



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE GUAYAQUIL**  
**CARRERA DE MECATRÓNICA**

**REPOTENCIACIÓN DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA DE  
PLÁSTICO MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA  
AUTOMATIZADO DE CARGA DE MATERIAL PARA LA  
REDUCCIÓN DE TIEMPOS DE FABRICACIÓN**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
Título de Ingeniero en Mecatrónica

**AUTORES:** Angel Francisco Pico Espín  
Carlos Israel De La Puente Castro  
**TUTOR:** David Mateo Cortez Saravia

Guayaquil - Ecuador  
2024 - 2025

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **David Mateo Cortez Saravia**, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **REPOTENCIACIÓN DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA DE PLÁSTICO MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE CARGA DE MATERIAL PARA LA REDUCCIÓN DE TIEMPOS DE FABRICACIÓN**, realizado por **Carlos Israel De La Puente Castro** con documento de identificación N° **0952050698** y por **Angel Francisco Pico Espín** con documento de identificación N° **0950958603**, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción **Dispositivo Tecnológico** que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 11 de Febrero del año 2025

Atentamente,



---

Ing. David Mateo Cortez Saravia.  
0963020193

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

Nosotros, **Carlos Israel De La Puente Castro** con documento de identificación N° **0952050698** y **Angel Francisco Pico Espín** con documento de identificación N° **0950958603**, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del **Dispositivo Tecnológico: REPOTENCIACIÓN DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA DE PLÁSTICO MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE CARGA DE MATERIAL PARA LA REDUCCIÓN DE TIEMPOS DE FABRICACIÓN**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Guayaquil, 11 de Febrero del año 2025

Atentamente,

ISRAEL

---

Carlos Israel De La Puente Castro  
0952050698



---

Angel Francisco Pico Espín  
0950958603

## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, **Carlos Israel De La Puente Castro** con documento de identificación N° **0952050698** y **Angel Francisco Pico Espín** con documento de identificación N° **0950958603**; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo.

Guayaquil, 11 de Febrero del año 2025

Atentamente,

ISRAEL

---

Carlos Israel De La Puente Castro  
0952050698

Angel Pico

---

Angel Francisco Pico Espín  
0950958603

## DEDICATORIA

Dedico mi trabajo a mi familia, especialmente a mis padres y hermana que son el motor de mi vida, quienes siempre han sido mi guía y me han inculcado siempre a estudiar y superarme. Este tributo va dirigido a ellos que son la base de todas mis decisiones y pasos a seguir, por tanto, este logro es en equipo, es nuestro.

**Carlos Israel De La Puente Castro**

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación a mis padres, quienes han sido mi guía y mi fortaleza a lo largo de mi vida, enseñándome con su ejemplo la importancia del trabajo constante y la pasión por lo que se hace. Su amor y dedicación me han dado la seguridad de siempre poder avanzar, sin importar los obstáculos que se presenten.

A mis tíos, por su cariño y apoyo, siempre dispuestos a brindarme sabias palabras de aliento y por estar presentes en los momentos que más lo necesité.

A mis amigos, quienes, con su presencia y apoyo, han sido una constante fuente de motivación y alegría en este proceso.

A mis profesores, cuyas enseñanzas han dejado una huella profunda en mí, brindándome las herramientas necesarias para seguir adelante en cada etapa del camino.

**Angel Francisco Pico Espín**

## AGRADECIMIENTO

Agradezco de forma primordial a dios, a él agradezco la vida y la salud de todos los días.

A mi familia en general por el apoyo brindado, especialmente a mis padres Kelly Castro Ortega y Carlos De la Puente Cornejo, a mi hermana Roslim De la Puente Castro; ellos son la base fundamental de este proceso junto a Jonny Castro Ortega quien además de ser mi tío y jefe, ha sido como un segundo padre en todo este proceso, a él mi cariño y gratitud siempre por todo el apoyo y cariño incondicional brindado.

A la empresa en donde soy colaborador, a sus dueños Jonny Castro Ortega, Freddy Bernal y todo su grupo de colaboradores, ya que ellos con su experiencia y conocimientos me han instruido y apoyado a lo largo de los años, mi cariño y gratitud siempre será especial. Y a todas las personas que han estado presentes de diversas maneras durante esta trayectoria de mi vida y carrera universitaria.

**Carlos Israel De La Puente Castro**

## AGRADECIMIENTO

En primer lugar agradezco a Dios, en su infinita bondad, ha provisto los medios y las oportunidades para que pueda seguir adelante en mi formación, por brindarme la fortaleza y la perseverancia necesarias para alcanzar esta meta.

Agradezco a mi familia en general por su constante apoyo, amor y por creer en mí en cada paso de este camino.

A mis padres, Rita Espín y Johnny Pico, les debo mi más sincera gratitud por los sacrificios que han realizado a lo largo de mi vida. Su esfuerzo y dedicación han sido pilares fundamentales en mi camino, brindándome la motivación y confianza necesarias para seguir adelante. Sus palabras de aliento y su inquebrantable fe en mí han sido mi mayor inspiración.

A mi hermano y abuelitas, les agradezco profundamente por su compañía y respaldo incondicional. Sin su presencia y apoyo, alcanzar esta meta no habría sido posible.

A mis tíos, Angel Cobos y Gladys Espín, con esfuerzo y amor, han hecho todo lo posible para que continúe con mis estudios. Su apoyo constante ha sido una bendición en mi vida y sé que ha sido Dios quien los ha puesto en mi camino para ayudarme a alcanzar mis metas. Gracias por creer en mí, por su generosidad y por ser parte fundamental de este logro.

A mis amigos, aquellos que he tenido el privilegio de conocer a lo largo de mi carrera universitaria, les agradezco de todo corazón por su amistad, por estar siempre a mi lado en los momentos buenos y difíciles. Cada risa compartida, cada consejo sincero y cada gesto de apoyo me ha dado fuerzas para seguir adelante. No solo han sido compañeros de estudio, sino verdaderos pilares en mi vida. Este logro también es reflejo de nuestra amistad y todo lo que hemos vivido juntos, gracias por hacer de esta etapa algo inolvidable.

**Angel Francisco Pico Espín**

## RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo principal la repotenciación de una máquina extrusora de plástico mediante la implementación de un sistema automatizado que integra un blower, una tolva y un temporizador.

Este sistema tiene como objetivo alimentar de manera continua y controlada la carga de materia prima, que consiste en polietileno virgen combinado con masterbatch, utilizado para colorear plásticos. Durante las primeras pruebas de funcionamiento de la máquina repotenciada, se encendieron las termocuplas durante aproximadamente 20 minutos hasta alcanzar una temperatura de 250 °C. Posteriormente, se llenó la tolva con la materia prima y, mediante el temporizador, se activó el blower durante 10 segundos. Luego, se procedió a extruir el material durante cerca de 20 segundos, tiempo que dura el proceso para que el material salga por la boquilla (molde).

El proyecto surge como respuesta a la necesidad de reducir significativamente los tiempos de extrusión, lo que permitirá aumentar la eficiencia y productividad del proceso.

Los resultados obtenidos mediante esta mejora tecnológica evidenciaron las pruebas de funcionamiento realizadas tanto en la máquina manual como en la máquina repotenciada, reduciendo los tiempos de extrusión en un 20,73 % en el primer promedio de ambas máquinas, un 15,5 % en el segundo promedio y un 17,85 % en el tercer promedio, lo que indica un incremento en la productividad de la máquina repotenciada y una mejora en la consistencia de la calidad del producto.

**Palabras claves:** Máquina extrusora, Blower, Tolva, Repotenciación de extrusora, Plástico.

## ABSTRACT

The main goal of this work is the repowering of a plastic extruder machine through the implementation of an automated system that integrates a blower, a hopper and a timer.

The objective of this system is to feed in a continuous and controlled way the raw material load, which consists of virgin polyethylene combined with masterbatch, used to color plastics. During the first test runs of the repowered machine, the thermocouples were turned on for approximately 20 minutes until a temperature of 250 °C was reached. Subsequently, the hopper was filled with the raw material and, using the timer, the blower was activated for 10 seconds. Then, the material was extruded for about 20 seconds, the time it takes for the material to come out of the nozzle (mold).

The project arose in response to the need to significantly reduce extrusion times, which will increase the efficiency and productivity of the process.

The results obtained by means of this technological improvement were evidenced by the operating tests carried out on both the manual machine and the repowered machine, reducing extrusion times by 20.73 % in the first average of both machines, 15.5 % in the second average and 17.85 % in the third average, which indicates an increase in the productivity of the repowered machine and an improvement in the consistency of the quality.

**Keywords:** Extrusion machine, Blower, Industrial Hopper, Extruder upgrade, Plastic.

## ÍNDICE

<b>I.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>II.</b>	<b>PROBLEMA</b>	<b>2</b>
<b>III.</b>	<b>JUSTIFICACIÓN</b>	<b>3</b>
<b>IV.</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>4</b>
IV-A.	Objetivo general . . . . .	4
IV-B.	Objetivos específicos . . . . .	4
<b>V.</b>	<b>FUNDAMENTOS TEÓRICOS</b>	<b>5</b>
V-A.	Polímeros . . . . .	5
V-A1.	Plásticos . . . . .	5
V-A2.	Propiedades de los plásticos . . . . .	5
V-A3.	Aplicaciones del plástico según sus propiedades . . . . .	6
V-A4.	Métodos de fabricación de plásticos . . . . .	6
V-A5.	Tipos de máquina extrusora de plástico . . . . .	7
V-A6.	Componentes de una máquina de extrusión . . . . .	8
V-B.	Extrusión . . . . .	9
V-C.	Tipos de extrusión . . . . .	9
V-D.	Máquina extrusora de plástico manual . . . . .	10
V-E.	Componentes eléctricos . . . . .	10
V-E1.	Temporizador . . . . .	10
V-E2.	Contactores . . . . .	11
V-E3.	Pirómetro digital . . . . .	11
V-F.	Componentes mecánicos . . . . .	12
V-F1.	Tolva . . . . .	12
V-F2.	Blower . . . . .	12
V-F3.	Tubo flexible . . . . .	13
V-G.	Software . . . . .	13
V-G1.	SolidWorks . . . . .	13
V-G2.	Simurelay . . . . .	14
<b>VI.</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO</b>	<b>15</b>
VI-A.	Recolección de datos de operación . . . . .	16
VI-B.	Selección de materiales para proceso de extrusión . . . . .	16
VI-C.	Evaluación de la infraestructura existente . . . . .	17
VI-D.	Definición de especificaciones técnicas . . . . .	17
VI-E.	Mantenimiento Preventivo de la Máquina Extrusora de Plástico . . . . .	18
VI-F.	Diseño de la Tolva con Blower y Tablero de Control . . . . .	18
VI-G.	Diseño y construcción de la tolva . . . . .	19
VI-G1.	Cálculos mecánicos de la tolva y flujo de aire . . . . .	19
VI-G2.	Análisis estático y térmico . . . . .	22
VI-H.	Proceso de construcción de la base de la tolva . . . . .	29
VI-I.	Adecuaciones del tablero de control . . . . .	30
VI-J.	Diseño del molde de la máquina extrusora . . . . .	31
VI-K.	Diseño eléctrico . . . . .	32
VI-L.	Procedimiento para las pruebas realizadas en máquina extrusora de plástico . . . . .	32

<b>VII. RESULTADOS</b>	33
VII-1. Comparación de las tablas de resultado . . . . .	37
<b>VIII. CRONOGRAMA</b>	40
<b>IX. PRESUPUESTO</b>	41
<b>X. CONCLUSIONES</b>	42
<b>XI. RECOMENDACIONES</b>	43
<b>XII. ANEXOS</b>	47
XII-A. Anexo 1 Ficha técnica del Blower . . . . .	47
XII-B. Anexo 2 Proceso de construcción de la Tolva . . . . .	47
XII-C. Anexo 3 Planos de la máquina extrusora de plástico . . . . .	52

## ÍNDICE DE FIGURAS

1.	Clasificación de los polímeros [12]. . . . .	5
2.	Extrusora de un solo tornillo [26]. . . . .	7
3.	Extrusora de doble tornillo [28]. . . . .	8
4.	Diagrama de una máquina extrusora [30]. . . . .	8
5.	Extrusión directa [31]. . . . .	9
6.	Extrusión Indirecta o Inversa [31]. . . . .	9
7.	Máquina extrusora de plástico [33]. . . . .	10
8.	Temporizador MLR1 [35]. . . . .	10
9.	Contactador [37]. . . . .	11
10.	Pirómetro Digital [39]. . . . .	11
11.	Tolva [41]. . . . .	12
12.	Blower Industrial 1.5HP - 220V [43]. . . . .	12
13.	Tubo Flexible [45]. . . . .	13
14.	Software SolidWorks [47]. . . . .	13
15.	App Simurelay [49]. . . . .	14
16.	Diagrama de flujo del Proyecto por A. Pico y I. De La Puente . . . . .	15
17.	Polietileno . . . . .	16
18.	Masterbatch . . . . .	16
19.	Máquina extrusora de plástico sin modificar . . . . .	17
20.	Mantenimiento de máquina extrusora, por A. Pico y I. De La Puente. . . . .	18
21.	Diseño de blower y tolva en Solidworks, por A. Pico y I. De La Puente. . . . .	18
22.	Von Mises de la tolva material, por A. Pico y I. De La Puente. . . . .	23
23.	Desplazamientos en la tolva material, por A. Pico y I. De La Puente. . . . .	24
24.	Deformación unitaria en la tolva material, por A. Pico y I. De La Puente. . . . .	24
25.	Desplazamientos en el tornillo sin fin, por A. Pico y I. De La Puente. . . . .	26
26.	Deformación unitaria en el tornillo sin fin, por A. Pico y I. De La Puente. . . . .	27
27.	Tensión de Von Mises del tornillo sin fin, por A. Pico y I. De La Puente. . . . .	27
28.	Temperatura del tornillo sin fin, por A. Pico y I. De La Puente. . . . .	28
29.	Simulación de Fluido, por A. Pico y I. De La Puente. . . . .	28
30.	Trayectoria donde va a pasar el material, por A. Pico y I. De La Puente. . . . .	29
31.	Base de tolva, por A. Pico y I. De La Puente. . . . .	29
32.	Realización de agujeros en la placa, por A. Pico y I. De La Puente. . . . .	30
33.	Conexiones internas del tablero de control, por A. Pico y I. De La Puente. . . . .	30
34.	Ensamble de Blower, Tolva y Tablero, por A. Pico y I. De La Puente. . . . .	31
35.	a. Molde de extrusión de plásticos, b. Molde renderizado, por A. Pico y I. De La Puente. . . . .	31
36.	Plano del diseño de molde de extrusión de plásticos, por A. Pico y I. De La Puente. . . . .	32
37.	Máquina extrusora antes de la implementación, por A. Pico y I. De La Puente. . . . .	33
38.	Máquina extrusora de plástico repotenciada, por A. Pico y I. De La Puente. . . . .	34
39.	Máquina extrusora en funcionamiento, por A. Pico y I. De La Puente. . . . .	35
40.	Mezcla de materia PE con pigmento de color, por A. Pico y I. De La Puente. . . . .	36
41.	Salida del material PE con Pigmento de color, por A. Pico y I. De La Puente. . . . .	36
42.	Especificaciones técnicas del Blower, por A. Pico y I. De La Puente. . . . .	47
43.	Corte de la placa para la tolva, por A. Pico y I. De La Puente. . . . .	47
44.	Perforaciones para empernar el dosificador, por A. Pico y I. De La Puente. . . . .	48
45.	Construcción del molde, por A. Pico y I. De La Puente. . . . .	49
46.	Componentes esenciales para ensamblar a la máquina extrusora, por A. Pico y I. De La Puente. . . . .	50
47.	Acople de la tolva a la máquina extrusora, por A. Pico y I. De La Puente. . . . .	51
48.	Tolva material, por A. Pico y I. De La Puente. . . . .	52
49.	Boquilla Extrusor, por A. Pico y I. De La Puente. . . . .	53
50.	Ensamble de la máquina extrusora de plástico, por A. Pico y I. De La Puente. . . . .	54

## ÍNDICE DE TABLAS

I.	Clasificación de los plásticos [14]. . . . .	5
II.	Componentes de una extrusora de plástico [29]. . . . .	8
III.	Propiedades físicas de la tolva material, por A. Pico y I. De La Puente. . . . .	22
IV.	Cargas aplicadas en la tolva material, por A. Pico y I. De La Puente. . . . .	22
V.	Fuerzas resultantes en la tolva material, por A. Pico y I. De La Puente. . . . .	23
VI.	Propiedades físicas del tornillo sin fin, por A. Pico y I. De La Puente. . . . .	25
VII.	Cargas aplicadas en el tornillo sin fin, por A. Pico y I. De La Puente. . . . .	25
VIII.	Fuerzas resultantes en el tornillo sin fin, por A. Pico y I. De La Puente. . . . .	26
IX.	Datos de la máquina extrusora manual, por A. Pico y I. De La Puente. . . . .	37
X.	Promedios de los tiempos de extrusión de la máquina manual, por A. Pico y I. De La Puente. . . . .	37
XI.	Datos de la máquina extrusora repotenciada, por A. Pico y I. De La Puente. . . . .	38
XII.	Promedios de los tiempos de extrusión de la máquina repotenciada, por A. Pico y I. De La Puente. . . . .	38
XIII.	Cronograma . . . . .	40
XIV.	Presupuesto . . . . .	41

## I. INTRODUCCIÓN

La industria del plástico desempeña un papel crucial en el desarrollo de productos para múltiples sectores, desde el embalaje hasta la construcción.

