



Universidad  
Nacional  
de Loja

**Universidad Nacional de Loja**

**Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos**

**Naturales no Renovables**

**Carrera de Ingeniería Electromecánica**

**Diseño, construcción y control de una máquina de inyección de plásticos reciclables.**

Trabajo de Titulación previo a la  
obtención del título de Ingeniero  
Electromecánico

**AUTOR:**

Edison Gustavo Coraizaca Chuqui.

**DIRECTOR:**

Ing. Byron Agustín Solórzano Castillo, Mg. Sc.

Loja – Ecuador

2023

## Certificación

Loja, 23 de marzo de 2023

Ing. Byron Agustín Solórzano Castillo, Mg. Sc.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

### **CERTIFICO:**

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Diseño, construcción y control de una máquina de inyección de plásticos reciclables**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Electromecánico**, de la autoría del estudiante, **Edison Gustavo Coraizaca Chuqui** con **cédula de identidad Nro.0302701958**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.

---

Ing. Byron Agustín Solórzano Castillo, Mg. Sc.  
**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

## **Autoría**

Yo, **Edison Gustavo Coraizaca Chuqui**, declaro ser autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y Jurídicos de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi Trabajo de Titulación en el Repositorio Institucional - Biblioteca Virtual.



**Firma:** .....

**Cédula de identidad:** 0302701958

**Fecha:** 23/03/ 2023

**Correo electrónico institucional:** [edison.coraizaca@unl.edu.ec](mailto:edison.coraizaca@unl.edu.ec) - [coraizacaedi@gmail.com](mailto:coraizacaedi@gmail.com)

**Teléfono:** 0984630521

**Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación.**

Yo, **Edison Gustavo Coraizaca Chuqui**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Diseño, construcción y control de una máquina de inyección de plásticos reciclables**, como requisito para optar el grado de **Ingeniero Electromecánico**, autorizo al Sistema bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja a los veintitrés días del mes de marzo del dos mil veintitrés.



**Firma:** .....

**Autor:** Edison Gustavo Coraizaca Chuqui

**C.I:** 0302701958

**Dirección:** Los Ciprés, Galileo Galilei y Milton Patiño.

**Correo electrónico institucional:** [edison.coraizaca@unl.edu.ec](mailto:edison.coraizaca@unl.edu.ec)

**Teléfono:** 0984630521

**DATOS COMPLEMENTARIOS:**

**Director del Trabajo de Titulación:** Ing. Byron Agustín Solórzano Castillo, Mg. Sc.

## **Dedicatoria**

A Dios por permitir completar con mis estudios y darme fuerza durante este proceso para llegar a cumplir esta gran meta.

A mi madre Rosa Chuqui (+) y mi hermano Rafael Coraizaca (+) les dedico con mucho amor y nostalgia el presente trabajo, quienes han sido fuente de inspiración constante para alcanzar mis anhelos.

A mi padre Luis Coraizaca por haberme brindado su amor y apoyo incondicional en el transcurso de mi vida estudiantil.

A mis hermanas y amigos por estar siempre apoyando y dando fuerza para continuar con mis estudios.

***Edison Coraizaca***

## **Agradecimiento**

Agradezco en primer lugar a Dios por darme la vida y guiar mi camino en todo momento para alcanzar mi más grande sueño.

A mis padres por sus esfuerzos y estar ahí siempre apoyando para salir adelante.

A la Universidad Nacional de Loja y a la carrera de Ingeniería Electromecánica, que mediante sus docentes supieron impartir sus enseñanzas para que finalmente pudiera concluir una etapa más de mi vida.

Agradezco especialmente a mi director de Trabajo de titulación el Ing. Byron Solórzano por guiarme en el desarrollo de la presente investigación.

***Edison Coraizaca***

## Índice de contenidos

<b>Portada</b> .....	<b>i</b>
<b>Certificación</b> .....	<b>ii</b>
<b>Autoría</b> .....	<b>iii</b>
<b>Carta de autorización</b> .....	<b>iv</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>v</b>
<b>Agradecimiento</b> .....	<b>vi</b>
<b>Índice de contenidos</b> .....	<b>vii</b>
Índice de figuras:.....	xiii
Índice de Tablas: .....	xvii
Índice de anexos:.....	xix
Simbología: .....	xxi
<b>1. Título</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Resumen</b> .....	<b>2</b>
2.1 Abstract.....	3
<b>3. Introducción</b> .....	<b>4</b>
<b>4. Marco Teórico</b> .....	<b>6</b>
4.1 Termoplásticos .....	6
4.2 Propiedades térmicas.....	6
4.2.1 Temperatura de transición vítrea (Tg) .....	6
4.3 Termoplástico tipo PET .....	6
4.3.1 Estructura .....	7
4.3.2 Propiedades .....	7
4.3.3 Procesos de transformación .....	8
4.4 Inyección del PET .....	8
4.4.1 Perfil de temperaturas. ....	9
4.5 Tipos de máquinas de inyección. ....	9

4.5.1	Máquina de pistón.....	9
4.5.2	Máquina de pistón con pre-plastificación .....	10
4.5.3	Máquina con tornillo de pre plastificación .....	12
4.5.4	Máquinas de husillo (o tornillo recíproco).....	14
4.5.5	Máquina de inyección vertical .....	15
4.6	Componentes de una máquina de inyección .....	16
4.6.1	Unidad Inyectora.....	16
4.6.2	Unidad de cierre .....	18
4.6.3	Unidad de potencia .....	19
4.6.4	Unidad de Control.....	19
4.7	Variables que intervienen en el proceso de inyección .....	19
4.7.1	Capacidad de cierre.....	19
4.7.2	Capacidad de inyección .....	21
4.7.3	Velocidad de inyección.....	21
4.7.4	Presión de Inyección .....	22
4.7.3	Tiempo de inyección inicial.....	23
4.7.4	Tiempo de plastificación.....	23
4.7.5	Tiempo de enfriamiento.....	23
4.8	Moldes de inyección.....	25
4.8.1	Clasificación de los moldes .....	25
4.8.2	Cono de entrada. Bebedero y mazarota cónicas .....	25
4.9	Fundamentos de diseño mecánico.....	26
4.9.1	Esfuerzos normal o axial.....	26
4.9.2	Esfuerzo cortante .....	27
4.9.3	Torsión .....	27
4.9.4	Flexión .....	28
4.9.5	Factor de seguridad .....	28



4.9.6	Criterios de fallas .....	29
4.9.7	Cilindros de pared gruesa.....	31
4.9.8	Placas .....	32
4.9.9	Teorema aproximado de pórticos con carga vertical .....	33
4.9.10	Diseño de sujetadores roscados .....	34
4.9.11	Uniones a tensión.....	40
4.9.12	Silos o tolvas de almacenamiento .....	41
4.10	Fundamentos de actuadores neumáticos.....	42
4.10.1	Parámetros de un cilindro neumático.....	42
4.11	Fundamentos de transferencia de calor .....	44
4.11.1	Calor sensible.....	44
4.11.2	Calor Latente.....	44
4.11.3	Efecto Joule.....	45
4.11.4	Resistencia Eléctrica (Niquelinas) .....	45
4.12	Fundamentos de automatización y control .....	46
4.12.1	Tarjeta de Control .....	46
4.12.2	Sensores .....	47
4.12.3	Tipos de sensores .....	47
4.13	Otros trabajos sobre máquinas de inyección .....	47
<b>5.</b>	<b>Metodología .....</b>	<b>49</b>
5.1	Materiales .....	49
5.1.1	Materiales de investigación.....	49
5.1.2	Software para el diseño .....	49
5.2	Métodos.....	50
5.2.1	Selección de los parámetros de inyección .....	50
5.2.2	Cilindro de inyección.....	50
5.2.3	Boquilla de inyección .....	51

5.2.4	Tolvas.....	51
5.2.5	Émbolo de inyección.....	51
5.2.6	Cálculo de las placas de la máquina .....	52
5.2.7	Diseño de la estructura.....	52
5.2.8	Cálculos de los pernos de la máquina .....	52
5.2.9	Cálculo de la resistencia eléctricas .....	53
5.2.10	Dimensionamiento del sistema neumático.....	53
5.2.11	Selección de los sensores .....	53
5.2.12	Tarjeta de control .....	54
5.2.13	Sistema de control.....	54
5.2.14	Construcción de la máquina.....	54
5.2.15	Validación .....	55
<b>6.</b>	<b>Resultados.....</b>	<b>56</b>
6.1	Selección de la máquina y sus elementos.....	56
6.1.1	Selección de alternativas.....	56
6.1.2	Matriz de ponderación .....	57
6.1.3	Configuración de la máquina .....	58
6.1.4	Descripción de la máquina.....	59
6.2	Parámetros de la máquina .....	62
6.2.1	Determinación de la capacidad de inyección.....	62
6.2.2	Determinación de la velocidad de Inyección .....	63
6.2.3	Determinación de la presión de inyección .....	63
6.3	Diseño del sistema de alimentación o inyección.....	64
6.3.1	Carrera del pistón.....	64
6.3.2	Diseño del cilindro de plastificación.....	64
6.3.3	Cálculo de la rosca .....	68
6.3.4	Determinación del diámetro interno de la boquilla.....	74

6.3.5	Cálculo de la tolva .....	75
6.3.6	Selección de resorte .....	78
6.3.7	Cálculo de la tolerancia del émbolo.....	79
6.3.8	Diseño de la placa de soporte del cilindro de calefacción .....	82
6.3.9	Cálculo de la estructura.....	84
6.3.10	Cálculo de la placa fija ajustable del sistema de cierre del molde.....	92
6.3.11	Cálculo de los pernos de la placa fija ajustable .....	93
6.3.12	Cálculo del número de pernos en la placa que soporta el cilindro neumático de inyección .....	99
6.3.13	Cálculo de los pernos de la placa fija frontal .....	100
6.4	Sistema de calefacción .....	102
6.4.1	Cálculo de las resistencias eléctricas para la unidad de inyección (Niquelinas) ... ..	102
6.4.2	Cálculo de las niquelinas para el molde.....	103
6.5	Unidad de potencia.....	104
6.5.1	Selección del cilindro neumático de la unidad de inyección .....	104
6.5.2	Selección del cilindro neumático de la unidad de cierre.....	106
6.6	Cálculo del ciclo de inyección .....	110
6.6.1	Tiempo de inyección.....	111
6.6.2	Tiempo de plastificación.....	111
6.6.3	Tiempo de solidificación.....	112
6.6.4	Tiempo total .....	113
6.7	Sistema de control .....	113
6.7.1	Diseño de la tarjeta de control .....	113
6.7.2	Control de temperatura del barril de inyección.....	115
6.7.3	Control de temperatura del molde.....	115
6.7.4	Sistema de enfriamiento.....	115

6.8	Descripción de la propuesta de control .....	116
6.8.1	Descripción del funcionamiento de la máquina inyectora modelo vertical.....	119
6.8.2	Diagrama Espacio-Fase .....	124
6.9	Construcción de la máquina de inyección vertical.....	126
6.9.1	Fabricación de la estructura principal.....	126
6.9.2	Construcción de la unidad de inyección. ....	127
6.9.3	Construcción de la unidad de cierre.....	130
6.9.4	Construcción de la unidad de control.....	133
6.9.5	Ensamblaje de los elementos mecánicos, neumáticos y de control.....	133
6.10	Validación.....	140
6.11	Análisis financiero.....	147
6.11.1	Costos directos .....	147
6.11.2	Costos Indirectos.....	150
6.11.3	Costo total de la construcción de la máquina.....	151
<b>7.</b>	<b>Discusión .....</b>	<b>152</b>
<b>8.</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>154</b>
<b>9.</b>	<b>Recomendaciones .....</b>	<b>155</b>
<b>10.</b>	<b>Bibliografía .....</b>	<b>156</b>
<b>11.</b>	<b>Anexos .....</b>	<b>163</b>

## Índice de figuras:

<b>Figura 1.</b> Sistema de inyección por pistón.....	10
<b>Figura 2.</b> Sistema de inyección con pistón de pre plastificación en ángulo. ....	11
<b>Figura 3.</b> Sistema de inyección con pistón de pre-plastificación en línea. ....	12
<b>Figura 4.</b> Sistema de inyección con husillo de pre-plastificación en ángulo.....	13
<b>Figura 5.</b> Diagrama general de una máquina de inyección de tornillo. ....	15
<b>Figura 6.</b> Máquina de inyección vertical. ....	16
<b>Figura 7.</b> Tipos de boquillas. ....	17
<b>Figura 8.</b> Área proyectada de una pieza moldeada. ....	20
<b>Figura 9.</b> Estructura de un molde.....	25
<b>Figura 10.</b> Configuración de la superficie de contacto. ....	26
<b>Figura 11.</b> Elemento sometido a tracción (a) y sometido a compresión (b). ....	26
<b>Figura 12.</b> Elemento sometido a una fuerza cortante.....	27
<b>Figura 13.</b> Elemento sometido a torsión. ....	27
<b>Figura 14.</b> Elemento sometido a flexión.....	28
<b>Figura 15.</b> Esfuerzo cortante máximo.....	30
<b>Figura 16.</b> Teoría de la energía de la distorsión.....	30
<b>Figura 17.</b> Cilindro de pared gruesa con presión interna y presión externa igual a cero con distribución de esfuerzos, a) Esfuerzo tangencial, b) Esfuerzo radial. ....	31
<b>Figura 18.</b> Modelo de una estructura bajo carga vertical.....	33
<b>Figura 19.</b> Perfil básico de cuerda métrica (ISO). ....	34
<b>Figura 20.</b> Sección de la rosca como viga en voladizo. ....	38
<b>Figura 21.</b> Flujo tubular y flujo másico en el interior de un silo. ....	41
<b>Figura 22.</b> Ángulos de acuerdo al tipo de flujo.....	42
<b>Figura 23.</b> Calor sensible. ....	44
<b>Figura 24.</b> Calor Latente. ....	45
<b>Figura 25.</b> Resistencia eléctrica (Niquelina).....	46
<b>Figura 26.</b> Tarjeta de control para procesos industriales. ....	46
<b>Figura 27.</b> Partes de la máquina de inyección a diseñar. ....	61
<b>Figura 28.</b> Vista frontal con corte del cilindro de inyección. ....	65
<b>Figura 29.</b> Esfuerzos principales en el cilindro de inyección que pueden ocasionar la falla..	65
<b>Figura 30.</b> Resultados de los esfuerzos de Von Mises en el barril de inyección.....	68
<b>Figura 31.</b> Cilindro de inyección con ambos extremos roscados. ....	72

