



Universidad **Mariana**

Desarrollo de un prototipo de extrusora de plástico (PET) para la fabricación de madera plástica
reciclada

Alex Camilo Daza Narvález

Luis Danilo Ortega Andrade

Universidad Mariana
Facultad Ingeniería
Programa Mecatrónica
San Juan de Pasto
2024

Desarrollo de un prototipo de extrusora de plástico (PET) para la fabricación de madera plástica reciclada

Desarrollo de un prototipo de extrusora de plástico (PET) para la fabricación de madera plástica
reciclada

Alex Camilo Daza Narváez
Luis Danilo Ortega Andrade

Informe de investigación para optar al título de Ingeniero Mecatrónico

Asesor
Esp. Carlos Armando Patiño Terán

Universidad Mariana
Facultad Ingeniería
Programa Mecatrónica
San Juan de Pasto
2024

Artículo 71: los conceptos, afirmaciones y opiniones emitidos en el Trabajo de Grado son responsabilidad única y exclusiva del (los) Educando (s)

Reglamento de Investigaciones y Publicaciones, 2007
Universidad Mariana

Agradecimientos

Agradecimiento, en primer lugar, a mis padres, familiares y profesores. Ellos son parte de este proceso en el cual he tenido muchas experiencias y formaciones para ser un gran ingeniero mecatrónico y desempeñarse de manera ejemplar y correcta en mi vida profesional.

Su apoyo incondicional ha sido invaluable para mí. Gracias a ellos, he adquirido las habilidades y experiencias necesarias para destacarme en mi campo. Estoy enormemente agradecido por su presencia y guía en cada etapa de mi vida.

Dedicatoria

Este trabajo culminado está dedicado a cada persona que me brindó su apoyo en los diferentes desafíos a los que me enfrenté durante el desarrollo de mi proyecto de grado. Agradezco a aquellos que me tendieron la mano, ofrecieron soluciones, consejos y explicaciones que fueron fundamentales para su conclusión.

Sin su ayuda y sabiduría, no habría sido posible completar esta etapa maravillosa de mi vida como estudiante universitario y alcanzar mi objetivo de ejercer la profesión a la que he dedicado horas de estudio y sacrificio.

Cada uno de ustedes ha dejado una huella significativa en mi camino académico y personal. Su generosidad y disposición para colaborar han sido un factor determinante en mi éxito. Estoy profundamente agradecido por su apoyo y por ser parte fundamental de mi logro.

Contenido

Introducción	12
1. Resumen del proyecto	13
1.1. Descripción del problema	13
1.2 Formulación del problema	14
1.3 Justificación	15
1.4 Objetivos	16
1.4.1 Objetivo general.....	16
1.4.2 Objetivos específicos	16
1.5 Marco referencial.....	17
1.5.1 Marco de Antecedentes:.....	17
1.5.1.2 Criterios de búsqueda	19
1.5.2 Marco teórico	20
1.5.2.1 Introducción maquinas extrusoras.	20
1.5.2.2 Proceso de extrusión de plástico PET.....	21
1.5.2.3 Tipos de Extrusora: Enfoque en la Extrusora de Tornillo Único	22
1.5.2.4 Componentes Principales	23
1.5.2.5 Ventajas de la Extrusora de Tornillo Único.....	23
1.5.2.6 Aplicación en el Proyecto.....	24
1.5.2.7 Detalles Específicos del Prototipo	24
1.5.2.8 Tipo de Plástico Utilizado: PET (Polietileno Tereftalato).....	24
1.5.2.9 Comportamiento térmico del PET.....	26
1.5.3 Fundamentos teóricos.....	27
1.6 Metodología	29
1.6.2 Línea y áreas temáticas del grupo de investigación.....	31
1.6.3.1 Especificaciones y requerimientos	32
1.6.3.2 Selección de componentes	33
1.6.4 Ecuaciones utilizadas	34
1.6.4.1 Componentes control de temperatura	38
1.6.5 Plan de pruebas y validación	40

<i>1.6.5.1 Verificación y validación de resultados</i>	40
2. Presentación de resultados	42
2.1 <i>Resultados fase 1</i>	42
2.1.2 <i>Resultados fase 2</i>	48
2.1.3 <i>Resultado fase 3</i>	54
2.2. <i>Análisis e interpretación de resultados</i>	57
3. Conclusiones	60
4. Recomendaciones	61
5 Bibliografía	62

Índice de Tablas

Tabla 1 Criterios de búsqueda 2019-2023	19
Tabla2 Propiedades térmicas (PET) (Axioma Group S.A.S, 2007)	26

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Extrusora de un solo husillo</i>	22
Figura 2 <i>Taxonomía de la investigación</i>	27
Figura 3 <i>Planos mecánicos tornillo sin fin SolidWorks</i>	42
Figura 4 <i>Planos mecánicos cilindro SolidWorks</i>	43
Figura 5 <i>Planos mecánicos tolva SolidWorks</i>	44
Figura 6 <i>Planos mecánicos base prototipo SolidWorks</i>	45
Figura 7 <i>Planos base madera SolidWorks</i>	46
Figura 8 <i>Planos base cilindro SolidWorks</i>	47
Figura 9 <i>Ensamblaje del prototipo en SolidWorks</i>	48
Figura 10 <i>Ensamblaje partes mecánicas</i>	49
Figura 11 <i>Motor seleccionado</i>	50
Figura 12 <i>Diseño software EAGLE</i>	51
Figura13 <i>Diagrama de componentes</i>	52
Figura 14 <i>Diseño control de temperatura ON-OFF</i>	52
Figura 15 <i>Diseño caja control software SolidWorks</i>	53
Figura 16 <i>Montaje control de temperatura ON-OFF</i>	54
Figura 17 <i>Ensamblaje final del prototipo con camisa térmica</i>	55
Figura 18 <i>Prueba sin control de temperatura</i>	56
Figura 19 <i>Prueba con control de temperatura y nuevas resistencias</i>	57
Figura 20 <i>Pruebas con molde cuadrado</i>	58
Figura 21 <i>Pruebas con molde cilíndrico</i>	59

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1: Área Transversal del Tornillo.....	34
Ecuación 2: Velocidad del Tornillo.....	35
Ecuación 3: Volumen de Material en el Tornillo	36
Ecuación 4: Tiempo de Residencia	36
Ecuación 5: Potencia Requerida.....	37

Índice de Anexos

Anexos 1 Diseño y planos	64
Anexos 2 Construcción del prototipo.....	64

Introducción

Este proyecto surge como respuesta a la preocupante realidad ambiental de la región de Pasto, en el departamento de Nariño, Colombia. En esta zona, se estima que la cantidad de residuos plásticos desechados anualmente supera las 1200 toneladas, contribuyendo significativamente a la contaminación del aire, el suelo y el agua (Crawford, 2017).

Además, estudios realizados por la Universidad de Nariño revelan que el Parque Tecnológico Ambiental Antanas (PTAA), en Pasto, recibe una cantidad desproporcionada de residuos sólidos, incluida una gran proporción de plásticos de un solo uso. Estos desechos representan un desafío considerable para la gestión ambiental y la salud pública en la región (Universidad de Nariño, 2022).

En este contexto, el desarrollo de un prototipo de extrusora de PET para la producción de madera plástica reciclada se presenta como una etapa de investigación que puede contribuir a mitigar los residuos plásticos en la región. Este proyecto no solo busca reducir la cantidad de residuos plásticos, sino también aprovechar el potencial de estos materiales para crear productos útiles y sostenibles.

La implementación de esta tecnología avanzada no solo beneficiará al medio ambiente local al reducir la contaminación plástica, sino que también fomentará la conciencia ambiental y promoverá prácticas de manejo de residuos más responsables. Durante el desarrollo del prototipo, se seleccionaron cuidadosamente las partes y componentes necesarios para lograr la configuración adecuada tanto de software como de hardware. Además, se implementó un control preciso de la temperatura y de las velocidades, asegurando que la madera plástica resultante tuviera las propiedades físicas óptimas para su utilización en el mercado.

1. Resumen del proyecto

El estudio se centra en el diseño, construcción y evaluación de un prototipo de máquina extrusora para fundir plástico PET reciclable con una capacidad de producción de 5 kg/h. El objetivo es crear una solución eficiente y sostenible para el reciclaje de plásticos, convirtiendo residuos en materiales reutilizables.

La acumulación de residuos plásticos es un problema ambiental crítico. Los métodos tradicionales de reciclaje no son lo suficientemente eficientes para manejar el volumen creciente de desechos plásticos. Este proyecto aborda este problema mediante el desarrollo de una extrusora que pueda procesar grandes cantidades de plástico PET reciclable de manera eficiente.

Se espera que el prototipo sea capaz de producir 5 kg de material extruido por hora, reutilizando aproximadamente 250 botellas plásticas por hora. Se anticipa una mejora significativa en la eficiencia del reciclaje de plásticos, con un impacto ambiental positivo al reducir la acumulación de residuos plásticos y promover la sostenibilidad. Además, el estudio buscará validar la viabilidad económica de la implementación de esta tecnología a escala industrial.

Palabras clave: Reciclaje, Extrusora, Plástico PET, Sostenibilidad, Prototipo

1.1. Descripción del problema

La acumulación de residuos plásticos, especialmente botellas de plástico PET, es un problema ambiental crítico y creciente a nivel global. Cada año, millones de toneladas de plástico terminan en vertederos y océanos, causando graves daños a la vida silvestre y los ecosistemas marinos. A pesar de los esfuerzos de reciclaje, solo una fracción del plástico producido se recicla efectivamente, debido a la ineficiencia de los métodos tradicionales y la falta de infraestructura adecuada. Este estudio aborda la necesidad urgente de mejorar los procesos de reciclaje de plásticos mediante el desarrollo de tecnologías más eficientes y accesibles.

En el contexto actual, los métodos convencionales de reciclaje no son suficientes para manejar el volumen creciente de desechos plásticos. Las extrusoras existentes a menudo son costosas, complicadas de operar y no están optimizadas para la escala necesaria en muchas comunidades y pequeñas empresas. Además, la calidad del material reciclado producido por estos métodos puede ser inconsistente, lo que limita su reutilización en aplicaciones de alto valor. La investigación y el desarrollo de un prototipo de máquina extrusora de plástico PET reciclable con capacidad de producción de 5 kg/h pretende abordar estas limitaciones y proporcionar una solución más viable y eficiente.

El objeto de la investigación es diseñar, construir y evaluar un prototipo de máquina extrusora capaz de procesar plástico PET reciclable de manera eficiente. Este proyecto se enfoca en seleccionar y utilizar componentes accesibles y económicos, diseñar un sistema mecánico y electrónico robusto y realizar pruebas exhaustivas para asegurar la calidad y consistencia del material extruido. La pregunta principal que este estudio busca responder es: ¿Cómo se puede diseñar y construir una máquina extrusora de plástico PET que sea eficiente, accesible y capaz de producir material reciclado de alta calidad?

La importancia de este problema radica en su potencial para impactar positivamente en la sostenibilidad y gestión de residuos plásticos. Al desarrollar una extrusora más eficiente y accesible, se puede aumentar significativamente la tasa de reciclaje de plásticos PET, reduciendo la cantidad de residuos plásticos que terminan en vertederos y océanos. Además, la disponibilidad de madera plástica reciclada de alta calidad puede fomentar el uso de materiales reciclados en diversas aplicaciones industriales y comerciales, contribuyendo a una economía circular y sostenible.

1.2 Formulación del problema

¿Cómo diseñar un prototipo de máquina extrusora de plástico para la fabricación de madera plástica reciclada?

1.3 Justificación

La problemática de la acumulación de residuos plásticos, particularmente las botellas de PET, ha alcanzado proporciones críticas, afectando tanto al medio ambiente como a la salud pública. Este trabajo de grado aborda esta crisis mediante el diseño y construcción de un prototipo de máquina extrusora para reciclar plástico PET. Este proyecto es de gran relevancia institucional, social, económica, ambiental y tecnológica.

