



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Mantenimiento correctivo-modificativo en planta de reciclaje artesanal de polímeros termoplásticos en función de la mejora de la eficiencia y eficacia para la generación de productos

Curay Alcocer, Darley Alexis y Pachacama Gualotuña, Danny Alexander

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecánica

Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico

PhD. Sánchez Sánchez, Xavier Rolando

28 de marzo del 2024

Antiplagio - Curay -Pachacama.pdf

Scan details

Scan time: February 29th, 2024 at 20:2 UTC Total Pages: 41 Total Words: 10120

Plagiarism Detection



Types of plagiarism		Words
Identical	0.4%	43
Minor Changes	0.1%	13
Paraphrased	1.1%	107
Omitted Words	0%	0

AI Content Detection



Text coverage		Words
AI text	0%	0
Human text	100%	10120

[Learn more](#)

Plagiarism Results: (6)

- download** 0.8%
<https://noesis.uis.edu.co/server/api/core/bitstreams/d032d367-ba3f-4bb6-bf25-02ba86ed2516/content>
CARLOS BARRIOS
PLANTA PROTOTIPO PARA FABRICACIÓN DE PELLETS Y FILAMENTOS 1 Planta prototipo para la fabricación de pellets y filamentos de impresión 3...
- ¿Cuáles son las ventajas y desventajas del moldeo por inyección? - Maqui...** 0.4%
<https://www.npcinjection.com/es/news/what-are-the-advantages-and-disadvantages-of-injection-molding.html>
...
- Moldeo por inyección: todo lo que necesita saber** 0.2%
<https://www.plastico.com/es/noticias/moldeo-por-inyeccion-todo-lo-que-necesita-saber>
David Ricardo Muñoz, periodista de Tecnología del Plástico
Inicio Noticias Moldeo por inyección: todo lo que necesita saber Moldeo por inyección: todo lo que necesita saber ...

.....
PhD. Sánchez Sánchez, Xavier Rolando.

C. C: 1712575826



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecánica

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: **“Mantenimiento correctivo-modificativo en planta de reciclaje artesanal de polímeros termoplásticos en función de la mejora de la eficiencia y eficacia para la generación de productos”** fue realizado por los señores **Curay Alcocer, Darley Alexis y Pachacama Gualotuña, Danny Alexander**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 15 de marzo de 2024

.....
PhD. Sánchez Sánchez, Xavier Rolando.

C. C: 1712575826



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecánica

Responsabilidad de Autoría

Nosotros **Curay Alcocer, Darley Alexis y Pachacama Gualotuña, Danny Alexander**, con cédulas de ciudadanía n° 2200426712 y n° 1723406151, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Mantenimiento correctivo-modificativo en planta de reciclaje artesanal de polímeros termoplásticos en función de la mejora de la eficiencia y eficacia para la generación de productos** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 15 de marzo de 2024

Curay Alcocer, Darley Alexis

C.C.: 2200426712

Pachacama Gualotuña, Danny Alexander

C.C.: 1723406151



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Mecánica

Autorización de Publicación

Nosotros **Curay Alcocer, Darley Alexis y Pachacama Gualotuña, Danny Alexander**, con cédulas de ciudadanía n° 2200426712 y n° 1723406151, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Mantenimiento correctivo-modificativo en planta de reciclaje artesanal de polímeros termoplásticos en función de la mejora de la eficiencia y eficacia para la generación de productos** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 15 de marzo de 2024



.....

Curay Alcocer, Darley Alexis

C.C.: 2200426712



.....

Pachacama Gualotuña, Danny Alexander

C.C.: 1723406151

Dedicatoria

El presente trabajo está dedicado especialmente a nuestros respectivos padres que gracias a sus esfuerzos hemos logrado culminar nuestros estudios, cuyo sacrificio y amor incondicional han sido nuestra inspiración constante, además a cada persona que, con sus palabras de aliento y gestos de amabilidad, han dejado una marca imborrable en nuestro camino hacia la realización de este proyecto. Finalmente a todas las personas que nos han acompañado en nuestro proceso de desarrollo personal e institucional para lograr ser unos profesionales en la rama en la cual nos especializamos.

Agradecimiento

En primer lugar agradecer a mis padres, cuyo apoyo incondicional ha sido fundamental para alcanzar mis metas personales y académicas. Su amor y aliento constante me han motivado a perseverar en la búsqueda de mis objetivos, incluso en momentos difíciles.

También quiero reconocer el invaluable aporte de los docentes que han guiado mi trayectoria universitaria, brindándome los conocimientos necesarios para llegar hasta este punto.

Agradezco sinceramente a mis compañeros, muchos de los cuales han pasado a ser amigos cercanos, por compartir horas de estudio, trabajar juntos en proyectos y vivir experiencias inolvidables.

Por último, mi gratitud hacia la universidad que, si bien me ha desafiado, también me ha proporcionado las herramientas para obtener mi deseado título. Reconozco el esfuerzo y la dedicación de cada directivo, cuya labor ha sentado las bases para mi formación académica

Darley Alexis Curay Alcocer

Agradecimiento

A dios por guiar mis pasos día a día y por brindarme las fuerzas necesarias para superar los desafíos de este proceso. Agradezco infinitamente a mis padres por su constante apoyo y comprensión, que sin importar las adversidades y problemas han estado acompañándome en este camino. A mis padrinos de bautizo por su invaluable apoyo durante todo el proceso de la tesis, su aliento, orientación y respaldo han sido fundamentales para alcanzar este logro.

A la Universidad por brindarme herramientas y conocimientos necesarios para formarme académica y profesionalmente, así como a todas las personas que me han respaldado de manera incondicional y desinteresada durante mi carrera.

A mi compañero de titulación, por su arduo trabajo y compromiso inquebrantable para alcanzar nuestro objetivo compartido. Su dedicación, habilidades y contribuciones han sido esenciales para superar los obstáculos y lograr el éxito en este proyecto de titulación.

A la persona que desde que apareció en mi vida, sin saberlo ha iluminado mi camino con su presencia, su influencia positiva y su mera existencia ha dejado una huella profunda en mí.

Danny Alexander Pachacama Gualotuña

Índice de contenidos

Resumen	15
Aspectos Generales	17
Introducción	17
Planteamiento del problema	18
Justificación e importancia	19
Objetivos	19
Objetivo General	19
Objetivos Específicos	19
Alcance	20
Marco Teórico	21
Línea de producción	21
Procesos de Producción	21
Producción por proyecto o bajo pedido	21
Producción intermitente por lotes	22
Producción en serie	22
Producción lineal o de flujo continuo	22
Diseño de líneas de fabricación	22
Polímeros termoplásticos.	24
Plástico PET, PP y HDP	24
Tereftalato de polietileno "PET"	24
PP – Polipropileno	25
HDPE – Polietileno de alta densidad	25
Propiedades del plásticos manejados	26
Filamento Pellet	26
Procesos utilizados para fabricación del pellet	27

Proceso de Trituración	27
Proceso de Extrusión	27
Proceso de Inyección	29
Moldeo por el proceso de inyección	29
Ventajas y desventajas del moldeo por inyección	30
Ventajas	31
Desventaja	31
Diagrama de flujo de fabricación del filamento pellet	32
Secuencia de fabricación de filamento Pellets	32
Tratamientos térmicos	33
Cementación	34
Diseño y selección de los sistemas mecánicos y eléctricos	35
Evaluación de desempeño de la trituradora	35
Especificaciones Técnicas de los equipos	36
Análisis del eje compuesto entre el reductor y las cuchillas móviles de la trituradora	36
Capacidad de producción de trituradora	38
Panel de control eléctrico de trituradora	39
Análisis de funcionalidad de la extrusora	40
Evaluación de desempeño de la extrusora	43
Panel de control eléctrico de la extrusora	45
Sistema de peletizado y enfriamiento del filamento	46
Análisis de funcionalidad de la Inyectora	47
Diseño del sistema de calentamiento	47
Material aislante	54
Técnicas de moldeo por inyección	54
Criterios para la obtención de productos mediante de moldeo por inyección	56
Selección del material	56

	11
Matriz para inyección	58
Proceso de llenado	59
Relación del espesor con el enfriamiento del molde	60
Propiedades de la inyectora	60
Panel de control eléctrico de la Inyectora	62
Estructura base de la Línea de producción	63
Análisis Energético de la línea de producción	65
Evaluación de eficiencia de línea de producción	68
Consideraciones de tiempo durante la línea de producción.	69
Costos de implementación de la línea de producción	71
Productos resultantes	73
Conclusiones	74
Recomendaciones	76
Bibliografía	77
Apéndices	80

Índice de Tablas

Tabla 1	Propiedades del plástico PET	24
Tabla 2	Propiedades del PP	25
Tabla 3	Propiedades del HDPE virgen vs el reciclado	25
Tabla 4	Resultados del análisis de falla del eje de transmisión para trituradora.	38
Tabla 5	Elementos que regulan la producción por revolución de la trituradora	39
Tabla 6	Flujo volumétrico en la extrusora	43
Tabla 7	Propiedades mecánicas y térmicas del PLA	44
Tabla 8	Factor de seguridad respecto a la resistencia a la flexión y picadura en los dientes	45
Tabla 9	Variables que intervienen en el cilindro de inyección	49
Tabla 10	Resultados del calor que se pierde al ambiente por convección y radiación	53
Tabla 11	Resultados de la potencia total requerida para cada material	53
Tabla 12	Parámetros que intervienen en el cilindro de inyección para el Polipropileno (180 C)	54
Tabla 13	Valores comunes de contracción para moldes de termoplásticos selecciona- dos.	55
Tabla 14	Consumo energético de la línea de producción	65
Tabla 15	Costo mensual de la línea de producción	66
Tabla 16	Consumo energético medido en la línea de producción	67
Tabla 17	Eficiencia y eficacia en relación al tiempo de producción por área	68
Tabla 18	Costos generales del sistema	71
Tabla 19	Costos Fijos	72
Tabla 20	Costos Variables	72
Tabla 21	Productos producidos por la línea de fabricación	73

Índice de Figuras

Figura 1.	Proceso de producción de filamento pellet.	21
Figura 2.	Lote de filamento pellet	26
Figura 3.	Máquina de trituración elementos principales.	27
Figura 4.	Máquina de extrusión de tornillo, componentes principales.	28
Figura 5.	Secuencia de trabajo dentro de la extrusora	28
Figura 6.	Máquina de moldeo por inyección con pistón	29
Figura 7.	Modelo de la matriz para el moldeo de inyección	30
Figura 8.	Diagrama de enrutamiento de proceso de producción	32
Figura 9.	Evolución de microestructuras de aceros hipoeutectoides e hipereutectoides durante el enfriamiento.	34
Figura 10.	Conjunto de elementos que conforman la trituradora	35
Figura 11.	Diagrama de cuerpo libre de la concentración de cargas y de momentos en el eje de la trituradora	36
Figura 12.	Momento flector resultante en los planos XY y XZ	37
Figura 13.	Diagramas de control y de potencia del conjunto de la trituradora	40
Figura 14.	Conjunto armado de la extrusora	41
Figura 15.	Sistema extrusión flujo del fundido	41
Figura 16.	Velocidad angular vs Factor de Seguridad	45
Figura 17.	Diagramas de control y de alambrado del conjunto de la extrusora	46
Figura 18.	Componentes del sistema de peletizado para filamentos.	47
Figura 19.	Actuador neumático implementado en el sistema de inyección	48
Figura 20.	Diagrama de cuerpo Libre del cilindro de la máquina de inyección y el sistema de calentamiento	49
Figura 21.	Esquematación del sistema de calentamiento de la inyectora	51
Figura 22.	Ejemplo de molde y figura obtenida	56
Figura 23.	Curvas de tensión-deformación	57
Figura 24.	Tabla de materiales poliméricos y sus características	58

Figura 25.	Partes básicas del molde	59
Figura 26.	Posible solución al efecto Jetting	60
Figura 27.	Diagrama de control y de potencia del conjunto de la inyectora.	62
Figura 28.	Sistema completo de la línea de producción	63
Figura 29.	Relación del esfuerzo a tracción vs esfuerzo a fluencia del material	64
Figura 30.	Representación por áreas el consumo energético	66
Figura 31.	Representación por áreas del consumo energético	67

Resumen

En el Laboratorio de Ciencias de los Materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, se dispone de tres equipos destinados al proceso de reciclaje de plástico. Estos equipos fueron adquiridos con el propósito de diseñar una línea de producción artesanal para la generación de productos a partir del reciclaje, centrándose principalmente en el material de trabajo, el polietileno. Además, se está evaluando la capacidad de producción de los equipos entregados para luego llevar a cabo los mantenimientos correctivos necesarios y modificar el diseño de otros elementos con el objetivo de reducir el contacto hombre-máquina.

Entre los productos a obtener en la línea de producción se encuentran la escama, el filamento, los pellets y los moldes por inyección, para los cuales se están ajustando los equipos. En cuanto al sistema de trituración, se está realizando un endurecimiento en la superficie de las cuchillas móviles, un análisis de la resistencia ofrecida por el sistema de transmisión de la trituradora y, por último, se está creando el sistema de control eléctrico. Respecto a la extrusora, se está evaluando el factor de seguridad del sistema de transmisión por engranajes helicoidales en forma de V, además de fabricar un sistema de peletizado. En cuanto al sistema de inyección, se está llevando a cabo un mantenimiento modificativo, cambiando de un sistema manual a un sistema electroneumático, además de crear el circuito de control del equipo.

La alimentación de los tableros de control de los equipos se realiza en serie, controlada por un tablero de distribución para proteger a los equipos de una sobrecarga. El cálculo del consumo energético se basa en la instalación de medidores que registran las horas de funcionamiento de cada equipo mientras la línea de producción está activa.

Por último, se proporcionarán guías prácticas actualizadas, manuales de usuario y de mantenimiento, planos mecánicos y eléctricos.

Palabras Clave: capacidad, consumo, tiempo, producción, productos.

Abstract

In the Materials Sciences Laboratory of the University of the Armed Forces - ESPE, there are three pieces of equipment dedicated to the plastic recycling process. These equipment were acquired with the purpose of designing an artisanal production line for the generation of products from recycling, focusing mainly on the work material, polyethylene. In addition, the production capacity of the delivered equipment is being evaluated to then carry out the necessary corrective maintenance and modify the design of other elements with the aim of reducing human-machine contact.

Among the products to be obtained on the production line are flake, filament, pellets and injection molds, for which the equipment is being adjusted. Regarding the crushing system, hardening is being carried out on the surface of the moving blades, an analysis of the resistance offered by the crusher transmission system and, finally, the electrical control system is being created.

Regarding the extruder, the safety factor of the V-shaped helical gear transmission system is being evaluated, in addition to manufacturing a pelletizing system. Regarding the injection system, modification maintenance is being carried out, changing from a manual system to an electro-pneumatic system, in addition to creating the equipment control circuit.

The power supply to the equipment control boards is done in series, controlled by a distribution board to protect the equipment from overload. The calculation of energy consumption is based on the installation of meters that record the operating hours of each piece of equipment while the production line is active.

Finally, updated practical guides, user and maintenance manuals, mechanical and electrical plans will be provided.

Keywords: capacity, consumption, time, production, products.

Capítulo 1

Aspectos Generales

Introducción

El proyecto consistió en la generación de una línea de producción para la elaboración de plásticos picados y pellets, que servirían como material base para la fabricación de productos plásticos mediante los procesos de extrusión e inyección. Durante el desarrollo de la línea de producción, se emplearon modelos de gestión empíricos, los cuales abarcan métodos y criterios que se han llevado a cabo con éxito, en empresas que trabajan con plásticos reciclados, con el fin de reducir gastos innecesarios, que repercuten durante el proceso de producción.

El proceso de implementación abarcó diversas etapas cruciales, entre las cuales destacan: 1) el mantenimiento correctivo y modificativo de los equipos, orientado a su integración en la línea de producción; 2) la investigación de las propiedades térmicas de los polímeros termoplásticos a utilizar; 3) la definición del tipo de proceso de producción a implementar; 4) el diseño de los elementos que serían incorporados en la línea; 5) la fabricación de los diseños propuestos y la realización de pruebas para la generación de productos.

La reutilización de plásticos reciclados desempeña un papel crucial en la reducción de la contaminación ambiental. Entre los plásticos más comúnmente encontrados en la industria del reciclaje se destacan el polietileno tereftalato (PET), el polietileno de alta densidad (HDPE) y el polipropileno (PP). En el marco de este proyecto, se seleccionaron estos materiales como materias primas para la línea de producción establecida. Al adquirir estos insumos, se toma en cuentas las directrices de la normativa ISO 15270 (Guidelines for the recovery and recycling of plastics waste) y la resolución No 16003 del INEN, garantizando así un enfoque responsable y conforme a los estándares de gestión ambiental.

Planteamiento del problema

En el contexto de la industria del reciclaje, existe una problemática recurrente relacionada con la contaminación ambiental. A medida que la tecnología para reutilizar los diferentes tipos de plásticos ha evolucionado, el incremento de los costos de producción de este tipo de tecnologías se ha convertido en un obstáculo significativo, ya que a menudo se consume una cantidad considerable de energía y recursos, lo que puede contrarrestar los beneficios ambientales del reciclaje.

La cantidad y el tiempo de producción son aspectos cruciales en el ámbito industrial. Con este enfoque, el proyecto se propuso disminuir tanto el consumo energético como el tiempo requerido para la fabricación de productos. Para lograr este objetivo, se implementaron modelos empíricos y estrategias de mantenimiento en las máquinas proporcionadas. Esta iniciativa no solo tuvo como objetivo principal reducir los costos de mantenimiento y el consumo eléctrico, sino también mitigar el desgaste de los componentes de los equipos, contribuyendo de esta manera a una operación más sostenible y eficiente.

La implementación de la línea base de producción se presenta como una solución viable para abordar las preocupaciones asociadas a los gastos y al consumo eléctrico en los equipos. Esta iniciativa se fundamenta en el control constante de parámetros de producción que inciden directamente en la cantidad y calidad del producto final, buscando así optimizar eficientemente estos aspectos clave del proceso de fabricación.

