



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE: GUAYAQUIL**

**CARRERA DE: MECATRÓNICA**

**DESARROLLO DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA DE PLÁSTICO  
RECICLADO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PERFILES  
SINTÉTICOS**

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

**AUTORES:** Andy Steven Sierra Saavedra  
Danny Xavier Sánchez Suárez  
**TUTOR:** David Humberto Cárdenas Villacrés

Guayaquil-Ecuador  
2023

# I. CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORIÁ DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, **Andy Steven Sierra Saavedra** con documento de identificación N° **0950028217-7** y **Danny Xavier Sánchez Suárez** con documento de identificación N° **172724700-7**, manifestamos que:

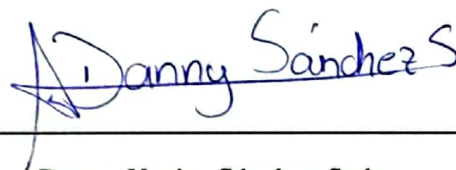
Somos los autores y responsables del presente trabajo; y autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo.

Guayaquil, 9 de marzo del año 2023

Atentamente,



Andy Steven Sierra Saavedra  
095002821-7



Danny Xavier Sánchez Suárez  
172724700-7

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

Nosotros, **Andy Steven Sierra Saavedra** con documento de identificación N° **0950028217-7** y **Danny Xavier Sánchez Suárez** con documento de identificación N° **172724700-7**, respectivamente, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado **"DESARROLLO DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA DE PLÁSTICO RECICLADO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PERFILES SINTÉTICOS**, 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, 9 de marzo del año 2023

Atentamente,



Andy Steven Sierra Saavedra  
095002821-7



Danny Xavier Sánchez Suárez  
172724700-7

### III. CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Cárdenas Villacrés, David Humberto**, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“DESARROLLO DE UNA MÁQUINA EXTRUSORA DE PLÁSTICO RECICLADO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PERFILES SINTÉTICOS”**, realizado por **Andy Steven Sierra Saavedra** con documento de identificación N° **095002821-7** y por **Danny Xavier Sánchez Suárez** con documento de identificación N° **172724700-7**, 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, 9 de marzo del año 2023

Atentamente,



---

Ing. David Humberto Cárdenas Villacrés.  
171649410-7

## IV. DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTO

### *IV-A. Dedicatoria*

**Andy** Dedico este logro a las personas que no creyeron en mi y que siguen sin creerlo a quienes esperan que sea su apoyo y su mentor, a las personas que ya no estan conmigo por cosas del destino y a las personas que Dios la tiene en su gloria.

**Danny** A Dios, a mis padres, y a mi supervisor de trabajo Bairon Alcívar a quién le quedaré eternamente agradecido por darme a posibilidad de estudiar y cumplir este sueño, a nuestro tutor el Ing. David Cárdenas que nos dió todas las facilidades posibles.

### *IV-B. Agradecimiento*

**Andy** Agradezco a mi padres por estar en este camino de mi carrera de aprendizaje y que siempre me han apoyado y siempre lo harán. A una persona que me hizo mejor cada día cuando estuvimos juntos y lo sigue haciendo aunque nuestros caminos se separaron hace tiempo. A mis hermanos a quienes quiero de una forma poco convencional y son mi compañía y mi respaldo.

**Danny** Agradezco a Dios, a mis padres, a los docentes que han compartido conmigo desde primer semestre sus conocimientos, a mis compañeros que me dieron una mano cuando los necesité, a mi tutor por habernos guiado y dedicado su tiempo.

## V. RESUMEN

El proyecto propuesto se enfoca en solucionar un problema específico, el cual se explica detalladamente en la primera sección del informe. Asimismo, se presentan los objetivos generales y específicos de la iniciativa, así como su justificación y aportación al medio ambiente. En la segunda sección, se describe con detalle cada uno de los componentes y programas que se utilizarán en la maquinaria propuesta, además de explicar los procedimientos a seguir para su desarrollo. Finalmente, en la última sección se presentan anexos y una tabla de comparación que evidencia los resultados obtenidos tras llevar a cabo el proyecto propuesto. Con este informe, se busca ofrecer una explicación clara y detallada de todo el proceso y los resultados obtenidos, permitiendo así una mejor comprensión del proyecto en su totalidad.

## VI. ABSTRACT

The proposed project focuses on solving a specific problem, which is explained in detail in the first section of the report. Additionally, the general and specific objectives of the initiative are presented, as well as its justification and contribution to the environment. In the second section, each of the components and programs to be used in the proposed machinery is described in detail, in addition to explaining the procedures to be followed for its development. Finally, in the last section, annexes and a comparison table are presented that evidences the results obtained after carrying out the proposed project. With this report, we aim to offer a clear and detailed explanation of the entire process and the results obtained, thus allowing for a better understanding of the project as a whole.

## ÍNDICE

<b>I.</b>	<b>CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	<b>2</b>
<b>II.</b>	<b>CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA</b>	<b>3</b>
<b>III.</b>	<b>CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>	<b>4</b>
<b>IV.</b>	<b>DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTO</b>	<b>5</b>
	IV-A. Dedicatoria . . . . .	5
	IV-B. Agradecimiento . . . . .	5
<b>V.</b>	<b>RESUMEN</b>	<b>6</b>
<b>VI.</b>	<b>ABSTRACT</b>	<b>7</b>
<b>VII.</b>	<b>Problemática</b>	<b>1</b>
<b>VIII.</b>	<b>Justificación</b>	<b>2</b>
<b>IX.</b>	<b>Objetivos</b>	<b>3</b>
	IX-A. Objetivo general . . . . .	3
	IX-B. Objetivos específicos . . . . .	3
<b>X.</b>	<b>Marco Teórico</b>	<b>4</b>
	X-A. Extrusora de plástico . . . . .	4
	X-B. Polímeros . . . . .	4
	X-B1. Plásticos . . . . .	5
	X-B2. Polietileno(PE) . . . . .	5
	X-B3. Poliestireno(PS) . . . . .	5
	X-B4. Polipropileno(PP) . . . . .	5
	X-B5. Politetrafluoroetileno(Teflón) . . . . .	5
	X-C. Proceso de reciclaje mecánico del PET . . . . .	5
	X-D. Transformación del polietileno terftalato reciclado (RPET) . . . . .	6
	X-E. Extrusión . . . . .	6
	X-E1. Extrusora de plástico con tornillo de transporte. . . . .	6
	X-F. Componentes neumáticos . . . . .	7
	X-F1. Cilindro de doble efecto . . . . .	7
	X-F2. Unidad de mantenimiento . . . . .	8
	X-F3. Válvula de regulación de aire . . . . .	8
	X-F4. Compresor de aire . . . . .	8
	X-F5. Mangueras neumáticas . . . . .	9
	X-F6. Electroválvula 5/2 . . . . .	9
	X-G. Componentes electrónicos . . . . .	9
	X-G1. Resistencia eléctrica tipo banda . . . . .	9
	X-G2. PLC LOGO . . . . .	10
	X-G3. Controlador de temperatura PID . . . . .	10
	X-G4. Termocupla tipo K . . . . .	10
	X-G5. Termo-magnético . . . . .	11
	X-G6. Relé estado sólido . . . . .	11
	X-G7. Fuente de alimentación . . . . .	11



	X-G8.	Interruptor . . . . .	12
	X-G9.	Luz piloto . . . . .	12
X-H.		ACEROS Y NO ACEROS APLICADOS . . . . .	13
	X-H1.	ACERO SAE 1018 . . . . .	13
	X-H2.	Bronce Aluminio . . . . .	13
X-I.		Programas de diseño y automatización . . . . .	14
	X-I1.	Inventor . . . . .	14
	X-I2.	LOGO! Soft Comfort . . . . .	14
	X-I3.	CADe SIMU . . . . .	15
<b>XI.</b>	<b>Metodología</b>		<b>16</b>
	XI-A.	Etapa de diseño . . . . .	16
	XI-B.	Etapa de mecanizado y fabricación estructural . . . . .	19
		XI-B1. Desbaste del cañón exterior e interior . . . . .	19
		XI-B2. Acabado del cañón . . . . .	20
		XI-B3. Fresado y taladrado . . . . .	21
		XI-B4. Mecanizado de émbolo de bronce . . . . .	22
		XI-B5. Armado y soldado de estructura de apoyo. . . . .	23
	XI-C.	Etapa de implementación eléctrica y neumática . . . . .	23
		XI-C1. Cálculos del cilindro neumático . . . . .	24
		XI-C2. Cálculos de la resistencia eléctrica . . . . .	25
	XI-D.	Etapa de ensamble . . . . .	27
	XI-E.	Etapa de programación . . . . .	28
<b>XII.</b>	<b>PRUEBAS Y RESULTADOS</b>		<b>30</b>
	XII-A.	Prueba 1 . . . . .	30
	XII-B.	Prueba 2 . . . . .	31
	XII-C.	Prueba 3 . . . . .	31
	XII-D.	Prueba 4 . . . . .	32
	XII-E.	Prueba 5 . . . . .	33
	XII-F.	Tabla comparativa . . . . .	34
<b>XIII.</b>	<b>Conclusiones y Recomendaciones</b>		<b>35</b>
	XIII-A.	Conclusión general . . . . .	35
	XIII-B.	Conclusiones secundarias . . . . .	35
	XIII-C.	Recomendaciones generales . . . . .	35
<b>XIV.</b>	<b>Planificación y presupuesto</b>		<b>36</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

1.	Extrusora de plástico.[11] . . . . .	4
2.	Cuadro conceptual de polímeros . . . . .	4
3.	Ciclo de reciclado de PET.[11] . . . . .	5
4.	Propiedades del PET.[11] . . . . .	6
5.	Extrusora de plástico.[11] . . . . .	7
6.	Pistón neumático doble efecto.[22] . . . . .	7
7.	Unidad de mantenimiento.[19] . . . . .	8
8.	Válvula de regulación de aire.[8] . . . . .	8
9.	Compresor de aire.[2] . . . . .	8
10.	Mangueras neumáticas.[9] . . . . .	9
11.	Electroválvula 5/2 vías.[3] . . . . .	9
12.	Resistencia de banda.[20] . . . . .	9
13.	PLC Logo.[14] . . . . .	10
14.	Controlador de temperatura.[12] . . . . .	10
15.	Termocupla tipo K.[6] . . . . .	10
16.	Termo-magnético . . . . .	11
17.	Relé estado sólido . . . . .	11
18.	Fuente de alimentación.[26] . . . . .	11
19.	Interruptor [28] . . . . .	12
20.	Interruptor [5] . . . . .	12
21.	Acero SAE 1018[27] . . . . .	13
22.	Bronce aluminio [17] . . . . .	13
23.	Interfaz de Inventor[16] . . . . .	14
24.	Interfaz del programa[21] . . . . .	14
25.	Vista de simulación[4] . . . . .	15
26.	Base neumática . . . . .	16
27.	Base neumática . . . . .	16
28.	Soporte de cañón 1 . . . . .	17
29.	Soporte de cañón 1.1 . . . . .	17
30.	Soporte de cañón 2 . . . . .	17
31.	Soporte de cañón 2.2 . . . . .	18
32.	Cama de extrusión . . . . .	18
33.	Refrentado . . . . .	19
34.	Taladrado . . . . .	19
35.	Refrentado . . . . .	19
36.	Desbate de cañón . . . . .	20
37.	Acabado exterior . . . . .	20
38.	Acabado interior . . . . .	21
39.	Fresado de agujero para suministro de plástico . . . . .	21
40.	Acabado interior . . . . .	21
41.	Émbolo de bronce . . . . .	22
42.	Émbolo de bronce ángulo 45° . . . . .	22
43.	Mesa de máquina extrusora . . . . .	23
44.	Datasheet del controlador.[12] . . . . .	23
45.	Proceso de histéresis[12] . . . . .	24
46.	Montaje de la maquina extrusora . . . . .	27
47.	Maquina extrusora . . . . .	27
48.	Programación LOGO . . . . .	28
49.	Simulación en CADe Simu . . . . .	29

50.	Propiedades físicas del plástico . . . . .	30
51.	Prueba 1 con PP . . . . .	30
52.	Prueba 2 con PP . . . . .	31
53.	Peso del material . . . . .	31
54.	Prueba 3 con HDPE . . . . .	32
55.	Prueba 3.1 con HDPE . . . . .	32
56.	Prueba 4 Boquilla cuadrada plástico reciclado. . . . .	33
57.	Prueba 4 Boquilla cuadrada plástico virgen con el mismo proceso de temperatura . . . . .	33
58.	Prueba 4 Boquilla cilíndrica, plástico virgen con el mismo proceso de temperatura anterior . . . . .	34
59.	Tabla comparativa de resultados. . . . .	34
60.	Presupuesto. Fuente: Autores . . . . .	36
61.	Presupuesto. Fuente: Autores . . . . .	36

## VII. PROBLEMÁTICA

La contaminación por residuos plásticos es uno de los principales problemas medioambientales del tiempo contemporáneo, se calcula que cada año se vierten en los océanos 8 millones de toneladas de plásticos, esto equivale a vaciar un camión de basura lleno de plásticos por minuto. Se pronostica que a este ritmo para el 2025 se tendría una tonelada de plástico por cada 3 toneladas de pescado, y para el 2050 habrá más plástico que peces. En Latinoamérica la contaminación por el plástico se ha elevado en los últimos años debido a la importación de los desechos plásticos de países del primer mundo, no todos los desechos son reutilizados debido a que se mezclan con sustancias tóxicas o inflamables que son difíciles de separar.

