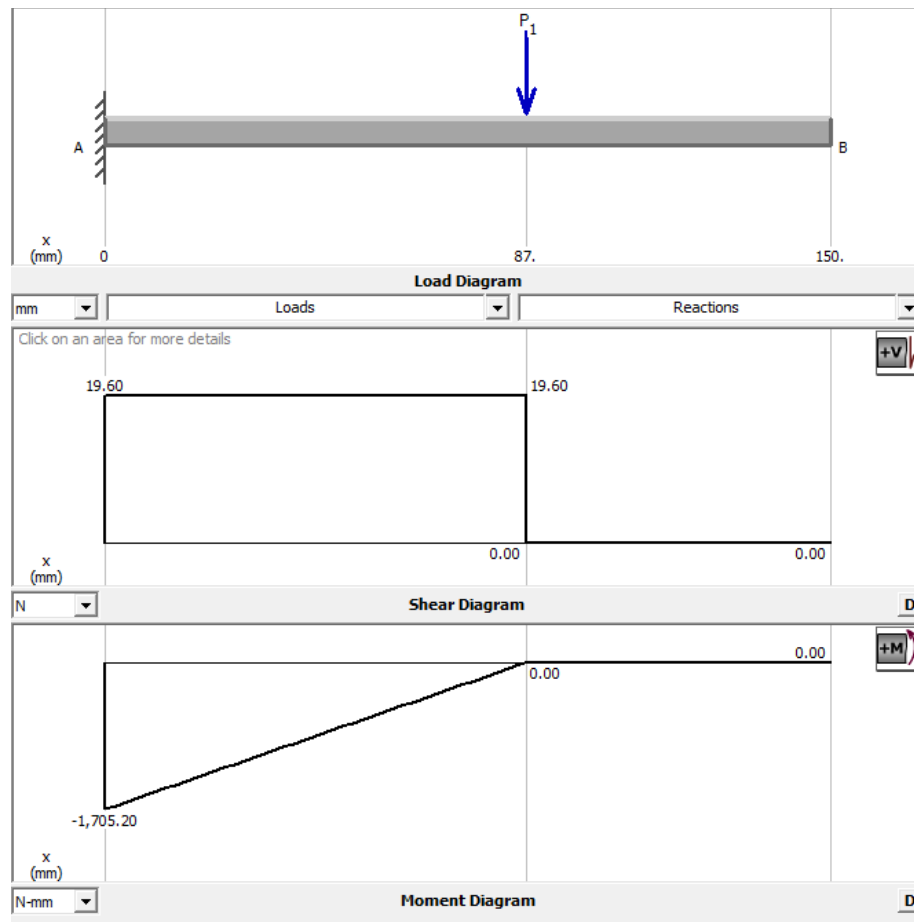
Cálculo del cortante y momento flexionante

En este primer apartado se realizó el cálculo del cortante y momento flexionante para que en base a los resultados que se obtuvieran se pudieran hallar los datos del esfuerzo cortante y flexionante máximo que se presentan en el eje cuando se encuentre aplicada una carga de 2 kg, este peso propuesto es tomando en cuenta el posible peso de los sujetadores y del carrete.

En la figura 26 se presentan los datos que obtuvo por medio del software "MDSolids", se puede conocer el esfuerzo flexionante máximo y el momento cortante máximo, el eje este fabricado a base de una barra de acero AISI 1045 con un diámetro de

8mm y con límite elástico de 310 MPa, esto es por motivo de su gran resistencia mecánica y tenacidad mediana.

Figura 26. Diagrama de fuerza cortante y momento flexionante del eje.



Fuente: (Sebastián Salvador, 2023)

Análisis ante flexionante máximo

La ecuación para el cálculo del esfuerzo flexionante máximo es:

$$\sigma = \frac{M_{max} \cdot c}{I} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

M_{max} = Momento flexionante máximo

C = radio del eje

I = Momento de inercia (asociado a la forma transversal del eje, para este caso particular es para un círculo)

Después verifico que, si el material implementado es útil para el sistema de enrollado, esto mediante la siguiente ecuación.

$$\sigma_{calculada} = \frac{(1705.2 \text{ N} \cdot \text{mm})(4\text{mm})}{\frac{\pi(8\text{mm})^4}{64 \text{ mm}}} = 33.92 \text{ MPa}$$

El resultado fue contemplando un diámetro de 8 mm.

Posteriormente hizo el cálculo del tamaño mínimo que debería tener el eje, para el cual se procede a despejar la ecuación. El radio es $C=d/2$, por lo que:

$$d_{min} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{max}}{\pi \cdot \sigma_y}} \quad (\text{Ec. 2})$$

$$d_{min} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot (1705.2 \text{ N} \cdot \text{mm})}{\pi \cdot \left(310 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right)}} = 3.83 \text{ mm}$$

Con los datos obtenidos anteriormente, se calcula el factor de seguridad:

$$n = \frac{\sigma_y}{\sigma} \quad (\text{Ec. 3})$$

$$n = \frac{310 \text{ MPa}}{33.92 \text{ MPa}} = 9.13$$

El factor de seguridad debe de encontrarse en el intervalo de $1 \leq n \leq 3$, en el resultado obtenido es un factor de 9.13. Se propone disminuir el valor con la disminución del tamaño del diámetro del eje o cambiar por un material con límite elástico inferior al material planteado.

El resultado indica que el diseño actual excede ampliamente el límite de seguridad establecido, tomando en cuenta que el prototipo pretende ser de uso para la institución especialmente, un alto factor de seguridad no afecta el diseño del prototipo, además implica que el diseño actual del eje es robusto y capaz de soportar

cargas considerables sin riesgo de falla. Esto podría interpretarse como una precaución adicional que garantiza una mayor durabilidad y resistencia del sistema, lo cual es deseable para el uso que se le va a dar.

Análisis ante cortante máximo

El Motor a pasos NEMA usado en el diseño, tiene un torque máximo de 4.2 N*cm, tomando la media del diámetro del eje, se calculó el torque máximo que puede soportar, esto al usar la siguiente ecuación.

$$\tau_y = \nu \cdot \sigma_y \quad (\text{Ec. 4})$$

En donde:

τ_y = esfuerzo ante cortante máximo

ν = Razón de Poisson (0.28 para el material propuesto, el acero AISI 1045)

σ_y = Limite elástico del material

$$\tau_y = (0.28)(310MPa) = 68.8 \frac{N}{mm^2}$$

También, se obtuvo el tamaño mínimo del diámetro del eje, al usar la ecuación que se muestra a continuación.

$$d_{min} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot \tau}{\pi \cdot \tau_y}} \quad (\text{Ec. 5})$$

$$d_{min} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot (0.42 N \cdot mm)}{\pi \cdot \left(68.8 \frac{N}{mm^2}\right)}} = 0.314 mm$$

El símbolo τ representa el torque máximo que puede proporcionar el motor nema 17, siendo esta una elección común dada la accesibilidad y disponibilidad de controladores (drivers) compatibles. Para su aplicación práctica, se llevó a cabo una conversión de unidades, pasando de N-cm a N-mm.

Se evaluó la posibilidad de modificar el diámetro o el material para el eje. Sin embargo, reducir el tamaño del eje no es factible por la indisponibilidad de dimensiones inferiores a las ya seleccionadas para el material utilizado. Por otro lado, si se quiere cambiar el tipo de material podría comprometer el factor de seguridad, esto es crucial debido a que el eje estará sujeto a una carga variable, lo que podría afectar su rendimiento a largo plazo. Una carga cambiante puede provocar fatiga en el material del eje, lo que aumenta el riesgo de fallas o roturas con el tiempo.

Para la elaboración de los cálculos de este apartado se tomó el dato del motor nema 17 de la siguiente imagen que pertenece al datasheet del componente:

Figura 27. Especificaciones del motor nema 17.

1.5 Amp motors		Single length	Double length	Triple length
Part number		M-1713-1.5 • (1)	M-1715-1.5 • (1)	M-1719-1.5 • (1)
Holding torque	oz-in	32	60	75
	N-cm	23	42	53
Detent torque	oz-in	1.7	2.1	3.5
	N-cm	1.2	1.5	2.5
Rotor inertia	oz-in-sec ²	0.000538	0.0008037	0.0011562
	kg-cm ²	0.038	0.057	0.082
Weight	oz	7.4	8.1	12.7
	grams	210	230	360
Phase current	amps	1.5	1.5	1.5
Phase resistance	ohms	1.3	2.1	2.0
Phase inductance	mH	2.1	5.0	3.85

Fuente: (Schneider Electric, 2018)

Análisis estático

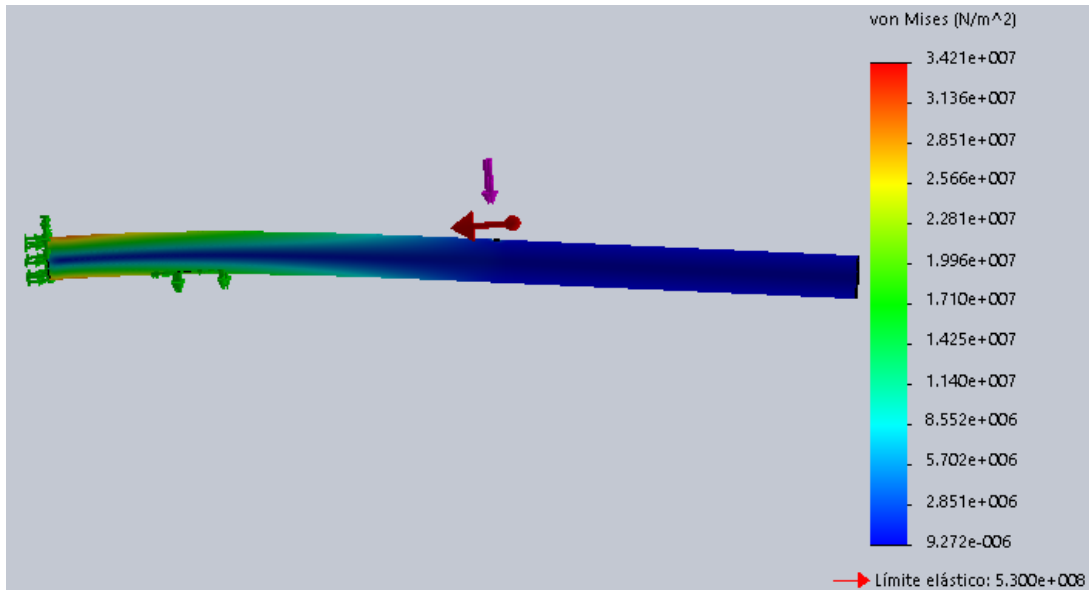
Este estudio permite corroborar que el material del eje soporte la carga máxima a la que se pueda someterse, para este análisis del eje, se tiene una fuerza radial estática de 19.6N (se tomó en cuenta el peso del carrete, los sujetadores y el kilogramo de filamento).

Obtuvo un desplazamiento máximo de: 0.000200105 m.

En la figura 29 se puede observar el esfuerzo de Von Mises (también llamado criterio de la máxima energía de distorsión), este se compara con el límite elástico del

material para analizar si el material soportará las cargas que interactúan con el mismo, así como también se puede conocer el factor de seguridad a lo largo del elemento.

Figura 28. Análisis estático (Von Mises).



Fuente: (Sebastián Salvador, 2023)

También, se puede observar que el máximo esfuerzo de Von Mises se encuentra en la parte izquierda. El cálculo del factor de seguridad es el siguiente:

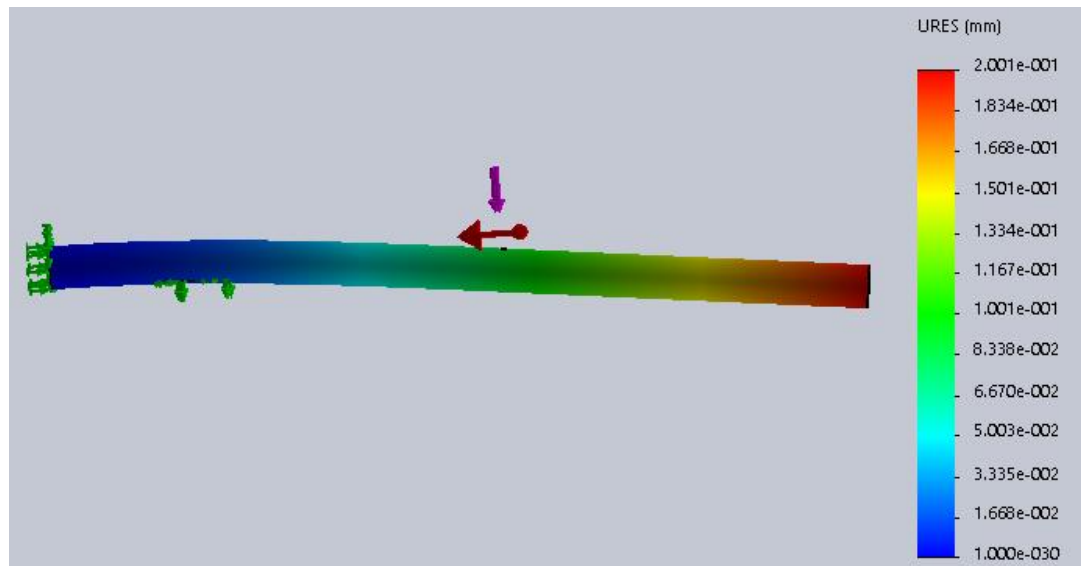
$$n = \frac{\text{límite elástico del material}}{\text{límite elástico máximo del análisis}} \quad (\text{Ec. 6})$$

$$n = \frac{5.3E8}{3.421E7} = 15.493$$

Con el resultado anterior se corroboró que el eje utilizado soportará la carga que se requiere, el factor de seguridad podría disminuirse cambiando la geometría del eje (el diámetro), pero como el eje de 8mm de acero AISI 1045 es fácil de adquirir, se optó por mantener ese diámetro.

En la siguiente figura, se puede ver que la parte donde sucede mayor desplazamiento es en la parte derecha, lo cual se debe a que no está anclado a algún soporte que permita sostener la carga de esa parte.

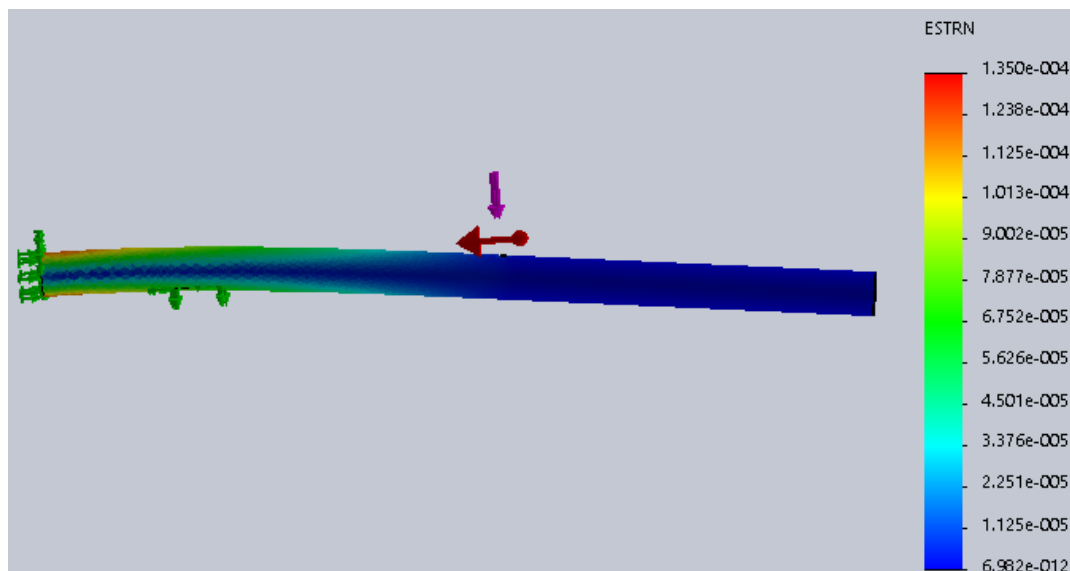
Figura 29. Análisis estático (Desplazamiento del eje).



Fuente: (Sebastián Salvador, 2023)

Por último, se obtuvo un diagrama de la deformación unitaria, en él se muestra que la deformación que sufre se encuentra en el lado donde se sujeta la pieza con un acoplamiento y donde se encuentra un soporte que permite que la carga no sea soportada por el motor eléctrico únicamente.

Figura 30. Análisis estático (deformaciones unitarias).



Fuente: (Sebastián Salvador, 2023)

Rodamiento

El rodamiento fue seleccionado tomando en cuenta que se debía soportar 2 kg, considerando un peso aproximado de acuerdo con los materiales que se iban a usar para el desarrollo de las piezas. Por esta razón se tomó como peso máximo el valor de 19.6 N, este peso lo debía soportar el rodamiento, con esto se puede encontrar la carga dinámica que el rodamiento debe aguantar. La ecuación que se uso fue la que se muestra a continuación.

$$P = X * F_r + Y * F_a \quad (\text{Ec. 7})$$

Donde:

P = Carga dinámica equivalente (kN)

Fr = Carga radial del rodamiento (kN)

Fa = Carga axial del rodamiento (kN)

X = Factor de carga radial del rodamiento (kN)

Y = Factor de carga axial del rodamiento (kN)

En el eje no hay ninguna fuerza axial, entonces es igual a 0, entonces la formula se pudo simplificar de la siguiente manera.

$$P = X * F_r \quad (\text{Ec. 8})$$

Se determinó un valor para la fuerza radial, siendo Fr=19.6N. Sin embargo, para los rodamientos rígidos de bolas, el factor de carga radial se obtiene de una tabla específica.

Para ello, se identificó la necesidad de conocer el valor de $F_0 F_a / C_0$ a partir de la figura X, lo que permitiría la selección del factor de carga radial adecuado para los rodamientos. En esta investigación, se propuso el empleo de un rodamiento 608RS con un F_0 de 12, cuyo valor se extrajo del manual de rodamientos de SKF, específicamente en la página 263 dedicada a rodamientos de 8 mm de diámetro. Además, se consultó la página 262 del mismo manual para obtener el valor de la

capacidad de carga básica del rodamiento 608RS, elemento esencial para aplicar la ecuación.

$$F_0 F_a / C_0 \quad (\text{Ec. 9})$$

Figura 31. Tabla de factores de cálculo para rodamientos rígidos de bolas.

tabla 1 - Factores de cálculo para rodamientos rígidos de bolas

$f_0 F_a / C_0$	Rodamientos de una hilera y de dos hileras Juego normal			Rodamientos de una hilera Juego C3			Juego C4		
	e	X	Y	e	X	Y	e	X	Y
0,172	0,19	0,56	2,3	0,29	0,46	1,88	0,38	0,44	1,47
0,345	0,22	0,56	1,99	0,32	0,46	1,71	0,4	0,44	1,4
0,689	0,26	0,56	1,71	0,36	0,46	1,52	0,43	0,44	1,3
1,03	0,28	0,56	1,55	0,38	0,46	1,41	0,46	0,44	1,23
1,38	0,3	0,56	1,45	0,4	0,46	1,34	0,47	0,44	1,19
2,07	0,34	0,56	1,31	0,44	0,46	1,23	0,5	0,44	1,12
3,45	0,38	0,56	1,15	0,49	0,46	1,1	0,55	0,44	1,02
5,17	0,42	0,56	1,04	0,54	0,46	1,01	0,56	0,44	1
6,89	0,44	0,56	1	0,54	0,46	1	0,56	0,44	1

Fuente: (SKF, 2023)

Haciendo uso de la ecuación, se obtuvo:

$$F_0 F_a / C_0 = (12) (19.6 \text{ N}) (1370 \text{ N}) = 0.1711219.6 \text{ N} 1370 \text{ N} = 0.171$$

Posteriormente, se empleó este valor para seleccionar el factor radial correspondiente de la figura anterior, considerando el tipo de ajuste entre el eje del motor y el rodamiento. En este caso, se identificó un ajuste con juego, lo que llevó a seleccionar el valor máximo de X para 0.172. Este procedimiento permitió obtener el valor de la carga dinámica a partir de la siguiente ecuación.

$$P = (0.56) \cdot (19.6 \text{ N}) = 10.976 \text{ NP} = 0.56 \cdot 19.6 \text{ N} = 10.976 \text{ N}$$

A pesar de que la carga dinámica del rodamiento seleccionado resultó adecuada, se consideró la variabilidad de la carga, lo que llevó a la posibilidad de elegir un rodamiento más robusto para garantizar un rendimiento óptimo bajo condiciones variables.

Accesorio con cuerda para el eje

Ese accesorio fue desarrollado por (Sebastián Salvador, 2023) para funcionar con una tuerca de $\frac{1}{2}$ ", se realizó de manera manual con ayuda de un torno con técnicas de careado y cilindrado. Este accesorio cuenta con dos perforaciones correspondientes para los tornillos prisioneros M4, estos con una broca 3.3 mm y un machuelo M4x0.7. El roscado es hecho con una tarja de $\frac{1}{2}$ " con paso estándar.

Figura 32. Accesorio con cuerda para el eje.



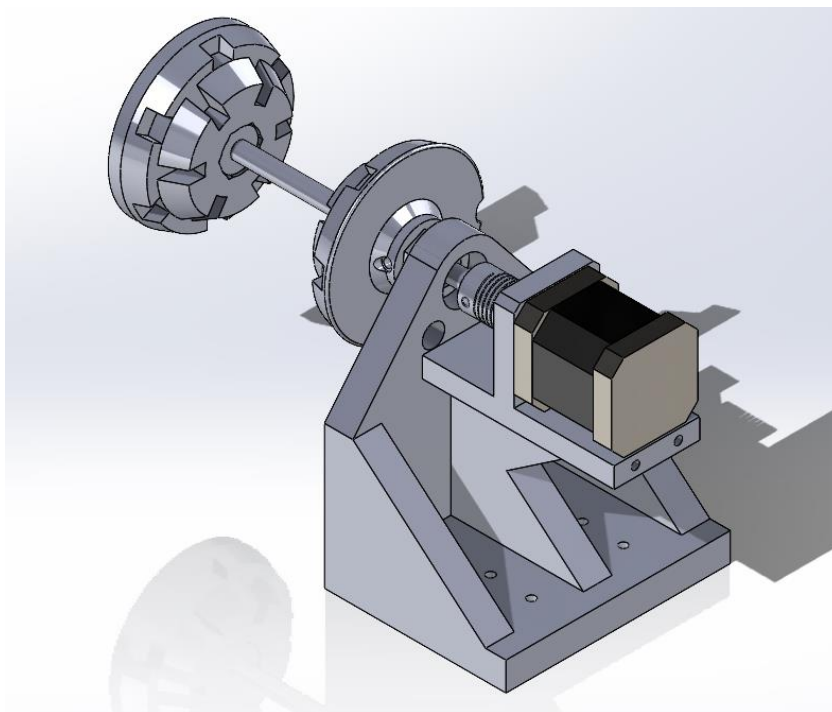
Fuente: (Sebastián Salvador, 2023)

Esta pieza fue realizada especialmente para ser utilizada con el eje que se eligió, por esta razón fue por la que se decidió integrar en esta segunda iteración, para que, en base a los componentes, se ajuste el diseño de los sujetadores.

Resultado de la iteración 2

Por lo tanto, para esta iteración se incorpora el eje con el accesorio y el rodamiento del diseño pasado. Así mismo, para este nuevo diseño se modificaron los sujetadores, al primer sujetador que es el de la izquierda, se le añadió una tuerca en el centro (una tuerca de $\frac{1}{2}$ ") para que pueda ser ajustado con el accesorio con el que cuenta el eje, para que así tenga un mejor ajuste sobre el carrete. También, al segundo sujetador que es el de la derecha se restructuro la geometría para poder introducir un tornillo prisionero y que este sujetador pueda ser fijado en el eje. Finalmente, una modificación más fue la estructura de la base donde se coloca el motor paso a paso, este se realizó a modo que estuviera diseñado en una sola pieza en junta con la base donde reposa el eje a través del rodamiento.

Figura 33. Segunda iteración del diseño del apartado de enrollado.