En base a que el tema principal es una planta de reciclaje artesanal, la distribución en planta y especificación de maquinarias a utilizar se toma como referencia los diseños mostrados por la empresa Precius Plastic, la cual nos brinda información de las maquinarias utilizadas y los métodos que se utilizan para la generación de filamentos por medio de métodos como la trituración, la extrusión, inyección.

Justificación e importancia

La reutilización de plásticos se convierte en un aspecto de suma importancia para reducir la contaminación y fomentar la generación sostenible de productos plásticos. En este contexto, el presente trabajo tiene como propósito ofrecer un modelo aplicable de manera sostenible en centros de reutilización artesanal de plásticos.

El diseño de este modelo se enfoca principalmente en la eficiente transformación del material reciclado en productos que puedan servir como insumos para otros procesos de producción o incluso como productos finales. Se realiza una evaluación de parámetros clave de trabajo, como el tiempo de producción, el consumo energético, la funcionalidad y la seguridad, tanto antes de la implementación de la línea de producción como después de su puesta en marcha.

Este enfoque integral busca mejorar la eficiencia del proceso y fomentar prácticas sostenibles en la reutilización de plásticos.

Objetivos***Objetivo General***

- Desarrollar una línea base de producción de elementos obtenidos de polímeros termoplásticos reciclados, a partir de mantenimientos correctivos y modificativos de maquinaria artesanal.

Objetivos Específicos

- Implementar de manera efectiva una línea de producción que integre los procesos de trituración, extrusión e inyección, utilizando como base termoplásticos reciclados.
- Evaluar el rendimiento de los equipos, tras la implementación de las estrategias de mantenimiento en la línea de producción
- Desarrollar un sistema de peletizado para la extrusora y un sistema de empuje neumático para la inyectora con el propósito de optimizar la fabricación de productos y reducir los tiempos de producción.

- Evaluar la capacidad de producción de los equipos después de implementar las estrategias de mantenimiento, y analizar el costo de producción vinculado al consumo energético.

Alcance

El proyecto se centra en micro empresas comprometidas con la generación de bienes plásticos a través del reciclaje. a los cuales se les proporcionaría una guía práctica y detallada para facilitar la eficaz implementación de una línea de producción artesanal. La guía abordará parámetros clave para la producción de plástico picado y pellets, contribuyendo así a mejorar la sostenibilidad y eficiencia en todo el proceso de fabricación.

Los materiales base para la producción de pellets incluyen plásticos como el polietileno tereftalato (PET), el polietileno de alta densidad (HDPE) y el polipropileno (PP). Estos materiales, mayormente empleados en la fabricación de envases destinados al uso alimenticio, se seleccionan siguiendo criterios específicos establecidos en la resolución No 16003 del INEN.

El proyecto comprenderá modelos empíricos y acciones de mantenimiento correctivo y modificativo en los equipos, con el enfoque principal de reducir los costos de producción y ajustarlos para lograr una mayor eficacia en el proceso productivo.

Capítulo 2

Marco Teórico

Línea de producción

Se puede describir una línea de producción como una sucesión de operaciones organizadas de manera secuencial, destinadas a llevar a cabo el proceso de fabricación de un producto. En otras palabras, la línea de producción se encarga de ejecutar todas las etapas necesarias para convertir las materias primas en productos finales. SeamPedia. (2018).

En la Figura 1, se detalla la producción de una línea de reciclaje para la obtención de pellets y filamentos. Según OVACEN (2021) las líneas industriales tienen una estructura similar pero los procesos dependen de cada empresa, ya que cada uno presenta características distintivas que destacan sus productos de los de sus competidores.

Figura 1

Proceso de producción de filamento pellet.



Nota. Adaptado de las Máquina de reciclado de plástico. Tomada de OVACEN (2021).

Procesos de Producción

Producción por proyecto o bajo pedido

De acuerdo con las afirmaciones de Roberto Carro (2023), la etapa de fabricación implica suministrar a los consumidores un producto específico o personalizado a gran escala, gestionando cantidades reducidas del producto, considerando que es un proceso de presenta una larga duración y que la secuencia de operaciones difiere para cada producto.

Producción intermitente por lotes

La producción por lotes es importante cuando es necesario producir una cantidad limitada de productos, según Bonilla (2023) el método es único ya que utilizan modelos y plantillas necesarias para optimizar el proceso de producción. Biotech (2022) Señala que los lotes avanzan simultáneamente a través de las diversas fases de producción, es decir que al culminar las fases de producción, se genera un conjunto completo de productos terminados al mismo tiempo.

Producción en serie

Es un método de fabricación en el cual se trabajan con productos estandarizados a grandes volúmenes de manera continua, los cuales son usados mayormente en líneas de ensamblaje, por lo que para obtener el producto final se recurre a terceros para la adquisición de componentes adicionales y el sistema de producción es el responsable unir los elementos producidos. Tlalnepantla (2022)

Producción lineal o de flujo continuo

Hace referencia a la producción constante, ordenada, progresiva y sin interrupciones, con el fin de optimizar la producción, manteniendo los costos lo más bajo posible, para que el precio de venta sea el más competitivo del mercado. Para alcanzar estos niveles de producción constante, es esencial que el producto tenga una demanda significativa y un alto nivel de automatización, ya que los robots industriales y maquinaria automáticas realizan la mayoría de las operaciones para lograr objetivos clave de producir sin parar. Tlalnepantla (2022)

Diseño de líneas de fabricación

En una línea de producción, los equipos están dispuestos de tal manera que se promueva un flujo continuo de productos entre equipos sucesivos. Los productos resultantes están relacionados con el proceso de producción discreta o continua. En este caso, la planificación de la línea de producción involucra 5 fases básicas. Garcia-Sabater (2020)

1. Establecer los equipos que se van a utilizar, en las áreas de producción.

Según Garcia-Sabater (2020) menciona que las máquinas que se van a utilizar dependen esencialmente del proceso, sin embargo, es común iniciar con un sistema menos

automatizado mientras se verifique que el producto cumpla con las necesidades del mercado, además de evaluar el desempeño de los equipos en ese periodo de tiempo.

2. Establecer sistemas de distribución entre máquinas.

Roberto Carro (2023) afirma que la distribución esta en función de la eficiencia, la velocidad, la seguridad y la coordinación del flujo de materiales, según lo requiera la línea a fabricación, con el cual se optimiza el rendimiento general del proceso; los cuales son distribuidos por diversas formas: por la acción humana, brazos robot, cintas transportadoras, etc.

3. Cuantificar el buffer necesario entre máquinas.

Es una zona delimitada donde se almacena materia prima de forma temporal, ayudando a gestionar la variabilidad en el ritmo de producción hasta que se solicite. Esta metodología se suele utilizar cuando el ritmo de abastecimiento y el de consumo de los productos no coinciden o cuando el almacenaje actúa como punto intermedio entre dos procesos de producción. Fuster (2021)

4. Establecer modos de acceso a los equipos de mantenimiento, suministro de materiales, adquisición de herramientas y la evacuación de los desechos.

Se toma en cuenta el espacio que requiere un operario y determinar los medios necesarios para obtener la mayor velocidad de movimiento posible y así reducir los tiempos de tareas de mantenimiento y trabajo. Fuster (2021)

5. Diseñar el Layout del sistema completo. Una vez que comprendido en su totalidad los

procesos y procedimientos relacionados con la entrada y salida de productos, componentes, herramientas, materiales, entre otros, llega el momento de poner en marcha los equipos de la línea de producción. Para lo cual primero se ha de efectuar una distribución planimétrica, lo que se conoce comúnmente como Layout, es decir, el diseño de la instalación plasmado en un plano. Fuster (2021)

Polímeros termoplásticos.

Son polímeros que se caracterizan por su capacidad de volver a fundirse y moldearse repetidamente cuando se calientan y enfrían. Es decir, conforme se eleva la temperatura por encima del punto de fusión, los termoplásticos se vuelven fáciles de moldear posteriormente enfriados para que se solidifiquen y adquieran la forma deseada. Schmid (2008).

Plástico PET, PP y HDP

Tereftalato de polietileno "PET"

El tereftalato de polietileno, es un polímero termoplástico semicristalino que se obtiene mediante la polimerización del ácido tereftálico y monoetilenglicol, sus características son la pureza, la alta resistencia al desgaste, la tenacidad, la maleabilidad y la resistencia química Estació (2023).

Conforme las propiedades mostradas en la Tabla 1.

Además de no ser tóxico y que tiene alta compatibilidad con otros materiales. Canale (2015), lo que lo convierte en un material recurrente para procesos de transformación de plástico como la extrusión, inyección y el termoformado. MinAmbiente (2004).

Tabla 1

Propiedades del plástico PET

PROPIEDAD	VALOR
Peso molecular	192 g/mol
Densidad	1.4 g/cm ³
Dureza rockwell R	105 – 125
T° de transición vítrea	69 – 115 °C
Elongación %	3.5 – 5.83 %
Resistencia a la tracción	90 MPa
Resistencia a la rotura	95.0 MPa
Resistencia al impacto	82 KJ/m ²

Nota. Esta tabla muestra las propiedades físicas y térmicas que presentan el PET. Tomado de Romero Á (2023)

PP – Polipropileno

El polipropileno, es un termoplástico que se obtiene mediante un proceso de polimerización del polipropileno, Schmid (2008) establece que tienen altas propiedades mecánicas, eléctricas y químicas que los hacen eficientes para la fabricación de producto de envases, influenciados con las propiedades que se muestran en la Tabla 2, siendo considerado actualmente el segundo plástico más utilizado en la industria. Martin (2023)

Tabla 2*Propiedades del PP*

PROPIEDAD	VALOR
Punto de fusión (Homopolímero)	160 – 165 °C
Punto de fusión (Copolímero)	135 – 159 °C
Densidad (Homopolímero)	0.94 – 0.908 g/cm ³
Densidad (Copolímero)	0.898 – 0.9 g/cm ³

Nota. Esta tabla muestra las propiedades físicas y térmicas que presentan el PP. Tomado de Muñoz (2023)

HDPE – Polietileno de alta densidad

Polímero termoplástico compuesto por numerosas unidades de etileno, además de presentar ramificaciones en su estructura molecular, lo que repercute en una densidad molecular considerable y gran resistencia y dureza, así como una mayor tolerancia a altas temperaturas. Martin (2023).

Las propiedades se presentes en la Tabla 3.

Tabla 3*Propiedades del HDPE virgen vs el reciclado*

PROPIEDAD	HDPE Virgen	HDPE
Índice de Fluidez g/10 min	0.77	0.79
Densidad g/cm ³	0.963	0.961
Módulo de flexión Kg/cm ²	15,396	15,396
Resistencia al impacto Kg.cm/cm	13	9
Resistencia a la tensión a la ruptura Kg/cm ²	155	175
Elongación %	555	613

Nota. La tabla siguiente compara las propiedades físicas y térmicas del HDPE con las del material virgen, según el Instituto Mexicano de Plástico, basado en la Enciclopedia del Plástico de 2000.

Propiedades del plásticos manejados

1. Se hinchan ante el contacto de ciertos solventes.
2. Poseen buena resistencia al fenómeno de fluencia.
3. Tienen la capacidad de derretirse antes de pasar a un estado gaseoso.
4. Presentan deformación plástica al ser calentados.
5. Solubilidad en ciertos solventes.
6. Son procesables varias veces sin perder sus propiedades físicas y químicas (reciclables).

Filamento Pellet

Después de dar forma al material extruido, es común que se requiera un proceso de enfriamiento para solidificar al material. Posteriormente se realiza el cortado mediante un sistema de peletizado que utiliza una cortadora de placa para dar forma al material en pellets que son cilindros con ángulos rectos. ColorPlastic (2021). Dando lugar a pequeños gránulos de plástico, tal como se ilustra en la Figura 2.

El proceso de corte combina precisión en las medidas, mezcla de materiales y el control adecuado de tiempos y temperaturas para lograr un producto final de calidad.

Figura 2

Lote de filamento pellet



Nota. El gráfico representa los pellets obtenidos a través del proceso de extrusión y corte por una peletizadora.

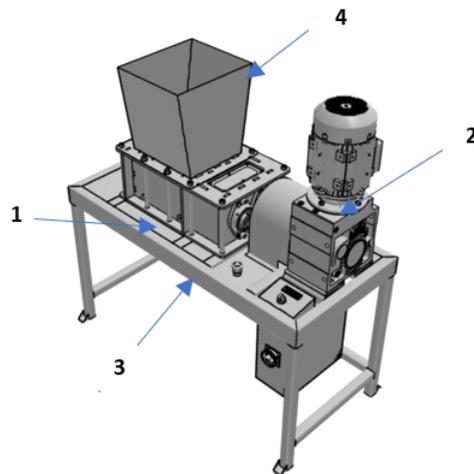
Procesos utilizados para fabricación del pellet

Proceso de Trituración

Cordova Cabada (2022) enfatiza que la función del proceso de trituración es reutilizar los diferentes tipos de plásticos reduciendo su tamaño por medio del desgarramiento a fibras, para posteriormente utilizar el material resultante en un nuevo proceso de producción del plástico.

Figura 3

Máquina de trituración elementos principales.



Nota. Los componentes de la máquina de trituración están unidos por el conjunto motor y reductor sin fin corona, para aumentar el torque de trabajo. Tomado de Precius Plastic.

La trituradora está compuesta por 4 componentes principales: 1) elementos de corte, 2) suministros de poder, 3) estructura y 4) la tolva, ilustrada en la Figura 3. En el cual su funcionamiento consiste en depositar la materia prima en la tolva y los elementos de corte proceden a desgarrar el material con la ayuda de conjunto motor monofásico y reductor de velocidad. Si la máquina es más completa se pueden seleccionar piezas en bruto de diferentes tamaños de corte y finalmente llegar a la zona de descarga o deposición a través del tubo de descarga. Cordova Cabada (2022)

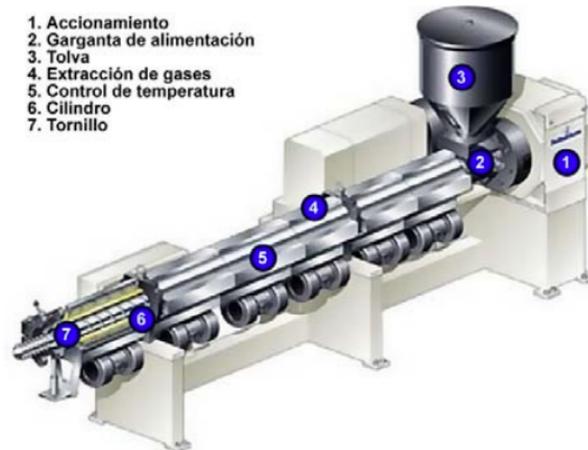
Proceso de Extrusión

La extrusión es un proceso utilizado en las industrias en el cual se funde y moldea el plástico a la forma deseada, con un flujo constante de presión y fuerza, a base de comprimir el material y hacerlo fluir a través de un troquel para generar el producto con una sección

transversal determinada, algunos de los productos obtenidos se emplean como material base en otros procesos similares como los son el moldeo por inyección y extrusión por soplado, para la generación de un nuevo producto. Cimballa (2023)

Figura 4

Máquina de extrusión de tornillo, componentes principales.

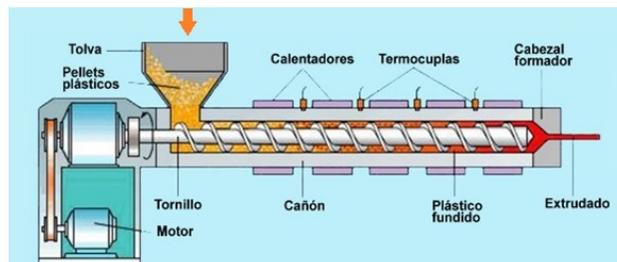


Nota. La extrusión seca es el proceso mas utilizado en la industria, dados por las extrusoras de tornillo. Tomado de Cimballa (2023).

El proceso de trabajo es ilustrada en la Figura 5, una vez obtenido el material reciclado triturado, se ingresa el material a la tolva del extrusor, continúa el trayecto por el cilindro calefactor que calienta el material hasta alcanzar la temperatura de fusión, considerando el historial térmico del material que se procesa se trabajará con un gradiente de temperatura diferente para cada material a lo largo de las secciones de trabajo del tornillo sin-fin hasta llegar a la boquilla del extrusor

Figura 5

Secuencia de trabajo dentro de la extrusora



Nota. La extrusora en la sección cilíndrica trabaja por zonas para llegar al punto de fusión del material, las cuales son: alimentación, compresión y dosificación.

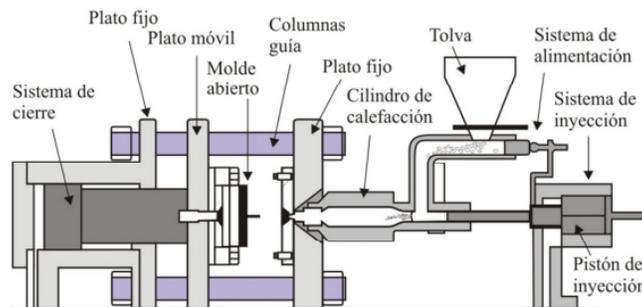
Proceso de Inyección

Beltran M (2012) enfatiza que el proceso consiste en fundir un material plástico ayudado por el cilindro de calefacción ver Figura 6 e introducirlo a una presión la cuál bajará al eje de inyección de manera progresiva conforme el avance del pistón hacia la cavidad de un molde, donde se enfrían las piezas hasta que puedan ser extraídas sin sufrir deformaciones.

La secuencia de trabajo es simple, regida por las fases de fusión e inyección; el material plástico es introducido en la tolva de alimentación, por consiguiente se prosigue con el empuje dado por el pistón al plástico hacia la zona de calefacción donde el material llega hasta su punto de fusión, por lo que el material se transforma a un estado líquido el cual continúa siendo empujado por el pistón hacia el molde, en el cual se obtiene el producto final. Beltran M (2012)

Figura 6

Máquina de moldeo por inyección con pistón



Nota. El diseño mostrado alberga sistemas auxiliares los cuales pueden ser omitidos si la producción no es a flujo continuo. Tomado de Beltran M (2012).