## VIII. JUSTIFICACIÓN

Debido a la gran cantidad de desechos plásticos producidos en el mundo, el presente proyecto colabora a la reutilización de polímeros triturados para la transformación de materia prima que serán utilizadas en construcciones biodegradables y duraderas.

Para la implementación del proyecto propuesto se plantea implementar una máquina extrusora que aprovecha el plástico triturado que se fundirá por medio de un tornillo sin fin que se regula a la temperatura de fusión por medio de un control PID de las termocuplas para obtener los perfiles plásticos.

## IX. OBJETIVOS

### *IX-A. Objetivo general*

Desarrollar una máquina extrusora de plásticos reciclados para la reducción de la contaminación ambiental, controlando la temperatura óptima del punto de fusión.

### *IX-B. Objetivos específicos*

- Revisar la literatura existente sobre los puntos de grado de fundición de los diferentes tipos de plástico para la determinación de la temperatura en los controladores PID.
- Diseñar las etapas mecánicas, eléctricas, de fuerza y de control para la construcción del equipo.
- Implementar los moldes de acero rápido prefabricados para la inyección del plástico.
- Verificar el correcto funcionamiento del equipo mediante pruebas de campo.

## X. MARCO TEÓRICO

### X-A. Extrusora de plástico

Es una máquina que se ocupa de la extrusión de polímeros a través del proceso del prensado, fundición, moldeado, presión y empuje del material. La extrusora permite obtener el molde de forma rápida y continua, el proceso de reciclado industrial y valorizando al máximo la materia prima.

Las extrusoras de plástico son equipos diseñados para fundir y dar forma a materiales plásticos en diferentes formas y tamaños. Estos equipos funcionan mediante un proceso de extrusión continuo, donde el material plástico se calienta y se fuerza a través de un dado para obtener la forma deseada. Las extrusoras de plástico son ampliamente utilizadas en la industria para la producción de una gran variedad de productos plásticos, desde tubos y perfiles hasta láminas y películas. Además, estas máquinas pueden utilizarse para mezclar y homogeneizar diferentes materiales plásticos y aditivos, lo que permite obtener productos con características específicas de resistencia, dureza, color, entre otras.[11]



Figura 1. Extrusora de plástico.[11]

### X-B. Polímeros

Los polímeros son un tipo de molécula de gran tamaño que se caracteriza por tener una unidad monomérica repetitiva en toda la estructura. Estos monómeros son partículas pequeñas que se combinan mediante una reacción de polimerización para formar los polímeros. El estudio de las macromoléculas abarca tanto materiales biológicos como sintéticos. Entre los polímeros de origen biológico se encuentran los polisacáridos, como la celulosa y el almidón, así como las proteínas y los ácidos nucleicos, que se consideran polímeros naturales. Gracias a los avances tecnológicos, se han desarrollado polímeros sintéticos con diversas propiedades mecánicas, que se pueden clasificar de manera general según se muestra en la figura 2.



Figura 2. Cuadro conceptual de polímeros

*X-B1. Plásticos:* Se pueden distinguir dos categorías de plásticos: los plásticos de uso general, producidos en grandes cantidades a bajo costo y utilizados en la vida cotidiana para fabricar recipientes, juguetes, artículos del hogar, entre otros; y los plásticos de ingeniería, producidos en menor volumen y con un precio más elevado debido a sus propiedades únicas. Estos últimos se consideran polímeros de alta tecnología que podrían tener un papel clave en el futuro. Los principales tipos de plásticos que se emplean en la industria y el comercio son los siguientes:

*X-B2. Polietileno(PE):* Este material es producido mediante la aplicación de calor a una mezcla de etileno y oxígeno a bajas presiones. Los polímeros resultantes se caracterizan por ser termoplásticos, elásticos y flexibles. Dependiendo del grado de fusión, pueden ser rígidos, duros o poco elásticos, así como resistentes a los agentes químicos. Entre sus principales aplicaciones se encuentran la fabricación de láminas, materiales aislantes, revestimientos anticorrosión, protección de cultivos, entre otros.

*X-B3. Poliestireno(PS):* El poliestireno se produce mediante la polimerización del estireno con la ayuda de peróxidos. En la industria existen tres tipos de poliestireno: el poliestireno de alto impacto, utilizado para fabricar vasos y plásticos desechables; el poliestireno cristal, utilizado en la fabricación de recipientes; y el poliestireno expandido, utilizado principalmente como material de embalaje.

*X-B4. Polipropileno(PP):* Este material se origina a través de la reacción química conocida como polimerización del propileno y su uso principal se encuentra en la producción de tubos, cuerdas, tejidos y películas que se utilizan para empacar alimentos.

*X-B5. Politetrafluoroetileno(Teflón):* Este elemento posee una gran elasticidad y es capaz de resistir tanto altas temperaturas como productos químicos. Su uso principal se encuentra en el sector industrial, donde se emplea como aislante eléctrico, sellador y para la producción de válvulas.

#### *X-C. Proceso de reciclaje mecánico del PET*

El amplio espectro de aplicaciones de este material lo convierte en un polímero poco amigable con el medio ambiente. La mayoría de los residuos de PET no pueden ser reciclados debido a la cantidad de impurezas que interrumpen el proceso de reciclaje mecánico. Para facilitar el reciclaje, se recomienda el uso de PET transparente y la inclusión de etiquetas fáciles de remover en la etapa de lavado, en lugar de sistemas de impresión. El reciclaje se define como el proceso de reprocesar los materiales para prepararlos para ser utilizados como materia prima en ciclos de producción, tal como se ilustra en la figura 2.

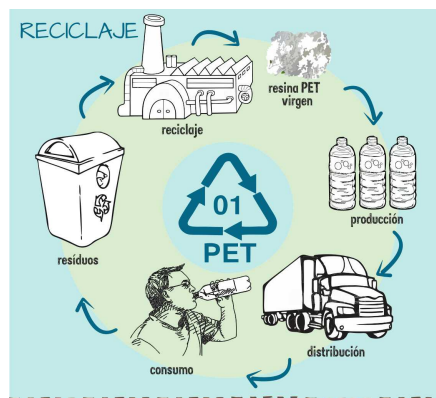


Figura 3. Ciclo de reciclado de PET.[11]

El PET reciclado y el PET virgen presentan una gran diferencia, principalmente debido a la exposición térmica que sufre el material reciclado a lo largo de su ciclo de vida. Esto causa una disminución del peso molecular del material reciclado, así como un aumento en la concentración de ácido carboxílico, la aparición de color y un nivel más alto de acetaldehído.



Porcentaje de contenido de PET reciclado %	Porcentaje de cristalinidad	Temperatura de fusión
100 %PET virgen	33.01	250.0
90% PET virgen /10% RPET	30.84	250.0
80% PET virgen /20% RPET	27.21	249.8
70% PET virgen /30% RPET	32.03	249.9
50% PET virgen /50% RPET	32.04	249.7
100% RPET (grado alimenticio)	34.03	251.2
100% RPET (grado fibra)	36.39	251.6

Figura 4. Propiedades del PET.[11]

#### X-D. Transformación del polietileno terftalato reciclado (RPET)

El proceso de reciclaje comienza con la reducción de tamaño y limpieza del material recuperado. En la industria, el material es transportado a través de una cinta y pasa por un imán que se encarga de retirar cualquier material que no sea apto para el molino, como otros tipos de plásticos o metales. Por lo general, el proceso de molienda se divide en dos etapas: la molienda gruesa, en la que se reduce el tamaño del material hasta los 15 mm, y la molienda fina, en la que las hojuelas pueden llegar hasta los 6 mm con un molino de cuchillas. Una vez molido, el material se lava y centrifuga. El primer proceso se realiza con agua en lavaderos o bateas, y el material se somete a un proceso de centrifugado a la salida. Dependiendo del estado del material, este proceso puede repetirse varias veces y complementarse con un lavado químico antes de almacenarlo en silos. Las hojuelas se funden y dan forma mediante una extrusora. Para la producción de pellets, las tiras de plástico pasan por un tanque de enfriamiento antes de ser arrastradas por un tambor rotatorio y transportadas a una peletizadora. El proceso de transformación del material reciclado puede ser manual o automático.

#### X-E. Extrusión

Es un proceso industrial donde es posible obtener productos, de sección transversal uniforme en un régimen continuo. Este proceso consiste en fundir una resina a causa de la temperatura y fricción la cual es forzada a pasar por un dado el cual proporciona una forma predefinida para luego ser enfriada con el objetivo de evitar deformaciones permanentes. La combinación de diferentes resinas proporciona varias propiedades al producto como son físicas biológicas o químicas. En algunos plásticos que son de difícil moldeo se utiliza aditivos comúnmente llamados plastificantes. Los aditivos se los puede utilizar para mejorar las características de procesamiento del producto o para modificar las propiedades. Tales aditivos incluyen lubricantes, estabilizadores térmicos, antioxidantes y colorantes. Industrialmente existen dos métodos de moldeo: el moldeo por inyección en húmedo y en seco, el cual puede ser continuo o caliente. La extrusión en húmedo se da en casos específicos para los compuestos de nitrocelulosa, en donde humedecida con alcohol se coloca en una mezcladora conjuntamente con disolventes y plastificantes el resultado de esto es un material plástico que se muele para poder ser extruído. A diferencia del moldeo en caliente que utiliza polvos de moldeo termoplásticos y máquinas relativamente pequeñas, a comparación de los usados para otros materiales como el caucho.

X-E1. Extrusora de plástico con tornillo de transporte.: Estos equipos de extrusión, según la presión que ejercen al polímero fundido a través de la boquilla, de forma general se clasifican en extrusoras de desplazamiento positivo y de fricción viscosa.[15]

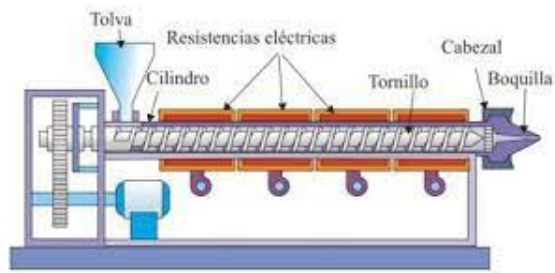


Figura 5. Extrusora de plástico.[11]

*X-F. Componentes neumáticos*

*X-F1. Cilindro de doble efecto:* El cilindro de simple efecto es un dispositivo neumático que realiza un solo trabajo cuando se desplaza el vástago en una carrera de ciclo. El retroceso se produce expulsando aire bajo presión desde la parte trasera, que devuelve el vástago a su posición inicial. Su mayor utilidad se encuentran en líneas de producción, en las industrias de plástico utilizada para la presión de inyección de plástico en los moldes empujados por estos mismos. [23]



Figura 6. Pistón neumático doble efecto.[22]

*X-F2. Unidad de mantenimiento:* Es el dispositivo que permite adaptar el aire del sistema neumático para poder ser utilizada en los demás dispositivos. Está conformado por 3 elementos que forman un solo conjunto, estos son: filtro de aire comprimido, válvula reguladora de presión y lubricador de aire.[10]



Figura 7. Unidad de mantenimiento.[19]

*X-F3. Válvula de regulación de aire:* Este dispositivo permite restringir el flujo, reduce la presión y no realiza trabajo por lo que la transferencia de calor es diminuta. Si el volumen de control elegido es alejado de la restricción, el cambio de energía cinética es pequeño. Las perillas de regulación pueden ser manuales o automáticas.[1]