Desde una perspectiva institucional, el proyecto refuerza los objetivos del programa de Ingeniería Mecatrónica, al integrar conocimientos de diseño mecánico, control electrónico y procesos de manufactura. Socialmente, contribuye a la reducción de residuos plásticos, promoviendo prácticas de reciclaje y sostenibilidad. Económicamente, ofrece una solución accesible y eficiente para pequeñas empresas y comunidades, fomentando la economía circular. Ambientalmente, la máquina extrusora reduce la cantidad de plástico que termina en vertederos y océanos, mitigando su impacto ecológico. Tecnológicamente, introduce innovaciones en el diseño de máquinas extrusoras, mejorando su eficiencia y funcionalidad.

El trabajo de grado se alinea con las tipologías de I+D (Investigación y Desarrollo) y I+D+I (Investigación, Desarrollo e Innovación). La investigación se centra en la selección de materiales y componentes óptimos, el desarrollo de un diseño mecánico y la implementación de controles electrónicos avanzados. La fase de desarrollo involucra la construcción y prueba del prototipo, mientras que la innovación se manifiesta en la creación de una máquina extrusora eficiente y accesible, que podría revolucionar el reciclaje de plástico PET. Este proyecto se vincula con las líneas de investigación del grupo de Ingeniería Mecatrónica, específicamente en áreas de sostenibilidad y tecnología de manufactura avanzada.

La pertinencia del proyecto radica en su capacidad para abordar una necesidad urgente de manera eficaz. Su alcance incluye la construcción de un prototipo funcional y la evaluación de su rendimiento, con resultados esperados que demuestren mejoras en la eficiencia del reciclaje de PET y la calidad del material extruido. En los resultados se reflejará la capacidad del prototipo para producir madera plástica de alta calidad.

El proyecto incluye la introducción de innovaciones tecnológicas en el proceso de reciclaje de plásticos, ofreciendo una investigación a la solución práctica y escalable.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Desarrollar un prototipo de máquina extrusora para el aprovechamiento de los residuos plásticos (PET)

1.4.2 Objetivos específicos

- Diseñar los elementos mecánicos y electrónicos que componen el prototipo para asegurar su funcionalidad y eficiencia en el proceso de reciclaje de plástico PET.
- Integrar componentes electromecánicos y la etapa de control de temperatura en el prototipo para garantizar un control preciso y eficiente durante el proceso de extrusión del plástico.
- Realizar pruebas de funcionamiento del prototipo para evaluar su rendimiento, identificar posibles mejoras y asegurar que cumple con los requisitos de producción y calidad esperados.

1.5 Marco referencial

1.5.1 Marco de Antecedentes:

(Xu, 2011) en su ponencia “Diseño de un sistema de creación de prototipos de control rápido para Control de temperatura de extrusora de plástico basado en LabVIEW”

- **Objetivo:** Diseñar un sistema de prototipado rápido de control de temperatura para una extrusora de plástico utilizando LabVIEW.
- **Resultados:** El sistema permite un control preciso y en tiempo real de la temperatura de la extrusora, reduciendo significativamente el tiempo y los costos de desarrollo.
- **Contribución:** Proporciona un enfoque eficiente y económico para el control de temperatura en la extrusión, aplicable al prototipo actual para mejorar la precisión y consistencia de la producción de madera plástica reciclada.

(Shah Alam, 2021) en su conferencia “Fabricación, pruebas y análisis estadístico de una extrusora de filamento de un solo tornillo basada en proyectos”

- **Objetivo:** Diseñar y construir una extrusora de filamento de bajo costo para la impresión en 3D.
- **Resultados:** Producción de filamentos de alta calidad con variación mínima en el diámetro y una velocidad de producción estable.
- **Contribución:** Provee una metodología clara para la selección de componentes y el análisis estadístico del rendimiento, útil para optimizar el diseño y la producción del prototipo de extrusión.

(Edwin, 2021) en su tesis “Diseño y construcción de un prototipo de máquina extrusora para fundir plástico PET reciclable con capacidad de 5 kg/h”

- **Objetivo:** Diseñar y construir una extrusora capaz de fundir plástico PET reciclable con una capacidad de producción de 5 kg/h.

- **Resultados:** Detalle del proceso de construcción, selección de materiales, y pruebas de funcionamiento.
- **Contribución:** Ofrece una guía práctica y detallada para la construcción y ajuste de la máquina, enfatizando la selección de componentes y la reducción de costos, aspectos directamente aplicables al desarrollo del prototipo actual.

(Morales, 2014) en su tesis “Diseño de una máquina extrusora de plásticos PET”

- **Objetivo:** Diseñar y construir una máquina extrusora de plásticos PET eficiente y duradera.
- **Resultados:** Énfasis en la importancia de la selección de materiales y el diseño de componentes robustos, así como en la realización de pruebas y ajustes.
- **Contribución:** Provee criterios de diseño y pruebas que aseguran el funcionamiento óptimo de la máquina extrusora, contribuyendo al desarrollo del prototipo actual al proporcionar parámetros esenciales de diseño y pruebas.

(Piñeros, 2019) “Rediseño de una máquina extrusora para reciclaje de plástico producido en la Facultad Tecnológica de la Ud.”

- **Objetivo:** Rediseñar una máquina extrusora para el reciclaje de plástico, mejorando su funcionalidad y eficiencia.
- **Resultados:** Adición de componentes como un motor y una caja de cambios, mejoras en la funcionalidad de la máquina, y pruebas de evaluación.
- **Contribución:** Presenta soluciones mecánicas y componentes que pueden ser verificados y aplicados en el diseño del prototipo actual, proporcionando una base para la evaluación de costos y efectividad en el método de extrusión.

Estos antecedentes proporcionan una base sólida para el diseño y desarrollo del prototipo de extrusión de plástico PET. La combinación de enfoques de control de temperatura preciso (Xu, 2011), metodologías de diseño y análisis de componentes (Shah Alam, 2021), guías de construcción y ajuste de máquinas extrusoras (Edwin, 2021), criterios de selección de materiales y pruebas (Morales, 2014), y soluciones mecánicas innovadoras (Piñeros, 2019) son integrados en el

proyecto actual para desarrollar un prototipo eficiente, económico y funcional. Estos trabajos previos no solo guían en términos de metodología y selección de componentes, sino que también proporcionan un marco para la evaluación y optimización continua del prototipo.

1.5.1.2 Criterios de búsqueda

Para llevar a cabo la búsqueda de información relevante para el desarrollo del prototipo de máquina extrusora, se utilizaron las siguientes bases de datos: Google Scholar, Google Patents, IEEE Xplorer, ScienceDirect y Scopus. La búsqueda se centró en los últimos cinco años, abarcando desde 2019 hasta la fecha de la búsqueda en 2023. Los criterios de búsqueda fueron cuidadosamente seleccionados para asegurar la relevancia y calidad de los resultados.

Tabla 1

Criterios de búsqueda 2019-2023

Criterio	Descripción
Año	2019 - 2023
Área Temática	Extrusión de plásticos, diseño de prototipos, reciclaje de plásticos, control de temperatura en extrusoras
Idioma	Inglés, español
Citaciones	Artículos altamente citados y revisados por pares
Año	2019 - 2023
Bases de Datos	Google Scholar, Google Patents, IEEE Xplorer, ScienceDirect, Scopus

1.5.2 Marco teórico

1.5.2.1 Introducción maquinas extrusoras.

Las máquinas extrusoras se utilizan para la producción de materiales plásticos u otros materiales que requieren un proceso de extrusión. En este proceso, se fuerza un material fundido a través de una boquilla para dirigirlo hacia un molde específico que determina la forma y el tamaño del material. De esta manera, la materia prima se convierte en un producto final con las características requeridas. Este método de producción se ha convertido en una alternativa altamente eficiente y versátil para la fabricación de tuberías, láminas, perfiles, cables, películas plásticas y materiales compuestos, como el plástico reforzado con fibra de vidrio, entre otros. Las extrusoras pueden ser de un solo husillo o de doble husillo, y varían en tamaño y capacidad, desde pequeñas máquinas de banco hasta grandes equipos industriales capaces de producir toneladas de productos por hora. Con el mantenimiento adecuado y la tecnología de punta, las extrusoras son herramientas altamente eficientes y rentables para la producción en masa de productos plásticos y otros materiales.

En los últimos años, las industrias del plástico han experimentado un desarrollo masivo aplicándose en productos como envases o accesorios, los cuales son de un solo uso. Muchas empresas utilizan este material para la fabricación de sus productos, y se encuentran en todas partes, generando una gran cantidad de desechos que no son controlados. Esto genera una problemática social y ambiental, la cual es un debate constante debido a la falta de soluciones para tratar estos desechos.

Por esta razón, se está implementando el uso de máquinas extrusoras para reciclar estos materiales y generar una nueva materia prima, la cual es parte de un proceso de solución para esta problemática. Al implementar esta tecnología, podemos convertir botellas plásticas en objetos terminados con una forma específica (ecologiaverde, 2018)

1.5.2.2 Proceso de extrusión de plástico PET

Almacenamiento del Material (PET) Granulado: El PET granulado se almacena en una tolva antes de ser procesado. La tolva alimenta el material de manera continua y uniforme al sistema de extrusión. Elementos Utilizados: Tolva de almacenamiento.

Fusión del Material Termoplástico: El PET granulado se calienta en el cilindro de la extrusora hasta alcanzar una consistencia viscosa adecuada para la extrusión. **Temperatura de Proceso:** El PET se calienta típicamente a una temperatura de 260°C. **Presión de Proceso:** La presión en el tornillo de extrusión puede variar, pero generalmente se encuentra en el rango de 50 a 150 bar, dependiendo de la viscosidad del material y el diseño del tornillo. Elementos Utilizados: Resistencias calefactoras, sensor de temperatura, cilindro de extrusión, y tornillo de extrusión.

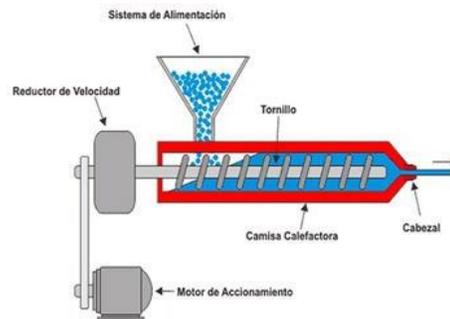
Extrusión del Material: El material fundido se empuja a través de una boquilla de extrusión para darle forma. Elementos Utilizados: Boquilla de extrusión, tornillo de extrusión.

Enfriamiento del Material y Solidificación: El material extruido se enfría para solidificarse y mantener la forma deseada. Elementos Utilizados: Sistema de enfriamiento, que puede incluir aire frío o baños de agua, rodillos de enfriamiento. Este proceso garantiza la producción de filamentos de PET reciclado de alta calidad, listos para ser utilizados en diversas aplicaciones industriales y de consumo. La precisión en la temperatura, presión y manejo de los materiales es crucial para obtener un producto final óptimo.

1.5.2.3 Tipos de Extrusora: Enfoque en la Extrusora de Tornillo Único

Figura 1

Extrusora de un solo husillo



Fuente (Aristegui, 2019)

En el campo de la extrusión de plásticos, existen varios tipos de extrusoras, cada una adecuada para diferentes aplicaciones y materiales. Sin embargo, para este trabajo de grado, se ha elegido y detallado específicamente la extrusora de tornillo único debido a sus ventajas y compatibilidad con el proyecto en cuestión.

Extrusora de Tornillo Único: La extrusora de tornillo único es una de las máquinas más utilizadas en la industria de la extrusión de plásticos. Consiste en un cilindro que contiene un tornillo helicoidal que gira dentro de este. A medida que el tornillo gira, transporta, compacta, funde y homogeneiza el material plástico que se alimenta desde una tolva. A continuación, se presentan los detalles específicos de este tipo de extrusora, tal como se aplican en este proyecto de grado.