Moldeo por el proceso de inyección

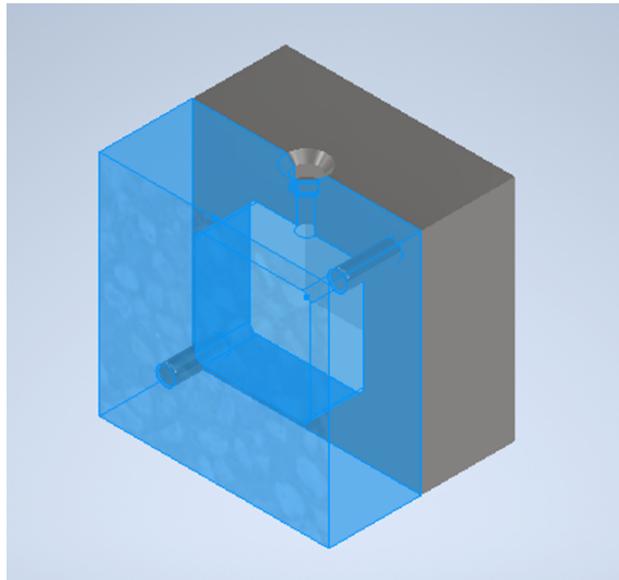
La inyección de plástico es un método en el cual se calienta un polímero hasta que adquiere una consistencia altamente maleable y se introduce a alta presión en un molde "matriz", donde se solidifica. Posteriormente, se extrae la pieza moldeada. Este procedimiento genera componentes individuales que generalmente poseen la forma deseada sin necesidad de ajustes adicionales.

Los elementos clave del procedimiento incluyen factores como el tiempo, la presión, la temperatura y la velocidad de flujo, cuyos valores experimentan ajustes dependiendo de los puntos específicos del proceso y los tiempos del ciclo. Además, se deben considerar las

variables asociadas al molde, como el grosor de la cavidad, la longitud del recorrido del flujo, la posición, el diseño y las dimensiones de las entradas, las líneas de soldadura, el sistema de refrigeración, la sección y longitud de los canales de alimentación, entre otros. Ramirez (1995)

Figura 7

Modelo de la matriz para el moldeo de inyección



Nota. La forma realizada en el molde tiene la figura de un cubo de $3 \times 3 \times 3, \text{cm}^3$, el cual incluye una mazarota y un embudo.

Groover (2007) Menciona que el molde desempeña un papel importante en la definición de la forma y dimensiones de la pieza, sirviendo como la herramienta especial en el proceso de moldeo por inyección. En el caso de piezas complejas y de gran tamaño, la inversión en el molde puede ascender a varios miles de dólares. Incluso para piezas más pequeñas, la construcción de moldes con cavidades múltiples puede aumentar significativamente los costos. Por lo tanto, el moldeo por inyección se vuelve económicamente viable únicamente cuando se producen grandes cantidades. En la Figura 7, se puede observar el modelo de una matriz, para la obtención de un cubo.

Ventajas y desventajas del moldeo por inyección

En esta sección, se analizarán brevemente las pros y contras asociadas con el proceso de inyección de plástico, suministrando información relevante que puede ser utilizada como base al desarrollar una pieza mediante este procedimiento.

Ventajas

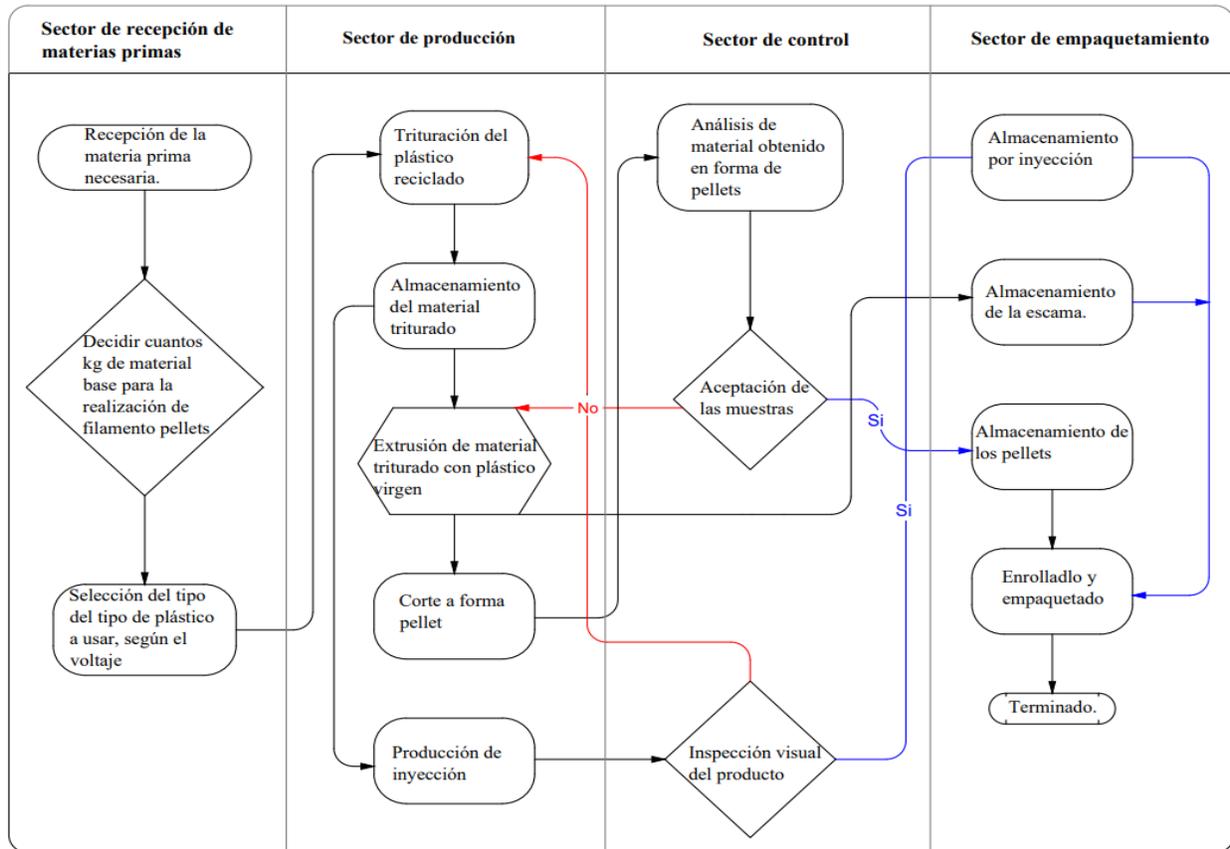
- La utilización de plástico como materia prima disminuye los gastos gracias al costo asequible de la mayoría de los plásticos.
- Ofrece la oportunidad de fabricar productos con geometrías muy elaboradas que no podrían ser producidas mediante otros métodos.
- Facilita la producción de piezas con tolerancias extremadamente reducidas.
- La manipulación de material se encuentra minimizada, ya que la tolva generalmente alberga una cantidad considerable de plástico destinado a ser moldeado durante extensos lapsos de tiempo.
- Este método tiende a generar muy poca rebaba en las piezas recién moldeadas. Capmany (2014)

Desventaja

- La deformación representa uno de los desafíos principales en las piezas producidas mediante este método. La entrada del material fundido a través del bebedero y su posterior enfriamiento pueden ocasionar contracciones o deformaciones en la superficie y la estructura de la pieza. Capmany (2014).

Diagrama de flujo de fabricación del filamento pellet

Figura 8
Diagrama de enrutamiento de proceso de producción



Nota. Se realiza una dosificación volumétrica a medida que el pistón genera la presión de empuje.

Descripción del proceso de elaboración de filamento pellet

La función principal dentro de la planta, es transformar material plástico reciclado en pellets y filamento, por medio de los procesos de trituración, extrusión e inyección, las cuales siguen las ruta mostradas en la Figura 8, el cual se realiza por medio de la instalación en serie de los equipos para la obtención de productos finales.

- Sector de recepción de materia prima.

Selección del tipo de plástico que se va a utilizar en la línea de producción, como modelo de referencia, se toma las botellas PET, previamente clasificadas y compactadas, a las cuales se les retira los materiales adicionales implantados a esta, para posteriormente son almacenadas y

ser utilizadas en el proceso de trituración.

- Sector de producción.

Triturado del plástico : Se ingresan el material base en la tolva de la trituradora, en donde los sistemas mecánicos de corte con los son las cuchillas móviles y fijas, ver Figura 3, giran constantemente mezclando y triturando los residuos de plástico, logrando una mezcla homogénea que facilitan el proceso del reciclaje. Sandoya (2021).

- Extrusión del material : Una vez obtenido el material triturado, se mezcla este material con de aglutinantes y material virgen para el ingreso a la extrusora, en función del historial térmico del material tratado, el cual se ingresa a la tolva de la extrusora, en donde continúa por un tornillo sin fin y un cilindro de suministro de calor, el cual calienta el material hasta alcanzar su temperatura de fusión y se moldea para la salida por la boquilla.

- Corte en forma de pellet: Una vez obtenido el material extruido se procede a cortar mediante un sistema de peletizado el cual moldea el material en forma de pellets (cilindros en ángulo recto) mediante una cortadora de placa. ColorPlastic (2021).

- Proceso de inyección: El proceso de inyección de pellets consiste en alimentar de plástico triturado o pellets en la máquina de inyección, donde el material es fundido y presionado en un molde diseñado para adquirir la forma deseada. Roman (2023).

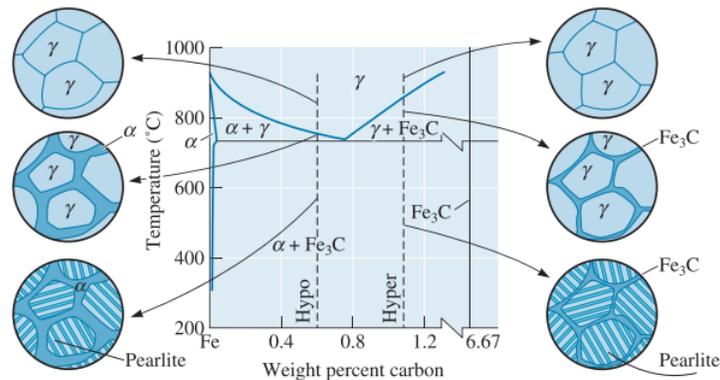
Tratamientos térmicos

En la línea de producción propuesta, se han presentado procesos en los cuales fue necesario realizar tratamientos térmicos a los aceros con el objetivo de lograr una mayor eficiencia. Por lo tanto, es crucial comprender en que consiste el tratamiento térmico. En el trabajo de Alvarez (2005) se define como una combinación de operaciones de calentamiento y enfriamiento que permite la transformación de la austenita, en los derivados del mismo. Esto se realiza para presentar características morfológicas que repercuten en las propiedades físicas y mecánicas de cualquier tipo de acero.

El proceso que se llevó a cabo en este trabajo es un proceso de endurecimiento de las cuchillas, se toma en cuenta el tratamiento termoquímico de cementación, en los cuales dependiendo de la cantidad de austenita que se logre transformar, resulta una superficie más dura Askeland (2010), después de pasar la temperatura eutectoide en el diagrama hierro

Figura 9

Evolución de microestructuras de aceros hipoeutectoides e hipereutectoides durante el enfriamiento.



Nota. Dependiendo de enfriamiento que se de al material la micro estructura varia en la superficie del acero. Tomado de Askeland (2010).

carbono de la Figura 9.

Cementación

Un proceso termoquímico aplicado a aceros de bajo contenido de carbono. En este proceso, la superficie del acero se rocía con productos cementantes para posteriormente ser llevado a un horno, para alcanzar la temperatura de trabajo de alrededor de 900 °C. Durante este proceso, el carbono penetra una capa delgada de la sección del acero, permitiendo que el núcleo conserve su capacidad para absorber la energía del impacto. Después del enfriamiento, se obtiene una superficie con alta dureza y resistencia al desgaste. Alvarez (2005)

En Arizmendi (2020) ratifica que el cementado es un proceso necesario para piezas que están sometidas a impactos recurrentes. El proceso enfriamiento influye en las microestructuras resultantes, y aunque es un proceso que lleva tiempo, proporciona a los elementos un equilibrio adecuado entre dureza y ductilidad con respecto al núcleo.

Capítulo 3

Diseño y selección de los sistemas mecánicos y eléctricos

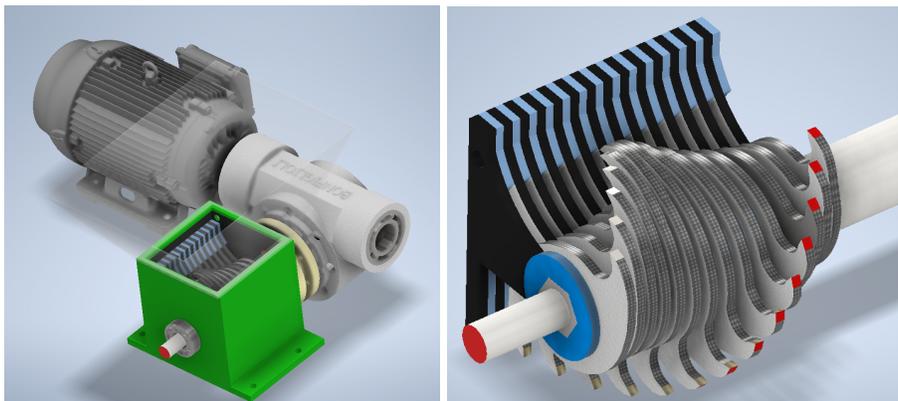
En la creación de una línea de producción, la parte principal son los equipos y la distribución de estos en zonas estratégicas para reducir el tiempo de producción, por lo cual los equipos estarán puestos a punto, por ello la evaluación de desempeño de los equipos es primordial para la instalación de la línea de producción.

Evaluación de desempeño de la trituradora

Para la trituradora se realizó el mantenimiento correctivo en base a parámetros como el tipo de corte y la energía consumida. El corte generado por el equipo antes del mantenimiento presentaba dificultades para desgarrar el plástico. Mediante un análisis metalúrgico de las cuchillas se descubrió que estas están hechas de acero de transmisión de bajo carbono, ver Anexo 1 en pág 81, el AISI 1018, la cual presenta una dureza de 126 HB. Esta dureza se considera baja para este tipo de trabajo, no obstante, material es adecuado para someterlo a un tratamiento termoquímico de cementación, por lo que se desinstalaron las cuchillas móviles y fijas, ver Figura 10. La empresa ACEIN, especializada en la fabricación y tratamientos de cuchillas industriales, realizó el cementado, obteniendo una dureza de 50 HRC ,ver Anexo 2 en pág 122.

Figura 10

Conjunto de elementos que conforman la trituradora



Nota. El triturado es el desgarrar de un material, en este caso con ayuda de un mecanismo rotacional de 110V - 220V.

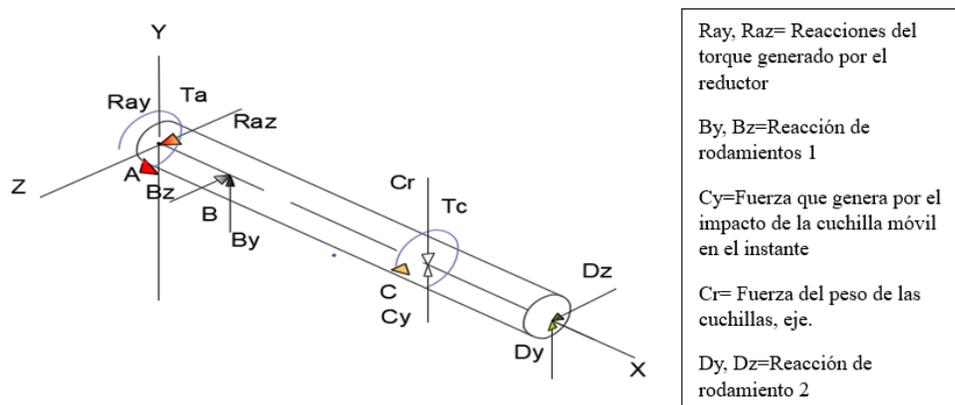
Especificaciones Técnicas de los equipos

Equipos	Parámetros	Especificaciones
Motor WEG MO01CO	Potencia	2HP
	RPM	1720
	Voltaje	110/220V
	Amperaje	27.6/13.8A
	Relación de transmisión	1/45
	Diámetro de paso de corona	20
Reductor de velocidad BONFIGLIOLI 312303701	Diámetro de paso del sin fin	70.4
	Número de roscas del tornillo	2
	Ángulo de presión	20°
	Ángulo de hélice	15°
	Paso	5

Análisis del eje compuesto entre el reductor y las cuchillas móviles de la trituradora

Figura 11

Diagrama de cuerpo libre de la concentración de cargas y de momentos en el eje de la trituradora



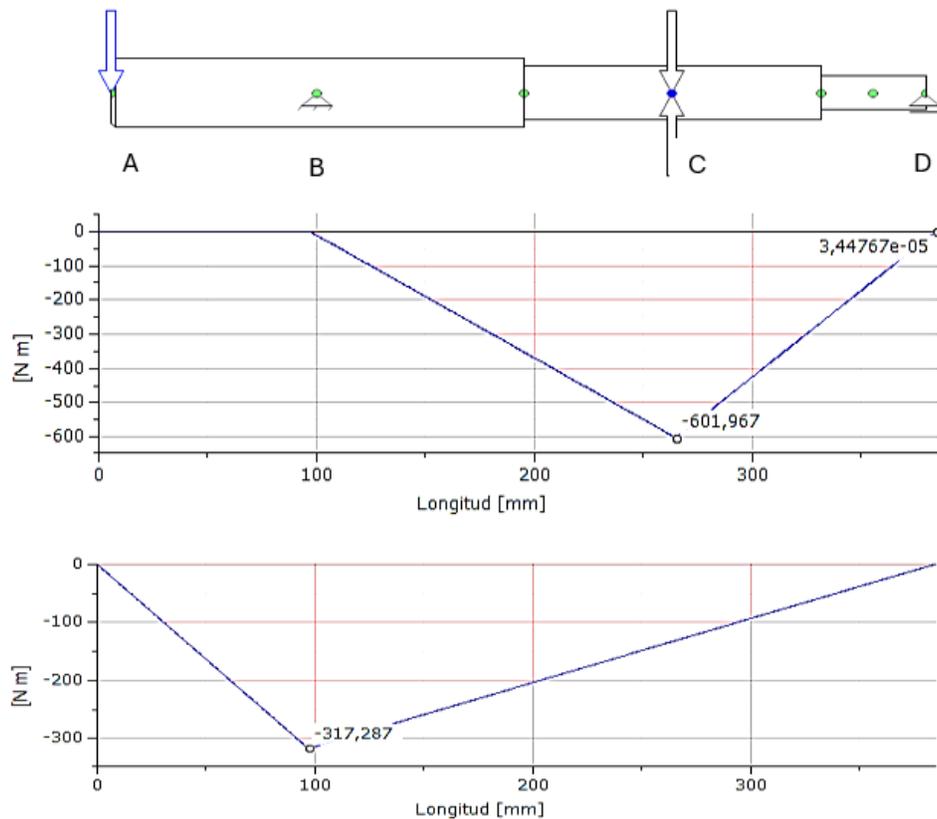
Nota. Las cargas colocadas están determinadas por el equipo de trituración, considerando el momento flector y los empotramientos en los extremos A y D.