Figura 8. Válvula de regulación de aire.[8]

*X-F4. Compresor de aire:* Es una máquina que absorbe el aire del ambiente y los transforma en aire presurizado que es almacenado en su tanque donde se puede regular su salida de aire, para las diferente necesidades de trabajo, alimentar artefactos neumáticos, usar herramientas, pintar, etc. Los émbolos que realizan la presurización del aire giran a una velocidad de 6000 revoluciones aproximadamente.[13]



Figura 9. Compresor de aire.[2]

*X-F5. Mangueras neumáticas:* Su material de fabricación es poliuretano, son utilizadas para la comunicación de aire comprimido. Se comercializan en mm desde 4mm hasta 12mm y también en pulgadas desde ¼” hasta ½”.La resistencia de estas mangueras varían según a la presión de aire que se va trasladar del compresor a la herramienta o para otro propósito.[9]



Figura 10. Mangueras neumáticas.[9]

*X-F6. Electroválvula 5/2:* Es una válvula de control que se utiliza en sistemas neumáticos para dirigir el flujo de aire entre diferentes entradas y salidas en dos posiciones diferentes. Esta válvula es accionada por una bobina eléctrica que cambia la posición de la válvula para controlar el movimiento de los actuadores neumáticos. [3]



Figura 11. Electroválvula 5/2 vías.[3]

#### *X-G. Componentes electrónicos*

*X-G1. Resistencia eléctrica tipo banda:* La resistencia tipo banda es un elemento de calefacción cubierto con mica o cerámica que consiste en una abrazadera ajustable la cual rodea el tubo que requiere calentar, para la conexión suele estar incorporado con terminales tipo tornillos o cables flexibles.[20]



Figura 12. Resistencia de banda.[20]

*X-G2. PLC LOGO:* El PLC siemens logo es el autómata más pequeño que se ha fabricado, con el fin de poder ser utilizada para automatizaciones domésticas o industriales que no requieren de mayor soporte, lo que hace más económico. Brinda grandes características con respecto al hardware y software, incluso posee módulos que permite expandir sus conexiones y su programación es gráfica.[14]



Figura 13. PLC Logo.[14]

*X-G3. Controlador de temperatura PID:* Es el control de temperatura usando PID, proporcional, integral y derivativo, es utilizada en una variedad de procesos que tienen variables, como; temperatura, flujo y presión. Suele ser aplicada en procesos de tratamiento industrial, y hornos.[18]



Figura 14. Controlador de temperatura.[12]

*X-G4. Termocupla tipo K:* La termocupla es una herramienta de medición de temperatura muy útil y de amplio despliegue que normalmente se utiliza en una extensa gama de entornos científicos, industriales y de ingeniería. Su pequeño tamaño y respuesta rápida indican que son herramientas que trabajarán eficientemente en entornos peligrosos o difíciles, estos tienen la capacidad de medir de manera precisa y rápida temperaturas extremas. Su reducido tamaño e inmediata respuesta demuestra que son eficientes en espacios peligrosos, ya que son capaces de medir rápidamente temperaturas externas.[24]



Figura 15. Termocupla tipo K.[6]

*X-G5. Termo-magnético:* Es un dispositivo de protección eléctrica que combina un mecanismo térmico y un mecanismo magnético para detectar y proteger contra cortocircuitos y sobrecargas. Esto hace que los interruptores termo-magnéticos sean una opción popular para la protección de circuitos eléctricos en una variedad de aplicaciones, desde el hogar hasta la industria. [25]



Figura 16. Termo-magnético [25]

*X-G6. Relé estado sólido:* Es un tipo de dispositivo de control eléctrico que utiliza componentes electrónicos de estado sólido en lugar de contactos mecánicos para controlar el flujo de corriente en un circuito. En otras palabras, funciona como un interruptor electrónico que se activa mediante un circuito de control electrónico. Los relés de estado sólido se utilizan comúnmente en aplicaciones de control de carga, como en la automatización industrial, sistemas de iluminación, control de temperatura, sistemas de calefacción y aire acondicionado, y en sistemas de control de motores. [7]



Figura 17. Relé estado sólido [7]

*X-G7. Fuente de alimentación:* Es un componente electrónico que está presente en todo panel de control, ya que se utilizan para la regulación y variación del voltaje de entrada ya sea AC/DC, DC/DC O AC/AC para los diferentes dispositivos electrónicos.[26]



Figura 18. Fuente de alimentación.[26]

X-G8. *Interruptor*: Un interruptor es un dispositivo eléctrico que se utiliza para interrumpir o desviar el flujo de corriente eléctrica en un circuito. En la actualidad, existen numerosos tipos de interruptores con diferentes aplicaciones, desde simples interruptores que encienden o apagan una bombilla, hasta interruptores más complejos como los selectores de transferencia automáticos de múltiples capas, controlados por computadora.[28]



Figura 19. Interruptor [28]

X-G9. *Luz piloto*: Es un dispositivo electrónico diseñado para indicar visualmente si un equipo electrónico está encendido. Esta luz es útil para evitar que los equipos se queden encendidos innecesariamente, lo que puede agotar la batería del equipo. El circuito utilizado para esta luz piloto es muy eficiente, ya que utiliza un LED de baja potencia y consume muy poca corriente. Además, el circuito se puede conectar a cualquier circuito electrónico existente. [5]



Figura 20. Interruptor [5]

## X-H. ACEROS Y NO ACEROS APLICADOS

X-H1. *ACERO SAE 1018*: Acero con baja aleación de carbono, resistencia media a la temperatura, tiene buen ductilidad para proceso en frío, fácil para mecanizar y soldar, se comercializa en barra redonda, cuadrada, hexagonal y rectangular. El acero SAE 1018 es un tipo de acero al carbono de bajo contenido en aleaciones que se caracteriza por su alta resistencia y ductilidad. Este tipo de acero se utiliza ampliamente en la industria debido a su excelente soldabilidad y maquinabilidad, lo que lo hace ideal para la producción de piezas de maquinaria, pernos, tuercas y otros componentes mecánicos. El acero SAE 1018 es un material versátil y económico que se utiliza en una amplia variedad de aplicaciones debido a su alta calidad y a su bajo costo.[27]

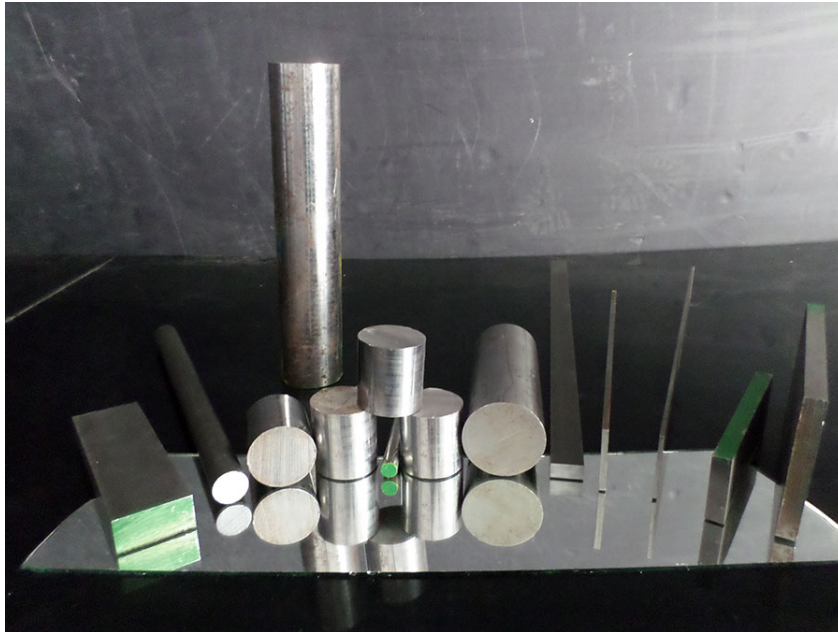


Figura 21. Acero SAE 1018[27]

X-H2. *Bronce Aluminio*: El bronce aluminio es una aleación de cobre y estaño que contiene una cantidad significativa de aluminio. Esta aleación es conocida por su alta resistencia mecánica, resistencia a la corrosión y facilidad de maquinado. El bronce aluminio es ampliamente utilizado en una variedad de aplicaciones, incluyendo piezas de maquinaria, componentes de barcos, piezas de automóviles, componentes eléctricos y electrónicos, y en la fabricación de instrumentos musicales. La cantidad de aluminio en la aleación puede variar, lo que resulta en diferentes propiedades y características del bronce aluminio.[17]



Figura 22. Bronce aluminio [17]



### X-I. Programas de diseño y automatización

X-II. *Inventor*: El programa Inventor es una herramienta de diseño asistido por ordenador (CAD) que permite a los usuarios crear modelos digitales en 3D de piezas y ensamblajes. Esta herramienta de software es utilizada por diseñadores, ingenieros y fabricantes en una amplia gama de industrias para crear prototipos virtuales y planificar el proceso de producción. Con el programa Inventor, los usuarios pueden diseñar y analizar piezas y ensamblajes con precisión y eficiencia, crear planos técnicos detallados, generar listas de materiales y simular el comportamiento de las piezas en diferentes condiciones de carga. La funcionalidad de esta herramienta de software permite a los usuarios mejorar la eficiencia y la precisión de su trabajo, reducir el tiempo y los costos de desarrollo de productos y mejorar la calidad de los productos finales. [16]

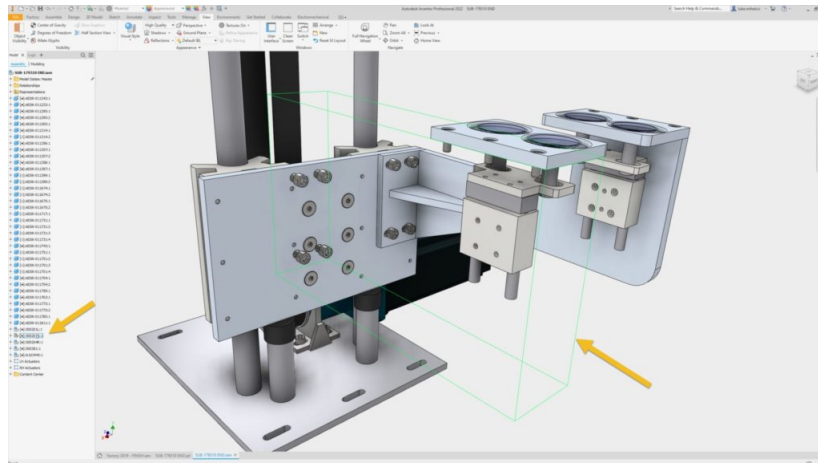


Figura 23. Interfaz de Inventor[16]

X-12. *LOGO! Soft Comfort*: Es una herramienta de programación que permite a los usuarios diseñar programas de control para los PLC de la serie LOGO! de Siemens de manera sencilla y eficiente, sin necesidad de tener conocimientos de programación avanzados. Este software cuenta con una interfaz gráfica de usuario intuitiva y diversas opciones de lenguajes de programación, como el lenguaje de contactos, LAD y FBD, lo que facilita la creación y el diseño de sistemas de control automatizados. Además, LOGO! Soft Comfort permite la simulación y prueba de los programas de control antes de su implementación, lo que ayuda a reducir los errores y costos de solución de problemas durante la puesta en marcha del sistema. [21]

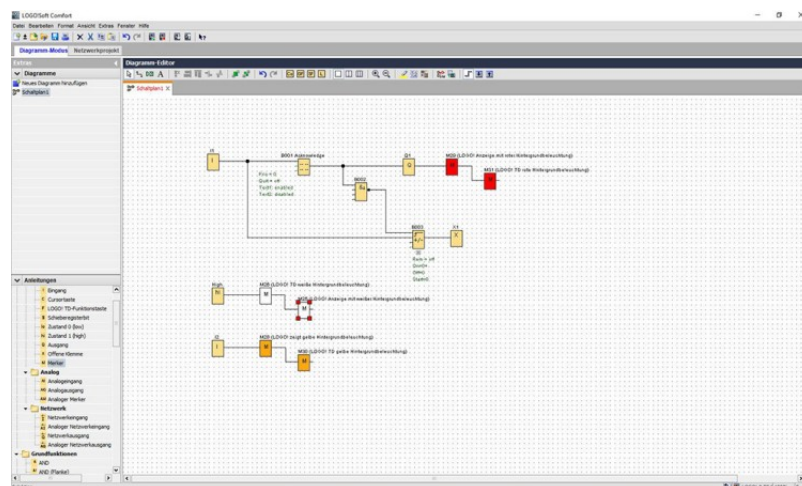


Figura 24. Interfaz del programa[21]