1.5.2.4 Componentes Principales

Tornillo (Husillo): El tornillo tiene un diseño helicoidal y está dividido en tres zonas: alimentación, compresión y dosificación. Este diseño asegura un transporte eficiente del material, su compactación y fusión uniforme.

Barril (Cilindro): El barril aloja el tornillo y proporciona una superficie en la que el material se calienta y se funde debido a la fricción generada por el tornillo y el calentamiento externo.

Calentadores: Se utilizan resistencias tipo abrazadera alrededor del barril para proporcionar el calor necesario para fundir el plástico. La temperatura se controla mediante un sistema de control ON-OFF para mantener una temperatura precisa y estable.

Motor y Reductor: El motor, acoplado a un reductor, proporciona el par necesario para girar el tornillo a la velocidad adecuada.

Tolva: Es el punto de entrada del material plástico en forma de gránulos o pellets. La tolva alimenta el material en la zona de alimentación del tornillo.

Boquilla y Matriz: El material fundido es empujado a través de una boquilla hacia una matriz que le da la forma final deseada.

1.5.2.5 Ventajas de la Extrusora de Tornillo Único

Simplicidad y Costo: Comparada con las extrusoras de tornillo doble, las extrusoras de tornillo único son más simples y menos costosas de fabricar y mantener.

Versatilidad: Son adecuadas para una amplia variedad de polímeros y aplicaciones, incluyendo la extrusión de filamentos para impresión 3D y el reciclaje de plásticos.

Control de Proceso: Ofrecen un buen control del proceso de extrusión, permitiendo ajustes precisos en la velocidad del tornillo y la temperatura del barril.

1.5.2.6 Aplicación en el Proyecto

En este trabajo de grado, se utiliza una extrusora de tornillo único debido a su adecuación para la fusión y extrusión de plástico PET reciclable. La capacidad de esta extrusora para producir 5 kg/h de madera plástica de alta calidad la hace ideal para el objetivo del proyecto, que es diseñar y construir un prototipo de extrusora eficiente y de bajo costo.

1.5.2.7 Detalles Específicos del Prototipo

Capacidad de Extrusión: 5 kg/h.

Material de Extrusión: Plástico PET reciclable.

Control de Temperatura: Se utiliza un sistema de control de temperatura ON-OFF preciso, que permite mantener la temperatura del barril entre 255°C y 265°C, óptima para el PET.

Presión de Extrusión: El diseño del tornillo y la configuración del motor permiten alcanzar las presiones necesarias para una extrusión uniforme y de alta calidad.

Al centrarse en la extrusora de tornillo único, este trabajo de grado detalla sus componentes, ventajas y la aplicación específica dentro del proyecto, proporcionando una base sólida para su construcción y operación eficiente

1.5.2.8 Tipo de Plástico Utilizado: PET (Polietileno Tereftalato)

El (PET) es una materia prima derivada del petróleo cuya denominación técnica es polietileno tereftalato, los primeros usos de este material fueron para la industria textil y posteriormente se aplicó en la industria del plástico, adicionalmente es un polímero termoplástico lineal, con alto grado de cristalinidad que es una de las principales cualidades de este material. Haciendo que este material pueda ser procesado por el proceso de extrusión

Estas propiedades hacen que este material haya alcanzado un desarrollo relevante en la producción de gran diversidad de envases (envaselia, 2018)

Densidad del PET: La densidad del PET es aproximadamente 1.38 g/cm^3 . Esta densidad contribuye a la resistencia y rigidez del material, haciéndolo adecuado para aplicaciones que requieren durabilidad.

Temperatura de Fusión: El PET tiene una temperatura de fusión de aproximadamente 250°C a 260°C . Este rango de temperatura es crucial para la extrusión, ya que permite que el material se funda y fluya adecuadamente a través del tornillo y el barril de la extrusora.

Resistencia a la Tracción: El PET presenta una alta resistencia a la tracción, con valores típicos que van de 50 a 70 MPa. Esta propiedad es esencial para asegurar que el material extruido tenga la fuerza necesaria para diversas aplicaciones.

Módulo de Elasticidad: El módulo de elasticidad del PET es de aproximadamente 2.8 GPa. Esta característica proporciona una buena rigidez al material extruido.

Elongación a la Rotura: El PET puede tener una elongación a la rotura que varía entre 50% y 150%, lo cual permite cierta flexibilidad sin comprometer la integridad del material.

Conductividad Térmica: El PET tiene una conductividad térmica relativamente baja, lo que significa que se calienta y se enfría lentamente. Esto es beneficioso para mantener una temperatura uniforme durante el proceso de extrusión.

Coefficiente de Expansión Térmica: El coeficiente de expansión térmica del PET es de aproximadamente $7 \times 10^{-5} /^\circ\text{C}$, lo que indica que tiene una estabilidad dimensional razonable con cambios de temperatura.

Al centrarse en el PET, este trabajo de grado destaca las propiedades específicas y las condiciones de procesamiento necesarias para optimizar la extrusión de este material, asegurando así la calidad y consistencia del producto final.

1.5.2.9 Comportamiento térmico del PET

En la Tabla 1 se muestra la información sobre la cristalinidad del PET reciclado y el PET virgen, así como las temperaturas de fusión correspondientes a cada porcentaje de contenido de PET.

Tabla2

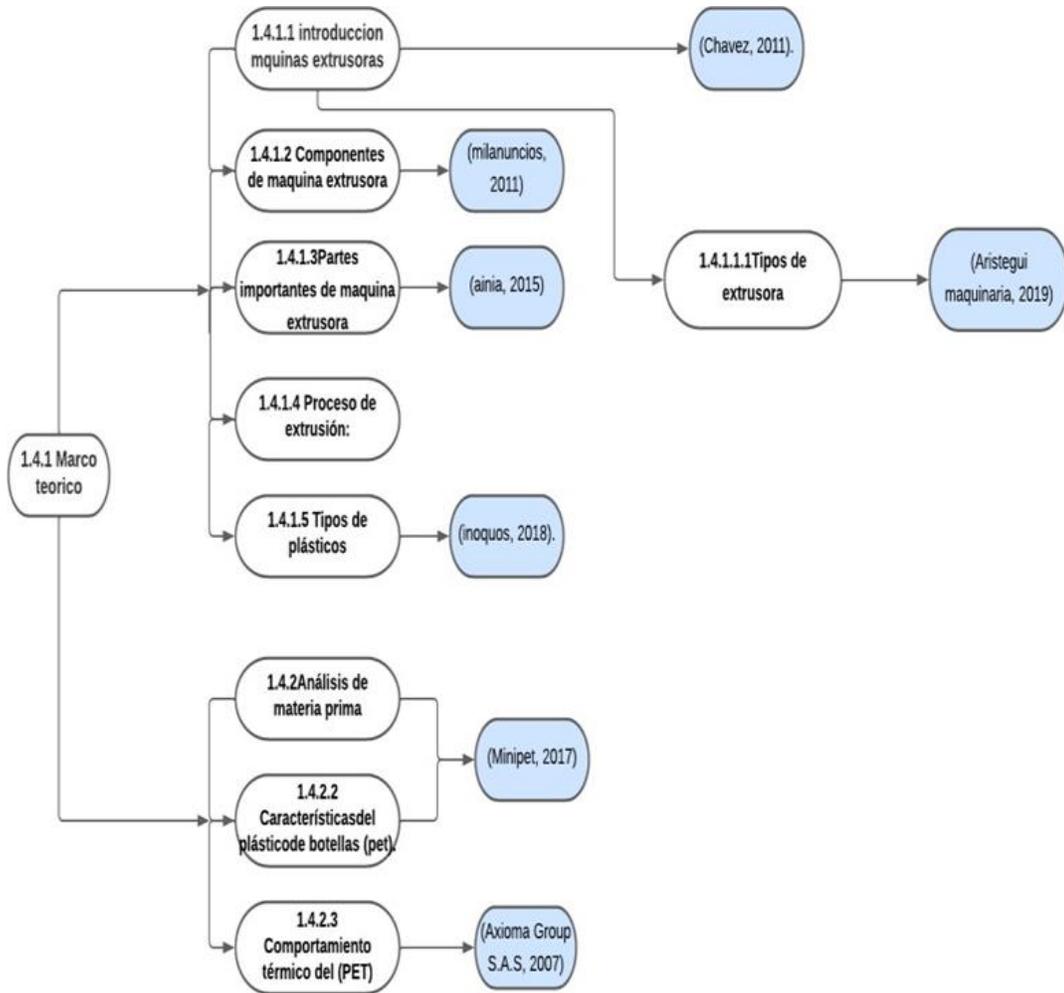
Propiedades térmicas (PET) (Axioma Group S.A.S, 2007)

Porcentaje de contenido De PET reciclado%	Porcentaje de cristalinidad	Temperatura de fusión(°C)
100% PET virgen	33.01	250
90% PET virgen/10%RPET	30.84	250
80% PET virgen/20%RPET	27.21	249.8
70% PET virgen/30%RPET	32.03	249.9
50% PET virgen/50%RPET	32.04	249.7
100% PET (grado alimenticio)	34.03	251.2
100% PET (grado fibra)	36.39	251.6

Para comprender mejor la temática tratada, se presenta en la Figura 2 la taxonomía detallada en la recolección de información. Esta taxonomía se utilizó para seleccionar los componentes específicos del prototipo de máquina extrusora. El proceso de selección incluyó un análisis exhaustivo de las propiedades físicas y químicas del material, así como una evaluación de los componentes mecánicos y electrónicos necesarios para garantizar un funcionamiento óptimo del prototipo.

Figura 2

Taxonomía de la investigación



1.5.3 Fundamentos teóricos

El desarrollo de conceptos clave en el trabajo de investigación es fundamental para comprender los objetivos, el problema y la sustentación de los modelos utilizados. A continuación, se presenta una síntesis de estos conceptos:

Objetivos: Los objetivos del trabajo de investigación proponen las metas que se buscan alcanzar. Estos pueden incluir el diseño, construcción, pruebas y evaluación de un prototipo de

máquina extrusora para la fabricación de madera plástica reciclada. Asimismo, se pueden establecer objetivos específicos relacionados con la optimización del proceso de extrusión, la mejora de la calidad del producto final y la reducción de costos.

Problema: El problema abordado en el trabajo de investigación está relacionado con la necesidad de desarrollar una máquina extrusora eficiente y económica para el reciclaje de plástico. Este problema puede implicar desafíos técnicos, como el control preciso de la temperatura, la selección de materiales adecuados y la optimización del proceso de extrusión para garantizar la calidad del producto final.

Metodología Conceptos Clave

Extrusión de Plásticos: Proceso de fabricación que consiste en forzar el material plástico a través de una boquilla para formar un producto continuo de sección transversal uniforme.

Control de Temperatura: Mantenimiento preciso de la temperatura en el sistema de extrusión para garantizar la calidad del producto y evitar fallos en el proceso.

Optimización del Proceso: Mejora continua de los parámetros de operación para maximizar la eficiencia, calidad y rentabilidad del proceso de extrusión.

Modelos Matemáticos: Representaciones abstractas del sistema de extrusión mediante ecuaciones y relaciones matemáticas que permiten predecir su comportamiento y realizar análisis predictivos.

1.6 Metodología

Para cumplir con los objetivos establecidos en el desarrollo del prototipo de máquina extrusora de plástico reciclado (PET), se llevarán a cabo tres fases que permitirán alcanzar dichos objetivos de manera eficiente:

Fase 1: Diseño y Planificación

Fase 2: Construcción del Prototipo

Fase 3: Implementación y Evaluación

Desarrollo fase 1: La primera fase del proyecto se centra en la identificación de requisitos, la selección de componentes y materiales, y el diseño detallado del prototipo de máquina extrusora de plástico reciclado (PET). Este proceso es fundamental para establecer las bases sólidas que guiarán el desarrollo del proyecto y asegurarán que el prototipo cumpla con los objetivos planteados.