<b>Figura 32.</b> Modelo de la boquilla de diseño.....	74
<b>Figura 33.</b> Tolva de almacenamiento automática .....	75
<b>Figura 34.</b> Tolva de almacenamiento.....	76
<b>Figura 35.</b> Tolva de ingreso del material. plástico.....	77
<b>Figura 36.</b> Émbolo de inyección.....	79
<b>Figura 37.</b> Simulación, a) Dilatación térmica. b) Esfuerzos de Von Mises.....	81
<b>Figura 38.</b> Dimensiones de la placa del cilindro de calefacción.....	82
<b>Figura 39.</b> Simulación a) Deflexión máxima. b) Esfuerzo de Von Mises.....	84
<b>Figura 40.</b> Estructura de la máquina de inyección.....	84
<b>Figura 41.</b> Disposición de las cargas en la estructura.....	85
<b>Figura 42.</b> Representación de la estructura aplicando la teoría del pórtico.....	86
<b>Figura 43.</b> Sección superior de la estructura donde está ubicado el cilindro de inyección. ...	87
<b>Figura 44.</b> Sección intermedia tomada como una viga simplemente apoyada.....	87
<b>Figura 45.</b> Diagrama de equilibrio de la columna izquierda.....	88
<b>Figura 46.</b> Diagrama de equilibrio de la columna derecha.....	89
<b>Figura 47.</b> Sección del porta molde posterior.....	92
<b>Figura 48.</b> Diagrama de equilibrio de la placa porta molde posterior.....	92
<b>Figura 49.</b> Fuerza de reacción producido por el perno de sujeción.....	94
<b>Figura 50.</b> Vista frontal de la placa con corte transversal.....	99
<b>Figura 51.</b> Placa frontal sometida bajo una carga puntual.....	101
<b>Figura 52.</b> Área proyectada del molde.....	107
<b>Figura 53.</b> Válvula 5/2 biestable.....	109
<b>Figura 54.</b> Válvula reguladora de flujo tipo block con check ajustable unidireccional.....	110
<b>Figura 55.</b> Diseño de la pieza del molde.....	110
<b>Figura 56.</b> Secuencia de la máquina de inyección propuesta.....	113
<b>Figura 57.</b> Disposición de los elementos en la tarjeta de control en el software Eagle.....	114
<b>Figura 58.</b> Termostato modelo REX-C100.....	115
<b>Figura 59.</b> Sensor de temperatura NTC3950.....	115
<b>Figura 60.</b> Ventilador de enfriamiento del molde.....	116
<b>Figura 61.</b> Descripción general del funcionamiento de la máquina.....	121
<b>Figura 62.</b> Verificación de la temperatura en el barril de inyección.....	122
<b>Figura 63.</b> Verificación de la temperatura en el molde.....	122
<b>Figura 64.</b> Verificación de las electroválvulas 5/2.....	123

<b>Figura 65.</b> Diagrama Espacio-Fase.....	124
<b>Figura 66.</b> Máquina inyectora de modelo vertical. ....	125
<b>Figura 67.</b> a) Ensamble de las columnas, b) Soldadura de las secciones de la máquina, c) Ensamble final de la estructura. ....	126
<b>Figura 68.</b> a) Montaje de las placas de cada sección, b) Placas con sus respectivas perforaciones.....	127
<b>Figura 69.</b> Fabricación del cilindro de inyección. ....	127
<b>Figura 70.</b> Tuerca de sujeción finalizada. ....	128
<b>Figura 71.</b> Buje una vez terminado el proceso de torneado.....	128
<b>Figura 72.</b> Secuencia de mecanizado para la obtención de la boquilla de inyección. ....	128
<b>Figura 73.</b> Mecanizado del émbolo de inyección. ....	129
<b>Figura 74.</b> Separador del cilindro de inyección. ....	129
<b>Figura 75.</b> Tolva de alimentación. ....	130
<b>Figura 76.</b> Fabricación de la tolva de alimentación. ....	130
<b>Figura 77.</b> Vista detallada de la placa fija frontal. ....	131
<b>Figura 78.</b> Vista posterior de la placa móvil. ....	131
<b>Figura 79.</b> Proceso de construcción de la placa fija ajustable. ....	132
<b>Figura 80.</b> Separadores que conforman la unidad de cierre.....	132
<b>Figura 81.</b> Diseño del molde a ser probado en la inyectora.....	133
<b>Figura 82.</b> Fabricación y montaje de la tarjeta de control. ....	133
<b>Figura 83.</b> Montaje de las planchas en la estructura. ....	134
<b>Figura 84.</b> Ensamblaje de la unidad de cierre. ....	134
<b>Figura 85.</b> Montaje del sistema de calefacción y censado en el barril de inyección. ....	135
<b>Figura 86.</b> Ensamblaje del sistema de inyección sobre la estructura. ....	135
<b>Figura 87.</b> Montaje del cilindro neumático de inyección. ....	136
<b>Figura 88.</b> Montaje del molde en la unidad de cierre. ....	136
<b>Figura 89.</b> Calibración del molde y ajuste de la placa fija ajustable. ....	137
<b>Figura 90.</b> Aislamiento del barril de inyección con lana de vidrio.....	137
<b>Figura 91.</b> Ensamblaje del sistema de alimentación y almacenamiento del material.....	137
<b>Figura 92.</b> Disposición del sistema de alimentación y control. ....	138
<b>Figura 93.</b> Panel de control.....	138
<b>Figura 94.</b> Sistema de calefacción y refrigeración de la unidad de cierre. ....	139
<b>Figura 95.</b> Conexión de las válvulas con la red neumática.....	139

<b>Figura 96.</b> Máquina inyectora vertical de PET terminada. ....	139
<b>Figura 97.</b> Material reciclado en forma de pellets y hojuelas. ....	141
<b>Figura 98.</b> Extracción de una pieza moldeada. ....	147
<b>Figura 99.</b> Unidad de mantenimiento o filtro FRL. ....	163
<b>Figura 100.</b> Conexión y encendido de la máquina de inyección. ....	164
<b>Figura 101.</b> Medición de la cantidad de material expulsado por el sistema de almacenamiento. ....	164
<b>Figura 102.</b> Interfaz de configuración del termostato. ....	165
<b>Figura 103.</b> Interfaz del sistema de control de la máquina. ....	165
<b>Figura 104.</b> Ubicación de la tolva de ingreso. ....	166
<b>Figura 105.</b> Botón de encendido y mensaje de aviso durante el ciclo de inyección. ....	166
<b>Figura 106.</b> Botón de pausa y suspensión temporal con mensaje de aviso. ....	167
<b>Figura 107.</b> Parada de emergencia con su respectivo aviso en la pantalla LCD. ....	167
<b>Figura 108.</b> Botón de parada del ciclo de inyección. ....	168
<b>Figura 109.</b> Pulsadores y menú de configuración. ....	168
<b>Figura 110.</b> Mensaje y guardado de un valor. ....	169
<b>Figura 111.</b> Configuración del modo uno de la unidad de cierre. ....	169
<b>Figura 112.</b> Configuración del modo dos. ....	170
<b>Figura 113.</b> Configuración de los valores máx y mín de temperatura del molde. ....	170
<b>Figura 114.</b> Configuración tres de la máquina. ....	170



## Índice de Tablas:

<b>Tabla 1.</b> Densidad de diferentes plásticos fundidos.....	6
<b>Tabla 2.</b> Propiedades físicas del Termoplástico PET.....	7
<b>Tabla 3.</b> Propiedades mecánicas del termoplástico PET.....	8
<b>Tabla 4.</b> Perfil de temperaturas en el proceso de inyección.....	9
<b>Tabla 5.</b> Ventajas y Desventajas de una máquina de pistón. ....	10
<b>Tabla 6.</b> Ventajas y desventajas de una máquina con pistón de pre-plastificación en ángulo. .....	11
<b>Tabla 7.</b> Ventajas y Desventajas de una máquina con pistón de pre-plastificación en línea. .	12
<b>Tabla 8.</b> Ventajas y Desventaja de una máquina con tornillo de pre plastificación. ....	13
<b>Tabla 9.</b> Ventajas y Desventajas de una máquina de husillo. ....	14
<b>Tabla 10.</b> Ventajas y Desventajas de una máquina de inyección vertical.....	15
<b>Tabla 11.</b> Constantes v.t. para varios materiales.....	18
<b>Tabla 12.</b> Plásticos de ingeniería.....	22
<b>Tabla 13.</b> Factor de viscosidad.....	22
<b>Tabla 14.</b> Parámetros para determinar el tiempo de enfriamiento. ....	24
<b>Tabla 15.</b> Dimensiones de bebedero en moldes de canal caliente. ....	26
<b>Tabla 16.</b> Coeficientes de rozamiento.....	39
<b>Tabla 17.</b> Parámetros de diseño. ....	50
<b>Tabla 18.</b> Tipos de máquinas de inyección. ....	56
<b>Tabla 19.</b> Valoración de los diferentes tipos de máquinas.....	57
<b>Tabla 20.</b> Alternativas de los elementos de acuerdo al tipo de unidad. ....	58
<b>Tabla 21.</b> Datos de la altura y número de hilos de la rosca.....	71
<b>Tabla 22.</b> Datos para una rosca de 1 1/8 de in. ....	74
<b>Tabla 23.</b> Características generales de las tolvas. ....	77
<b>Tabla 24.</b> Masa de los elementos de la unidad de inyección. ....	78
<b>Tabla 25.</b> Características del resorte seleccionado.....	79
<b>Tabla 26.</b> Datos obtenidos del método de Newton Raphson. ....	91
<b>Tabla 27.</b> Características del cilindro neumático de la unidad de inyección. ....	105
<b>Tabla 28.</b> Características del cilindro neumático de la unidad de cierre.....	108
<b>Tabla 29.</b> Características eléctricas de los accionamientos.....	117
<b>Tabla 30.</b> Características de los elementos de control. ....	118
<b>Tabla 31.</b> Características técnicas de la máquina construida. ....	140

<b>Tabla 32.</b> Resultados de los ensayos de validación del plástico totalmente reciclado.....	142
<b>Tabla 33.</b> Resultados de los ensayos de validación para el material reciclado con un porcentaje de material virgen.....	145
<b>Tabla 34.</b> Resultado de los ensayos de validación para un ciclo continuo. ....	146
<b>Tabla 35.</b> Costos de los elementos del sistema control.....	147
<b>Tabla 36.</b> Costos de los actuadores. ....	148
<b>Tabla 37.</b> Costos del material utilizado y piezas mecanizadas. ....	149
<b>Tabla 38.</b> Costos de los elementos de sujeción. ....	150
<b>Tabla 39.</b> Costos por uso de equipos de trabajo.....	151
<b>Tabla 40.</b> Costos por mano de obra.....	151
<b>Tabla 41.</b> Costo total de la máquina.....	151

## Índice de anexos:

<b>Anexo 1.</b> Guía de uso de la máquina vertical. ....	163
<b>Anexo 2.</b> Factor de seguridad para materiales dúctiles. ....	173
<b>Anexo 3.</b> Propiedades mecánicas del acero AISI 4140. ....	173
<b>Anexo 4.</b> Medidas estándar de resortes. ....	174
<b>Anexo 5.</b> Propiedades generales del aluminio 6061. ....	174
<b>Anexo 6.</b> Propiedades del acero ASTM-A36. ....	175
<b>Anexo 7.</b> Clases de ajustes para elementos de máquinas. ....	176
<b>Anexo 8.</b> Tolerancias recomendadas en función de la clase de ajuste. ....	176
<b>Anexo 9.</b> Diámetro máximo y mínimo para los tipos de ajustes. ....	177
<b>Anexo 10.</b> Coeficientes K y K1 para placas rectangulares y elípticas. ....	177
<b>Anexo 11.</b> Condiciones de borde para placas rectangulares y elípticas. ....	177
<b>Anexo 12.</b> Propiedades mecánicas del acero JIS 3141. ....	178
<b>Anexo 13.</b> Espesores comerciales para tubo cuadrado mecánico. ....	179
<b>Anexo 14.</b> Propiedades térmicas del acero AISI 4140. ....	179
<b>Anexo 15.</b> Propiedades del material plástico PET. ....	180
<b>Anexo 16.</b> Características de diseño para un perno. ....	180
<b>Anexo 17.</b> Dimensiones de cuerdas de tornillo del estándar métrico ISO. ....	181
<b>Anexo 18.</b> Parámetros de rigidez de varios materiales. ....	181
<b>Anexo 19.</b> Propiedades mecánicas para pernos métricos. ....	182
<b>Anexo 20.</b> Altura de la tuerca para pernos métricos. ....	182
<b>Anexo 21.</b> Dimensiones básicas de arandelas simples estándar. ....	183
<b>Anexo 22.</b> Medidas estándar de pernos métricos. ....	183
<b>Anexo 23.</b> Formulas de cortante y momento para una viga con carga distribuida. ....	183
<b>Anexo 24.</b> Diámetros estándar de resistencias tipo abrazaderas. ....	184
<b>Anexo 25.</b> Resistencias eléctricas tipo cartuchos. ....	184
<b>Anexo 26.</b> Catálogo de cilindros neumáticos FESTO SERIE ISO15552. ....	185
<b>Anexo 27.</b> Catálogo de Unidad FRL. ....	185
<b>Anexo 28.</b> Características generales del convertidor DC-DC. ....	186
<b>Anexo 29.</b> Características generales del REX-C100. ....	186
<b>Anexo 30.</b> Parámetros técnicos del sensor NTC modelo 3950. ....	187
<b>Anexo 31.</b> Características generales de la placa Arduino Nano. ....	188
<b>Anexo 32.</b> Características generales del Transistor TIP41C. ....	189

<b>Anexo 33.</b> Características generales del Optoacoplador PC817. ....	190
<b>Anexo 34.</b> Características generales del Diodo Zener 1N5230. ....	191
<b>Anexo 35.</b> Características técnicas del ventilador VN-2350. ....	192
<b>Anexo 36.</b> Características de los indicadores led. ....	193
<b>Anexo 37.</b> Características de la parada de emergencia. ....	194
<b>Anexo 38.</b> Características de los pulsadores eléctricos. ....	195
<b>Anexo 39.</b> Características del termo par tipo K. ....	196
<b>Anexo 40.</b> Características técnicas de un módulo relé. ....	197
<b>Anexo 41.</b> Características de la electroválvula 5/2. ....	198
<b>Anexo 42.</b> Características generales de una válvula de corneta. ....	199
<b>Anexo 43.</b> Proceso de paletización de las botellas plásticas recicladas. ....	200
<b>Anexo 44.</b> Código de control. ....	202
<b>Anexo 45:</b> Plano del esquema de control. ....	207
<b>Anexo 46:</b> Plano de la pieza a moldear. ....	207
<b>Anexo 47.</b> Diagrama Neumático ....	207
<b>Anexo 48.</b> Plano del circuito de control. ....	207
<b>Anexo 49.</b> Plano del circuito de fuerza. ....	207
<b>Anexo 50.</b> Planos de las piezas de la máquina. ....	207
<b>Anexo 51.</b> Certificación de la traducción del resumen. ....	208

## Simbología:

**CI** : Capacidad máxima de inyección [ $\text{cm}^3$ ].

**V<sub>i</sub>**: Velocidad de inyección [ $\text{m}^3/\text{s}$ ].

**M<sub>pet</sub>**: Flujo másico máximo [ $\text{kg}/\text{s}$ ].

**P<sub>r</sub>**: Presión real requerida para inyectar el material plástico [ $\text{kgf}/\text{cm}^2$ ].

**L<sub>b</sub>**: Longitud efectiva para plastificar la cantidad de material máxima de la máquina [mm].

**$\sigma_{\text{equ}}$** :  **$\sigma_{\text{adm}}$** : Esfuerzo admisible o de diseño [MPa].

**r<sub>ext</sub>**: Radio exterior [mm].

**h<sub>tuerca</sub>**: Altura de la tuerca [mm].

**h<sub>roscas</sub>**: Altura real de la rosca [mm].

**n<sub>cuerdas</sub>**: Número de cuerdas o hilos de un tornillo.

**F<sub>i</sub>**: Precarga o ajuste inicial [KN].

**T<sub>ajuste</sub>**: Torque o par de apriete debido a la precarga [Nm].

**F<sub>max</sub>**: Fuerza máxima en el interior del cilindro [N].

**h<sub>cono</sub>**: Altura del cono de la tolva [mm].

**h<sub>cilindro</sub>**: Altura del cilindro de la tolva [mm].

**K<sub>resorte</sub>**: Constante del resorte [ $\text{N}/\text{mm}$ ].

**d<sub>máx</sub>**: Diámetro máximo debido a la clase de ajuste y dilatación superficial [mm].

**d<sub>mín</sub>**: Diámetro mínimo debido a la clase de ajuste y dilatación superficial [mm].

**$\rho$** : Densidad [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ].

**$\tau_{\text{máx}}$** : Esfuerzo cortante máximo [MPa].

**$\omega_{\text{máx}}$** : Deflexión máxima producida en una placa [mm].

**F<sub>p</sub>**: Fuerza producida en el perno [KN].

**P<sub>b</sub>**: Fuerza o fracción de carga que soporta en el perno [KN].

**P<sub>m</sub>**: Fuerza o fracción de carga que recibe el material [KN].

**F<sub>b</sub>**: Fuerza resultante en el perno [N].

**F<sub>m</sub>**: Fuerza resultante en el material [N].

**P<sub>0</sub>**: fuerza que requiere para separar la junta [N].

**E**: Módulo de elasticidad [GPa].

**k<sub>b</sub>**: Rigidez del perno [ $\text{KN}/\text{mm}$ ].

**k<sub>m</sub>**: Rigidez del material [ $\text{KN}/\text{mm}$ ].

**N<sub>separación</sub>**: Factor de seguridad contra la separación.

**S<sub>sy</sub>**: Resistencia a la fluencia por cortante [MPa].

**Q<sub>Total</sub>**: Energía calorífica total [KJ].

**P<sub>Total</sub>**: Potencia eléctrica total [W].

**C<sub>m</sub>**: Capacidad de plastificación [ $\text{g}/\text{s}$ ].

**Φ**: Difusividad térmica [ $\text{cm}^2/\text{s}$ ].

## **1. Título**

**Diseño, construcción y control de una máquina de inyección de plásticos reciclables.**

## 2. Resumen

En el presente proyecto se realizó el diseño, construcción y control de una máquina de inyección vertical con una capacidad de inyección de 50 gramos, usando como materia prima el polímero termoplástico reciclado Polietileno Tereftalato (PET), por su gran cantidad en el mundo. Para el desarrollo se ha considerado el tamaño y el costo, partiendo de los tipos de máquina y seleccionando una opción idónea para el diseño.