El estudio de las cargas que afectan al sistema de transmisión de potencia para triturar el plástico, es descompuesto por las fuerzas, momentos y reacciones que sufre el eje de transmisión, ver Figura 11, por lo cual en este apartado se procederá a realizar el análisis de falla de este elemento para garantizar una producción segura. El sistema de transmisión es escalonado, el cual es sujetado por la corona del reductor, rodamientos y el efecto de carga por las cuchillas móviles al momento del impacto, para el análisis estático se ubican las cargas relevantes al eje.

Para establecer las cargas, se tiene en cuenta el torque que proporcionará el reductor al eje de transmisión, en el cual se muestra con mas detalle en la sección de Anexo 3. En la Figura 12, se encuentra la mayor concentración de momentos en C, por lo cual el punto de análisis de falla se concentrara en este punto.

Figura 12

Momento flector resultante en los planos XY y XZ



Nota. Los gráficos son obtenidos, con la implementación de carga, con ayuda del software Inventor.

De los resultados arrojados por el análisis de fallas por la teoría de la energía de distorsión ED y la teoría de esfuerzos cortantes máximo ECM (Tresca o Guest), ver Tabla 4, muestran que el factor de seguridad para el diseño ya establecido resistirá las cargas impuestas en el eje, no obstante en libros como Mott (2006) describe que este factor deberá llegar a un valor de 2, por lo cual el conjunto de la trituradora funciona de manera optimista para realizar el trabajo de trituración.

Tabla 4

Resultados del análisis de falla del eje de transmisión para trituradora.

Torque salida del reductor.	$T_i = 305.54 Nm$
Reacciones obtenidas del análisis estático	$Raz = 3271N, Ta = 305.53Nm$ $Bz = 2171,3N, By = 9668N$ $Cy = 8680N, Cr = -53N j, Tc = 305.53Nm$ $Dz = 1099,7N, Dy = 1041N j$
Esfuerzo por flexión respecto x y esfuerzo cortante	$\sigma_x = 205,24MPa$ $\tau_{xy} = 102,78 MPa$
Esfuerzos Principales	$\sigma_1 = 247,86MPa, \sigma_3 = -42,62 MPa,$ $\sigma_3 = 0$
Esfuerzo principal por cortante	$\tau_{max} = 145.24 MPa$
Factor de seguridad por la teoría de ECM	$\eta = 1.281$
Esfuerzo de von Mises	$\sigma' = 271,7MPa$
Factor de seguridad por teoría de ED	$n = 1.37$

Nota. Los procedimientos y gráficos para los cálculos se encuentran en Anexo 3.

Capacidad de producción de trituradora

Respecto a la capacidad de producción de la trituradora se tomó como referencia lo establecido en Romero Á (2023), que describe el flujo másico de corte por cada revolución.

$$C_{ap} = Cap_{rev} \cdot \eta \cdot 60 \quad (1)$$

Cap_{rev} : es la capacidad por revolución $\frac{Kg}{rev}$ Cap : es la capacidad de la trituradora. La

capacidad de producción esta en función de los siguientes parámetros:

$$Cap_{rev} = N_{ejes} \cdot N_{filos} \cdot N_{cuchillas} \cdot A_{corte} \cdot t_{pet} \cdot \rho_{pet} \quad (2)$$

N_{ejes} : Número de ejes de la trituradora A_{corte} : Área de corte

$N_{cuchillas}$: Número de cuchillas t_{pet} : espesor del plástico PET

N_{filos} : Número de filos por cuchilla ρ_{pet} : densidad del material.

Con los parámetros encontrados se procede a reemplazar en la ecuación 2 tomando en cuenta que la velocidad angular está relacionado con la relación de transmisión 1/45 por lo que la velocidad angular será $\omega_s = 1720rpm * \frac{1}{45} = 38.3rpm$

Tabla 5*Elementos que regulan la producción por revolución de la trituradora*

$N_{ejes}=1$	$N_{filos}=2$	$t_{pet}=0.5 \text{ mm}$
$N_{cuchillas}=14$	$A_{corte}=5\text{mm}^2$	$\rho_{pet}= 1,38 \frac{g}{\text{cm}^3}$

$$Cap_{rev} = N_{ejes} \cdot N_{filos} \cdot N_{cuchillas} \cdot A_{corte} \cdot t_{pet} \cdot \rho_{pet}$$

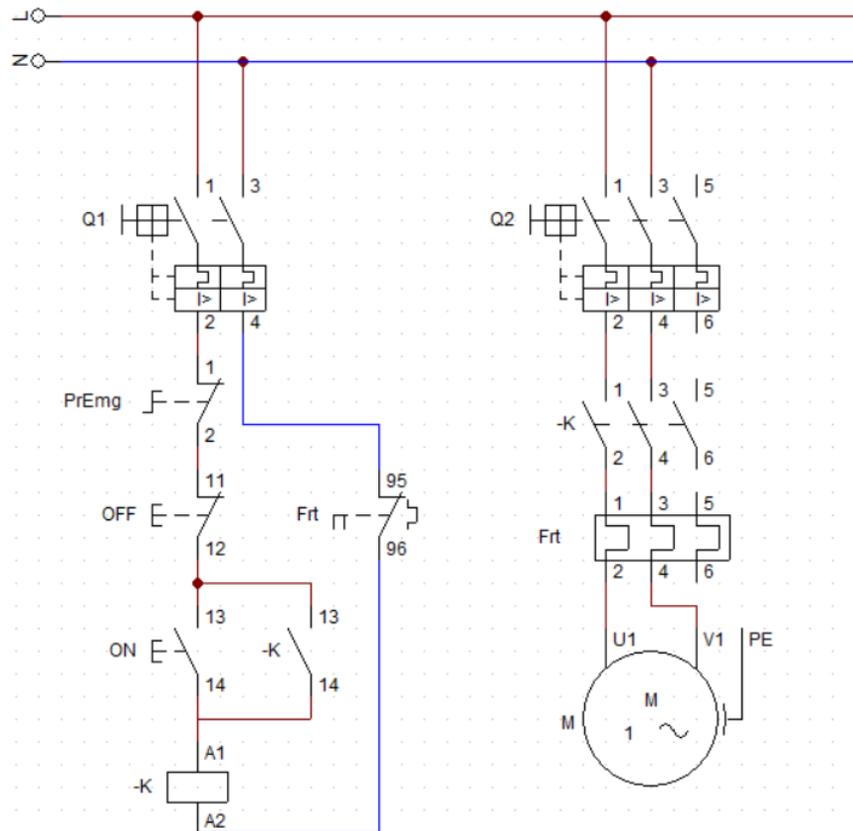
$$Cap_{rev} = 0.097 \frac{g}{rev}$$

$$C_{ap} = Cap_{rev} \cdot \eta \cdot 60$$

$$C_{ap} = 23,06 \frac{g}{s}$$

Panel de control eléctrico de trituradora

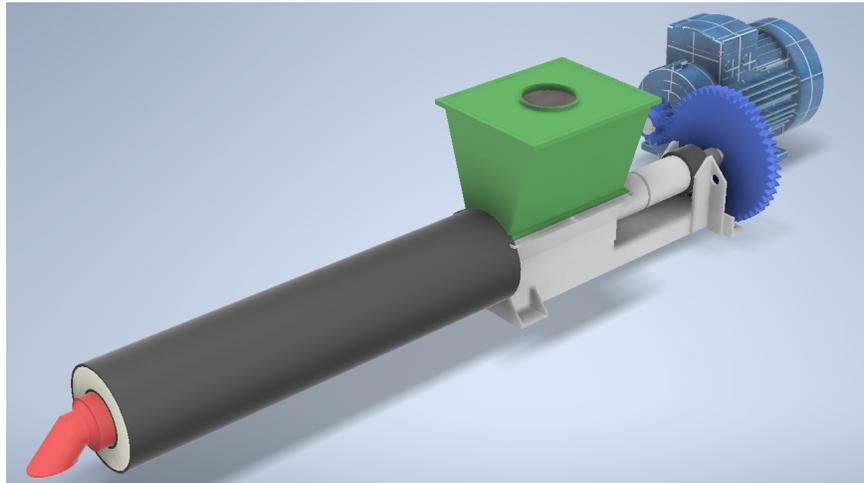
Dentro de lo referente al mantenimiento correctivo a los equipos, los tableros de control presentaban problemas de funcionalidad, por lo que fue necesario reestructurar los sistemas de conexiones existentes como es el caso de la trituradora, en el cual se reestructuró las conexiones como se puede ver en la Figura 13. La principal cualidad es la unión del contacto cerrado del relé térmico de la entrada 95 y 96 a la alimentación del contactor que es un punto de acción al incremento del consumo energético.

Figura 13*Diagramas de control y de potencia del conjunto de la trituradora*

Nota. Funcionalidad de la conexión es válida para 110V/220V.

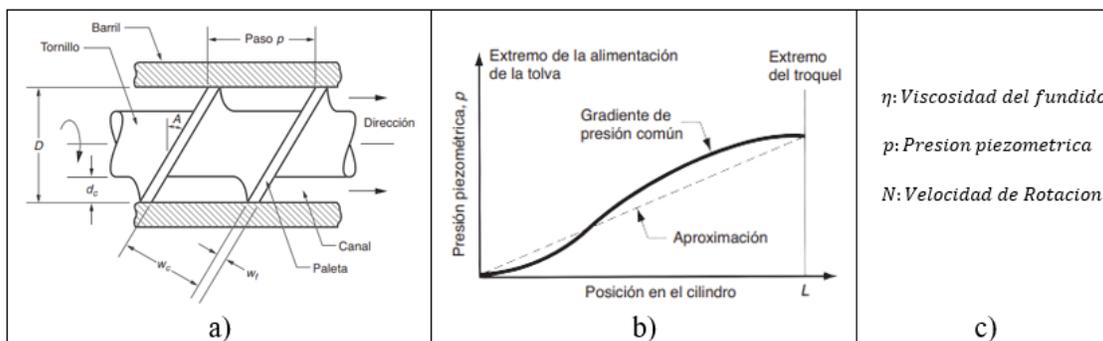
Análisis de funcionalidad de la extrusora

Durante diseño de componentes de la extrusora se integró un sistema de transmisión por el tren de engranes helicoidales para aumentar el torque transmitido por el motor hacia el tornillo sin fin, además de realizar el mantenimiento correctivo a los componentes del extrusor, el resultado final de diseño es como se muestra en la Figura 14.

Figura 14*Conjunto armado de la extrusora*

Nota. La temperatura de operación guarda una estrecha relación con el material que se procesa en la extrusora.

El flujo volumétrico según Groover (2007), $Q_s = Q_d - Q_b$, el mecanismo de transporte esta dado por el flujo de arrastre Q_d y el flujo de contrapresión Q_b , en el cual se asemeja al movimiento de un flujo que ocurre en una placa estacionaria y una móvil. Se debe tener en cuenta que entre mayor sea el avance por el tornillo mayor será la presión ejercida por el polímero termoplástico a utilizar, según se muestra en la Figura 15b.

Figura 15*Sistema extrusión flujo del fundido*

Nota. a) Sistema de empuje tornillo de Arquímedes ,b) Distribución de presión c) Simbología de arrastre. Tomado de Groover (2007).

El flujo es representado por la siguiente ecuación:

$$Q_s = 0,5\pi^2 D^2 N d_c \text{sen}(A) \cos(A) - \frac{p\pi D d_c^3 \text{sen}(A)^2}{12\eta L_n} \quad (3)$$

Donde:

D : Diámetro del tornillo [mm]

d_c : Profundidad del canal [mm]

A : Ángulo de hélice del tornillo sin fin [A°]

η : Viscosidad del polímero fundido [$\frac{N}{m^2}$]

p : Paso del tonillo sin-fin [mm]

N : Velocidad de rotación [rpm]

L_n : Longitud de barril [mm]

Por otro lado, si la contrapresión fuera igual que el flujo de arrastre la ec. 3, se iguala a cero y se obtendra la presión piezométrica máxima y el flujo máximo Q_d , dentro del proceso de extrusión.

$$p_{max} = \frac{6\pi D L_n \cot(A)}{d_c^2} \quad (4)$$

Con relación a la salida dado por la boquilla se encuentra que está en relación al factor de forma del troquel de la boquilla K_s y la presión de trabajo.

$$Q_s = k_s p \quad (5)$$

$$k_s = \frac{\pi D_d^4}{128\eta L_d} \quad (6)$$

Donde:

D_d : Diámetro de abertura del troquel [mm]

L_d : Longitud de abertura del troquel [mm]

Se expresan los resultados en la tabla 6, considerando que para la extrusión de plásticos Groover (2007) recomienda que la velocidad angular máxima sea de 60 rpm.

Tabla 6*Flujo volumétrico en la extrusora*

		$f(\text{Hz})$	$N(\text{rpm})$	$Q_{max}(10^{-5})\frac{m^3}{s}$	$p_{max}(10^4)Pa$	$k_s(10^{-12}\frac{m^5}{Ns})$	$Q_s(10^{-7})\frac{m^3}{s}$
$D(\text{mm})$	25,4	4	25,1	1,09	5,94	9,94	5,92
$D_d(\text{mm})$	3	5	31,4	1,36	7,45		7,41
A	10°	6	37,7	1,63	8,94		8,90
L_n	486	7	43,9	1,91	10,44		10,37
η Pa	100	8	50,3	2,18	1,93		11,86

Nota. Los resultados muestran una tendencia lineal, representada por la ecuación $Q_s(N) = 0,235N$, en relación con la salida del troquel de diámetro de 3 mm.

Evaluación de desempeño de la extrusora

Dentro del análisis de funcionalidad se evalúa el diseño dado por el tren de engranes colocados para aumentar el torque en relación de 3:1. En la Figura 14 se aprecia que el conjunto de engranajes fue diseñado con PLA, para lo cual se analizó los efectos de flexión y cargas de contacto que sufre el diseño creado en base a las propiedades ofrecidas por el material. Según Mott (2006), en el capítulo 10, se realiza el análisis de desempeño del conjunto de engranes helicoidales en función de la resistencia a flexión y resistencia a la picadura en los dientes, estos representados por las siguientes ecuaciones.

$$S_t = \frac{W_t P_d}{F J} K_o K_s K_m K_B K_v \quad (7)$$

$$S_c = C_p \sqrt{\frac{W_t K_o K_s K_m K_v}{F D_p I}} \quad (8)$$

Donde:

W_t : Fuerza tangencial [N]

P_d : Paso diametral [mm]

F : Ancho nominal de cara del engrane [mm]

I : Factor geométrico para la resistencia a la picadura []

C_p : Coeficiente elástico [MPa]

Tabla 7*Propiedades mecánicas y térmicas del PLA*

Factores	Simbología	Valor	Propiedades del PLA PLUS	
Sobrecarga	K_o	1,5	Resistencia a tracción MPa	59
tamaño	K_s	1	Resistencia a flexión MPa	44
Distribución de carga	K_m	1,26	Resistencia de impacto KJ/m2	13,4
Espesor de borde	K_B	1	Densidad (kg/m3)	1252
Dinámico	K_v	1,35	Dureza	90,8
Geometría	J	0,48	temperatura de fusión °C	165

Nota. Los datos son obtenidos de un ensayo realizado en el cual la resistencia a flexión promedio es la mostrada. Las ecuaciones son tomadas de Andrez (2021)

De las recomendaciones de AGMA, sugeridas en el libro de Groover (2007), el esfuerzo de contacto admisible S_{ac} , está dado en función de la dureza del material.

$$S_{ac} = 349HB + 34300(psi) \quad (9)$$

El factor de seguridad "SF", en función del esfuerzo por picadura S_c , en los dientes de los engranes está dado por la siguiente ecuación:

$$\frac{K_R(n)}{Z_N C_H} S_c = S_{ac} \quad (10)$$

Donde:

n : Factor de seguridad

C_H : Factor de relación de durezas

K_R : Factor de confiabilidad

Z_N : Factor de resistencia flexionante

n_{fl} : Factor de seguridad por resistencia a flexión

n_{pc} : Factor de seguridad por resistencia a la picadura.