Durante la fase de identificación de requisitos, se llevó a cabo un análisis exhaustivo para determinar las necesidades y especificaciones del proyecto. Esto incluyó la evaluación de la capacidad de producción deseada, el tipo de material a utilizar (PET reciclado) y las características del producto final. Este paso inicial proporcionó una comprensión clara de los requisitos del prototipo y estableció las bases para las etapas posteriores del proyecto.

Posteriormente, se procedió a la selección de componentes y materiales. Se evaluaron diversas opciones para el tornillo extrusor, el cilindro y otros elementos, teniendo en cuenta factores como propiedades mecánicas, disponibilidad y costo. Esta fase implicó una cuidadosa consideración de las características específicas requeridas para cada componente, así como la compatibilidad entre ellos para garantizar un funcionamiento óptimo del prototipo.

Con los requisitos y componentes identificados, se procedió al diseño detallado del prototipo utilizando software especializado (SOLIDWORKS). Se crearon planos y modelos precisos de todas las partes del prototipo, incluyendo el tornillo extrusor, el cilindro, la tolva y otros componentes clave. Este proceso permitió visualizar y analizar cada aspecto del diseño,

asegurando que se cumplieran todas las especificaciones establecidas durante la fase de identificación de requisitos.

La primera fase del proyecto sentó las bases para el desarrollo del prototipo de máquina extrusora de plástico reciclado (PET), estableciendo los requisitos, seleccionando los componentes y materiales adecuados, y creando un diseño detallado que servirá como punto de partida para las etapas posteriores del proyecto.

Fase 2 Fabricación de Componentes: Durante esta fase del proyecto, se llevará a cabo la fabricación de los componentes necesarios para el prototipo de la máquina extrusora de plástico reciclado. Se seguirán los diseños detallados previamente establecidos, empleando diversas técnicas de fabricación como corte, soldadura, mecanizado y ensamblaje. A continuación, se detallan las actividades principales:

Producción de Componentes: Se procederá a la fabricación de cada una de las piezas del prototipo conforme a los diseños previamente elaborados. Se utilizarán técnicas adecuadas de fabricación para garantizar la precisión y calidad de las piezas.

Instalación del Motor: Se realizará la conexión del motor que impulsará el tornillo extrusor. Esto implica montar el motor en su base y conectar el sistema de transmisión al tornillo extrusor. Se llevarán a cabo pruebas para asegurar el correcto funcionamiento del motor.

Ensamblaje del Tornillo Extrusor: Se montará el tornillo extrusor dentro del cilindro de manera precisa, asegurando un encaje correcto y un movimiento fluido. Se ajustarán los componentes según sea necesario para garantizar un buen acoplamiento y funcionamiento.

Integración del Sistema de Control: Se procederá a instalar el sistema de control que regulará la temperatura del proceso de extrusión. Esto incluye la conexión de sensores de temperatura y el controlador de encendido del motor. Se llevará a cabo la programación y

calibración del sistema para asegurar su adecuado funcionamiento bajo las condiciones de operación requeridas.

Fase 3 Implementación y Evaluación: Durante esta etapa crucial del proyecto, se llevarán a cabo las pruebas de implementación del prototipo de la máquina extrusora de plástico reciclado. A continuación, se detallan las actividades principales:

Configuración Inicial: Se procederá a preparar el prototipo para las pruebas, configurándolo en el área designada. Se verificarán todas las conexiones eléctricas, la correcta fijación de los componentes y la disponibilidad de los materiales necesarios para la prueba. Se asegurará que el sistema esté listo para funcionar correctamente.

Análisis de Desempeño: Se analizarán los datos obtenidos durante las pruebas para evaluar el rendimiento del prototipo. Se compararán los resultados con los objetivos iniciales del proyecto para determinar si se han cumplido satisfactoriamente. Se evaluará la calidad del proceso de extrusión y la consistencia en la producción, identificando cualquier problema o área de mejora.

Optimización y Ajustes: Basándose en el análisis de desempeño, se realizarán los ajustes necesarios en el sistema de control, la configuración del motor, la alimentación de material u otros componentes que afecten el rendimiento. Todos los cambios realizados serán documentados adecuadamente para futuras referencias y mejoras continuas en el diseño del prototipo.

1.6.1 *Tipo de Investigación*

1.6.2 *Línea y áreas temáticas del grupo de investigación*

El presente trabajo de grado se encuentra articulado en la línea de investigación de diseño y desarrollo mecatrónico del grupo de investigación GRIM, que pertenece al programa ingeniería mecatrónica de la Universidad Mariana

1.6.3 Hipótesis de la investigación

Mediante el diseño y construcción de un prototipo de máquina extrusora para la fabricación de madera plástica reciclada, con parámetros controlados de temperatura, presión y velocidad, se logrará un proceso eficiente y consistente de fusión y extrusión del material. Se espera que este proceso permita alcanzar una temperatura óptima de fusión del PET reciclado, garantizando así una adecuada fluidez del material y una calidad homogénea del producto final.

Se plantea que la capacidad de producción del prototipo, estimada en 5 kg/h, junto con un tiempo de residencia controlado en la zona de fusión, contribuirá a maximizar la eficiencia del proceso, permitiendo una producción continua y uniforme de madera plástica reciclada. Se espera que la implementación de este prototipo facilite la reutilización de botellas de PET recicladas, convirtiéndolas en un recurso valioso para la fabricación de productos sostenibles y respetuosos con el medio ambiente.

Además, se considera que con el control de la temperatura ON-OFF y otros parámetros durante el proceso de extrusión garantizará la obtención de propiedades mecánicas óptimas en el producto final, tales como resistencia, durabilidad y estabilidad dimensional.

1.6.3.1 Especificaciones y requerimientos

El éxito del desarrollo del prototipo de máquina extrusora de plástico reciclado (PET) depende en gran medida de la definición clara y precisa de sus especificaciones y requerimientos. A continuación, se detallan los principales aspectos a considerar en este sentido:

Capacidad de Producción: El prototipo debe tener una capacidad de producción específica que satisfaga las necesidades del proyecto o aplicación para la cual está diseñado. En este caso, la capacidad requerida y especificada es de 5kg/h.

Tipo de Material: Se especificará claramente el tipo de plástico reciclado que se utilizará como materia prima en el proceso de extrusión. En este caso, se trata de plástico PET reciclado, que tiene un punto de fusión de 260°

Dimensiones del Producto Final: Se definirán las dimensiones y características del producto final que se espera obtener mediante el proceso de extrusión. Esto puede incluir el diámetro y la longitud del material extruido plástico, así como otras propiedades relevantes

Precisión y Consistencia: Se requerirá que el prototipo sea capaz de mantener una precisión y consistencia adecuadas en la producción del material extruido, minimizando las variaciones en las dimensiones y propiedades del producto final.

Eficiencia Energética: Se establecerán requisitos de eficiencia energética para garantizar un funcionamiento económico y sostenible del prototipo, minimizando el consumo de energía durante el proceso de extrusión.

Facilidad de Operación y Mantenimiento: Se buscará diseñar el prototipo de manera que sea fácil de operar y mantener, con características que faciliten la limpieza, el ajuste y la reparación de los componentes.

Seguridad: Se incorporarán medidas de seguridad adecuadas para proteger a los operadores y prevenir accidentes durante el funcionamiento del prototipo.

Estas especificaciones y requerimientos servirán como guía fundamental en el diseño, desarrollo y evaluación del prototipo de máquina extrusora de plástico reciclado (PET), asegurando que cumpla con las expectativas y necesidades del proyecto.

1.6.3.2 Selección de componentes

Tornillo y Cilindro: Fabricados en acero inoxidable, material que ofrecen alta resistencia al desgaste y a la corrosión, necesarios para soportar el proceso de extrusión.

Resistencias y Sensores: Se seleccionan resistencias tipo sandwichera, capaces de soportar temperaturas de hasta 300 grados Celsius. Estas resistencias garantizan un control preciso de la temperatura y una óptima transmisión de calor durante el proceso de calentamiento.

Motor Eléctrico: Se selecciona el motor 555 Metal DC Motor with Worm Gear por su adecuado torque y velocidad para el tamaño y capacidad del prototipo. Este motor garantiza un rendimiento eficiente y estable, ideal para el proceso de extrusión de plástico reciclado (PET).

1.6.4 Ecuaciones utilizadas

Para el diseño y análisis del prototipo de extrusora de plástico PET, se utilizan varias ecuaciones que ayudan a determinar los parámetros operativos y de diseño cruciales. A continuación, se describen brevemente las ecuaciones principales:

1. Cálculo del Área Transversal del Tornillo

Para calcular el área transversal del tornillo, se utiliza la siguiente ecuación:

Ecuación 1: Área Transversal del Tornillo

$$A = \pi D^2 / 4$$

Donde:

D es el diámetro del tornillo.

Sustituyendo los valores específicos del prototipo:

$$A = \pi \times (0.0498\text{m})^2 / 4 = 4\pi \times (0.0498\text{m})^2$$

$$A \approx 1.949 \times 10^{-3} \text{m}^2$$

$$A \approx 1.949 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Esta ecuación nos permite determinar el área de la sección transversal del tornillo, un parámetro esencial para calcular el volumen de material que puede ser procesado por el tornillo.

2. Cálculo de la Velocidad del Tornillo

Para calcular la velocidad del tornillo, se utiliza la siguiente ecuación:

Ecuación 2: Velocidad del Tornillo

$$V = (Q * 60) / (\pi * R^2 * N)$$

Donde:

V es la velocidad del tornillo (rpm).

Q es la tasa de producción (kg/h).

π es la constante pi (aproximadamente 3.14159).

R es el radio del tornillo (m).

N es el número de vueltas del tornillo por minuto (rpm).

Sustituyendo los valores específicos del prototipo:

$$V = (5 \text{ kg/h} * 60) / (\pi * (0.165 \text{ m})^2 * 0.9)$$

$$V \approx (300) / (\pi * 0.027225 * 0.9)$$

$$V \approx 3.91 \text{ rpm}$$

Esta ecuación nos permite calcular la velocidad a la que debe operar el tornillo para alcanzar la tasa de producción deseada.

3. Cálculo del Volumen de Material en el Tornillo

Para calcular el volumen de material en el tornillo, se utiliza la siguiente ecuación:

Ecuación 3: Volumen de Material en el Tornillo

$$V_{material} = 4\pi \times D^2 \times L_{vuelo}$$

Donde:

D es el diámetro del tornillo.

L_{vuelo} es la distancia que recorre un punto en la hélice del tornillo durante una revolución completa (m).

Sustituyendo los valores específicos del prototipo:

$$V_{material} = \pi \times (0.0498\text{m})^2 \times 0.33\text{m}$$

$$V_{material} = 4\pi \times (0.0498\text{m})^2 \times 0.33\text{m}$$

$$V_{material} \approx 2.554 \times 10^3 \text{m}^3$$

$$V_{material} \approx 2.554 \times 10^{-3} \text{m}^3$$

Esta ecuación permite calcular el volumen de material que se mueve dentro del tornillo en cada revolución.

4. Cálculo del Tiempo de Residencia

Para calcular el tiempo de residencia del material dentro del sistema de extrusión, se utiliza la siguiente ecuación:

Ecuación 4: Tiempo de Residencia

$$Qt = QV$$

Donde:

t_{extrusión} es el tiempo de residencia (s).

V_{material} es el volumen de material en el tornillo (m³).

Q es la tasa de producción (m^3/s).