El diseño se inició por la selección de los parámetros de inyección, elementos mecánicos, eléctricos, electroneumáticos y de control, seguido se ejecutó los cálculos de los elementos mecánicos involucrando conceptos de resistencia de materiales, materiales de ingeniería, diseño mecánico y transferencia de calor, adicionalmente para los elementos de control y de fuerza se utilizaron conceptos de neumática, electrónica y de control industrial.

La máquina cuenta con una unidad de inyección, unidad de control, unidad de potencia y unidad de cierre. Tanto la unidad de inyección como la unidad de cierre son accionados por cilindros neumáticos. La unidad de control cuenta como componente principal un microcontrolador Atmega 328, adicional se diseñó la placa de control mediante software Eagle que permite el control de válvulas y la adquisición de señales de sensores y pulsadores.

En la fase de prueba de funcionalidad se registró el tiempo de plastificación, el mismo que tiene un valor de 180 segundos, mientras que el de inyección y sostenimiento es de 15 s y el de solidificación de 20 s, a una presión de 80-90 psi, con una temperatura en el interior del barril de inyección de 320 °C y 60 °C en el molde. Se evaluó el costo de construcción y se elaboró los planos.

**Palabras Claves:** Máquina de inyección, Inyección de termoplásticos, Polietileno Tereftalato (PET), Plásticos reciclables.



## 2.1 Abstract

The following project took on the design, construction and control of a vertical injection machine with its capacity of 50 grams, using as raw material the thermoplastic polymer known as Polyethylene Terephthalate (PET), due to its availability in the world. Regarding the development, the size and price were taken into account, starting from the machines types and, selecting a suitable option for the design.

The design began with the selection of injection parameters, mechanical, electrical, electropneumtical and control wise elements, followed by the mechanical elements calculation involving material resistance concepts, engineering related materials, mechanical design and, heat transfer, moreover, pneumatic, electronic and industrial control concepts were used for the control and power elements.

The machine possesses an injection unit, control unit, potency unit and closing unit. Both the injection and closing unit are activated by pneumatic cylinders. The control unit has as a primary component a microcontroller Atmega 328, additionally the control plate was designed through the software Eagle which allows the valve control and the acquirement of sensor and push buttons signals.

In the functionality testing phase, the plastification time was registered which consists in a value of 180 seconds, whereas the injection and support is 15 s, and the solidification is 20 s, with a pressure of 80-90 psi, an injection temperature in the barrel of 320 °C and 60 °C on the mold. The construction price was evaluated and the plans were done.

**Key words:** Injection machine, thermoplastic injection, Polyethylene Terephthalate (PET), recyclable plastics.

### 3. Introducción

La industria del plástico se ha incrementado a través de los años por la creciente demanda de piezas plásticas para varios productos de uso diario, como utensilios de cocina, aparatos eléctricos y electrónicos, partes de automóviles, entre otros, provocando el aumento de desechos plásticos a nivel mundial.

En la actualidad el desarrollo de máquinas para el moldeo de inyección de resinas termoplásticas se ha visto influenciada por la creciente variedad de materiales y tipos de los mismos, lo cual ha sido motivo de estudio y diseño de prototipos en diferentes universidades, dando la oportunidad a los estudiantes de involucrar sus conocimientos y conocer el proceso de inyección industrial a una escala de producción pequeña.

Es por eso que el presente trabajo va encaminado a realizar el diseño de una máquina de inyección vertical semiautomática de materiales plásticos reciclados polietileno tereftalato (PET), que tiene como finalidad usar como materia prima el residuo plástico y transformar en elementos de uso general, por otro lado, se busca incentivar a pequeñas industrias del plástico a construir o repotenciar sus equipos con tecnología y equipo disponible en el país haciendo un mercado valioso, reduciendo la importación de estos equipos de inyección y aumentando la fabricación de los mismos con un costo más económico.

El objetivo general de este proyecto es construir una máquina de inyección de plásticos reciclables para el tipo PET. Para llevar a cabo lo mencionado es necesario los siguientes objetivos específicos:

- Diseñar el sistema mecánico de la máquina de inyección.
- Implementar el sistema de control automático para el control de temperatura, proceso de inyección, apertura y cierre de los moldes.
- Construir la máquina de inyección.
- Validar el sistema mecánico y automático de la máquina de inyección.

El proyecto de investigación se abordó de la siguiente manera:

En la sección cuatro se efectúa una búsqueda de información donde se menciona las propiedades del material en estudio, los tipos de máquinas con sus respectivas características, así como los componentes que conforman una máquina de inyección, parámetros de funcionamiento y fundamentos teóricos para realizar un correcto diseño.

En la sección 5 se describe la metodología aplicada para el proceso de investigación, así como los materiales y herramientas empleadas.

En la sección 6, se muestra los resultados del diseño propuesto basado en la siguiente secuencia. Se inicia por los parámetros de inyección, cálculos y diseño de los elementos que conforman la unidad de inyección, unidad de cierre, la unidad de potencia y simulaciones de los elementos principales.

A continuación, para el sistema de control se diseña la tarjeta y se determina los sensores y actuadores que interactúan para verificar y ejecutar las condiciones necesarias para el ciclo de inyección.

Para finalizar esta sección se realiza la validación de la máquina mediante ensayos y se expone la discusión de resultados, conclusiones y recomendaciones del presente proyecto.

## 4. Marco Teórico

### 4.1 Termoplásticos

Los termoplásticos son materiales sólidos y rígidos a temperatura ambiente, a nivel atómico estos elementos pueden ser amorfos (PS y PVC) o semicristalinos (PE, PP, PET Y Nylon 6,6), se caracterizan por tener masa molar finita, se funden y se disuelven en solventes orgánicos (Meira y Gugliotta, 2019).

### 4.2 Propiedades térmicas

Los parámetros a tomar en consideración cuando se emplea polímeros termoplásticos en los procesos de inyección son sus propiedades físicas, las mismas que permitirán obtener una buena calidad en las piezas, las propiedades a tratar estarán centradas en el material plástico polietileno tereftalato (PET, material a ser utilizado en la máquina como materia prima).

#### 4.2.1 Temperatura de transición vítrea ( $T_g$ )

Hermida (2011), menciona que la temperatura de transición vítrea “es la temperatura a la cual se produce la transición de comportamiento elastomérico (tipo goma) a comportamiento vítreo. Esta transición presenta cierta correlación con la transición dúctil-frágil que se manifiesta en los metales”. En la Tabla 1, se muestra un resumen de los valores de densidad de algunos polímeros en estado líquido:

**Tabla 1.** Densidad de diferentes plásticos fundidos.

Densidad de algunos plásticos en estado fundido ( $\text{g/cm}^3$ ).		
ABS	Acrilonitrilo-Butadieno-Etireno	1.00
PAN	Poliacrilonitrilo	1.03
LDPE	Polietileno de baja densidad	0.76
PET	Polietilen Tereftalato	1.21
PP	Polipropileno	0.72
PS	Poliestireno	1.00

**Fuente.** (Ramos, 1993)

### 4.3 Termoplástico tipo PET

El termoplástico tipo pet es de uso cotidiano y se encuentra en bandejas, tupperes, vasos y botellas, permitiendo albergar alimentos en frío. El uso del termoplástico tipo pet a través de los años se ha incrementado de manera excesiva con el uso de botellas plásticas a nivel mundial,

motivo por el cual, se ha tomado como materia prima para la máquina a diseñar, debido a que se puede encontrar fácilmente. A continuación, se presenta algunas características de este termoplástico.

#### 4.3.1 Estructura

El pet al poseer una baja velocidad de cristalización, así como bajas condiciones de operación en la transformación, se puede encontrar en dos estados que puede ser amorfo-transparente (A-PET) o como semicristalino (C-PET) con un 30 a 40% de cristalinidad, considerando de esta manera al pet como un plástico cristalizable (Impi, 1997).

#### 4.3.2 Propiedades

Como se mencionó en el punto anterior, el pet puede existir de dos maneras, los mismos que se presentan a continuación:

- **Polietilen Tereftalato Semicristalino (C-PET):** Es un termoplástico blanco opaco, cuenta con una densidad de 1.33 g/m<sup>3</sup>, resistencia mecánica media, baja resistencia al impacto, gran resistencia a la abrasión y una elevada dureza y rigidez. Puede trabajar con temperaturas de uso continuo desde -20 a 100 °C e incluso en entornos calientes hasta 135 °C, con una dilatación que puede estar en valores medios o bajos.
- **Polietilen Tereftalato Amorfo (A-PET):** Es un termoplástico transparente, cuenta con una densidad que puede variar de 1.37 g/m<sup>3</sup>, mejor resistencia al impacto, pero presenta menor rigidez y dureza. Su uso continuo a temperaturas que están entre los -40 a 60 °C y en ausencia de aires hasta 100 °C, sus propiedades cambian por encima de los 90°C (Impi, 1997).

Por lo tanto, en la Tabla 2 y Tabla 3 se presenta las características generales del polietileno tereftalato amorfo, mismo que será utilizado como material para la máquina en estudio:

**Tabla 2.** Propiedades físicas del Termoplástico PET.

Propiedades Físicas.	Unidades.	PET (Politereftalato de etilo).
Densidad.	Mg/m <sup>3</sup>	1,37
Propiedades ópticas (trans)	%	Transp/opaco
Coefficiente de dilatación.	μ * m/m * K	70
Calor específico.	J/Kg.K	1200

Conductividad térmica.	W/m*K	0,24
Temp. Termo-deflexión.	°C	80
Resistividad volumétrica.	$\Omega * m$	$2 * 10^{14}$
Constante dieléctrica.	-	4,0/4,0
Factor pérdidas dieléctricas	$10^{-4}$	20/20
Rigidez dieléctrica.	MV/m	42

**Fuente.** (Riba Romeva, 2008)

**Tabla 3.** Propiedades mecánicas del termoplástico PET.

Propiedades mecánicas	Unidades.	PET (Politereftalato de etilo).
Resistencia tracción.	MPa	47
Alargamiento límite elástico.	%	4,0
Alargamiento a rotura	%	70
Módulo elasticidad (tracc)	GPa	2,80
Módulo fluencia ( $10^3$ )	GPa	2,70/-
Coefficiente de Poisso.	-	-
Impacto Charpy (sin entalla)	kJ/m <sup>2</sup>	No rompe
Impacto Charpy (con entalla)	kJ/m <sup>2</sup>	5
Resistencia fatiga $10^7$	MPA	28
Dureza a la bola.	MPA	120-130
Coefficiente de fricción	-	0,25

**Fuente.** (Riba Romeva, 2008)

Nota: [ 1] Fácilmente combustible, [ 2] Combustible, [ 3] Difícilmente combustible.

#### 4.3.3 *Procesos de transformación*

El termoplástico tipo pet a igual que otros polímeros, se puede realizar procesos de transformación, los mismos que permitirán obtener diferentes artículos y alguno de ellos son: Inyección, Extrusión, Soplado y Termoformado. Para este caso en particular, se enfocará de manera general en el proceso de inyección para el termoplástico en estudio:

#### 4.4 **Inyección del PET**

“Los poliésteres termoplásticos se pueden trabajar en máquinas convencionales de inyección, el único problema es la abrasión que se presenta en los equipos al trabajar los grados reforzados con fibra de vidrio” (Impi, 1997).

#### 4.4.1 Perfil de temperaturas.

Durante el proceso de inyección del termoplástico PET se debe tener en cuenta las temperaturas en los siguientes elementos: barril-husillo, boquilla y el molde, temperaturas bajas o elevadas podrían dañar el acabado de la pieza inyectada Tabla 4

**Tabla 4.** Perfil de temperaturas en el proceso de inyección.

Material Zona	PET (°C)
Alimentación	210-290
Compresión	220-300
Dosificación	235-300
Boquilla	230-300
Molde	85-120

**Fuente.** (Impi, 1997)

#### 4.5 Tipos de máquinas de inyección.

A través de los años las personas han buscado la forma de fabricar de manera rápida elementos o piezas plásticas con el fin de aumentar su producción, motivo por el cual, se crearon diferentes tipos de máquina de inyección, a continuación, se detalla su funcionamiento básico y sus respectivas ventajas y desventajas, permitiendo comparar diferentes aspectos con la máquina en estudio.

##### 4.5.1 Máquina de pistón.

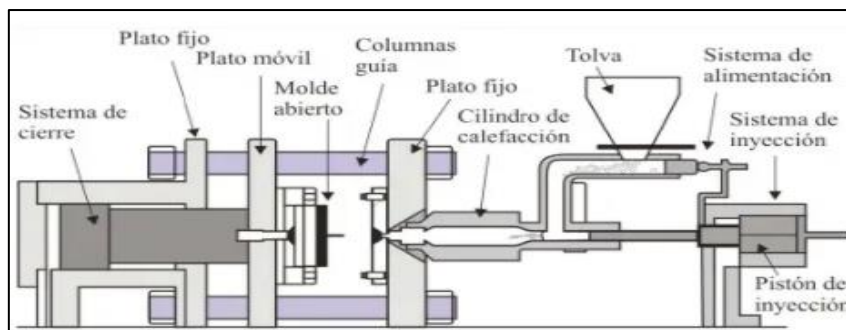
Este sistema fue utilizado hasta 1955, la fase de fundido de esta máquina se realizaba en una cámara cilíndrica, la misma que constaba con unas resistencias eléctricas en su exterior para calentar el cilindro. En estas máquinas el material en forma de gránulos ingresa por la tolva de alimentación ubicada en la parte posterior del cilindro, dando inicio al proceso de fusión de los gránulos, los mismos que son desplazados hacia la cámara de inyección donde un pistón mediante un movimiento axial inyecta el material a las cavidades del molde Figura 1, en la Tabla 5 se muestra las principales ventajas y desventajas de esta máquina.

En este tipo de máquinas, tanto la inyección como la fusión se realizan en un único cilindro, por lo tanto, el flujo en el barril es predominantemente laminar, ocasionado un pobre mezclado y un fundido muy heterogéneo, para aumentar la homogenización y la transferencia de calor se utiliza un torpedo ubicado en la zona de inyección (Caballero, 2010).