Tabla 8

Factor de seguridad respecto a la resistencia a la flexión y picadura en los dientes

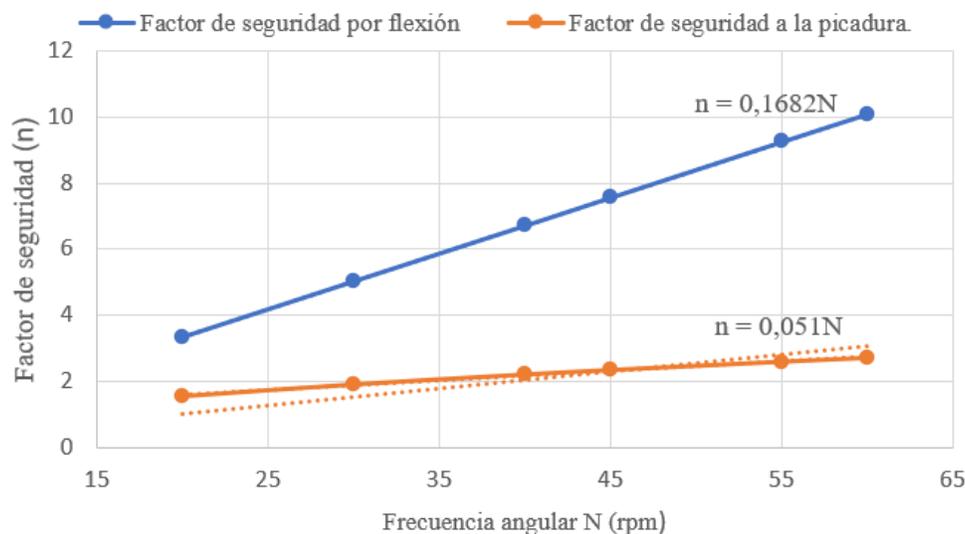
N(rpm)	W_t (N)	S_t MPa	S_c MPa	n_{fl}	n_{pc}
20	280	13,24	853,36	3,36	1,57
30	187	8,82	696,77	5,05	1,92
40	140	6,62	603,42	6,72	2,21
45	124	5,88	568,91	7,57	2,35
55	102,0	4,81	514,60	9,25	2,60
60	93,4	4,41	492,60	10,09	2,71

Nota. Los resultados del factor de seguridad están en función de la velocidad de giro del motor trifásico. Las ecuaciones utilizadas son tomadas de Groover (2007) .

Para una mejor representación se muestra en la Figura 16, la tendencia del factor de seguridad en relación con la frecuencia angular aplicada al eje transmisor de la extrusora revela que, debido a la presencia de picaduras en los dientes, se logra un factor de seguridad promedio de 2. Este valor se considera aceptable para la función desempeñada por el equipo.

Figura 16

Velocidad angular vs Factor de Seguridad



Nota. El factor de seguridad respecto a flexión y picadura en los engranes tienen una relación lineal.

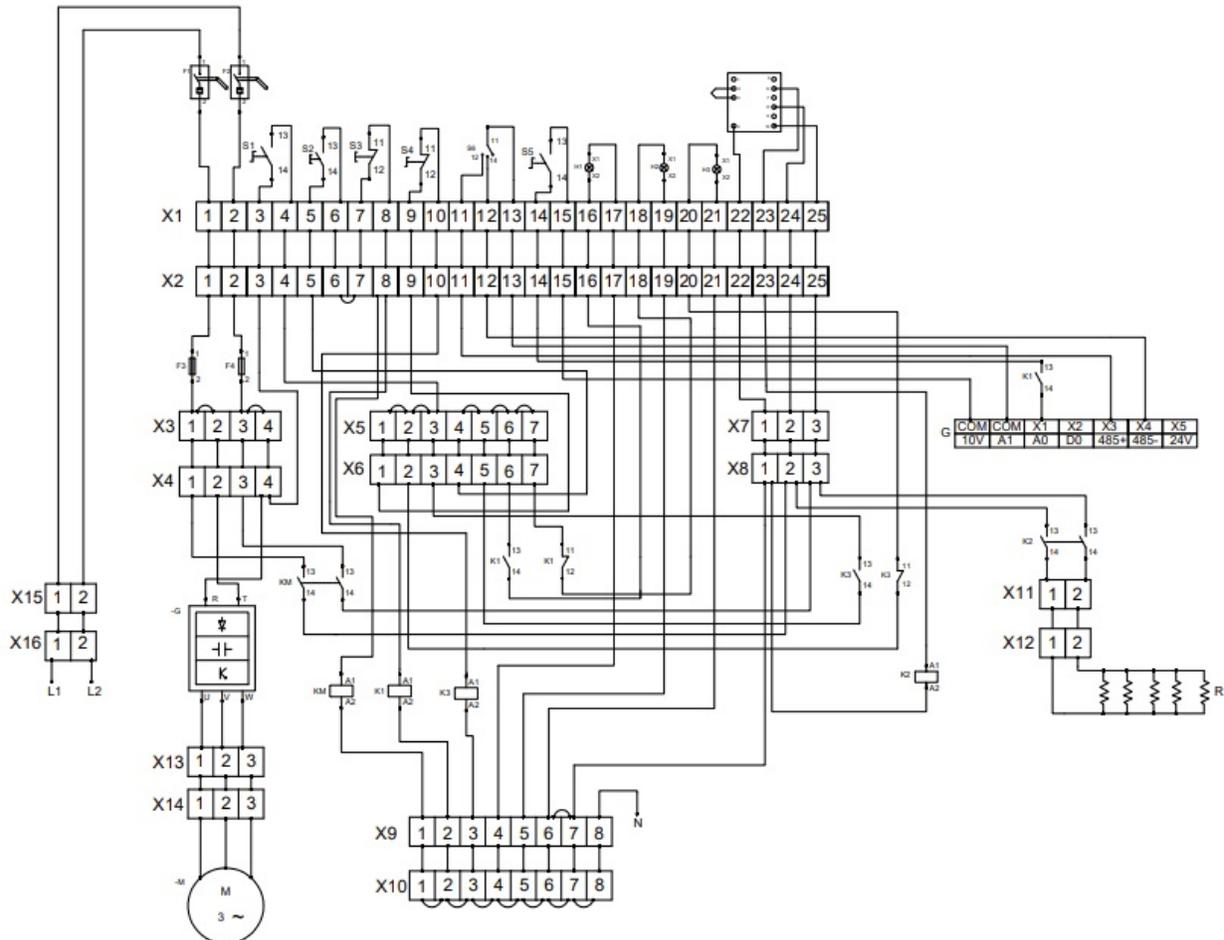
Panel de control eléctrico de la extrusora

Con los dispositivos suministrados, que incluyen un motor trifásico, la regulación de la velocidad de trabajo se realiza mediante un variador de frecuencia KEWO AD100. Este dispositivo posibilita la creación de una línea de energía adicional dedicada al funcionamiento

del motor. La gestión de los parámetros de este motor se efectúa mediante un panel de control, el cual muestra el siguiente esquema de conexión.

Figura 17

Diagramas de control y de alambrado del conjunto de la extrusora



Nota. La alimentación se suministra a través de dos líneas: una de 220V para el motor y otra de 110V para el control.

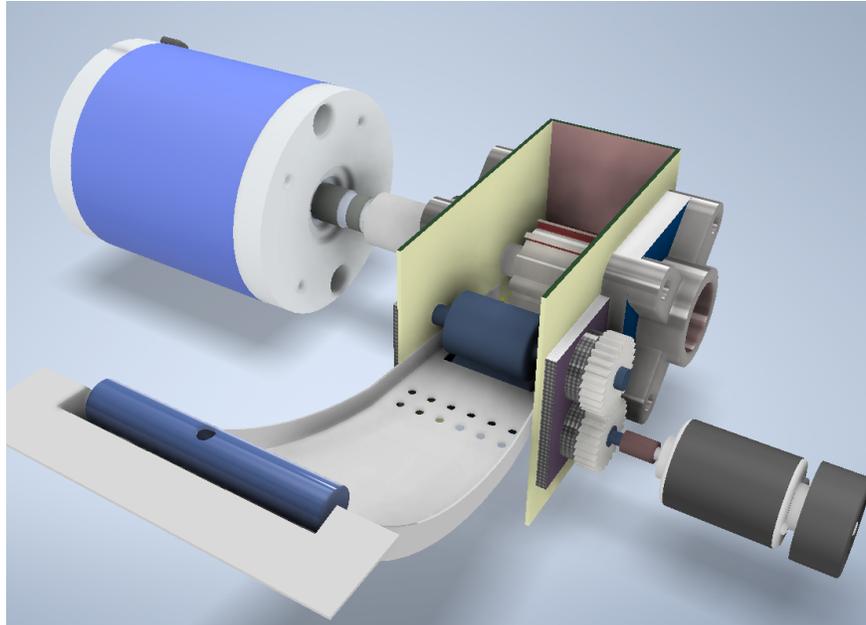
Sistema de peletizado y enfriamiento del filamento

El diseño propuesto es utilizado por entidades encargadas a la fabricación del pellets, por lo cual en base a los mecanismos propuestos, se genera el pellet con la ayuda de la cuchilla de corte e impulsada por el motor DC 12 V, el conjunto de rodamientos dan firmeza al filamento transportado y considerando que la salida del filamento resulta de forma viscosa de la extrusora se instala el sistema de enfriamiento por medio de la convección forzada, la cual trabaja con un

flujo continuo.

Figura 18

Componentes del sistema de peletizado para filamentos.



Nota. El conjunto consta de un sistema de enfriamiento por un túnel de aire.

Análisis de funcionalidad de la Inyectora

Se llevó a cabo una intervención de mantenimiento modificativo en la inyectora, con la implementación de cambios significativos en el sistema. Antes de esta intervención, el sistema de empuje se basaba en un mecanismo manual que imponía una carga significativa al operador, especialmente durante tareas repetitivas o que demandaban esfuerzo físico constante. Como respuesta a esta problemática, se efectuó la modificación del sistema de empuje de inyección mediante la incorporación de un cilindro neumático, como se ilustra en la Figura 19. Adicionalmente, se llevaron a cabo ajustes para reducir las dimensiones del cilindro de la inyectora, optimizando así el funcionamiento del pistón neumático.

Diseño del sistema de calentamiento

El sistema de calentamiento para la máquina de inyección estará conformado por una resistencia eléctrica de tipo abrazadera. Esta resistencia debe tener un diámetro interno que sea comparable al tamaño del cilindro (30 mm) para calentar eficientemente el material en su interior.

Para seleccionar la resistencia que cumpla con los requisitos, es esencial llevar a cabo

Figura 19

Actuador neumático implementado en el sistema de inyección



Nota. El movimiento del pistón se controla mediante el uso de una electroválvula 5/2. Tomado de www.fna.ind.br.

cálculos de transferencia de calor para modelar la situación.

En la figura 20 se muestra un modelo generalizado del sistema de calentamiento de la inyectora.

Para determinar la potencia requerida de la resistencia de tipo abrazadera, es esencial considerar la velocidad de inyección en relación con el material utilizado (PET o PP) y el diámetro de la boquilla de inyección. A través del uso de la velocidad de inyección de la boquilla y la sección transversal tanto de la boquilla como del cilindro, se procede a calcular la velocidad en el tubo de inyección.

En el cuál

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (11)$$

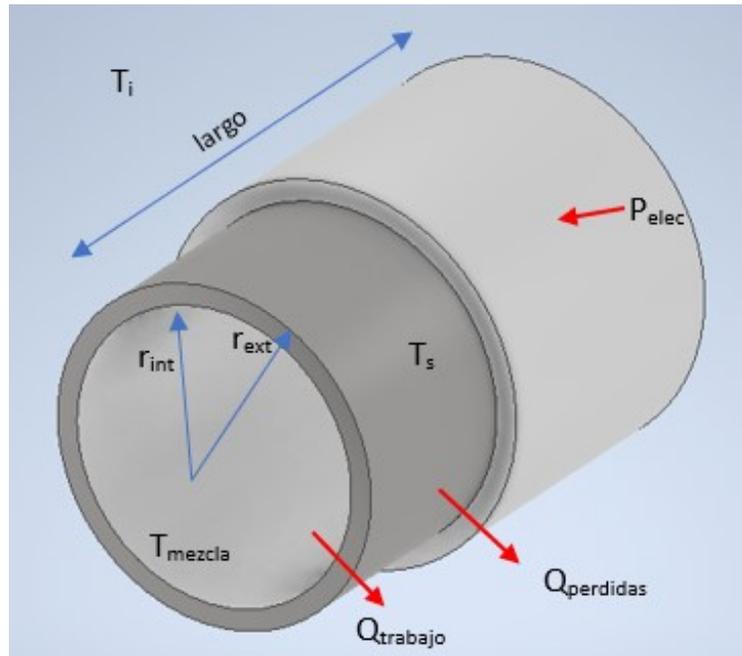
Donde

A_1 : Área de la sección transversal de la boquilla (mm^2)

V_1 : Velocidad del flujo en la boquilla ($\frac{m}{s}$)

Figura 20

Diagrama de cuerpo Libre del cilindro de la máquina de inyección y el sistema de calentamiento



Nota. Para el diseño, se asumió que el flujo de calor es unidimensional, en estado estacionario y sin aislamiento.

A_2 : Área de la sección transversal del cilindro (mm^2)

V_2 : Velocidad del flujo en el cilindro ($\frac{m}{s}$)

Para la velocidad de flujo en la boquilla, se tomó en consideración la velocidad de empuje del pistón ya que la rapidez (V) del fluido es una cantidad de interés práctico en la mayoría de las situaciones.

En las cuales se considera las siguientes variables.

Tabla 9

Variables que intervienen en el cilindro de inyección

Variabes	Simbología	Valor
Radio de la sección transversal de la boquilla	r_1	3 mm
Radio de la sección transversal del cilindro	r_2	15 mm
Tiempo de extensión del vástago del cilindro	$t_{extensión}$	1 s
Desplazamiento del vástago	x_D	130 mm

Nota. Los datos son propios de la máquina inyectora.

En donde se obtiene la velocidad en la salida de la boquilla.

$$v_1 = 0.026m/s$$

Por lo tanto con la relación (A.V), se obtiene la velocidad del flujo en el cilindro de:

$$v_2 = 1.04 \times 10^{-3} \left[\frac{m}{s} \right]$$

Con la velocidad que se tiene dentro del cilindro de inyección, se puede obtener el flujo másico del plástico que entra al cilindro.

$$\dot{m} = \rho * A_{cilindro} * v_{cilindro} \quad (12)$$

Donde

ρ : Densidad del material a trabajar $\left[\frac{kg}{m^3} \right]$

$A_{cilindro}$: Área de la sección transversal del cilindro $[mm^2]$

$v_{cilindro}$: Velocidad del flujo en el cilindro $\left[\frac{m}{s} \right]$

Obteniendo los siguientes valores:

$$\dot{m}_{PET} = 1.014 \times 10^{-3} \frac{kg}{s}$$

$$\dot{m}_{PP} = 6.954 \times 10^{-4} \frac{kg}{s}$$

La potencia necesaria para la resistencia debe ser equivalente a la requerida para fundir los residuos de plástico, incluyendo las pérdidas ambientales asociadas, tales como q_{cov} y q_{rad} .

En la figura 21 se puede observar la esquematización del modelo a desarrollar.

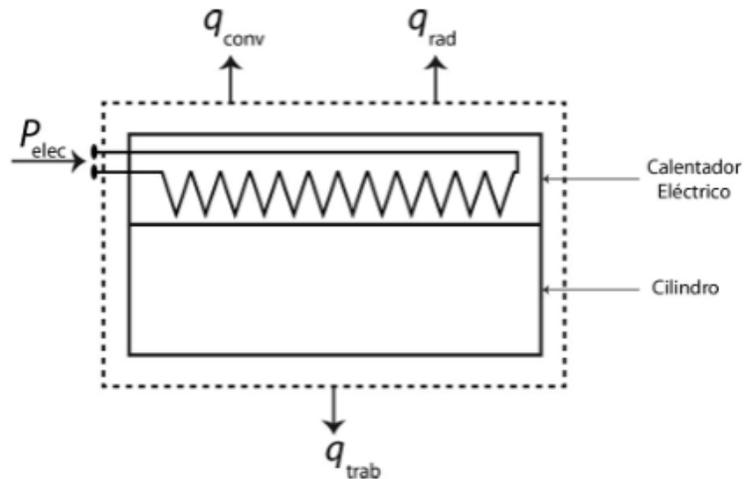
Para hallar la potencia requerida, se emplea

$$q_{elec} = q_{trab} + (q_{conv} + q_{rad}) = q_{trab} + q_{perd} \quad (13)$$

Donde

Figura 21

Esquemmatización del sistema de calentamiento de la inyectora



Nota. La figura muestra un sistema cerrado en el cual las cargas de entrada y salida representan la energía necesaria para fundir un material plástico. Tomado de Garcia-Sabater (2020).

q_{conv} : Calor perdido por convección [W]

q_{rad} : Calor perdido por radiación [W]

q_{trab} : Potencia requerida para elevar la temperatura de la mezcla al nivel de trabajo [W]

q_{perd} : Calor perdido hacia el ambiente [W]

Para hallar la potencia de trabajo, hay que tener en cuenta las temperaturas involucradas en la operación, que son 180 °C y 260 °C para el polipropileno y el polietileno respectivamente. Y una temperatura ambiente promedio de 20 °C. Con estos valores, se calcula el calor de trabajo usando la siguiente fórmula.

$$q_{trab} = \dot{m} * C_p * (T_f - T_o) \quad (14)$$

Donde

\dot{m} : Flujo másico del plástico [$\frac{kg}{s}$]

C_p : Calor específico del plástico [$\frac{J}{kg \cdot ^\circ C}$]

T_f : Temperatura de fusión del material [°C]

T_o : Temperatura inicial del material [°C]

Por lo tanto, el calor necesario para llevar el material a la temperatura de trabajo será:

$$q_{trabajoPET} = 328.7 \text{ Watts}$$

$$q_{trabajoPP} = 214.2 \text{ Watts}$$

Para determinar el calor transferido al ambiente, se requiere calcular la resistencia térmica del sistema. Esto dependerá del intercambio de calor entre el tubo y el ambiente a través de convección y radiación. Para lo cual.

$$R_{conv} = \frac{1}{h * A_s} \quad (15)$$

Donde:

h : Coeficiente de transferencia de calor por convección [$\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$]

A_s : Área expuesta a convección [m^2]

$$R_{rad} = \frac{1}{A * \varepsilon * \sigma * (T_s^2 + T_{amb}^2) * (T_s + T_{amb})} \quad (16)$$

A_s : Área expuesta a radiación [m^2]

ε : Emisividad del material

σ : Constante de Stefan Boltzmann [$\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K^4}$]

T_s : Temperatura de la superficie [$^\circ K$]

T_{amb} : Temperatura ambiente [$^\circ K$]

Se incluye en el anexo 4 en la pag 122, el cálculo respecto a la conductividad térmica del aire a la temperatura de trabajo. Por lo tanto la resistencia por convección será

$$R_{conv} = 8.654 \frac{^\circ K}{W}$$

La resistencia por radiación variara en función del polímero a utilizar, dado que ambos tienen temperaturas de trabajo diferentes. Para el caso del PET será:

$$R_{radPET} = \frac{1}{(\pi * 0.032 * 0.13) * 0.27 * 5.67 * 10^{-8} * (293.15^2 + 533.15^2) * (293.15 + 533.15)}$$

$$R_{radPET} = 16.34 \frac{^\circ K}{W}$$

Para el caso del PP:

$$R_{radPP} = \frac{1}{(\pi * 0.030 * 0.13) * 0.27 * 5.67x10^{-8} * (293.15^2 + 433.15^2) * (293.15 + 433.15)}$$

$$R_{radPP} = 26.833 \frac{^{\circ}K}{W}$$

De esta manera, se determina la cantidad de calor que se pierde hacia el ambiente debido a la convección y radiación.