Sustituyendo los valores específicos del prototipo:

$$t_{\text{extrusión}} \approx 2.554 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / 5 \text{ kg/h}$$

$$t_{\text{extrusión}} \approx 5 \text{ kg/h} / 2.554 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$t_{\text{extrusión}} \approx 2.554 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / 1.389 \times 10^{-3} \text{ kg/s}$$

$$t_{\text{extrusión}} \approx 1.389 \times 10^{-3} \text{ kg/s} / 2.554 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$t_{\text{extrusión}} \approx 1.84 \text{ s}$$

$$\approx 1.84 \text{ s}$$

Esta ecuación nos ayuda a determinar cuánto tiempo permanece el material dentro del sistema de extrusión.

5. Cálculo de la Potencia Requerida

La ecuación general para la potencia requerida en el sistema de extrusión es:

Ecuación 5: Potencia Requerida

$$P = \rho \times Q \times g \times H$$

Donde:

P es la potencia requerida (W).

ρ es la densidad del material (kg/m^3).

Q es la tasa de producción (m^3/h).

g es la aceleración debido a la gravedad ($9.81 \text{ m}/\text{s}^2$).

H es la altura (m).

Para el prototipo, los valores específicos son:

Densidad del PET (ρ) =

$$1300 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$\text{Tasa de producción (Q)} = 5 \text{ kg/h} = 5/1300 \text{ m}^3/\text{h} \approx 0.00385 \text{ m}^3/\text{h}$$

Aceleración de la gravedad (g) = 9.81 m/s²

Altura (H) = 0.33 m

Sustituyendo estos valores en la ecuación:

$$P = 1300 \text{ kg/m}^3 \times 0.00385 \text{ m}^3/\text{h} \times 9.81 \text{ m/s}^2 \times 0.33 \text{ m}$$

$$P = 1300 \text{ kg/m}^3 \times 0.00385 \text{ m}^3/\text{h} \times 9.81 \text{ m/s}^2 \times 0.33 \text{ m}$$

Simplificando:

$$P = 1300 \times 0.00385 \times 9.81 \times 0.33 P = 1300 \times 0.00385 \times 9.81 \times 0.33$$

$$P \approx 16.21 \text{ W}$$

La potencia requerida calculada para el sistema de extrusión es aproximadamente 16.21W.

1.6.4.1 Componentes control de temperatura

Para asegurar un control preciso de la temperatura en el prototipo de máquina extrusora de plástico reciclado (PET), se utilizan los siguientes componentes:

Termocupla Tipo K con Módulo 665

Descripción: Sensor de temperatura utilizado para medir altas temperaturas con precisión.

Función: Detecta la temperatura del plástico en el proceso de extrusión y envía la señal al sistema de control.

Módulos Relé de Doble Canal

Cantidad: Dos módulos

Descripción: Dispositivos de conmutación que permiten controlar circuitos de alta potencia con señales de baja potencia.

Función: Los módulos relé de doble canal activan y desactivan las resistencias y el motor, según las instrucciones del sistema de control de temperatura. Esto asegura que se mantenga la temperatura requerida durante el proceso de extrusión de manera precisa y eficiente.

Pantalla LCD con Módulo 1602

Descripción: Pantalla de cristal líquido (LCD) con controlador incorporado.

Función: Muestra en tiempo real la temperatura actual, así como el estado activo o inactivo del motor y las resistencias, proporcionando información crucial sobre el funcionamiento del sistema.

Microcontrolador ATmega328P

Descripción: Microcontrolador de 8 bits de alto rendimiento.

Función: Procesa las señales de los sensores y controla los módulos relé para mantener la temperatura deseada. Es el núcleo del sistema de control de temperatura.

Resistencias de 1k Ω y 10k Ω

Descripción: Componentes pasivos que limitan el flujo de corriente en el circuito.

Función: Estabilizan y regulan las señales eléctricas en el circuito de control.

Cristales 16mhz

Descripción: Osciladores de frecuencia utilizados en circuitos electrónicos.

Función: Proveen una fuente de reloj precisa para el microcontrolador, asegurando el correcto funcionamiento del sistema.

Baquéela de Cobre

Descripción: Material de base para la fabricación de placas de circuito impreso (PCB).

Función: Proporciona una base aislante sobre la cual se montan y conectan los componentes electrónicos.

Estos componentes son esenciales para construir un sistema de control de temperatura robusto y eficiente, asegurando la operación óptima del prototipo de máquina extrusora de plástico reciclado.

1.6.5 Plan de pruebas y validación

Para garantizar el adecuado funcionamiento y la validación del prototipo de la máquina extrusora de plástico reciclado, se implementará un plan de pruebas que incluirá los siguientes elementos:

Instrumentos de referencia: Se utilizarán termómetros digitales de alta precisión para medir la temperatura en diferentes puntos del sistema, garantizando una comparación precisa con los valores establecidos por el sistema de control.

Métricas: Las métricas principales incluirán la temperatura del cilindro de extrusión, la velocidad de producción de material y la consistencia en la calidad del material extruido. Estas métricas se registrarán y analizarán durante las pruebas para evaluar el desempeño del prototipo.

Rubricas para evaluación del desempeño: Se desarrollarán rubricas específicas que detallen los criterios de evaluación para cada aspecto del prototipo, incluyendo la precisión en el control de temperatura, la eficiencia en la producción de material y la estabilidad del sistema durante el funcionamiento.

Estos elementos permitirán llevar a cabo un proceso de pruebas exhaustivo que garantice la validación y el correcto funcionamiento del prototipo de la máquina extrusora de plástico reciclado.

1.6.5.1 Verificación y validación de resultados

Para llevar a cabo la verificación y validación de los resultados obtenidos durante las pruebas del prototipo de la máquina extrusora de plástico reciclado, se seguirá el siguiente proceso:

Recopilación de datos: Se registrarán los datos obtenidos durante las pruebas, incluyendo mediciones de temperatura, velocidad de producción y calidad del material extruido.

Comparación con criterios de aceptación: Se compararán los datos obtenidos con los criterios de aceptación previamente establecidos, que reflejan los estándares de desempeño y calidad esperados para el prototipo.

Análisis de resultados: Se analizarán los datos recopilados y se evaluará si los resultados cumplen con los criterios de aceptación. Se identificarán posibles desviaciones o inconsistencias que requieran corrección.

Ajustes y mejoras: En caso de que se identifiquen desviaciones o áreas de mejora, se realizarán los ajustes necesarios en el prototipo para corregir los problemas detectados y mejorar su desempeño.

Validación final: Una vez realizados los ajustes, se repetirá el proceso de pruebas para validar los resultados corregidos y asegurar que el prototipo cumple con los requisitos y expectativas establecidos

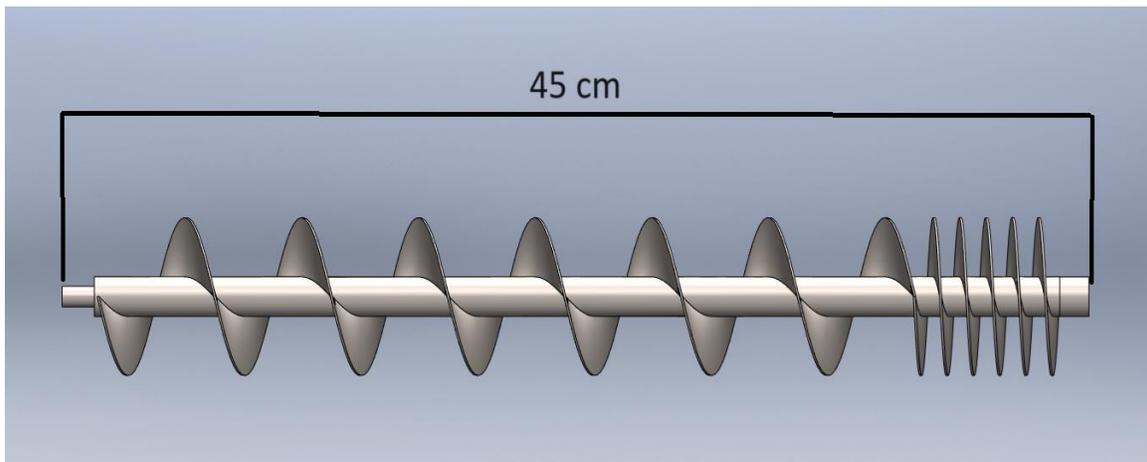
2. Presentación de resultados

2.1 Resultados fase 1

Planos mecánicos: La Figura 3 muestra una representación detallada del tornillo sin fin, obtenida mediante el software de modelado en 3D SolidWorks. Esta representación ofrece una visión clara de las características específicas, dimensiones y detalles de ensamblaje del tornillo. El diseño fue elaborado con el propósito de cumplir con la función deseada, y ha sido desarrollado siguiendo rigurosamente los estándares y especificaciones requeridos para garantizar su correcta implementación y funcionamiento.

Figura 3

Planos mecánicos tornillo sin fin SolidWorks



Fuente: Autoría propia, 2024

Acero inoxidable

Longitud: 45 cm

Diámetro: 5.8 cm

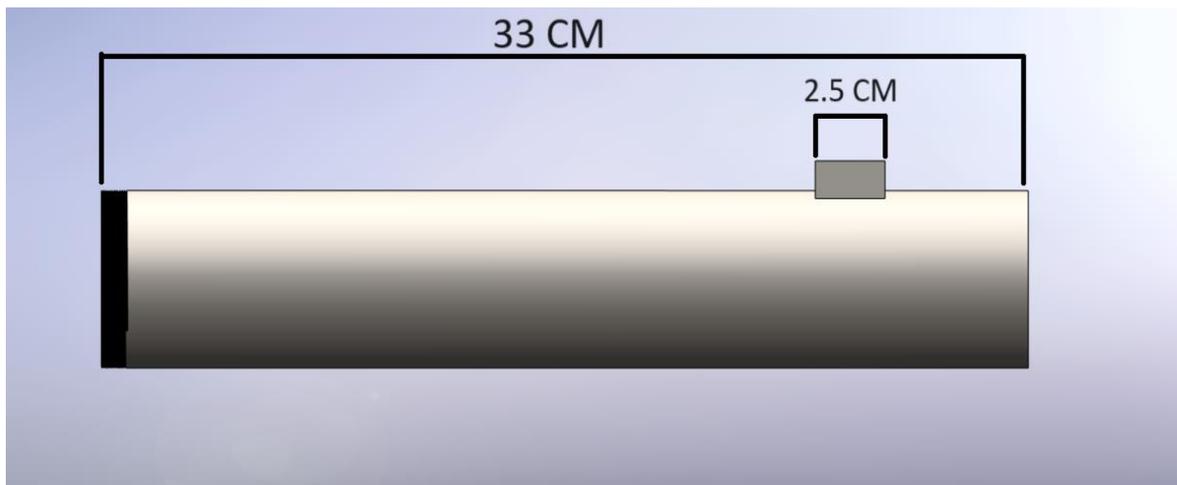
Roscado: 9 aspas separadas por 1 cm cada una

6 aspas separadas por 0.5 cm cada una

En la Figura 4 muestra el diseño del cilindro, el cual se ha ajustado a las medidas del husillo. Con una longitud de 33 cm y un diámetro de 6 cm, este cilindro ha sido diseñado específicamente para que sea compatible con un tubo galvanizado de 2 pulgadas fácilmente disponible en el mercado. Esta adaptación garantiza la conveniencia y accesibilidad de los materiales necesarios para su fabricación.