**Tabla 5.** Ventajas y Desventajas de una máquina de pistón.

Ventajas	Desventajas.
<ul style="list-style-type: none"><li>• Alta velocidad de producción.</li><li>• Menor mantenimiento.</li><li>• Poca dispersión de material.</li><li>• Elasticidad de producción.</li><li>• Consta de una sola cámara para plastificar e inyectar.</li><li>• Simple y barato.</li><li>• Menos fallas posibles.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Deficiente mezcla y homogeneización del polímero.</li><li>• Requiere retroceder el émbolo para cargar más material.</li><li>• Es difícil medir con exactitud la cantidad de material en cada ciclo.</li><li>• La presión en la boquilla puede variar de forma considerable de un ciclo a otro.</li><li>• La presencia de un torpedo causa una significativa caída de presión.</li><li>• La transferencia de calor en el cilindro de calefacción de esta máquina es bastante deficiente.</li><li>• La velocidad de inyección en las máquinas con pistón se ve muy limitada por la presencia del torpedo.</li></ul>

**Fuente.** Autor



**Figura 1.** Sistema de inyección por pistón.

**Fuente.** (Beltrán Rico y Marcilla Gomis, 2012)

#### **4.5.2 Máquina de pistón con pre-plastificación**

En estas máquinas las etapas de fusión y de plastificación son independientes, de modo que el diseño de cada una de las zonas de la máquina resulta más adecuado. La idea de la pre-plastificación consiste en calentar el material en una cámara o cilindro de calefacción y transferir el material ya caliente desde esta cámara al cilindro de inyección. Se distinguen dos tipos:



#### 4.5.2.1 Máquina con pistón de pre-plastificación en ángulo

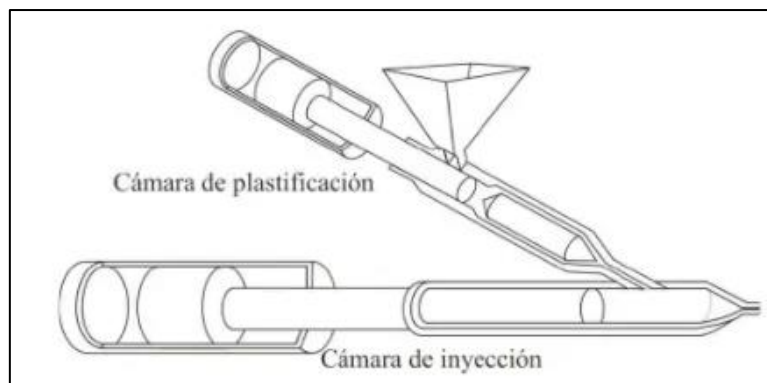
En la máquina de pre-plastificación en ángulo la etapa de fusión y la etapa de plastificación son independientes, la idea consiste en fundir el material en la cámara de calefacción y transferir a la cámara de inyección, esto es posible debido a la inclinación que posee la cámara de plastificación con respecto a la de inyección Figura 2. Durante la inyección del material, el torpedo actúa como válvula anti retorno evitando el ingreso de material a la cámara de plastificación (Beltrán Rico y Marcilla Gomis, 2012).

En la Tabla 6 se expone las ventajas y desventajas que posee esta máquina en general.

**Tabla 6.** Ventajas y desventajas de una máquina con pistón de pre-plastificación en ángulo.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"><li>• Un fundido homogéneo en relación a las máquinas de inyección de una sola cámara.</li><li>• Aplicación directa de la presión sobre el fluido fundido.</li><li>• Control más preciso del peso inyectado.</li><li>• Las condiciones de llenado del molde no se ven afectadas por la falta de regularidad producida por fluctuaciones en la alimentación del material sólido.</li><li>• La gravedad ayuda a que no quede material dentro.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• No es aconsejable inyectar materiales muy sensibles térmicamente por ejemplo el PVC.</li><li>• Consta de dos cámaras una para plastificar y otra para inyectar, haciéndola un poco voluminosa en comparación a las máquinas de una sola cámara.</li><li>• Requiere una tolva.</li><li>• El material puede calentarse más de un lado que del otro.</li></ul>

**Fuente.** Autor



**Figura 2.** Sistema de inyección con pistón de pre plastificación en ángulo.

**Fuente.** (Beltrán Rico y Marcilla Gomis, 2012)

#### 4.5.2.2 Máquina con pistón de pre-plastificación en línea

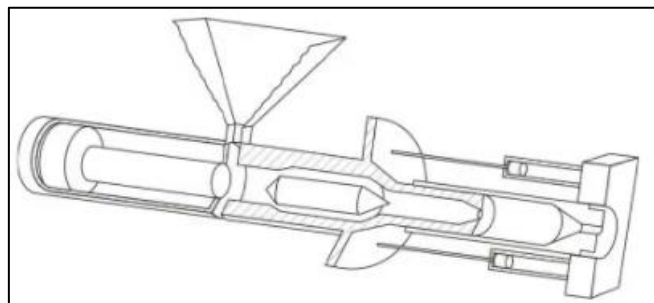
En las máquinas de pre-plastificación en línea, la etapa de plastificación y de inyección se encuentran en un solo cilindro, el cuerpo del cilindro de pre plastificación actúa como pistón de inyección, una vez que el cilindro de inyección se ha terminado de llenar. El material fundido ingresa a través de un agujero realizado en el centro del émbolo hacia el cilindro de inyección, donde se coloca una válvula anti retorno, evitando el regreso del material plastificado hacia atrás durante el periodo de inyección Figura 3.

En la Tabla 7 se expone las ventajas y desventajas que posee esta máquina en general.

**Tabla 7.** Ventajas y Desventajas de una máquina con pistón de pre-plastificación en línea.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"><li>• Las máquinas de este tipo ofrecen la ventaja de su simetría y la de construir máquinas compactas y económicas en comparación a las de ángulo</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Material fundido tiende a fluir hacia la cámara de plastificación cuando se realiza la inyección.</li><li>• Tienden a salirse de la máquina mientras llena el pistón de inyección.</li><li>• La válvula anti retorno provoca inconvenientes que afecta al flujo del polímero y provocando defectos en las piezas moldeadas.</li></ul>

**Fuente.** Autor



**Figura 3.** Sistema de inyección con pistón de pre-plastificación en línea.

**Fuente.** (Beltrán Rico y Marcilla Gomis, 2012)

#### 4.5.3 Máquina con tornillo de pre plastificación

Este tipo de máquinas utilizan un tornillo giratorio para transportar y calentar el material. El movimiento de giro genera turbulencia beneficiosa en el material contenido en los

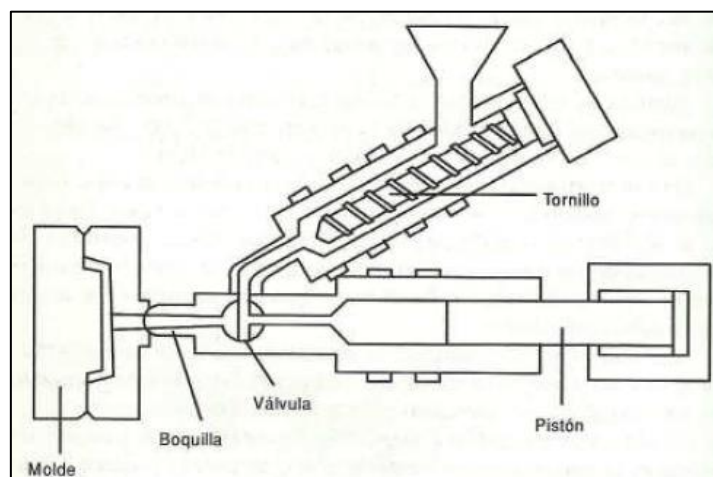
canales del tornillo, facilitando así la transferencia de calor desde la pared del barril. Por lo tanto, se logra una temperatura más uniforme con respecto a los otros sistemas Figura 4. Además, de este calor transferido, también hay un efecto de calentamiento por la conservación de la energía mecánica del tornillo en calor al someter a esfuerzos de corte del material plástico (Caballero, 2010).

En la Tabla 8 se muestra las ventajas y desventajas que posee esta máquina.

**Tabla 8.** Ventajas y Desventaja de una máquina con tornillo de pre plastificación.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Controlar la temperatura de forma más precisa.</li> <li>• Fundir el material plástico más rápido.</li> <li>• Alcanzar mayores velocidades de inyección y obtener mezclas más homogéneas.</li> <li>• Una temperatura más uniforme que con los otros sistemas.</li> <li>• Se emplean con gran éxito en la inyección de espumas rígidas y elastómeros</li> <li>• Se usa para la obtención de grandes piezas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No se aprovecha íntegramente la gran capacidad de plastificación.</li> <li>• A igual que la máquina con pistón de pre-plastificación consta de dos cámaras.</li> <li>• El tornillo solo sirve para pre-plastificar el material.</li> </ul>

**Fuente.** Autor



**Figura 4.** Sistema de inyección con husillo de pre-plastificación en ángulo.

**Fuente.** (Sánchez et al. 2005)

#### 4.5.4 Máquinas de husillo (o tornillo recíproco)

Este tipo de máquina, a igual que la pre-plastificación lineal, consta de un solo cilindro, el cual proporciona un calentamiento uniforme al material y una mezcla homogénea mediante un tornillo en su interior, alternando su función de plastificar e inyectar, algunas características que posee esta máquina se indica en la Tabla 9.

Durante su funcionamiento, el tornillo gira y transporta el material hacia adelante mientras funde; y, este a su vez retrocede para dejar espacio al material fundido, durante la etapa de inyección el tornillo deja de girar y se mueve en forma axial actuando como pistón para inyectar el material en el molde, para evitar el retorno del material durante la inyección, el tornillo consta de una válvula anti retorno ubicada en su parte frontal Figura 5. Este tipo de sistema permite fundir el material más rápido y producir piezas de buena calidad (Caballero, 2010).

**Tabla 9.** Ventajas y Desventajas de una máquina de husillo.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"><li>• Más utilizadas en la actualidad.</li><li>• Combinan la gran capacidad plastificadora de una extrusionadora de husillo con la elevada presión de inyección común a las de émbolo.</li><li>• Buen acabado en las piezas inyectadas.</li><li>• La versatilidad de este sistema permite utilizar tornillos cortos para inyectar materiales entrecruzables.</li><li>• La alimentación del material puede hacerse en forma de gránulos, polvo o de cinta.</li><li>• Alcanzan mayores velocidades de inyección debido a la turbulencia generada por el tornillo al girar.</li><li>• Los niveles de producción son muy altos.</li><li>• Los costes son más bajos, sobre todo si se externaliza el proceso de inyección.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Requiere una disposición horizontal o diagonal.</li><li>• Requiere un tornillo de paso variable o paso constante dependiendo del material a plastificar.</li><li>• Requiere un accionamiento uniforme, a velocidad constante.</li></ul>

- Es importante resaltar que a mayor tamaño de la máquina de inyección (mayor diámetro de husillo) es más eficiente la máquina desde el punto de vista energético.
- Se puede agregar material sin frenar el proceso.

Fuente. Autor

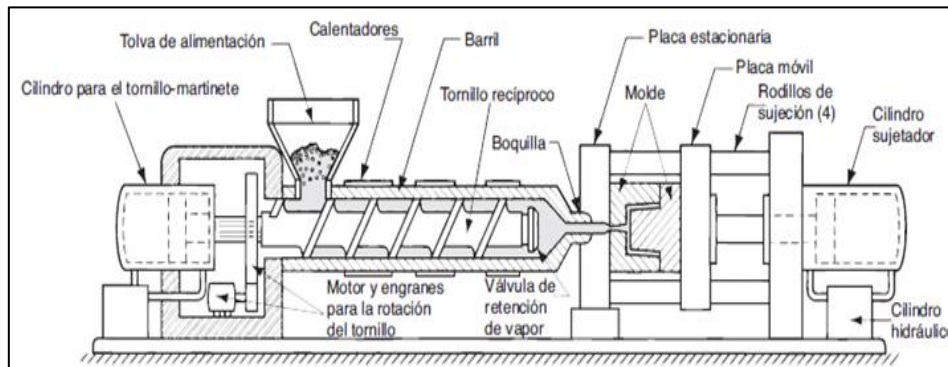


Figura 5. Diagrama general de una máquina de inyección de tornillo.

Fuente. (Groover, 2007)

#### 4.5.5 Máquina de inyección vertical

Las máquinas de inyección verticales surgen en la industria debido a que las máquinas de inyección convencionales no permitían fabricar piezas con insertos, ya sea metálico o de algún otro tipo material, en la Tabla 10 se describe algunas ventajas y desventajas que posee esta máquina.

El proceso se realiza de la siguiente forma: se preparan las dos mitades del molde y se ubica en la parte inferior de la boquilla de inyección, la parte superior del molde da con la boquilla de inyección la cual dejará pasar el material fundido, mientras que la parte inferior del molde alojará el inserto que será recubierto Figura 6 (Plásticos Solanas, S.L., 2016).

Tabla 10. Ventajas y Desventajas de una máquina de inyección vertical.

Ventajas	Desventaja
<ul style="list-style-type: none"> <li>• En fabricación, ya que permite la producción de piezas que en el sistema horizontal no eran posibles o de gran dificultad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El material puede escaparse por el pico si éste es amplio.</li> </ul>

- 
- Producir en maquina horizontal los moldes se encarecen hasta en un 100%, ya que hay que utilizar complejos sistemas para el anclaje de estos insertos.
  - Ahorro de tiempo que permite servir al cliente la pieza final sin necesidad de pasos intermedios.
- Se necesita una estructura más resistente por ser más alto
- 

**Fuente.** Autor



**Figura 6.** Máquina de inyección vertical.

**Fuente.** (maquiclick, s.f.)

#### **4.6 Componentes de una máquina de inyección**

Las máquinas de inyección anteriormente mencionadas comparten en su mayoría ciertos tipos de componentes, en esta sección nos centraremos específicamente en las partes que conforma una máquina vertical (modelo en estudio) y a su vez una de tornillo recíproco, estás dos máquinas constan con las mismas unidades y elementos, su única diferencia es la ubicación del cañón de inyección. A continuación, se menciona cada unidad con sus respectivas partes.

##### **4.6.1 Unidad Inyectora**

Es la unidad encargada de recibir, cargar e inyectar el material plastificado hasta la cavidad del molde; es el lugar donde se produce el calentamiento del cilindro o barril que permite fundir y homogenizar el polímero mediante el giro del tornillo o por fuerza de empuje de un émbolo hasta la boquilla, el mismo que inyectará el material al molde (Boronat, 2009).

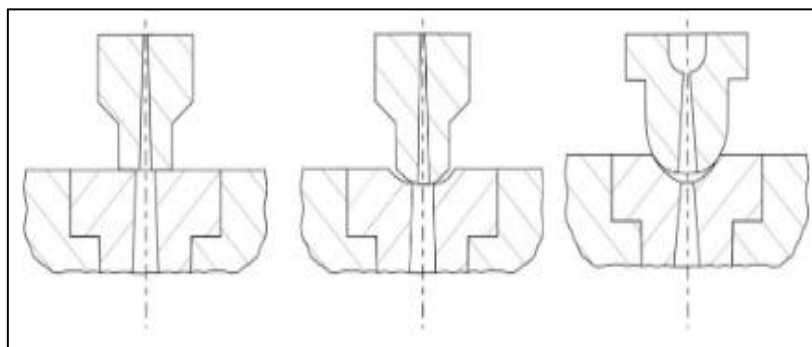
Beltrán Rico y Marcilla Gomis (2012), menciona los principales elementos que conforman la unidad de inyección:

- Tolva de alimentación.
- Cilindro o barril.
- Tornillo sin fin o émbolo.
- Sistema de calefacción.

#### 4.6.1.1 Boquilla de inyección.

Esta pieza se encuentra ubicada en la parte frontal del cilindro de calefacción, tiene la función de transferir el paso del material fundido desde el cilindro hasta la cavidad del molde, la boquilla es la que está en contacto con el bebedero del molde Figura 7. La boquilla debe estar diseñada de tal manera que no filtre el material fundido, además debe mantener una temperatura adecuada para evitar que se solidifique el plástico formando un tapón y evitar el fenómeno de goteo que ocasiona que el material se desperdicie Sánchez et al. (2005).