X-13. *CADe SIMU*: Es un programa informático que permite a los usuarios diseñar, simular y visualizar circuitos eléctricos y electrónicos en 2D. Con una interfaz gráfica de usuario fácil de usar y herramientas intuitivas de dibujo y simulación, los usuarios pueden crear circuitos personalizados mediante la selección y conexión de componentes de circuitos comunes o la creación de elementos de circuitos personalizados. CADe SIMU es una herramienta valiosa para estudiantes, profesionales y aficionados de la electrónica que buscan diseñar y simular circuitos de manera precisa y eficiente. [4]

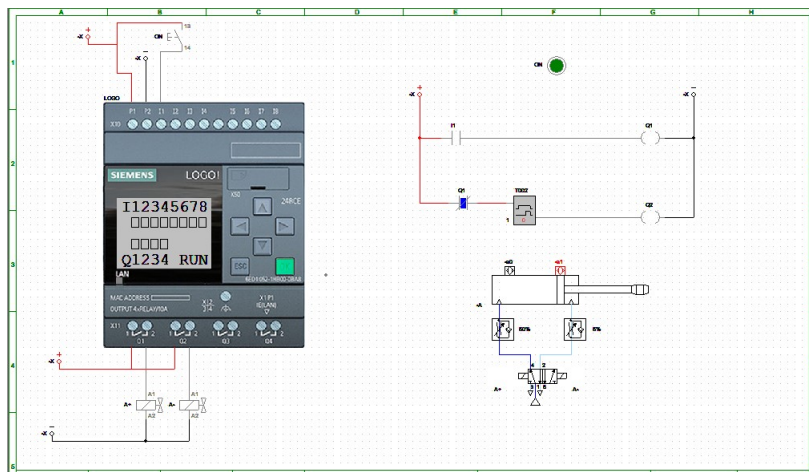


Figura 25. Vista de simulación[4]

## XI. METODOLOGÍA

### XI-A. Etapa de diseño

Se desarrolló un modelo de extrusora con un cilindro neumático para plástico triturado y virgen, basado en una extrusora industrial, pero a menor escala y de una forma distinta de empuje para conseguir un resultado personalizado. Se hizo un estudio del proceso de extrusión y de las máquinas que lo realizan, sus componentes, partes, sistema de control, proceso mecánico, etapa de calentamiento, etapa de enfriamiento, el plan de mantenimiento. Se ejecuta un boceto a mano alzada del nuevo extrusor horizontal por empuje neumático, sobre todo se recalca la parte mecánica como: estructura, piezas mecanizadas, tolerancias de ajuste y concentricidad, etapas de enfriamiento al ambiente, etc.

Se planteó las ideas del nuevo funcionamiento, sus ventajas y desventajas de aplicación. Se verificó la viabilidad del proyecto planteado sus bocetos y sus mejoras futuras. Se diseñó la extrusora a partir de nuestro boceto en el programa inventor para tener los planos de nuestras medidas (alturas, diámetros, ajustes, radio de agujeros, y ranuras del encaje de las resistencias.). Se tiene en cuenta la parte de resistencia de estructura para el cuerpo y el empuje que se realizará por un pistón.

Se comprobó mediante simulaciones en programa los soportes del cañón y el pistón neumático de empuje y su estructura. Se eligió los pernos para las juntas no soldadas, esto ayudará a su fácil desmontaje para el mantenimiento recomendado del equipo.

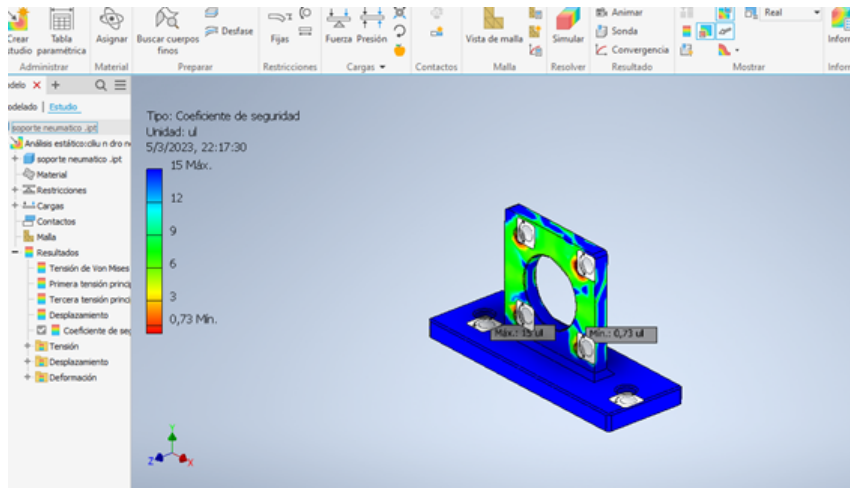


Figura 26. Base neumática

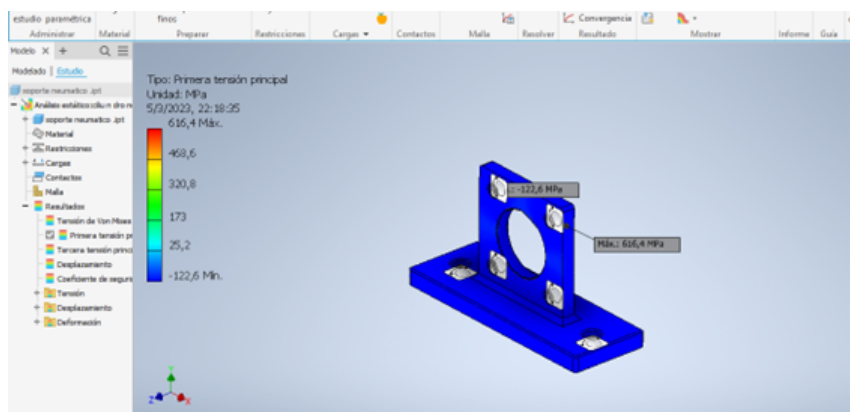


Figura 27. Base neumática

En la fase de simulación del diseño de la máquina, se ha incorporado la representación de los soportes de la base neumática, que se pueden observar detalladamente en las imágenes previas. Dicha simulación ha sido crucial para garantizar una correcta ubicación y fijación de estos soportes, para garantizar un óptimo desempeño del sistema neumático durante el proceso de extrusión. Así mismo, se ha incluido en la simulación la representación de los soportes del cañón de extrusión, lo cual permite visualizar con detalle su ubicación y disposición en la estructura de la máquina. Estos soportes son de vital importancia, ya que permiten fijar adecuadamente el cañón de extrusión, asegurando que el material plástico fluya de manera uniforme y continua durante el proceso de extrusión. En este sentido, la simulación ha permitido evaluar y verificar con precisión la correcta colocación y fijación de ambos tipos de soportes, garantizando un correcto funcionamiento de la máquina y un proceso de extrusión eficiente y de alta calidad.

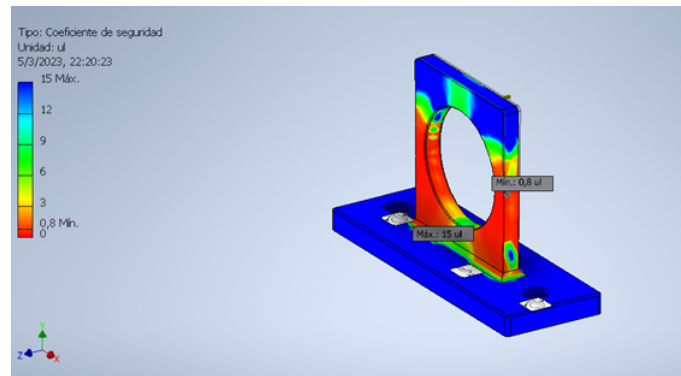


Figura 28. Soporte de cañón 1

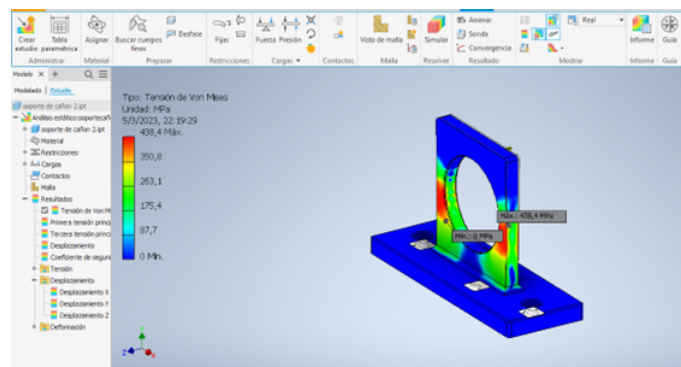


Figura 29. Soporte de cañón 1.1

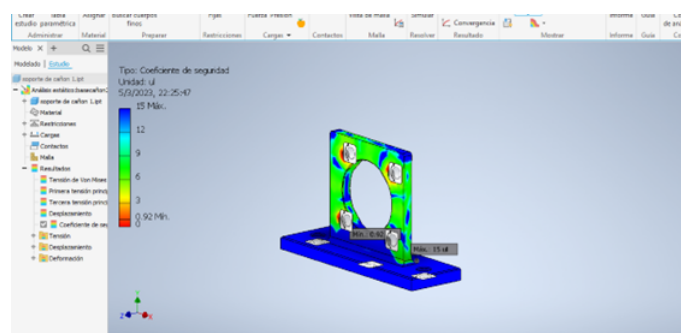


Figura 30. Soporte de cañón 2

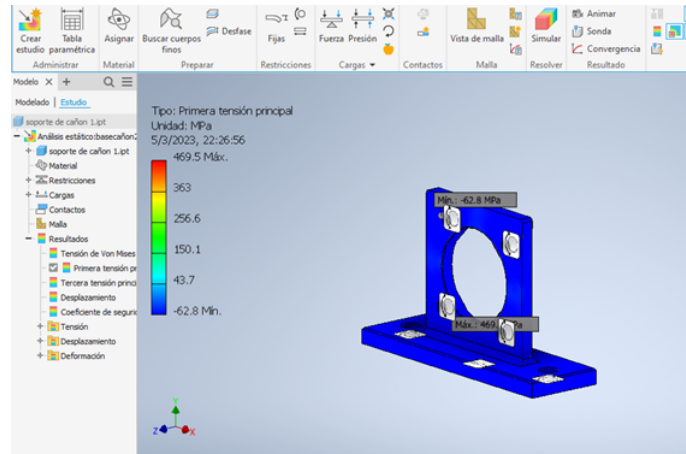


Figura 31. Soporte de cañón 2.2

Se estudió en esta etapa la diferentes dificultades que presentaría el desarrollo de este equipo. Se notará cambios constantes en cada una de sus etapas desarrolladas, ya que se modificó unas diversidades de probabilidades para cada situación diferente de extrusión. La construcción de una cama regulable para la extrusión de plástico ha sido diseñada y fabricada considerando las diferentes formas geométricas y dimensiones de cada boquilla utilizada. Se han utilizado pernos de regulación en la cama, lo que permite ajustar la distancia de la misma de manera precisa, asegurando un correcto proceso de extrusión. Para evitar que el plástico fundido se adhiriera a la cama, se ha utilizado una lámina de acero negro recubierta con una película de WD-40, lo que reduce la fricción y permite que el material se deslice suavemente durante el proceso de extrusión. Además, se ha tenido en cuenta que la cama debe ser resistente al calor y a la presión generada por la extrusión del plástico fundido. Se ha utilizado un material resistente y duradero en la fabricación de la cama, asegurando así una extrusión uniforme y controlada del plástico sin deformaciones ni desgastes en la cama. La cama regulable y resistente se ha diseñado para la extrusión de plástico que asegura un proceso de producción eficiente y de alta calidad, adaptándose a las diferentes necesidades y requerimientos de cada boquilla utilizada.

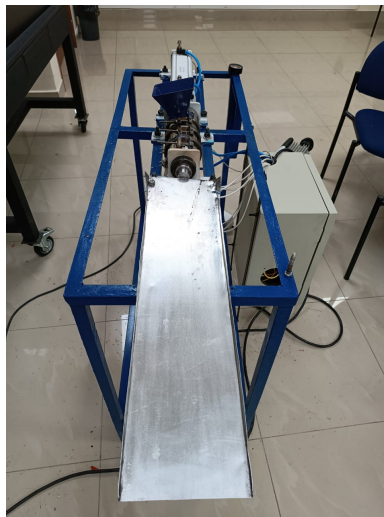


Figura 32. Cama de extrusión

### *XI-B. Etapa de mecanizado y fabricación estructural*

En la sección principal de la extrusora, se mecaniza la zona donde se fundirá el plástico mediante resistencias de banda. El proceso comienza con el desbaste de la pieza para alcanzar diámetros (+1mm) y longitudes (-1mm) de acuerdo a las medidas nominales que se estableció en el plano de construcción previamente desarrollado.