Tabla 10

Resultados del calor que se pierde al ambiente por convección y radiación

$q_{perdidasPETconv} = 27.7 \text{ W atts}$	$q_{perdidasPETrad} = 18.5 \text{ W atts}$
$q_{perdidasPPconv} = 14.7 \text{ W atts}$	$q_{perdidasPPrad} = 6 \text{ W atts}$

En consecuencia, la potencia necesaria de la resistencia resistencia tipo abrazadera, sera la potencia de trabajo más la potencia perdida.

$$q_{elec} = q_{trabajo} + (q_{perdidasconv} + q_{perdidasrad})$$

Tabla 11

Resultados de la potencia total requerida para cada material

$q_{elecPET} = 371.1 \text{ W atts}$
$q_{elecPP} = 238.7 \text{ W atts}$

En función de los resultados, se evidencia que la cantidad de calor requerida para el polietileno (PET) es la más elevada, por lo que este valor será utilizado como referencia para la selección de la resistencia tipo abrazadera en esa sección.

Material aislante

Para el cálculo de la dimensión del aislamiento térmico se llevo a cabo utilizando fibra cerámica, teniendo en cuenta la presencia de una fuente de calor constante y la cantidad de calor necesaria para el proceso de fundición que asciende a 371.1 W. Según la CEC, la conductividad térmica del acero es de $54 \text{ W/m.}^\circ\text{K}$ y la de la fibra cerámica es $0.12 \text{ W/m.}^\circ\text{K}$.

Tabla 12

Parámetros que intervienen en el cilindro de inyección para el Popipropileno (180 C)

Medidas	Simbología	Valor
Largo de cilindro	L	0.13 m
Radio interno	r_1	0.016 m
Radio externo	r_2	0.020 m
Temperatura interna	T_{int}	453°K
Temperatura ambiente	T_e	293°K
Conductividad T. aislante	k_{ais}	$0.12 \text{ W/m.}^\circ\text{K}$
Conductividad T. tubo	k_T	$54 \text{ W/m.}^\circ\text{K}$

Nota. Los datos son propios de la máquina inyectora, y se los puede observar en el diagrama de cuerpo libre de la Figura 20.

Para lo cual, utilizando las ecuaciones de transferencia de calor en función de las resistencias a conducción del cilindro y el aislante, se tiene.

$$Q = \frac{2 * L * \pi (T_{int} - T_e)}{\frac{\ln(\frac{r_2}{r_1})}{k_T} + \frac{\ln(\frac{r_3}{r_2})}{k_{ais}}}$$

Donde r_3 representa el radio externo hasta el aislante.

En consecuencia, el espesor mínimo requerido para el aislante que asegure una temperatura del material de 180°C con una fuente de calor constante será:

$$\text{Espesor} = 8.5\text{mm}$$

Técnicas de moldeo por inyección

Groover (2007) Indica que el método de moldeo mediante inyección se posiciona como una de las tecnologías más utilizadas en la actualidad para el procesamiento de plástico. Esto se debe a que proporciona un método relativamente sencillo para producir componentes con formas geométricas altamente complejas.

Para llevar a cabo este proceso, se requiere la máquina de inyección y una matriz o molde. Dentro de dicha matriz, se mecaniza una cavidad con la forma exacta de la pieza deseada. Para adecuar su tamaño, se utiliza un factor de contracción, los cuales, se pueden observar en la tabla 13. Este ajuste asegura que, cuando se enfríe la pieza dentro de la matriz, esta alcance las dimensiones y tolerancias requeridas. El espacio de la cavidad se llena con plástico fundido que, al solidificarse, mantiene la forma definida durante el moldeo.

Tabla 13

Valores comunes de contracción para moldes de termoplásticos seleccionados.

Plástico	Contracción, mm/mm, (in/in)
ABS	0.006
Nylon-6,6	0.020
Policarbonato	0.007
Polietileno	0.025
Poliestireno	0.004
PVC	0.005

Nota. Los datos son propios para cada material de trabajo. Tomado de Vlack (1991)

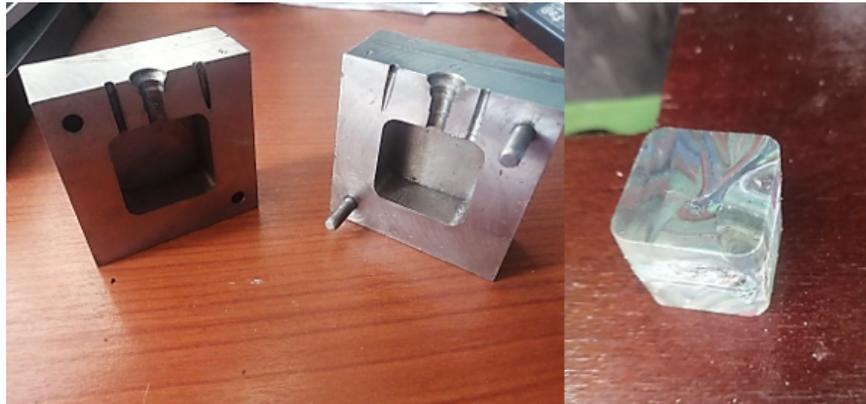
Un dato importante a considerar es, cuando los polímeros se enfrían por debajo de su temperatura de transición vítrea (T_g), y en el caso de polímeros semicristalinos, también por debajo de su temperatura de fusión, estos mantienen su estructura tridimensional. Capmany (2014)

Por esta razón, en situaciones libres de tensiones, se conserva la configuración tridimensional. En el caso del polipropileno que es un polímeros parcialmente cristalino, presenta otra característica particular, que es la de formar cristales, los cuales contribuyen a la estabilidad dimensional de la molécula. Este equilibrio también se sostiene que es termodinámicamente estable en la región cristalina. Capmany (2014).

En la figura 22, se aprecia cómo el molde ha producido un elemento de polipropileno reciclado, después de que el material se ha enfriado y solidificado. Este elemento representa un cubo sólido, que puede ser utilizado como base para la creación de elementos estructurales.

Figura 22

Ejemplo de molde y figura obtenida



Nota. El resultado que se obtuvo fue un cubo macizo a partir de una temperatura de 190 °C y una presión de inyección 6 bar.

Criterios para la obtención de productos mediante de moldeo por inyección***Selección del material***

Seleccionar el material es una de las decisiones más críticas al diseñar una pieza mediante este método de fabricación, dado que no todos los plásticos no son aptos para el proceso de inyección. Además, los parámetros de diseño que elijamos estarán condicionados por el tipo de material que seleccionemos

La mayoría de los polímeros se clasifican como termoplásticos, ya que poseen la capacidad de volverse más flexibles con el calor y recobrar su rigidez al enfriarse. Esta propiedad se debe a que las cadenas largas que componen el material polimérico permanecen separadas y no forman enlaces con otras moléculas. Este comportamiento puede ser fácilmente comparado con el hielo: al calentarse, se convierte en agua, y al enfriarse de nuevo en un molde, recupera su forma original, de manera similar a lo que ocurre en el proceso de inyección de plásticos. Gugliotta (2019)

Los termoplásticos se clasifican en dos categorías: cristalinos, que presentan una estructura molecular ordenada, y amorfos, que carecen de orden en sus estructuras. Capmany (2014)

Se definen las siguientes temperaturas:

- Temperatura de degradación (Td): el punto en el que los enlaces moleculares se

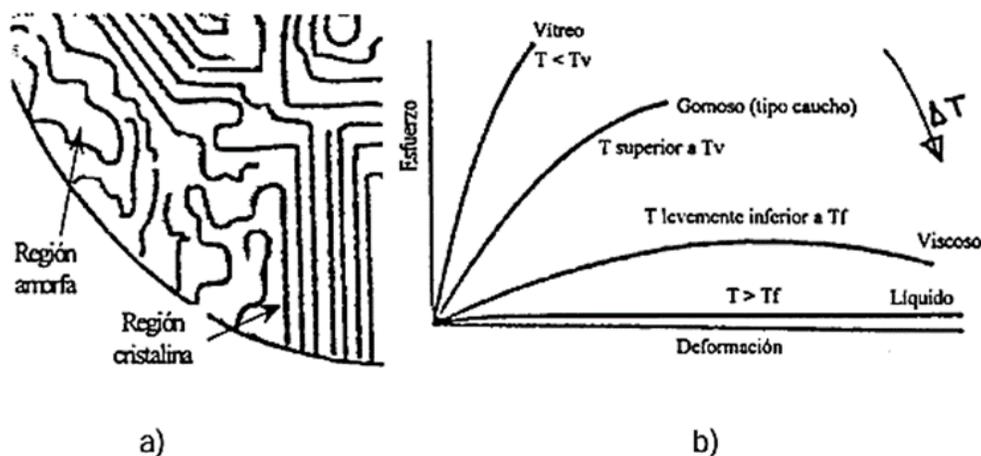
rompen.

- Temperatura de fusión (T_f): el punto en el que el polímero adquiere una apariencia similar a la de un líquido.
- Temperatura de transición vítrea (T_v): el punto en el que el polímero se vuelve rígido, adoptando características duras y frágiles.

En la figura 23, se presentan los diagramas de tensión-deformación, los cuales también son aplicables a los plásticos. En el caso de cualquier termoplástico, las propiedades viscoelásticas de estos materiales causan que la posición de las curvas cambie en relación con la temperatura del material.

Figura 23

Curvas de tensión-deformación



Nota. a) Zonas amorfas y cristalinas; b) Etapas de deformación del polímero conforme aumenta la temperatura. Tomada del Diseño y fabricación de piezas de termoplástico inyectadas.

Una vez comprendido el proceso de formación de un elemento de plástico a partir del método de inyección por moldeo, se selecciona un material adecuado para su elaboración.

En la figura 24 se presenta una tabla suministrada por Protomold que destaca algunos de los plásticos comúnmente empleados en el proceso de moldeo, ofreciendo información detallada acerca de sus propiedades y costos.

Figura 24

Tabla de materiales poliméricos y sus características

Propiedades mecánicas			Características de moldeabilidad								
Nombre genérico de la resina	Nombres de algunas marcas	Fuerza	Resistencia al impacto	Altas temperaturas	Alabeo y precisión dimensional, Moldeado	Rellenos de las características pequeñas	Vacíos en las secciones gruesas	Hundimiento en las secciones gruesas	Destello	Alta temperatura en el molde y eyectores	Coste relacionado
Acetal	Delrin, Celcon	Medio	Medio	Medio bajo	Justo	Justo	Deficiente	Bueno	Bueno	Justo	Medio
Nylon 6/6	Zytel	Medio	Alto	Bajo	Justo	Excelente	Bueno	Justo	Deficiente	Justo	Medio
Nailon 6/6, rellenas de cristal	Zytel	Alto	Medio	Alto	Deficiente	Bueno	Excelente	Bueno	Justo	Justo	Medio
Polipropileno	Maxxam, Profax	Bajo	Alto	Bajo	Justo	Excelente	Deficiente	Deficiente	Deficiente	Bueno	Bajo
Poliétileno de alta densidad (HDPE)	Dow HDPE, Chevron HDPE	Bajo	Alto	Bajo	Justo	Excelente	Desconocido	Deficiente	Deficiente	Bueno	Bajo
Polycarbonato	Lexan, Makrolon	Medio	Alto	Medio alto	Bueno	Justo	De justo a bueno	Justo	Bueno	Bueno	Medio alto
Acronitrilo Estireno Butadieno (ABS)	Lustran, Cicolac	Medio bajo	Alto	Bajo	Bueno	Justo	Bueno	Justo	Bueno	Bueno	Bajo
Aleación de policarbonato/ABS	Cycoloy, Bayblend	Medio	Alto	Medio	De bueno a excelente	Justo	Bueno	Justo	Bueno	Bueno	Medio
Tereftalato de polibutileno	Valox, Crastin	Medio	Alto	Bajo	Justo	Justo	Desconocido	Justo	Justo	Bueno	Medio alto
Polibutileno y tereftalato de polibutileno, relleno de cristal	Valox, Crastin, Rynite	Alto	Medio	Medio	Deficiente	Justo	Bueno	Bueno	Justo	Justo	Medio alto
Poliestireno	Styron	Medio bajo	Bajo	Bajo	Bueno	Bueno	Desconocido	Justo	Justo	Bueno	Bajo
Elastómero termoplástico	Isoplast, Santoprene	Bajo	Alto	Bajo	Deficiente	Excelente	Excelente	Bueno	Deficiente	Excelente	Medio bajo
Acrílico	Plexiglass, Acrylite	Medio	Bajo	Bajo	Bueno	Justo	Excelente	Bueno	Bueno	Bueno	Medio

Nota. La tabla muestra las propiedades mecánicas de un conjunto de materiales plásticos, en relación a sus propiedades térmicas. Tomada de <http://www.protomold.es>.

En función de algunos puntos mencionados se puede seleccionar el material más adecuado para el producto que se pretenda fabricar, en el caso de este método de inyección, se empleó el polipropileno como material base para la elaboración de elementos de plástico (cubos), con una temperatura de fusión de 180 °C.

Matriz para inyección

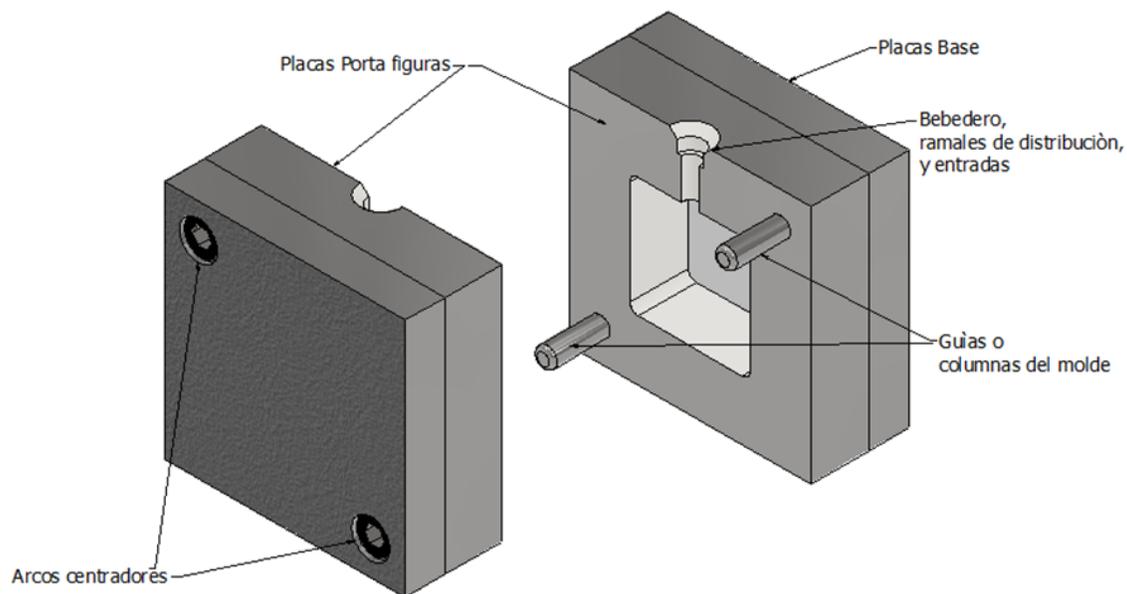
Las funciones principales del molde implican, contener el plástico fundido suministrado por la máquina inyectora, con un cierre hermético que resista la presión dada por la inyección. Todo esto con el propósito de extraer el elemento una vez que se ha enfriado. Groover (2007)

Los moldes son fabricados para la producción de componentes termoplásticos, de

manera específica con un modelo de pieza en particular. Para su fabricación se emplean materiales como hierro y aceros con diversas propiedades, que resisten las condiciones térmicas de los plásticos cuando entran a la fase de fundición. Molina (2009)

En la Figura 25 se puede observar el molde empleado para el proceso de inyección, el cual está formado por 2 placas de acero de transmisión.

Figura 25
Partes básicas del molde



Nota: Se presenta el molde a emplear en el sistema de inyección, con la figura de un cubo de dimensiones $3 \times 3 \times 3 \text{ cm}^3$.

Una vez seleccionado el material a utilizar, se toma en cuenta la forma y geometría que tendrá el molde, para posteriormente ser llenado con el material plástico y enfriado por las condiciones ambiente .