Fuente: (Autoría propia, 2023)

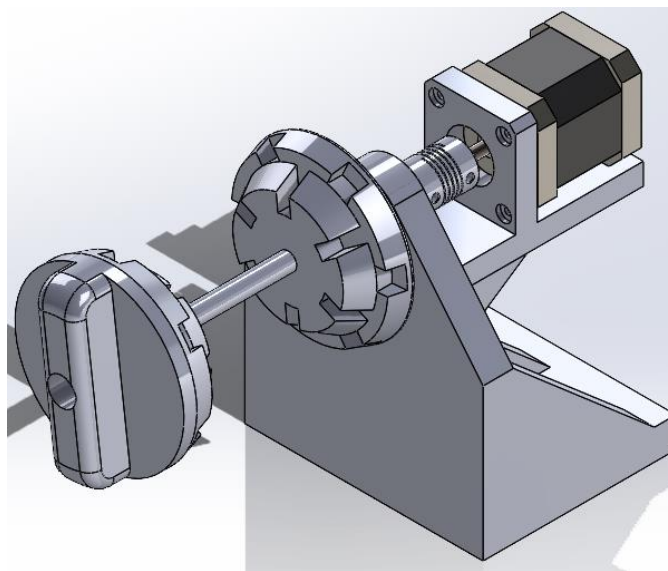
Este diseño presenta una estructura resistente y funcional, además de que los sujetadores se podían adaptar al diámetro interno de los carretes y podían ejercer presión sobre el carrete gracias a la adaptación de la tuerca para interactuar con el accesorio y así obtener un mejor agarre del carrete.

3.3.1.3 Iteración 3

Finalmente se realizó una última modificación en los sujetadores, dado que la geometría de uno de ellos no era la adecuada para que fuera práctico a la hora de quitar o montar algún carrete y asegurarlo.

Se optó por elegir este último diseño, ya que presentaba una mayor eficiencia de acoplarse a la mano y realizar el giro para apretar el carrete sin necesidad de tener una herramienta extra.

Figura 34. Tercera iteración del diseño del apartado de enrollado.



Fuente: (Autoría propia, 2023)

3.3.2 Guía del filamento

Para el apartado de la guía de filamento, se pretende lograr un diseño versátil que se adapte a las variadas longitudes y dimensiones de los carretes utilizados para almacenar filamento para impresión 3D. El propósito principal de esta sección es explorar y detallar las distintas iteraciones realizadas en la evolución del diseño de esta guía de filamento

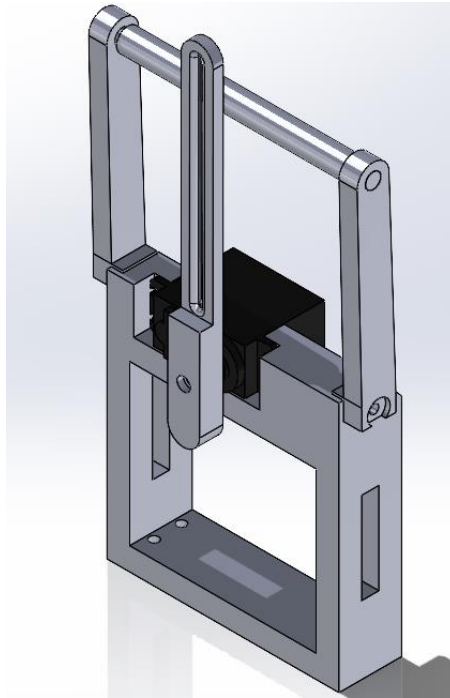
3.3.2.1 Iteración 1

En la primera fase de desarrollo, se explora la viabilidad de emplear un servomotor MG995 como componente clave para la guía de filamento. Esta etapa inicial implica la creación de una base sólida para el motor, junto con una barra diseñada para funcionar como riel por donde se desplazaría el filamento. Se propone un accesorio específico para dirigir y desplazar el filamento a lo largo de esta barra para así ir distribuyendo a través del carrete.

El enfoque inicial con el servomotor muestra ciertas limitaciones, principalmente en relación con la precisión requerida para el movimiento lineal y continuo del filamento. A pesar de la estructura sólida y la capacidad del servomotor para ciertos

movimientos angulares, se identificó que su precisión no era suficiente para mantener un desplazamiento uniforme y preciso del filamento a lo largo de la barra.

Figura 35. Primera iteración del diseño del apartado de la guía del filamento.



Fuente: (Autoría propia, 2023)

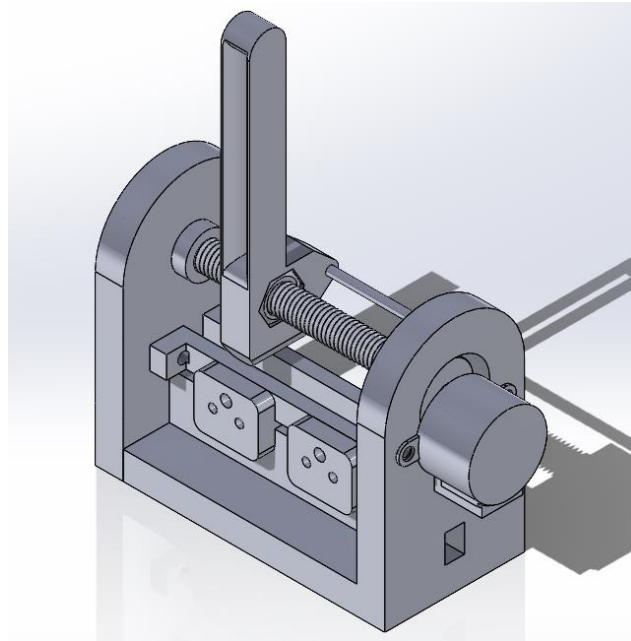
3.3.2.2 Iteración 2

Para este diseño, se propuso una base con un motor a pasos 28BYJ-48 con un acoplamiento de un eje roscado (las medidas fueron de práctica solo para probar el funcionamiento mecánico), la base incorporaba dos interruptores de final de carrera para detectar los límites de movimiento de la guía, estos se ajustan manualmente de acuerdo a las dimensiones del carrete, para asegurar un movimiento lineal más preciso se añadió una barra metálica pequeña como soporte del accesorio que distribuiría el filamento.

Este diseño fue descartado, debido que al ser elaborado y probado mecánicamente se pudo encontrar con que, el motor a pasos 28BYJ-48 al ser alimentado con una fuente de energía de 5V, el motor mantenía una temperatura adecuada pero no estaba energizado lo suficiente para realizar los movimientos mecánicos

correspondientes y si era alimentado con 12V era funcional para realizar el movimiento requerido, pero producía un sobrecalentamiento con forme transcurría el tiempo.

Figura 36. Segunda iteración del diseño del apartado de la guía del filamento.



Fuente: (Autoría propia, 2023)

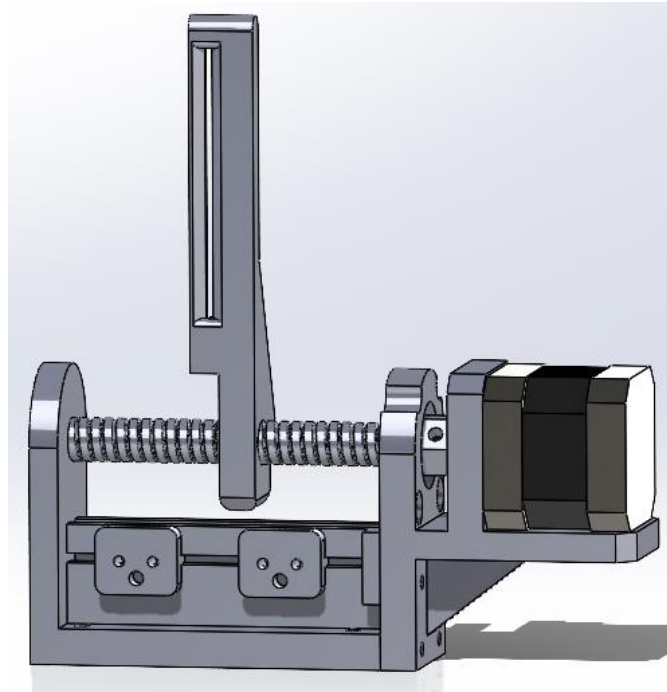
3.3.2.3 Iteración 3

En esta iteración se realiza una sustitución nuevamente del componente que transmitiría el movimiento, se cambió el motor a pasos propuesto por un motor nema 17, dada su viabilidad corroborada en el funcionamiento en aparatado de enrollado, de decidido integrar de la misma forma al apartado de la guía del filamento.

Este diseño conserva parte de la geometría de la base, pero adaptándola para ser posible la sujeción del motor nema, así mismo se conservó el mecanismo de los interruptores de límite para ajustarse al ancho del carrete que se desee ocupar. Por otro lado, para el eje, se decidido asignarle un diámetro de 12 mm y como se deseaba realizar un avance de 1.75 mm cada media vuelta (que es el diámetro del

filamento que se pretende enrollar), sencillamente se puede deducir que el paso de rosca debía de ser de 3.5 mm, esto se puede justificar, ya que el paso de rosca es la distancia que un tornillo avanza axialmente con una rotación completa.

Figura 37. Tercera iteración del diseño del apartado de la guía del filamento.



Fuente: (Autoría propia, 2023)

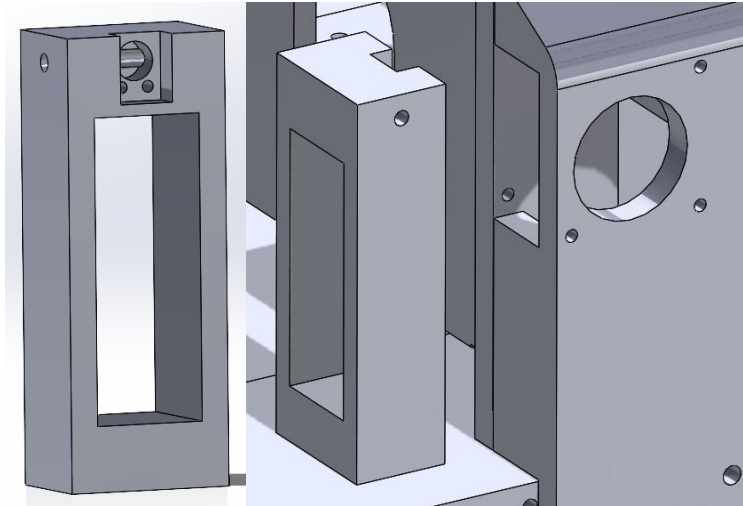
Dada la funcionalidad que esta última iteración muestra, se optó por dejar este diseño, ya que presentaba un mecanismo funcional y adaptable al trabajo que va a realizar el motor.

3.3.3 Sistema de enfriamiento

Para este apartado, se realiza un diseño simple el cual consiste de una base rectangular con un espacio especial en la parte superior para añadir un sensor de temperatura infrarrojo MLX90614, este diseño cuenta con una perforación perpendicular al sensor, para que se pueda introducir un tubo de teflón acondicionado especialmente para poder interactuar con la medición de la temperatura del filamento y que sea lo más exacta posible.

Para la colocación del ventilador que incorpora un diseño con tolva se adecuó una de las piezas que conforman la carcasa de forma que la salida del aire sea en dirección a donde está ingresando el filamento.

Figura 38. Diseño del sistema de enfriamiento.



Fuente: (Autoría propia, 2023)

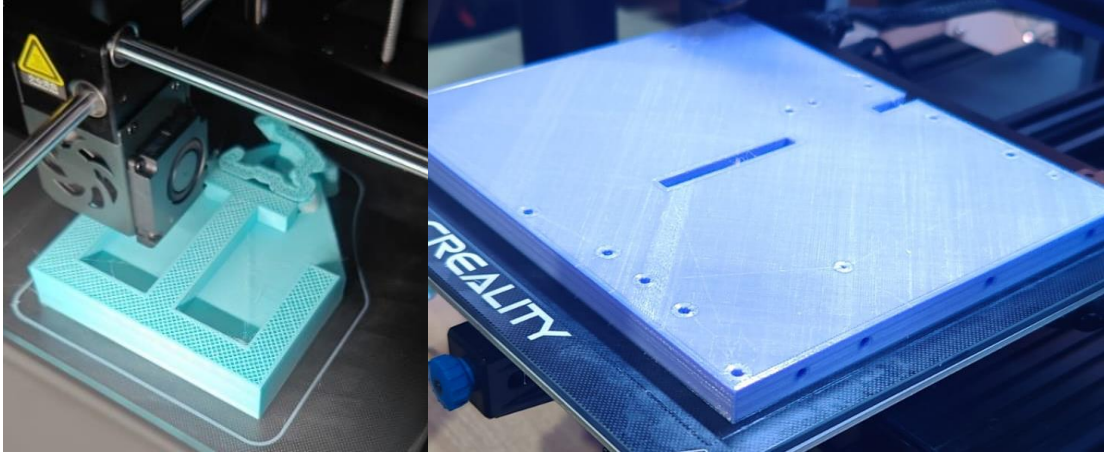
3.4 Construcción

3.4.1 Elaboración de piezas con impresión 3D

El desarrollo de las piezas en su mayoría son propuestas para ser elaboradas en una impresora 3D, es por ello que se tomaron muy en cuenta las medidas del diseño, para que con apoyo de impresoras 3D las piezas fueran creadas a partir de filamento PETG, esta elección de material fue dado que presenta una mayor resistencia a comparación del PLA.

En la siguiente figura, se muestran algunas figuras del proceso de impresión 3D de piezas que constituyen el diseño:

Figura 39. Impresión de piezas en impresora 3D.



Fuente: (Autoría propia, 2023)

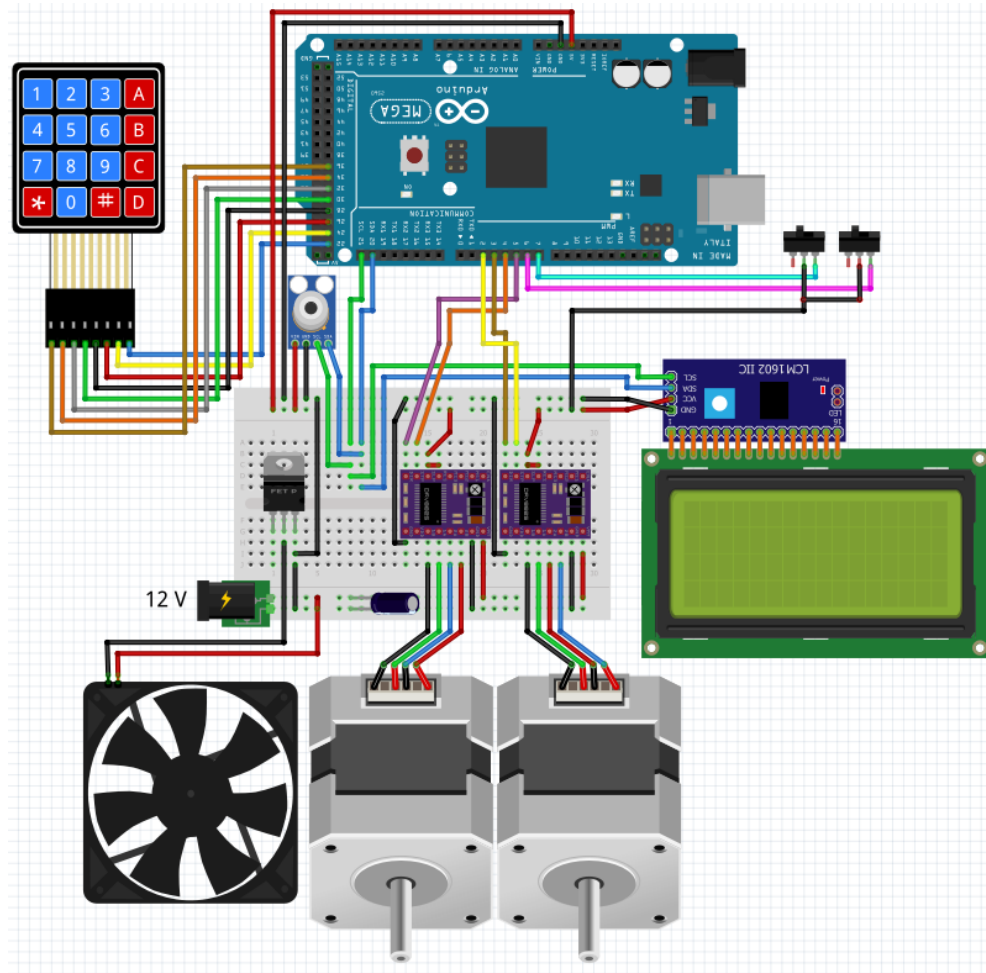
3.4.2 Esquema eléctrico

A continuación, se da a conocer el diagrama de conexiones ilustrando la interrelación entre los componentes electrónicos y la placa central que es el Arduino UNO.

Lista de componentes:

- Arduino MEGA 2560.
- 2 interruptores de final de carrera.
- Sensor de temperatura infrarrojo MLX90614.
- Teclado matricial 4x4.
- LCD 20x4 con modulo I2C.
- 2 drivers DRV8825.
- Capacitor de 100 uF.
- Ventilador de 12 V.
- Mosfet IRFZ44N.
- 2 motores nema 17.
- Fuente de voltaje de 12 V.

Figura 40. Esquema eléctrico de los elementos electrónicos con la placa Arduino MEGA 2560, realizado en el software "Fritzing".



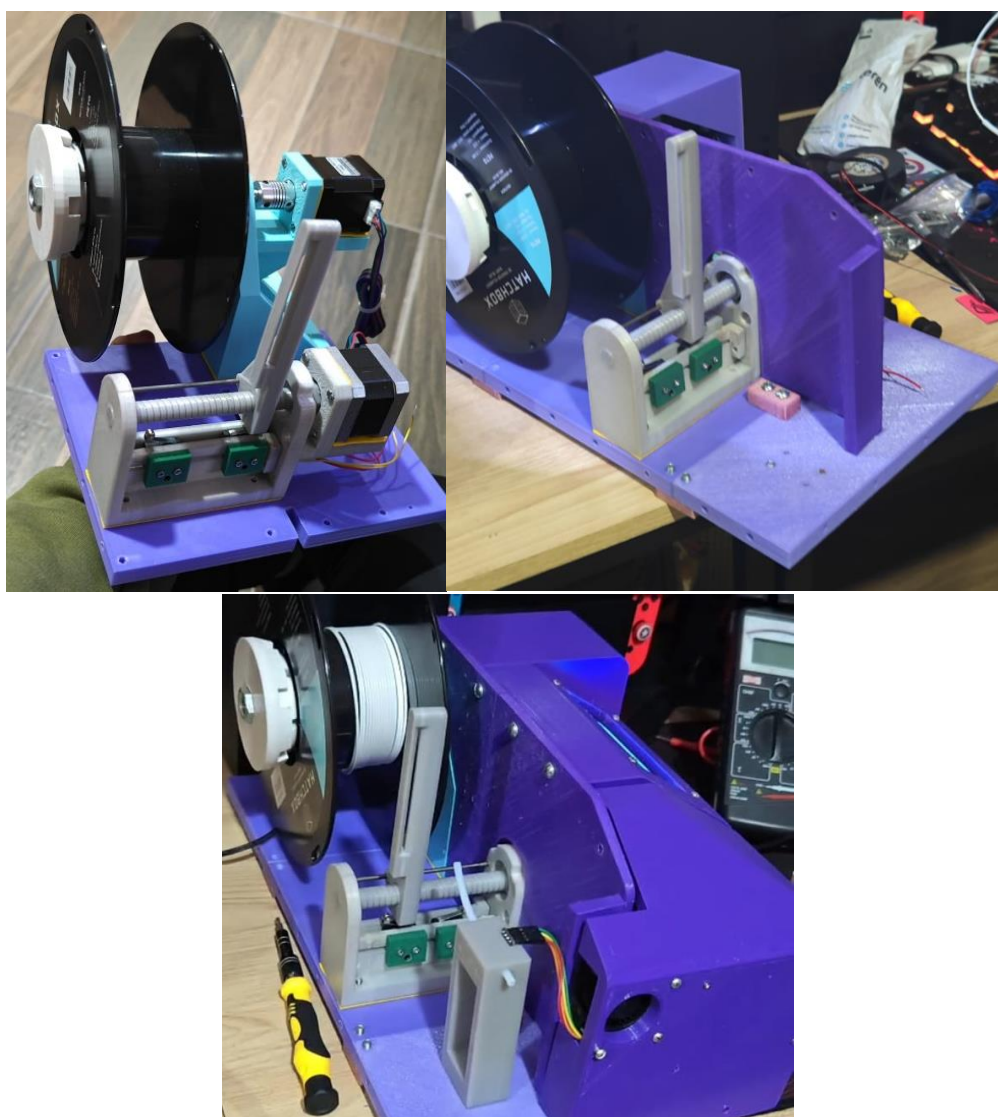
Fuente: (Autoría propia, 2023)

Para la elaboración de este diagrama de conexiones se realizó con la ayuda de un software de diseño electrónico gratuito llamado "Fritzing". La alimentación de 5V de los componentes, fue tomada de la misma placa del Arduino, esto incluye la alimentación para el LCD, sensor infrarrojo, teclado matricial 4x4 y los interruptores de límite. En el caso de la alimentación para los motores y el ventilador, así como para el mismo Arduino MEGA, se implementó una fuente externa de 12V que abastecerá a los componentes mencionados anteriormente. En este caso, la conexión del ventilador esta realizada con un transistor MOSFET IFRZ44N para poder controlar el PWM.

3.4.3 Ensamble del prototipo

Para el ensamblaje del prototipo se utilizaron tornillos 3/16" x 3/4" para sujeción de cada una de las partes que se imprimieron, para los motores a pasos se emplearon otros tornillos, los cuales son de M3 X 12 y M3 x 6 mm. La fijación de la fuente de poder, el conector de enchufe, el ventilador, y del LCD 20x4 se realizó con ayuda de tornillos 1/8" x 3/4" y 1/8" x 1 1/2".

Figura 41. Ensamble del prototipo de enrollado.



Fuente: (Autoría propia, 2023)

3.4.4 Cálculos para el control de velocidad de enrollado

Este apartado se realizó con apoyo del trabajo de Darwin Gustavo Sandoya Lara y Christopher Michell Macias Coello titulado "Diseño y construcción de un equipo triturador-extrusor de material plástico reutilizable tipo tereftalato de polietileno (PET) para la elaboración de filamento para impresoras 3D" (Sandoya Lara & Macias Coello, 2021).

En base al sistema de embobinado del sistema propuesto en el trabajo mencionado anteriormente, se obtiene lo siguiente:

Primero antes que todo, se necesita conocer la rapidez de salida del filamento en el extrusor, este dato lo deberíamos de encontrar en la documentación del extrusor en donde se va a implementar el enrollador, pero en dado caso de no hallar este valor, se tiene la siguiente ecuación.

$$V = \frac{Q}{S} \left(\frac{m}{seg} \right) \quad (\text{Ec. 10})$$

Donde:

V: Velocidad de salida del filamento $\left(\frac{m}{seg} \right)$

Q: Flujo volumétrico de material $\left(\frac{m^3}{seg} \right)$

S: Sección transversal de la boquilla (m^2)

Puesto que este dato de la velocidad de salida del filamento lo conoceremos una vez que el diseño del extrusor del proceso en donde se va incorporar el enrollado esté terminado, entonces se procede a usar la siguiente ecuación para calcular la velocidad a la que debe de ir el enrollador.

$$\eta = \frac{V}{\pi(D)} (r.p.m) \quad (\text{Ec. 11})$$

Donde:

η : Velocidad de giro (r.p.m.)

V: Velocidad de salida del filamento (mm/min)

D: Diámetro interior del carrete (mm)

En este caso para ejemplificar, supondremos que la velocidad de salida del filamento es de 1200 mm/min y que contamos con un carrete ya montado que tiene un diámetro interior de 80 mm, entonces tendríamos lo siguiente.

$$\eta = \frac{1200 \left(\frac{mm}{min} \right)}{\pi(80 mm)} (r.p.m.)$$

Lo cual nos da como resultado una velocidad para el giro del carrete de:

$$\eta = 4.77 \text{ r.p.m.}$$

3.5 Programación

A continuación, se explicará el cálculo para obtener el parámetro de la velocidad que deberá ser ingresado para que el prototipo cumpla con su función, además, se mostrarán las estructuras del programa usadas para realizar el funcionamiento del prototipo, dividiendo este en los apartados más importantes para la lógica del funcionamiento.

El código completo se encuentra en el **Anexo 1** de este documento, el cual incorpora todas las líneas de código para el funcionamiento del enrollador de filamento.

3.5.1 Ingreso de valores

Se comenzó con realizar una forma interactiva para poder introducir los valores de configuración con los que se necesite trabajar, esto a través de la visualización del contenido en un LCD 20X4, el cual requiere la librería "LiquidCrystal_I2C" para funcionar correctamente. Para optimizar las conexiones del LCD de utilizo un módulo I2C, ya que permite realizar la comunicación del LCD con la placa Arduino MEGA a

través de 4 pines, que son el SDA, SCL, GND Y VCC. Dado que se está utilizando una placa Arduino MEGA, solo es necesario buscar los pines que vienen marcados de la misma forma.

Además de la librería "LiquidCrystal", también es necesaria la librería "Wire.h" para la comunicación I2C.