En este contexto, las máquinas extrusoras son equipos fundamentales, ya que permiten transformar materiales plásticos en productos con formas específicas. Sin embargo, las máquinas extrusoras tradicionales suelen presentar limitaciones en términos de eficiencia y productividad. Una de las principales causas de ineficiencia es la carga manual de material, una tarea que consume tiempo y es susceptible a errores humanos.

La extrusión neumática con respecto a la extrusión convencional ofrece una alternativa viable para el reciclaje de plásticos, pero su éxito depende de la calidad del material y de las condiciones del proceso [1]. Se propone repotenciar una máquina extrusora de plástico mediante la implementación de un sistema automatizado de carga material para una máquina extrusora.

La automatización en el proceso de carga de material se presenta como una alternativa prometedora que no solo busca reducir los tiempos de fabricación, sino también minimizar la intervención humana, mejorar la consistencia del proceso y aumentar la capacidad productiva [2].

El etiquetado manual ha demostrado ser un cuello de botella en muchas empresas. Por ende, con el tiempo, la automatización de procesos en la industria se vuelve esencial [3]. Por lo tanto la automatización garantiza un suministro continuo y uniforme de material, lo que contribuye a la calidad del producto final.

## II. PROBLEMA

La industria del plástico en Ecuador ha experimentado un crecimiento en los últimos años, impulsado por la adopción de nuevas tecnologías, como las extrusoras automáticas de plástico [4]. Sin embargo, este desarrollo ha traído desafíos significativos. El uso de estas máquinas requiere un control preciso de la temperatura y una capacidad de producción elevada, lo que aumenta la complejidad operativa y puede generar un aumento de 30 % en la carga operativa sobre las empresas locales. Además, la necesidad de mantener operaciones eficientes y de alta calidad implica un esfuerzo constante en términos de mantenimiento y formación de personal, lo que podría ser un reto para muchas empresas del sector.

El tiempo de producción es una de las áreas que puede ser mejorada, ya que al emplear máquinas extrusoras de plástico manuales los tiempos de producción son inherentemente altos. Cada ciclo de extrusión puede durar entre 5 y 15 minutos. Este tiempo es considerablemente mayor en comparación con los procesos automatizados de extrusión y termo-formado, lo que resulta en un porcentaje significativamente más alto de tiempo de producción [5].

Así también, la vida útil estimada de este tipo de maquinaria manual se sitúa entre los 10 y 20 años. Sin embargo, varios factores pueden influir en la duración efectiva de su funcionamiento. Entre estos, destacan la cantidad de horas de operación, la intensidad y la frecuencia del uso, así como las condiciones ambientales en las que la máquina se utiliza. La falta de mantenimiento o el uso excesivo pueden acelerar el desgaste de los componentes, reduciendo significativamente la durabilidad esperada del equipo [6].

Finalmente, la industria del plástico enfrenta una limitación significativa debido a la falta de sensores que permitan una automatización completa del proceso de producción. Áreas críticas, como la detección del límite máximo de llenado de la tolva y la automatización del sistema de carga, suelen carecer de la tecnología necesaria para optimizar su funcionamiento. Esta carencia no solo prolonga los tiempos de producción, sino que también genera repercusiones económicas y compromete la seguridad industrial. La ausencia de un sistema de carga automatizado conlleva a ineficiencias operativas, resultando en pérdidas financieras para las empresa del sector [7].

### III. JUSTIFICACIÓN

La implementación de un sistema automático en la máquina extrusora tiene como objetivo la reducción de tiempo de producción al realizar tareas esenciales como reabastecimiento de material, el control de temperatura y la extracción del producto final. Este proyecto de suma importancia para la industria del plástico ya que no solo acorta los ciclos de producción y mejora la eficiencia operativa, sino que también permite un mayor volumen de producción en un menor tiempo.

Realización de mantenimientos preventivos cada 6 meses con el fin de identificar problemas de manera anticipada, asegurando que la máquina se mantenga en condiciones óptimas. Gracias a esto, las máquinas pueden operar durante períodos prolongados. Además, el sistema automatizado de carga de material incorpora un temporizador que controla el reabastecimiento de material, lo cual garantiza un suministro constante y adecuado en el proceso de extrusión. Este temporizador permite programar el momento exacto de recarga, evitando pausas innecesarias y asegurando que la extrusora siempre cuente con la cantidad de material óptima para operar sin interrupciones. En conjunto, estos beneficios optimizan el ciclo de producción y reducen significativamente los tiempos y costos asociados [8].

Instalación de sensores que permitan un control preciso de la cantidad de material en la tolva, evitando desbordamiento y asegurando un suministro continuo del material sin interrupciones con la finalidad de optimizar la eficiencia de la extrusora de plástico automática. Además, integrar un sistema de carga automática permitirá mantener la tolva constantemente abastecida sin necesidad de intervención manual, reduciendo significativamente los tiempos de inactividad. Estas mejoras no solo acelera el proceso de producción, sino que también minimizarán las pérdidas operativas, aumentando la eficiencia general de la planta [9].

La repotenciación de una máquina extrusora de plástico mediante la automatización de la carga de material es una estrategia innovadora que optimiza la eficiencia del proceso de fabricación, reduciendo tiempos muertos y mejorando la consistencia del producto final. Esta actualización implica agregar los componentes y sistemas de la extrusora de manera automatizada, lo que permite una gestión eficiente del material en tiempo real. Como resultado, se incrementa la productividad, se reduce el desperdicio y los costos operativos y se prolonga la vida útil de la maquinaria, evitando la necesidad de adquirir nuevos equipos. En un mercado competitivo, la automatización es clave para asegurar la rapidez y la eficiencia en la producción [10].

## IV. OBJETIVOS

### *IV-A. Objetivo general*

Repotenciar una máquina extrusora de plástico mediante la implementación de un sistema automatizado utilizando un blower para el transporte del material.

### *IV-B. Objetivos específicos*

- Diseñar un sistema automatizado de carga de material que permita su acople a la estructura existente de la extrusora.
- Implementar un sistema automatizado que integre un blower y un temporizador, asegurando un suministro constante y eficiente.
- Validar las mejoras implementadas mediante pruebas de funcionamiento donde se evidencie la reducción de tiempos de fabricación.

## V. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### V-A. Polímeros

Los polímeros constituyen grandes estructuras moleculares que resultan de la combinación de unidades más simples llamadas monómeros [11].

La evolución tecnológica en la industria del plástico ha permitido sintetizar una amplia gama de polímeros con propiedades mecánicas diversas. Tal como se aprecia en la figura 1, estos materiales pueden ser clasificados en diferentes categorías:

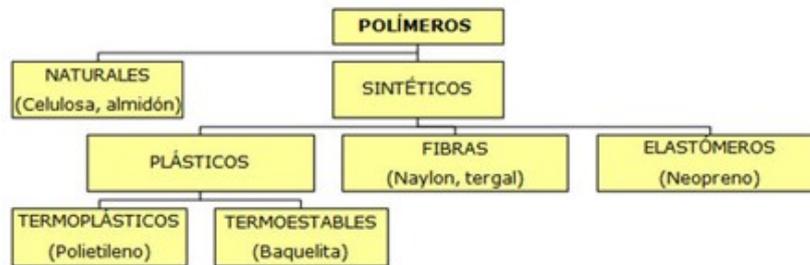


Figura 1. Clasificación de los polímeros [12].

V-A1. *Plásticos*: Los plásticos son materiales de origen sintético que se producen mediante procesos de polimerización a partir de derivados del petróleo. Aunque comparten su origen orgánico con materiales como la madera, el papel o la lana, su fabricación se basa en recursos naturales como el carbón, el gas natural, la celulosa, la sal y el petróleo [13].

Los plásticos pueden clasificarse de diversas maneras, dependiendo de las propiedades más relevantes desde la perspectiva del diseño de piezas y la selección del material para aplicaciones específicas, como se muestra en la Tabla I.

Tabla I  
CLASIFICACIÓN DE LOS PLÁSTICOS [14].

Tipo de Plástico	Descripción	Ejemplos
Termoplásticos	Son plásticos con moléculas dispuestas para volverse suaves al calentarse y endurecerse al enfriarse, permitiendo moldearlos fácilmente. El proceso reversible sin descomposición para reutilización en fabricación.	ABS, PVC, poliestireno, polipropileno, poliamidas, poliacetales.
Termoestables	Estos plásticos, al enfriarse después de ser moldeados, se vuelven tan duros que no pueden ser recalentados para cambiar su forma.	Baquelita, Resina de poliéster, Melanina.
Elastómeros	Son polímeros de alta elasticidad que, al someterse a una fuerza deformadora, muestran una notable capacidad para volver a su forma inicial después que se retira dicha fuerza.	Silicona, Caucho, Neopreno

V-A2. *Propiedades de los plásticos*: El plástico se distingue por su flexibilidad y su capacidad para moldearse en diversas formas y adaptarse a múltiples aplicaciones, siendo estas algunas de sus propiedades físicas más destacadas.

- **Plasticidad:**  
Se refiere a la capacidad de un material para deformarse sin llegar a fracturarse [15].
- **Resistencia:**  
Evalúa la capacidad de un material para soportar fuerzas externas [16].
- **Rigidez:**  
Determina el grado de oposición de un material frente a la deformación [16].
- **Dureza:**  
Indica la capacidad de un material para resistir la deformación cuando se le aplica una carga concentrada [16].

- **Tenacidad:**  
Se relaciona con la habilidad de un material para absorber energía durante impactos sin romperse [16].
- **Ductilidad:**  
Los plásticos son materiales extremadamente versátiles que pueden moldearse fácilmente en diferentes formas y tamaños, lo que los hace ideales para fabricar una amplia gama de productos [17].
- **Transparencia:**  
Ciertos plásticos, como el PMMA (polimetilmetacrilato), son translúcidos y se utilizan en productos como ventanas, lentes y otros elementos similares [17].
- **Resistencia:**  
Aunque el plástico es conocido por su flexibilidad, también puede ser sorprendentemente resistente y duradero. Según el tipo de plástico, puede ofrecer una alta resistencia al impacto, a la tracción y a la abrasión [17].
- **Aislante térmico y eléctrico:**  
La baja conductividad térmica y eléctrica de muchos plásticos los convierte en excelentes materiales aislantes para usos como cables eléctricos y piezas electrónicas [17].
- **Punto de fusión:**  
Los plásticos destacan por su alta resistencia a temperaturas elevadas, gracias a su elevado punto de fusión, lo que les permite mantener su solidez sin ablandarse ni derretirse fácilmente [18].

#### V-A3. *Aplicaciones del plástico según sus propiedades:*

- **Envases y embalajes:** Por su bajo peso y durabilidad, los plásticos son ideales para fabricar botellas, bolsas y recipientes [19].
- **Construcción:** Su resistencia a la corrosión los hace aptos para la elaboración de tuberías, ventanas, puertas y otros componentes estructurales [19].
- **Industria automotriz:** Ayudan a reducir la masa de los vehículos, lo cual incrementa la eficiencia en el uso de combustible [19].
- **Electrónica:** Son utilizados en la fabricación de carcasas, componentes y revestimientos de cables [19].
- **Textiles:** Juegan un papel clave en la producción de fibras sintéticas como el nylon y el poliéster, reconocidos por su gran durabilidad [19].
- **Agricultura:** Se emplean en la fabricación de materiales como invernaderos, sistemas de riego y herramientas para el sector agrícola [19].
- **Medicina:** Son fundamentales para producir dispositivos médicos, envases estériles y prótesis biocompatibles [19].

#### V-A4. *Métodos de fabricación de plásticos:*

*Los métodos para transformar el plástico son:*

- **Inyección:**  
El material fundido se inyecta a alta presión en un molde a través de una abertura conocida como 'compuerta'. Las cavidades del molde determinan la forma final de la pieza que se desea fabricar. Una de las mayores ventajas de este procedimiento es el corto tiempo de producción, lo que lo convierte en una alternativa ideal para la fabricación de grandes series de piezas [20].
- **Termoformado:**  
El termoformado es un proceso que implica calentar una lámina de plástico hasta que se ablanda, lo que permite moldearla en una forma específica utilizando un molde. Una vez que se ha dado la forma deseada, la pieza se enfría para conservar su contorno.  
Este procedimiento es frecuentemente utilizado en la fabricación de una variedad de productos, como cajas, componentes de automóviles, bandejas, envases y mucho más [21].

- **Extrusión:**

Es un procedimiento industrial que permite fundir y moldear diferentes tipos de polímeros, como termoplásticos y elastómeros, mediante la aplicación de presión constante para lograr la forma requerida.

Este método se ocupa en la fabricación de una amplia gama de productos plásticos, incluidas tuberías, diversas piezas, películas y perfiles. Su gran versatilidad lo convierte en una técnica fundamental en la industria del plástico [22].

- **Por compresión:**

El plástico fundido se introduce en un molde abierto, donde una prensa aplica fuerza para cerrarlo y permitir que el plástico se distribuya uniformemente por toda la cavidad. Este proceso de fabricación utiliza diversos materiales reciclados, incluyendo plásticos, resinas sintéticas y caucho [23].

- **Soplado:**

Se emplea la presión del aire para inflar el plástico previamente extruido en la cavidad de un molde. Para lograr esto, primero se crea un tubo de plástico derretido, y luego se introduce aire a presión en su interior para expandirlo y darle la forma deseada [23].

- **Moldeo rotacional o rotomoldeo:**

Esta técnica implica el uso de un molde hueco, que se llena con resina en forma de polvo o líquida, lo que permite que la resina cubra toda la superficie y dé lugar a la pieza deseada. No es necesario aplicar esfuerzos, basta con aplicar calor.

Este método ofrece una notable versatilidad en la producción y una gran libertad en el diseño. Por esta razón, en los últimos años ha captado la atención del sector industrial, ya que facilita la fabricación de piezas complejas de manera sencilla y con costes reducidos en comparación con otras técnicas de procesamiento de plásticos [24].

V-A5. *Tipos de máquina extrusora de plástico:*

*Existen principalmente dos tipos de máquinas extrusoras de plástico:*

1. **Extrusora de un solo tornillo:**

Este tipo es el más común y se adapta perfectamente a la extrusión de polímeros puros. Su diseño consiste en un único tornillo que gira dentro de un cilindro. A medida que el tornillo transporta los gránulos de plástico desde un extremo hasta el otro del barril, los calienta y los funde en el proceso. Posteriormente, el plástico derretido es empujado a través de una matriz que lo moldea en un perfil continuo [25].



Figura 2. Extrusora de un solo tornillo [26].

**2. Extrusora de doble tornillo:**

En contraste, las extrusoras de doble tornillo poseen dos tornillos paralelos que pueden girar tanto en el mismo sentido como en direcciones opuestas. Este diseño no solo mejora la mezcla de los materiales, sino que también permite la incorporación de una mayor variedad de aditivos, como rellenos y refuerzos. Esto facilita la incorporación de diferentes elementos de mezclado o transporte en diversas posiciones, lo que mejora la homogeneidad del material y permite la manipulación de polímeros más complejos o compuestos. Estas características convierten a las extrusoras de doble husillo en la opción perfecta para aplicaciones que exigen un alto grado de precisión y personalización [27].



Figura 3. Extrusora de doble tornillo [28].

V-A6. *Componentes de una máquina de extrusión:* Un extrusor está compuesto por varios elementos fundamentales que colaboran de manera armoniosa para llevar a cabo el proceso de extrusión. Entre los componentes más destacados se encuentran:

Tabla II  
COMPONENTES DE UNA EXTRUSORA DE PLÁSTICO [29].

Componentes	Descripción
Tornillo o husillo	Este es el componente principal de extrusor, cuyo propósito es transportar, mezclar y fundir el material plástico.
Cilindro	Se trata de la parte del extrusor donde se encuentra el tornillo. Su diseño está orientado a calentar y mantener la temperatura adecuada para asegurar una correcta fusión del plástico.
Troquel	Esta pieza define la forma final del producto extruido.
Tolva	Este es el punto de inicio donde se introduce el material en la extrusora.
Matriz	Una pieza de metal diseñada para moldear el material fundido en la forma deseada.
Cooler	Un dispositivo que enfría el producto tras el proceso de extrusión.