Normalmente, el modelo de boquillas implementadas en las máquinas industriales y la cual se va a adaptar a nuestro modelo es la de la parte izquierda de acuerdo a la imagen, la cual permitirá tener un buen contacto con el molde.



**Figura 7.** Tipos de boquillas.

**Fuente.** (Beltrán Rico y Marcilla Gomis, 2012)

Por otro lado, para el cálculo del agujero o el diámetro mínimo que debe tener la boquilla, se determina la constante  $v.t$  la misma que se encuentra en función del tipo de material, en la Tabla 11 se indica un resumen de algunos materiales, además el material fundido debe de fluir con una velocidad media para evitar sobrecalentamiento (Perchy Becerra y Donney's Hernández, 1980).

**Tabla 11.** Constantes v.t. para varios materiales.

Material	v · t
Resinas metacrílicas	2.1
Poliestireno	2.5
Polipropileno	5

**Fuente.** (Perchy Becerra y Donney's Hernández,1980)

El diámetro mínimo de una boquilla está dado por:

$$D = \sqrt{\frac{1.273 \cdot V}{v \cdot t}} \quad (1)$$

Donde:

V: Volumen de la pieza a fabricar en cm<sup>3</sup>.

v · t: Constante para cada material.

Por lo presentado con anterioridad, para el trabajo en estudio se ha seleccionado la constante v.t para el polipropileno, ya que no se cuenta con una constante para el pet, el valor seleccionado al ser el más alto en la tabla permitirá tener un valor mínimo en el diámetro del agujero de la boquilla y evitará el goteo.

#### **4.6.2 Unidad de cierre**

Esta unidad tiene como función mantener las dos mitades del molde alineadas de forma correcta durante la apertura y cierre del mismo, además, permite que una parte del molde se mantenga fija y la otra se desplace mediante guías ubicadas dentro de la unidad, otra de sus funciones es suministrar la fuerza necesaria para cerrar y abrir el molde durante el proceso de inyección.

Beltrán Rico y Marcilla Gomis (2012), menciona los siguientes elementos que conforman la unidad de cierre:

- Plato fijo frontal.
- Plato móvil.
- Plato fijo trasero.
- Platos porta Molde.



### **4.6.3 Unidad de potencia**

Este sistema consta de dos etapas de potencia, la primera se encarga de suministrar energía eléctrica a todos los equipos, y la segunda proporciona la fuerza necesaria para el desplazamiento del molde y del mecanismo de la etapa de inyección. Todas estas energías se obtienen mediante la transformación de energía hidráulica o neumática de un fluido a energía mecánica; o, de energía eléctrica a energía mecánica.

### **4.6.4 Unidad de Control**

Considerada como el cerebro de la máquina, este sistema controla e interpreta todas las señales provenientes de los sensores y actuadores para luego ser devueltas en forma de movimiento o variaciones de temperatura, además permite variar parámetros con el fin de optimizar tiempo y obtener piezas de buena calidad (Caballero, 2010).

## **4.7 Variables que intervienen en el proceso de inyección**

Para el diseño y puesta en marcha de la máquina en análisis se tomará en consideración algunos variables sobresalientes que permitirán determinar las dimensiones de ciertos elementos, así como las etapas (ciclo de inyección) por la cual tendrá que pasar el plástico pet hasta transformarse en una pieza.

A continuación, se describe las variables a usar en este estudio:

### **4.7.1 Capacidad de cierre**

La capacidad de cierre es un parámetro importante en una máquina de inyección. Esta es la fuerza máxima que suministra el mecanismo de cierre para evitar que el molde se abra bajo la presión de inyección, debido a que los termoplásticos al estar fundidos se comportan como fluidos no- newtonianos.

Uno de los factores más importantes en la capacidad de cierre es el área proyectada.

- **Área proyectada:** El área proyectada en un molde es el área que es llenada con plástico fundido Figura 8 y esta es perpendicular a la unidad de cierre y se considera tanto la pieza o conjunto de piezas y la colada (vena y canales de alimentación).

Esta será el área máxima en la cual se podrá trabajar o realizar algún tipo de pieza en el molde, permitiendo determinar la fuerza de cierre y a su vez garantizando que el molde no se abrirá.

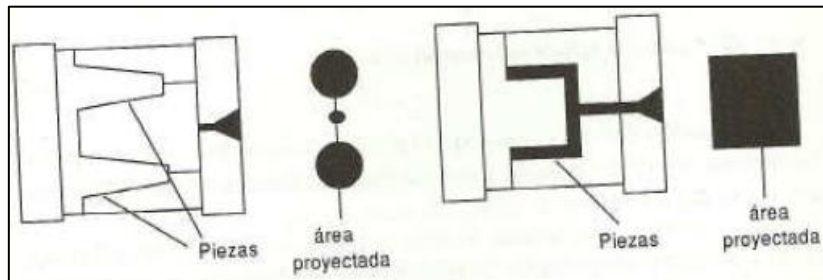
El área proyectada está dada por:

$$A_m = A_T + A_V \quad (2)$$

Donde:

$A_T$ : Es el área del artículo o pieza a inyectar en  $m^2$ .

$A_V$ : Es el área de los canales o venas en  $m^2$ .



**Figura 8.** Área proyectada de una pieza moldeada.

**Fuente.** (Sánchez et al. 2005)

- **Fuerza de cierre:** Está relacionado directamente con el área proyectada a moldear, se debe de tener en cuenta que el área proyectada del producto a inyectar no sea mayor al área máxima de la máquina (Sánchez et al. 2005).

Para Savgorodny (1973), la fuerza de cierre para cálculos prácticos se recomienda la siguiente expresión:

$$F_C = K \cdot \beta \cdot P \cdot S \quad (3)$$

Donde:

K: Es el coeficiente de presión.

$\beta$ : Es el coeficiente de reserva.

P: La presión de inyección en el cilindro en MPa.

S: La superficie de la pieza a inyectar en  $m^2$ .

Donde el coeficiente K es la relación entre la presión en el molde y la presión en el cilindro, que oscila de 0,25 para máquinas grandes a 0,8 para máquinas pequeñas, mientras que el coeficiente  $\beta$  oscila entre 1 y 1,2, según la viscosidad del material en el molde, que corresponde respectivamente a materiales menos viscosos y viceversa.

#### 4.7.2 Capacidad de inyección

La capacidad de inyección de una máquina puede darse como capacidad teórica o real.

- **Capacidad teórica:** Es el volumen máximo del material plastificado en el interior del barril que puede inyectar durante un ciclo en la cavidad del molde a una determinada presión, está en función de sus dimensiones y rendimiento volumétrico, se puede calcular mediante las siguientes expresiones:

$$V = \frac{m_{\text{mat}}}{\rho} \quad (4)$$

$$CI = \frac{\pi}{4} * D^2 * L * n_v \quad (5)$$

Donde:

CI: Capacidad de inyección o volumen máximo de inyección (cm<sup>3</sup>).

m<sub>mat</sub>: masa del material plástico (g).

ρ: Densidad del material plástico (g/cm<sup>3</sup>).

D: Diámetro interno(m).

L: Carrera del pistón (m).

n<sub>v</sub>: Rendimiento volumétrico

Bodini y Pessani Cacchi (1992), menciona que el rendimiento volumétrico para máquinas de inyección de tornillo recíproco es de un 85%.

#### 4.7.3 Velocidad de inyección

La velocidad de inyección o caudal es una medida de la cantidad de material que entra en el molde durante el tiempo de llenado. La velocidad de inyección del material (PET) debe ser relativamente rápida hacia el interior del molde, para evitar enfriamientos o congelamientos prematuros en el área superficial de la pieza durante el moldeo, para ello se manejan tiempos de llenado entre 1 a 4 segundo (Impi, 1997).

La velocidad de inyección está dada por la siguiente ecuación:

$$V_i = \frac{CI}{t_i} \quad (6)$$

Donde:

$V_i$ : Velocidad de inyección ( $m^3/s$ )

$t_i$ : Tiempo de inyección (s).

#### 4.7.4 Presión de Inyección

Es uno de los parámetros de suma importantes dentro de la investigación, debido a que permitirá dimensionar ciertos elementos que conformaran la unidad de inyección, la misma es considerada como la máxima presión aplicada al material fundido una vez llenado la cámara de inyección (material de estudio polietileno tereftalato o PET), de esta forma obliga al plástico ingresar a la cavidad del molde.

Para diferentes resinas termoplásticas (plásticos de ingeniería) en la Tabla 12, se tiene un resumen de materiales:

**Tabla 12.** Plásticos de ingeniería.

Plástico	Temp. Fundido (°C)	Temp. Molde (°C)	Vel. Del Torillo Rpm	Presión Kg/cm <sup>2</sup>	Encogimiento Mm/mm	Secado
ABS	246-274	38-93	50-100	5.3-8.8	0.005-0.007	Sí
Nylon 6	222-274	38-93	Máxima	3.5-7.03	0.006-0.014	Sí
Polietilen-tereftalato	232-260	65-107	50-100	3.5	0.016-0.020	Sí

**Fuente.** (Sánchez et al. 2005)

Por otro lado, se muestra un resumen del factor de viscosidad de algunos materiales para calcular la presión de inyección necesaria Tabla 13.

**Tabla 13.** Factor de viscosidad.

Resina	Factor de viscosidad
GPPS (PS)	1
PP	1-1.2
ABS, ASA, SAN	1.3-1.5
PC,PES,PSU	1.7-2.0
PVC	2

**Fuente.** (Mario, 2012)

Para Mario (2012), la presión requerida por la máquina para inyectar cualquier resina termoplástica se halla mediante la siguiente expresión:

$$P_r = P \cdot F_C \quad (7)$$

Donde:

$P_r$ : Presión real de inyección en MPa.

$F_C$ : Factor de corrección de viscosidad.

#### ***4.7.3 Tiempo de inyección inicial***

Es el tiempo necesario para que el tornillo o émbolo realice el recorrido hacia adelante, obligando al material plastificado ingresar al interior del molde. Normalmente en la mayoría de máquinas, este tiempo no es superior a 2 segundos, y rara vez excede los 3 segundos (Beltrán Rico y Marcilla Gomis, 2012).

Para calcular el tiempo de inyección, Sánchez et al. (2005), propone la siguiente expresión:

$$t_i = \frac{\text{Peso de la pieza}}{V_i} \quad (8)$$

#### ***4.7.4 Tiempo de plastificación***

Es el tiempo requerido por la máquina para transformar los gránulos del material plástico sólidos en una sustancia viscosa, para luego ser inyectado, la capacidad de plastificación varía con el tipo de material, normalmente la capacidad suele darse por el constructor de la máquina para diversos materiales (Sánchez et al. 2005).

$$t_f = \frac{\text{Peso de la pieza}}{C_m} \quad (9)$$

Donde:

$C_m$ : Capacidad de plastificación en g/s.

#### ***4.7.5 Tiempo de enfriamiento***

Es el tiempo necesario que requiere la pieza para solidificar y adquirir la rigidez suficiente para poder ser extraída del molde sin ser deformado. Este tiempo es el más largo del ciclo; generalmente el tiempo de enfriamiento en un molde de una pieza inyectada puede calcularse a partir de la fórmula propuesta por Ballman y Shusman (Sánchez et al. 2005).

$$t_s = \frac{-S^2}{2 \cdot \pi \cdot \phi} \ln \left[ \frac{\pi T_x - T_m}{4(T_c - T_m)} \right] \quad (10)$$

Una forma de calcular la difusividad térmica es mediante la siguiente expresión.

$$\Phi = \frac{k}{\rho \cdot C_p} \quad (11)$$

Donde:

S: Espesor máximo de la pieza en cm.

$\Phi$ : Difusividad térmica de material en  $\text{cm}^2\text{S}^{-1}$ .

$T_x$ : Temperatura a la que extrae la pieza en  $^{\circ}\text{C}$ .

$T_m$ : Temperatura del molde  $^{\circ}\text{C}$ .

$T_c$ : Temperatura del material fundido  $^{\circ}\text{C}$ .

k: Coeficiente de conductividad térmica.

En la Tabla 14, se presenta un resumen de datos para determinar el tiempo de enfriamiento:

**Tabla 14.** Parámetros para determinar el tiempo de enfriamiento.

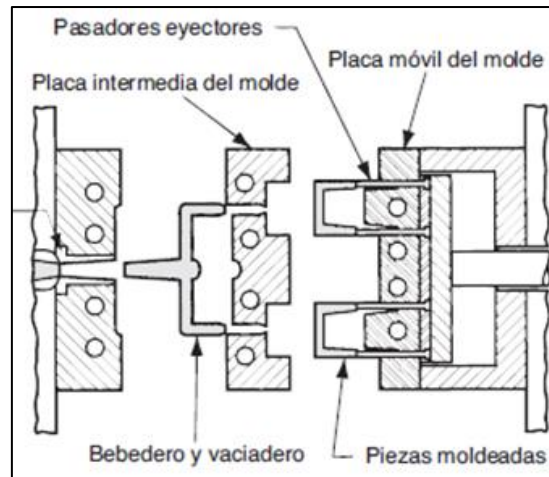
Material	$T_c$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$T_m$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$T_x$ (HDT)( $^{\circ}\text{C}$ )	Difusividad ( $\text{cm}^2\text{S}^{-1}$ )
ABS	240	60	95	$1.7 \times 10^{-3}$
PA 6	260	90	180	$0.98 \times 10^{-3}$
PP	240	40	107	$0.85 \times 10^{-3}$

**Fuente.** (Sánchez et al. 2005)

En cuanto al tiempo empleado durante el ciclo de inyección, este permitirá determinar cómo será el comportamiento de la máquina durante la ejecución o puesta en marcha, el cual ayudará a ejecutar cada etapa de forma controlada con el fin de obtener una pieza de calidad y evitará que el material se quemé.

## 4.8 Moldes de inyección

"Es la herramienta especial en el moldeo por inyección Figura 9, se fabrica para la pieza específica que se ha de producir. Cuando termina la corrida de producción de esa pieza, el molde se reemplaza (Groover, 2007).



**Figura 9.** Estructura de un molde.

**Fuente.** (Groover, 2007)

### 4.8.1 Clasificación de los moldes

Según ASCAMM (2015), los moldes de inyección se clasifican de la siguiente forma:

- Moldes estándares.
- Moldes de mordazas.
- Extracción por segmentos.
- De tres partes.
- De pisos.

Con lo anterior expuesto, se selecciona un molde estándar (simple), debido a su baja complejidad en cuanto a sus accesorios para montar en la máquina y fácil proceso de mecanizado, estos son considerados los moldes básicos para cualquier máquina de inyección.

### 4.8.2 Cono de entrada. Bebedero y mazarota cónicas

La superficie de contacto entre la boquilla y el bebedero pueden ser de distintos tipos, ya sea las superficies de contacto planas y las curvadas Figura 10. Se emplean para masas de moldeo de flujo difícil y sensibles a la temperatura, así como para piezas con paredes gruesas donde la precisión es un parámetro importante (Menges y Mohren, 1983).



**Figura 10.** Configuración de la superficie de contacto.

**Fuente.** (Menges y Mohren, 1983)

En la Tabla 15, se indica un resumen del tamaño mínimo que debe tener el bebedero.