Para lograr introducir los valores, primero se define un teclado matricial de 4x4 con los caracteres en un arreglo bidimensional keys. Los pines de las filas y columnas del teclado están conectados a los pines especificados en los arreglos "pin_rows" y "pin_column". Se crea un objeto "keypad" de la clase Keypad, que se usa para interactuar con el teclado matricial.

Figura 42. Definir teclado matricial 4x4

```
const byte ROW_NUM    = 4; // Cuatro filas
const byte COLUMN_NUM = 4; // Cuatro columnas
char keys[ROW_NUM][COLUMN_NUM] = {
    {'1','2','3','A'},
    {'4','5','6','B'},
    {'7','8','9','C'},
    {'*','0','#','D'}
};
byte pin_rows[ROW_NUM] = {22, 24, 26, 28}; // Filas
byte pin_column[COLUMN_NUM] = {30, 32, 34, 36}; // Columnas
Keypad keypad = Keypad(makeKeymap(keys), pin_rows, pin_column, ROW_NUM, COLUMN_NUM);
```

Fuente: (Autoría propia, 2023)

Se creó una función "solicitarValor" para la entrada de datos manual. En esta función, comienza limpiando la pantalla LCD y mostrando un título, como "Velocidad=" o "Temperatura=", para indicar al usuario qué valor se está solicitando. Luego, se crea una cadena de texto vacía llamada "valorStr", destinada a almacenar los caracteres que el usuario ingrese mediante el teclado matricial. El programa entra en un bucle infinito donde se utiliza la función "keypad.getKey()" para obtener la tecla que se presiona. Si la tecla obtenida (key) no es vacía, el programa comprueba si es igual a 'A'. En caso de ser 'A', el contenido de valorStr se convierte a un número de tipo flotante y se asigna a la variable correspondiente (valor), terminando así el

bucle. Por otro lado, si la tecla presionada no es 'A', 'B', 'C', 'D' ni '#', se considera que es un dígito numérico o un punto decimal. Este carácter se añade a "valorStr" y también se muestra en la pantalla LCD.

Este proceso permite al usuario introducir valores numéricos a través del teclado matricial y visualizarlos en tiempo real en la pantalla LCD.

Figura 43. Función para solicitar un valor numérico.

```
void solicitarValor(const char *titulo, float &valor) {
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print(titulo);

    int longitudTitulo = strlen(titulo);
    lcd.setCursor(longitudTitulo, 0);

    String valorStr = "";
    char key;

    while (true) {
        key = keypad.getKey();
        if (key) {
            if (key == 'A') {
                valor = valorStr.toFloat();
                break;
            } else if (key != 'B' && key != 'C' && key != 'D' && key != '#') {
                valorStr += key;
                lcd.print(key);
                // Mueve el cursor a la posición correcta para el próximo carácter
                lcd.setCursor(longitudTitulo + valorStr.length(), 0);
            }
        }
    }
}
```

Fuente: (Autoría propia, 2023)

3.5.2 Mecanismo de enrollado

Para la programación de este apartado, se toma en cuenta el motor donde está sujeto el carrete, así como, la guía que distribuye el filamento.

Declaración de variables y constantes

Para comenzar, se configuraron los parámetros y hardware del motor 1 y 2, en este caso, el motor del apartado de enrollado donde va posicionado el carrete es el 1 y el 2 es el que corresponde a la guía que distribuye el filamento.

Para el primer motor, se define la constante "pasosPorRev_motor1", la cual se establece en 200 pasos por revolución. Esta constante es crucial para determinar la cantidad de pulsos de señal necesarios para que el motor complete una vuelta completa. Además, los pines de control para este motor están asignados a través de las constantes "pinStep_motor1" y "pinDir_motor1", ubicadas en los pines 2 y 3, respectivamente. Aquí, "pinStep_motor1" es responsable de enviar los pulsos que provocan los pasos del motor, mientras que "pinDir_motor1" controla la dirección de rotación del motor. También se emplean variables volátiles, "pasos_motor1" y "dir_motor1", para rastrear el número de pasos dados por el motor y la dirección actual de rotación, respectivamente.

Figura 44. Variables y constantes para motor 1.

```
// Variables y Constantes para Motor 1
const int pasosPorRev_motor1 = 200;
const int pinStep_motor1 = 2;
const int pinDir_motor1 = 3;
volatile long pasos_motor1 = 0;
volatile bool dir_motor1 = HIGH;
```

Fuente: (Autoría propia, 2023)

En lo que respecta al segundo motor, se sigue una estructura similar con algunas diferencias clave. La constante "pasosPorRev_motor2" indica los pasos por revolución para este motor, y "pasosParaMediaRev_motor2" calcula los pasos necesarios para una media revolución, lo que es particularmente útil para movimientos precisos que no requieren una rotación completa. Los pines "pinStep_motor2" y "pinDir_motor2", correspondientes a los pines 4 y 5, son los asignados para el control del motor. De la misma forma que para el motor 1, las

variables volátiles “pasos_motor2” y “dir_motor2” son definidas para contar los pasos realizados por el motor y determinar la dirección de giro.

Figura 45. Variables y constantes para motor 2.

```
// Variables y Constantes para Motor 2
const int pasosPorRev_motor2 = 200;
const int pasosParaMediaRev_motor2 = pasosPorRev_motor2 / 2;
const int pinStep_motor2 = 4;
const int pinDir_motor2 = 5;
volatile long pasos_motor2 = 0;
volatile bool dir_motor2 = HIGH;
```

Fuente: (Autoría propia, 2023)

3.5.2.1 Motor del soporte de carrete

Función de configuración para el motor 1

La función “configurarMotor()” comienza desactivando las interrupciones globales mediante “noInterrupts();”, un paso esencial para evitar cualquier interferencia durante la configuración del temporizador (timer).

En el siguiente paso, se inicializan los registros del Timer1. Los registros “TCCR1A” y “TCCR1B” se establecen en cero para asegurar que el Timer1 comience desde un estado conocido. Asimismo, el contador del Timer1 (TCNT1) se reinicia a 0, preparando el temporizador para su configuración.

La función procede a calcular la frecuencia y el intervalo para el control del motor. La frecuencia, almacenada en “frecuenciaTimer_motor1”, se calcula en función de la velocidad deseada del motor, el número de pasos por revolución (pasosPorRev_motor1), y un factor de 8 derivado de la configuración del prescaler del timer. Esta frecuencia se utiliza para determinar el intervalo entre cada paso del motor (intervaloTimer_motor1), calculado como un inverso de la frecuencia en microsegundos.

$$\text{intervaloTimer_motor1} = \frac{(\text{RPMDesada_motor1})(\text{pasosPorRev_motor1})(8)}{60} \quad (\text{Ec. 12})$$

El siguiente paso en la función es configurar propiamente el Timer1. Se establece el valor de "OCR1A" al intervalo calculado, lo que determina cuándo el Timer1 generará una interrupción. El Timer1 se configura en modo CTC (Clear Timer on Compare Match) a través de "TCCR1B |= (1 << WGM12);", lo que permite que el contador se reinicie a 0 cada vez que alcanza el valor en "OCR1A". Además, se establece el prescaler del Timer1 a 64, mediante la activación de los bits "CS10" y "CS11" en "TCCR1B", para controlar la velocidad a la que el contador incrementa. Finalmente, se habilitan las interrupciones por comparación con "OCR1A" usando "TIMSK1 |= (1 << OCIE1A);", lo que permite que la función de servicio de interrupción (ISR) correspondiente sea llamada en cada coincidencia.

La función concluye reactivando las interrupciones globales con "interrupts();". Este paso es importante para permitir que el programa responda a otras interrupciones una vez que la configuración del Timer1 está completa. En conjunto, "configurarMotor()" prepara el Timer1 para generar interrupciones a una frecuencia específica, que a su vez controla la velocidad del motor paso a paso en función de los parámetros definidos.

Figura 46. Función para configurar el motor 1.

```
// Configuración del motor
void configurarMotor() {
    noInterrupts();
    TCCR1A = 0;
    TCCR1B = 0;
    TCNT1 = 0;

    unsigned long frecuenciaTimer_motor1 = (velocidad * pasosPorRev_motor1 * 8) / 60;
    unsigned long intervaloTimer_motor1 = 1000000 / frecuenciaTimer_motor1;

    OCR1A = intervaloTimer_motor1;
    TCCR1B |= (1 << WGM12);
    TCCR1B |= (1 << CS10);
    TCCR1B |= (1 << CS11);
    TIMSK1 |= (1 << OCIE1A);
    interrupts();
}
```

Fuente: (Autoría propia, 2023)

Función de Interrupción del Timer para el motor 1

Esta función se ejecuta cada vez que el temporizador (TIMER1_COMPA_vect) alcanza su valor específico, incrementa el contador de pasos del motor 1 (pasos_motor1) cada vez que se llama esta interrupción y se genera un pulso de control en "pinStep_motor1" para mover el motor, proporcionando así los pasos necesarios.

Figura 47. Función de Interrupción del Timer para el Motor 1.

```
ISR(TIMER1_COMPA_vect) {  
    pasos_motor1++;  
    digitalWrite(pinStep_motor1, HIGH);  
    delayMicroseconds(1);  
    digitalWrite(pinStep_motor1, LOW);  
}
```

Fuente: (Autoría propia, 2023)

3.5.2.2 Motor de guía de filamento

Para el funcionamiento de la guía únicamente es necesario realizar un movimiento inicial para comenzar la distribución correctamente desde uno de los extremos del carrete y después realizar movimientos en relación a las revoluciones del motor principal que es el de enrollado. No es necesaria la programación de parámetros de las dimensiones de carretes ya que el diseño de la guía fue elaborado para tener una opción de ajuste manual físicamente.

Función de posicionamiento inicial

La función encenderMotor2() comienza estableciendo la dirección de giro del motor 2 a través de "pinDir_motor2", configurando que el motor girará "hacia la derecha". A continuación, se activa el motor mediante un pulso enviado al "pinStep_motor2", lo que hace que el motor avance un paso. Este proceso de activación y desactivación del pin, con un intervalo de 500 microsegundos, se realiza una vez antes de entrar en un bucle while.

Dentro del bucle while, la función verifica continuamente el estado del interruptor derecho, conectado al pin "interruptorDer". Mientras el interruptor no se active (mientras su estado sea HIGH), el motor continúa dando pasos, siguiendo el mismo patrón de activación y desactivación del pin con intervalos de 500 microsegundos. Este bucle permite que el motor siga girando hasta que se detecta un cambio en el estado del interruptor, lo que sugiere que el motor ha alcanzado una posición o condición deseada.

Finalmente, una vez que el interruptor derecho se activa (cuando su estado cambia a LOW), el bucle while se detiene, y con él, el movimiento del motor. Esto se logra desactivando el pin pinStep_motor2, asegurando que el motor se detenga.

Este movimiento se realiza inicialmente para asegurar que la distribución de filamento comience desde un extremo, en este caso el extremo derecho.

Figura 48. Configurar el motor 2 para su colocación inicial.

```
void encenderMotor2() {  
    digitalWrite(pinDir_motor2, LOW); // Invertir la dirección para girar hacia la derecha  
    digitalWrite(pinStep_motor2, HIGH);  
    delayMicroseconds(500);  
    digitalWrite(pinStep_motor2, LOW);  
    delayMicroseconds(500);  
  
    while (digitalRead(interruptorDer) == HIGH) {  
        digitalWrite(pinStep_motor2, HIGH);  
        delayMicroseconds(500);  
        digitalWrite(pinStep_motor2, LOW);  
        delayMicroseconds(500);  
    }  
  
    digitalWrite(pinStep_motor2, LOW); // Detener el motor2 cuando se toca el interruptor  
}
```

Fuente: (Autoría propia, 2023)

Control de los interruptores de final de carrera

Para que los interruptores de final de carrera están conectados normalmente abiertos, entonces, para tuvieran un comportamiento correcto para modificar el

sentido de giro de la guía cuando llega a los extremos del carrete. Se realizó lo siguiente:

Figura 49. Configurar los interruptores de límite para el sentido del motor a la izquierda.

```
if (digitalRead(interruptorIzq) == LOW && !botonIzquierdoPresionado) {  
    estadoInterruptorIzq = !estadoInterruptorIzq;  
    botonIzquierdoPresionado = true;  
    digitalWrite(pinDir_motor2, LOW);  
} else if (digitalRead(interruptorIzq) == HIGH && botonIzquierdoPresionado) {  
    botonIzquierdoPresionado = false;  
}
```

Fuente: (Autoría propia, 2023)

Si el interruptor izquierdo (interruptorIzq) está activado (LOW) y no se ha presionado el botón izquierdo (botonIzquierdoPresionado), se altera el estado del interruptor izquierdo (estadoInterruptorIzq) y se activa el botón izquierdo (botonIzquierdoPresionado). Además, se configura la dirección del motor 2 (pinDir_motor2) hacia la izquierda (LOW). También, cuando el interruptor izquierdo está desactivado (HIGH) y se ha presionado el botón izquierdo, se desactiva el botón izquierdo (botonIzquierdoPresionado).

Figura 50. Configurar los interruptores de límite para el sentido del motor a la derecha.

```
if (digitalRead(interruptorDer) == LOW && !botonDerechoPresionado) {  
    estadoInterruptorDer = !estadoInterruptorDer;  
    botonDerechoPresionado = true;  
    digitalWrite(pinDir_motor2, HIGH);  
} else if (digitalRead(interruptorDer) == HIGH && botonDerechoPresionado) {  
    botonDerechoPresionado = false;  
}
```

Fuente: (Autoría propia, 2023)

Si el interruptor derecho (interruptorDer) está activado y no se ha presionado el botón derecho (botonDerechoPresionado), se altera el estado del interruptor derecho (estadoInterruptorDer) y se activa el botón derecho

(botonDerechoPresionado). Se configura la dirección del motor 2 hacia la derecha (HIGH). Además, si el interruptor derecho está desactivado y se había presionado el botón derecho, se desactiva el botón derecho.

Control del motor 2 en función del motor 1

Si los pasos del motor 1 (pasos_motor1) alcanzan la cantidad de pasos por revolución del motor 1 (pasosPorRev_motor1), se reinicia el contador de pasos del motor 1 a cero (pasos_motor1 = 0). En este punto, se ejecuta un bucle que mueve el motor 2 un número específico de pasos (pasosParaMediaRev_motor2) cada vez que el motor 1 completa una revolución.

Este bucle utiliza pulsos de control (HIGH y LOW en pinStep_motor2) con intervalos de 500 microsegundos para mover el motor 2.

Figura 51. Sincronizar el movimiento del motor 2 para accionarse con las revoluciones del motor 1.

```
if (pasos_motor1 >= pasosPorRev_motor1) {  
    pasos_motor1 = 0;  
    for (int i = 0; i < pasosParaMediaRev_motor2; i++) {  
        digitalWrite(pinStep_motor2, HIGH);  
        delayMicroseconds(500);  
        digitalWrite(pinStep_motor2, LOW);  
        delayMicroseconds(500);  
    }  
}
```

Fuente: (Autoría propia, 2023)

3.5.3 Sistema de enfriamiento

Para el manejo del sensor de temperatura se utiliza Adafruit_MLX90614. Esta librería facilita la comunicación con el sensor de temperatura MLX90614, un sensor infrarrojo que permite medir la temperatura sin contacto directo. De la misma forma que el LCD, aquí también se emplea el uso de la librería "Wire".

Declaración de variables y constantes

La parte para el control del ventilador y el sensor de temperatura incluye varias variables clave. "float ultimaTemperaturaC" almacena la última lectura del sensor de temperatura. "const int pinVentilador = 9" indica el pin del Arduino al que se conecta el ventilador. Finalmente, "int temperatura = 0" guarda el valor de temperatura deseado establecido por el usuario.

Figura 52. Variables y constantes para el control de temperatura.

```
float ultimaTemperaturaC = 0;
const int pinVentilador = 9;
int temperatura = 0; // Variable para almacenar la temperatura ingresada
```

Fuente: (Autoría propia, 2023)

Configuración del sistema de refrigeración en el bucle principal

En el bucle principal del programa, se inicia realizando una lectura de temperatura del entorno a través del sensor infrarrojo MLX90614 mediante la función "mlx.readObjectTempC()". Esta lectura se almacena en una variable llamada "tempC", representando la temperatura actual detectada por el sensor.

Figura 53. Lectura del sensor infrarrojo MLX90614.

```
float tempC = mlx.readObjectTempC();
```

Fuente: (Autoría propia, 2023)

Posteriormente, se emplea una estructura condicional "if" para tomar decisiones basadas en la temperatura medida. Esta estructura verifica si la temperatura (tempC) supera el valor específico, definido por la constante "temperatura".

Si la temperatura medida es igual o mayor, se ejecuta una acción: se activa el ventilador. La activación del ventilador se realiza mediante la función "analogWrite(pinVentilador, 255)", configurando el ventilador para operar a máxima potencia (255 es el valor máximo para la señal PWM en Arduino).

En cambio, si la temperatura medida está por debajo, se desencadena una acción diferente: el ventilador se apaga. Para apagar el ventilador, se utiliza "analogWrite(pinVentilador, 0)", lo que detiene por completo su funcionamiento.

Figura 54. Accionamiento del ventilador por medio del PWM.

```
if (tempC >= temperatura) {  
  analogWrite(pinVentilador, 255);  
} else {  
  analogWrite(pinVentilador, 0);  
}
```

Fuente: (Autoría propia, 2023)

CAPÍTULO IV

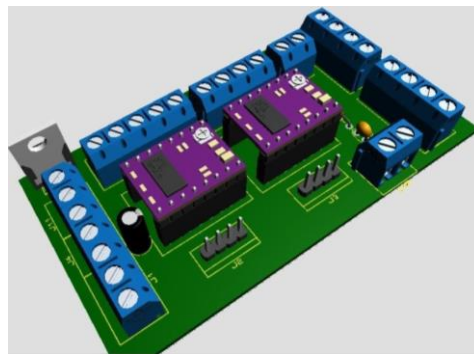
Resultados

4.1 Resultados

4.1.1 Placa PCB

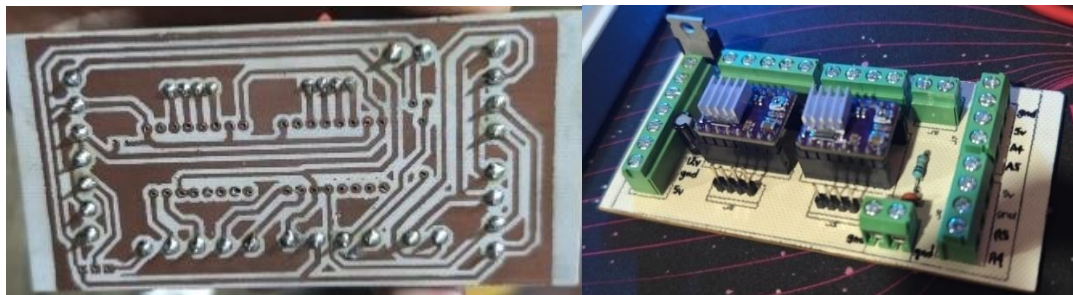
Dado el diseño electrónico que se llevó a cabo para lograr un correcto funcionamiento del equipo, se elaboró una placa PCB para aumentar la seguridad de las conexiones empleadas. Esta placa integra borneras para un mejor anclaje de los cables, así como también se incorporaron pines hembra para la colocación de los drivers drv8825 y pines macho para los cables de los motores a pasos, todos estos componentes fueron soldados en una placa fenólica elaborada con las especificaciones de aplicación para este trabajo.

Figura 55. Vista 3D de la placa PCB diseñada en el software Proteus.



Fuente: (Proteus 8, 2023)

Figura 56. Placa PCB elaborada físicamente.



Fuente: (Autoría propia, 2023)

Para proporcionar información más detallada sobre el desarrollo de esta placa, el **Anexo 2 y 3** se incluye tanto el esquema eléctrico como el diseño de PCB. Estos

esquemas fueron elaborados utilizando el software desarrollado por Labcenter Electronics llamado "Proteus", el cual permite diseñar y simular esquemáticamente circuitos electrónicos de diversa índole.

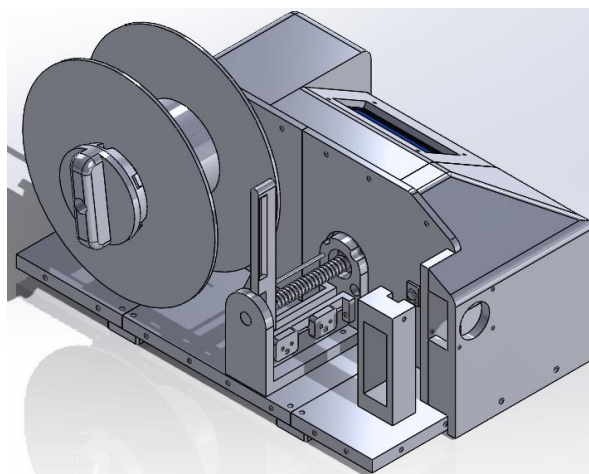
4.1.2 Diseño final

Tras completar las iteraciones en los diversos apartados del prototipo del enrollador de filamento para impresión 3D, se logró consolidar un diseño final que integra todos los componentes necesarios para facilitar la fabricación física y el ensamblaje adecuado. Las figuras presentadas a continuación exhiben una estructura que comprende una base y una carcasa, estas últimas con dimensiones ajustadas para adecuarse a las capacidades de impresión 3D.

Es importante tener en cuenta que la impresora 3D disponible para la elaboración de esta estructura presenta limitaciones en sus dimensiones de impresión, restringiéndose a un espacio de 22x22x25 cm. Por consiguiente, el diseño se elaboró meticulosamente para ajustarse y no sobrepasar estas restricciones, sin comprometer la funcionalidad ni la disposición óptima de los componentes del enrollador.

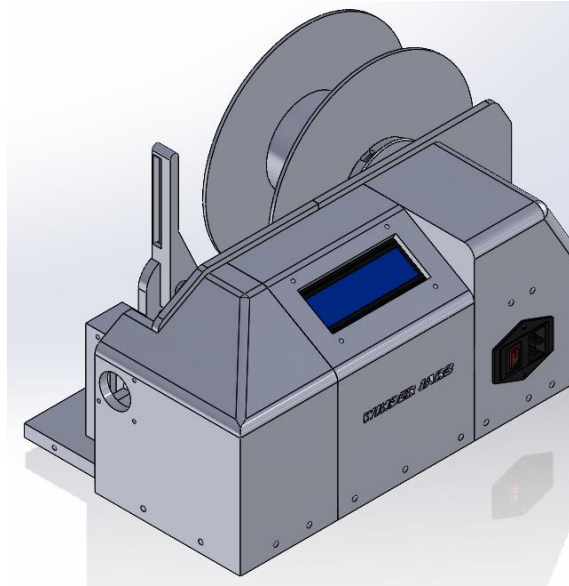
4.1.2.1 Diseño final del prototipo

Figura 57. Visualización del diseño final del prototipo de enrollado.



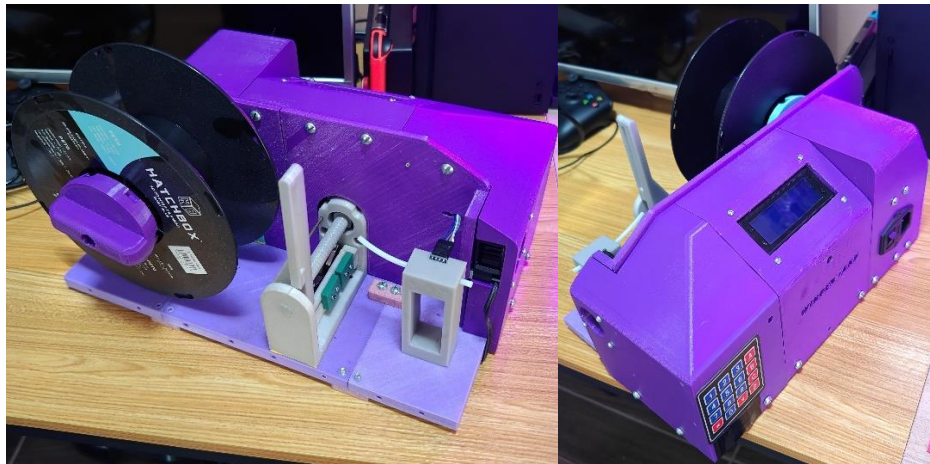
Fuente: (Autoría propia, 2023)

Figura 58. Visualización del diseño final del prototipo de enrollado.



Fuente: (Autoría propia, 2023)

Figura 59. Prototipo final construido físicamente.