En la figura 4 se muestran las partes de una máquina de extrusión de plástico.

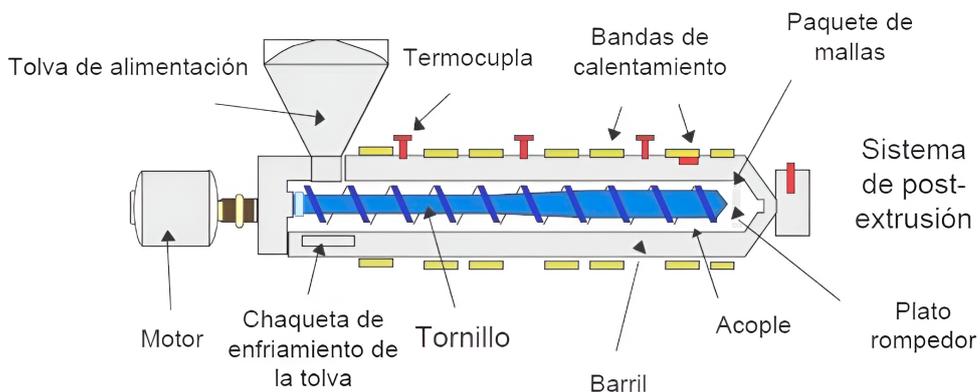


Figura 4. Diagrama de una máquina extrusora [30].

### V-B. Extrusión

La extrusión es un método de fabricación en el cual un material, como metal, plástico o cerámica, es empujado mediante de una matriz que le otorga una forma particular. Este proceso permite obtener productos con un perfil transversal uniforme, determinado por la geometría de la matriz utilizada [1].

### V-C. Tipos de extrusión

#### Extrusión directa:

Este proceso consiste en que el material fluya en la misma dirección que el movimiento del émbolo. Es un método ampliamente utilizado para fabricar diversas secciones transversales, asegurando uniformidad en toda la pieza extruida.

La extrusión directa puede realizarse en condiciones tanto calientes como frías. Durante el proceso, el desplazamiento del material y las fuerzas aplicadas están condicionados por la fricción generada por el contacto entre las superficies [31].

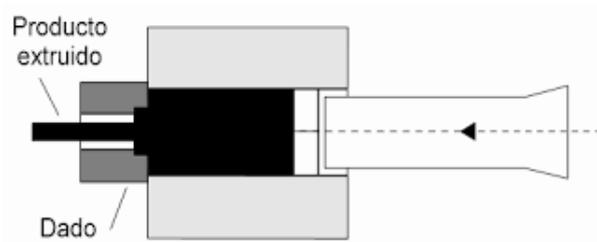


Figura 5. Extrusión directa [31].

#### Extrusión indirecta:

También conocida como extrusión inversa o hacia atrás, se distingue porque el dado está montado en el pistón en lugar de ubicarse en el extremo opuesto del contenedor. En este método, el troquel avanza hacia el recipiente desde la parte frontal de la pieza hueca, sin que haya un movimiento significativo entre el tocho y las paredes del contenedor. Esto elimina la fricción entre la superficie del tocho y el contenedor, evitando el desplazamiento del centro se mueva en relación con sus áreas circundantes [31].

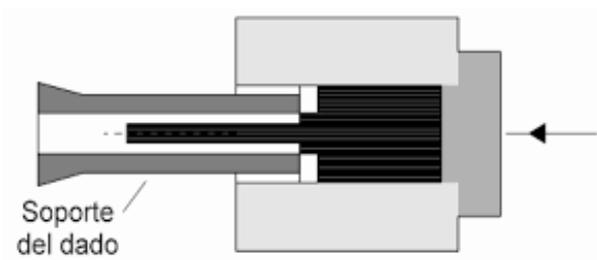


Figura 6. Extrusión Indirecta o Inversa [31].

#### V-D. Máquina extrusora de plástico manual

Es un equipo esencial en la industria del plástico, utilizado para fundir y moldear el plástico de manera continua. Este dispositivo es crucial en la elaboración de una gran variedad de productos plásticos, que van desde artículos pequeños como juguetes hasta grandes componentes como tubos. Su versatilidad se debe a la capacidad de procesar diferentes tipos de materiales plásticos y producir una amplia variedad de productos, convirtiéndola en una herramienta imprescindible en cualquier planta de fabricación de plástico [32].

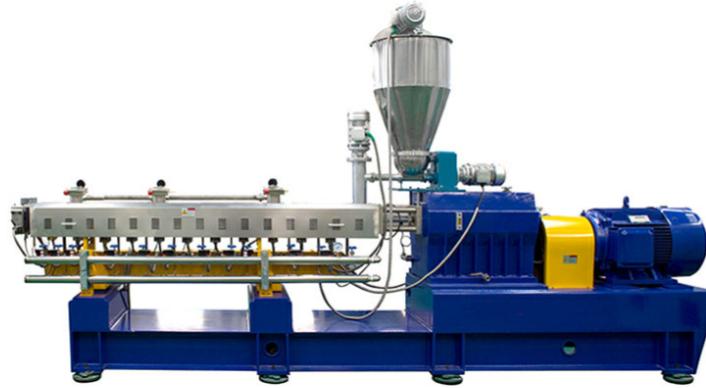


Figura 7. Máquina extrusora de plástico [33].

#### V-E. Componentes eléctricos

V-E1. *Temporizador*: Estos dispositivos son prácticos y versátiles, brindando una manera conveniente de gestionar el tiempo de operación de equipos eléctricos. Tanto en el hogar como en la industria o la agricultura, los temporizadores eléctricos ofrecen una solución eficaz para automatizar tareas y optimizar el consumo energético [34].



Figura 8. Temporizador MLR1 [35].

*V-E2. Contactores:* Es un equipo electromecánico diseñado para gestionar el flujo de corriente en circuitos de potencia. Su propósito principal es permitir la apertura o cierre de circuitos eléctricos de forma remota y automática, facilitando el encendido y apagado de dispositivos eléctricos de alta potencia, como motores, sistemas de calefacción, luminarias y otros equipos utilizados en entornos industriales [36].



Figura 9. Contactor [37].

*V-E3. Pirómetro digital:* Es un dispositivo diseñado para determinar la temperatura de un objeto sin contacto físico. Funciona al detectar la radiación infrarroja que emite el objeto y transformar esa información en una lectura de temperatura que se muestra en una pantalla digital.

Este instrumento resulta especialmente útil en situaciones donde el contacto directo es complicado o riesgoso, como en superficies muy calientes, objetos en movimiento o áreas de difícil acceso. Se utiliza ampliamente en la industria metalúrgica, procesos de manufactura, laboratorios y para la inspección de sistemas de calefacción y refrigeración [38].



Figura 10. Pirómetro Digital [39].

#### V-F. Componentes mecánicos

V-F1. *Tolva*: Es un contenedor de gran capacidad con forma de embudo, diseñado para almacenar y dirigir materiales en polvo o gránulos. Su diseño, usualmente cónico, permite cargar el material por la parte superior y descargarlo de manera controlada mediante una compuerta en la base. Estas estructuras se utilizan ampliamente en diversos sectores como la agricultura, la construcción y la industria farmacéutica, entre otros. Según su aplicación y el tipo de material a manejar, las tolvas se fabrican con materiales específicos adaptados a sus requisitos [40].



Figura 11. Tolva [41].

V-F2. *Blower*: Un blower se emplea para operar en estanques pequeños y controlados. Este dispositivo está equipado con un motor diseñado con materiales especializados que resisten trabajos exigentes y permiten la generación de oxígeno a altas presiones.

Su principal objetivo es suministrar aire comprimido de manera silenciosa y con muy bajas vibraciones, convirtiéndolo en una opción perfecta para su uso en lagos y estanques. De esta forma, asegura el oxígeno necesario para favorecer el crecimiento de los peces y optimizar su productividad [42].



Figura 12. Blower Industrial 1.5HP - 220V [43].

V-F3. *Tubo flexible*: Las tuberías flexibles están fabricadas con diversos materiales, como plásticos (PVC, polietileno, polipropileno), elastómeros, cauchos e incluso metales, dependiendo de la aplicación, temperatura, presión y fluidos a transportar.

Su principal ventaja es la flexibilidad, que les permite adaptarse a diferentes configuraciones de instalación, como curvarse o enrollarse, lo que resulta útil en espacios limitados.

Estas tuberías son resistentes a la corrosión y a la abrasión, lo que aumenta su vida útil en entornos hostiles, y su diseño liviano facilita su instalación, ya que no requieren un soporte robusto y se pueden colocar rápidamente. Además, algunas de ellas poseen propiedades de aislamiento acústico y térmico, reduciendo la transmisión de ruido y temperatura, lo que es beneficioso cuando [44].



Figura 13. Tubo Flexible [45].

#### V-G. Software

V-G1. *SolidWorks*: Es un software CAD orientado al diseño mecánico, que opera en un entorno gráfico compatible con Windows. Esta herramienta permite crear de forma rápida y sencilla modelos sólidos en 3D, ensamblajes y dibujos técnicos. Su sistema de modelado paramétrico facilita la modificación y creación de variantes de diseño, ya que las dimensiones y relaciones establecidas durante el proceso se almacenan directamente en el modelo [46].



Figura 14. Software SolidWorks [47].

V-G2. *Simurelay*: Es un simulador diseñado para asistir en la creación y diseño de sistemas electromecánicos. Esta herramienta permite la elaboración de una amplia variedad de esquemas eléctricos, utilizando componentes básicos como relés, interruptores, pulsadores, contactores, temporizadores y motores, entre otros.

La aplicación está específicamente desarrollada para ensamblar y simular circuitos de control eléctrico, abarcando tanto el circuito de control como el de potencia, y ofrece una diversidad de motores eléctricos para su implementación [48].

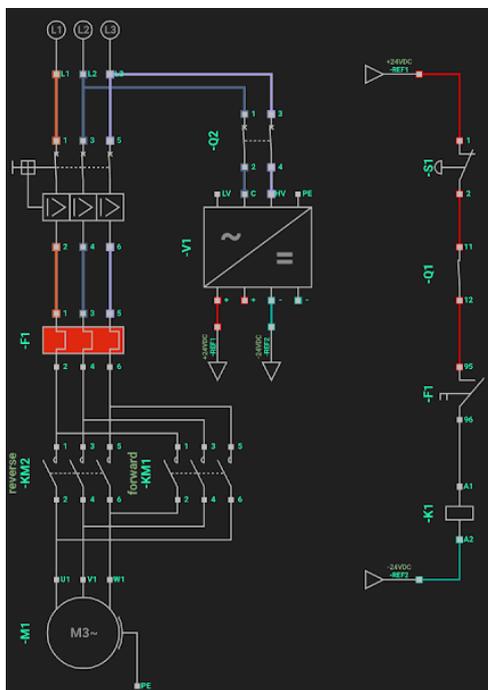


Figura 15. App Simurelay [49].

## VI. MARCO METODOLÓGICO

Este diagrama describe un proceso paso a paso para automatizar una máquina extrusora, desde la evaluación inicial hasta la puesta en marcha y pruebas del sistema final. El objetivo principal consiste en optimizar la eficiencia y reducir los tiempos de fabricación.

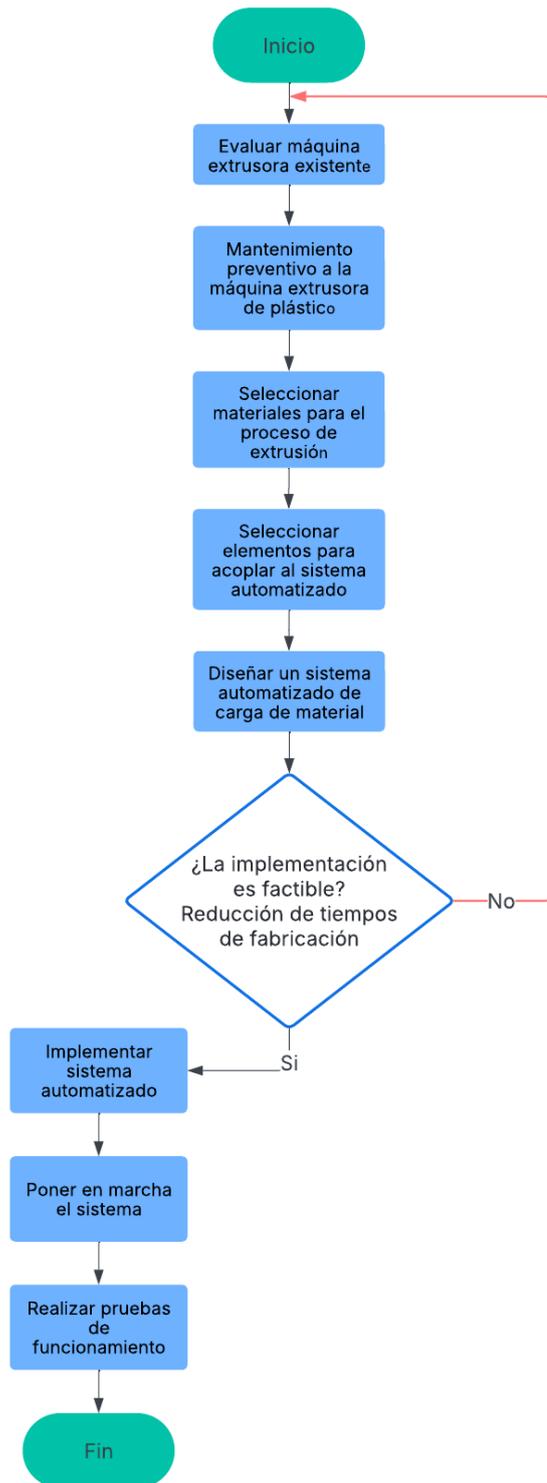


Figura 16. Diagrama de flujo del Proyecto por A. Pico y I. De La Puente

#### VI-A. *Recolección de datos de operación*

Para iniciar con el proyecto de automatización del sistema de carga, es crucial obtener información precisa sobre el proceso actual. El primer paso es cronometrar los tiempos de carga manual. Esto incluye observar y registrar el tiempo que toma cada ciclo de carga de material bajo condiciones normales, teniendo en cuenta el tiempo que los operadores emplean en la preparación y traslado del material. Realizar varias mediciones en distintos momentos permite calcular un promedio confiable y reducir posibles variaciones en los datos. Además, se debe conocer la capacidad actual de la extrusora, en términos del volumen de material que maneja por ciclo y de su capacidad total por hora. Este análisis ayuda a ajustar el sistema automatizado a las necesidades de la extrusora. Finalmente, es fundamental identificar los requerimientos de volumen de material de acuerdo con el tipo de producto y el ritmo de producción deseado, lo que permitirá definir el flujo continuo necesario para un funcionamiento eficiente de la extrusora.

#### VI-B. *Selección de materiales para proceso de extrusión*

Los materiales a utilizar para el proceso de extrusión son:

- **Polietileno virgen-pead alta densidad:** Es un polímero termoplástico que se utiliza ampliamente en diversas industrias gracias a sus notables propiedades físicas y químicas.



Figura 17. Polietileno

- **Masterbatch:** Es una mezcla concentrada de aditivos en forma de gránulos que contiene pigmentos finamente distribuidos en una base de resina que se utiliza para colorear plásticos de manera eficiente y precisa.



Figura 18. Masterbatch

### VI-C. Evaluación de la infraestructura existente

Tras recolectar los datos operativos, el siguiente paso es una evaluación detallada de la infraestructura existente en la extrusora. Este análisis implica estudiar la estructura física de la máquina para localizar los posibles puntos donde se acoplará el sistema de carga automatizado. Estos puntos de acople son lugares estratégicos que permiten instalar el nuevo sistema sin interferir con el funcionamiento normal de la extrusora. Es recomendable tomar medidas precisas de cada componente de la extrusora que podría interactuar con el sistema de carga, como tolvas y conductos. Además, es esencial verificar que haya suficiente espacio disponible alrededor de la extrusora para ubicar el blower, los sensores, el temporizador y cualquier otra estructura de soporte. Este análisis garantiza que el diseño del sistema automatizado se integre sin problemas en la estructura existente y optimice el proceso de carga.



Figura 19. Máquina extrusora de plástico sin modificar

### VI-D. Definición de especificaciones técnicas

Con los datos operativos y el análisis de infraestructura listos, el siguiente paso es definir las especificaciones técnicas del sistema automatizado de carga. En esta etapa, se establecen los requisitos específicos de cada componente esencial. Primero, se selecciona la capacidad del blower, dimensionada según el volumen de material que necesita la extrusora en intervalos específicos para asegurar un flujo constante y evitar interrupciones o pérdidas de material. A continuación, se elige el tipo de temporizador que controlará los intervalos de carga de forma automática, manteniendo una alimentación continua sin intervención manual. También se consideran las interfaces de comunicación necesarias para integrar el sistema de carga con la extrusora o con el sistema de control central, de modo que los operadores puedan monitorear y ajustar parámetros cuando sea necesario. Esta especificación permite crear un sistema eficiente y automático que se ajuste a los objetivos de productividad y reducción de tiempos del proyecto.