*XI-B1. Desbaste del cañón exterior e interior:* El proceso de torneado del acero 1018 comienza con la preparación de la máquina de torno y la selección de las herramientas de corte adecuadas. El acero 1018 es un acero de baja aleación con una composición química de hierro, carbono y manganeso, lo que lo hace ideal para el mecanizado. Se seleccionó las herramientas de corte adecuadas, se colocó el material de acero 1018 en la máquina de torno y se ajustó la velocidad de giro adecuada para la herramienta de corte.

Luego, se inicio el proceso de refrentado y centro de la pieza para el desbaste.

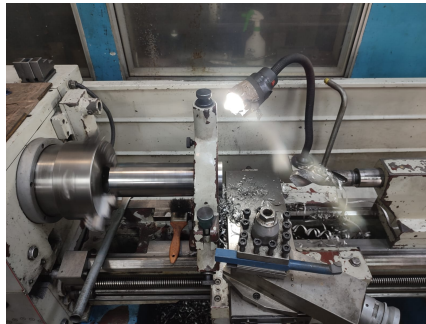


Figura 33. Refrentado

Se aprovechó el refrentado para la fabricación del centro y después el desbaste interior del cañón por el proceso de taladrado.



Figura 34. Taladrado

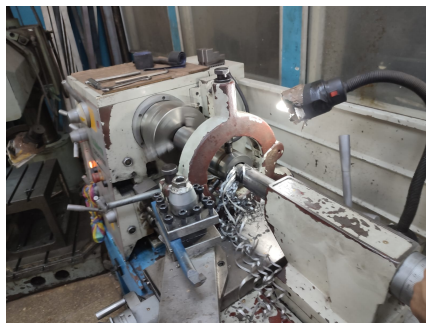


Figura 35. Refrentado

Se ajustó el contrapunto para comenzar el desbaste. A medida que la herramienta de corte se mueva a través del material de acero 1018, el metal se elimina en pequeñas virutas, creando la forma deseada en la pieza de trabajo. Se debe supervisar el proceso de torneado para asegurarse de que la herramienta de corte no se caliente y para asegurarse de que se mantenga la dimensión asignada.

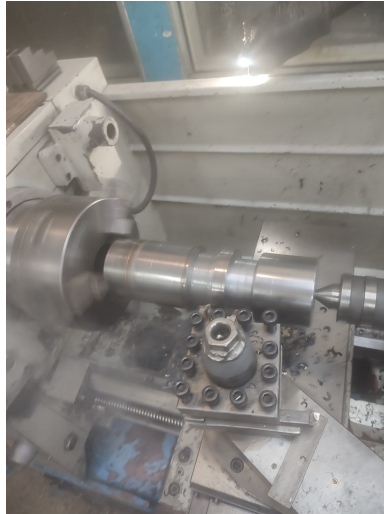


Figura 36. Desbaste de cañón

*XI-B2. Acabado del cañón* : Una vez completado el proceso anterior, se procedió a la siguiente operación de torneado que consistió en el acabado de todos los ajustes, distancias, radios, diámetros exteriores y guías para el soporte. Esta operación se realiza para garantizar la precisión y la calidad del acabado final de la pieza de trabajo.

Para llevar a cabo el acabado, se utilizó una herramienta de corte específica para el tipo de superficie que se estaba mecanizando. La herramienta se fijó en un soporte de herramientas y se ajustó la profundidad del corte deseado.

El operador de la máquina de torno supervisó el proceso de acabado para asegurarse de que se eliminara la cantidad adecuada de material y para garantizar que se mantuviera la precisión en los ajustes, distancias, radios, diámetros exteriores y guías para el soporte.

Una vez que se completó el proceso de acabado, la pieza de trabajo tendría una superficie lisa y uniforme con los ajustes, distancias, radios, diámetros exteriores y guías para el soporte precisos y de alta calidad. Esto permitirá que la pieza de trabajo se utilice en etapas posteriores del proceso de fabricación o se entregue al cliente como un producto final de alta calidad.

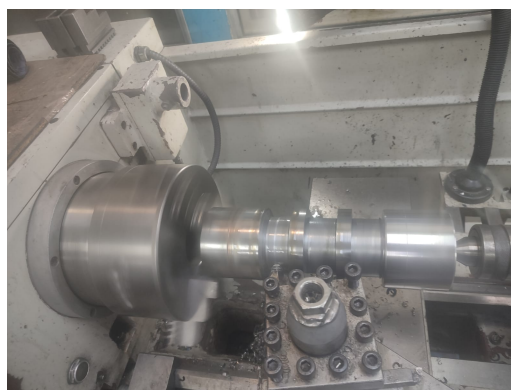


Figura 37. Acabado exterior



Figura 38. Acabado interior

*XI-B3. Fresado y taladrado:* Después de haber completado el proceso de torneado, se da inicio al siguiente paso en el proceso de mecanizado, el cual es conocido como fresado y taladrado. Este proceso tiene como objetivo realizar las operaciones necesarias para crear los agujeros de sujeción y las ranuras para suministrar el material al cañón. El fresado es una técnica de mecanizado que utiliza una herramienta de corte giratoria para eliminar el material no deseado de una pieza. En este caso, se utilizan fresas para crear las ranuras que permitirán el suministro de material. Por otro lado, el taladrado se encarga de crear los agujeros necesarios para fijar el material al cañón.



Figura 39. Fresado de agujero para suministro de plástico

Es importante mencionar que estos procesos de mecanizado requieren de una alta precisión y cuidado para evitar dañar la pieza. Por esta razón, es común que se utilicen máquinas especializadas y herramientas de alta calidad para garantizar un resultado óptimo.

Una vez completado el fresado y taladrado, se procede a la siguiente etapa en la fabricación del producto. Este paso puede variar dependiendo del tipo de cañón que se esté fabricando, pero generalmente incluye la aplicación de tratamientos térmicos y químicos para mejorar las propiedades del material.



Figura 40. Acabado interior



*XI-B4. Mecanizado de émbolo de bronce:* La pieza en cuestión está construida con un material que se destaca por su alta resistencia a la abrasión y su bajo coeficiente de fricción, lo que lo convierte en uno de los materiales más utilizados en mecanismos de desplazamiento. Este material, gracias a su suavidad y capacidad de deformación, puede adaptarse a la forma de la superficie con la que está en contacto, reduciendo la fricción y el desgaste. Además, su alta dureza, su baja porosidad y su estabilidad térmica, lo hacen un material confiable y durable en aplicaciones de alta exigencia. Por estas razones, se considera una opción preferente en la fabricación de piezas de maquinaria que requieren un alto rendimiento y larga durabilidad.



Figura 41. Émbolo de bronce



Figura 42. Émbolo de bronce ángulo 45°

*XI-B5. Armado y soldado de estructura de apoyo.:* Para la creación de la mesa de apoyo destinada a sostener la maquinaria, se optó por utilizar tubo cuadrado y ángulos de una pulgada de grosor, los cuales fueron unidos mediante la soldadura E-6011. Esta técnica de soldadura es recomendada para estructuras que requieren alta resistencia y rigidez, ya que permite una unión fuerte y duradera entre los materiales.

La mesa de apoyo, con unas medidas de 1.10 metros de largo, 0.4 metros de ancho y 1 metro de altura, fue diseñada y construída cuidadosamente para soportar las cargas y vibraciones generadas por la maquinaria que se instalará sobre ella. Para lograrlo, se colocaron nervios estratégicamente a lo largo de la estructura para evitar la deformación durante su uso. Una vez finalizada la soldadura de la estructura, se procedió a soldar los rieles donde



Figura 43. Mesa de máquina extrusora

se empernarán el cañón de extrusión y el cilindro de empuje neumático. Estos rieles son elementos clave para asegurar la estabilidad de los componentes de la maquinaria durante su operación.

Es importante destacar que se presta especial atención a la calidad de la soldadura y la resistencia de la estructura para garantizar la seguridad del personal y el correcto funcionamiento de la maquinaria en todo momento. Además, se utilizan técnicas de inspección no destructivas para verificar la calidad de la soldadura y detectar posibles fallas antes de que se conviertan en problemas mayores.

#### *XI-C. Etapa de implementación eléctrica y neumática*

Para la implementación eléctrica y neumática se tomó en cuenta los componentes a usar para determinar las dimensiones necesarias del panel eléctrico que en este caso fue de 40x30x20 mm, luego se procedió a perforar la tapa para la colocación de los componentes que están a la vista. Para las conexiones internas se cuenta con un termo magnético de 10A bipolar como protección, al activarlo se enciende automáticamente el LOGO. Para el encendido del panel se activa un switch teniendo como indicador una luz piloto, con esto el controlador de temperatura se enciende y las resistencias empiezan a calentar.

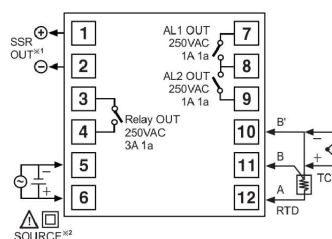


Figura 44. Datasheet del controlador.[12]

Para el calentamiento de cañón se usó 3 resistencias tipo banda fabricadas a 220V y 190 Watts, éstas a su vez se conectan en paralelo y entran a un relé de estado sólido que permitirá el paso y cierre de la corriente ya que no se requiere que las resistencias estén encendidas permanentemente. Ésto es dominado mediante el controlador de

temperatura programado al grado de fundición del plástico a usar, en este caso es 180°C. Para obtener la lectura de la temperatura promedio se optó por una termocupla tipo K ubicada junto a la resistencia de en medio. Cuando la temperatura de las resistencias se encuentren en el rango programado el relé de estado sólido cumplirá la función de encender y apagar las resistencias para mantenerse oscilando en ese rango. Éste proceso se lo conoce como histéresis.

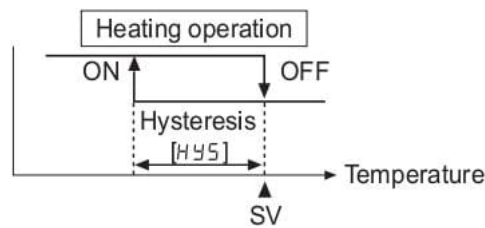


Figura 45. Proceso de histéresis[12]

Se procede con las conexiones de los componentes neumáticos. Para ello se usó un cilindro de doble efecto de 200 mm de carrera el cual será controlada mediante una válvula solenoide y a su vez con un LOGO. Se debe regular la salida del vástago para que el empuje del plástico sea el adecuado. Se usó mangueras de poliuretano para la comunicación entre el cilindro neumático y un compresor de aire que brinda una presión de 6 bar.

*XI-C1. Cálculos del cilindro neumático:* Se calcula el área de avance Dónde: D= Diámetro del cilindro  
d= Diámetro del vástago

$$\begin{aligned} \text{Áreadeavance} &= \pi \cdot \frac{D^2}{4} \\ \text{Áreadeavance} &= \pi \cdot \frac{50^2}{4} \\ \text{Áreadeavance} &= 1963\text{mm}^2 \end{aligned}$$

Se calcula el área de retroceso:

$$\begin{aligned} \text{Áreaderetroceso} &= \pi \cdot \frac{D^2 - d^2}{4} \\ \text{Áreaderetroceso} &= \pi \cdot \frac{50^2 - 16^2}{4} \\ \text{Áreaderetroceso} &= 1762\text{mm}^2 \end{aligned}$$

Se calcula la fuerza de avance:

$$\begin{aligned} \text{Fuerzadeavance} &= A.\text{avance} \cdot \frac{P}{10} \\ \text{Fuerzadeavance} &= 1693\text{mm}^2 \cdot \frac{6\text{bar}}{10} \\ \text{Fuerzadeavance} &= 990\text{N} \end{aligned}$$

Se calcula la fuerza de retroceso:

$$\begin{aligned} \text{Fuerzaderetroceso} &= A.\text{retroceso} \cdot \frac{P}{10} \\ \text{Fuerzaderetroceso} &= 1762\text{mm}^2 \cdot \frac{6\text{bar}}{10} \\ \text{Fuerzaderetroceso} &= 1057\text{N} \end{aligned}$$

Las fuerzas pueden reducir entre un 5 a 15 por ciento debido a los rozamientos.