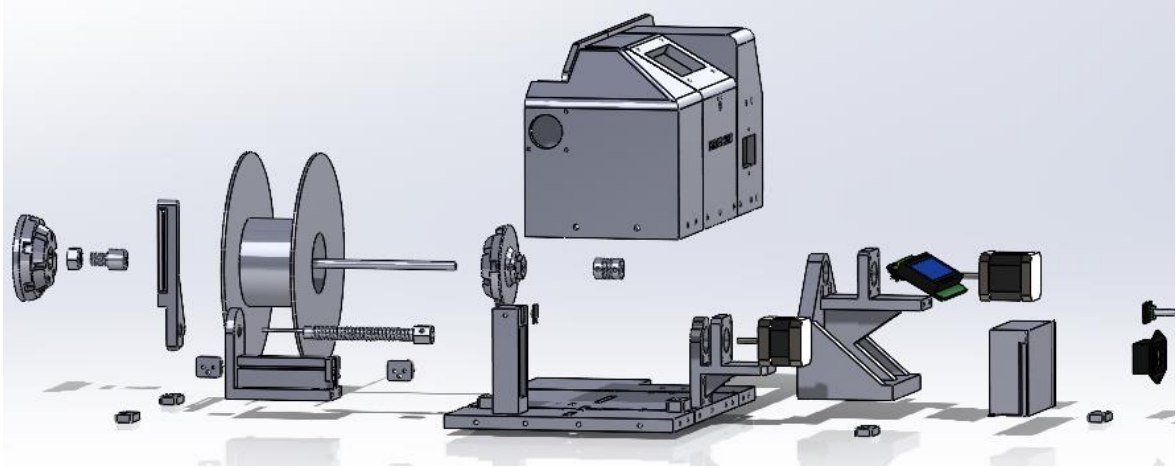


Fuente: (Autoría propia, 2023)

4.1.3 Descripción del diseño obtenido

El diseño final cuenta con un total de 19 piezas diseñadas especialmente para ser elaboradas en impresión 3D, además de eso, se incluyen en el diseño diferentes componentes y accesorios prefabricados e incorporados en el equipo, los cuales fueron colocadas únicamente para visualización de los mismos dentro del ensamble.

Figura 60. Vista explosionada del diseño final.



Fuente: (Autoría propia, 2023)

Las 19 piezas elaboradas con impresión 3D fueron realizadas especialmente para este prototipo, por lo cual, si se desea obtener más información sobre la estructura y diseño de cada parte, en el **Anexo 4** están adjuntos los planos de cada una de ellas.

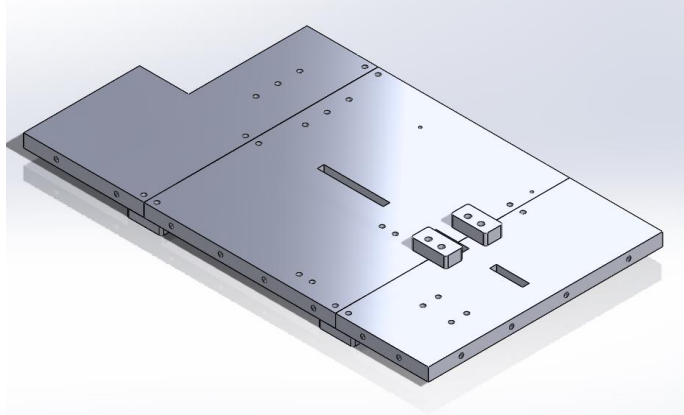
4.1.3.1 Base

La base esta realizada en 3 piezas, este diseño se elaboró de esta forma dada las dimensiones de la impresión, se decidió seccionar la base para llevar a cabo la impresión por partes y finalmente por medio de uniones (también diseñadas en 3D) son fijadas una con otra para formar una base en total.

La base también fue diseñada con perforaciones de 4 mm para poder realizar cuerdas para tornillos 3/16 después de imprimirlas, esto permitió un fácil ensamblaje y también si se desean hacer adaptaciones o modificaciones futuras de alguna pieza de la estructura establecida.

En la figura que se muestra a continuación se puede observar estas piezas y la forma en que están colocadas.

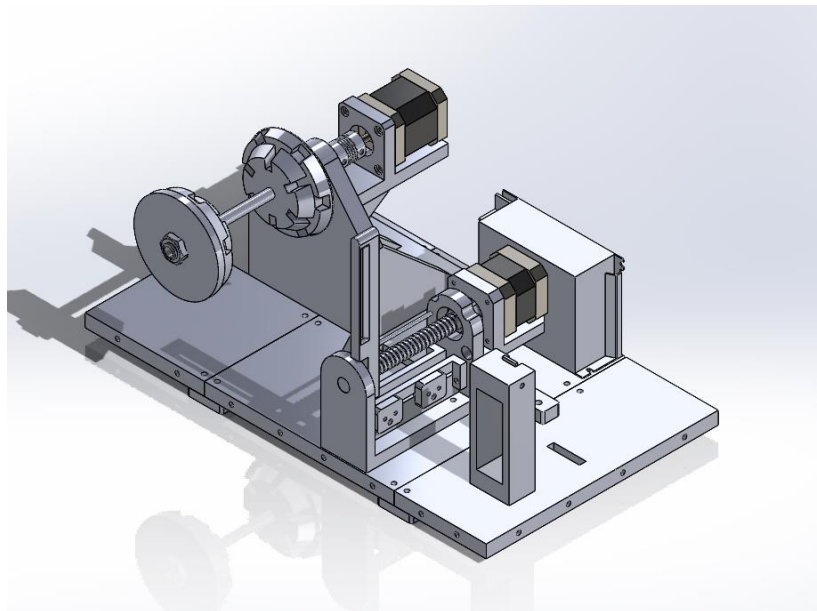
Figura 61. Base del diseño final.



Fuente: (Autoría propia, 2023)

4.1.3.2 Componentes

Figura 62. Componentes montados en la base.



Fuente: (Autoría propia, 2023)

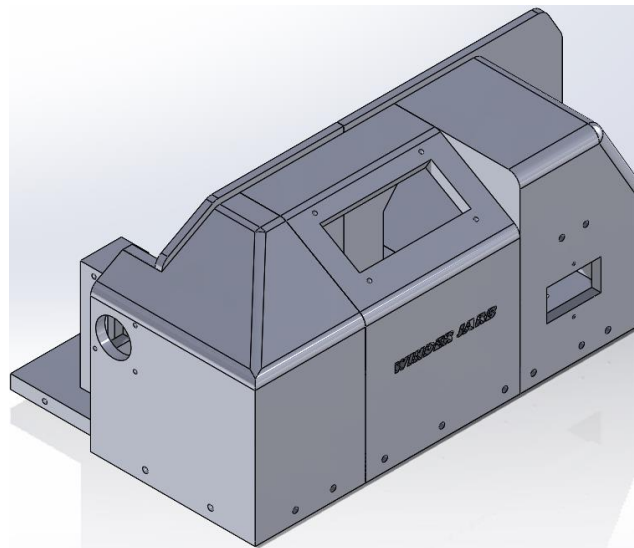
En la figura mostrada anteriormente, se puede observar la colocación de los componentes en el sistema, así como los apartados para lo que sirve cada una, se encuentran integrados los diseños finales de las iteraciones seleccionadas. El apartado del enrollador con un motor nema 17 con un rodamiento para el eje, así como la guía de filamento con una base diseñada para la colocación de interruptores

de límite y el uso de un motor nema 17 y en el apartado de la refrigeración el sensor de temperatura infrarrojo MLX90614. Además de estos componentes, se encuentra integrada una fuente de voltaje de 12V que es la que alimentara el equipo.

4.1.3.3 Carcasa

El diseño final comprende la implementación de una carcasa en la cual van ensamblados algunos componentes como lo son, un LCD 20x4 y un adaptador para la alimentación de la fuente de voltaje.

Figura 63. Carcasa del diseño final.



Fuente: (Autoría propia, 2023)

El diseño fue elaborado con la misma intención de la base, que fuera una estructura ensamblable por partes, en este caso se realizó en 5 módulos, esto para que, si se desea realizar algún cambio del diseño de los componentes internos o de la misma pieza, esta carcasa pueda desmontarse por partes y facilite el trabajo.

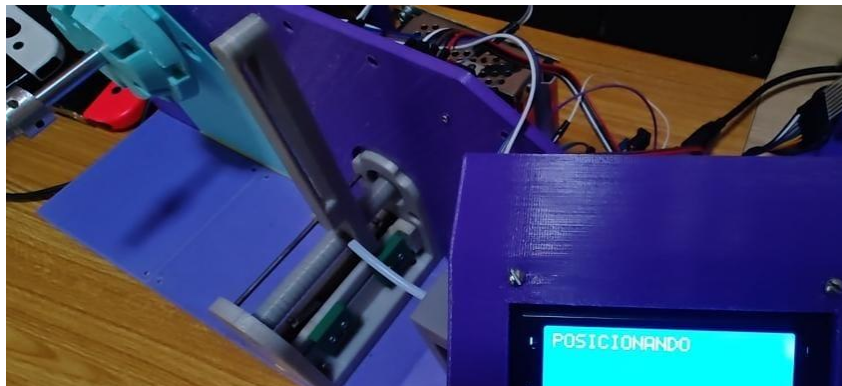
4.2 Pruebas

4.2.1 Interacción con el programa

En el siguiente apartado se describe el comportamiento del programa final, donde se muestra la secuencia del funcionamiento y la forma de interactuar con el usuario.

Al iniciar el programa, si la guía no está colocada en la posición inicial, entonces se realiza el movimiento para colocarla en el lugar correcto, hasta que el interruptor destinado para el inicio del programa este activo, entonces comienza a pedir los valores de configuración.

Figura 64. Posicionamiento de la guía.



Fuente: (Autoría propia, 2023)

Por otro lado, si la guía está colocada correctamente desde que se ejecuta el programa, entonces el programa procede a pedir los valores automáticamente. Primero comienza solicitando el valor de la velocidad a la que se desea trabajar, la cual se debe de introducir en RPM.

Figura 65. Velocidad ingresada por el usuario.



Fuente: (Autoría propia, 2023)

Una vez que se ingresa el valor, al pulsar la letra "A" del teclado, se guarda el valor y procede a pedirnos el segundo dato, el cual es la temperatura a la que deseamos mantener el filamento (en grados centígrados), de igual forma al dar "A" se guarda el valor de la temperatura.

Figura 66. Temperatura ingresada por el usuario.



Fuente: (Autoría propia, 2023)

Una vez ingresado los valores aparecen dos opciones, si pulsamos "B", se iniciará el programa con los valores que se ingresaron, pero si pulsamos "C", se pueden volver a ingresar los valores nuevamente en caso de que se haya introducido mal algún valor.

Figura 67. Opciones para iniciar o reconfigurar.



Fuente: (Autoría propia, 2023)

En caso de que todo este correcto, al presionar "B" se iniciara enseguida el programa, lo que hará es que comenzara con el proceso y nos mostrara el valor de

la temperatura actual a la que está el filamento y abajo la velocidad a la que se está ejecutando el enrollado (todo esto mientras los motores, el ventilador y el sensor hacen la tarea que les corresponde).

Figura 68. Proceso en ejecución.



Fuente: (Autoría propia, 2023)

En la parte inferior del LCD, hay un mensaje que nos indica que, si deseamos finalizar el programa, si es así, se debe de pulsar "D", de este modo se detendrá absolutamente todo y podremos ver que se muestra un nuevo mensaje que nos indica que el programa ha finalizado.

Figura 69. Programa finalizado por el usuario.



Fuente: (Autoría propia, 2023)

Finalmente, podemos observar otro mensaje en el cual nos da a conocer que podemos volver al inicio con tan solo pulsar "C". Si se pulsa el botón que nos indica, esto hará que el programa se reinicie y nos mande al comienzo, de igual manera como antes se realizó un proceso, por obvias razones la guía se debió de mover, es

por esta razón que, al iniciar el programa de nuevo, este volverá a verificar que la guía está en la posición inicial o debe realizar el movimiento para volver a colocarla.

4.2.2 Simulación del proceso

Se llevó a cabo una prueba para verificar la funcionalidad del diseño. Dado que actualmente no existe un diseño construido y funcional de un extrusor de filamento 3D en el ITST, se optó por simular este proceso para realizar la prueba de la mejor manera posible. Esto se hizo mediante el aumento de la temperatura en un filamento ya elaborado, utilizando un secador eléctrico especial para filamento y así simular la temperatura a la que entraría el filamento en el prototipo de enrollado.

Esta prueba no contempla los parámetros reales a los que estará el filamento, pero simulará cierta temperatura para poder comprobar el funcionamiento de los apartados del enrollador.

El secador de filamento se configuró para que mantuviera una temperatura de 60 °C aproximadamente, es por esta razón que el programa que se le cargo al Arduino establecía una temperatura para mantener el filamento a 25 grados. Se configuro a esa temperatura ya que una limitante para esta prueba fue la baja temperatura que tuvo el filamento al entrar en contacto con la temperatura del ambiente al salir del secador, esto produjo que la temperatura del filamento fuera disminuyendo en relación a la distancia de traslado hasta entrar al sistema de enrollado.

Figura 70. Pruebas de funcionamiento del enrollador.



Fuente: (Autoría propia, 2023)

También, se tuvo que hacer de forma manual la alimentación de filamento, ya que el secador presentaba presión en la boquilla de salida y esto no debe de ocurrir ya que en un extrusor de filamento la velocidad a la que sale el producto es constante y fluida.

En la figura que se muestra a continuación, se tiene evidencia del comportamiento del sistema, se observó que es funcional para realizar el enfriamiento y embobinado del filamento. En las evidencias tomadas el ventilador se encuentra activo.

Figura 71. Temperatura establecida a 25°.

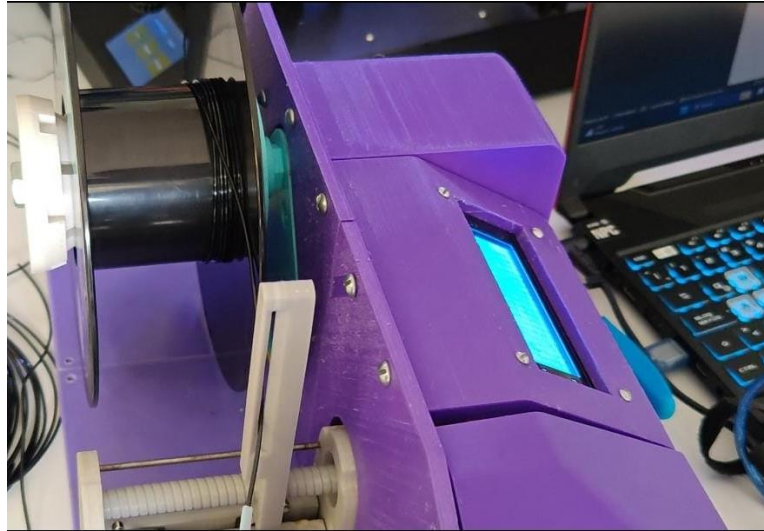


Fuente: (Autoría propia, 2023)

El sensor ubicado en la entrada de alimentación del enrollador registra la temperatura actual del filamento al entrar en el sistema. Si la temperatura detectada por el sensor supera el valor establecido en la programación, se activa el ventilador.

De la misma forma, en esta prueba se contempló analizar la funcionalidad del enrollado con la guía. Se obtuvieron los resultados esperados: el mecanismo de la guía de filamento funcionaba correctamente y estaba coordinado con el movimiento del carrete. Por cada revolución que completaba el motor del enrollador del eje, el motor de la guía realizaba un movimiento de media vuelta, lo que hacía que se desplazara 1.75 mm. Esto proporcionaba el espacio adecuado al filamento para distribuirse a lo largo del carrete. A continuación, se muestra evidencia de esta prueba:

Figura 72. Prueba del apartado de enrollado en coordinación con la guía del filamento.



Fuente: (Autoría propia, 2023)

CAPITULO V

Conclusiones y trabajos futuros

5.1 Conclusiones

El proceso de diseño iterativo del enrollador de filamento para impresión 3D culminó con la consolidación de un diseño final que integra componentes esenciales para facilitar la fabricación física y el ensamblaje adecuado. Este diseño, meticulosamente concebido para ajustarse a las restricciones de dimensiones de la impresión 3D disponible para su elaboración, presenta una estructura compuesta por una base y una carcasa, asegurando la funcionalidad óptima de los componentes del enrollador.

Tanto la base como la carcasa, fueron diseñadas con perforaciones estratégicas para permitir adaptaciones y modificaciones futuras, garantizando un ensamblaje sencillo y la flexibilidad necesaria para posibles ajustes. Esta estructura modular permite la accesibilidad y modificación de los componentes internos, proporcionando flexibilidad y adaptabilidad al diseño.

La inclusión de interruptores de límite ajustables mejora significativamente la flexibilidad y adaptabilidad del prototipo para manejar carretes de diferentes tamaños y formas. Estos interruptores permiten al usuario o al sistema definir puntos de inicio y fin del proceso de enrollado específicos para cada carrete, adaptándose así a sus dimensiones particulares. Esto es especialmente útil en entornos donde se manejan múltiples tipos de carretes, ya que evita la necesidad de cambiar físicamente partes del equipo para acomodar diferentes tamaños de carretes.

En cuanto a la precisión del enrollado, la implementación de interruptores de límite ajustables mejora notablemente la uniformidad y consistencia en comparación con un sistema que carece de esta capacidad. Al permitir un control más preciso sobre el posicionamiento y el movimiento del mecanismo de enrollado, estos interruptores aseguran que el filamento se enrolle de manera uniforme, reduciendo el riesgo de capas desiguales, deslizamientos o enredos del filamento.

Sin embargo, la implementación de interruptores de límite en el sistema de enrollado de filamento conlleva ciertas limitaciones y desafíos. Estos incluyen una mayor

complejidad en el diseño y ensamblaje del sistema, la necesidad de una calibración precisa, costos adicionales, desgaste y mantenimiento de los componentes, así como desafíos en la interfaz de usuario y programación. Para superar estos desafíos, es crucial realizar un diseño y planificación cuidadosos, desarrollar un protocolo de calibración claro, realizar un análisis de costo-beneficio, utilizar componentes de alta calidad, establecer un programa de mantenimiento preventivo y desarrollar una interfaz de usuario intuitiva con instrucciones claras. Con estos enfoques, los beneficios de los interruptores de límite ajustables, como la mayor flexibilidad y precisión, pueden ser plenamente aprovechados, superando las posibles limitaciones y desafíos.

5.2 Trabajos Futuros

Los resultados obtenidos representan un avance significativo en el desarrollo del enrollador de filamento para impresión 3D. Sin embargo, existen áreas de mejora y futuras investigaciones que podrían ampliar el alcance y la eficiencia del sistema.

- Refinamiento de componentes: Realizar pruebas exhaustivas en condiciones operativas reales para evaluar la durabilidad y la funcionalidad de los componentes integrados, buscando posibles mejoras en su diseño y desempeño.
- Integración de sensores adicionales: Investigar la viabilidad de la integración de sensores complementarios que mejoren la supervisión y control del proceso de enrollado.
- Automatización completa del proceso: Trabajar en la automatización total del proceso de extrusión y enrollado del filamento, eliminando la necesidad de intervención manual, garantizando una mayor precisión y consistencia.
- Optimizar la interfaz de usuario: Además de la información e interacción mostrada en el LCD del equipo, se puede añadir antes un menú intuitivo y fácil de utilizar para la configuración del equipo y de los componentes que integra. Así como, también se podría adecuar y agregar más técnicas para

mejorar el aspecto visual de la información mostrada al usuario durante el proceso de enrollado.

- Adaptación a Nuevas Tecnologías: Investigar la integración de nuevas tecnologías emergentes que podrían mejorar la precisión, velocidad o versatilidad del sistema de enrollado, como la aplicación de inteligencia artificial para el control automatizado o la visión por computadora para la detección de problemas en el proceso.

CAPITULO VI

Competencias desarrolladas

6.1 Competencias desarrolladas y/o aplicadas

6.1.1 Competencias genéricas

- Autonomía y Autodidactismo: Adentrarse en el análisis e investigación del proceso de enrollado de filamento 3D brindó la oportunidad de explorar y aprender de forma independiente. Esta capacidad de investigación condujo a la identificación de soluciones innovadoras para mejorar el proceso existente.
- Capacidad Analítica: La habilidad para analizar datos, procesos y resultados fue crucial para evaluar el rendimiento del prototipo de enrollado. Esta competencia permitió la identificación de áreas de mejora y la toma de decisiones fundamentadas para optimizar el funcionamiento del sistema.

6.1.2 Competencias específicas

- Diseño en CAD: El uso de software especializado en diseño asistido por computadora (CAD) posibilitó la modelación y visualización del prototipo de enrollado de filamento 3D. Esta competencia abarcó desde la creación de diseños precisos hasta la iteración y mejora continua del diseño a lo largo del proceso.
- Programación con Arduino: La programación de Arduino para controlar el funcionamiento del enrollador demostró la capacidad para trabajar con hardware específico y traducir conceptos teóricos en aplicaciones prácticas. Esta habilidad fue esencial para crear un sistema funcional y eficiente.
- Realización de Pruebas de Funcionamiento: La ejecución de pruebas del enrollador fue fundamental para identificar áreas de mejora, validar el rendimiento y asegurar el funcionamiento óptimo del prototipo.

6.1.3 Competencias aplicadas

- Análisis e Indagación en Impresión 3D: La inmersión en el análisis detallado del proceso de enrollado de filamento 3D proporcionó una comprensión profunda de sus complejidades técnicas. Esta experiencia amplió los

conocimientos y proporcionó perspectivas valiosas para abordar problemas y proponer soluciones innovadoras.

- Implementación de Diseño y Fabricación en 3D: La aplicación práctica de conocimientos teóricos mediante impresiones en 3D materializó los diseños. Esto no solo validó los diseños, sino que también facilitó la comprensión de la interacción entre el diseño virtual y su elaboración física.
- Integración de Sistemas y Circuitos: La programación con Arduino y la creación del circuito para el funcionamiento del enrollador evidenciaron la capacidad para integrar sistemas complejos.

CAPITULO VII

Fuentes de Información

7.1 Referencias

- 3D Systems. (2017, febrero 2). *Sinterización selectiva por láser (SLS)*. 3D Systems.
<https://es.3dsystems.com/selective-laser-sintering>
- 3Dnatives. (2017, noviembre 9). *Guía completa: SLA o impresión 3D por estereolitografía, ¡te explicamos todo!* 3Dnatives.
<https://www.3dnatives.com/es/impresion-3d-por-estereolitografia-les-explicamos-todo/>
- Arduino. (2018, febrero 5). *What is Arduino?*
<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>
- Asana. (2023, mayo 14). *Las 12 metodologías más populares para la gestión de proyectos*. Asana. <https://asana.com/es/resources/project-management-methodologies>
- AULA21. (2021, febrero 12). Qué es la impresión 3D, importancia y cómo funciona la fabricación aditiva. *AULA21*. <https://www.cursosaula21.com/que-es-la-impresion-3d/>
- Autodesk. (2023, agosto 22). *¿Qué es la impresión 3D?* Autodesk.
<https://www.autodesk.mx/solutions/3d-printing>
- Bordignon, F., & Iglesias, A. A. (2018). *DISEÑO E IMPRESIÓN DE OBJETOS 3D*.
- Bustos, J. (2018, junio 18). Lo que nadie te ha contado sobre imprimir en PETG. *Todo-3d.com*. <https://todo-3d.com/todo-sobre-imprimir-en-petg/>
- Cutipa Mamani, O. J., & Rodríguez Flores, E. A. (2020). *Diseño de extrusora para la fabricación de filamento a base de polímeros termoplásticos utilizados en el Fab Lab de la Universidad Continental Arequipa-2020* [Para optar el Grado Académico de Bachiller en Ingeniería Mecánica, Universidad Continental Arequipa].
https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/9058/4/IV_FI_N_111_TI_Cutipa_Rodriguez_2020.pdf

Dassault Systèmes. (2021a, diciembre 14). *FDM - Modelado por deposición fundida*. Dassault Systèmes. <https://www.3ds.com/es/make/service/3d-printing-service/fdm-fused-deposition-modeling>

Dassault Systèmes. (2021b, diciembre 14). *SLA - estereolitografía*. Dassault Systèmes. <https://www.3ds.com/es/make/service/3d-printing-service/sla-stereolithography>

Dassault Systemes. (2021a, diciembre 14). *SLS - Sinterizado por láser selectivo*. Dassault Systèmes. <https://www.3ds.com/es/make/service/3d-printing-service/sls-selective-laser-sintering>

Dassault Systemes. (2021b, diciembre 21). *Extrusión de materiales*. Dassault Systemes. <https://www.3ds.com/es/make/guide/process/material-extrusion>

Dassault Systemes. (2022, julio 5). *Impresión 3D*. Dassault Systemes. <https://www.3ds.com/es/make/guide/process/3d-printing>

Eolas Prints. (2023). *Fabricación de Filamento de Impresora 3D*. Eolas Prints. <https://eolasprints.com/es-mx/pages/making-3d-printer-filament>

filament2print. (2019, septiembre 23). *Diferencia entre nudo y solapamiento*. filament2print. https://filament2print.com/es/blog/69_diferencia-nudo-solapamiento.html

García Hernantes, G. (2020). *Máquina de reciclado de material para impresión 3D*. Universidad de Valladolid.