#### VI-E. *Mantenimiento Preventivo de la Máquina Extrusora de Plástico*

Es fundamental efectuar un mantenimiento exhaustivo de la máquina extrusora de plástico antes de implementar el sistema automatizado. El objetivo principal de este mantenimiento es asegurar que la máquina esté en condiciones óptimas de funcionamiento, minimizando el riesgo de fallas o interrupciones durante la integración del nuevo sistema.



Figura 20. Mantenimiento de máquina extrusora, por A. Pico y I. De La Puente.

#### VI-F. *Diseño de la Tolva con Blower y Tablero de Control*

El diseño de una tolva con blower en una máquina extrusora de plástico debe garantizar un flujo continuo de material, sin bloqueos ni acumulaciones compactas.



Figura 21. Diseño de blower y tolva en Solidworks, por A. Pico y I. De La Puente.

## VI-G. Diseño y construcción de la tolva

VI-G1. Cálculos mecánicos de la tolva y flujo de aire: Se realizan los cálculos del dimensionamiento de la tolva y el flujo de aire del blower.

### **Blower**

Diámetros de los conductos:

$E_{conducto}$  : Diámetro del conducto mayor = 0,032 m

$S_{conducto}$  : Diámetro del conducto menor = 0,028 m

Se obtienen los radios de los conductos de entrada y salida:

$r_E$ : Radio del conducto mayor

$r_S$ : Radio del conducto menor

$$r_E = \frac{E_{conducto}}{2}$$

$$r_E = \frac{0,032m}{2}$$

$$r_E = 0,016m$$

$$r_S = \frac{S_{conducto}}{2}$$

$$r_S = \frac{0,028m}{2}$$

$$r_S = 0,014m$$

Se obtienen las áreas de los conductos tanto entrada y salida:

$$A_1 = \pi \cdot r_E^2 \quad (1)$$

$$A_1 = \pi \cdot 0,016m^2 \quad (2)$$

$$A_1 = 0,000804 \text{ m}^2 \quad (3)$$

Luego de obtener el  $A_1$  este dato sirve para obtener el flujo de entrada ( $Q_{in}$ )

$Q_{in}$  : Flujo de aire

$$A_2 = \pi \cdot r_S^2 \quad (4)$$

$$A_2 = \pi \cdot 0,014m^2 \quad (5)$$

$$A_2 = 0,0006157 \text{ m}^2 \quad (6)$$

$$RPM = \frac{V_{l1}}{\pi \cdot E_{conducto}} \quad (60) \quad (7)$$

$$2860 = \frac{V_{l1}}{\pi \cdot 0,032} \quad (60) \quad (8)$$

$$V_{l1} = 4,791 \frac{m}{s} \quad (9)$$

$$Q_{in} = A_1 \cdot V_{l1} \quad (10)$$

$$Q_{in} = 0,000804 \text{ m}^2 \cdot 4,791 \frac{m}{s} \quad (11)$$

$$Q_{in} = 0,003853 \frac{m^3}{s} \quad (12)$$

Por la ley de la conservación el flujo de aire es el mismo en ambos lados:

$$Q_{in} = Q_{out} \quad (13)$$

$$Q_{in} = A_2 \cdot V_{l2} \quad (14)$$

$$0,003853 \frac{m^3}{s} = 0,0006157 \text{ m}^2 \cdot V_{l2} \quad (15)$$

$$V_{l2} = \frac{0,003853 \frac{m^3}{s}}{0,0006157 \text{ m}^2} \quad (16)$$

$$V_{l2} = 6,2589 \frac{m}{s} \quad (17)$$

### **Tolva**

Datos:

$r_1$  : Radio superior de la tolva = 0,165 m

$r_2$  : Radio inferior de la tolva = 0,025 m

h: Altura de la tolva = 0,1 m

Fórmula para calcular el volumen de una tolva rectangular:

$$V = \frac{\pi \cdot h}{3} [r_1^2 + (r_1 \cdot r_2) + r_2^2] \quad (18)$$

$$V = \frac{\pi \cdot 0,1m}{3} [(0,165m)^2 + (0,165m \cdot 0,025m) + (0,025m)^2] \quad (19)$$

$$V = 0,00348 \text{ m}^3 \quad (20)$$

$$A_2 = \pi \cdot r^2 \quad (21)$$

$$A_2 = \pi \cdot (0,025 \text{ m})^2 \quad (22)$$

$$A_2 = 0,0019634 \text{ m}^2 \quad (23)$$

$h_2 = 0,22 \text{ m}$

Se calcula la velocidad del material ( $V_m$ ) que tenga la tolva:

$V_m$  : Velocidad del material

$$V_m = \sqrt{2 \cdot h_2 \cdot g} \quad (24)$$

$$V_m = \sqrt{2 \cdot 0,22 \cdot 9,81} \quad (25)$$

$$V_m = \sqrt{4,3164} \quad (26)$$

$$V_m = 2,07759 \frac{m}{s} \quad (27)$$

Con los datos calculados anteriormente se obtiene el flujo de la tolva ( $Q_m$ )

$$Q_m = A_2 \cdot V_m \quad (28)$$

$$Q_m = 0,0019634 \text{ m}^2 \cdot 2,07759 \frac{m}{s} \quad (29)$$

$$Q_m = 0,004079 \frac{m^3}{s} \quad (30)$$

### Flujo másico del aire

Dato:

$$\rho_{\text{aire}} = 1,225 \frac{Kg}{m^3}$$

$$\dot{m} = \rho_{\text{aire}} \cdot Q_{\text{out}} \quad (31)$$

$$\dot{m} = 1,225 \frac{Kg}{m^3} \cdot 0,003853 \frac{m^3}{s} \quad (32)$$

$$\dot{m} = 0,00472 \frac{Kg}{m} \quad (33)$$

### Flujo másico material

$$\rho_{\text{polietileno-virgen-pead}} = 970 \frac{Kg}{m^3}$$

$$\rho_{\text{masterbatch}} = 930 \frac{Kg}{m^3}$$

$m_{\text{polietileno}}$  : Flujo másico del polietileno

$m_{\text{masterbatch}}$  : Flujo másico del masterbatch

$$m_{\text{polietileno}} = \rho_{\text{polietileno-virgen-pead}} \cdot Q_m \quad (34)$$

$$m_{\text{polietileno}} = 0,004079 \frac{m^3}{s} \cdot 970 \frac{Kg}{m^3} \quad (35)$$

$$m_{\text{polietileno}} = 3,956 \frac{Kg}{m} \quad (36)$$

$$m_{\text{masterbatch}} = \rho_{\text{polietileno-virgen-pead}} \cdot Q_m \quad (37)$$

$$m_{\text{masterbatch}} = 0,004079 \frac{m^3}{s} \cdot 930 \frac{Kg}{m^3} \quad (38)$$

$$m_{\text{masterbatch}} = 3,79 \frac{Kg}{m} \quad (39)$$

VI-G2. *Análisis estático y térmico:* En esta sección se presentan los resultados de las simulaciones llevadas a cabo sobre la tolva y el tornillo sin fin.

■ **Carga Tolva**

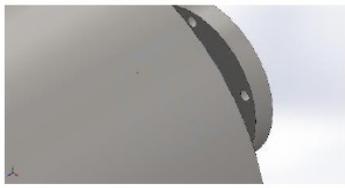
En la tabla III se observan las propiedades físicas de la tolva material.

Tabla III  
PROPIEDADES FÍSICAS DE LA TOLVA MATERIAL, POR A. PICO Y I. DE LA PUENTE.

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: AISI 304                      Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal                      Criterio de error predeterminado: Desconocido                      Límite elástico: 2,06807e+08 N/m<sup>2</sup>                      Límite de tracción: 5,17017e+08 N/m<sup>2</sup>                      Módulo elástico: 1,9e+11 N/m<sup>2</sup>                      Coeficiente de Poisson: 0,29                      Densidad: 8.000 kg/m<sup>3</sup>                      Módulo cortante: 7,5e+10 N/m<sup>2</sup>                      Coeficiente de dilatación térmica: 1,8e-05 / Kelvin</p>	Sólido 1(Cortar-Extruir2)(Tolva Material)

Las distintas cargas aplicadas en la tolva material se muestran en la tabla IV.

Tabla IV  
CARGAS APLICADAS EN LA TOLVA MATERIAL, POR A. PICO Y I. DE LA PUENTE.

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		<p>Entidades: 1 cara(s)                      Tipo: Geometría fija</p>		
<b>Fuerzas resultantes</b>				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	2,19559e-07	-1,90223e-07	14,5526	14,5526
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

En la tabla V se muestran las fuerzas resultantes en los ejes X, Y, Z en la tolva material.

Tabla V  
FUERZAS RESULTANTES EN LA TOLVA MATERIAL, POR A. PICO Y I. DE LA PUENTE.

**Fuerzas de reacción**

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	2,19559e-07	-1,90223e-07	14,5526	14,5526

**Momentos de reacción**

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0

**Fuerzas de cuerpo libre**

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	8,56817e-07	-1,81375e-07	-2,81632e-06	2,94935e-06

**Momentos de cuerpo libre**

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	1e-33

• **Tensión de Von Mises**

El análisis de la tensión de Von Mises en la tolva arroja un valor de 0.05486 MPa, la Figura 22 muestra la gráfica de la simulación de la tensión de Von Mises la cual es menor en comparación a los  $1,9 \times 10^5$  MPa del límite elástico.

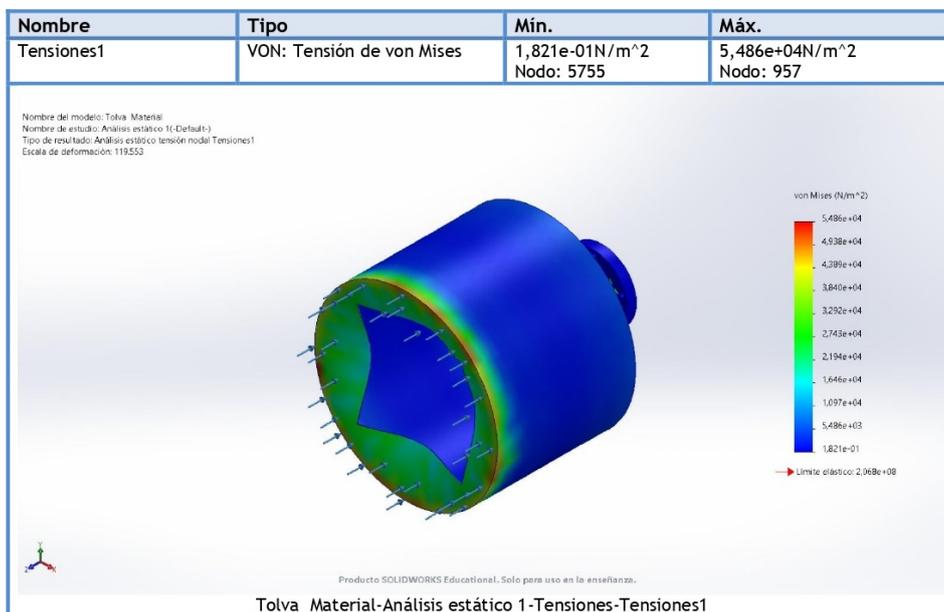


Figura 22. Von Mises de la tolva material, por A. Pico y I. De La Puente.

- **Desplazamientos**

Se puede observar en la figura 23 que las paredes de la tolva material logra desplazarse en un máximo de  $3,6400 \times 10^{-4}$  mm por la carga aplicada significa que el material se deforma levemente en respuesta a la fuerza ejercida.

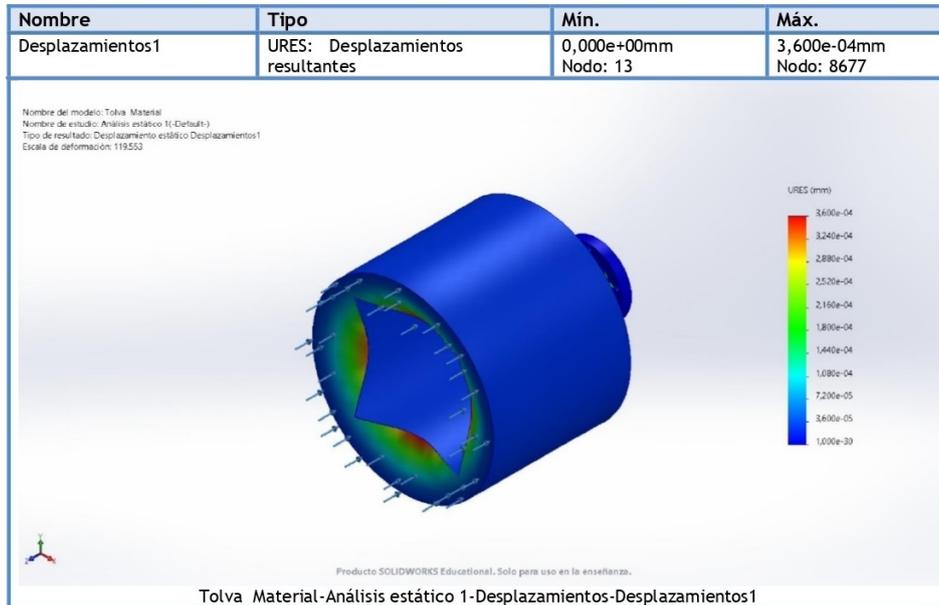


Figura 23. Desplazamientos en la tolva material, por A. Pico y I. De La Puente.

- **Deformación unitaria**

Las paredes de la tolva material tienen una deformación unitaria de un valor mínimo de  $9,838 \times 10^{-13}$  y un máximo de  $9,885 \times 10^{-8}$  por la carga aplicada, lo que significa que los valores de deformación se encuentran dentro del rango elástico del material, se puede concluir que la tolva no ha sufrido daños permanentes y recuperará su forma original una vez que se retire la carga, tal como se ve en la figura 24.

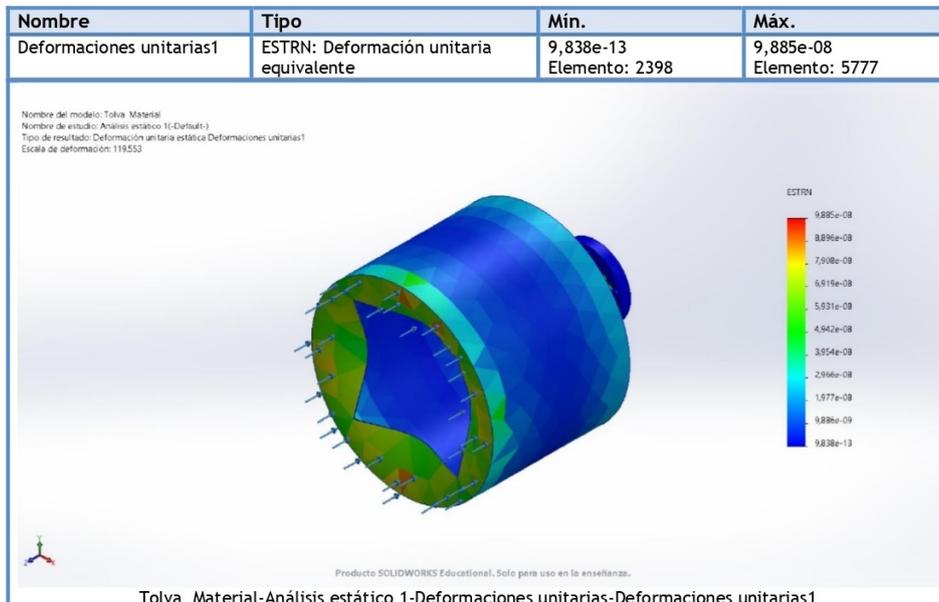


Figura 24. Deformación unitaria en la tolva material, por A. Pico y I. De La Puente.

▪ **Tornillo sin fin**

En la tabla VI se observan las propiedades físicas del material.

Tabla VI  
PROPIEDADES FÍSICAS DEL TORNILLO SIN FIN, POR A. PICO Y I. DE LA PUENTE.