**Tabla 15.** Dimensiones de bebedero en moldes de canal caliente.

Diámetro del canal	Longitud del canal	Peso de inyección/cavidad (g)
5	-	Hasta aproximadamente 25
6	-	50
6 a 8	Más de 200	-

**Fuente.** (Menges et al. 2001)

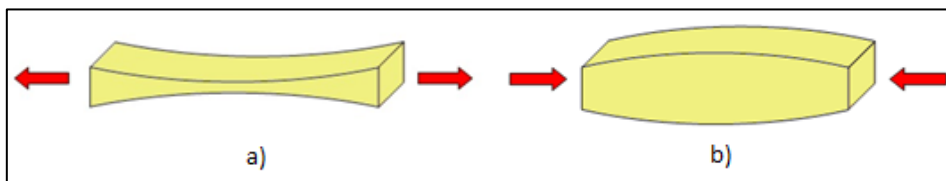
#### 4.9 Fundamentos de diseño mecánico

Cuando se realiza el diseño de una máquina, se debe de tomar en consideración los esfuerzos a los que se encuentra sometidos, por lo cual, un elemento puede estar sometido bajo esfuerzos normales (tracción y compresión), cortante y torsión.

##### 4.9.1 Esfuerzos normal o axial

Un elemento de sección A está sometido a tracción o compresión cuando se aplica una fuerza de halar o de empuje Figura 11. Un elemento tiende a alargarse cuando está bajo la acción de una fuerza de tracción (Tirar o halar), mientras un elemento se acorta cuando se encuentra bajo la acción de una fuerza de empuje o de compresión.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (12)$$



**Figura 11.** Elemento sometido a tracción (a) y sometido a compresión (b).

**Fuente.** (Pardo, 2013)

Donde:



$\sigma$ : Esfuerzos normales en MPa.

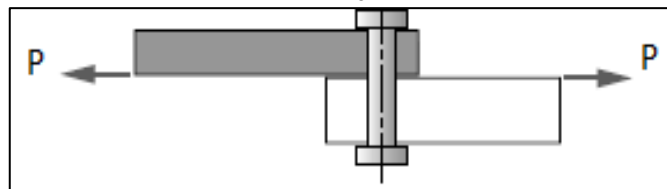
F: Fuerza que actúa sobre el elemento en N

A: Sección transversal en  $m^2$ .

#### 4.9.2 Esfuerzo cortante

Un sólido con una determinada sección está sometido a cortante cuando una fuerza paralela a la sección tiende a separar o cortar dicha sección Figura 12 y está dada por la siguiente expresión:

$$\tau = \frac{F}{A_c} \quad (13)$$



**Figura 12.** Elemento sometido a una fuerza cortante.

**Fuente.** (Norton, 2011)

Donde:

$\tau$ : Esfuerzo cortante en MPa.

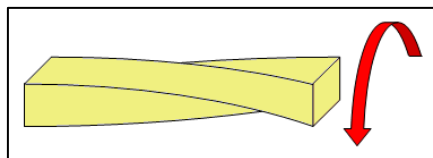
$A_c$ : Sección paralela a la fuerza  $m^2$ .

#### 4.9.3 Torsión

Un elemento mecánico se dice que está en torsión cuando se aplica una fuerza perpendicular con respecto a su eje longitudinal Figura 13, provocando rotación alrededor de su propio eje (Norton, 2011).

Mediante la siguiente expresión se halla el esfuerzo cortante máximo:

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{Tr}{J} \quad (14)$$



**Figura 13.** Elemento sometido a torsión.

**Fuente.** (Pardo, 2013)

Donde:

T: Momento de torsión Nm.

r: Radio de giro m.

J: Momento polar de inercia m<sup>4</sup>.

#### 4.9.4 Flexión

Un elemento de máquina, se flexiona cuando se aplica una carga en una dirección perpendicular a su eje, su forma será ligeramente curva Figura 14, produciendo que una parte del elemento esté a tracción y la otra en compresión (Mott, 2006).

Está dada por la siguiente ecuación:

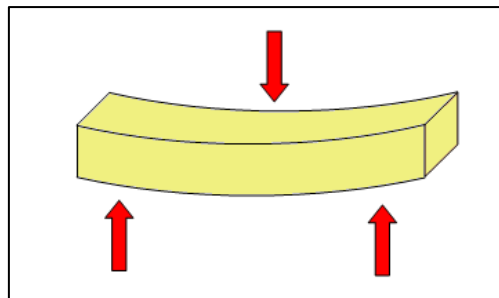
$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{M}{S} \quad (15)$$

Donde:

$\sigma_{\text{máx}}$ : Esfuerzo de flexión en MPa.

M: Momento flector en Nm.

S: Módulo de sección.



**Figura 14.** Elemento sometido a flexión.

**Fuente.** (Pardo, 2013)

#### 4.9.5 Factor de seguridad

En el diseño de elementos de máquinas hay que tener en cuenta un factor de seguridad que garantice que el elemento no falle de manera inmediata y permita soportar un determinado periodo en caso se aplique una carga superior a la que actuaría constantemente.

Por esa razón, el factor de seguridad relaciona la resistencia que posee el material con las cargas a las que estará sometido, si  $N_S > 1$  el diseño es adecuado, mientras mayor se  $N_S$ , más

seguro será el diseño, si  $N_S < 1$  el diseño es defectuoso y se necesita un rediseño, existe varios métodos que permiten determinar dicho factor (Hamrock et al. 2000), pero de acuerdo al criterio de Pugsley se tiene:

$$\eta_S = \eta_{sx} \cdot \eta_{sy} \quad (16)$$

Donde:

$\eta_{sx}$ : Factor de seguridad que involucra aspectos de control y calidad.

$\eta_{sy}$ : Factor de seguridad que involucra aspectos de seguridad y economía.

#### 4.9.6 Criterios de fallas

Para Norton (2011), “Una pieza falla si cede o se distorsiona lo suficiente como para no funcionar adecuadamente. Una pieza también falla cuando se fractura y se parte.” En los materiales dúctiles se observa como la pieza cede antes de fracturarse, mientras que los materiales frágiles se fracturan sin cambiar su forma.

A continuación se tiene dos principales métodos de predicción para materiales dúctiles, los mismos que se implementaran en esta investigación para determinar algunas características de los elementos a diseñar.

**Esfuerzo cortante máximo:** También conocida como la teoría de Tresca o de la máxima tensión tangencial, donde para un estado de esfuerzo general, pueden determinarse y ordenarse tres esfuerzos simples principales, de modo que  $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ , por lo tanto, la hipótesis del esfuerzo cortante máximo produce la fluencia cuando.

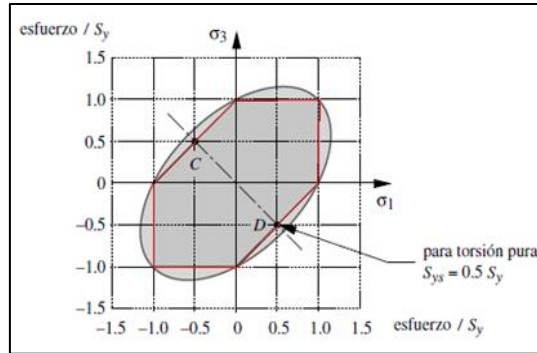
$$\sigma_1 - \sigma_3 \geq \sigma_y \quad (17)$$

Donde:

$\sigma_y$ : Esfuerzo de fluencia o resistencia límite de fluencia en MPa.

$\sigma_1$  y  $\sigma_3$ : Esfuerzos principales en Mpa.

Esté método es conservador y establece que la falla ocurre cuando el esfuerzo cortante máximo de cualquier elemento iguala o excede al esfuerzo cortante por fluencia en una pieza de ensayo sometida a tensión del mismo material cuando esa pieza comienza a fluir Figura 15 (Budynas y Nisbett, 2012).



**Figura 15.** Esfuerzo cortante máximo.

**Fuente.** (Budynas y Nisbett, 2012)

El esfuerzo cortante máximo produce fluencia en el material cuando:

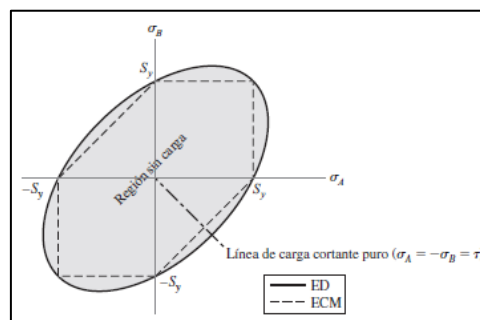
$$\tau_{\text{máx}} = \frac{0.5 \cdot \sigma_y}{N_S} \quad (18)$$

Donde:

$\tau_{\text{máx}}$ : Esfuerzo cortante máximo en MPa.

$\sigma_y$ : Esfuerzo de fluencia en MPa.

**Teoría de la energía de distorsión:** También conocida como teoría de Von Mises-Hencky o teoría de la energía de deformación máxima. Para Budynas y Nisbett (2012) esta teoría predice que la falla por fluencia ocurre cuando la energía de deformación total por unidad de volumen alcanza o excede la energía de deformación por unidad de volumen correspondiente a la resistencia a la fluencia en tensión o compresión del mismo material Figura 16.



**Figura 16.** Teoría de la energía de la distorsión.

**Fuente.** (Budynas y Nisbett, 2012)

Entonces, la resistencia a la fluencia cortante predicha por la teoría de la energía de la distorsión es:

$$S_{sy} = 0.577 \cdot S_y \quad (19)$$

#### 4.9.7 Cilindros de pared gruesa

A menudo se tiene recipientes en los cuales se requiere una pared gruesa (cañones de artillería, cilindros de inyección o extrusión, etc.) para soportar una determinada presión y así evitar que falle o se produzca alguna deformación, con el fin de diseñar un elemento que soporte dicha presión se realiza un estudio considerando lo siguiente. En recipientes cilíndricos sometidos a una presión interna o externa, se desarrollan esfuerzos radiales, circunferenciales o tangenciales con magnitudes que dependen del radio del cilindro y un esfuerzo longitudinal, mismos que son considerados como esfuerzos principales durante el diseño del elemento.

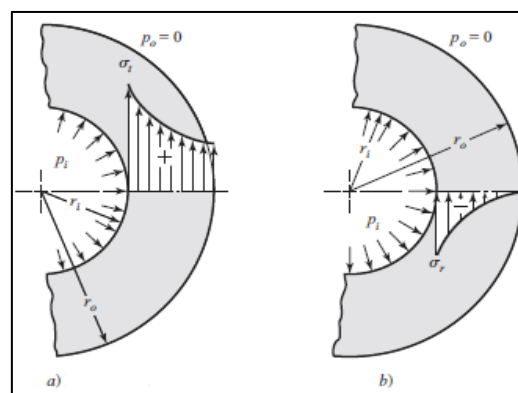
Para considerar si un cilindro es de pared gruesa, esta debe cumplir con la siguiente condición (Hamrock et al. 2000).

$$\frac{d_i}{t_h} < 40 \quad (20)$$

Donde:

$t_h$ : Espesor de la pared en m.

Con frecuencia los cilindros se encuentran sometidos bajo una presión interna, por lo cual, para este caso se realizará un análisis bajo este criterio (cilindros sometidos a una presión interior), donde para este caso  $P_i = P_{m\acute{a}x}$  mientras que  $P_o = 0$ , en la Figura 17 se observa la variación de las tensiones radiales y circunferenciales a las que está sometida el cilindro cuando está expuesto a una presión interna, la tensión tangencial (o circunferencial), como era de esperar, resultó de tracción y la radial de compresión (Feodosiev, 1972).



**Figura 17.** Cilindro de pared gruesa con presión interna y presión externa igual a cero con distribución de esfuerzos, a) Esfuerzo tangencial, b) Esfuerzo radial.

**Fuente.** (Budynas y Nisbett, 2012)

En la superficie interior del cilindro adquiere el esfuerzo tangencial su valor máximo, este valor está dado por:

$$\sigma_t = P_{\text{máx}} * \frac{r_o^2 + r_i^2}{r_o^2 - r_i^2} \quad (21)$$

Mientras que el esfuerzo radial está dado por:

$$\sigma_r = -P_{\text{máx}} \quad (22)$$

Para un cilindro donde se tiene los tres esfuerzos principales, pero uno de ellos es igual o cercano a cero, producto de las pequeñas deformaciones, se puede obtener un esfuerzo equivalente, donde para un cilindro de pared gruesa los esfuerzos de tracción (circunferencial) y compresión (radial) pueden provocar la falla de acuerdo al círculo de Mohr, aplicando la tercera teoría de resistencia de materiales o la teoría de las tensiones tangenciales máximas y reemplazando en la ecuación 17 las ecuaciones 21 y 22, se tiene un esfuerzo equivalente y está dado por la siguiente expresión:

$$\sigma_{\text{equ}} = P_{\text{máx}} \frac{2r_o^2}{r_o^2 - r_i^2} \quad (23)$$

Donde:

$P_{\text{máx}}$ : Presión máxima en Pa.

$r_i$ : Radio interno en m.

$r_o$ : Radio externo en m.

#### **4.9.8 Placas**

Al utilizar elementos que permitan soportar cargas en una determinada superficie, se recurre a utilizar placas para dicha tarea, por lo cual, se debe saber cuál será su espesor mínimo para tolerar aquellas cargas.

Para Fernández Levy (1983), afirma que, si una carga exterior actúa perpendicularmente al plano medio de la placa, esta se curvará, esta variación de la curvatura se produce en dos planos simultáneamente y como resultado surge cierta superficie débilmente flexionada de doble curva

Por lo cual, cuando se calcula las placas, se considera que la mayor flecha  $\omega$  sea menor al espesor de la placa  $h$ , es por eso que para la solución de diferentes tipos de placas

emplearemos las fórmulas obtenidas a partir de los métodos que proporciona la teoría de la elasticidad. Para determinar el esfuerzo máximo producido por una carga concentra en una placa se tiene las siguientes expresiones:

$$\sigma_{\text{máx}} = K \frac{P}{h^2} \quad (24)$$

Mientras para la flecha máxima o deflexión se tiene:

$$\omega_{\text{máx}} = K_1 \frac{P \cdot r^2}{E \cdot h^3} \quad (25)$$

Donde:

P: Carga concentrada N.

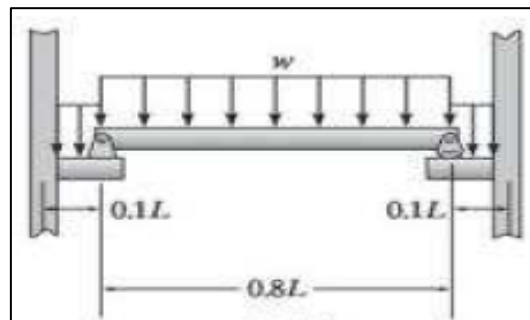
h: Espesor de la placa en m.

E= Modulo de elasticidad MPa.

K y  $K_1$  : Coeficiente de acuerdo a la relación del largo y ancho de una placa, así como del tipo de condición de borde (Anexo 10).

#### 4.9.9 Teorema aproximado de pórticos con carga vertical

Cuando se diseña estructuras con determinado número de secciones de manera vertical y se encuentran bajo una carga, una forma sencilla de aproximar las características de esa estructura es implementar dicho criterio. En el cual se ha incorporado un modelo que permite un análisis aproximado fiable, donde cada trabe de longitud L puede modelarse mediante un claro simplemente apoyado de 0.8L de largo que descansa sobre dos extremos en voladizo, cada uno con una longitud de 0.1L Figura 18 (Hibbeler, 2012). De modo que la estructura tiene una mayor capacidad para resistir fuerzas debidas a fenómenos naturales, así como otro tipo de perturbaciones.



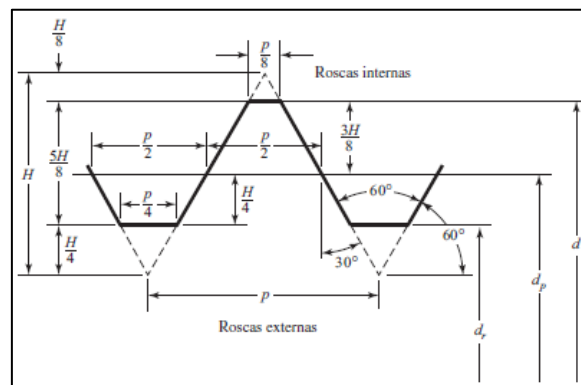
**Figura 18.** Modelo de una estructura bajo carga vertical.