INEO. (2018, noviembre 29). *Modelado por deposición fundida (FDM)*. Ineo. <https://www.ineo.es/es/tecnologias/modelado-deposicion-fundida-fdm>

Innovación y Tecnología. (2020, septiembre 3). *FDM Modelado por Deposición Fundida*. Innovación y Tecnología. <https://innovacion-tecnologia.com/fabricacion-aditiva/fdm-modelado-por-deposicion-fundida/>

jecrespom. (2014, noviembre 18). *Comunicaciones con Arduino. Aprendiendo Arduino*. <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2014/11/18/tema-6-comunicaciones-con-arduino-4/>

- Laoyan, S. (2022, septiembre 29). *Qué es la metodología waterfall y cuándo utilizarla*. Asana. <https://asana.com/es/resources/waterfall-project-management-methodology>
- Lara. (2023, marzo 3). Rollo de filamento PLA enrollado y PLA estándar INOVAMARKET. *INOVAMARKET- Innovación y Tecnología en México*. <https://www.inovamarket.com/2023/03/03/rollo-de-filamento-pla-y-pla-estandar/>
- Llamas, L. (2020, enero 23). *Cómo funciona una impresora 3D FFF*. Luis Llamas. <https://www.luisllamas.es/como-funciona-una-impresora-3d-fff/>
- Mastertec 3D. (2022, septiembre 23). *¿Qué tipos de filamentos para impresora 3D existen?* Mastertec 3D. <https://www.mastertec3d.es/blog/que-tipos-de-filamentos-para-impresora-3d-existen/>
- Mexpolimeros. (2014). *PLA (Acido Poliláctico)*. Polímeros termoplásticos, elastómeros y aditivos. <https://www.mexpolimeros.com/pla.html>
- Nájera, J. D. N., & Paez, Y. A. T. (2022). *Desarrollo de un prototipo de máquina recicladora de polímeros para la elaboración de filamento para impresión 3D*. [Universidad Autónoma de Bucaramanga]. [https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/17645/2022_Tesis_Juan_David_Navarro%20\(1\).pdf?sequence=1](https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/17645/2022_Tesis_Juan_David_Navarro%20(1).pdf?sequence=1)
- Naylamp Mechatronics. (2023). *DRV8825 Driver motor paso a paso*. Naylamp Mechatronics - Perú. <https://naylampmechatronics.com/driver-pap-stepper/126-driver-pap-drv8825.html>
- Plásticos Brello. (2018). ABS - Acrilonitrilo butadieno estireno. *Plásticos Brello*. <https://plasticos-brello.com/material/abs-acrilonitrilo-butadieno-estireno/>
- Plásticos Brello. (2023). PLA ácido poliláctico. *Plásticos Brello*. <https://plasticos-brello.com/material/pla-acido-polilactico/>
- Ramos Espinosa, G., & Lombana Gómez, G. A. (2019). *Diseño e implementación de un sistema de extrusión de filamento para impresión 3d a partir de botellas recicladas*. [Proyecto de grado para optar al título de Ingeniero Mecatrónico]. Universidad Autónoma de Occidente.

- Rapiddirect. (2022, enero 25). Técnicas de impresión 3D: Diferentes tipos de impresión 3D. *rapiddirect*. <https://www.rapiddirect.com/es/blog/tipos-de-impresion-3d/>
- Sandoya Lara, D. G., & Macias Coello, C. M. (2021). *Diseño y construcción de un equipo triturador-extrusor de material plástico reutilizable tipo tereftalato de polietileno (PET) para la elaboración de filamento para impresoras 3d* [Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico]. Universidad técnica estatal de Quevedo.
- Sebastián Salvador, M. (2023). *Diseño y desarrollo de un dispositivo de enrollado de filamento PET para su aplicación en la manufactura aditiva* [Tesis para optar por el título de Ingeniero Mecatrónico].
- Sifontes, M. (2023, marzo 25). *Cómo funciona una impresora 3D: Explicación fácil*. Urban Tecno.
<https://www.mundodeportivo.com/urbantecno/tecnologia/como-funciona-una-impresora-3d-explicacion-facil>
- Sintac. (2022, mayo 27). *Termoplásticos: Qué son, aplicaciones y tipos*.
<https://sintac.es/que-son-los-termoplasticos/>
- SKF. (2023a). *Conceptos básicos de rodamientos*.
<https://www.skf.com/mx/products/rolling-bearings/principles-of-rolling-bearing-selection/general-bearing-knowledge/bearing-basics>
- SKF. (2023b). *Rodamientos*. <https://www.skf.com/mx/products/rolling-bearings>
- Solorzano, J. P. P. (2018). *Diseño de una máquina recicladora orientada a la producción de filamentos de plástico ABS para la impresión 3d en la PUCP*. [Tesis para optar por el título de Ingeniero Mecatrónico]. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- TME. (2023, marzo 24). *Filamentos para impresión 3D - tipos, características y uso en prototipado*. TME. <https://www.tme.com/mx/es/news/library-articles/page/51976/filamentos-para-impresion-3d-tipos-caracteristicas-y-uso-en-prototipado/>

UNIT Electronics. (2023). Sensor de Temperatura infrarrojo GY-906 MLX90614.

UNIT Electronics. <https://uelectronics.com/producto/sensor-de-temperatura-infrarrojo-gy-906-mlx90614/>

CAPÍTULO VIII

Anexos

Anexo 1. Código para el funcionamiento del prototipo

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_MLX90614.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Keypad.h>
```

```
Adafruit_MLX90614 mlx = Adafruit_MLX90614();
```

```
LiquidCrystal_I2C lcd(0x3F, 20, 4);
```

```
const byte ROW_NUM    = 4;
```

```
const byte COLUMN_NUM = 4;
```

```
char keys[ROW_NUM][COLUMN_NUM] = {
```

```
    {'1','2','3','A'},
```

```
    {'4','5','6','B'},
```

```
    {'7','8','9','C'},
```

```
    {'.','0','#','D'}
```

```
};
```

```
byte pin_rows[ROW_NUM] = {22, 24, 26, 28};
```

```
byte pin_column[COLUMN_NUM] = {30, 32, 34, 36};
```

```
Keypad keypad = Keypad(makeKeymap(keys), pin_rows, pin_column,  
ROW_NUM, COLUMN_NUM);
```

```
const int pasosPorRev_motor1 = 200;
```

```
const int pinStep_motor1 = 2;
```

```
const int pinDir_motor1 = 3;
```

```
volatile long pasos_motor1 = 0;  
volatile bool dir_motor1 = HIGH;
```

```
const int pasosPorRev_motor2 = 200;  
const int pasosParaMediaRev_motor2 = pasosPorRev_motor2 / 2;  
const int pinStep_motor2 = 4;  
const int pinDir_motor2 = 5;  
volatile long pasos_motor2 = 0;  
volatile bool dir_motor2 = HIGH;
```

```
float ultimaTemperaturaC = 0;  
const int pinVentilador = 9;  
int temperatura = 0;
```

```
const int interruptorIzq = 6;  
volatile bool estadoInterruptorIzq = LOW;  
bool botonIzquierdoPresionado = false;  
const int interruptorDer = 7;  
volatile bool estadoInterruptorDer = LOW;  
bool botonDerechoPresionado = false;
```

```
float ultimaVelocidadDeseada = 0;  
float velocidad = 0;  
bool configuracionCompleta = false;  
bool sistemaDetenido = false;
```

```

void solicitarValor(const char *titulo, float &valor) {
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print(titulo);

    int longitudTitulo = strlen(titulo);
    lcd.setCursor(longitudTitulo, 0);

    String valorStr = "";
    char key;

    while (true) {
        key = keypad.getKey();
        if (key) {
            if (key == 'A') {
                valor = valorStr.toFloat();
                break;
            } else if (key != 'B' && key != 'C' && key != 'D' && key != '#') {
                valorStr += key;
                lcd.print(key);
                lcd.setCursor(longitudTitulo + valorStr.length(), 0);
            }
        }
    }
}

```

```

void configurarMotor() {
    noInterrupts();
    TCCR1A = 0;
    TCCR1B = 0;
    TCNT1 = 0;

    unsigned long frecuenciaTimer_motor1 = (velocidad *
pasosPorRev_motor1 * 8) / 60;
    unsigned long intervaloTimer_motor1 = 1000000 /
frecuenciaTimer_motor1;

    OCR1A = intervaloTimer_motor1;
    TCCR1B |= (1 << WGM12);
    TCCR1B |= (1 << CS10);
    TCCR1B |= (1 << CS11);
    TIMSK1 |= (1 << OCIE1A);
    interrupts();
}

void encenderMotor2() {
    digitalWrite(pinDir_motor2, LOW);
    digitalWrite(pinStep_motor2, HIGH);
    delayMicroseconds(500);
    digitalWrite(pinStep_motor2, LOW);
    delayMicroseconds(500);
}

```

```

while (digitalRead(interruptorDer) == HIGH) {
    digitalWrite(pinStep_motor2, HIGH);
    delayMicroseconds(500);
    digitalWrite(pinStep_motor2, LOW);
    delayMicroseconds(500);
}

digitalWrite(pinStep_motor2, LOW);
}

void detenerTodo() {
    TIMSK1 &= ~(1 << OCIE1A);
    digitalWrite(pinStep_motor1, LOW);

    digitalWrite(pinStep_motor2, LOW);

    analogWrite(pinVentilador, 0);

    // Mostrar mensaje en LCD
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("PROGRAMA FINALIZADO");
    lcd.setCursor(0, 3);
    lcd.print("C->VOLVER AL INICIO");

    sistemaDetenido = true;

```

```
}
```

```
void reiniciarPrograma() {  
    configuracionCompleta = false;  
    sistemaDetenido = false;  
    velocidad = 0;  
    temperatura = 0;  
    setup();  
}
```

```
void setup() {  
    pinMode(pinStep_motor1, OUTPUT);  
    pinMode(pinDir_motor1, OUTPUT);  
    pinMode(pinStep_motor2, OUTPUT);  
    pinMode(pinDir_motor2, OUTPUT);  
    pinMode(interruptorIzq, INPUT_PULLUP);  
    pinMode(interruptorDer, INPUT_PULLUP);
```

```
    Wire.begin();
```

```
    mlx.begin();
```

```
    pinMode(pinVentilador, OUTPUT);
```

```
    lcd.begin(20, 4);
```

```
    lcd.setBacklight(HIGH);
```

```
lcd.clear();  
lcd.setCursor(0, 0);  
lcd.print("POSICIONANDO");
```

```
encenderMotor2();
```

```
float tempVelocidad = 0;  
solicitarValor("Velocidad=", tempVelocidad);  
velocidad = tempVelocidad;
```

```
float tempTemperatura = 0;  
solicitarValor("Temperatura=", tempTemperatura);  
temperatura = tempTemperatura;
```

```
lcd.clear();  
lcd.setCursor(0, 0);  
lcd.print("B->INICIAR PROGRAMA");  
lcd.setCursor(0, 1);  
lcd.print("C->RECONFIGURAR");
```

```
bool configuracionVolver = false;
```

```
while (!configuracionVolver) {  
    char key = keypad.getKey();  
    if (key == 'B') {
```

```

    configuracionCompleta = true;
    configurarMotor();
    lcd.clear();
    break;
} else if (key == 'C') {
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("POSICIONANDO");

    encenderMotor2();
    float tempVelocidad = 0;
    solicitarValor("Velocidad:", tempVelocidad);
    velocidad = tempVelocidad;

    float tempTemperatura = 0;
    solicitarValor("Temperatura:", tempTemperatura);
    temperatura = tempTemperatura;

    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("B->INICIAR PROGRAMA");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("C->RECONFIGURAR");
}
}

```

```
}
```

```
void loop() {  
    if (sistemaDetenido) {  
        char key = keypad.getKey();  
        if (key == 'C') {  
            sistemaDetenido = false;  
            setup();  
            return;  
        }  
        return;  
    }  
    if (!configuracionCompleta) {  
        char key = keypad.getKey();  
        if (key == 'B') {  
            configuracionCompleta = true;  
            configurarMotor();  
            lcd.clear();  
        }  
        return;  
    }  
  
    float tempC = mlx.readObjectTempC();  
    lcd.setCursor(0, 0);  
    lcd.print("Temperatura:");
```

```

lcd.print(tempC);
lcd.print(" C");

lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("Velocidad:");
lcd.print(velocidad);
lcd.print(" RPM");
lcd.setCursor(0, 3);
lcd.print("D->FINALIZAR PROGRAMA");

if (tempC >= temperatura) {
    analogWrite(pinVentilador, 255);
} else {
    analogWrite(pinVentilador, 0);
}

if      (digitalRead(interruptorIzq)      ==      LOW      &&
!botonIzquierdoPresionado) {
    estadoInterruptorIzq = !estadoInterruptorIzq;
    botonIzquierdoPresionado = true;
    dir_motor2 = LOW;
    digitalWrite(pinDir_motor2, dir_motor2);
} else if (digitalRead(interruptorIzq) == HIGH &&
botonIzquierdoPresionado) {
    botonIzquierdoPresionado = false;

```

```

}

if (digitalRead(interruptorDer) == LOW && !botonDerechoPresionado)
{
    estadoInterruptorDer = !estadoInterruptorDer;
    botonDerechoPresionado = true;
    dir_motor2 = HIGH;
    digitalWrite(pinDir_motor2, dir_motor2);
} else if (digitalRead(interruptorDer) == HIGH &&
botonDerechoPresionado) {
    botonDerechoPresionado = false;
}

if (pasos_motor1 >= pasosPorRev_motor1) {
    pasos_motor1 = 0;
    for (int i = 0; i < pasosParaMediaRev_motor2; i++) {
        digitalWrite(pinStep_motor2, HIGH);
        delayMicroseconds(500);
        digitalWrite(pinStep_motor2, LOW);
        delayMicroseconds(500);
    }
}

char key = keypad.getKey();
if (key == 'D') {
    detenerTodo();
}

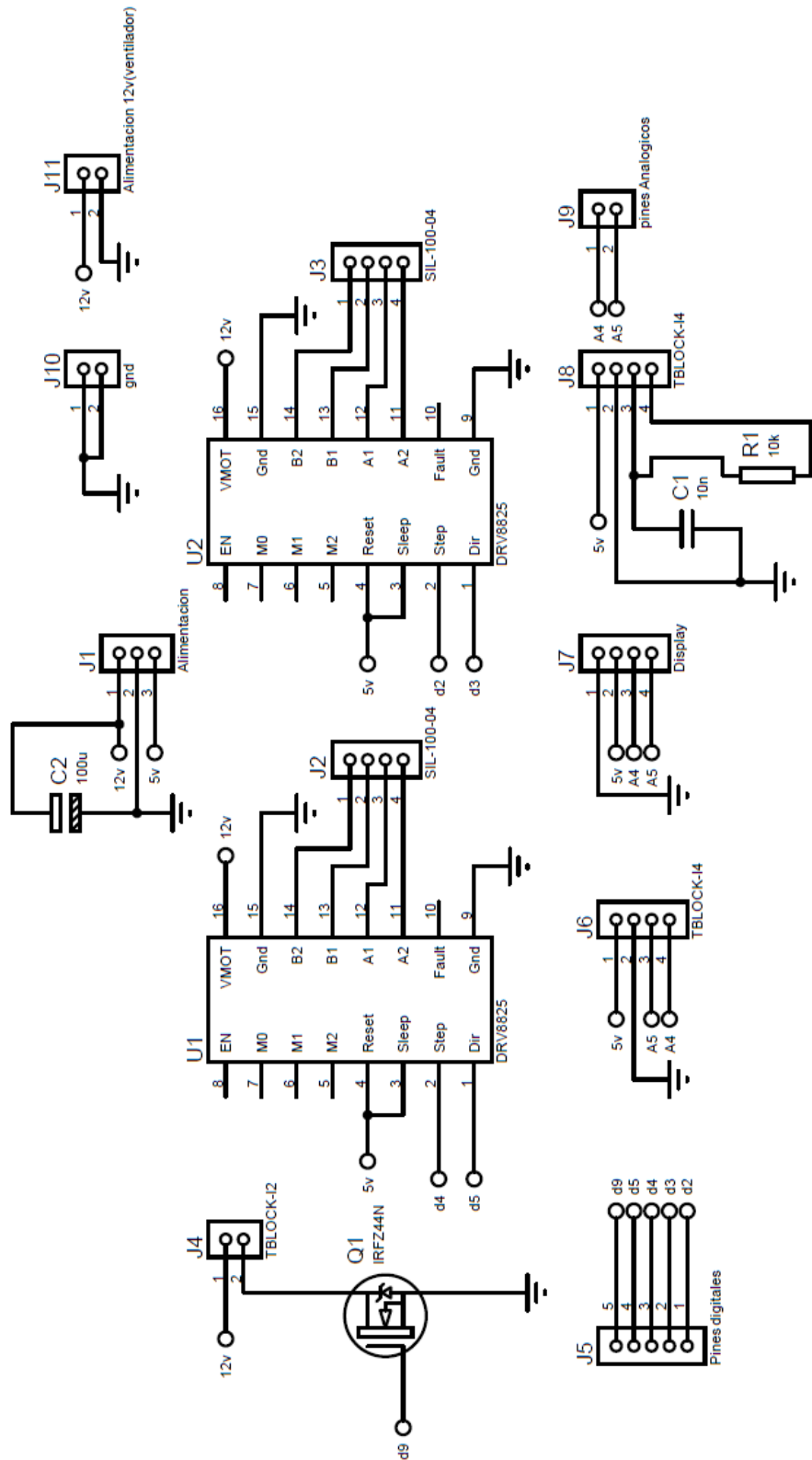
```

```
    return;
}

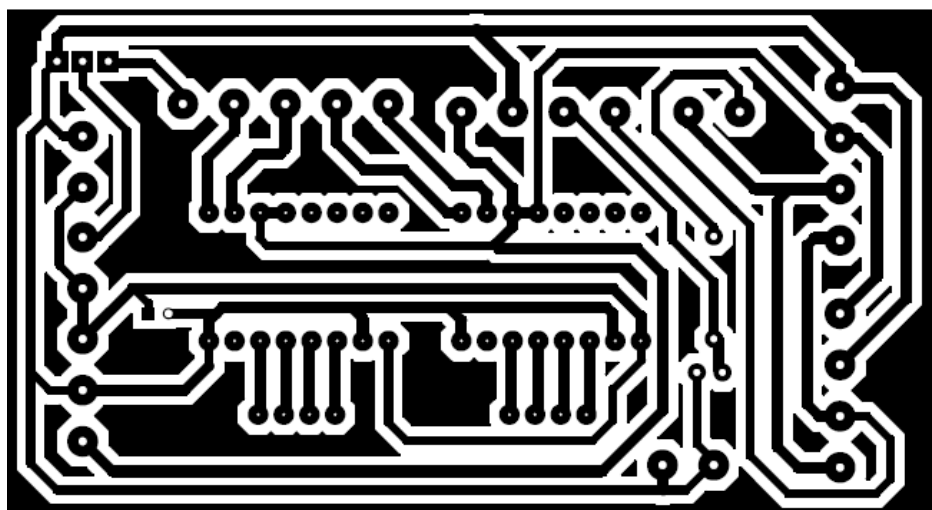
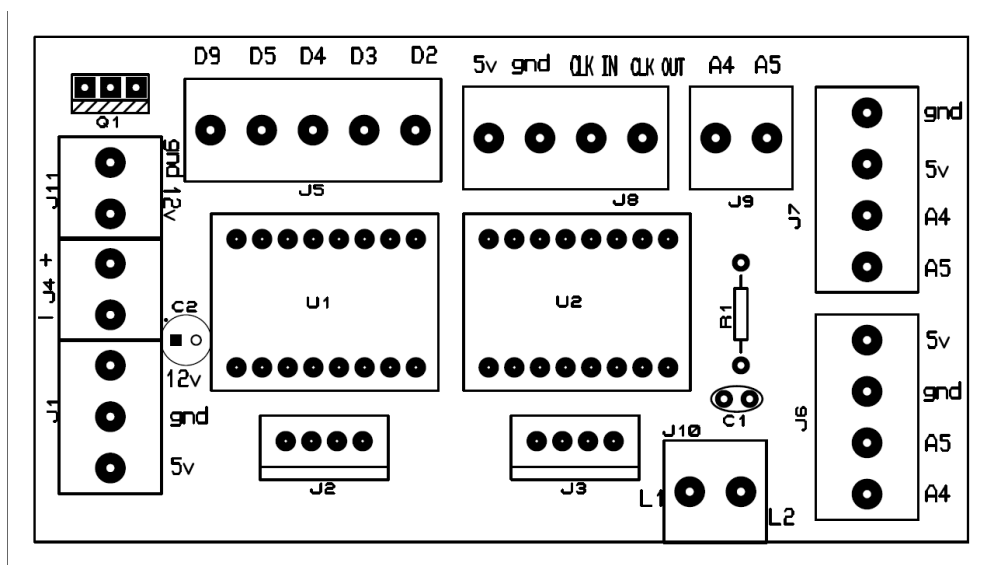
}