Se calcula el volumen: Dónde: e= carrera del vástago

$$Volumen = V.avance + V.retroceso$$

$$Volumen = \frac{\pi(2D^2 - d^2)}{4} \cdot e$$

$$Volumen = 745185mm^3 = 0,745L$$

Se calcula el consumo del aire(Q) Dónde: n= numero de ciclos

$$Q = n \cdot V$$

$$Q = 1(0,745L)$$

$$Q = 0,745L$$

XI-C2. Cálculos de la resistencia eléctrica: Se calcula la corriente que consumen las resistencias:

$$P = V \cdot I$$

$$I1 = 0,8A$$

$$I1 - 3 = I1 + I2 + I3$$

$$I1 - 3 = 2,4A$$

Ahora se puede calcular la resistencia eléctrica:

$$R = \frac{V}{I}$$

$$R = \frac{220V}{0,8636A}$$

$$R = 254,56ohmios$$

Una vez que se conoce la resistencia eléctrica, se puede calcular la temperatura máxima que puede alcanzar la resistencia utilizando la ley de Joule, que establece que la energía disipada en forma de calor (Q) es igual al producto de la resistencia, la corriente eléctrica y el tiempo:

$$Q = R \cdot I^2 \cdot t$$

Donde t es el tiempo durante el cual se aplica la corriente eléctrica. Suponiendo que la resistencia se encuentra en un ambiente con temperatura constante, la temperatura máxima que puede alcanzar la resistencia se puede calcular a partir de la ecuación:

$$T = \left(\frac{Q}{m \cdot c}\right) + Tamb$$

Donde m es la masa de la resistencia, c es el calor específico del material de la resistencia y Tamb es la temperatura ambiente. Se puede suponer que su masa es despreciable y que su material es acero inoxidable, que tiene un calor

específico de aproximadamente  $0.5 \text{ J/g}\cdot\text{K}$ . Suponiendo que la corriente eléctrica se aplica durante un minuto (60 segundos).

$$Q = R \cdot I^2 \cdot t$$

$$Q = 254,56 \cdot (0,8636A)^2 \cdot 60s$$

$$Q = 11,194,7J$$

$$T = \left( \frac{Q}{m \cdot c} \right) + T_{amb}$$

$$T = \left( \frac{11,194,7J}{0,5J/g * K} \right) + 20$$

$$T = 22,389,4K + 20$$

$$T = 22,409,4$$

Por lo tanto, la temperatura máxima que puede alcanzar la resistencia en estas condiciones es de aproximadamente  $22,409.4^{\circ}\text{C}$ . Es importante tener en cuenta que esta temperatura es teórica y no se puede alcanzar en la práctica, ya que la resistencia se fundiría mucho antes de alcanzar esa temperatura. Además, la aplicación de corrientes eléctricas de alta intensidad y voltaje puede ser peligrosa y debe ser manejada por personal capacitado y con las medidas de seguridad necesarias.

#### XI-D. Etapa de ensamble

Ya finalizado la fase de mecanizado e implementación. Se procede al ensamble de nuestra máquina (bases, juntas no soldadas, conexión eléctrica, conexión neumáticas, etc). Una vez que se han obtenido todos los elementos necesarios, se procede al ensamblaje de la máquina sobre la mesa especialmente diseñada para este propósito. Es importante asegurarse de colocar correctamente la orientación de extrusión antes de continuar con el proceso de ensamblaje, para garantizar un funcionamiento óptimo de la máquina. El primer paso en el proceso de fabricación es la perforación de los agujeros necesarios para el montaje de los soportes del cilindro neumático y el cañón de extrusión en la pieza. Al llevar a cabo esta tarea, es crucial tener en cuenta la separación adecuada entre los soportes para garantizar un funcionamiento óptimo de la máquina. La separación entre los soportes debe determinarse en función de la carrera del pistón del cilindro neumático, que en este caso es de 200 mm. Es importante recalcar que un ajuste preciso de la separación es fundamental para asegurar el correcto funcionamiento del cilindro y del cañón de extrusión en el sistema, evitando posibles fallos y maximizando la eficiencia en la producción.

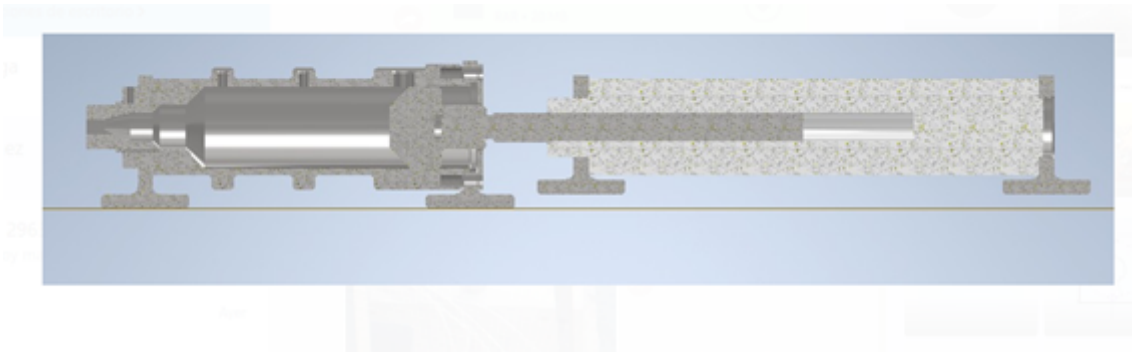


Figura 46. Montaje de la maquina extrusora

Al proceder con la construcción de la máquina, se debe considerar la diferencia de nivel entre el cilindro y el cañón de extrusión, instalando las placas correspondientes después de llevar a cabo la pre-nivelación requerida. Es fundamental no asegurar aún los pernos, ya que se procederá a la alineación con la carrera del pistón para garantizar que su eje y el émbolo de bronce recorran el cañón sin presentar desviaciones o fricciones inadecuadas, que puedan generar un desgaste prematuro del émbolo o esfuerzos excesivos en el pistón.

Una vez verificado el recorrido del pistón sin presentar esfuerzo anormal, se procede a nivelar la altura con láminas, y a apretar los pernos de manera que las arandelas de presión se cierren sin deformarse. Es importante corroborar que no existan pernos flojos en la máquina, ya que podrían ocasionar desviaciones en el sistema. Seguidamente, se procede a perforar los agujeros necesarios para la cama de extrusión del plástico, y se instalan las placas de sujeción del tablero eléctrico y del control de la máquina, dispuestas en forma paralela.



Figura 47. Maquina extrusora

### XI-E. Etapa de programación

Se investiga el correcto funcionamiento del LOGO, siendo capaz de identificar las entradas y salidas (digitales y analógicas), accionadores y actuadores, su voltaje de entrada y salida. Para la programación del módulo se usó el software LOGO!Soft 8.2, con lenguaje Ladder.

Para el bloque 1 se inserta como marcha un contacto normalmente abierto identificado como "I1" (Pulsador para la salida del vástago), y como paro se inserta un contacto normalmente cerrado identificado como "T001" (Temporizador), luego se tiene la bobina identificada como "Q1" que representa la salida del vástago.

Para el bloque 2 se inserta un contacto normalmente abierto siendo la salida del vástago que está conectado a un temporizador con retardo a la conexión de 5 segundos. Ésto hace que una vez salido el vástago el temporizador cuenta los 5 segundos para su retorno.

Para el bloque 3 se usa otro temporizador identificado como "T002" que simula el tiempo de accionar el temporizador. Y por ultimo se tiene el retorno del vástago identificado con la bobina como "Q2".

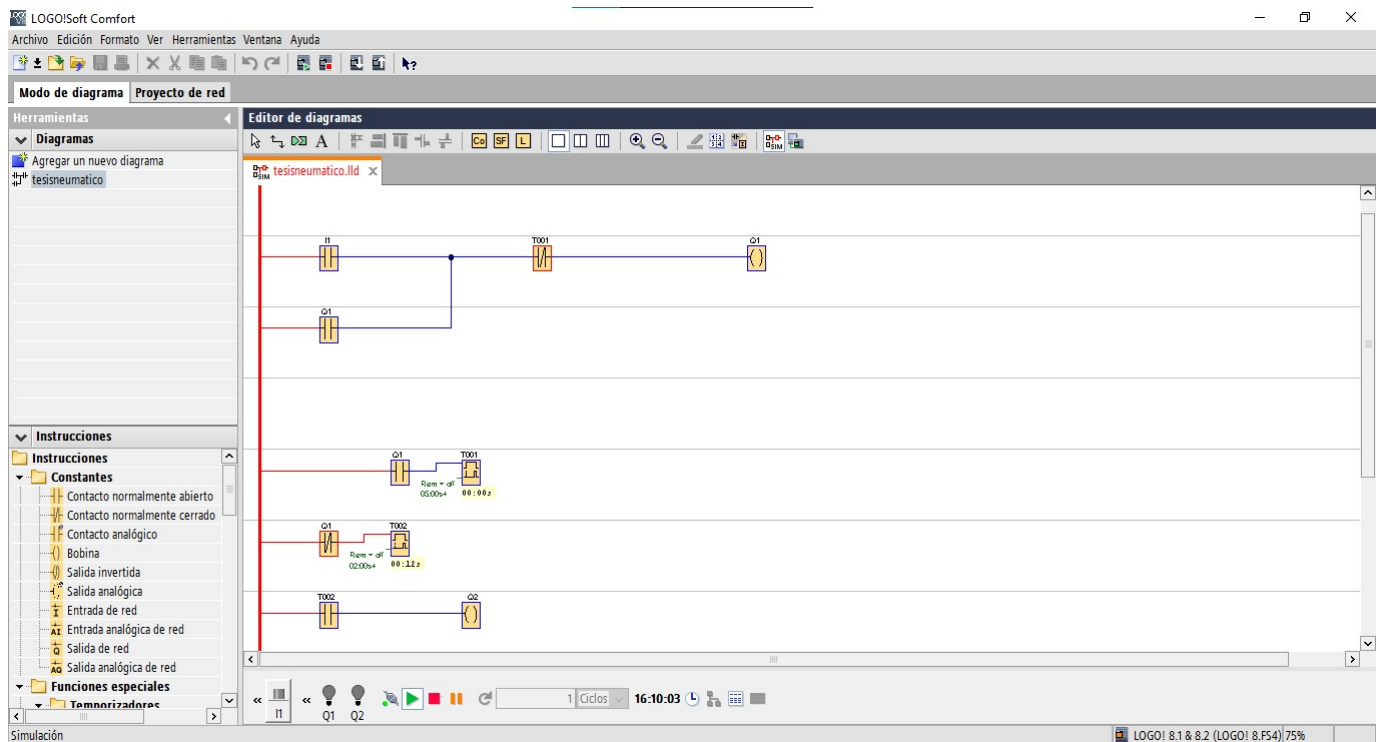


Figura 48. Programación LOGO

Luego de haber realizado la programación se usó el software CADe Simu para la simulación. En este programa se inserta el LOGO y los componentes a usar (marcha, válvula solenoide, pulsador, cilindro neumático), se realiza las conexiones y se coloca el diagrama ladder identificando las mismas entradas y salidas del LOGO, ésto nos ayuda a visualizar el movimiento del cilindro neumático teniendo la posibilidad de realizar modificaciones hasta obtener el movimiento deseado.