Proceso de llenado

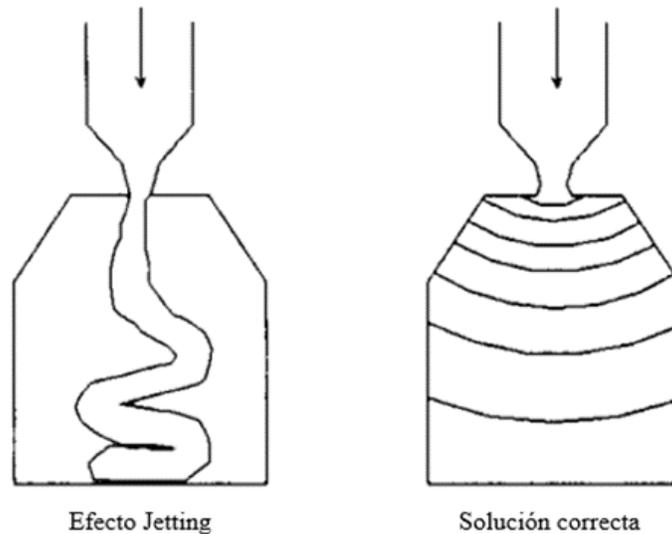
Un dato importante a considerar durante la etapa de llenado, es que pueden surgir problemas como el "Jetting o gusanillo". Este fenómeno se produce cuando el material que fluye hacia la cavidad adquiere una forma de gusano y entra en contacto directo con las paredes del molde, como se ilustra en la figura 26. En esta situación, la distribución del material no es uniforme, lo que resulta en una superficie con varios defectos. Por este motivo, si es necesario que la pieza se llene de una sección delgada a una gruesa debido a consideraciones de

fabricación, es esencial realizar ajustes que faciliten un llenado homogéneo en toda la cavidad.

Cabañes (s.f.)

Figura 26

Posible solución al efecto Jetting



Nota. Defecto por gota de fundido insuficiente en la matriz, por molde frío. Tomada de Cabañes (s.f.).

Relación del espesor con el enfriamiento del molde

La duración del proceso de enfriamiento de la pieza juega un papel crucial en la determinación de los costos y los plazos de producción. En este caso el proceso de enfriamiento se da por convección natural, el cual, considera un tiempo de enfriamiento aproximado de 23,32 minutos. Por esta razón, con el fin de garantizar una producción rentable desde el punto de vista económico como temporal. Capmany (2014)

Propiedades de la inyectora

La presión ideal procesos industriales esta alrededor de los 40 bares por manejar volúmenes altos de producción, por lo que la presión de cierre de la máquina para el ámbito artesanal se toma una relación de 1:5, por lo que se establece la presión de trabajo en 7 bares (equivalentes a $7 * 10^5 \text{ N/m}^2$). Al tener información sobre el área proyectada y la presión de inyección, podemos calcular la fuerza de cierre de la máquina de inyección.

$$F_c = A_p * P_c$$

Donde:

A_p : Área proyectada del molde (m^2)

P_c : Presión de inyección del plástico en el molde (Pa)

F_c : Fuerza de cierre (kN)

$$F_c = 0.495kN$$

La distancia mínima necesaria para el desplazamiento de la máquina de inyección será.

$$R = 2D + 5$$

$$R = 11cm$$

Para obtener el tiempo de llenado, se llevo a cabo a través de la relación entre el volumen del molde con la tasa de flujo de material, Groover (2007).

$$T_{ll} = \left(\frac{V}{Q}\right) \quad (17)$$

Siendo

V: Volumen del molde (m^3)

Q: La tasa de flujo del material fundido en el molde (cm^3/s)

La tasa de flujo Q se aproxima con los datos presentados en la tabla 9 y la ecuación (11), como se presenta a continuación:

$$Q = A_1 \cdot V_1$$

Por el cual, se obtiene:

$$Q = 7.35 \times 10^{-7} (m^3/s)$$

Por lo tanto, el tiempo de llenado es

$$T_{ll} = 36.72s$$

El tiempo de llenado del molde calculado por medio de la ecuación (17) debe considerarse un

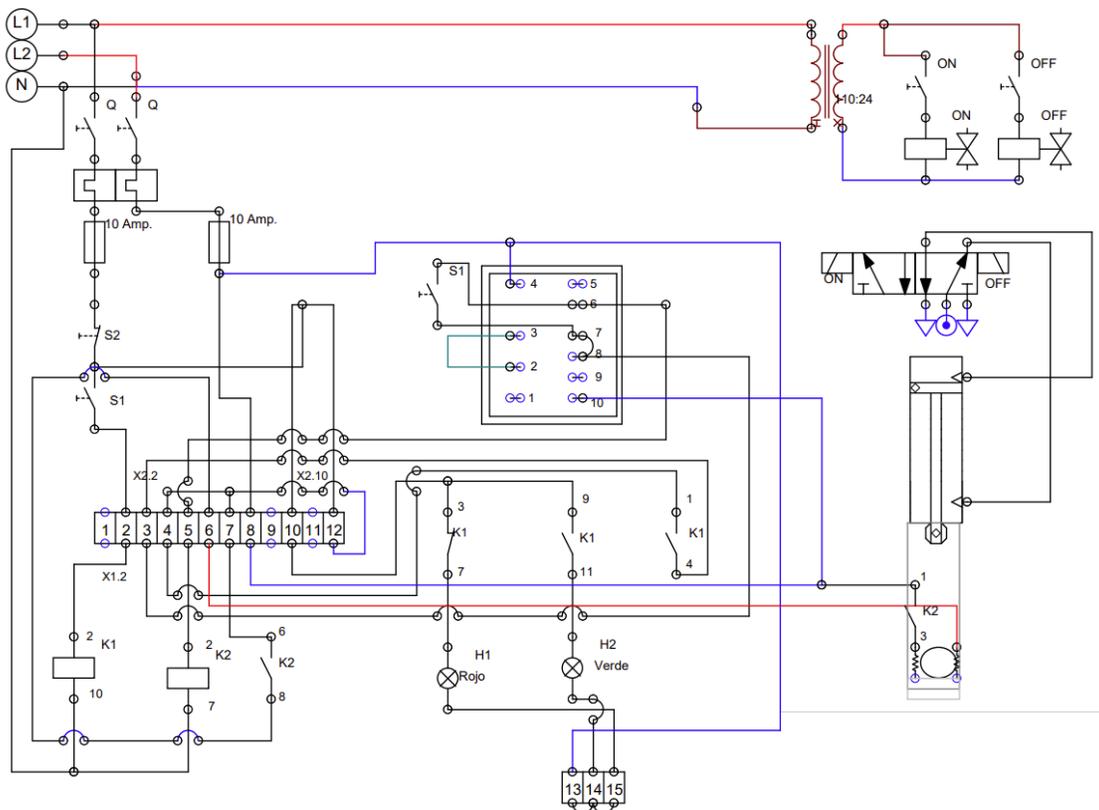
tiempo mínimo. Esto se debe a que el análisis ignora las pérdidas por fricción y la posible obstrucción del flujo en el sistema de paso; así, el tiempo de llenado del molde debe ser mayor que el que se obtiene con la ecuación (17).

Panel de control eléctrico de la Inyectora

Dentro de las pruebas de funcionalidad del tablero de la inyectora, los circuitos encontraban fallas de continuidad y alimentación a los sistema de control de temperatura, por lo cual se creó un nuevo panel de control para el manejo de la máquina como se muestra en la Figura 27.

Figura 27

Diagrama de control y de potencia del conjunto de la inyectora.



Nota. Conexiones eléctricas válidas para 220V.

El diagrama ilustra los componentes controlados dentro del panel de control para el accionamiento electro neumático del pistón encargado de empujar el material plástico. Además, se incorpora una resistencia adicional de 220 vatios para el precalentamiento de la matriz del molde, con el objetivo de evitar defectos como las gotas dentro del molde. El consumo

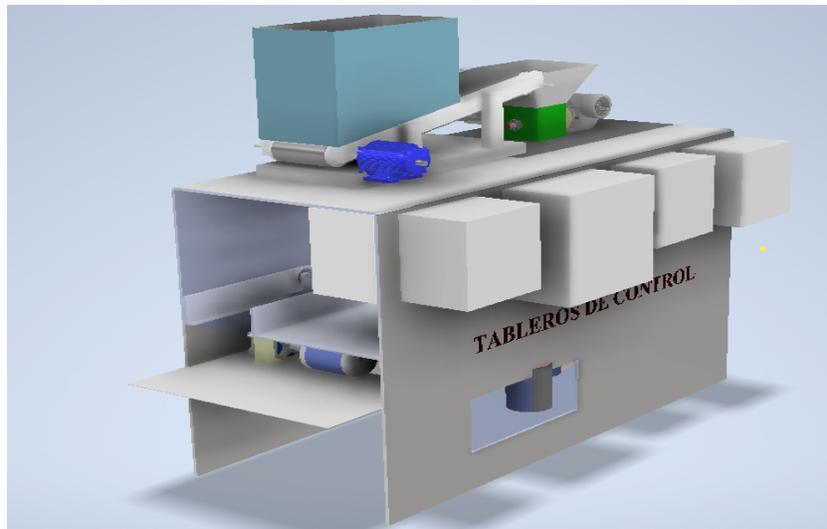
energético se regula con la ayuda de horómetros, los cuales miden el tiempo de funcionamiento de los equipos.

Estructura base de la Línea de producción

Para la implementación de la estructura, se construyó utilizando tubo cuadrado del acero ASTM A36, de 1 1/4 pulgadas con un espesor de 1,5 mm. Se buscó una secuencia de distribución en serie para el ensamblaje de las máquinas, la cual comprende tres áreas principales: 1) Área de alimentación y trituración, 2) Área de distribución y extrusión, y 3) Área de inyección. Estas áreas están compuestas por subsistemas diseñados para mantener activa la línea de producción. Además, la estructura misma incorpora paneles de control destinados a manejar y controlar los parámetros de trabajo en las diferentes áreas.

Figura 28

Sistema completo de la línea de producción



Nota. La distribución de las maquinarias están en serie.

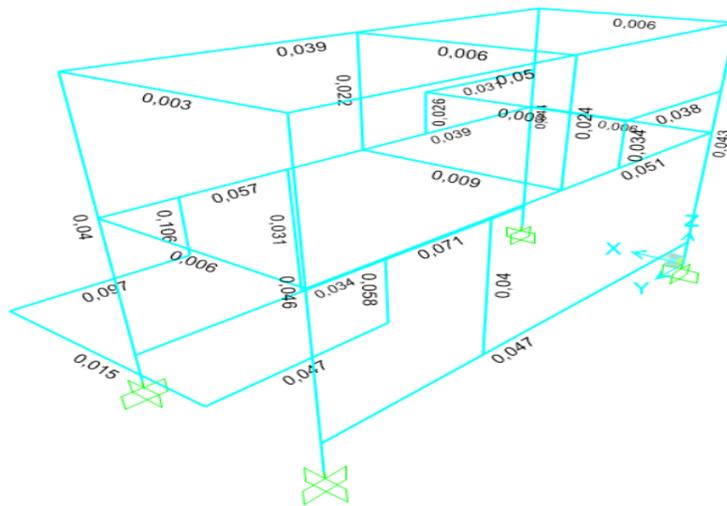
En el análisis estructural, se considera la concentración de cargas muertas que se afectan la línea de producción, determinada por los componentes ensamblados a la estructura, como se ilustra en la Figura 28. Utilizando el software SAP 2000, se aplican las concentraciones de carga que impactan en la estructura.

En referencia a las cargas que inciden en la estructura, se han identificado diversas contribuciones, entre ellas el sistema de trituración con un peso de 40 kg, el cual se ha incorporado en la estructura con un aumento del 20 % conforme a las recomendaciones

normativas. Asimismo, se ha considerado la presencia de la extrusora, cuyo peso es de 20 kg, y la inyectora, que aporta una carga de 15 kg. Adicionalmente, el sistema de peletizado introduce una carga de 12 kg, mientras que los tableros, con un peso de 25 kg cada uno, suman su influencia en la estructura. Estas cargas se han concentrado siguiendo las dimensiones detalladas en el Anexo 9 para garantizar la adecuada distribución y resistencia de la estructura. En la Figura 29, se muestran las relaciones de esfuerzos obtenidas en varias estaciones a lo largo de la viga para cada combinación de cargas de diseño.

Figura 29

Relación del esfuerzo a tracción vs esfuerzo a fluencia del material



Nota. Las secciones de la estructura cuentan con un valor inferior a 1, lo que implica que la estructura es capaz de soportar las cargas impuestas de manera efectiva.

Capítulo 4

Análisis Energético de la línea de producción

En el recorrido de la línea de producción, el consumo por cada área de trabajo es independiente, por lo cual se obtiene el consumo de las máquinas que forman parte de cada área como se muestra en la Tabla 14.

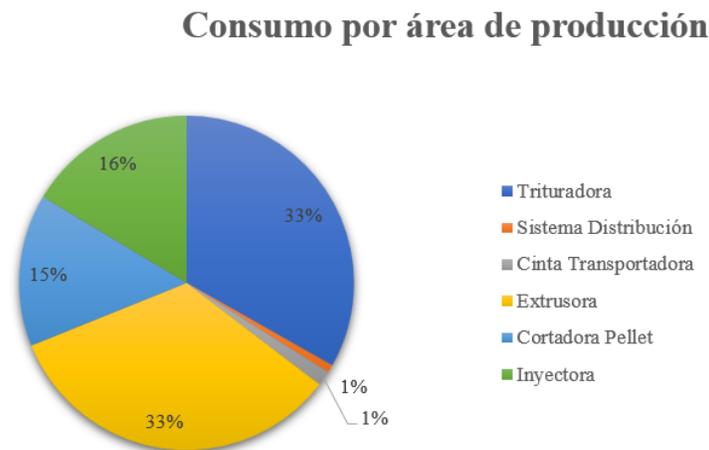
Tabla 14

Consumo energético de la línea de producción

Consumo eléctrico teórico por áreas de trabajo						
Equipo	Elemento	Nº	Consumo W	Hora Uso	Kwh	Kw/Mes
Trituradora	Motor Monofásico	1	1500	1	1,5	642
	Contactador	1	10	1	0,01	4,28
Sistema Distribución	Blower 2" 110V	1	190	1	0,19	81,32
Cinta Transportadora	Motorreductor	1	60	1	0,06	25,68
Extrusora	Motor Trifásico	1	750	1	0,75	321
	Resistencias	4	960	1	0,96	410,88
	Resistencia	1	240	1	0,24	102,72
	Variador de frecuencia	1	60	1	0,06	25,68
	Relé 220V	3	5,5	1	0,006	2,35
	Controlador de TCN 72	1	5	1	0,005	2,14
Cortadora Pellet	Motor 110 V	1	660	1	0,66	282,48
	Bomba Arduino	1	4,8	1	0,005	2,05
Inyectora	Compresor 24 L	1	1000	0,13	0,13	55,64
	Resistencia	1	240	1	0,24	102,72
	Resistencia tubular	1	240	1	0,24	102,72
	Fuente de Alimentación	2	60	1	0,12	51,36
	Controlador de TCN 72	1	5	1	0,005	2,14
				TOTAL	5,18	2217,17

Nota. a) El consumo teórico por cada máquina se encuentran en las placas de identificación, b) En el consumo se toma en cuenta 20h de trabajo por día, 5 días a la semana, durante 1 mes.

El consumo por área esta representado por el diagrama de pastel de la Figura 30, además de los parámetros de cobro de la energía consumida en la Tabla 15.

Figura 30*Representación por áreas el consumo energético***Tabla 15***Costo mensual de la línea de producción*

Consumo	Separación de consumo	Costo del KWh	Valor Consumido
50	50	0,078	3,9
51-100	50	0,08	4,05
101-150	50	0,08	4,15
151-200	50	0,10	4,85
201-250	50	0,10	4,95
251-300	50	0,10	5,05
301-350	50	0,10	5,15
351-500	150	0,11	15,75
501-700	200	0,13	25,70
701-1000	300	0,15	43,50
1001-1500	500	0,17	85,45
1501-2500	649	0,28	178,59
Por comercialización			7,07
Subsidio Cruzado Solidario			10,47
TOTAL A PAGAR			398,62

Nota. El cobro mensual de la energía eléctrica consumida está dado por tablas de consumo el cual el valor de KWh cambia según el margen y considerando subsidios por el consumo.

La proyección real del consumo será dado por tomas de medidas eléctricas que tendrá cada máquina, con la ayuda de pinzas amperimétricas y horómetros, se encuentra el consumo real de manera indirecta Y comparando las Tablas 16 y 14, se puede obtener un rendimiento evaluado por áreas en relación al consumo energético, el cual resulta en un rendimiento total de

la línea implementada del 84% como se muestra en la Figura 31.

Tabla 16

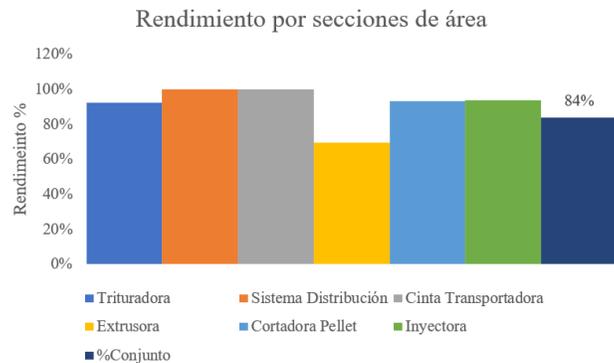
Consumo energético medido en la línea de producción

Consumo eléctrico real por áreas de trabajo						
Equipo	Elemento	Nº	Consumo W	Hora Uso	Kwh	Kw/Mes
Trituradora	Motor Monofásico	1	1430	1	1,43	612,04
	Contactador	1	10	1	0,01	4,28
Sistema Distribución	Blower 2" 110V	1	190	1	0,19	81,32
Cinta Transportadora	Motorreductor	1	60	1	0,06	25,68
Extrusora	Motor Trifásico	1	737,7	1	0,738	315,74
	Resistencias	4	480	1	0,48	205,44
	Resistencia	1	120	1	0,12	51,36
	Variador de frecuencia	1	60	1	0,06	25,68
	Relé 220V	3	5,5	1	0,006	2,35
	Controlador de TCN 72	1	5	1	0,005	2,14
Cortadora Pellet	Motor 110 V	1	616	1	0,616	263,65
	Bomba Arduino	1	2,4	1	0	1,03
Inyectora	Compresor 24 L	1	957	0,13	0,124	53,25
	Resistencia	1	220	1	0,22	94,16
	Resistencia tubular	1	220	1	0,22	94,16
	Fuente de Alimentación 24 V	2	60	1	0,12	51,36
	Controlador de TCN 72	1	5	1	0,005	2,14
TOTAL					4,406	1885,77

Nota. a) El consumo real por cada máquina se encuentran en las placas de identificación, b) En el consumo se toma en cuenta 20h de trabajo por día, 5 días a la semana durante 1 mes.