ISR(TIMER1_COMPA_vect) {
    pasos_motor1++;
    digitalWrite(pinStep_motor1, HIGH);
    delayMicroseconds(1);
    digitalWrite(pinStep_motor1, LOW);
}
```

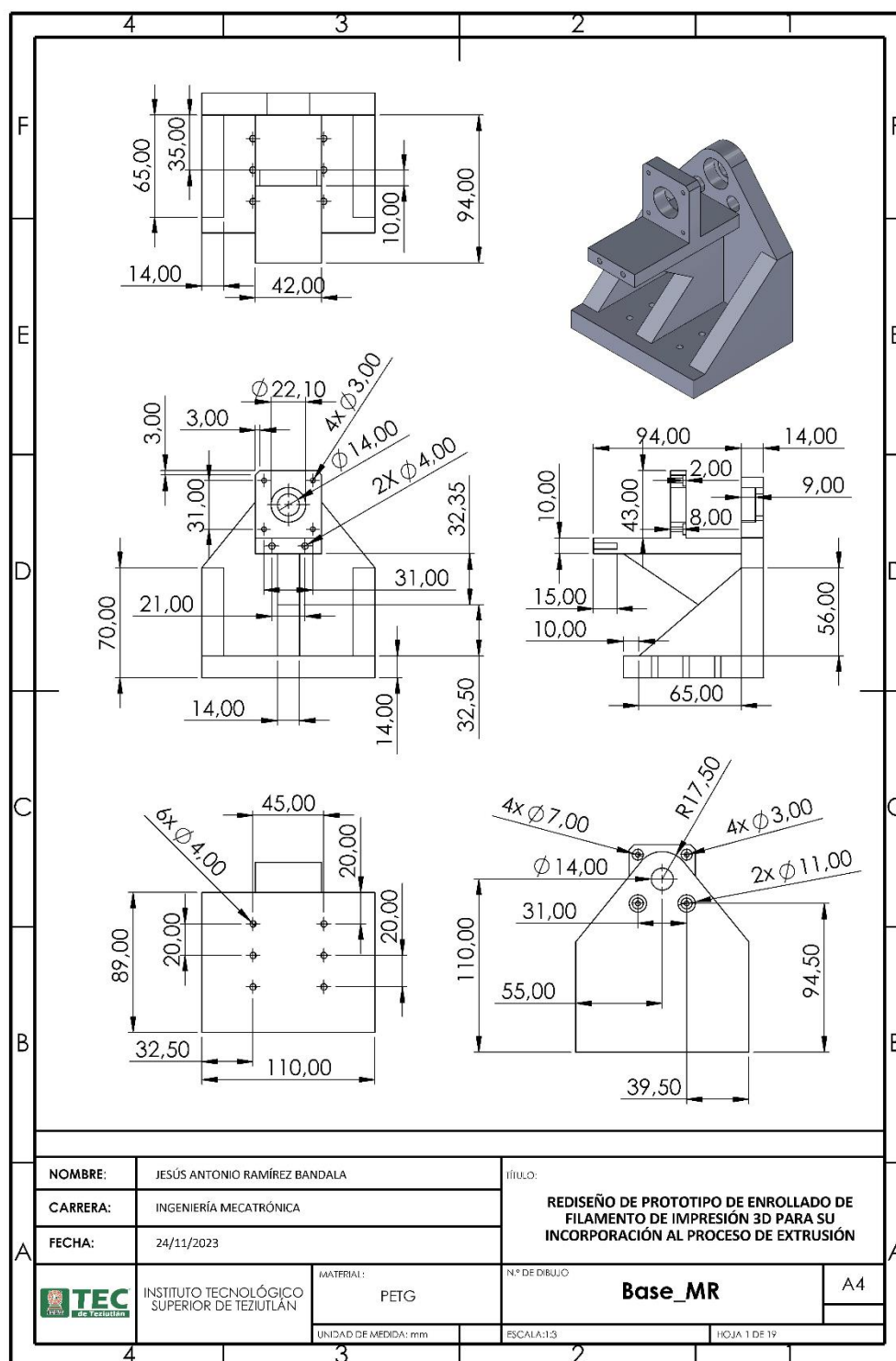
Anexo 2. Esquema electrónico.

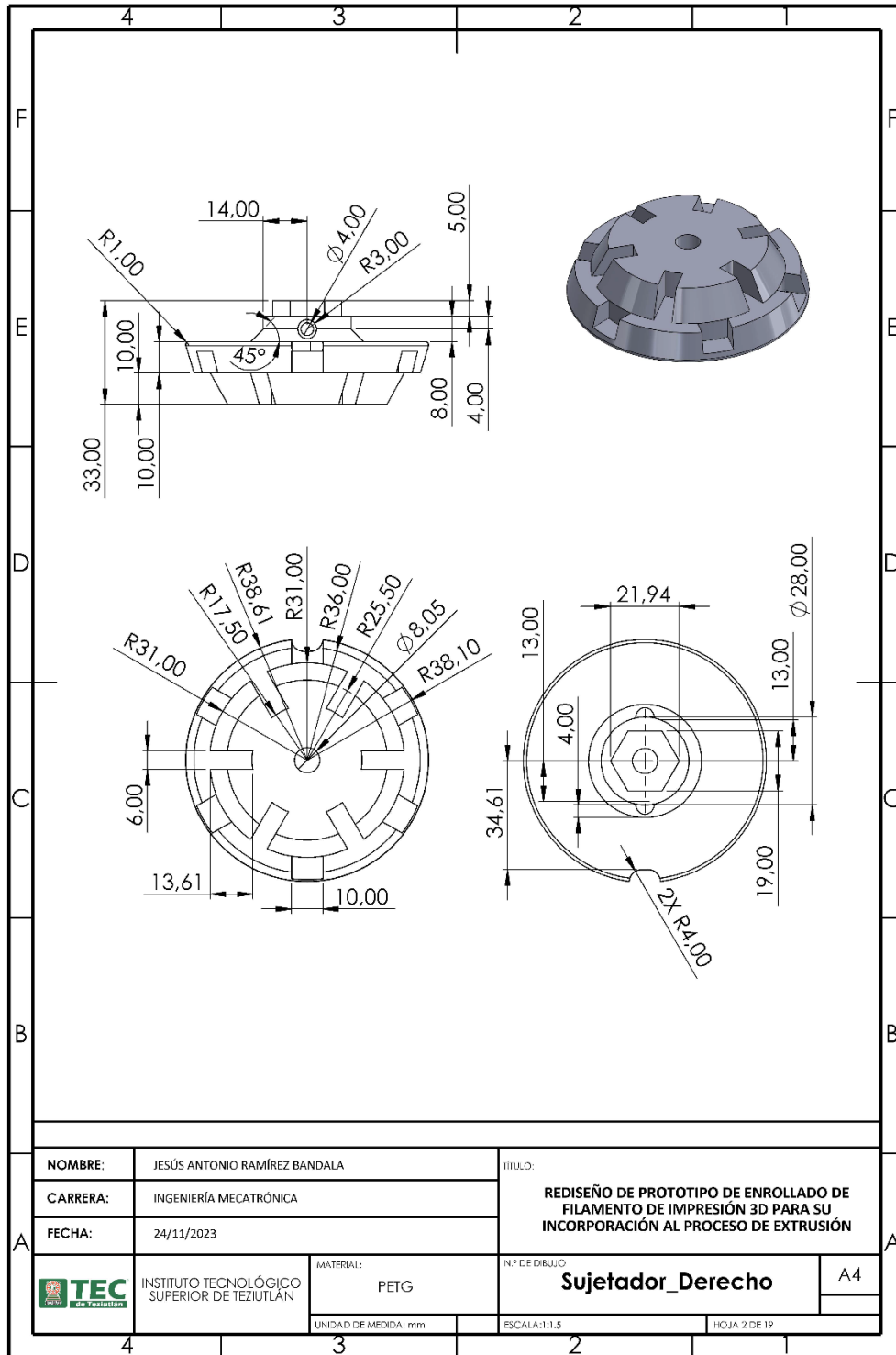


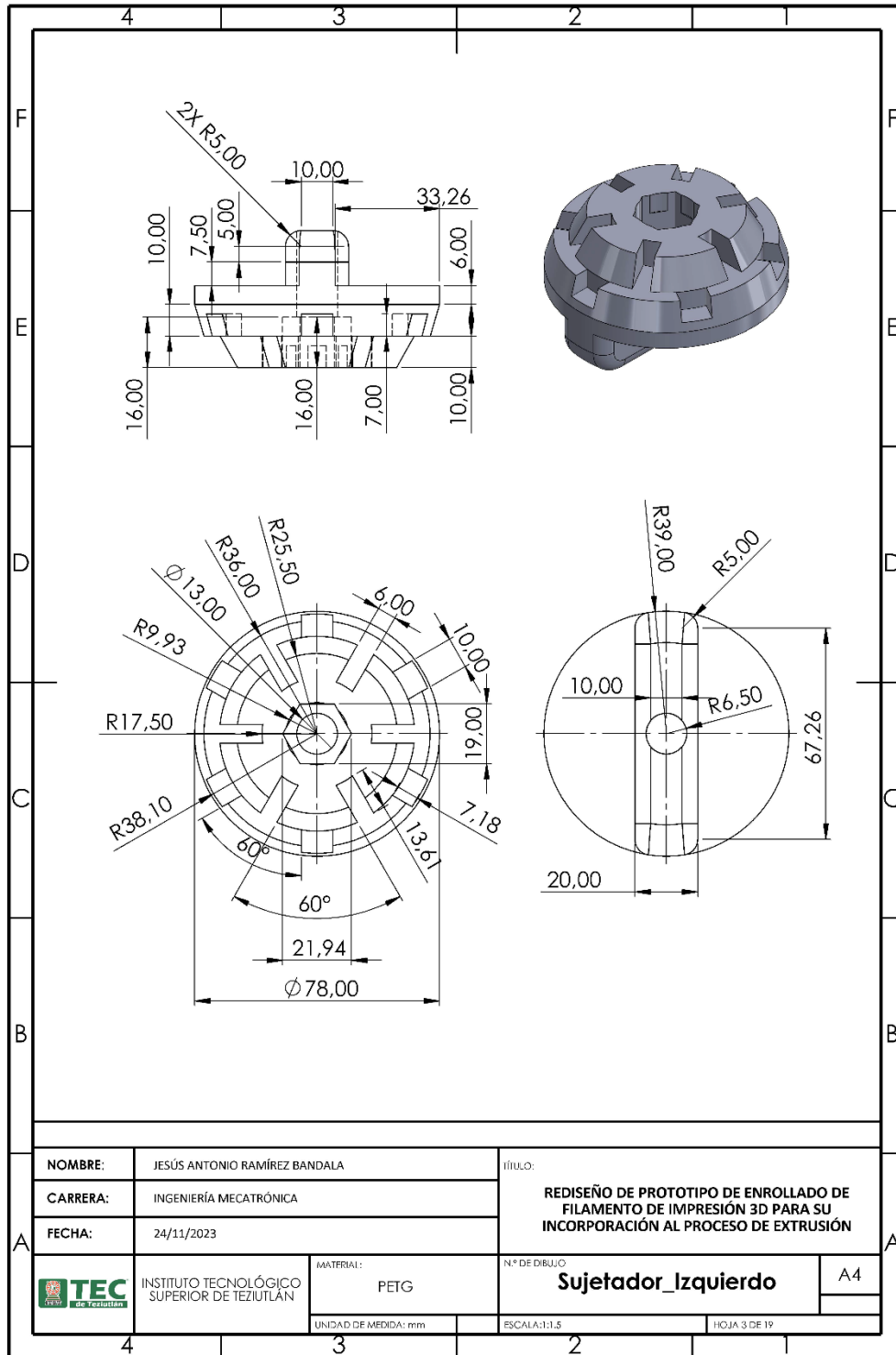
Anexo 3. Diseño PCB.

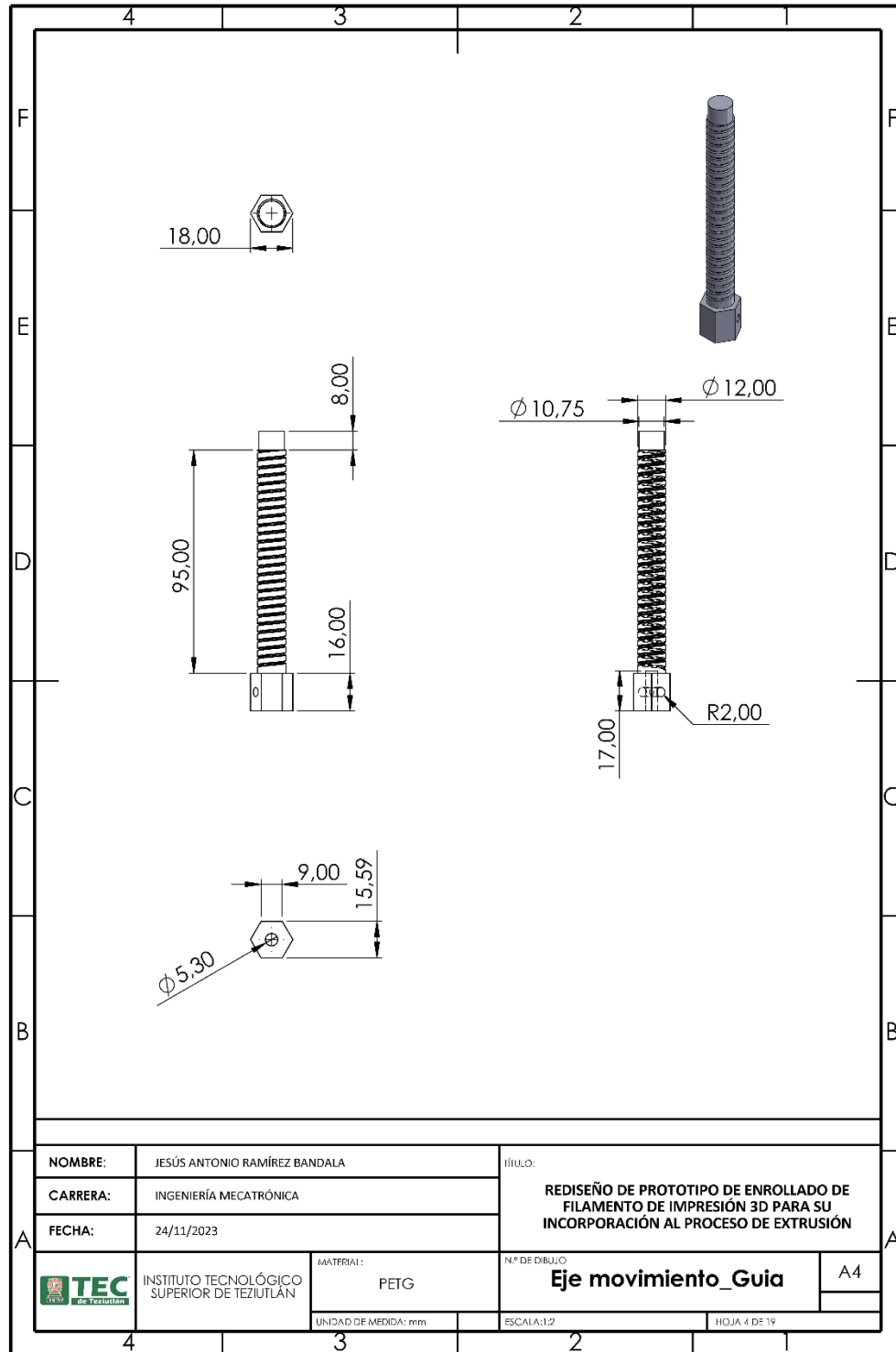


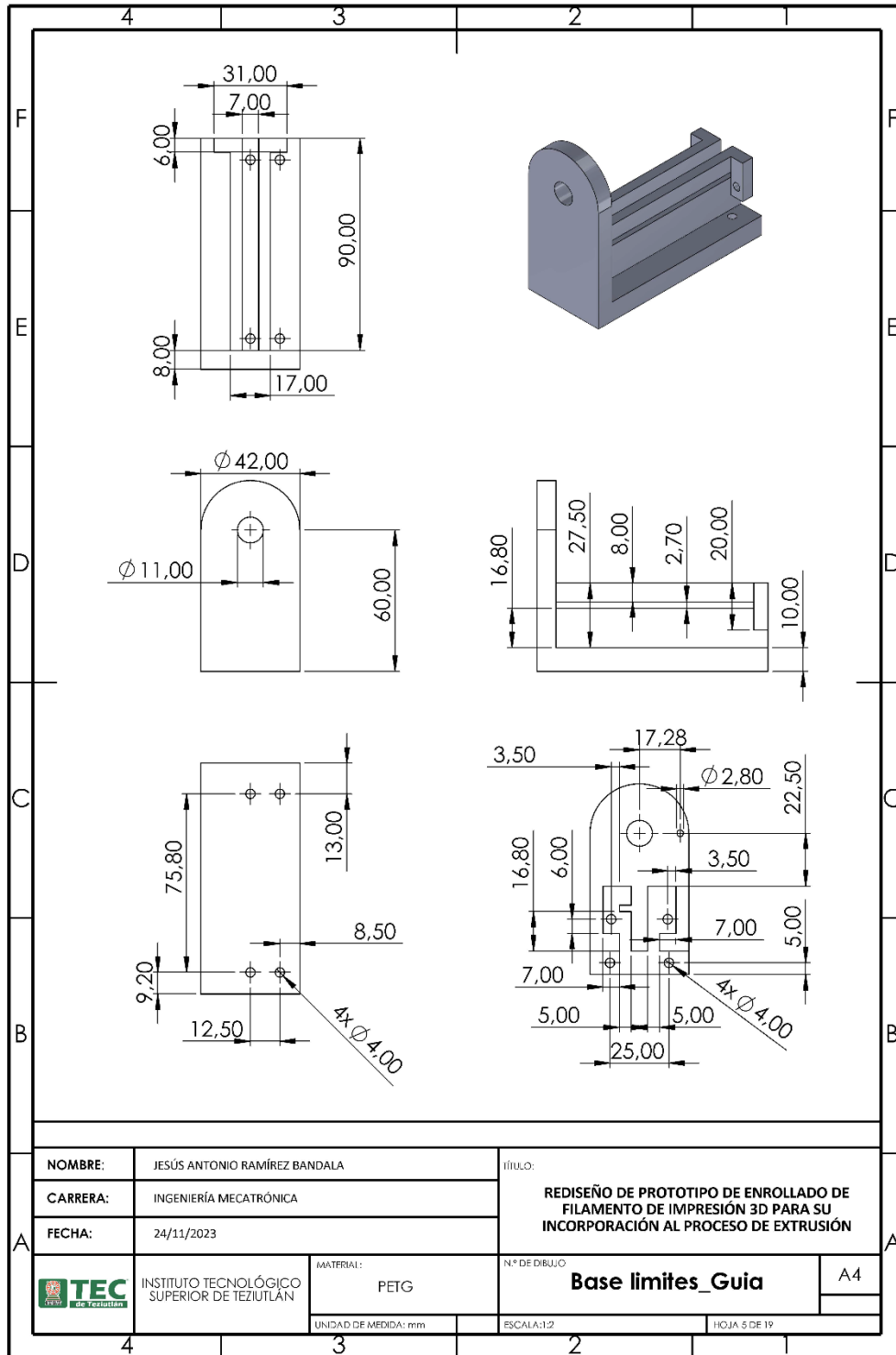
Anexo 4. Piezas que conforman el prototipo de enrollado.

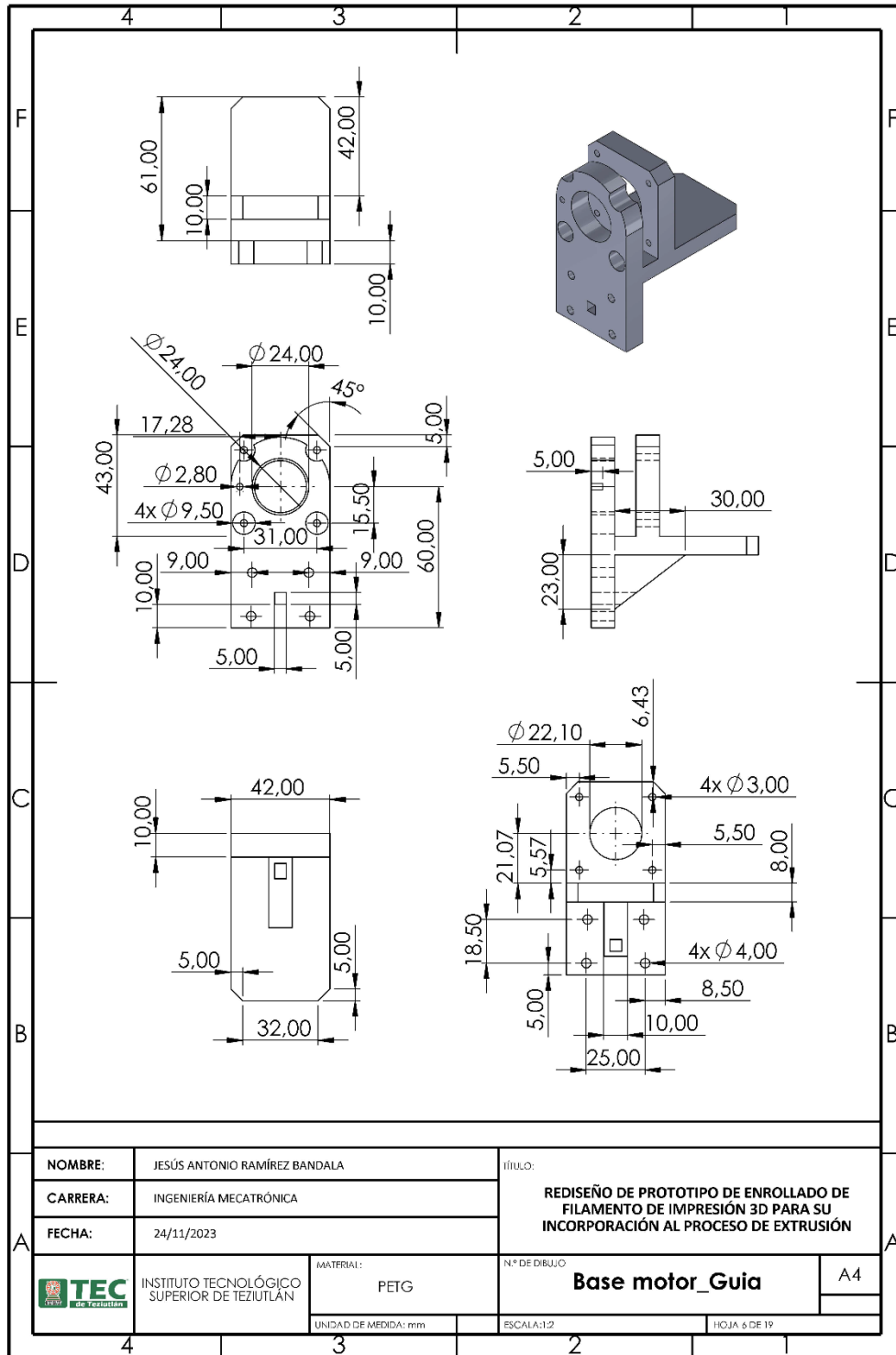


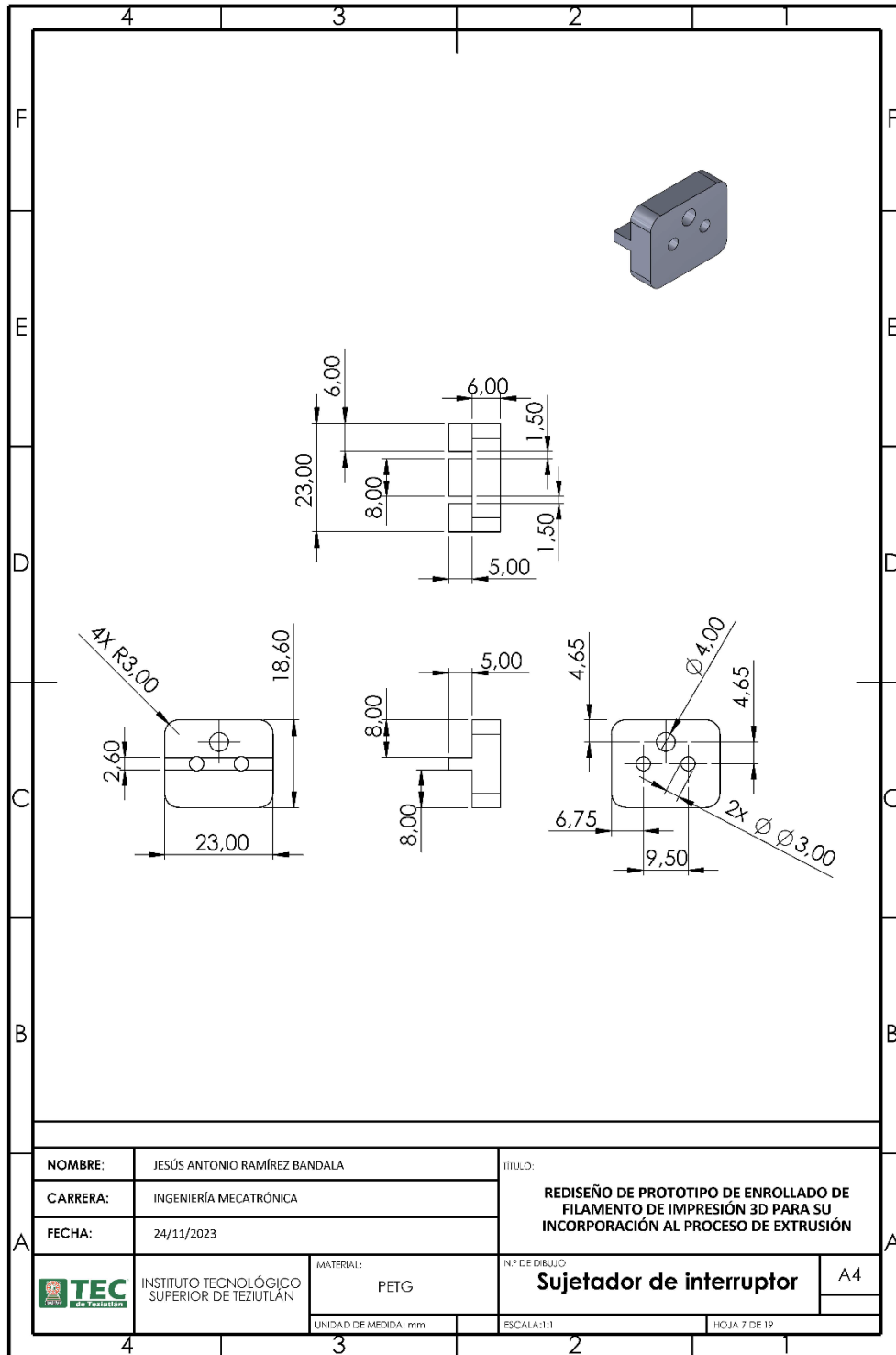


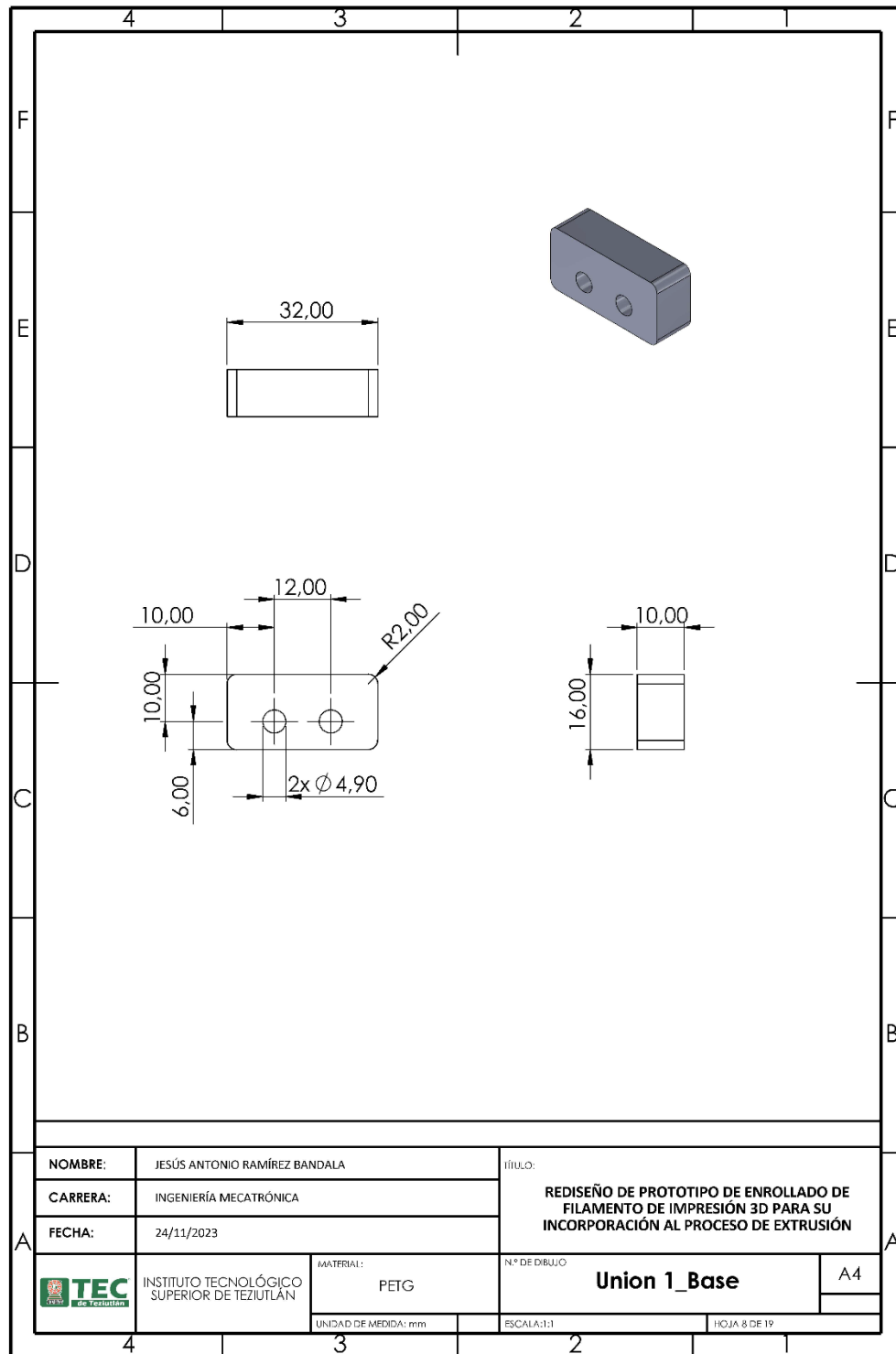








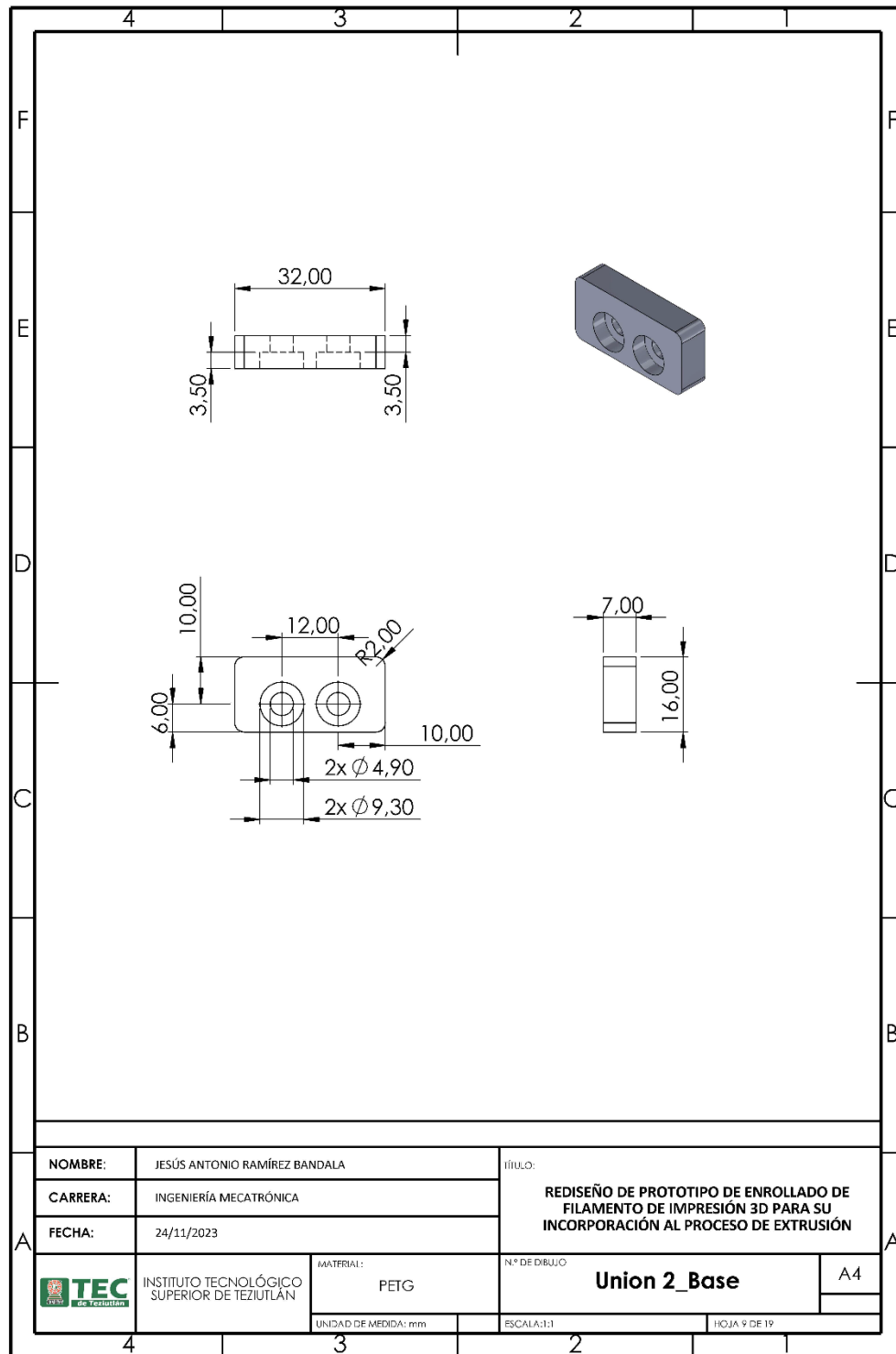


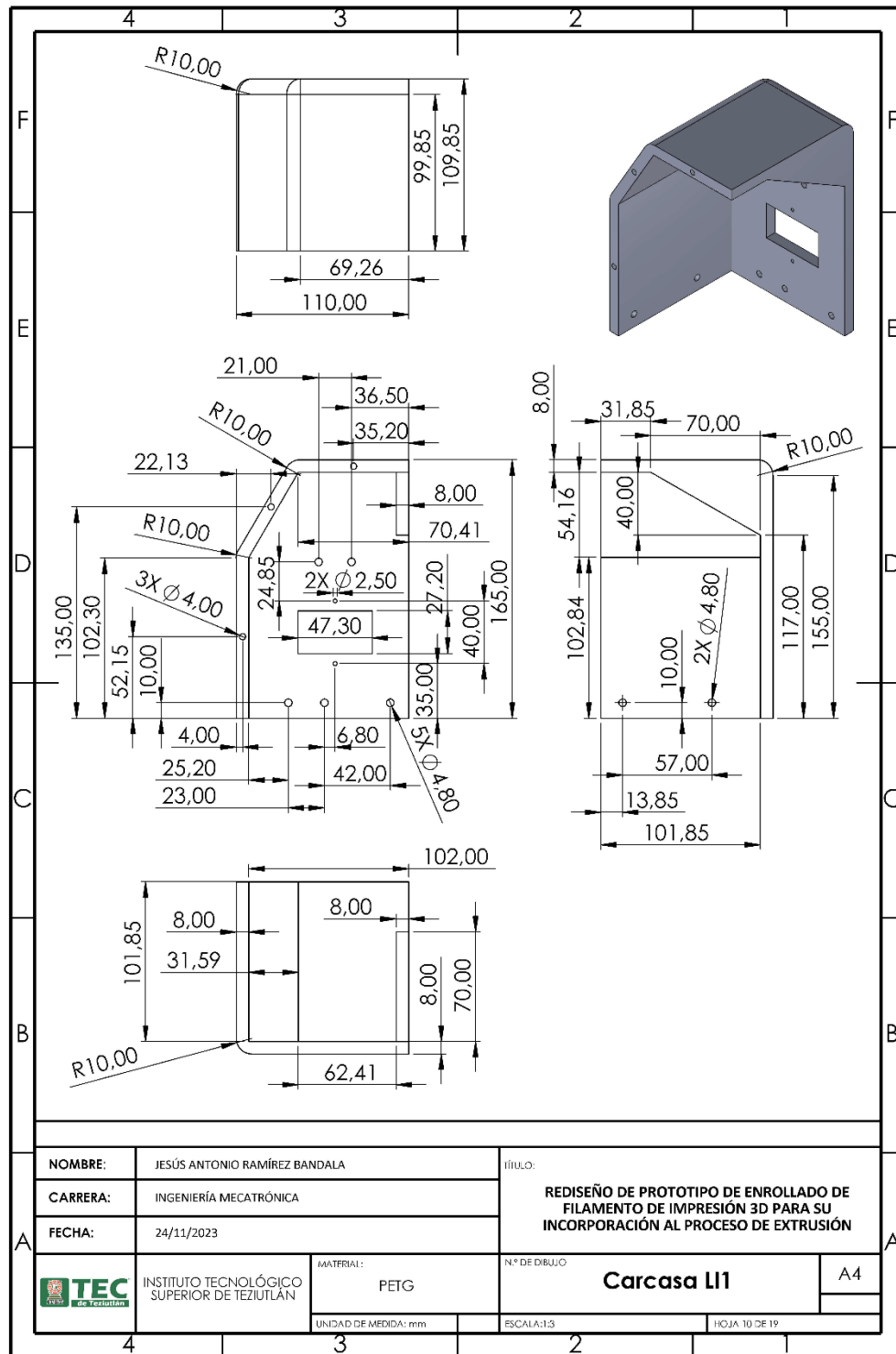


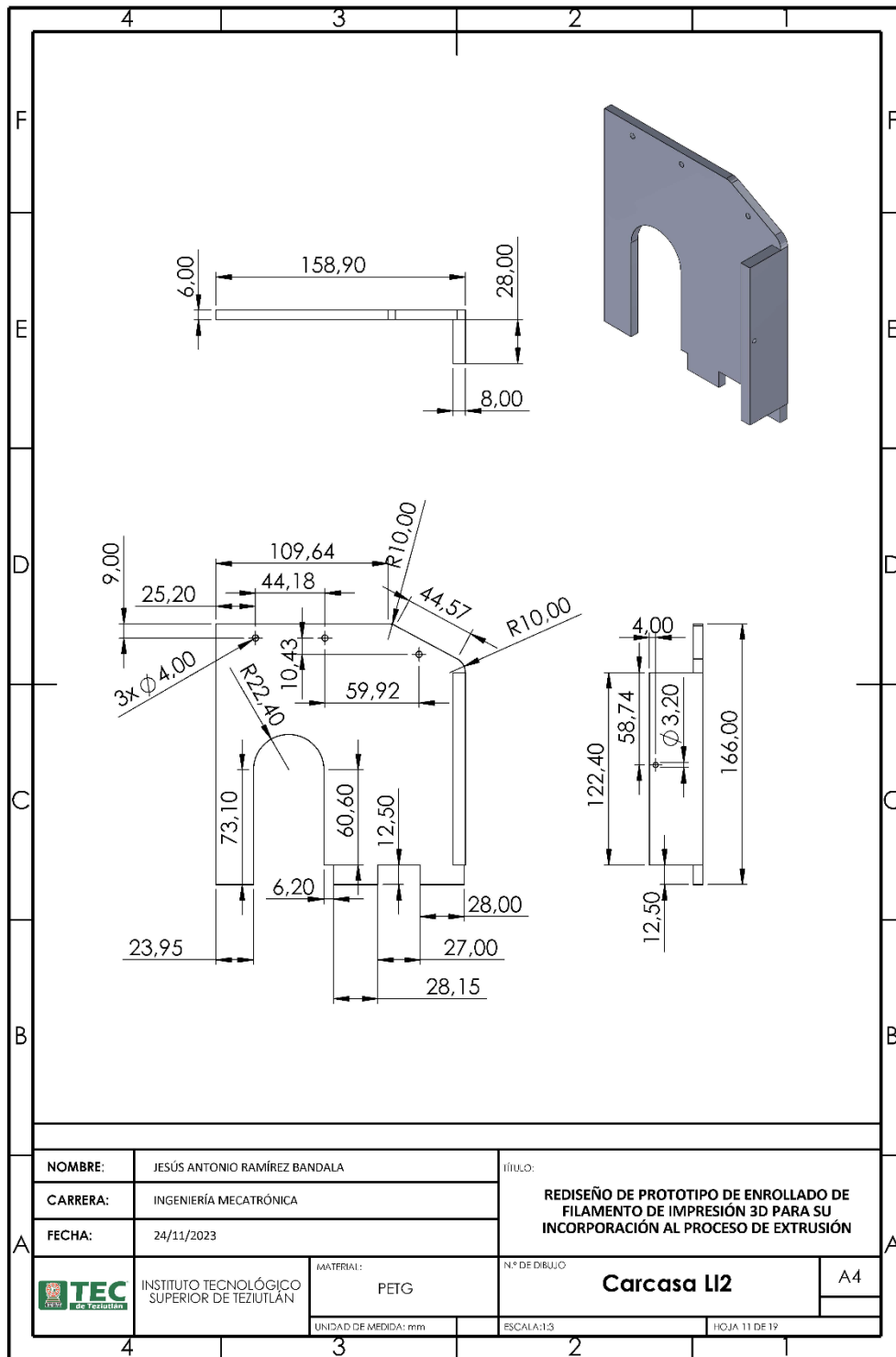
NOMBRE:	JESÚS ANTONIO RAMÍREZ BANDALA
CARRERA:	INGENIERÍA MECATRÓNICA
FECHA:	24/11/2023

TÍTULO:
REDISEÑO DE PROTOTIPO DE ENROLLADO DE FILAMENTO DE IMPRESIÓN 3D PARA SU INCORPORACIÓN AL PROCESO DE EXTRUSIÓN

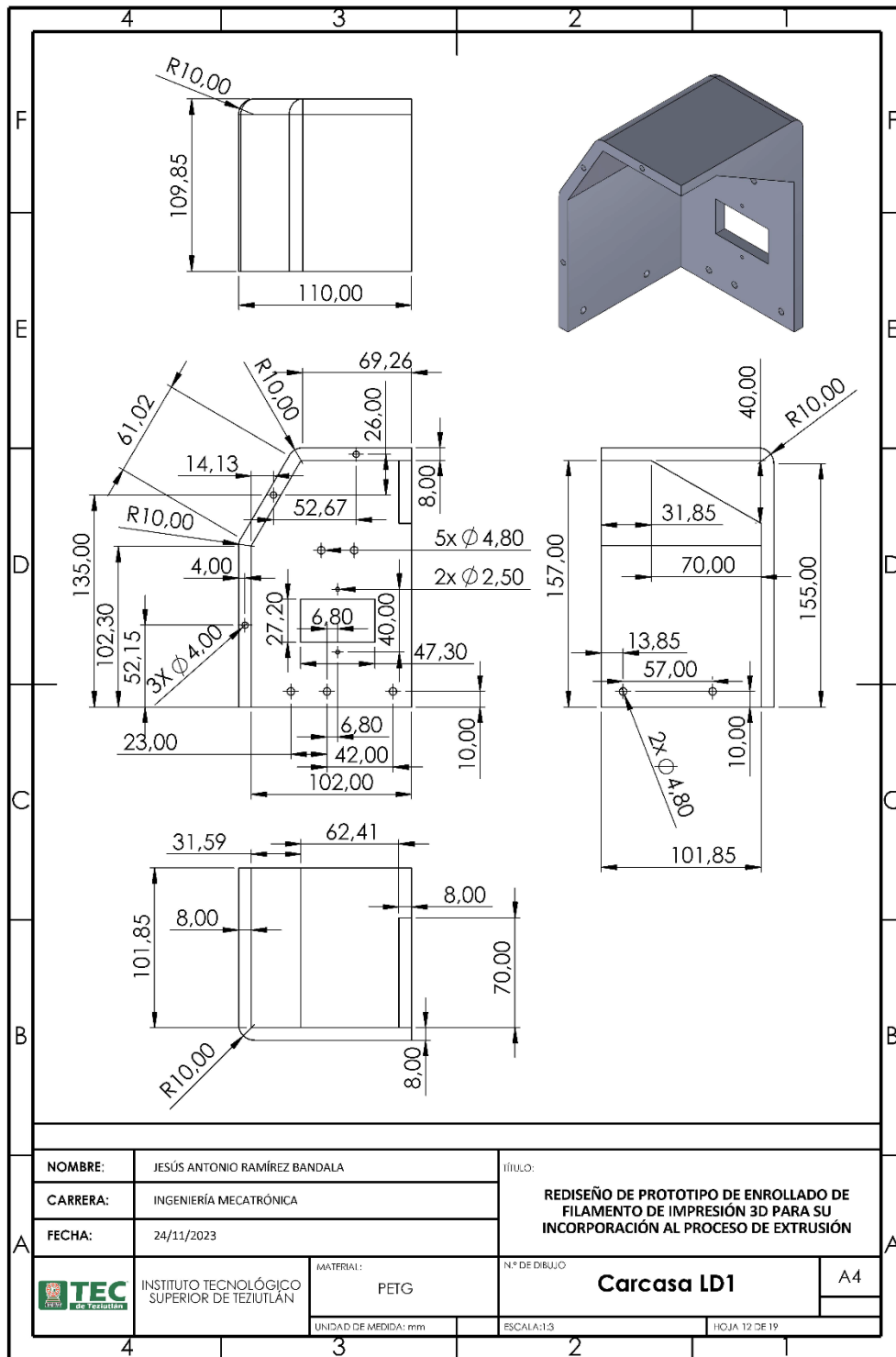
 INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE TEZIUTLÁN	MATERIAL:	PETG	N.º DE DIBUJO	Union 1_Base	A4
	UNIDAD DE MEDIDA:	mm	ESCALA:	1:1	HOJA 8 DE 19

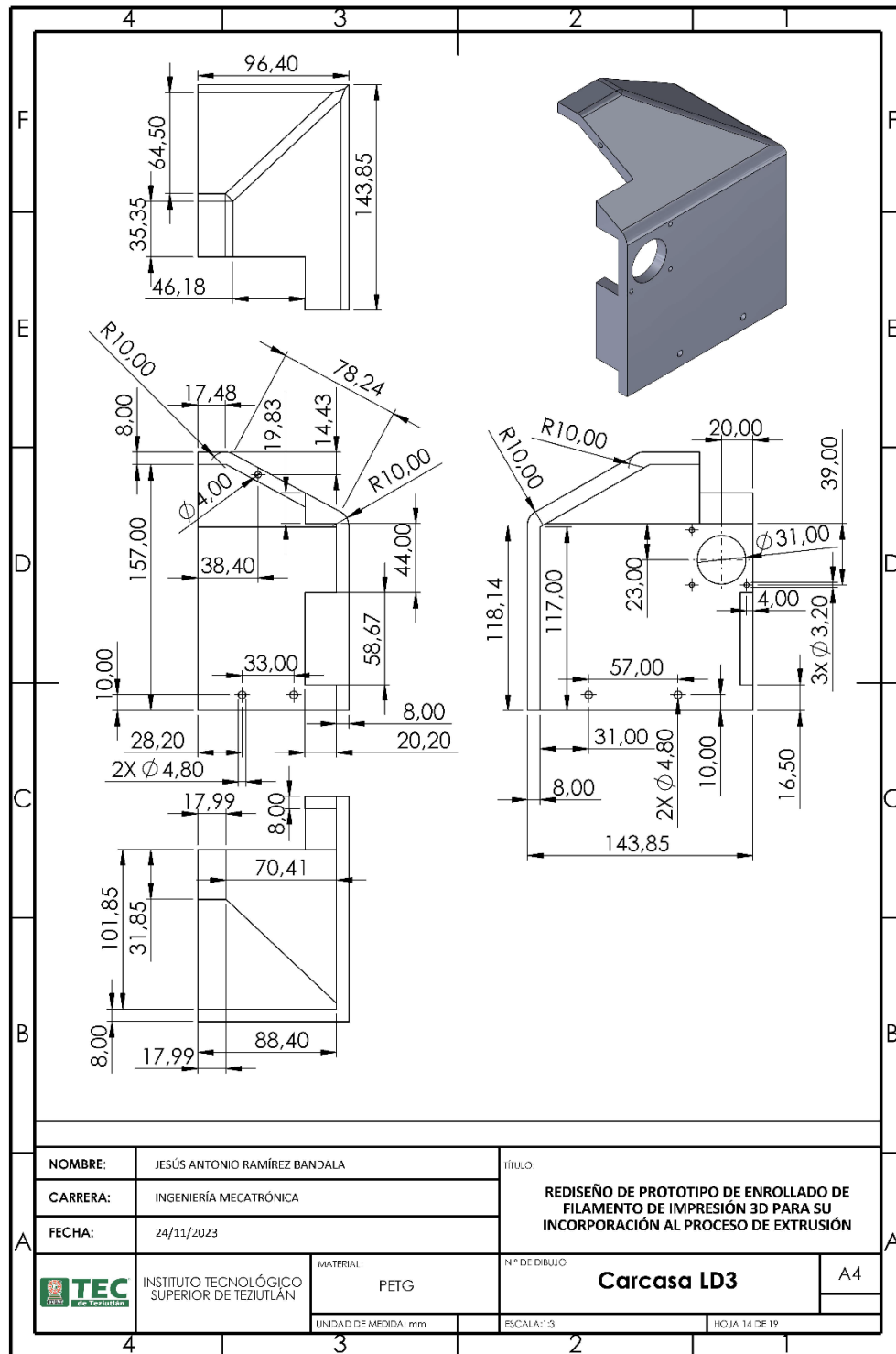


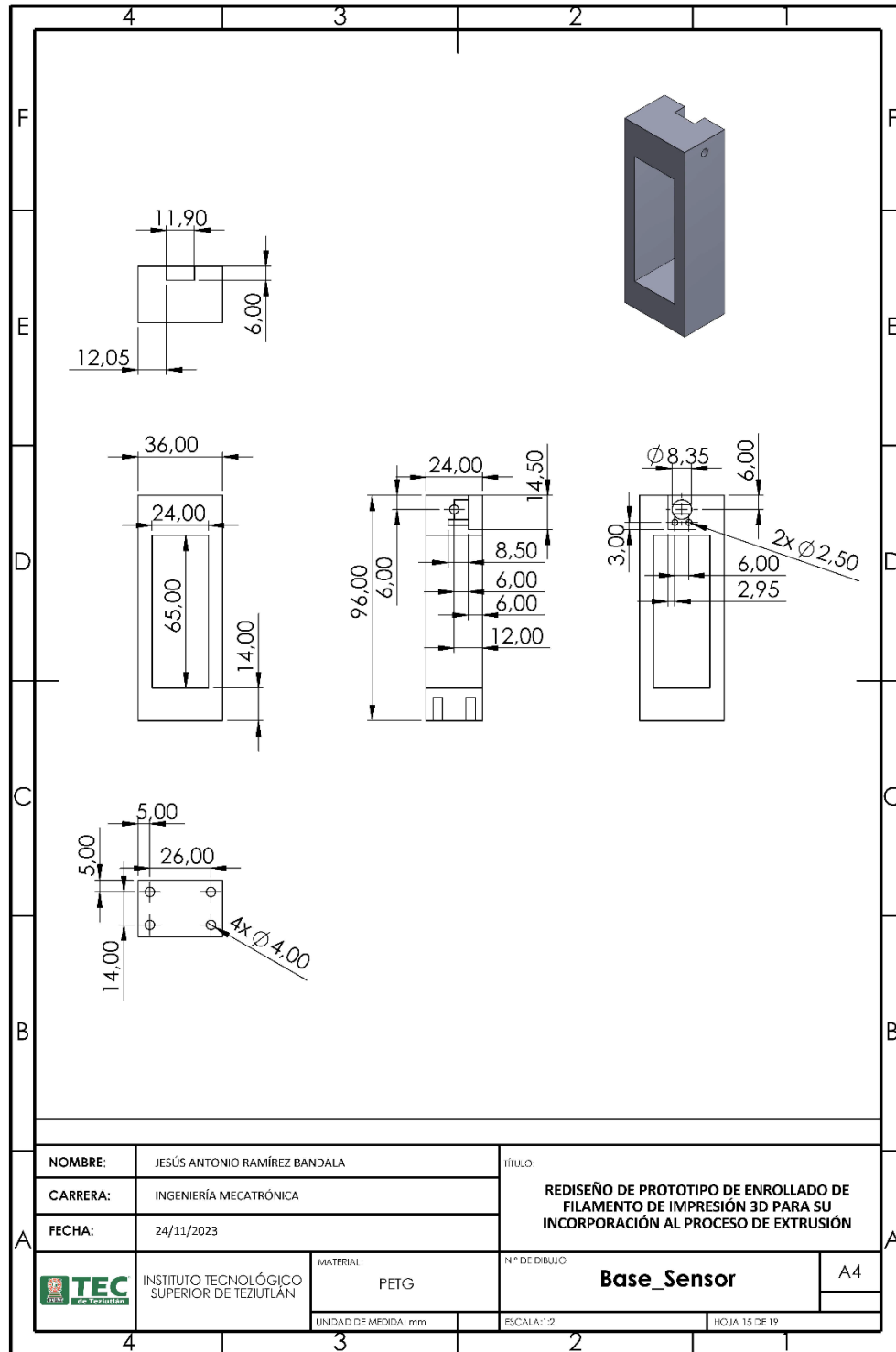


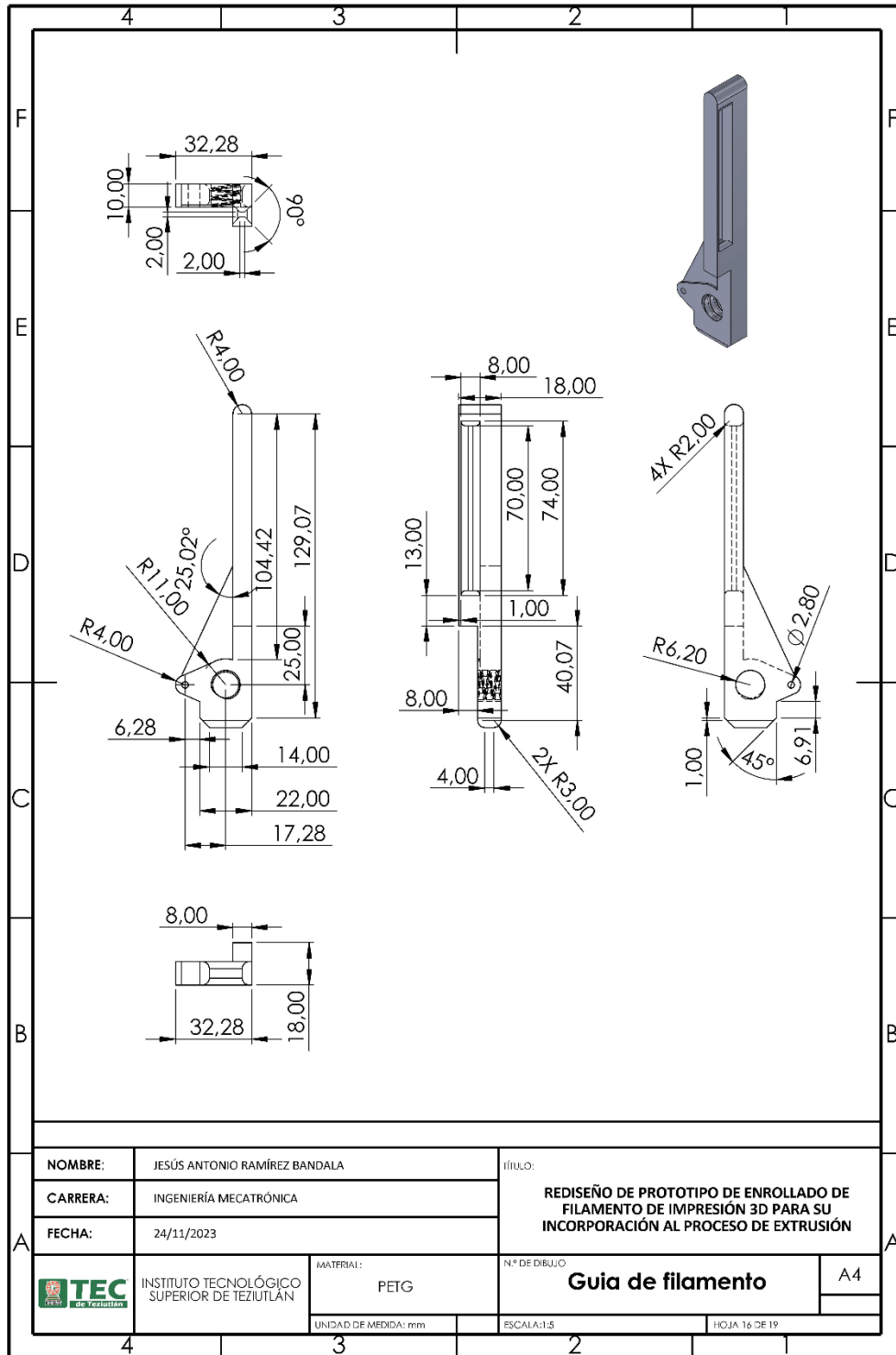


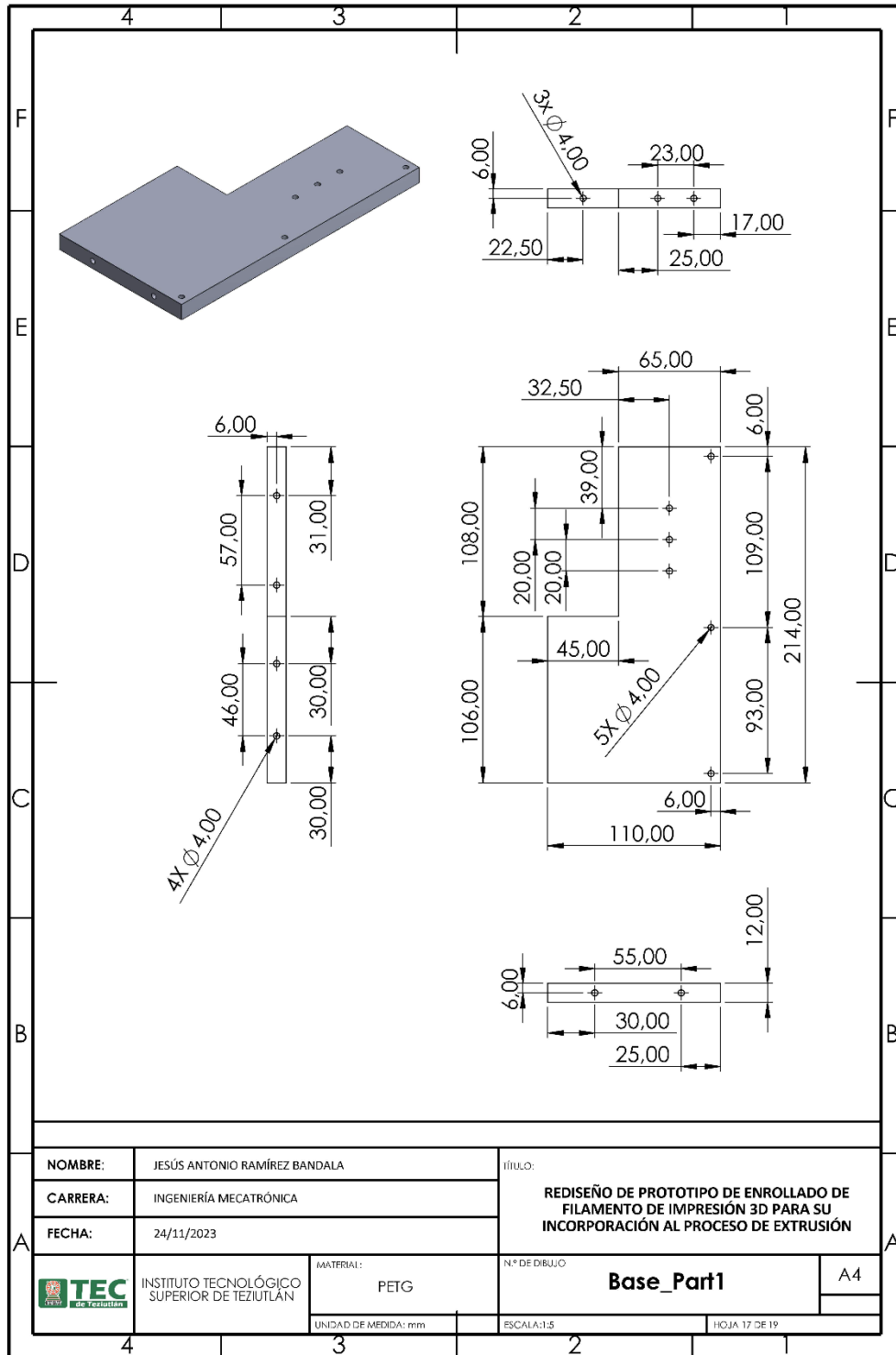
NOMBRE:		JESÚS ANTONIO RAMÍREZ BANDALA		TÍTULO: REDISEÑO DE PROTOTIPO DE ENROLLADO DE FILAMENTO DE IMPRESIÓN 3D PARA SU INCORPORACIÓN AL PROCESO DE EXTRUSIÓN		
CARRERA:		INGENIERÍA MECATRÓNICA				
FECHA:		24/11/2023				
	INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE TEZIUTLÁN	MATERIAL:		Nº DE DIBUJO	Carcasa LI2	A4
		PETG				
		UNIDAD DE MEDIDA: mm		ESCALA:1:3		HOJA 11 DE 19

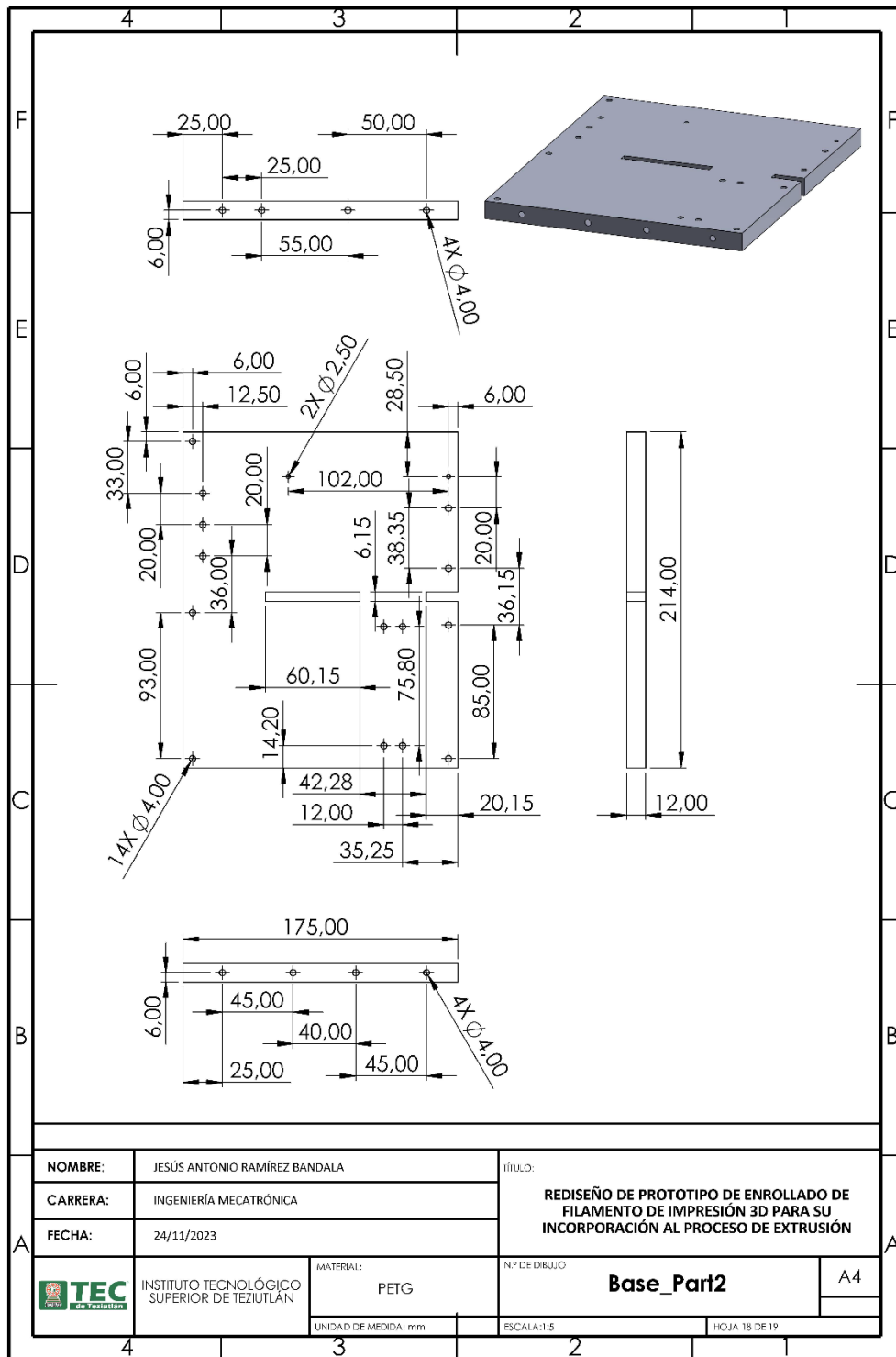


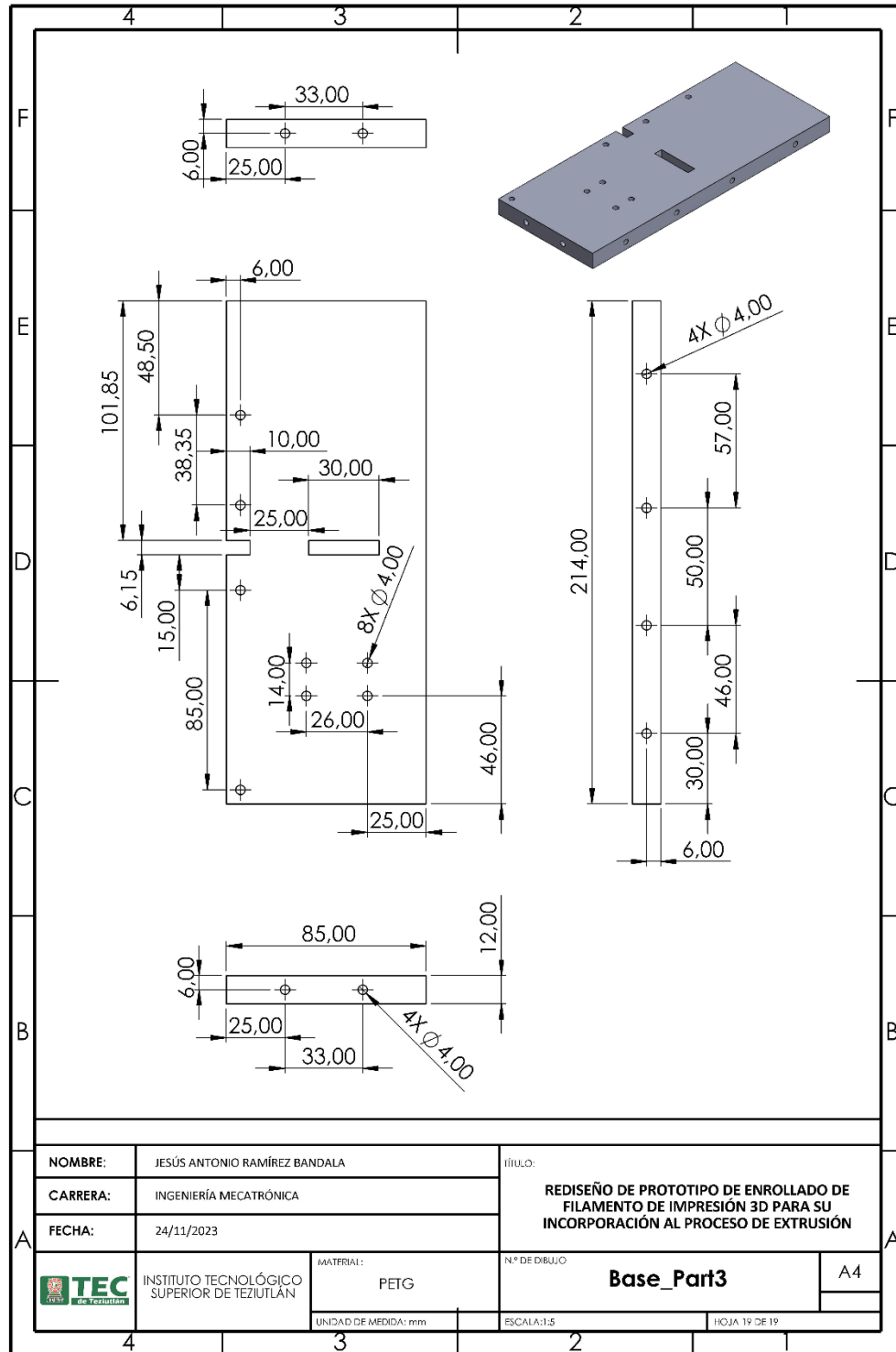












Anexo 5. Asignación de Asesor(a), Comisión Revisora, Entrega de Trabajo Profesional y Dictamen.

**EDUCACIÓN**
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



**TECNOLÓGICO**
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán

Asunto: **Asignación de Asesor(a), Comisión Revisora, Entrega de Trabajo Profesional y Dictamen**

Teziutlán, Puebla, **03/enero/2024**

Asesor(a): **GABRIEL ANGEL RAMIREZ VICENTE**
Integrante de Comisión Revisora: **ALFREDO CARRASCO ARAOZ**
Integrante de Comisión Revisora: **MONICA ADRIANA ANASTACIO MENDOZA**
Presentes

Por este medio me permito informar que ha sido asignado como asesor(a) y comisión revisora del trabajo profesional que se convertirá en Tesis de:

Alumno(a): **RAMIREZ BANDALA JESUS ANTONIO**
Apellido paterno/materno/nombre (s)

Número de Control: **19TE0364** Licenciatura o Posgrado: **INGENIERIA MECATRONICA**

Plan: **2010** Correo Electrónico: **L19TE0364@TEZIUTLAN.TECNM.MX**

Cuyo tema es: **REDISEÑO DE PROTOTIPO DE ENROLLADO DE FILAMENTO DE IMPRESION 3D PARA SU INCORPORACION AL PROCESO DE EXTRUSION**