**Fuente.** (Hibbeler, 2012).

#### 4.9.10 Diseño de sujetadores roscados

Normalmente, en la mayoría de las máquinas se implementa elementos roscados, estos a su vez se encuentran normalizados y tabulados con sus diferentes características, pero hay ocasiones donde el elemento roscado no presenta estas características o tiene una geometría diferente (como es el barril a diseñar) se emplea cierta metodología para determinar cada una de estos datos, por ese motivo, se inicia seleccionando el perfil de cuerda que se va a implementar.

**Perfiles de cuerdas estándares:** Se puede encontrar dos tipos de rosca, la estándar y la unificada (UTS), pero la metodología empleada es para una rosca métrica por lo cual de aquí en adelante se tratará todo para una rosca milimétrica. Las cuerdas son elementos comunes en tornillos sujetadores, es una hélice que permite que el tornillo avance hacia la pieza de trabajo o la tuerca cuando esta empieza a girar, la cuerda puede ser externa (tornillo) o interna (tuerca o un orificio roscado), de acuerdo al perfil se puede determinar algunos valores importantes que posee la rosca para obtener dichas características Figura 19, existe pernos de la serie gruesa (UNC), cuerdas finas (UNF) y la serie extrafina (UNEF) (Norton, 2011).



**Figura 19.** Perfil básico de cuerda métrica (ISO).

**Fuente.** (Budynas & Nisbett, 2012)

Para Myszkka (2012), establece que el ángulo de cuerda ( $\alpha$ ) para una rosca métrica es de  $30^\circ$ .

Por lo cual, aplicando dicha metodología para pernos métricos se tiene algunas características a tener en cuenta cuando se diseña o se selecciona un perno y son los siguientes:

**Área de esfuerzo a la tensión:** Es el área que estará sometido a tensión pura, suponiendo que su resistencia esté limitada por el área de su diámetro menor (de raíz), pero



esto no es así, las pruebas indican que su resistencia a la tensión está dada por el promedio de los diámetros menor y de paso (Norton, 2011).

De esta forma se tiene, que en una rosca ISO, su diámetro de paso está definido por:

$$d_p = d - 0.649519 \cdot p \quad (26)$$

Mientras que su diámetro de raíz está dado por:

$$d_r = d - 1.226869 \cdot p \quad (27)$$

Donde:

p: paso de la rosca en mm.

El esfuerzo a la tensión considerando el promedio de los diámetros anteriormente mencionados para un perno se obtiene con la siguiente expresión:

$$A_t = \frac{\pi}{4} \cdot \left[ \frac{d_r + d_p}{2} \right]^2 \quad (28)$$

Donde:

$d_p$ : Diámetro de paso en mm.

$d_r$ : Diámetro menor o diámetro de raíz en mm.

En la mayoría de los casos el área de esfuerzo se encuentra tabulado para diferentes pernos.

Otro parámetro importante a considerar es:

**Resistencia de prueba:** La resistencia de prueba es el valor límite del esfuerzo que se determina usando la carga de prueba y el área de esfuerzo de tensión y define los grados de pernos o clases en la que se especifica el material, el tratamiento calorífico y la resistencia para varios grados SAE de pernos, normalmente la resistencia de prueba se encuentra tabulado, pero en casos que el perno sea de un material distinto a los pernos comerciales se puede encontrar un valor aproximado de la resistencia mediante la siguiente expresión (Hamrock et al. 2000).

$$S_p = 0.85 \cdot \sigma_y \quad (29)$$

Donde:

$S_p$  = Esfuerzo de prueba en MPa.

Con este valor, luego se determina la fuerza máxima que el perno puede resistir, el mismo que viene a ser la relación entre el esfuerzo de prueba y su área a tensión y se denomina:

**Carga de prueba:** Para Budynas y Nisbett (2012), “La carga de prueba de un perno es la carga máxima que un perno puede soportar sin sufrir una deformación permanente”.

Este valor está dado por:

$$F_p = A_t \cdot S_p \quad (30)$$

Donde:

$A_t$  = Área de esfuerzo por tensión en  $m^2$ .

Finalmente, en una máquina un perno se ajusta con una determinada fuerza cuando este se monta por primera vez o cuando se ha realizado un manteamiento al mismo, por lo cual, esta fuerza se conoce como:

**Fuerza inicial o precarga:** Para evitar que las juntas o las piezas queden sueltas, se aplica una fuerza la cual se denomina carga de sujeción o fuerza máxima que no produce deformación permanente en forma normal (Budynas y Nisbett, 2012), para el estudio implementado se utilizará pernos que se deberán montar y desmontar constantemente por lo que se trata de conexiones no permanentes y sujetadores reutilizables y se tiene:

$$F_i = 0.75 \cdot F_p \quad (31)$$

Dentro del diseño de un perno también se considera la geometría que tiene la tuerca, por lo cual se debe determinar su respectiva altura. Para Hall et al. (1971), la altura de la tuerca y de la rosca se puede calcular suponiendo que cada vuelta de la rosca soporte una parte igual de la carga resultante, con esta condición se tiene que la resistencia del perno en tracción debe ser igual a la resistencia de la rosca en corte.

De esta forma se tiene que la altura de la tuerca está dada por:

$$h_t = \frac{1}{2} \cdot d_r \quad (32)$$

Mientras que la altura de la rosca para una rosca métrica Figura 19, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$H = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot p \quad (33)$$

Una vez finalizado la selección o diseño del perno se debe determinar los esfuerzos que experimentarán las cuerdas del perno cuando se encuentre bajo la aplicación de una carga externa, por este motivo, una cuerda puede estar sometido a varios esfuerzos, los mismos que podrán ocasionar que esta sección falle.

Según Deutschman et al. (1987), los esfuerzos que se producen en las cuerdas y que pueden provocar la falla son los siguientes:

Esfuerzo de aplastamiento (o de contacto), esto se produce cuando la carga es aplicada y la superficie de la rosca, tanto del perno como de la tuerca, entran en contacto y se obtiene mediante las siguientes expresiones.

$$\sigma_B = \frac{W}{\pi * d_p * h_r * n} \quad (34)$$

$$\sigma_B = \frac{W}{\frac{\pi}{4} * (D_{ext}^2 - d_r^2) * \frac{h_t}{p}} \quad (35)$$

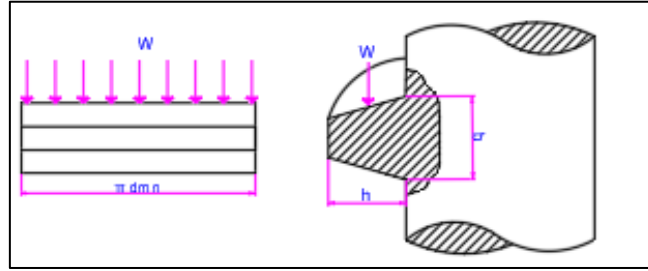
Donde:

$\sigma_B$ = Esfuerzo de aplastamiento (MPa).

$h_r$ = Altura de la rosca (mm).

$W$ = Fuerza o carga sobre la rosca (N).

Otro esfuerzo que se produce debido a la carga, es el esfuerzo de corte, la misma puede provocar que los hilos se rompan, para ello se deberá analizar una cuerda como si fuera una viga en voladizo y luego multiplicar por el número total de cuerdas Figura 20 y se determina mediante las siguientes ecuaciones:



**Figura 20.** Sección de la rosca como viga en voladizo.

**Fuente.** (Deutschman et al. 1987)

$$\tau_t = \frac{3 * W}{2 * \pi * d_r * n * b} \quad (36)$$

$$\tau_t = \frac{W}{\pi * d_r * \frac{h_t}{2}} \quad (37)$$

Donde:

$\tau_t$ = Esfuerzo de corte (MPa).

b= Ancho de la cuerda en la raíz del tornillo (mm).

Mediante esta metodología se puede seleccionar o diseñar un perno y de igual manera se puede calcular los esfuerzos que se producirán en el mismo, con el fin de tener un diseño adecuado.

#### 4.9.10.1 Terminología de las roscas

Para Deutschman et al. (1987), los elementos que intervienen en un tornillo son:

- **Paso:** Es la distancia axial a lo largo del cilindro de paso del tornillo, medido desde un punto sobre el filete o cuerda hasta el filete o cuerda adyacente.
- **Avance:** Es la distancia axial que recorre una tuerca cuando gira una vuelta el tornillo y está dado por:

$$l = n \cdot p \quad (38)$$

Donde:

n: Número de las hélices o cuerdas.

- **Ángulo de la hélice:** Formado por un plano trazado tangencialmente a la hélice de paso y un plano trazado normalmente al eje del tornillo, dicho en otras palabras, es la relación entre el avance, el ángulo de la hélice y el paso.

$$\tan \alpha = \frac{l}{\pi \cdot d_p} \quad (39)$$

Para Hall et al. (1971), en algunos cálculos se usará el ángulo  $\theta_n$  que mide la pendiente del perfil de la rosca en la sección normal.

$$\tan \theta_n = \tan \theta \cdot \cos \alpha \quad (40)$$

#### 4.9.10.2 Momento de Apriete

Para ajustar o apretar un perno o tornillo se requiere de un par torsional, ya sea en el tornillo o en la tuerca. De esta manera el momento de apriete en el perno puede calcularse mediante la siguiente expresión (Hall et al, 1971):

$$T = W \cdot \frac{d_p}{2} \cdot \left[ \frac{\tan \theta + f / \cos \theta_n}{1 - f * \tan \theta / \cos \theta_n} + f_c r_c \right] \quad (41)$$

Donde:

W: Carga resultante sobre el perno en N.

f: Coeficiente de rozamiento de la rosca.

$\alpha$ : Ángulo de la hélice.

$\theta_n$ : Ángulo de la rosca.

$f_c$ : Coeficiente de rozamiento del collar (arandela).

$r_c$ : Radio de rozamiento del collar

A continuación, en la Tabla 16, se presenta algunos coeficientes de rozamientos entre distintos materiales del tornillo.

**Tabla 16.** Coeficientes de rozamiento.

Material del tornillo	Acero	Latón	Bronce	Hierro vaciado
Acero (seco)	0.15-0.25	0.15-0.23	0.15-0.19	0.15-0.25
Acero (lubricado)	0.11-0.17	0.10-0.16	0.10-0.15	0.11-0.17
Bronce	0.08-0.12	0.04-0.60	-	0.06-0.09

**Fuente.** (Deutschman et al. 1987)

#### 4.9.11 Uniones a tensión

Otro método que se utiliza cuando se implementa pernos, son las uniones a tensión, en diferentes máquinas las uniones normalmente se realizan con pernos y un elemento a sujetar (placa de acero), por esta razón se debe considerar que sucede cuando se aplica una carga externa de tensión a dicha unión. En los análisis por tensión debido a una carga externa se determina la constante de rigidez de la unión.

Para Budynas y Nisbett (2012), para determinar la constante de rigidez de una unión se determina de forma independiente la rigidez del perno y de los elementos.

Mediante la siguiente expresión se obtiene la rigidez del perno:

$$k_b = \frac{A_d \cdot A_t \cdot E}{A_d \cdot l_t + A_t \cdot l_d} \quad (42)$$

Donde:

$A_d$ : Área del diámetro mayor del sujetador en m.

$l_d$ : longitud de la parte roscada de agarre en m.

$A_t$ : Área del diámetro mayor del sujetador en m.

$l_t$ : longitud de la parte roscada de agarre en m.

$E$  : Módulo de elasticidad en GPa

Por otro lado, para determinar la rigidez en los elementos se emplea la siguiente expresión:

$$k_m = \frac{0.57774 \cdot \pi \cdot E \cdot d}{2 \cdot \ln \left( 5 \cdot \frac{0.5774 \cdot l + 0.5 \cdot d}{0.5774l + 2.5 \cdot d} \right)} \quad (43)$$

Si los materiales son iguales o tienen mismo módulo de Young  $E$  con troncos con espalda simétrica, entonces actúan como resortes idénticos en serie y el agarre es  $l=2e$ .

Donde:

$d$  : Diámetro del perno en m.

$l$ : longitud de agarre en m (tomar el espesor más delgado para el análisis).

Finalmente, al obtener la rigidez del perno y la del elemento, se obtiene la constante de rigidez de la unión:

$$C = \frac{k_b}{k_b + k_m} \quad (44)$$

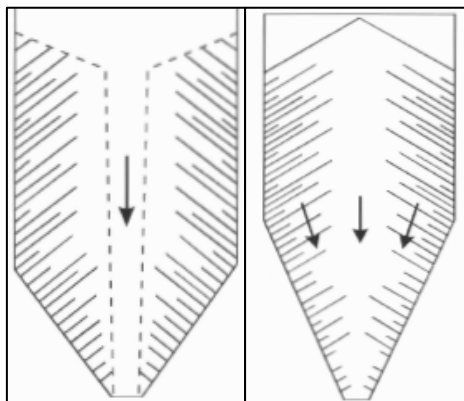
Estos valores tanto de rigidez, así como su constante, permitirá saber que parte de la carga aguanta el perno y el material de la junta.

#### 4.9.12 Silos o tolvas de almacenamiento

Estos elementos son normalmente empleados en la industria para el almacenamiento de diferentes productos, de igual manera existe maquinaria que posee estos elementos, estas estructuras están formadas generalmente por chapas, planchas o láminas y se pueden apoyar en diferentes zonas o incluso se pueden mantener colgadas.

Dentro de la industria del plástico se tiene máquinas que utilizan tolvas para el almacenamiento del plástico paletizado, por esta razón, para implementar un elemento de almacenamiento para la máquina de inyección a diseñar, se analizó el tipo de flujo que un silo puede tener. Para Amorós et al. (2000) en el interior de un silo se puede producir dos tipos de flujos:

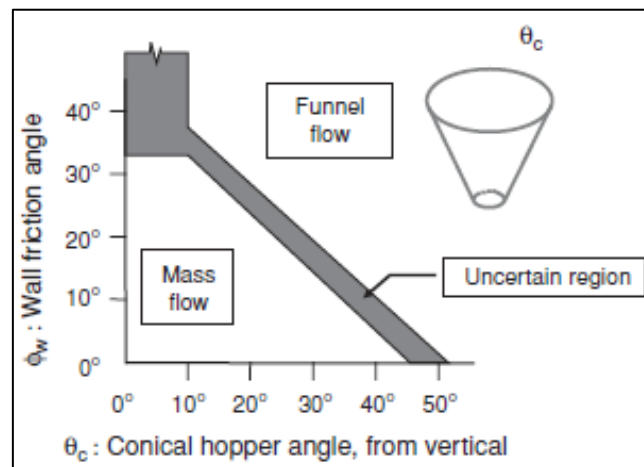
- **Flujo Tubular:** “El flujo tubular consiste en la formación de un canal de flujo, alineado con la boca de salida del silo, rodeado por una zona en la cual el material permanece inicialmente estático Figura 21”.
- **Flujo Másico:** “Este tipo de flujo se caracteriza porque todo el material se mueve a la vez durante la descarga, en particular, el material pegado a las paredes se desliza sobre estas vaciándose junto con el resto Figura 21”



**Figura 21.** Flujo tubular y flujo másico en el interior de un silo.

**Fuente.** (Amorós et al. 2000)

A continuación, en la Figura 22 se presenta los ángulos que deberá tener un silo para tener un flujo tubular o uno másico.



**Figura 22.** Ángulos de acuerdo al tipo de flujo.

**Fuente.** (McGlinchey, 2008)

En la mayoría de las máquinas de inyección en la salida de sus tolvas se tiene un flujo másico, ya que requiere que su material salga de manera uniforme, por lo cual, se seleccionó que el flujo sea másico a la salida del silo para el diseño.