Figura 31

Representación por áreas del consumo energético



Nota: Rendimiento en función del consumo energético teórico vs real.

Capítulo 5

Evaluación de eficiencia de línea de producción

Para la evaluación de la eficiencia se toma como parámetro clave el tiempo de producción actual vs antiguo, para los cuales se toma el tiempo de producir cierta cantidad de material por las diferentes secciones de área que forman parte de la línea de producción, para este ejemplo se toma como meta trabajar con 3 Kg de material de polietileno.

Tabla 17

Eficiencia y eficacia en relación al tiempo de producción por área

<i>Área</i>	<i>Tiempo (min)</i>			<i>Reducción de tiempo (min)</i>	<i>Error porcentual (%)</i>
	<i>Teórico</i>	<i>Real</i>	<i>Antiguo</i>		
<i>Trituración</i>	11,25	10,7	13	2,3	5%
<i>Alimentación</i>	12,25	11,7	14	2,3	4%
<i>Extrusión</i>	23,22	22,8	27,5	4,7	2%
<i>Corte Pellet</i>	25,22	24,7	30	5,3	2%
<i>Inyección</i>	30	28,3	35	6,7	6%
Promedio:					4%

Nota. El tiempo teórico se encuentra con relación de la cantidad de masa y el flujo másico para máquina estando dadas por las ec. (1)(6)(12).

El tiempo total de producción es relativo para cada área de máquina, ya que implica la fabricación de diversos productos en función de las áreas, como se indica en la tabla 17. Las áreas se dividen en 5 secciones, y el tiempo de operación inicial varía hasta que se adquiera una secuencia de producción continua.

Consideraciones de tiempo durante la línea de producción.

- La trituradora demora 2,16 minutos en procesar 3 kg de plástico picado.
- El blower operará de forma secuencial en conjunto con la trituradora hasta que se complete su tarea.
- La extrusora y la inyectora se precalentará durante los primeros 12 minutos del proceso.
- El tiempo que la extrusora tarda en procesar los 3 kg de material es de 8 min.
- La operación de corte de los pellets espera al filamento de la extrusora durante 2 minutos.
- El corte se llevará a cabo de manera secuencial con la extrusora, por lo que el tiempo total de acción de extrusora y peletizadora será de 10 min.
- El proceso de inyección se lleva a cabo durante la extrusora esta activada.
- El tiempo que enfriamiento de molde matriz de 23,22 min.

$$t_{línea} = t_{trituradora} + t_{Hot+extriny} + t_{enfriamiento} + t_{funcionamiextr} \quad (18)$$

$$t_{línea} = 2,16 + 12 + 23,22 + 10$$

$$t_{línea_{3Kg}} = 47,5 \approx 48min$$

Para la comparación de la producción, se considerará el tiempo real de la generación de productos, el cual fue de 45 min. Esto abarca la preparación de los equipos incluyendo el enfriamiento de la matriz para obtener el producto por inyección, lo cual se utiliza para estimar la eficacia de la línea de producción.

$$\varepsilon r(\%) = \left| \frac{\text{Resultado}_{\text{alcansado}} - \text{Resultado}_{\text{teorico}}}{\text{Resultado}_{\text{teorico}}} \right| * 100\% \quad (19)$$

$$\varepsilon r(\%) = \frac{|45 - 48|}{48} * 100\% = 6,2\%$$

Esto representa la relación entre los resultados obtenidos teóricamente y los resultados prácticos, expresados como $\varepsilon r(\%)$. Además, se busca determinar el incremento en la eficiencia de producción $eff(\%)$, el cual está relacionado con el tiempo necesario para procesar 3 kg de materia prima PP, evaluados tanto antes de la implementación de la línea de producción como al implementarla.

$$eff(\%) = 1 - \frac{\text{Tiempo}_{\text{sin adaptación en serie}}}{\text{Tiempo}_{\text{con adaptación en serie}}} * 100\% \quad (20)$$

$$eff(\%) = \left(1 - \frac{60}{45} \right) * 100\% = 33,5\%$$

Al comparar el manejo manual de los equipos con el uso de un sistema de producción en serie, se observó una diferencia en el tiempo de producción de 15,11 minutos, el cual es dado principalmente por las interacciones entre el operador y las máquinas, especialmente en la alimentación de los equipos, pueden impactar significativamente en el tiempo de producción. Al implementar una línea de producción en serie, se reduce el tiempo necesario para fabricar productos, lo que resulta en un aumento de la eficiencia de producción en un 33,5%.

Capítulo 6

Costos de implementación de la línea de producción

En esta sección se presentan los costos totales asociados con la implementación de los sistemas buffer, triturado, extrusión e inyección. La tabla 18 proporciona una visión general de los costos, mientras que el anexo 5 pag 122 detalla de manera exhaustiva estos gastos. Es importante destacar que estos costos no abarcan el mecanizado de ciertos componentes.

Tabla 18

Costos generales del sistema

Subsistema	Costo
Sistema de trituración	\$136,5
Sistema de banda transportadora	\$115
Sistema de distribución de material triturado	\$90
Sistema Extrusión	\$125,5
Sistema Inyección	\$487
Sistema Peletizado	\$95
Estructura	\$256,75
Extras	\$77,66
Total	\$1383,41

Nota. Costos por áreas que forman parte de la línea de producción en serie. Tomada de OVACEN (2021).

El costo aproximado para el mantenimiento y la implementación de un sistema de producción a pequeña escala, se logro con un monto de aproximado de 1383,41 USD como se observa en la Tabla 18, el cual consta de nuevos sistemas para tener un producto mas eficaz.

En la tabla 19, se puede observar los gastos fijos que se emplearon durante las 12 semanas que se tuvo para la realización del proyecto. El costo abarca un presupuesto aproximado para la realización del mantenimiento correctivo y modificativo de los equipos.

En la tabla 20 se proporciona los costos variables y el valor aproximado del producto terminado, cabe mencionar que el presente proyecto no se enfoca en un estudio de viabilidad del producto, sin embargo se proporciono un monto aproximado de las ganancias que se puede obtener con esta línea de producción artesanal durante un mes, con una producción aproximada de 10 kg de filamento al día y un costo aproximado de 16\$. por cada kg, se tiene lo siguiente:

Tabla 19
Costos Fijos

Concepto	Valor
Taller	\$80
Internet	\$20
Herramientas	\$50
Transporte	\$40
Tornero	\$50
Soldador	\$100
Mano de obra	\$700
Asesoramiento	\$50
Total	\$1090

Nota. La tabla representan los costos fijos presentes durante la fabricación de la línea de producción en serie.

Tabla 20
Costos Variables

	Filamento	Pellets	Figura por inyección
Valor de venta del producto	\$1400	\$1500	\$360
Costo de consumo de máquinas	\$130	\$135	\$140
Costo de materia prima	\$300	\$310	\$50
Sueldos de operador	\$460	\$460	-
Ganancia	\$510	\$595	\$170

Nota. La tabla muestra los costos variables asociados con la fabricación de la línea de producción en serie.

En función de los costos presentadas en las Tablas 19, 20. Ambos tipos de costos son esenciales para comprender y gestionar la estructura de costos del proyecto. Por ejemplo en los costos fijos a medida que la producción aumente, los costos se distribuyen entre mas unidades, lo que puede llevar a una disminución del costo por unidad y aumentar la rentabilidad, al igual que los costos variables.

Capítulo 7

Productos resultantes

Se presentan los productos producidos con la aplicación de los mantenimientos correctivos, modificativos y la instalación de la línea de fabricación en serie el cual consta de los siguientes productos.

Tabla 21

Productos producidos por la línea de fabricación

Conjunto Completo		
		
El conjunto tiene ensamblado todo los equipos y complementos de la línea de producción	El conjunto conta de 3 niveles 1) Nivel triturado, en el cual se adecua la materia prima 2) Nivel de distribución y térmica, en el cual se distribuye la materia hacia la extrusora e inyectora 3) Nivel de inyección, en el cual un pistón neumático comprime la materia hasta un molde matriz	Consta un panel de distribución alimentando las 3 máquinas principales y accesorios necesarios en la línea de producción
Producto	Características	Imagen
Escama	El tamaño de fibra depende de la forma del producto a triturar, pero en una margen promedio se alcanzan tamaños del a 2 cm de largo y 3mm de ancho	
Filamento	Es una sección tubular la cual tiene un diámetro de 3 mm el cual puede ser reducido por un proceso de trefilado	
Pellets	sección tubular a igual al diámetro resultante de la extrusora y un largo promedio de 1 cm.	
Cubo	El resultado es un cubo de 27 cm ³ , resultado del empuje hacia el molde matriz, del proceso resultan primordial eliminar la sección resultante por la mazarota	

Nota. Los productos resultantes son sacados con PP en el cual consta las características de los productos obtenidos.

Conclusiones

- En base a los análisis realizados en los elementos mecánicos principales que componen las máquinas de trituración y extrusión, se encontraron factores de seguridad mayores a 1. Estos análisis se llevaron a cabo mediante el estudio de fallas por energía de distorsión (ED), la cual es útil para materiales dúctiles. Como resultado, se determinó que el sistema de transmisión trabaja de manera efectiva.
- La producción inicial estaba destinada a involucrar tres tipos de plásticos: PET, PP y HDPE. Sin embargo, tras realizar pruebas, se optó por utilizar el polietileno como material base de trabajo. Esto se debe a que sus propiedades térmicas y composición química permiten una mezcla uniforme mientras avanza por las zonas de la extrusora, logrando una fusión homogénea. En caso de trabajar con otros plásticos en el proceso de extrusión, se requerirá la adición de aditivos y material virgen para facilitar la mezcla y la fusión de los polímeros termoplásticos.
- La alimentación de equipos tiene un impacto considerable en el tiempo de producción y en el consumo energético. En procesos manuales, es frecuente que ocurran pérdidas de material debido a errores en la alimentación de las máquinas, así como un mayor costo en el consumo eléctrico. Al implementar una línea de producción en serie, no solo se logra reducir el tiempo de producción, sino también un consumo más eficiente de materia prima y energía. Esto conlleva a un aumento significativo en la eficiencia de producción de los equipos.
- Los mantenimientos correctivos y modificativos implementados en los equipos pueden reducir el tiempo de producción, ya que se adaptan tanto a una distribución independiente como continua, según lo determine el operador. Para lograr esto, se han instalado controles eléctricos en zonas estratégicas en la estructura base de la línea de producción.
- El gasto mensual por el uso de la línea de producción se determina en función de las tarifas de consumo eléctrico. Este gasto asciende a 398,62 USD y se considera mientras la línea esté dentro del rango de consumo de 1,5 a 2,5 kW. Esto se basa en un tiempo de operación de 20 horas al día, durante 5 días a la semana.

- El mantenimiento realizado a la inyectora tuvo un costo aproximado de 487 USD, lo cual se debió a la implementación de un nuevo sistema para inyectar el material. Se desarrolló un prototipo semi-automatizado que consta de un sistema neumático. Sin embargo, para generar ganancias a través de este sistema, será crucial el diseño del molde de inyección, ya que el costo variará según la geometría o forma que tenga la matriz.
- Las máquinas deben pasar por una etapa de precalentamiento de al menos 10 a 15 minutos para alcanzar la temperatura de fusión ideal del material, tanto para la extrusora como para la inyectora. Este período es necesario para que la temperatura se mantenga constante a lo largo del cilindro y también ayuda a prevenir atascos causados por residuos de material. Esto permite que las máquinas, como el motor de la extrusora o el pistón de la inyectora, operen en condiciones óptimas.

Recomendaciones

- Para evitar obstrucción en las boquillas, precalentar los equipos durante la actividad de trituración y trabajar con polietileno si no se dispone de los aditivos necesarios para los otros tipos de plásticos.
- Para reducir el consumo energético tanto en la extrusora como en la inyectora es necesario realizar los cálculos de potencia, para poder determinar en función del material a fundir la potencia requerida, y no sobredimensionar las resistencias.
- Para la obtención del elemento inyectado por la máquina, es necesario conocer la cantidad suficiente de material requerida para la obtención del elemento y evitar el apareamiento de rebabas en la misma.
- Para asegurar el mantenimiento eficiente de una extrusora e inyectora, es crucial establecer un programa regular de mantenimiento preventivo que abarque inspecciones visuales, la correcta lubricación de partes móviles, y la verificación y calibración periódica de los controles de temperatura, presión y velocidad. La limpieza periódica de residuos acumulados, junto con la programación del reemplazo de piezas desgastadas, juega un papel fundamental en la prevención de posibles problemas operativos, asegurando así una producción eficaz y de alta calidad.

Bibliografía

- Alvarez, J. S. L. (2005). *Cementacion solida de aceros, tratamientos termoquimicos*. Universidad Autonoma de Nueva Leon.UANL.España. Retrieved from <http://eprints.uanl.mx/5557/1/1020150661.PDF?fbclid=IwAR3A7CCBfLjXDFMbcL26oSvE2p6zm6mHPb6I0D4UPk63uooP56hgo1fcQpw>
- Arizmendi, J. (2020). *Tratamientos termicos temple, cementacion y nutricion*. Retrieved from <http://ferrepro.mx/temple-cementacion-y-nitruracion-tratamientos-termicos/#:~:text=Al%20proceso%20que%20involucra%20la,acero%20en%20funci%C3%B3n%20del%20tiempo.>
- Askeland, D. (2010). *Dispersion strengthening by phase transformations and heat treatment. essentials of materials science and engineering*. CENGAGE Learning.España.
- Beltran M, M. A. (2012). *Tecnologia de polimeros procesado y propiedades, moldeo por inyeccion*. Universidad de Alicante.España. Retrieved from https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/16980/1/TEMA5_Moldeo_por_inyeccion.pdf
- Biotech, A. (2022). *Produccion por lotes mrp*. Retrieved from https://manufacturing-software-blog.mrpeasy.com/es/produccion-por-lotes/?fbclid=IwAR3f9gLTr92P3zADd5_OKQm082pKaB0YMzA1a5fzdBUyPzfzBZFfx9kiujBM
- Bonilla, A. (2023). *Sistemas de producción para negocios*. Retrieved from <https://bind.com.mx/blog/manufactura-y-produccion/tipos-de-sistemas-de-produccion#:~:text=1.,a%20las%20necesidades%20del%20comprador.>
- Cabañes, A. (s.f.) *Diseño de piezas de plástico para inyección*. España,BASF.
- Canale, G. (2015). *Materialoteca: Perfil ambiental de materiales* (A. Buenos aires, Ed.). doi:ISBN 9789873607936.
- Capmany, J. F. (2014). *Diseño para el moldeo por inyección de plástico. aplicación en producto*. Memoria Tomo 1.
- Cimbala, J. (2023). *Extrusion de materiales polimericos. en tecnologias de fabricacion con materiales polimericos y compuestos*. Universidad Politecnica de Valencia.
- ColorPlastic. (2021). *Recuperacion plastica*. <https://colorplasticcolombia.com>.
- Cordova Cabada, R. A. (2022). *Design of a prototype pf a plastic crusher machine*.

[Quito-Ecuador].

Estació, S. (2023). *Tereftalato de polietileno pet características, usos y aplicaciones*. Retrieved from <https://serveiestacio.com/blog/que-es-el-pet/>

Fuster, F. L. (2021). *Buffer y layout en líneas de producción* (España, Ed.). Mecalux. Retrieved from <https://www.mecalux.com.mx/blog/buffer-almacen>

García-Sabater, J. P. (2020). *Diseño de líneas de producción* (España, Ed.). Universidad Politécnica de Valencia. Retrieved from <https://riunet.upv.es/handle/10251/138801>

Groover, M. (2007). *Fundamentos de manufactura moderna .procesos de conformado para plásticos*. Mexico, McGraw-Hill.

Gugliotta, G. (2019). *Polímeros*. Universidad Nacional del Litoral.

Martin, M. (2023). *Polietileno de alta densidad hdpe*. Retrieved from <https://www.ensavelia.com/blog/que-es-el-polietileno-de-alta-densidad-hdpe-o-pead-id18.htm>

MinAmbiente. (2004). *Principales procesos básicos de transformación de la industria plástica y manejo, aprovechamiento y disposición de residuos plásticos post-consumo* (C. Bogotá, Ed.). doi:9589739342.

Molina, M. (2009). *Diseño e implementación del sistema de control para una inyectora de plástico*. Quito, EPN.

Mott, R. (2006). *Diseño de elementos de máquinas* (México, Ed.). PEARSON Prentice Hall.

Muñoz, D. (2023). *Polipropileno: que es y sus características*. Retrieved from <https://www.plastico.com/es/noticias/polipropileno-que-es-y-sus-caracteristicas>

OVACEN. (2021). *Máquinas para reciclar plástico*. Retrieved from <https://ovacen.com/como-hacer-una-maquina-para-reciclar-plastico/>

Ramírez, A. (1995). *Procesos de transformación de plásticos por inyección: aplicaciones en materiales de ingeniería*. Retrieved from <https://doi.org/10.23850/22565035.1163>

Roberto Carro, D. G. (2023). *Diseño y selección de procesos industriales* (Argentina, Ed.). Universidad nacional del mar del plata.

Roman, J. (2023). *Instituto de tuberías de plástico fabricación por inyección*. <https://www.plasticpipe.org/PPI-Home/PPI-Home/Default.aspx>.

- Romero Á, . P. H., Martínez B. (2023). *Planta prototipo para fabricación de pellets y filamentos de impresión 3d elaborado a partir de botellas pet posconsumo*. Bucaramanga.
- Sandoya, D. . 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 impresión 3d* [Ecuador].
- Schmid, S. K. . S. (2008). *Polímeros termoplásticos de manufactura, ingeniería y tecnología* (México, Ed.). Pearson Educación.
- SeamPedia. (2018). *Línea de producción*. Retrieved from <https://seampedia.com/que-es-una-linea-de-produccion/>
- Tlalnepantla. (2022). *Línea de producción industrial, programación y control industrial, México*. Retrieved from <https://proci.com.mx/products/linea-de-produccion>
- Vlack, L. V. (1991). *Elements of materials science and engineering*. Addison-Wesley Publishing Company.

Apéndices