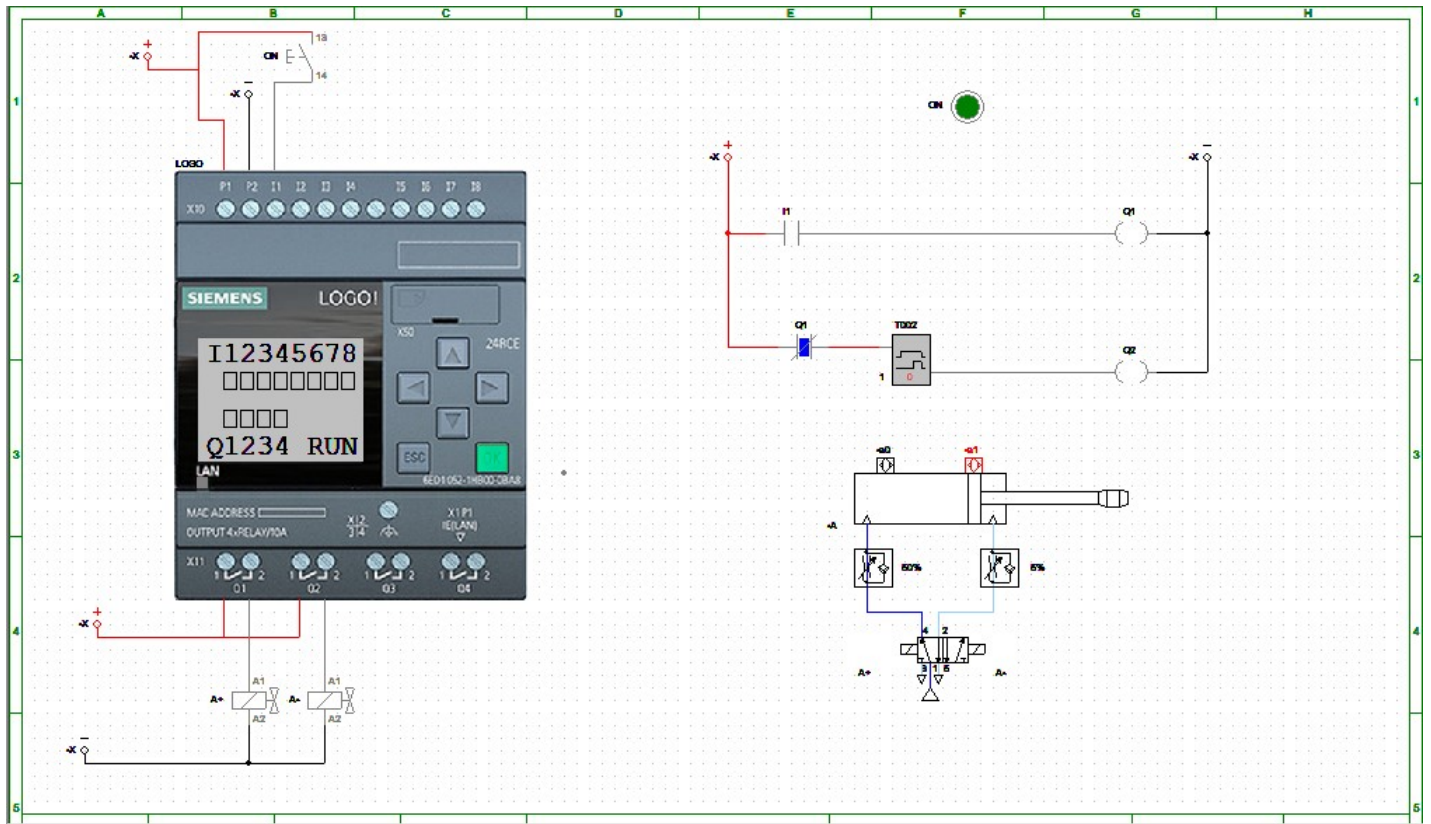


Figura 49. Simulación en CADe Simu



## XII. PRUEBAS Y RESULTADOS

Para realizar las pruebas de la máquina se propuso 2 tipos de plástico:

- Polietileno de baja densidad virgen
- Polipropileno reciclado

Se investigó las propiedades de ambos tipos de plásticos, su punto de fusión cristalina, temperatura de transición vítrea, temperatura de distorsión térmica, resistencia a la tracción, resistencia a la compresión y densidad.

Plástico	Propiedades térmicas			Resistencia		Densidad
	Tf (°C)	Tt (°C)	Td (°C)	Tensión (PSI)	Compresión (PSI)	G/CC
PET	245 - 265	73 - 80	21 - 38	7000 - 10500	11000 - 15000	1.29 - 1.40
LDPE	98 - 115	-25	40 - 44	1200 - 4550	-	0.917 - 0.932
HDPE	130 - 137	-	79 - 91	3200 - 4500	2700 - 3600	0.952 - 0.965
PP	168 - 175	-20	107 - 121	4500 - 6000	5500 - 8000	0.900 - 0.910

Figura 50. Propiedades físicas del plástico

### XII-A. Prueba 1

Para la primera prueba se usó la boquilla con forma redonda y 0.100 Kg de PP reciclado, se programó el controlador a 170°C y fundiendo el plástico durante 30 minutos, se reguló la salida del pistón un 50 por ciento.



Figura 51. Prueba 1 con PP

No se logró fundir completamente ni mantener la forma esperada. Con ésta prueba se observó que el tiempo de fundición debe ser mayor y que la superficie sobre la que salía el plástico era muy rugosa, por eso no se deslizaba fácilmente y perdía su forma. Quedó material dentro del cañón, por lo tanto se decidió aumentar el tiempo de la salida del pistón.

### *XII-B. Prueba 2*

Para la siguiente prueba se usó la boquilla con forma redonda y 0.100 Kg de PP reciclado, se programó el controlador a 170°C y fundiendo el plástico durante 40 minutos, se disminuyó la velocidad de la salida del pistón a un 25 por ciento, se probó con una lata de aluminio para observar si el deslizamiento del plástico fundido mejoraba.



Figura 52. Prueba 2 con PP

En esta ocasión se logró la fundición completa del plástico, sin embargo no se mantuvo la forma redonda. Con esta prueba se pudo observar que primero hay que dejar fundir el plástico a 170°C y luego bajar la temperatura para que el material logre enfriarse un poco y no salga muy blando.

### *XII-C. Prueba 3*

Para la siguiente prueba se usó la boquilla con forma ovalada y 0.145 Kg de HDPE virgen, se programó el controlador a 190 °C y fundiendo el plástico durante 30 minutos, luego se bajó la temperatura a 150 °C durante 15 minutos, y por último se bajó la temperatura a 120 °C durante 10 minutos.

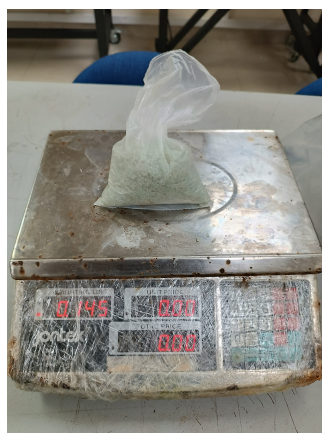


Figura 53. Peso del material

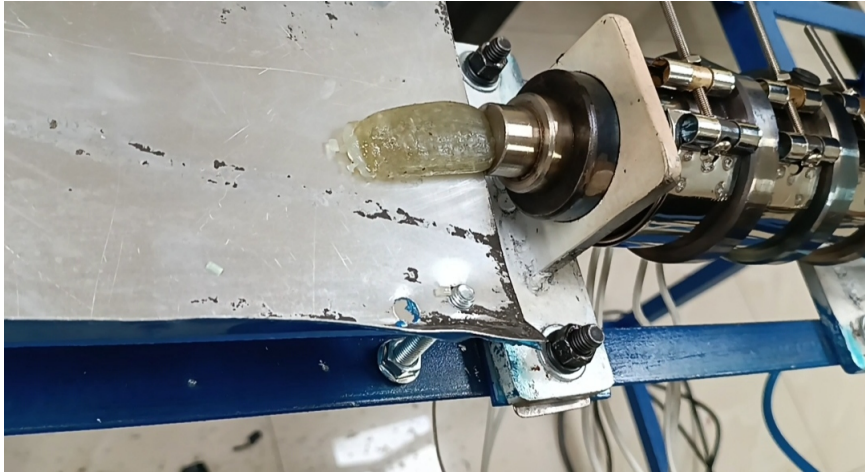


Figura 54. Prueba 3 con HDPE

Se observa que con esta boquilla es más fácil mantener la forma debido a que el área del agujero es menor, sin embargo el material se expande por lo que no tiene guías y se solidifica después de 10 segundos. No salió todo el material porque el pistón retornó muy rápido, entonces el pistón debe mantenerse fuera varios segundos más. Siguiendo la secuencia de la temperatura, se logró fundir bien el plástico.

Se aumentó el tiempo que el pistón se mantiene fuera a 20 segundos para poder sacar todo el material.

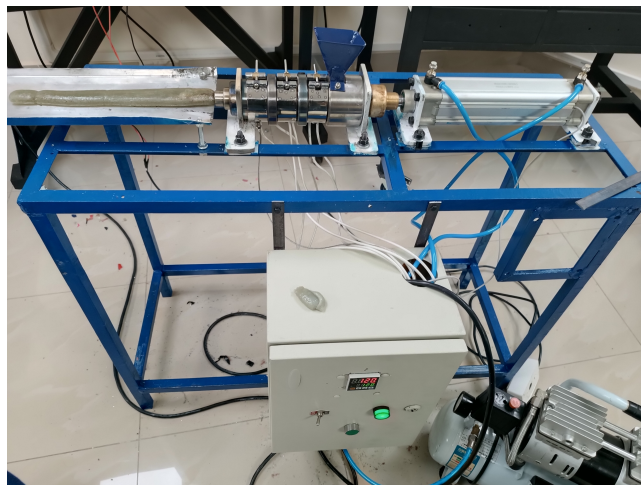


Figura 55. Prueba 3.1 con HDPE

#### XII-D. Prueba 4

Durante la prueba realizada, se estableció una temperatura de 200°C en el cañón de la extrusora y se utilizó una cantidad de 140 gramos de material. Después de un precalentamiento del cañón, se esperó un tiempo de 30 minutos antes de reducir la temperatura a 150°C para permitir que el material se enfriara ligeramente y pudiera mantener su forma al entrar en contacto con el ambiente.

Se esperó un tiempo adicional de 20 minutos para que la temperatura disminuyera y luego se esperó 7 minutos más antes de proceder a la extrusión del material. Es importante tener en cuenta que estos parámetros se establecieron específicamente para esta prueba y pueden variar en función de las características y objetivos de cada aplicación.

En conclusión, los resultados obtenidos en esta prueba pueden ser útiles para establecer los parámetros adecuados para futuras aplicaciones similares. Sin embargo, es importante realizar pruebas adicionales para optimizar los parámetros de acuerdo con las características específicas del material y los objetivos del proceso.



Figura 56. Prueba 4 Boquilla cuadrada plástico reciclado.

Según se puede observar en la imagen, se puede constatar que el proceso de fundición ha sido exitoso, mientras que en el proceso de extrusión solamente se obtuvo una masa recalentada sin una forma definida. No obstante, se debe tener en cuenta que ambos materiales tienen una rápida tasa de enfriamiento al entrar en contacto con el ambiente, lo que implica que el endurecimiento del material es más veloz en comparación con el polipropileno virgen, que es otro tipo de plástico que se utiliza en la producción.



Figura 57. Prueba 4 Boquilla cuadrada plástico virgen con el mismo proceso de temperatura .

#### *XII-E. Prueba 5*

Para normalizar el proceso, se decidió seguir el mismo método de la prueba anterior. Sin embargo, en esta ocasión se obtuvo una forma netamente redonda debido a que la cama donde se extruyó el material no conservó su forma de manera adecuada, y la parte plana de la cama causó que se perdiera la forma de manera rápida. Es posible que se deba revisar la configuración de la cama para asegurarse de que esté nivelada y permita que el material conserve su forma durante el proceso de extrusión. De esta manera, se podrá obtener resultados más precisos y consistentes en la producción de las piezas deseadas.



Figura 58. Prueba 4 Boquilla cilíndrica, plástico virgen con el mismo proceso de temperatura anterior .

### XII-F. Tabla comparativa

A continuación el resumen de nuestras pruebas de forma comparativa dando los tiempos de fundición para cada prueba y tiempo de espera.

Pruebas	Proceso de fundición			Producto terminado
	Temperatura de fundición	Tiempo 1 (min)	Tiempo 2 (min)	
Prueba 1	170	30	15	Sin forma
Prueba 2	170	25	8	Con forma
Prueba 3	190	30	15	Forma correcta
Prueba 4	200	30	7	Con forma
Prueba 5	180	25	10	Con forma

Figura 59. Tabla comparativa de resultados.

### XIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### XIII-A. *Conclusión general*

Después de realizar diversas pruebas con diferentes temperaturas, avances y procesos de enfriamiento, se ha llegado a la conclusión de que la máquina extrusora neumática tiene una ventaja significativa en términos de reciclaje de plásticos no tan degradados. En las pruebas, se ha demostrado que incluso con una máquina casera y pequeña, es posible obtener una masa de plástico fundido que se puede reutilizar.