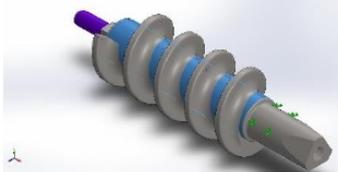
Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: AISI 1020                      Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal                      Criterio de error predeterminado: Desconocido                      Límite elástico: 3,51571e+08 N/m<sup>2</sup>                      Límite de tracción: 4,20507e+08 N/m<sup>2</sup>                      Módulo elástico: 2e+11 N/m<sup>2</sup>                      Coeficiente de Poisson: 0,29                      Densidad: 7.900 kg/m<sup>3</sup>                      Módulo cortante: 7,7e+10 N/m<sup>2</sup>                      Coeficiente de dilatación térmica: 1,5e-05 /Kelvin</p>	Sólido 1(Redondeo7)(Tornillo sin fin)

En la tabla VII se muestran las distintas cargas aplicadas en el tornillo sin fin.

Tabla VII  
CARGAS APLICADAS EN EL TORNILLO SIN FIN, POR A. PICO Y I. DE LA PUENTE.

**Cargas y sujeciones**

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		<p>Entidades: 1 cara(s)                      Tipo: Geometría fija</p>		
<b>Fuerzas resultantes</b>				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	0,000586418	-2,71414	-0,839198	2,84092
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Torsión-2		<p>Entidades: 1 cara(s)                      Referencia: Cara&lt; 1 &gt;                      Tipo: Aplicar momento torsor                      Valor: 10,1972 kgf.cm</p>

En la tabla VIII se muestran las fuerzas resultantes en los ejes X, Y, Z en el tornillo sin fin.

Tabla VIII  
FUERZAS RESULTANTES EN EL TORNILLO SIN FIN, POR A. PICO Y I. DE LA PUENTE.

### Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	0,000586418	-2,71414	-0,839198	2,84091

### Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0

### Fuerzas de cuerpo libre

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-0,014874	0,0103129	-0,0162675	0,0243356

### Momentos de cuerpo libre

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	1e-33

- **Desplazamientos**

Se puede observar en la figura 25 que la superficie de la pieza se desplaza en un máximo de  $7,040 \times 10^{-4}$  mm por la carga aplicada sin embargo, esto es considerando un tiempo muy extenso, y para la evaluación dentro de los rangos de los mantenimientos no existe un desplazamiento significativo.

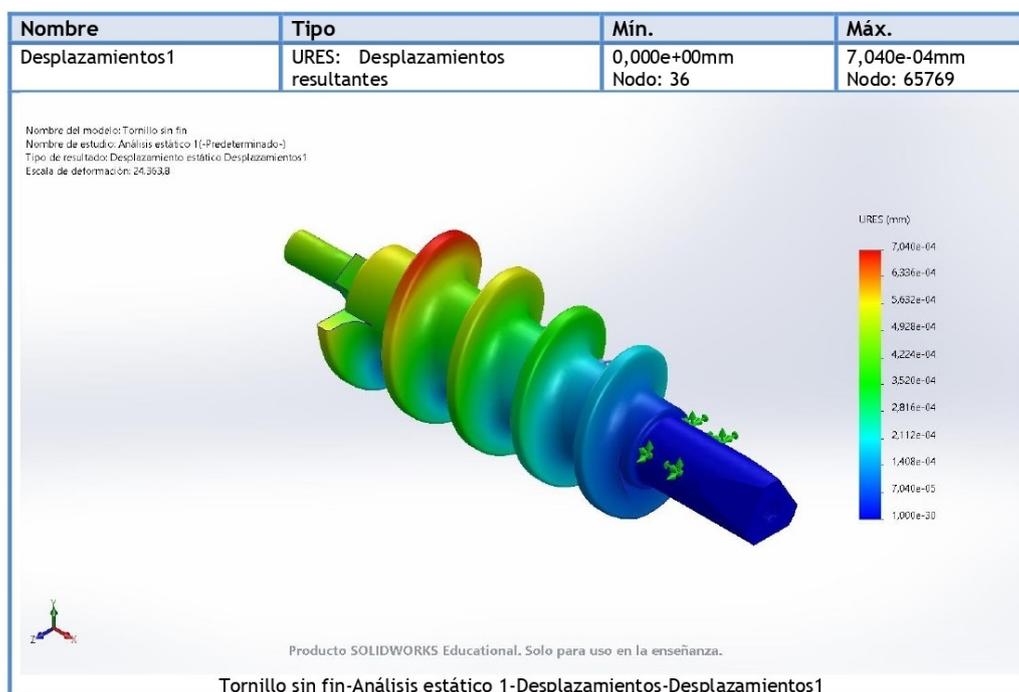


Figura 25. Desplazamientos en el tornillo sin fin, por A. Pico y I. De La Puente.

- **Deformación unitaria**

Se puede observar en la figura 26 que la superficie de la pieza tiene una deformación unitaria de un valor mínimo de  $6,596 \times 10^{-14}$  y un máximo de  $2,029 \times 10^{-5}$  por la carga aplicada muestra cómo el tornillo sin fin se deforma cuando se le aplica una fuerza. Esto es importante porque si la deformación es demasiado grande, el material podría romperse.

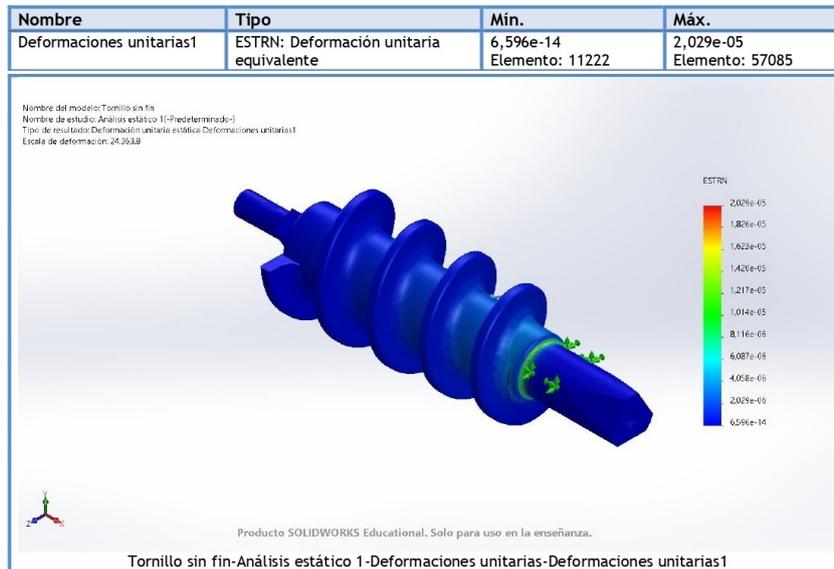


Figura 26. Deformación unitaria en el tornillo sin fin, por A. Pico y I. De La Puente.

- **Tensión de Von Mises**

Con respecto a la tensión de Von Mises del tornillo sin fin la tensión es de 4.459 MPa, la Figura 27 muestra la gráfica de la simulación de la tensión de Von Mises la cual es aceptable en comparación a los  $2,0 \times 10^5$  MPa del módulo elástico ha demostrado que el diseño es seguro y que el componente puede operar dentro de su rango elástico.

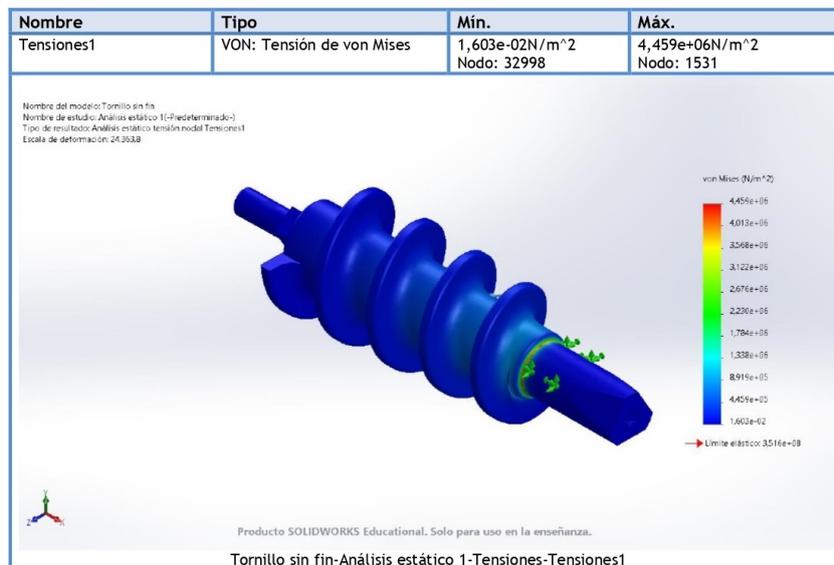


Figura 27. Tensión de Von Mises del tornillo sin fin, por A. Pico y I. De La Puente.

- **Temperatura**

Con respecto a la temperatura del tornillo sin fin alcanza el valor de 250°C, esto considerando con una temperatura alta y puede tener consecuencias, tanto a corto como a largo plazo. Por lo tanto el tornillo soporta altas temperaturas ya que necesita llegar a tal punto para calentar correctamente el material. La Figura 28 muestra la gráfica de la simulación de la temperatura.

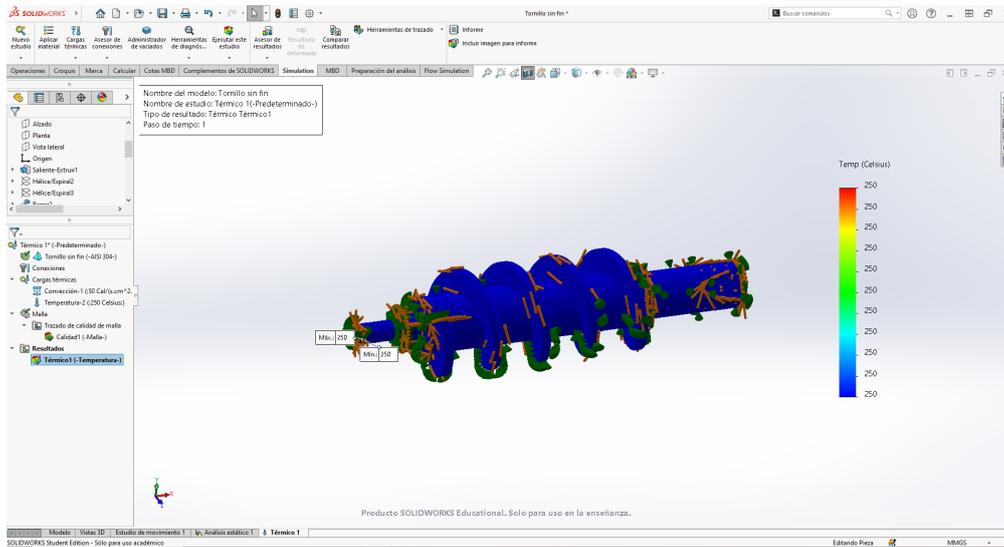


Figura 28. Temperatura del tornillo sin fin, por A. Pico y I. De La Puente.

### Simulación de Fluido en la tolva y blower

La simulación proporciona una representación visual y cuantitativa del flujo de un material granular (pequeños gránulos) en un sistema compuesto por una tolva y un blower, lo que permite comprender mejor los fenómenos físicos involucrados y tomar decisiones más informadas en el diseño y operación de este tipo de equipos.

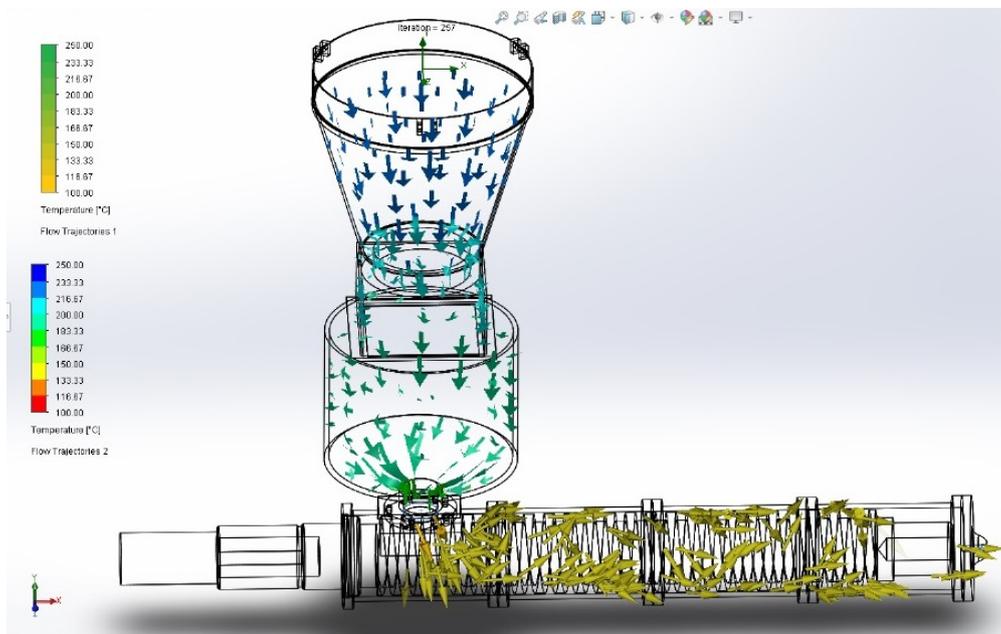


Figura 29. Simulación de Fluido, por A. Pico y I. De La Puente.

La figura 30 indica una velocidad de 0.0014 m/s con la que fluye el material durante el movimiento del tornillo sin fin.

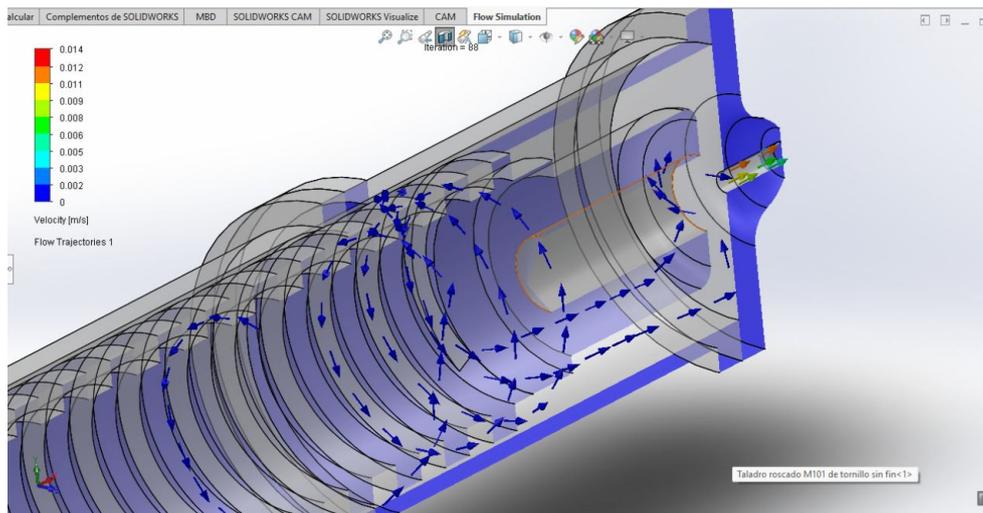


Figura 30. Trayectoria donde va a pasar el material, por A. Pico y I. De La Puente.

#### VI-H. Proceso de construcción de la base de la tolva

Se realizó un corte en una placa de acero al carbono de 10 mm de espesor, 130 mm de longitud y 125 mm de ancho. A continuación, se colocó la placa de manera que los centros de los agujeros coincidan, asegurando así un ensamblaje adecuado en la máquina.



Figura 31. Base de tolva, por A. Pico y I. De La Puente.

Se marcaron los centros de los agujeros para proceder a perforar un diámetro de 8,5 mm en la placa, ya que esta es la medida del perno M8. Después de realizar las perforaciones, se colocó la placa en el torno para hacer un cono. que permita el paso de la materia prima y sea extruida por el tornillo.

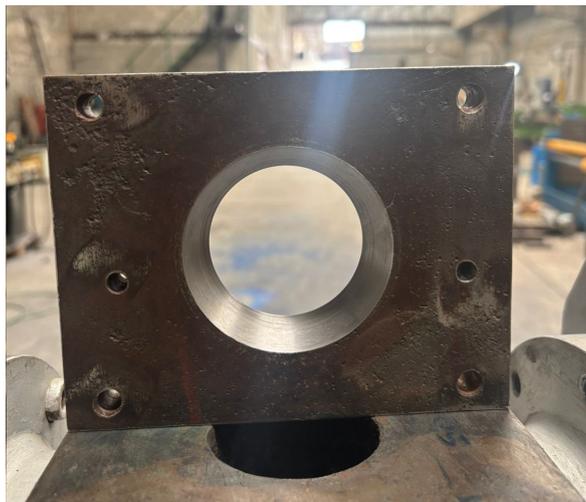


Figura 32. Realización de agujeros en la placa, por A. Pico y I. De La Puente.

#### VI-I. Adecuaciones del tablero de control

Durante la repotenciación de la extrusora de plástico, se ajustaron las conexiones eléctricas del blower con el contactor, tal como se indica en la Figura 33.