Figura 4

Planos mecánicos cilindro SolidWorks



Fuente: Autoría propia, 2024

Tubo galvanizado de 2 pulgadas

Longitud: 33 cm

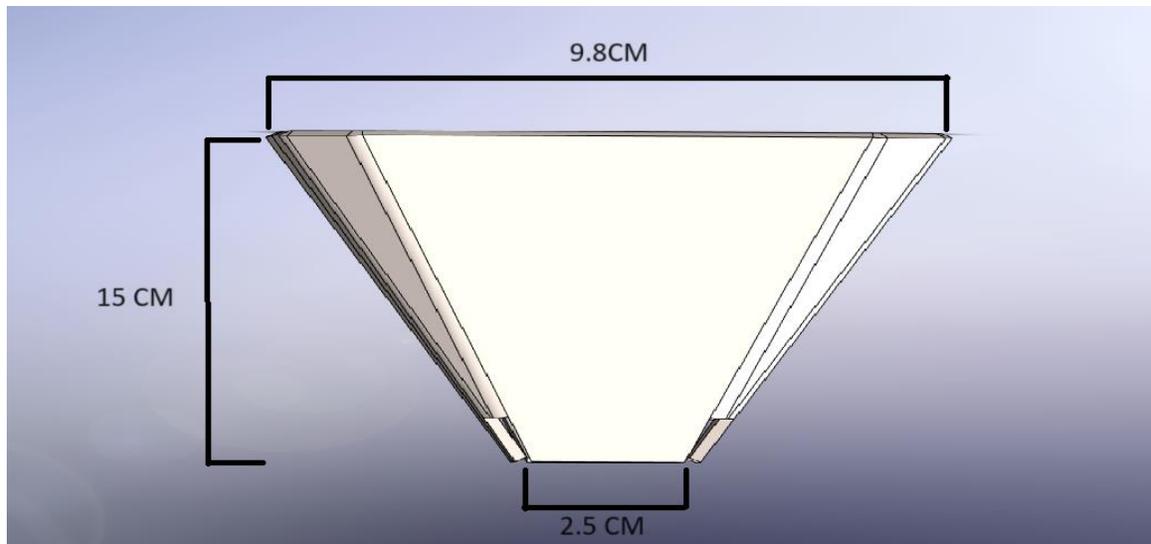
Diámetro: 6 cm

cavidad de la tolva: 2.5 cm x 2.5 cm

En la Figura 5 se presenta el diseño de la tolva, con el propósito de optimizar la recolección del material y minimizar el desperdicio. Este diseño está orientado a facilitar el proceso de carga del material en la tolva, garantizando una operación más suave y eficiente

Figura 5

Planos mecánicos tolva SolidWorks



Fuente: Autoría propia, 2024

Lámina de acero inoxidable

Ancho de la tolva: 9.8 cm

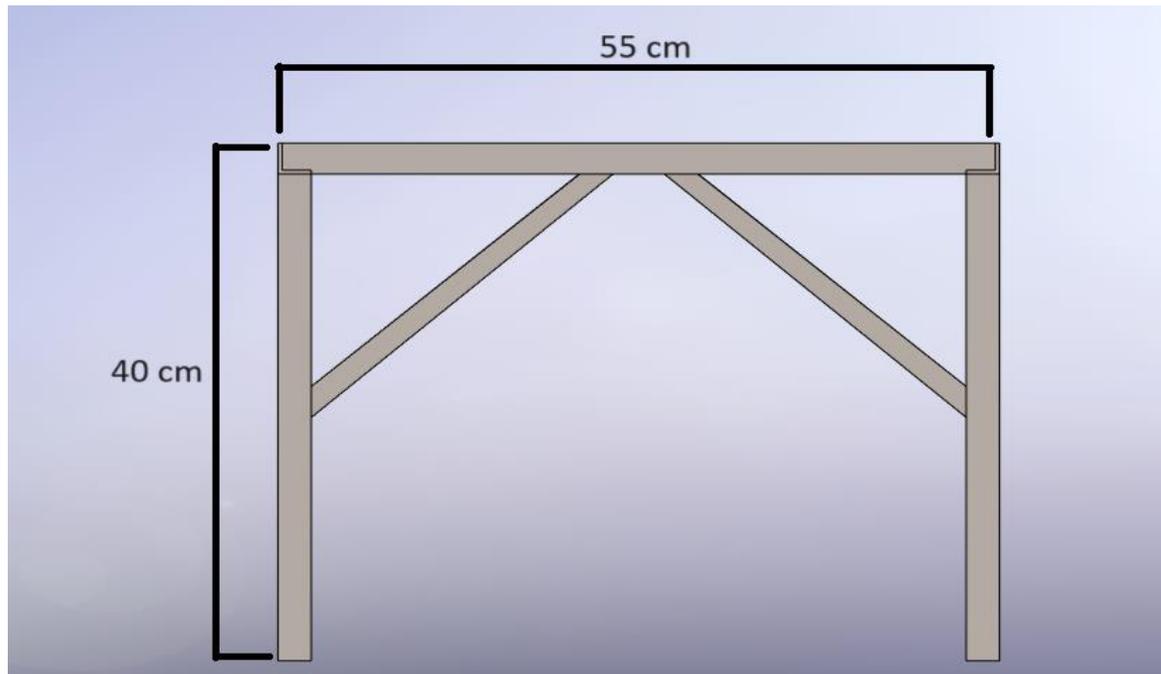
Alto de la tolva: 15 cm

Salida de la tolva: 2.5 cm

En la figura 6 se presenta el diseño de la base del prototipo, con dimensiones de 55 cm de largo por 30 cm de ancho, se seleccionó para proporcionar un espacio adecuado y ordenado durante el ensamblaje. Estas dimensiones permiten un fácil acceso a todas las partes del prototipo, garantizan su estabilidad y soporte, y maximizan la eficiencia del espacio en el área de trabajo, especialmente en entornos con limitaciones de espacio o múltiples equipos

Figura 6

Planos mecánicos base prototipo SolidWorks



Fuente: Autoría propia, 2024

Perfil de acero

Largo: 55 cm

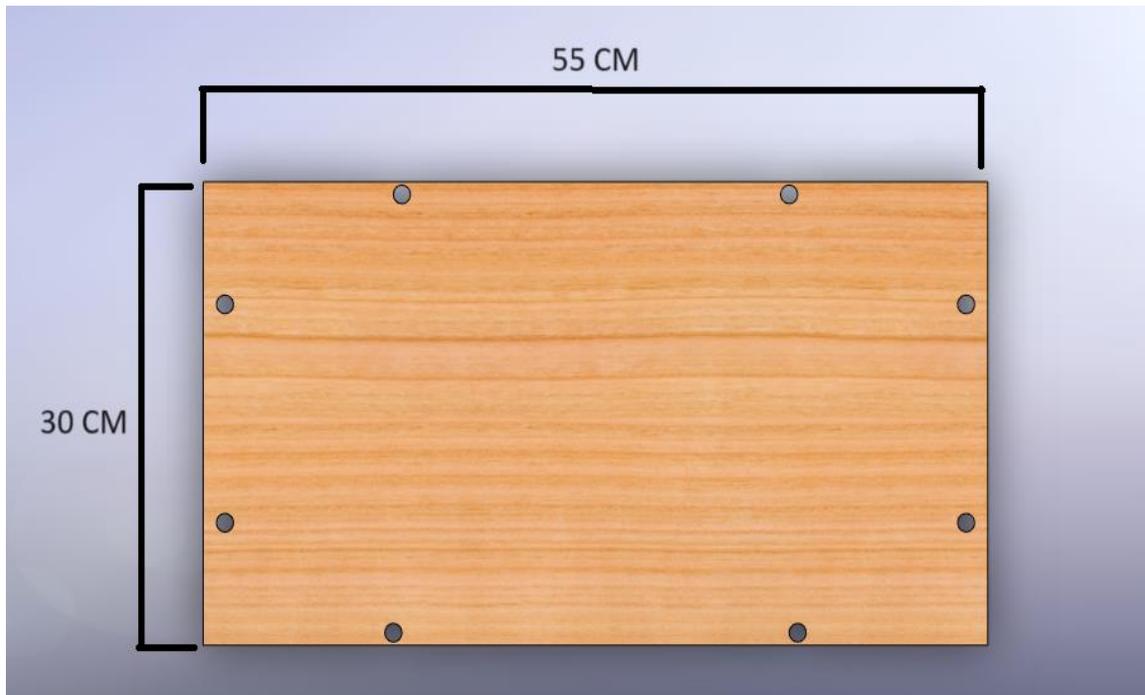
Ancho: 30 cm

Altura: 40 cm

En la Figura 7 se presenta una base de madera prensada diseñada específicamente para integrarse con la estructura del prototipo. La elección de este material se fundamenta en sus propiedades de retención térmica, que contribuyen a evitar una disipación rápida del calor generado durante el proceso. La base cuenta con las siguientes medidas: un espesor de 2 cm, un ancho de 30 cm y una longitud de 55 cm. Estas dimensiones se han seleccionado cuidadosamente para proporcionar estabilidad al prototipo y facilitar su manipulación durante el ensamblaje y la operación.

Figura 7

Planos base madera SolidWorks



Fuente: Autoría propia, 2024

Madera prensada

Espesor: 2 cm

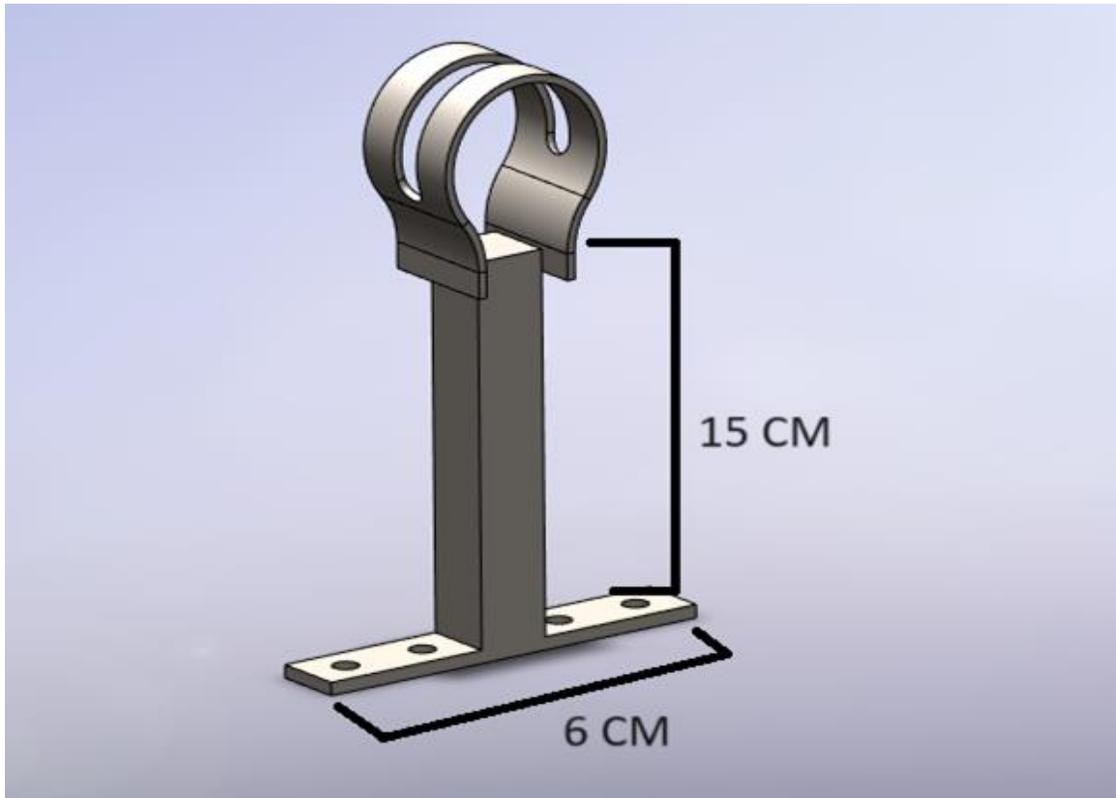
Ancho: 30 cm

Largo: 55 cm

En la Figura 8 se presenta ara sostener el cilindro de manera segura y estable, se ha diseñado una base robusta y resistente. La base tiene una altura de 15 cm y un ancho de 2.5 cm, proporcionando la estabilidad necesaria para el funcionamiento adecuado del prototipo. Además, se han incorporado insertos de metal de 6 cm en la base para reforzar su estructura y garantizar una sujeción firme del cilindro. Estos insertos no sólo refuerzan la base, sino que también ayudan a distribuir uniformemente la carga, mejorando así la durabilidad y la eficiencia del prototipo