Sin embargo, se ha observado que cuando se intenta reciclar plásticos demasiado endurecidos, la degeneración del material es evidente desde el núcleo del mismo. Al extruir el plástico fundido, se obtiene una masa sin forma líquida que se asemeja a una masa de merengue. Al tener una temperatura baja para la extrusión después de fundirlo, se obtiene un resultado de una forma algo parecida a la boquilla utilizada, pero con una cristalización muy pronunciada y una fuerza media que hace que se parta con facilidad.

En resumen, la máquina extrusora neumática puede ser una herramienta muy útil en el proceso de reciclaje de plásticos no tan degradados. Sin embargo, es importante tener en cuenta las limitaciones del proceso y la calidad del plástico a reciclar para obtener los resultados deseados.

#### XIII-B. *Conclusiones secundarias*

Mediante las pruebas realizadas se concluyó que no es necesario un control proporcional, integral y derivativo para el proceso de inyección neumática, por lo que se optó un control por histéresis mediante la comunicación entre el controlador de temperatura y el relé de estado sólido.

Durante el proceso de pruebas, se evaluaron diferentes boquillas con geometrías distintas y se observaron resultados diferentes en función de los parámetros utilizados, como la temperatura y el avance. Después de analizar los resultados de manera visual, se llegó a la conclusión de que una boquilla de acero rápido con una geometría específica resultó ser la más idónea para este tipo de extrusora.

En comparación con otras dos boquillas evaluadas, se pudo observar que la boquilla de platina produjo resultados mucho más consistentes en términos de calidad y forma del plástico extruido. Además, esta boquilla resultó ser la más resistente a las altas temperaturas y el uso continuo, lo que la convierte en la opción ideal para este tipo de aplicación.

En resumen, se concluye que la boquilla de acero rápido con geometría de platina es la más adecuada para esta extrusora neumática. Es importante tener en cuenta que estas conclusiones se basan en los resultados de las pruebas realizadas en este proyecto y pueden variar en función de las condiciones y parámetros específicos de cada aplicación.

#### XIII-C. *Recomendaciones generales*

Una de las recomendaciones a tener en cuenta al realizar el proceso de extrusión es que no se debe utilizar ningún material antiadherente en la cama, especialmente cuando se trabaja con plásticos. En su lugar, se recomienda aplicar una capa de lubricante en la cama que sea adecuada para el tipo de plástico que se esté utilizando. De esta manera, se puede asegurar que el material se adhiera correctamente a la cama durante el proceso de extrusión, lo que puede ayudar a mejorar la calidad de la pieza final y evitar problemas como la pérdida de forma o deformaciones no deseadas. Es importante elegir un lubricante de alta calidad y asegurarse de aplicarlo correctamente antes de comenzar el proceso de extrusión.

Otra recomendación importante a tener en cuenta al realizar el proceso de extrusión es realizar un precalentamiento adecuado de la máquina antes de introducir el plástico a derretir. Esto se debe a que algunos residuos pueden quedar en la punta o adheridos a las paredes del cañón, lo que puede provocar obstrucciones y evitar que el cilindro tenga un recorrido completo. Realizar un precalentamiento permite que cualquier residuo que haya quedado en la máquina se derrita y se limpie antes de comenzar el proceso de extrusión. De esta manera, se puede asegurar un funcionamiento óptimo de la máquina y una producción más eficiente y de alta calidad. Es importante seguir las recomendaciones del fabricante en cuanto al tiempo y temperatura de precalentamiento para cada tipo de plástico.

#### XIV. PLANIFICACIÓN Y PRESUPUESTO

Costo de materiales eléctricos				
Denominación	Cant.	Dimension	Valor unitario [\\$]	Valor total [\\$]
Pulsador NA	1	220V	\$ 2,80	\$ 2,80
Termomagnético	1	10 Amp	\$ 7,84	\$ 7,84
Relé de estado sólido	1	3-32VDC / 24-380VDC	\$ 14,63	\$ 14,63
Controlador de temperatura	1	240V	\$ 54,00	\$ 54,00
Luz piloto	1	12-440VAC	\$ 1,40	\$ 1,40
Interruptor	1	15 Amp	\$ 1,83	\$ 1,83
Cable alta temperatura	5	12 AWG	\$ 12,48	\$ 12,48
Termocupla	1	Tipo K	\$ 7,14	\$ 7,14
Bornera	6	12AWG	\$ 0,30	\$ 1,80
Terminal para alta temperatura	6		\$ 0,80	\$ 4,80
Cinta autofundente	1		\$ 5,00	\$ 5,00
Cilindro neumático	1	50mm x 200mm	\$ 100,14	\$ 100,14
Regulador caudal	2	8mm x 1/4"	\$ 3,82	\$ 6,88
Electrovalvula	1	5/2 en 1/4"	\$ 35,00	\$ 35,00
Bobina	2	24VDC	\$ 5,04	\$ 10,08
Conector recto	3	8mm x 1/4"	\$ 1,00	\$ 3,00
Silenciador de bronce	2	1/8"	\$ 1,30	\$ 2,34
Tablero eléctrico	1	40x30x20mm	\$ 20,00	\$ 20,00
Riel perforado	1	1m	\$ 1,70	\$ 1,70
Manguera de poliuretano	3	8mm	\$ 1,11	\$ 3,00
<b>TOTAL</b>				\$ 295,86

Figura 60. Presupuesto. Fuente: Autores

Costo de elementos normalizados				
Denominación	Cant.	Dimension	Valor unitario [\\$]	Valor total [\\$]
Resistencia tipo banda	3	220v 190W	\$ 36,89	\$ 110,17
Fibra de vidrio	1	AFT-250	\$ 7,00	\$ 7,00
Cinta de aluminio	1		\$ 3,00	\$ 3,00
Tornillo autorroscante	12	1/8 x 8"	\$ 0,02	\$ 0,24
Broca para metal	1	5mm	\$ 1,70	\$ 1,70
<b>TOTAL</b>				\$ 122,11

Figura 61. Presupuesto. Fuente: Autores

## REFERENCIAS

- [1] L. M. Alberto, *Proceso y válvulas de estrangulamiento*. Accedido: 13-09-2022, 2017. dirección: <https://www.monografias.com/trabajos/valvestrangul/valvestrangul>.
- [2] anónimo, *compresor de aire*, Accedido: 13-09-2022, 2015. dirección: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSpS4k2sID-botuSkb5sEpjgexcyw1XKLBWUg&usqp=CAU>.
- [3] Armotec, *electrovalculas*, Accedido: 01-01-2023, 2022. dirección: <https://armotec.pe/producto/automatizacion/neumatica/electrovalvula-neumatica-bm520nd9l/>.
- [4] CADESIMU, *intefaz de programa*, Accedido: 21-02-2023, 2023. dirección: <https://windtux.com/cade-simu-programa-esquema-electrico/>.
- [5] DIARTEK, *LUZPILOTO*, Accedido: 31-01-2023, 2001. dirección: <https://diartek.cl/en/luz-piloto-led-monoblock-22mm-220v-color-verde>.
- [6] A. Electronic, *Termocupla Tipo K + Módulo MAX6675*, Accedido: 14-09-2022, 2022. dirección: <https://avelectronics.cc/producto/termocupla-tipo-k-modulo-max6675/>.
- [7] Electrostore, *RELÉ ESTADO SÓLIDO SSR-60DA 60A INPUT 3-32VDC OUTPUT 24-380VAC*, Accedido: 30-01-2023, 2019. dirección: <https://grupoelectrostore.com/shop/interruptores-y-switches/rele-estado-solido-ssr-60da-60a-input-3-32vdc-output-24-380vac/>.
- [8] FESTO, *Doble válvula de estrangulación y antirretorno*, Accedido: 10-09-2022, 2015. dirección: <https://www.festo-didactic.com/es-es/productos/fluid-power/562/componentes-neumaticos/doble-valvula-de-estrangulacion-y-antirretorno.htm?fbid=ZXMuZXMuNTQ3LjE0LjE4LjU2NC41MTYz>.
- [9] HNSA, *MANGUERAS NEUMÁTICAS*, Accedido: 13-09-2022, 2019. dirección: <http://www.hnsa.com.co/mangueras-neumaticas/>.
- [10] F. e Ingeniería Eléctrica, *Unidad de mantenimiento neumática*. Accedido: 13-09-2022, 2016. dirección: <http://fpeingenieriaelectronica.blogspot.com/2016/01/unidad-de-mantenimiento-neumatica.html>.
- [11] E. B. Martí, *Extrusora de madera plástica*, Accedido: 10-09-2022, 2019. dirección: <https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/260036-Extrusora-para-grancear-plastico-Que-es-y-como-funciona.html>.
- [12] NOVUS, *Controlador PID Autoadaptativo NI200*, Accedido: 13-09-2022, 2020. dirección: [https://www.novusautomation.com/site/default.asp?Idioma=34&TroncoID=915540&SecaoID=947248&SubsecaoID=528363&Template=../catalogos/layout\\_producto.asp&ProductoID=813506](https://www.novusautomation.com/site/default.asp?Idioma=34&TroncoID=915540&SecaoID=947248&SubsecaoID=528363&Template=../catalogos/layout_producto.asp&ProductoID=813506).
- [13] G. Ollarves, *¿QUÉ ES UN COMPRESOR DE AIRE? ¿CUÁL ES SU FUNCIONAMIENTO Y PARA QUÉ SIRVE?* Accedido: 13-09-2022, 2017. dirección: <https://www.bricolemar.com/blog/que-es-un-compresor-de-aire/>.
- [14] Oscar, *Que es un plc siemens logo*, Accedido: 13-09-2022, 2017. dirección: <http://codigoelectronica.com/blog/que-es-un-plc-siemens-logo>.
- [15] patentados.com, *Tornillo sinfín para extrusores y su proceso de producción, y elemento de caucho para neumáticos y su proceso de producción*. Accedido: 12-09-2022, 2007. dirección: <https://patentados.com/2012/tornillo-sinfin-para-extrusores>.
- [16] prototivad3D, *Novedades de Inventor 2022.1*, Accedido: 09-09-2022, 2022. dirección: <https://www.prototivad3d.com/2021/10/novedades-de-inventor-20221.html>.
- [17] PROVEIN, *BRONCESALUMINIO*, Accedido: 10-02-2023, 2020. dirección: <https://provein.com.ec/bronce-al-aluminio/>.
- [18] Raul, *¿Qué es el control PID? Comprenda cómo funciona y vea ejemplos*, Accedido: 13-09-2022, 2017. dirección: <https://www.west-cs.com.br/blog/es/2017/03/12/o-que-e-control-pid/>.
- [19] ROME, *EQUIPOS NEUMATICOS*, Accedido: 11-09-2022, 2016. dirección: <https://www.romecoindustrial.com/producto/xac4000-06-unidad-de-mantenimiento-frl-puerto-de-34-filtro-regulador-lubricador/>.
- [20] J. T. S.A, *Soluciones Integrales en Temperatura*, Accedido: 13-09-2022, 2022. dirección: <https://www.jmi.com.mx/resistencias/resistencia-tipo-banda.html>.
- [21] SIEMENS, *LOGO! Soft Comfort*, Accedido: 20-10-2022, 2010. dirección: <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc/logo/logo-software.html>.



- [22] SMC, *Cilindros neumático*, Accedido: 11-09-2022, 2018. dirección: <https://www.smc.eu/es-es/productos/jmb-cilindro-neumatico-doble-efecto-vastago-simple~139117~cfg>.
- [23] Structuralia, *Cilindros de simple efecto: ¿cómo funcionan?* Accedido: 13-09-2022, 2021. dirección: <https://blog.structuralia.com/cilindros-de-simple-efecto>.
- [24] M. Suarez, *¿Qué es una termocupla y cómo funciona?* Accedido: 14-09-2022, 2019. dirección: <https://www.mastersi.com.pe/blog/69-que-es-una-termocupla>.
- [25] SubirCC, *Interruptor termomagnético: qué es, cómo funciona y sus tipos*, Accedido: 01-02-2023, 2011. dirección: <https://subir.cc/interruptor-termomagnetico/>.
- [26] TETTSA, *FUENTE DE ALIMENTACIÓN CONMUTADA 24VDC/10A*, Accedido: 14-09-2022, 2020. dirección: <https://www.ingmecafenix.com/electricidad-industrial/motor-paso-a-paso/>.
- [27] VAZBROS, *Acero AISI-SAE 1018 Cold Rolled*, Accedido: 09-09-2022, 2019. dirección: <https://www.vazbros.com/materiales/acero-aisi-sae-1018-cold-rolled/>.
- [28] WIKIPEDIA, *Interruptor*, Accedido: 31-01-2023, 2001. dirección: <https://es.wikipedia.org/wiki/Interruptor>.