Una vez perforados los agujeros para los pernos M8 en la tapa de la tolva, se procedió a acoplar el blower a la misma.

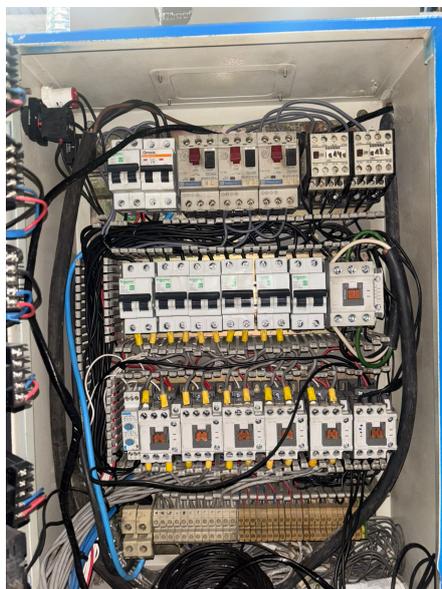


Figura 33. Conexiones internas del tablero de control, por A. Pico y I. De La Puente.

En este acoplamiento, se realizó el corte de una plancha de 2 mm a la circunferencia de la tolva, que tiene 40 cm de diámetro exterior. Se cortaron dos tiras de 40,5 cm de largo, 2 cm de ancho y 3 mm de espesor para el soporte del dosificador A continuación, se procedió a soldar las tiras en los puntos donde irían los agujeros. Luego, se tomaron los centros de los agujeros M8 del dosificador para perforar las tiras soldadas a la circunferencia y así acoplar el dosificador a la tolva.



Figura 34. Ensamble de Blower, Tolva y Tablero, por A. Pico y I. De La Puente.

#### VI-J. *Diseño del molde de la máquina extrusora*

Se inició la construcción del molde utilizando acero 705, capaz de soportar temperaturas de 400 a 500 grados. La pieza se torneó para obtener un espesor de 15 mm y un diámetro de 110 mm. Posteriormente, se realizaron conos interior y exterior en el centro, permitiendo el acoplamiento a la máquina. Finalmente, se perforó un agujero central de 12 mm para la salida del material extruido.

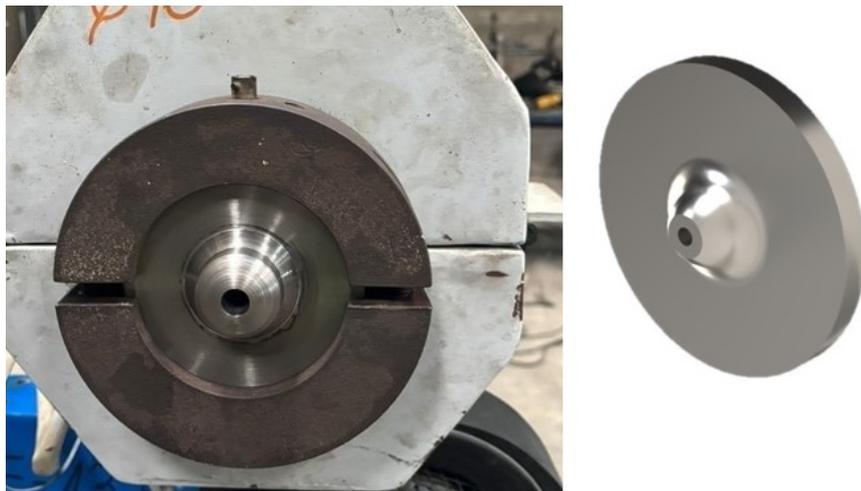


Figura 35. a. Molde de extrusión de plásticos, b. Molde renderizado, por A. Pico y I. De La Puente.

### VI-K. Diseño eléctrico

El esquema eléctrico diseñado en Simurelay exhibe un circuito de control básico que emplea un contador 74HCTLS192. Este componente incrementa o decrementa su valor en respuesta a las señales Up y Down, permitiendo así establecer un tiempo de configuración. Una vez transcurridos los 10 segundos programados, el circuito activa el contactor, lo que a su vez inicia el funcionamiento del motor. Como consecuencia, la materia prima es extruida a través de la boquilla.

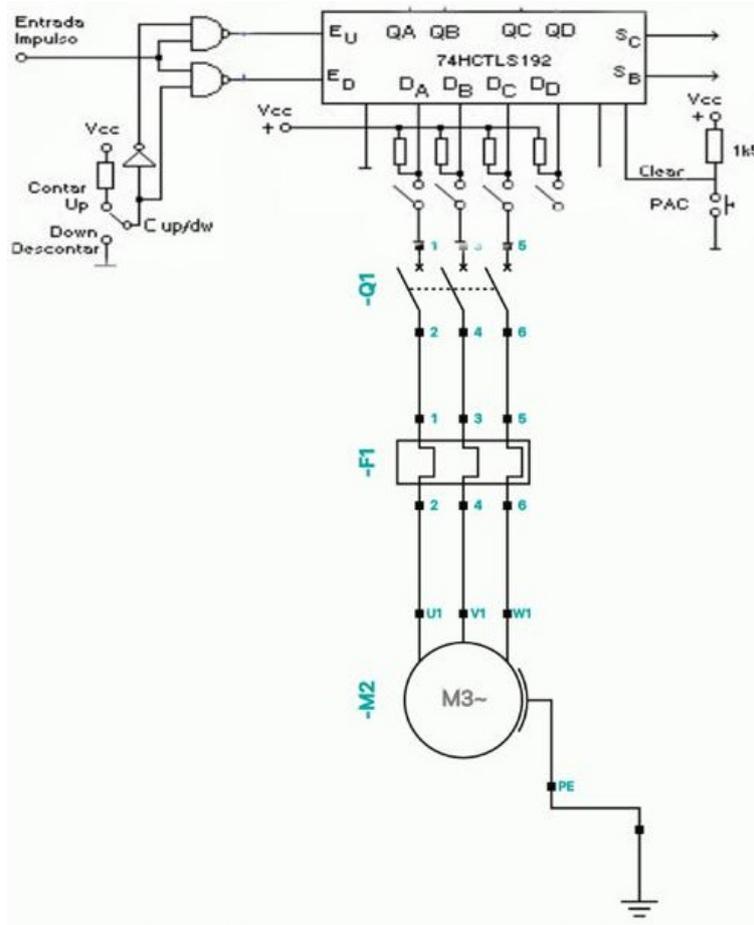


Figura 36. Plano del diseño de molde de extrusión de plásticos, por A. Pico y I. De La Punte.

### VI-L. Procedimiento para las pruebas realizadas en máquina extrusora de plástico

Las pruebas realizadas en la máquina extrusora de plástico repotenciada para la extrusión se combinan los materiales Polietileno virgen-pead y masterbatch que son llenados en la tolva donde el tiempo de llenado es de 10 segundos lo que tarda el llenar la tolva con 2Kg de materia prima y respecto al tiempo de extrusión es aproximadamente de 20 segundos programado por el temporizador.

## VII. RESULTADOS

La máquina extrusora de la figura 37 corresponde a un equipo industrial diseñado para transformar materia prima en productos de forma continua mediante un proceso de calentamiento y extrusión.

Su funcionamiento era de tipo manual, ya que requería de un operador para garantizar su correcta operación.

Entre los componentes principales identificados se encuentran una tolva, un tablero de control, termocuplas, un motor de 10 Hp y un blower de enfriamiento.

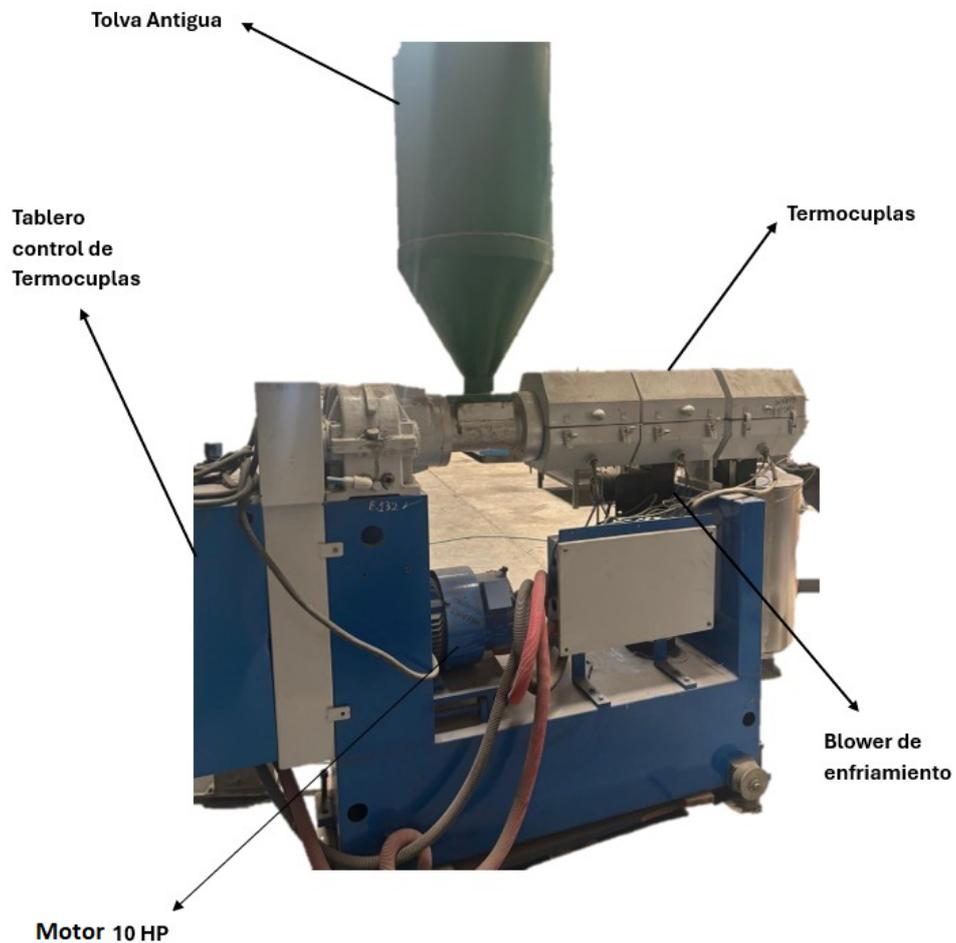


Figura 37. Máquina extrusora antes de la implementación, por A. Pico y I. De La Puente.

La figura 38 muestra la implementación exitosa del sistema automatizado integrado a la extrusora de plástico. Se observa claramente cómo la tolva de diseño cilíndrico y de gran capacidad, el blower y el temporizador han sido acoplados a la estructura original de la máquina, preparándola así para las pruebas de funcionamiento.

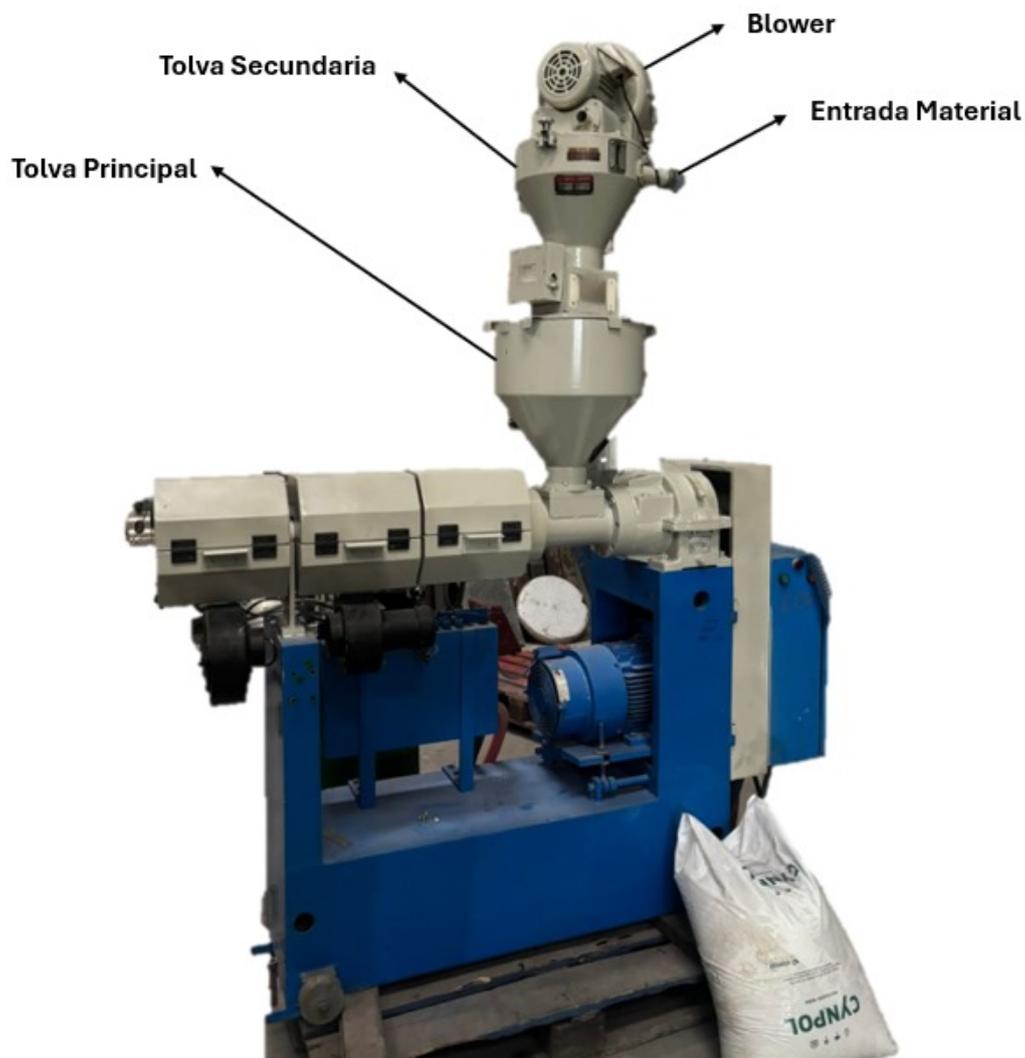


Figura 38. Máquina extrusora de plástico repotenciada, por A. Pico y I. De La Puente.

En las pruebas realizadas, se encendieron las termocuplas durante 15 a 20 minutos para alcanzar una temperatura de 250°C. A continuación, se llenó la tolva con aproximadamente 2 kg de polietileno virgen. Se activó el blower durante 10 segundos, permitiendo que el material cayera y fuera extruido durante un minuto y dicho material fundido es transportado a través del husillo, un elemento clave en el proceso de extrusión. El husillo, que gira a altas velocidades, genera la fricción necesaria para fundir el plástico y transportarlo hacia la boquilla, tal como se muestra en la figura 39.



Figura 39. Máquina extrusora en funcionamiento, por A. Pico y I. De La Puente.

Luego se realizó la siguiente prueba agregando pigmento de color tal cual como se muestra en la figura 40. Se aplicó una temperatura de 300°C a las termocuplas. A continuación, se aplicó en un recipiente 10 kg de polietileno y 1kg de pigmento de color. Se activa el blower durante 10 segundos, permitiendo el paso del material hacia la tolva para que este fuera extruido durante 20 segundos, tal cual como se muestra en la figura 41. Este sería el ciclo repetitivo para la entrada de materia prima.



Figura 40. Mezcla de materia PE con pigmento de color, por A. Pico y I. De La Puente.



Figura 41. Salida del material PE con Pigmento de color, por A. Pico y I. De La Puente.

VII-1. *Comparación de las tablas de resultado:* Se realizaron 15 pruebas en ambas máquinas extrusoras de plástico: la manual y la repotenciada.

En la tabla IX se muestran las 15 pruebas que fueron realizadas por diferentes tipos de material en la máquina extrusora de plástico manual:

- 5 pruebas que tiene 100 % de Polietileno virgen-pead y 0 % de masterbatch.
- 5 pruebas que tiene 50 % de Polietileno virgen-pead y 50 % de masterbatch.
- 5 pruebas que tiene 80 % de Polietileno virgen-pead y 20 % de masterbatch.

Tabla IX  
DATOS DE LA MÁQUINA EXTRUSORA MANUAL, POR A. PICO Y I. DE LA PUENTE.