Figura 8

Planos base cilindro SolidWorks



Fuente: Autoría propia, 2024

Perfil acero

Abrazadera industrial

Altura: 15 cm

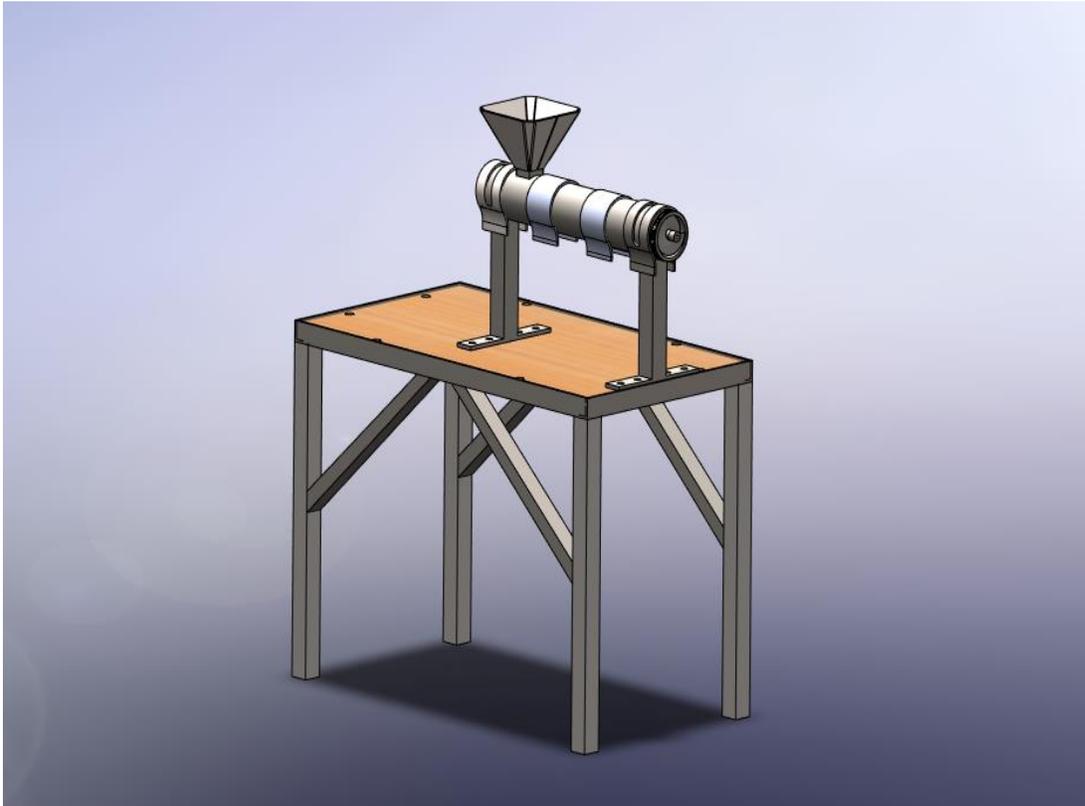
Ancho: 6 cm

En la figura 9 se muestra el ensamblaje del prototipo en SolidWorks, se unen todas las piezas para formar una representación digital precisa del diseño final. Cada componente ha sido cuidadosamente posicionado y ajustado para garantizar un acoplamiento perfecto, verificando que todas las dimensiones encajen según las especificaciones del diseño. Esta etapa es crucial para

asegurar que el prototipo ensamblado funcione correctamente y cumpla con los requisitos de rendimiento deseado

Figura 9

Ensamblaje del prototipo en SolidWorks



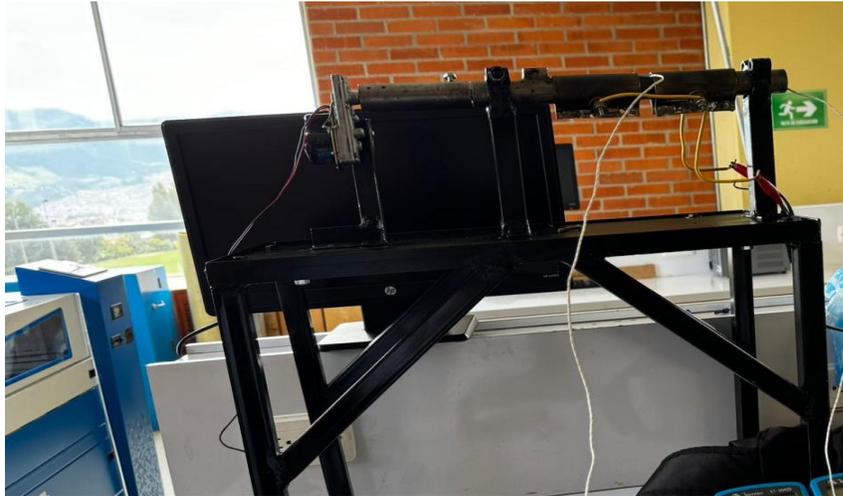
Fuente: Autoría propia, 2024

2.1.2 Resultados fase 2

Durante la etapa de construcción del prototipo, se emplean los planos detallados creados previamente para guiar la fabricación de cada componente. Estos planos proporcionan instrucciones precisas sobre las dimensiones, formas y características específicas de cada parte del prototipo. Las figuras en los anexos de construcción muestran visualmente cómo se deben fabricar y ensamblar los diferentes elementos del prototipo, sirviendo como referencia para los fabricantes y garantizando la precisión y calidad en la construcción del dispositivo final.

Figura 10

Ensamblaje partes mecánicas



Fuente: Autoría propia, 2024

Implementación de motor: Después del primer ensamblaje, se procede a la selección e implementación del motor mostrado en la figura 11, cuyas especificaciones son las siguientes:

Velocidad: 3-10 RPM/min

Corriente de carga: 2.5A

Velocidad sin carga: DC12V 3000-3500 RPM/min, 40-8000 RPM/min

Tamaño: Diámetro: 37 mm (1.46 pulgadas), Longitud: 65 mm (2.56 pulgadas)

Longitud del eje: 16 mm (0.63 pulgadas)

Figura 11

Motor seleccionado



Fuente: Autoría propia, 2024

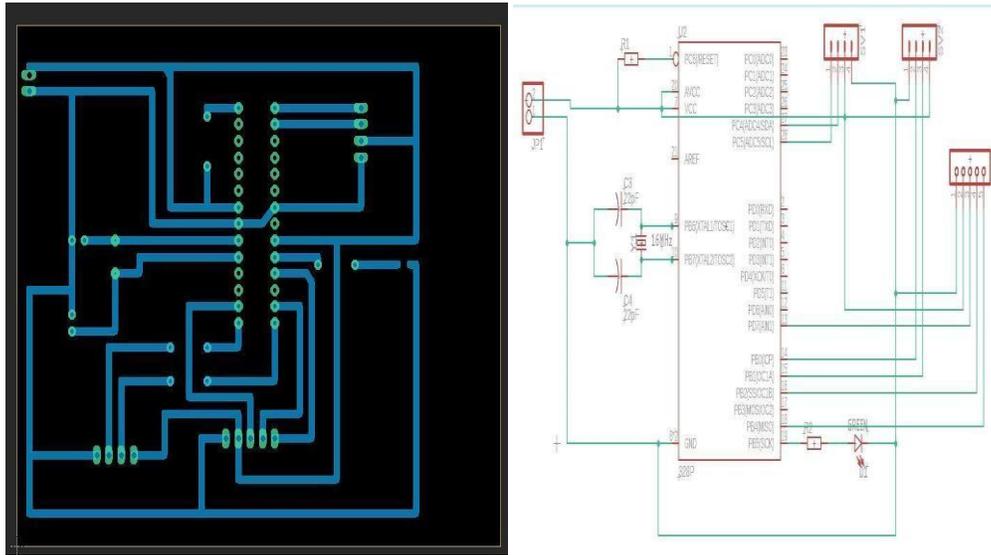
Este motor ha sido seleccionado para acoplarse perfectamente a las especificaciones requeridas según los cálculos previos. Su velocidad y corriente de carga son adecuadas para las necesidades del prototipo, asegurando un rendimiento eficiente y consistente en la operación del tornillo sin fin.

Desarrollo de Control de Temperatura ON-OFF para la Implementación en el Prototipo
Se muestra en las figuras 12 le desarrolló un circuito electrónico compuesto por los siguientes componentes: un cristal de 16 MHz, condensadores cerámicos de 22 picofaradios, el microcontrolador ATmega328P, dos resistencias de 1 y 10 kilo ohmios, una termocupla tipo K con módulo MAX6675, una pantalla LCD con módulo I2C y dos módulos de relés dobles.

Para el diseño de control de temperatura, se utiliza el software Eagle mostrado en la figura 12, que ayuda a ubicar mejor el sistema para que sea óptimo en la implementación en el prototipo.

Figura 12

Diseño software EAGLE



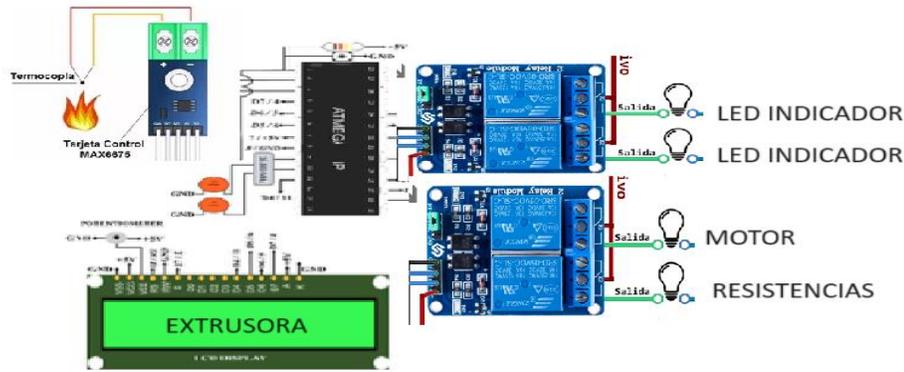
Fuente: Autoría propia, 2024

Este circuito electrónico cumple la función de controlar las resistencias y el motor de acuerdo a la temperatura. Las resistencias se activan hasta que la temperatura alcance los 260°C, momento en el cual se apagan y el motor se enciende. Si la temperatura desciende a 255°C, las resistencias se vuelven a encender para mantener la temperatura dentro de este rango.

La pantalla LCD muestra en tiempo real el estado de activación de las resistencias y el motor, así como la temperatura actual del prototipo. Además, el circuito incluye dos Leds indicadores: uno que indica cuando el sistema está listo para la extrusión (tiempo de calentamiento) y otro LED de seguridad que se enciende cuando el prototipo está activo, alertando que no debe ser manipulado sin elementos de seguridad.