25 palabras (máximo)

Se ha enviado a su correo institucional el trabajo profesional o de grado, por lo cual la comisión revisora tendrá 5 días hábiles para realizar las observaciones al alumnado, el(la) interesado(a) tendrá igualmente 5 días para corregir y las enviará al correo electrónico institucional de la comisión revisora, agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de licenciatura o de posgrado de nuestro alumnado egresado.

Dictamen de Comisión Revisora, Aprobación de Impresión o Grabación y Autorización para subirla al Repositorio del TecNM

Siendo el día: 31 de enero de 2024 se reunieron los miembros de la comisión para revisar el trabajo asignado y una vez analizado se decidió liberarlo y aprobarlo para su grabación y programación de examen profesional.

GABRIEL ANGEL RAMIREZ VICENTE
Nombre y Firma del(la) Asesor(a)

ALFREDO CARRASCO ARAOZ
Nombre y Firma de Integrante de la Comisión Revisora

MONICA ADRIANA ANASTACIO MENDOZA
Nombre y Firma de Integrante de la Comisión Revisora

MYRIAM SÁNCHEZ PEREZ
Subdirección Académica

R08/06/2023
Folio:33

**ESTADOS UNIDOS MEXICANOS**
S.E.P.
GOBIERNO DEL ESTADO

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE TEZIUTLÁN
SUBDIRECCIÓN ACADÉMICA

F-SAC-18



Fracción 1 y II s/n Aire Libre, Teziutlán, Puebla, C.P. 73960 Tels. 231 311 4000 / 4001 / 4002 / 4003
e-mail: itsteziutlan@hotmail.com | www.teziutlan.tecnm.mx

**2024**
Felipe Carrillo
PUERTO
PRESENCIA DEL PRESIDENTE DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

Anexo 6. Carta de autorización del(la) autor(a) para la consulta y publicación electrónica del trabajo de investigación.

Tecnológico Nacional de México
Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán

CARTA DE AUTORIZACIÓN DEL(LA) AUTOR(A) PARA LA CONSULTA Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

El que suscribe:

JESÚS ANTONIO

RAMÍREZ

BANDALA

Con Número de Control **19TE0364**

Perteneciente al Programa Educativo **INGENIERÍA MECATRÓNICA**

Por este conducto me permito informar que he dado mi autorización para la consulta y publicación electrónica del trabajo de investigación en los repositorios académicos.

Registrado con el producto: **TESIS**

Cuyo Tema es:

REDISEÑO DE PROTOTIPO DE ENROLLADO DE FILAMENTO DE IMPRESIÓN 3D PARA SU INCORPORACIÓN AL PROCESO DE EXTRUSIÓN

Correspondiente al periodo:

AGOSTO-DICIEMBRE 2023

Y cuyo(a) director(a) de tesis es:

M.S.C. GABRIEL ÁNGEL RAMÍREZ VICENTE

ATENTAMENTE



JESÚS ANTONIO RAMÍREZ BANDALA

Nombre y firma

Fecha de emisión: **04/02/2024**
c.c.p. Subdirección Académica

Anexo 7. Licencia de uso.