Pruebas	Tpo de material		Temp. del extrusor	Tiempo de llenado	Peso	Tiempo de extrusión (s)
	Polietileno virgen-pead	Masterbatch				
1	100 %	0 %	250 °C	20 s	2 Kg	24
2	100 %	0 %	250 °C	21 s	2 Kg	30
3	100 %	0 %	250 °C	19 s	2 Kg	23
4	100 %	0 %	250 °C	20 s	2 Kg	27
5	100 %	0 %	250 °C	20 s	2 Kg	25
Promedio						25,8
6	50 %	50 %	250 °C	21 s	2 Kg	22
7	50 %	50 %	250 °C	20 s	2 Kg	27
8	50 %	50 %	250 °C	20 s	2 Kg	23
9	50 %	50 %	250 °C	20 s	2 Kg	25
10	50 %	50 %	250 °C	19 s	2 Kg	24
Promedio						24,2
11	80 %	20 %	250 °C	19 s	2 Kg	23
12	80 %	20 %	250 °C	20 s	2 Kg	27,5
13	80 %	20 %	250 °C	21 s	2 Kg	25
14	80 %	20 %	250 °C	20 s	2 Kg	25
15	80 %	20 %	250 °C	20 s	2 Kg	26
Promedio						24,75

#### Tabla de Promedios de los tiempos de extrusión de la máquina manual

En la tabla X se muestran los promedios obtenidos por cada combinación de material obtenido de la máquina extrusora de plástico manual.

Tabla X  
PROMEDIOS DE LOS TIEMPOS DE EXTRUSIÓN DE LA MÁQUINA MANUAL, POR A. PICO Y I. DE LA PUENTE.

Nº	Tpo de material		Promedios
	Polietileno virgen-pead	Masterbatch	
1	100 %	0 %	25,8
2	50 %	50 %	24,2
3	80 %	20 %	24,75

En la tabla XI se muestran las 15 pruebas que fueron realizadas por diferentes tipos de material en la máquina extrusora de plástico repotenciada:

- 5 pruebas que tiene 100 % de Polietileno virgen-pead y 0 % de masterbatch.
- 5 pruebas que tiene 50 % de Polietileno virgen-pead y 50 % de masterbatch.
- 5 pruebas que tiene 80 % de Polietileno virgen-pead y 20 % de masterbatch.

Tabla XI  
DATOS DE LA MÁQUINA EXTRUSORA REPOTENCIADA, POR A. PICO Y I. DE LA PUENTE.

Pruebas	Tpo de material		Temp. del extrusor	Tiempo de llenado	Peso	Tiempo de extrusión (s)
	Polietileno virgen-pead	Masterbatch				
1	100 %	0 %	300 °C	10 s	2 Kg	20,6
2	100 %	0 %	300 °C	10 s	2 Kg	20,4
3	100 %	0 %	300 °C	10 s	2 Kg	20,2
4	100 %	0 %	300 °C	10 s	2 Kg	20,9
5	100 %	0 %	300 °C	10 s	2 Kg	20,3
Promedio						20,48
6	50 %	50 %	300 °C	10 s	2 Kg	20,1
7	50 %	50 %	300 °C	10 s	2 Kg	20
8	50 %	50 %	300 °C	10 s	2 Kg	20,5
9	50 %	50 %	300 °C	10 s	2 Kg	20,5
10	50 %	50 %	300 °C	10 s	2 Kg	20,8
Promedio						20,45
11	80 %	20 %	300 °C	10 s	2 Kg	20,2
12	80 %	20 %	300 °C	10 s	2 Kg	20,6
13	80 %	20 %	300 °C	10 s	2 Kg	20,2
14	80 %	20 %	300 °C	10 s	2 Kg	20,5
15	80 %	20 %	300 °C	10 s	2 Kg	20,3
Promedio						20,33

#### Tabla de Promedios de los tiempos de extrusión de la máquina repotenciada

En la tabla XII se muestran los promedios obtenidos por cada combinación de material obtenido de la máquina extrusora de plástico repotenciada.

Tabla XII  
PROMEDIOS DE LOS TIEMPOS DE EXTRUSIÓN DE LA MÁQUINA REPOTENCIADA, POR A. PICO Y I. DE LA PUENTE.

Nº	Tpo de material		Promedios
	Polietileno virgen-pead	Masterbatch	
1	100 %	0 %	20,48
2	50 %	50 %	20,45
3	80 %	20 %	20,33

### **Cálculo del porcentaje de reducción en los tiempos de extrusión**

Para comparar el rendimiento de ambas máquinas en cuanto al tiempo de extrusión, se procedió a calcular el porcentaje de reducción que se logra con la máquina repotenciada en comparación con la manual.

#### **Fórmula para calcular el porcentaje de reducción en el tiempo de extrusión:**

$$\% \text{ de tiempo de reducción} = \left| \frac{\text{Valor inicial} - \text{Valor final}}{\text{Valor inicial}} \right| \times 100 \% \quad (40)$$

En este caso:

Valor inicial: Tiempo de extrusión de la máquina manual

Valor final: Tiempo de extrusión de la máquina repotenciada

#### ***Comparación entre en el primer promedio de ambas máquinas:***

**Máquina manual:** Tiempo de extrusión = 25,8 segundos

**Máquina repotenciada:** Tiempo de extrusión = 20,48 segundos

$$\% \text{ de tiempo de reducción} = \left( \frac{25,8 - 20,48}{25,8} \right) \times 100 \% \quad (41)$$

$$\% \text{ de tiempo de reducción} = 20,73 \% \quad (42)$$

Esto significa que la máquina repotenciada redujo el tiempo de extrusión en un 20,73 % en comparación con la máquina manual para el primer promedio.

#### ***Comparación entre en el segundo promedio de ambas máquinas:***

**Máquina manual:** Tiempo de extrusión = 24,2 segundos

**Máquina repotenciada:** Tiempo de extrusión = 20,45 segundos

$$\% \text{ de tiempo de reducción} = \left( \frac{24,2 - 20,45}{24,2} \right) \times 100 \% \quad (43)$$

$$\% \text{ de tiempo de reducción} = 15,55 \% \quad (44)$$

Esto significa que la máquina repotenciada redujo el tiempo de extrusión en un 15,55 % en comparación con la máquina manual para el primer promedio.

#### ***Comparación entre en el tercer promedio de ambas máquinas:***

**Máquina manual:** Tiempo de extrusión = 24,75 segundos

**Máquina repotenciada:** Tiempo de extrusión = 20,33 segundos

$$\% \text{ de tiempo de reducción} = \left( \frac{24,75 - 20,33}{24,75} \right) \times 100 \% \quad (45)$$

$$\% \text{ de tiempo de reducción} = 17,85 \% \quad (46)$$

Esto significa que la máquina repotenciada redujo el tiempo de extrusión en un 17,85 % en comparación con la máquina manual para el primer promedio.

## VIII. CRONOGRAMA

A continuación se presenta el cronograma de trabajo en la tabla XIII.

Tabla XIII  
CRONOGRAMA

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR		REPOTECIAR UNA MÁQUINA EXTRUSORA DE PLÁSTICO MEDIANTE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE CARGA DE MATERIAL PARA LA REDUCCIÓN DE TIEMPOS DE FABRICACIÓN															
TÍTULO: CRONOGRAMA COMITÉ DE ÉTICA EN INVESTIGACIÓN 2024 - 2025		YIGENCIA 2024 - 2025															
ACTIVIDAD	RESPONSABLE	MES 1			MES 2			MES 3			MES 4			MES 5			
		SEMANA	SEMANA	SEMANA	SEMANA	SEMANA	SEMANA	SEMANA	SEMANA	SEMANA	SEMANA	SEMANA	SEMANA	SEMANA	SEMANA	SEMANA	
Analisis para obtencion de datos de la extrusora de plastico.		1	1	1													
Mantenimiento preventivo de la extrusora de plastico.		1	1	1	1	1	1										
Planificacion y diseño de los requerimientos del sistema de automatizacion y seleccionar el tipo de blower adecuado para la					1	1	1	1	1								
Definir los parametros de automatizacion de como integrara el blower al sistema existencia.		1	1	1	1	1	1	1	1								
Realizar un esquema electrico de flujo del sistema de control.		1	1	1	1	1	1	1	1								
Estudios y Analisis de la densidad de la materia prima.					1	1	1	1	1								
Instalar físicamente el blower y realizar pruebas de funcionamiento					1	1	1	1	1								
Construccion de tablero electrico principal del blower.					1	1	1	1	1								
Identificacion de posibles problemas mecanicos o electricos en el										1	1	1	1	1			
Instalacion de los sensores para monitorear las condiciones de operaciones como (temperatura, presion, etc.).										1	1	1	1	1			
Conexion del blower al controlador y configuracion relevadores o actuadores.										1	1	1	1	1			
Asegurar que el blower opere correctamente de manera automatizada.															1	1	
configuracion de parametros de encendidos y apagados automatico según las condiciones de la extrusora.															1	1	1
Pruebas de funcionamiento del sistema automatizado.															1	1	1
Programacion de la logica de control PLC o microcontroladores.															1	1	1

## IX. PRESUPUESTO

A continuación se presenta el presupuesto en la tabla XIV.

Tabla XIV  
PRESUPUESTO

Nombre del elemento	Cantidad	Unidad	Valor total
<b>SERVICIOS BÁSICOS</b>			
Transporte	1	GLOBAL	\$ 400
Alimentación	1	GLOBAL	\$ 320
Mano de obra	1	GLOBAL	\$ 1100
Energía eléctrica	1	GLOBAL	\$ 340
<b>COMPONENTES</b>			
Tolva	1	U	\$70
Contactores	2	U	\$80
Temporizador	1	U	\$30
Blower	1	U	\$130
Manguera flexible	4	U	\$33
Cable flexible	1	U	\$30
Abrazaderas	1	U	\$2
Polipropileno	2	U	\$60
Polietileno	2	U	\$60
Máquina Extrusora Universal	1	U	\$8000
<b>TOTAL</b>			<b>\$10.655</b>

## X. CONCLUSIONES

Para iniciar, la repotenciación de la máquina extrusora de plástico se diseñó un sistema automatizado de carga de material permitió su integración exitosa a la estructura existente de la máquina extrusora sin requerir modificaciones significativas en su configuración original, lo que permite mantener la continuidad operativa y mejorar la eficiencia general del sistema.

La incorporación de un blower y un temporizador como parte del sistema automatizado demostró ser una solución eficiente para garantizar un suministro constante y controlado de material a la extrusora, lo que contribuye a una operación más estable y predecible. El blower asegura un transporte continuo y homogéneo del material, mientras que el temporizador optimiza el funcionamiento al ajustar los intervalos de alimentación según las necesidades específicas del proceso, optimizando así el uso de recursos y mejorando la productividad.

La implementación del sistema automatizado de carga de material en la máquina extrusora de plástico ha demostrado ser efectiva en la reducción de los tiempos de extrusión, como lo evidenciaron las pruebas de funcionamiento realizadas tanto en la máquina manual como en la máquina repotenciada. Estas mejoras optimizan el proceso productivo, reduciendo los tiempos en un 20,73 % en el primer promedio de ambas máquinas, un 15,5 % en el segundo promedio y un 17,85 % en el tercer promedio. Estos resultados indican una mayor eficiencia y productividad de la máquina repotenciada en este aspecto específico del proceso de extrusión.

La repotenciación de la máquina no solo cumple con el objetivo de agilizar la producción, sino que también contribuye a una mayor competitividad y rentabilidad para la empresa. Este proyecto sienta las bases para futuras innovaciones en la línea de producción.

## XI. RECOMENDACIONES

Establecer un programa de mantenimiento preventivo para garantizar la operación continua y eficiente de la máquina. Es fundamental implementar medidas de seguridad para identificar y mitigar todos los peligros potenciales asociados con la máquina y el proceso de extrusión. Estos riesgos, que incluyen aspectos mecánicos, eléctricos, térmicos y químicos, deben ser evaluados para garantizar la protección tanto de los operadores como de los equipos.

Se sugiere expandir la automatización de la máquina extrusora en su totalidad, implementando un PLC y una pantalla HMI que permitan la supervisión y control en tiempo real del proceso de extrusión. Estos elementos deben ser compatibles con la extrusora y los requisitos del proceso.

Finalmente se debe considerar la implementación de otros tipos de moldes intercambiables que maximicen la eficiencia y la calidad del producto final, como los utilizados para fabricar tapas de plástico, botellas y otros artículos de plástico.

## REFERENCIAS

- [1] A. S. Sierra Saavedra y D. X. Sánchez Suárez, «Desarrollo de una máquina extrusora de plástico reciclado para la construcción de perfiles sintéticos,» Accedido: 05-01-2025, B.S. thesis, 2023.
- [2] D. A. Sisalema Celleri y K. S. Zambrano Castro, «Implementación de un sistema de cultivo automático de microalgas,» Accedido: 31-01-2025, B.S. thesis, 2023. dirección: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/25772>.
- [3] M. A. Bajaña Guashpa y C. A. Barroso Ruiz, «Desarrollo de un sistema de etiquetado de envases plásticos cilíndricos, orientado a la reducción de tiempos de producción,» Accedido: 05-02-2025, B.S. thesis, 2023.
- [4] p. y. a. Plastiflan plásticos, *La industria plástica en Ecuador tiene un crecimiento sostenido*, Accedido: 11-11-2024, 2023. dirección: <https://plastiflan.com.ec/industria-plastica-ecuador/>.
- [5] E. SOLUTION, *5 Plastic Extrusion Machine Products And How They Are Made*, Accedido: 29-08-2024, 2022. dirección: <https://epackagingsolution.com/5-plastic-extrusion-machine-products-and-how-they-are-made>.
- [6] O. Machining, *Low Volume Aluminum Extrusion Services*, Accedido: 29-08-2024, 2024. dirección: <https://www.oyamachining.com/services/aluminum-extrusion>.
- [7] A. G. S.A.S, *Extrusoras de plástico: todo lo que debe conocer*, Accedido: 29-08-2024, 2023. dirección: <https://www.oyamachining.com/services/aluminum-extrusion>.
- [8] PROTEVAL, *El mantenimiento preventivo de la maquinaria industrial: Qué es, tipos, ventajas y beneficios*, Accedido: 29-08-2024, 2021. dirección: <https://proteval.com/que-es-mantenimiento-preventivo-maquinaria-industrial-ventajas-y-beneficios/>.
- [9] FRACTTAL, *Cómo hacer un plan de mantenimiento de extrusoras industriales*, Accedido: 29-08-2024, 2024. dirección: <https://www.fractal.com/es/blog/plan-mantenimiento-extrusora>.
- [10] T. D. PLÁSTICO, *Extrusión: ¿Qué es y cómo funciona?* Accedido: 29-08-2024, 2023. dirección: <https://www.plastico.com/es/noticias/extrusion-que-es-y-como-funciona>.
- [11] SINTAC, *¿Qué es un polímero? Definición, tipos y materiales*, Accedido: 10-01-2025, 2024. dirección: <https://sintac.es/polimeros-que-es-tipos-materiales/>.
- [12] JUNTADEANDALUCIA, *Polímeros*, Accedido: 10-01-2025, 2024. dirección: [https://edeja.juntadeandalucia.es/bancorecursos/file/5a22f61f-d2b2-4ce1-8188-6dd92d2d0dfb/1/es-an\\_2011022213\\_9175112.zip/ODE-bf3ee1ae-dd38-3a7a-b998-2a535aa68f39/3\\_polmeros.html?temp.hn=true&temp.hb=true](https://edeja.juntadeandalucia.es/bancorecursos/file/5a22f61f-d2b2-4ce1-8188-6dd92d2d0dfb/1/es-an_2011022213_9175112.zip/ODE-bf3ee1ae-dd38-3a7a-b998-2a535aa68f39/3_polmeros.html?temp.hn=true&temp.hb=true).
- [13] CAIRPLAS, *Qué son los plásticos*, Accedido: 10-01-2025, 2023. dirección: <https://cairplas.org.ar/plasticos/>.
- [14] L. C. M. Pardo Peña, A. F. Giraldo Saldarriaga et al., «Rediseño de una máquina extrusora de plástico,» 2019, Accedido: 09-01-2025.
- [15] Sintac, «¿Cuáles son las propiedades de los plásticos?,» 2023, Accedido: 14-01-2025. dirección: <https://sintac.es/cuales-son-las-propiedades-de-los-plasticos/>.
- [16] Ensinger, «Propiedades mecánicas de plásticos,» 2024, Accedido: 12-01-2025. dirección: <https://www.ensingerplastics.com/es-br/semielaborados/seleccion-de-materiales-plasticos/propiedades-mecanicas>.
- [17] Poli Santa Fe, «Plástico: propiedades físicas y químicas,» 2022, Accedido: 12-01-2025. dirección: <https://polisantafe.com.ar/plastico-propiedades-fisicas-y-quimicas/>.
- [18] PCM, *¿Cómo se compone el plástico?* Accedido: 14-01-2025, 2023. dirección: <https://www.pcm.com.mx/learning-center/como-se-compone-el-plastico>.
- [19] P. I. D. TERMOPLASTICOS, *Propiedades de los plásticos, características y aplicaciones*, Accedido: 14-01-2025, 2024. dirección: <https://plasticol.es/propiedades-de-los-plasticos/>.
- [20] Rotobasque, «Transformación de plásticos,» 2017, Accedido: 13-01-2025. dirección: <https://rotobasque.com/transformacion-de-plasticos/>.
- [21] Elydan, «Las técnicas de transformación de los plásticos,» 2021, Accedido: 11-01-2025. dirección: <https://elydan.eu/es/las-tecnicas-de-transformacion-de-los-plasticos/>.
- [22] Atienza y Climent, «Transformación de los plásticos: descubre el fascinante proceso de cambio de materiales,» 2022, Accedido: 16-01-2025. dirección: <https://atienzaycliment.com/consejos/transformacion-de-los-plasticos-descubre-el-fascinante-proceso-de-cambio-de-materiales/>.