Figura13

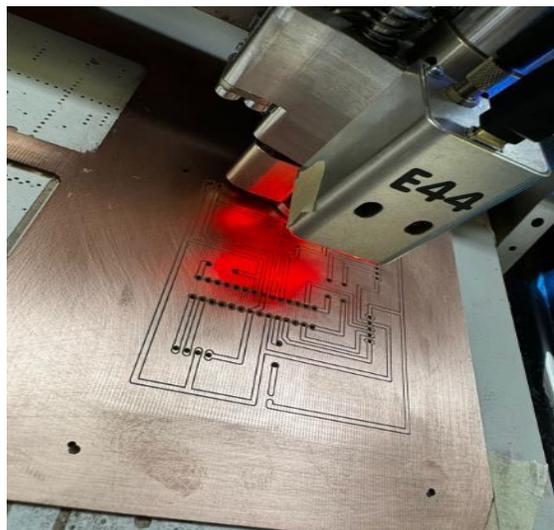
Diagrama de componentes



Fuente: Autoría propia, 2024

Figura 14

Diseño control de temperatura ON-OFF



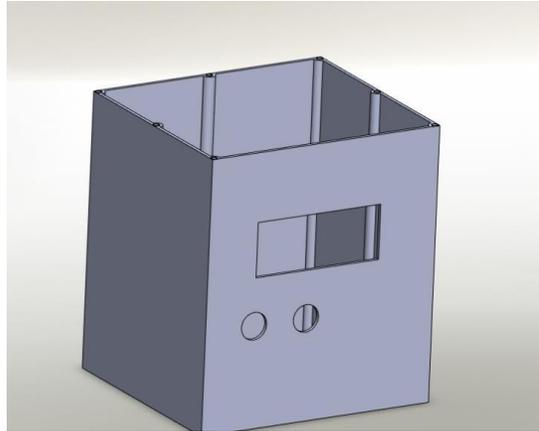
Fuente: Autoría propia, 2024

En la elaboración del circuito, se utiliza CNC (Control Numérico Computarizado) E44 mostrado en la figura 13 para lograr un grabado preciso y evitar problemas durante el montaje del circuito. El uso de CNC E44 garantiza una precisión excepcional en el proceso de

fabricación del circuito impreso (PCB), lo que resulta en una disposición exacta de los componentes y pistas conductoras. Esto minimiza la posibilidad de errores durante el ensamblaje y asegura un rendimiento óptimo del circuito una vez implementado en el prototipo.

Figura 15

Diseño caja control software SolidWorks



Fuente: Autoría propia, 2024

Se diseña una caja con medidas de 20 cm de alto, 16 cm de ancho y 18 cm de largo, que albergará el circuito y sus conexiones, con el propósito de protegerlo de manipulaciones o daños accidentales. La caja está diseñada de manera que solo se muestre la pantalla y los Leds de funcionamiento, así como el tiempo de precalentamiento, proporcionando una interfaz simple y segura para el usuario. Además, cuenta con cavidades exactas para que los Leds y la pantalla LCD se puedan introducir sin problemas, asegurando un ajuste perfecto y una presentación ordenada.

Figura 16

Montaje control de temperatura ON-OFF



Fuente: Autoría propia, 2024

Se lleva a cabo el montaje del prototipo y se realizan pruebas de funcionamiento para verificar que las resistencias y el motor se activen correctamente según las condiciones establecidas. Se asegura que el prototipo mantenga la temperatura deseada durante el proceso, y se verifica que las variables establecidas se muestren correctamente en la pantalla LCD. Además, se comprueba el correcto funcionamiento de los Leds indicadores, asegurando que proporcionen la señal adecuada de tiempo de calentamiento y de activación del prototipo.

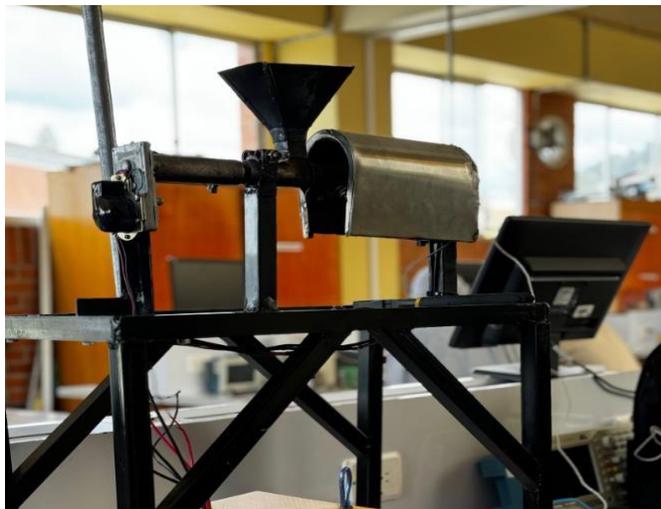
2.1.3 Resultado fase 3

Se realiza la primera prueba con la configuración inicial de los componentes y su respectivo funcionamiento, obteniéndose un tiempo de precalentamiento de 1:40 minutos para alcanzar la temperatura deseada de 260 °. Se concluye que este tiempo es muy elevado, por lo que se procede

a diseñar una camisa térmica. Esta camisa térmica ayudará en la contención del calor, disminuyendo el tiempo de precalentamiento del prototipo y mejorando la eficiencia del sistema.

Figura 17

Ensamblaje final del prototipo con camisa térmica



Fuente: Autoría propia, 2024

Se realiza la primera prueba con la inclusión de la camisa térmica, la cual reduce el tiempo de llegada a la temperatura ideal a 40 minutos. Sin la implementación del control de temperatura, se extruye la primera muestra de madera plástica, mostrada en la Figura 18. Se observa que el material presenta quemaduras, alta cristalización, baja resistencia y fragilidad.

Figura 18

Prueba sin control de temperatura



Fuente: Autoría propia, 2024

Se concluye que el tiempo de llegada a la temperatura requerida de 260°C es aún demasiado alto. Por ello, se procede a reemplazar las resistencias tipo abrazadera por resistencias tipo sandwichera. Se conectan seis resistencias divididas en tres grupos de dos resistencias en serie, y se conectan estos tres grupos en paralelo. Con la implementación del control de temperatura, se observa una mejora significativa en el material extruido, como se muestra en la Figura 19. El material presenta un aspecto estético superior y una calidad mejorada, haciéndolo menos frágil y más resistente. Además, el tiempo de calentamiento se reduce a 15 minutos, lo que disminuye significativamente el consumo de energía y acelera el proceso de extrusión.

Figura 19

Prueba con control de temperatura y nuevas resistencias



Fuente: Autoría propia, 2024

2.2. Análisis e interpretación de resultados

En la prueba final figura 20, se observó que la parte baja del material presentaba rugosidad. Este fenómeno se atribuye a la necesidad del prototipo de estabilizar térmicamente durante 5 minutos después de la primera extrusión para lograr una nivelación adecuada. Para esta prueba, se utilizó un perfil cuadrado de 2 pulgadas y 13 cm de altura, manteniendo la temperatura en un rango de 255°C a 260°C. Se suministró material de manera constante, llenando el molde a una velocidad de un centímetro por minuto. Como resultado, se concluyó que el tiempo total para llenar el molde es de 13 minutos. El material obtenido demostró buena resistencia y dureza, cumpliendo con los estándares esperados de calidad.

Figura 20

Pruebas con molde cuadrado



Fuente: Autoría propia, 2024

En la segunda prueba final, como se muestra en la imagen 21, se observó que el material presentaba rugosidad en la parte inferior del molde. Esto se debe a que, al comienzo de la extrusión, la nivelación térmica tarda 5 minutos en distribuir uniformemente la temperatura en el cilindro. El molde utilizado tiene un diámetro de 1 pulgada y una altura de 13 cm, lo que resultó en un tiempo de extrusión de 11 minutos. Las propiedades de la madera plástica reciclada obtenida mostraron el color adecuado, manteniéndose dentro del rango de temperatura ideal y asegurando una extrusión constante. Esto disminuye el riesgo de burbujas de aire en el material, mejorando su composición y calidad.

Figura 21

Pruebas con molde cilíndrico



Fuente: Autoría propia, 2024

3. Conclusiones

Viabilidad técnica: La máquina es viable el diseño e integración de los elementos mecánicos y electrónicos en el prototipo demostraron ser efectivos, ya que todas las partes funcionaron de manera adecuada

Potencial de mercado: Existe una alta demanda para los productos de madera plástica debido a sus propiedades mejoradas y su estructura duradera, que ofrece una mayor resistencia al desgaste con el paso del tiempo.

La capacidad del prototipo de extruir 5 kg por hora permite reutilizar hasta 250 botellas plásticas, cada kilogramo de PET equivalente a unas 50 botellas.

Impacto ambiental: La implementación del prototipo ofrece una alternativa eco amigable al reciclaje de plástico PET, reduciendo la huella ambiental al transformar desechos en madera plástica reciclada.

El control de temperatura se ha demostrado eficiente, manteniendo el rango de temperatura entre 255°C y 260°C. Esto garantiza que el material extruido no presente quemaduras ni baja resistencia, asegurando una calidad óptima en el producto final.

4. Recomendaciones

Optimización del proceso: Buscar formas de mejorar la eficiencia del proceso de extrusión para reducir costos y aumentar la productividad.

Desarrollo de nuevos productos: Investigar y desarrollar nuevos productos que puedan fabricarse con la máquina, como perfiles para construcción, piezas de mobiliario o materiales para embalaje.

Mejora de la calidad del producto: Trabajar en mejorar las propiedades físicas y estéticas de la madera plástica producida para aumentar su atractivo en el mercado.

Investigación sobre sostenibilidad: Investigar y evaluar el impacto ambiental de los productos de madera plástica en comparación con materiales convencionales, y buscar formas de mejorar aún más su sostenibilidad

5 Bibliografía

- (s.f.).ainia. (22 de 03 de 2015). *guiaenvase.com*. Obtenido de <http://www.guiaenvase.com/bases/guiaenvase.nsf/V02wn/extrusoras?OpenDocument>
- aristegui. (2019). *aristegui.info*. Obtenido de <https://www.aristegui.info/>
- Axioma Group S.A.S. (14 de 05 de 2007). *TECNOLOGIADELPLASTICO.COM*. Obtenido de <https://www.plastico.com/es/noticias/propiedades-termicas-y-mecanicas-del-pet-reciclado-y-sus-mezclas>
- berrios, J. D. (10 de enero de 2005). *ResearchGate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/figure/Schematic-diagram-of-a-typical-twin-screw-extruder_fig1_271420534
- ecologiaverde. (05 de 2018). *ecologiaverde.com*. Obtenido de <https://www.ecologiaverde.com/el-proceso-de-reciclaje-de-una-botella-de-plastico-152.html>
- Edwin, D. (2021). *diseño y construcción de un prototipo de máquina extrusora para fundir plástico pet reciclable con capacidad de 5kg/h*.
- EFE. (noviembre de 2018). *EFE*. Obtenido de <https://www.elespectador.com/noticias/actualidad/cuantos-kilos-de-plastico-se-consumen-en-colombia-articulo-82313>
- envaselia. (2018). *envaselia.com*. Obtenido de <https://www.envaselia.com/blog/tereftalato-de-poli-etileno-id12.htm>
- es.greenpeace.org. (04 de 2015). *greenpeace*. Obtenido de <https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/consumismo/plasticos/datos-sobre-la-produccion-de-plasticos/>
- fundacion aquae. (14 de 03 de 2017). *fundacionaquae.org*. Obtenido de <https://www.fundacionaquae.org/la-fundacion/>
- Ltd de Zhoushan Hooso. (14 de febrero de 2015). *HOOSO*. Obtenido de <https://www.hoosoplas.com/es/products/extruder-conical-twin-screw-barrel/>
- Morales. (2014). *diseño de una maquina extrusora de plásticos pet*.
- PIÑEROS, A. (2019). *rediseño de una máquina extrusora para reciclaje de*.
- Shah Alam, M. (2021). Fabricación, pruebas y análisis estadístico de una extrusora de filamento de un solo tornillo basada en proyectos.
- solonieve. (2019). *solonieve.es*. Obtenido de <https://solonieve.es/suela-esquis-elaboracion-y-tipos/>
- Tema Fantástico, S.A. (22 de 05 de 2011). *tecnologia de los plasticos*. Obtenido de <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2012/05/>

xu, J. (2011). “Diseño de un sistema de creación de prototipos de control rápido para Control de temperatura de extrusora de plástico basado en Labview.

Anexos

Anexos 1 Diseño y planos

<https://drive.google.com/drive/folders/1PVrElvMVb2MOSGs5SsClu6OwPeMxW2Dd?usp=sharing>

Anexos 2 Construcción del prototipo

https://drive.google.com/drive/folders/1-s51TTrFr-QrQEO-W8zQ7m-6naVqwhQw?usp=drive_link