LICENCIA DE USO OTORGADA POR Jesús Antonio Ramírez Bandala, de nacionalidad Mexicana, mayor de edad, con domicilio ubicado en la calle Emiliano Zapata #45, Jalacingo, Veracruz, en mi calidad de titular de los derechos patrimoniales y morales y autor(a) de la tesis denominada “Rediseño de prototipo de enrollado de filamento de impresión 3D para su incorporación al proceso de extrusión” en adelante “LA OBRA” quien para todos los fines del presente documento se denominará “EL(LA) AUTOR(A) Y/O EL(LA) TITULAR”, a favor del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán del Tecnológico Nacional de México, la cual se registrará por las cláusulas siguientes:

PRIMERA –OBJETO: “EL(LA) AUTOR(A) Y/O EL(LA) TITULAR”, mediante el presente documento otorga al Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán del Tecnológico Nacional de México, licencia de uso gratuita e indefinida respecto de “LA OBRA”, para almacenar, preservar, publicar, reproducir y/o divulgar la misma, con fines académicos, por cualquier medio en forma física y a través del repositorio institucional y del repositorio nacional, éste último consultable en la página: (<https://www.repositorionacionalcti.mx/>).

SEGUNDA - TERRITORIO: La presente licencia se otorga, de manera no exclusiva, sin limitación geográfica o territorial alguna, de manera gratuita e indefinida.

TERCERA -ALCANCE: La presente licencia contempla la autorización para formato uso de “LA OBRA” en cualquier formato o soporte material y se extiende a la utilización, de manera enunciativa más no limitativa a los siguientes medios: óptico, magnético, electrónico, virtual (en red), mensaje de datos o similar, conocido o por conocerse.

CUARTA – EXCLUSIVIDAD: La presente licencia de uso aquí establecida no implica exclusividad en favor del Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán; por lo tanto, “EL(LA) AUTOR(A) Y/O EL(LA) TITULAR” conserva los derechos patrimoniales y morales de “LA OBRA”, objeto del presente documento.

QUINTA – CRÉDITOS: El Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán y/o el Tecnológico Nacional de México reconoce que “EL(LA) AUTOR(A) Y/O EL(LA) TITULAR” es el(la) único(a), primigenio(a) y perpetuo(a) titular de los derechos morales sobre “LA OBRA”; por lo tanto, siempre deberá otorgarle los créditos correspondientes por la autoría de la misma.

SEXTA – AUTORÍA: “EL(LA) AUTOR(A) Y/O EL(LA) TITULAR” manifiesta ser el(la) único(a) titular de los derechos de autor que derivan de “LA OBRA” y declara que el material objeto del presente fue realizado por él(ella), sin violentar o usurpar derechos de propiedad intelectual de terceros; por lo tanto, en caso de controversia sobre los mismos, se obliga a ser el(la) único(a) responsable. Dado en la Ciudad de Teziutlán, Puebla, a los **quince** días del mes **enero** de 2024.

“EL(LA) AUTOR(A) Y/O
EL(LA) TITULAR”,

Jesús Antonio Ramírez Bandala
Nombre y Firma

“EL INSTITUTO TECNOLÓGICO
SUPERIOR DE TEZIUTLÁN”

Arminda Juárez Arroyo
Directora General
Nombre, Firma y Sello