- [23] Naeco, «Procesos de transformación del plástico,» 2022, Accedido: 15-01-2025. dirección: <https://naeco.com/es/actualidad/procesos-de-transformacion-del-plastico/>.
- [24] Grupo PHT, «Procedimientos de transformación de plásticos técnicos,» 2024, Accedido: 12-01-2025. dirección: <https://grupopht.com/blog/procedimientos-de-transformacion-de-plasticos-tecnicos/>.
- [25] Jieya Twinscrew, «La guía definitiva para máquinas extrusoras de plástico,» 2022, Accedido: 14-01-2025. dirección: <https://jeyatwinscrew.com/es/blog/la-guia-definitiva-para-maquinas-extrusoras-de-plastico/>.
- [26] Useon, «Extrusora de un solo tornillo,» 2025, Accedido: 15-01-2025. dirección: <https://www.useon.es/machine/single-screw-extruder/>.
- [27] Gester, «Tipos de máquinas extrusoras de plástico,» 2024, Accedido: 16-01-2025. dirección: <https://gester.es/es/blog/tipos-de-maquinas-extrusoras-de-plastico-n16>.
- [28] Plastico, «Extrusora de doble tornillo SHJ-63,» 2022, Accedido: 13-01-2025. dirección: <https://www.plastico.com/es/productos/extrusora-de-doble-tornillo-shj-63>.
- [29] Plastico, «Extrusoras de plástico: todo lo que debe conocer,» 2022, Accedido: 15-01-2025. dirección: <https://www.plastico.com/es/noticias/extrusoras-de-plastico-todo-lo-que-debe-conocer>.
- [30] E. B. D. PLÁSTICO, *Tecnologías de fabricación con materiales poliméricos y sus compuestos*, Accedido: 10-01-2025, 2022. dirección: <https://elblogdelplastico.blogs.upv.es/2012/10/23/tecnologias-de-fabricacion-con-materiales-polimericos-y-sus-compuestos-3/>.
- [31] CLAVEXXI, *Tecnologías de fabricación con materiales poliméricos y sus compuestos*, Accedido: 10-01-2025, 2022. dirección: <https://clavexxi.es/tipos-extrusion-procesos/>.
- [32] N. Jieya, *La guía definitiva para máquinas extrusoras de plástico en 2024*, Accedido: 12-11-2024, 2024. dirección: <https://jeyatwinscrew.com/es/blog/la-guia-definitiva-para-maquinas-extrusoras-de-plastico/>.
- [33] B. P. SOLUTION, *Extrusora paralela de doble tornillo*, Accedido: 12-11-2024, 2020. dirección: <https://www.benkextruder.com/spain/maquina-de-extrusion-paralela-de-doble-tornillo/>.
- [34] J. T. Q. Connection, *¿Qué es un temporizador eléctrico?* Accedido: 09-11-2024, 2024. dirección: <https://jst.es/temporizador%20electrico/#:~:text=Automatizaci%C3%B3n%20de%20equipos%3A%20En%20la,y%20reduce%20los%20costos%20operativos..>
- [35] E. AFG, *Temporizador Industrial*, Accedido: 12-11-2024, 2023. dirección: [https://www.electronicasafg.com/MCO-851502828-temporizador-industrial-digital-tm919a-dia-semana-110v-riel-\\_JM](https://www.electronicasafg.com/MCO-851502828-temporizador-industrial-digital-tm919a-dia-semana-110v-riel-_JM).
- [36] EraRelmo, *¿Qué es un Contactor y cómo funciona?* Accedido: 05-11-2024, 2022. dirección: <https://www.erarelmo.com/post/contactores-electricos>.
- [37] E. Básica, *Contactor Eléctrico: Funciones, Aplicaciones y Ventajas*, Accedido: 12-11-2024, 2023. dirección: <https://electricidad-basica.com/dispositivos-electricos/contactor/>.
- [38] E. C. S. D. C.V., *Lo que necesitan saber acerca de los pirómetros*, Accedido: 11-11-2024, 2022. dirección: <https://elcristol.com.mx/blog/post/lo-que-necesitan-saber-acerca-de-los-pirometros>.
- [39] E. COMERCIAL, *PIRÓMETRO DIGITAL (K) 700° REX-C700 – CAMSCO*, Accedido: 12-11-2024, 2024. dirección: <https://www.electrocomercialgyv.com/producto/pirometro-digital-k-700o-rex-c700-camsco/>.
- [40] T. Tanques, *Tolva ¿Qué son y para qué sirven?* Accedido: 11-11-2024, 2020. dirección: <https://tecnotanques.com/tolva-que-son-y-para-que-sirven/>.
- [41] M. MAQ, *Tolva de decantación circular serie TDC*, Accedido: 12-11-2024, 2024. dirección: <https://www.martinmaq.com/es/recuperacion-y-filtrado/tolva-de-decantacion-circular-serie-tdc/p-176>.
- [42] EQUIPMASER.CO, *¿Qué función tiene un Blower para la Piscicultura?* Accedido: 09-11-2024, 2022. dirección: <https://equipmaster.com.co/piscicultura/que-funcion-tiene-un-blower-para-la-piscicultura/>.
- [43] HUGE PUMP, *TKB 310/16 BLOWER*, Accedido: 11-11-2024, 2022. dirección: <https://www.hugepump.com/tkb-310-16-blower-urun492.html>.
- [44] H. I. GROUP, *Ventajas y desventajas del transporte por tubería*, Accedido: 05-11-2024, 2022. dirección: <https://www.husteel-group.com/es/events/advantages-and-disadvantages-of-pipeline-transportation.html>.
- [45] T. Peg, *Tubos flexibles de Poliuretano traslucido y alambre de acero*, Accedido: 11-11-2024, 2020. dirección: <https://www.tecnopeg.com/mangueras-flexibles-poliuretano/>.
- [46] A. Formación, *¿Qué es SolidWorks?* Accedido: 12-11-2024, 2019. dirección: [https://www.adrformacion.com/knowledge/ingenieria-y-proyectos/\\_que\\_es\\_solidworks\\_.html](https://www.adrformacion.com/knowledge/ingenieria-y-proyectos/_que_es_solidworks_.html).

- [47] Medium, *SOLIDWORKS*. *¿Qué es? y ¿para qué sirve?* Accedido: 12-11-2024, 2021. dirección: <https://medium.com/dise%C3%B1o-y-manufactura-digital/solidworks-qu%C3%A9-es-y-para-qu%C3%A9-sirve-4d60b7cfd766>.
- [48] Trickdrawing, *Simurelay*, Accedido: 06-02-2025, 2023. dirección: <https://trickdrawing.com/simurelay/>.
- [49] Aptoide, *Simurelay*, Accedido: 06-02-2025, 2023. dirección: <https://simurelay.es.aptoide.com/app>.

## XII. ANEXOS

### XII-A. Anexo 1 Ficha técnica del Blower

**VACUUM AUTOLOADER**

Highload Type											
Model	Motor		Conveying Capacity kg/hr (ℓ b/hr)	Static Wind Pressure (MAX) (mmAq)	Filter (mm)	Material Hopper Volume (ℓ)	Conveying Tube I.D. mm(in)	External Dimension			Weight kg (ℓ b)
	Type	Specification						H	W	D mm(in)	
TAL-300NE	Carbon Brush	750W1ø	400 (880)	1500	-	5.5	ø 38 (1 1/2)	540x440x410 (21.3x17.3x16.1)			38(83.6)
TAL-300NF	Carbon Brush	750W1ø	400 (880)	1500	186 x 60H	5.5	ø 38 (1 1/2)	840x440x450 (33.1x17.3x17.7)			50(110)
TAL-400NE	Induction	1/2HP3ø	350 (770)	1300	-	9.5	ø 38 (1 1/2)	740x390x400 (29.1x15.4x15.7)			38(83.6)
TAL-600NE	Induction	1HP3ø	450 (990)	1700	-	12	ø 38 (1 1/2)	840x440x450 (33.1x17.3x17.7)			50(100)

Figura 42. Especificaciones técnicas del Blower, por A. Pico y I. De La Puente.

### XII-B. Anexo 2 Proceso de construcción de la Tolva



Figura 43. Corte de la placa para la tolva, por A. Pico y I. De La Puente.



Figura 44. Perforaciones para empernar el dosificador, por A. Pico y I. De La Puente.



Figura 45. Construcción del molde, por A. Pico y I. De La Puente.



Figura 46. Componentes esenciales para ensamblar a la máquina extrusora, por A. Pico y I. De La Puente.



Figura 47. Acople de la tolva a la máquina extrusora, por A. Pico y I. De La Puente.

XII-C. Anexo 3 Planos de la máquina extrusora de plástico

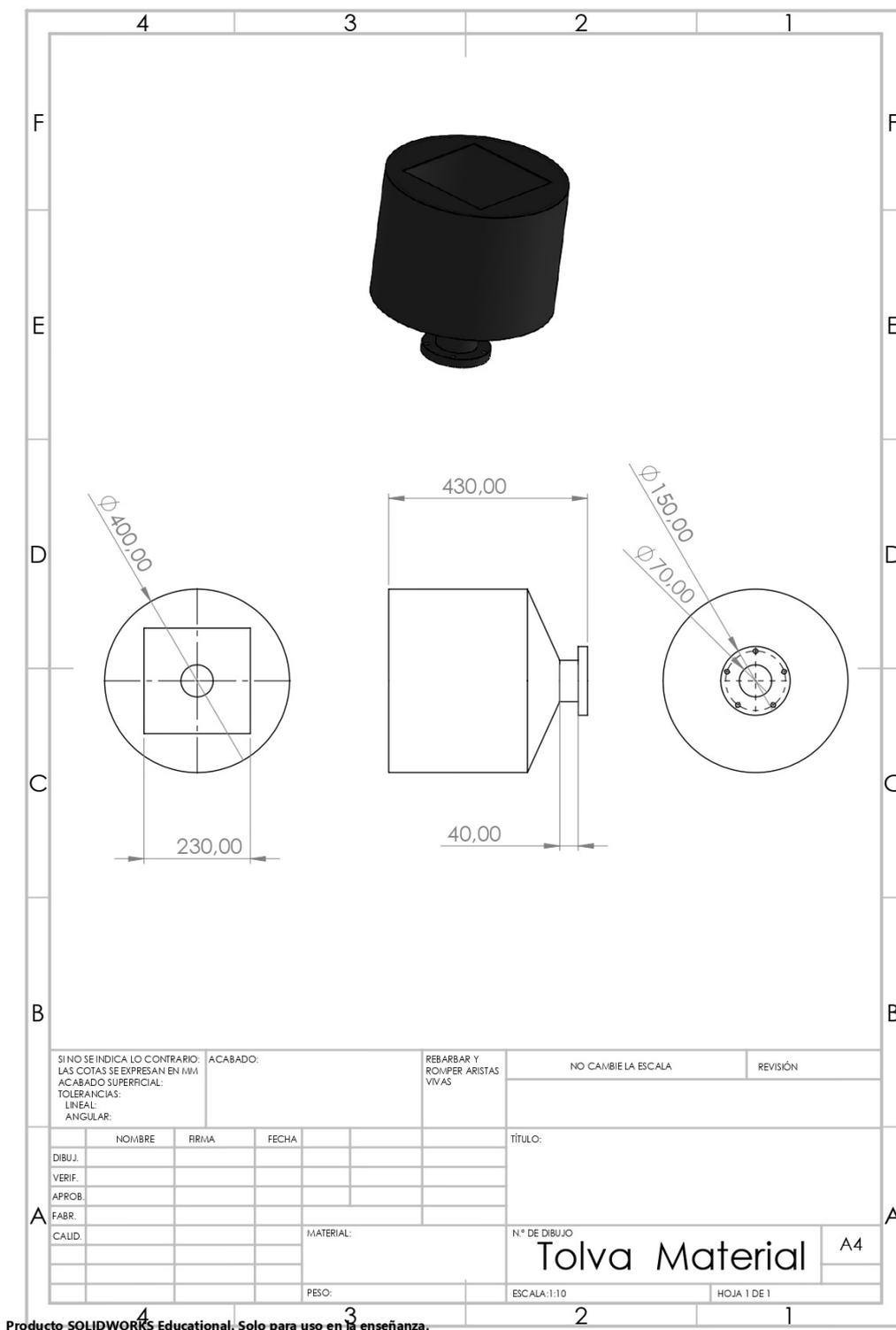


Figura 48. Tolva material, por A. Pico y I. De La Puente.

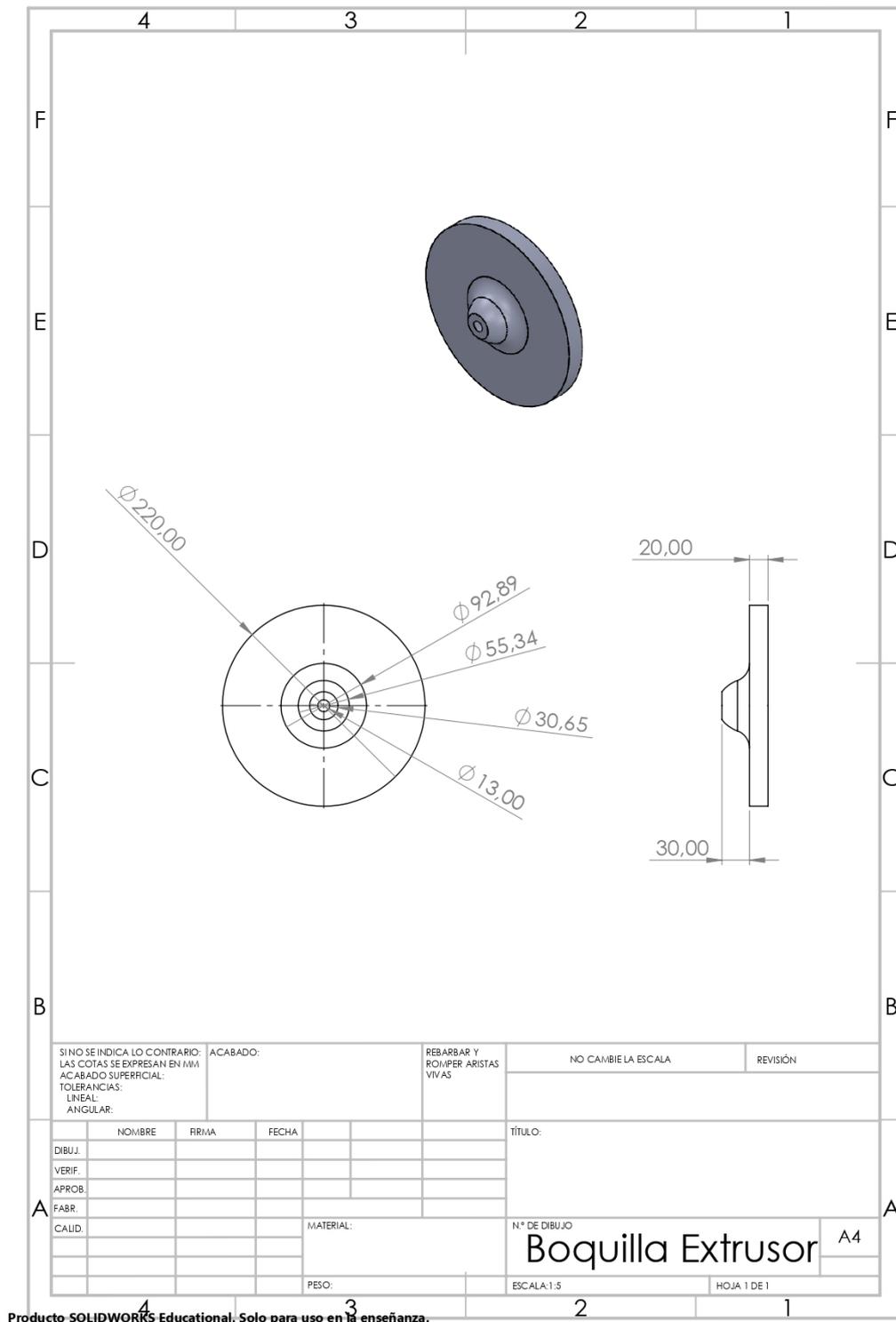


Figura 49. Boquilla Extrusor, por A. Pico y I. De La Puente.