#### 4.10 Fundamentos de actuadores neumáticos

En procesos industriales los actuadores neumáticos son elementos de principal importancia, los mismos convierten la energía del aire comprimido en trabajo mecánico, generalmente sus movimientos son de forma lineal o bien rotativos, los mismos pueden ser usados para servicios ligeros, medianos o pesados (Creus, 2010).

Savgorodny (1973), menciona que las máquinas de inyección generalmente sus accionamientos en la unidad de potencia son del tipo hidráulico, sin embargo hoy por hoy existen máquinas de pequeña capacidad que utilizan actuadores neumáticos.

Por esta razón se ha implementado un sistema neumático para el modelo en estudio y se ha dejado a un lado el sistema hidráulico por su elevado costo de instalación.

Para seleccionar un actuador neumático se considera lo siguiente:

##### 4.10.1 Parámetros de un cilindro neumático

Para Creus (2010), las principales características que se debe de tener en cuenta para seleccionar un cilindro neumático son:



#### 4.10.1.1 Fuerza del cilindro

Es una de las características importantes de un cilindro neumático y está en función del diámetro del cilindro, de la presión del aire o la presión de operación del sistema y la fricción del émbolo. En un cilindro de simple efecto se puede hallar la fuerza de avance, mientras que en un cilindro de doble efecto se puede calcular la fuerza de avance y de retroceso.

Se considera para los cálculos el rozamiento del pistón en su movimiento equivale a un valor comprendido entre el 3% y 10% de la fuerza calculada.

#### 4.10.1.2 Consumo del aire

Durante el funcionamiento de un cilindro neumático el consumo de aire es de vital importancia, ya que permitirá saber la cantidad de aire comprimido que el cilindro necesita para operar adecuadamente. El consumo de aire es una función de la relación de compresión, área del pistón y de la carrera máxima del cilindro.

La expresión que permite calcular el consumo de aire está dada por:

$$Q = RC \cdot \frac{\pi \cdot D^2 \cdot l}{4000000} \cdot n \quad (45)$$

La relación de compresión referida a nivel del mar está dada por la siguiente expresión:

$$RC = \frac{0.987 + P_{\text{aire}}}{0.987} \quad (46)$$

Donde:

Q: Consumo de aire en  $[\text{dm}^3/\text{min}]$ .

D: Diámetro del pistón en mm.

l: Carrera máxima del pistón en mm.

n: Número de ciclos del pistón.

$P_{\text{aire}}$ : Presión de aire o presión de operación en Bares.

## 4.11 Fundamentos de transferencia de calor

Cuando se requiere algún sistema de calefacción (niquelinas eléctricas, sistema a gas, etc.) para mantener una determinada temperatura, se realiza determinados cálculos que nos permite seleccionar el equipo adecuado, por esta razón se debe conocer el comportamiento que sufre el material a calentar (si sufre o no algún cambio de fase).

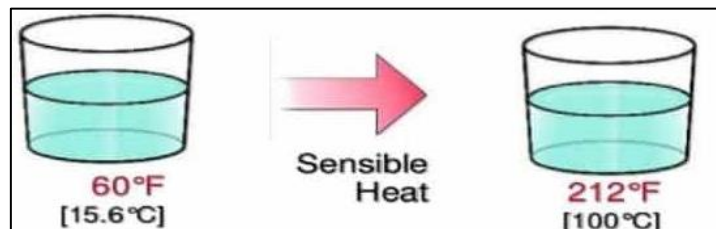
Las máquinas modernas de inyección en sus barriles poseen sistemas de calefacción mediante niquelinas, por lo cual, es el sistema más eficiente, de igual manera el material en dichas máquinas sufre un cambio de fase, motivo por esta razón se analiza lo siguiente.

### 4.11.1 Calor sensible

Está relacionado con la energía cinética de las moléculas. El calor sensible se define como la energía suministrada a un cuerpo para elevar su temperatura sin provocar un cambio en su estructura molecular o un cambio fase Figura 23.

Por lo tanto, el calor sensible está dada por la siguiente expresión:

$$Q_s = mC\Delta t \quad (47)$$



**Figura 23.** Calor sensible.

**Fuente.** (Carlos, 2019)

Donde:

m: Es la masa a calentar en kg.

C: es el calor específico en  $\left[ \frac{J}{kg^{\circ}C} \right]$

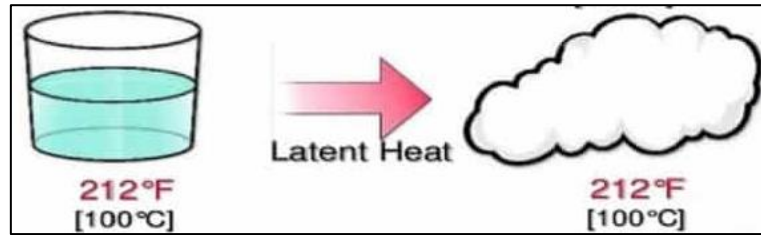
$\Delta t$ : La variación de temperatura en  $^{\circ}C$ .

### 4.11.2 Calor Latente

Si se sigue agregando energía a una sustancia, las moléculas se empezarán a mover con mayor velocidad produciendo un cambio de estado, dicho en otras palabras, el calor latente se define como, la energía requerida por una sustancia para cambiar de fase Figura 24.

Por lo tanto, el calor sensible está dada por la siguiente expresión:

$$Q_L = Ml \quad (48)$$



**Figura 24.** Calor Latente.

**Fuente.** (Carlos, 2019)

Donde:

L: es el calor latente en  $\left[ \frac{J}{kg} \right]$

#### **4.11.3 Efecto Joule**

Si por un elemento circula una corriente, este empezara a disipar una cierta cantidad de calor, debido a que parte de la energía cinética de los electrones se transforma en calor producto del choque que sufren los electrones con las moléculas del elemento, produciendo un incremento de la temperatura, mientras más corriente circule mayor será el incremento de temperatura.

La potencia está dada por la siguiente expresión:

$$P = \frac{E}{t} \quad (49)$$

Donde:

E: Emergía en J.

t: tiempo en s.

#### **4.11.4 Resistencia Eléctrica (Niquelinas)**

Una resistencia eléctrica o niquelina es un elemento generador de calor que permite elevar la temperatura de cualquier objeto, debido a su funcionamiento el cual está basado plenamente en el efecto Joule Figura 25.



**Figura 25.** Resistencia eléctrica (Niquelina).

**Fuente.** (Resistencias Industriales para Calentamiento, 2018)

## 4.12 Fundamentos de automatización y control

En los procesos industriales la automatización es una de las bases principales para la fabricación de diversos productos de buena calidad debido al uso de sistemas o elementos computarizados. El uso de instrumentos de medición y control permiten el mantenimiento y regulación de forma idónea que las que el operador podría realizar, esto sucede porque la automatización incluye sensores y actuadores, sistemas de control los cuales interpretan los datos de los sensores permitiendo regular cualquier alteración de forma automática durante el proceso industrial (Creus, 2010).

### 4.12.1 Tarjeta de Control

Una tarjeta de control es una pieza de hardware que permite a una máquina poder trabajar de manera automática Figura 26. Su propósito es de recibir instrucciones ya sea de forma digital o analógica para convertir en señales tanto digitales como analógicas, para luego ser captados por elementos adicionales como relés, actuadores, etc.



**Figura 26.** Tarjeta de control para procesos industriales.

**Fuente.** (Tarjeta de Control, 2021)

#### **4.12.2 Sensores**

Un sensor es un dispositivo que sirve para detectar y señalar una condición de cambio tanto física como química. Es decir, nos permite captar la información del medio físico que nos rodea. Los sensores son utilizados en todo tipo de procesos industriales y no industriales para propósitos de monitoreo, medición, control y procesamiento (Gutiérrez y Iturralde , 2017).

Algunas variables pueden ser: temperatura, PH, aceleración, humedad, presión, fuerza, etc.

#### **4.12.3 Tipos de sensores**

A continuación, se presentan algunos tipos de sensores:

- Sensores de temperatura: Termistores, Termopares, Termostatos.
- Sensores de contacto: Finales de carrera.
- Sensores de reactancia: Sensores capacitivos e inductivos.
- Sensores de presión: Presostato.

### **4.13 Otros trabajos sobre máquinas de inyección**

#### **Máquina de inyección de la Universidad Nacional de Loja.**

La construcción de una máquina de inyección por parte del señor Fredi Armijos, de la Universidad Nacional de Loja, cuyo tema es “Diseño e implementación de un sistema de fundición y moldeo, para la elaboración de accesorios de plástico reciclable con fines didácticos para el AEIRNNR - UNL”.

Los materiales utilizados en este proyecto son planchas de acero, acoples, ángulos, niquelinas eléctricas de tipo espiral para calentar el barril de inyección, tubería de vapor tipo ASTM-A36, su sistema de potencia para inyectar el material plástico está compuesto por compresor de aire de 2HP, 110VCA, su materia prima es polietileno de baja densidad (HDPE) reciclado.

Parámetros de operación:

- Presión de trabajo 150 psi.
- Temperatura de trabajo 300 °C.

El costo de fabricación de esta máquina está en \$ 1065,00 dólares el cual funciona de manera neumática.

### **Máquina de inyección de la Universidad de Córdoba.**

La construcción de una máquina de inyección por parte de los señores Manuel Nova y la señorita Wendy Peinado, de la Universidad de Córdoba, cuyo trabajo es “Diseño y construcción de una máquina de polipropileno para fines académicos e investigativos en el programa de ingeniería mecánica de la Universidad de Córdoba”

El tipo de máquina es una inyectora vertical, compuesta por planchas de acero, tubo cuadrado, tubos cilíndricos, resistencias tipo abrazadera para fundir el material plástico, además cuenta con características en cuanto a sus dimensiones generales de 2294 mm x 516 mm x 791 mm y dimensión máxima para el molde 95 mm x 70 mm x 80 mm, su materia prima es polipropileno (PP) reciclado y cuenta con un mecanismo accionado de forma hidráulica en la unidad de inyección. Algunos parámetros de operación:

- Presión de inyección teórica máxima 38.6 MPa.
- Capacidad de inyección 120 gramos.
- Temperatura de trabajo 280 °C.

Consta de un sistema de control básico el cual es controlado por un termostato y se acciona mediante pulsadore de forma remota su costo de fabricación es elevado.

## **5. Metodología**

### **5.1 Materiales**

Para el presente proyecto de tesis se emplearon en la ejecución los siguientes materiales:

#### ***5.1.1 Materiales de investigación***

- Computadora.
- Microsoft Office Word 2016.
- Fuentes de investigación primarias y secundarias, libros (Diseño mecánico, resistencia de materiales, Instrumentación, electrónica, Materiales plásticos, Inyección de plásticos) .
- Catálogos de cilindros neumáticos, resortes, niquelinas, etc.

#### ***5.1.2 Software para el diseño***

- Software SolidWorks 2021.
- Software AutoCAD 2021.
- Software FluidSIM 5.6.
- Software Eagle.
- Software Arduino.
- Software Mathcad

## 5.2 Métodos

El desarrollo del primer objetivo fue identificar los elementos que conforman una máquina de inyección, así como su funcionamiento, sus parámetros de operación y sus diferentes unidades, para ello se realizó una búsqueda bibliográfica de los diferentes tipos de máquinas de inyección y de polímeros plásticos con sus respectivas características.

Una vez obtenida esta información se realizó una matriz de ponderación (ver Tabla 19) con diferentes criterios que permitieron tener varias alternativas para el diseño final y a su vez una matriz morfológica (ver Tabla 20), la misma que permitió seleccionar entre varias opciones los elementos con las que cuenta la máquina.

Luego, se procedió a buscar modelos de máquinas de inyección verticales existentes en el mercado para obtener la capacidad de inyección, las mismas que van desde los 35 g hasta 850 g, de esta forma se seleccionó una capacidad de 50 g para una máquina pequeña.

### 5.2.1 Selección de los parámetros de inyección

Para el diseño de los elementos mecánicos, se estableció los parámetros de inyección de la máquina, los cuales están en función del material plástico llamado Polietileno tereftalato (PET) Tabla 17.

**Tabla 17.** Parámetros de diseño.

Parámetros de inyección del Termoplástico PET.				
Presión (kgf/cm <sup>2</sup> )	Temperatura (°C).	Densidad en estado sólido (kg/m <sup>3</sup> )	Densidad en estado líquido (kg/m <sup>3</sup> )	Factor de viscosidad
3.5	260	1370	1210	1.5

**Fuente.** Autor

### 5.2.2 Cilindro de inyección

El cilindro de inyección o barril de inyección se diseñó de acuerdo a la capacidad de inyección (altura mínima que requiere el cilindro para almacenar en su interior) con un diámetro interior de 25 mm, el material utilizado para su fabricación es un acero AISI 4140 y mediante el criterio de cilindro de pared gruesa se calculó el diámetro exterior recomendado por la literatura de Savgorodny (1973).



Una vez definido la metodología para calcular el espesor de la pared, se propuso que el cilindro llevará roscas externas en cada extremo del barril, mediante un análisis de uniones empernadas, como se detalla en la sección 6.3.3 se empleó para determinar la altura de la rosca y el torque necesario.

Se realizó una simulación del cilindro mediante el software de diseño mecánico SolidWorks 2021 con una presión interna de 120 psi.

### **5.2.3 Boquilla de inyección**

La boquilla de inyección se elaboró de aluminio por su buena conductividad térmica, en la sección 4.6.1.1 se estableció la constante  $v.t$  para ciertos materiales, pero debido a que no existe un valor para el material de investigación, se tomó el valor más alto con el fin de tener un diseño adecuado.

### **5.2.4 Tolvas**

Para alimentar la unidad de inyección se propuso el uso de dos tolvas, las mismas que cuenta con un ángulo de  $40^\circ$  para obtener un flujo másico a la salida, las dimensiones se determinaron a partir de la capacidad que cada una puede albergar.

Para la tolva de almacenamiento (tolva uno) se propuso una capacidad de  $930 \text{ cm}^3$ , la misma que cuenta con un sistema de desplazamiento automático de material mediante un tornillo sin fin y se fabricó mediante impresión 3D.

Mientras que la tolva de ingreso (segunda tolva) tiene una capacidad de  $100 \text{ cm}^3$  y se fabricó de aluminio debido a que está en contacto directo con el cilindro y facilita el ingreso del material hacia el interior del mismo.

### **5.2.5 Émbolo de inyección**

El émbolo de inyección se fabricó de aluminio para evitar desgastar el barril de inyección y se tuvo en cuenta el efecto de la dilatación térmica, de acuerdo a este efecto el elemento tiene una cierta holgura con respecto al cilindro según la literatura de Sánchez et al (2005). El ajuste se determinó a partir del apartado 6.3.7 para un ajuste clase 3.

Finalmente, mediante la simulación en SolidWorks 2021 se analizó el valor de las tensiones de von Mises.

### ***5.2.6 Cálculo de las placas de la máquina***

Las placas que se ubican en cada sección se diseñaron a partir de la carga aplicada. Para las placas ubicadas en la sección intermedia y superior de la estructura, se calculó su espesor mediante la teoría de placas, el análisis se realizó en la placa intermedia debido a que soporta el peso de los elementos de la unidad de inyección y la fuerza aplicada por el cilindro. Esta fuerza ejercida resulta de un total de 407,8 N, se utilizó planchas de acero ASTM A36 por su disponibilidad en el mercado, se ejecutó una simulación en el software SolidWorks 2021 para observar la deflexión y las tensiones de Von Mises.

De igual forma para las placas de la unidad de cierre o las del porta molde se empleó planchas de acero ASTM A36, el análisis se ejecutó en la placa base de la placa fija posterior Figura 48 ya que está sujeta por dos pernos y soldada a una placa vertical que soporta una fuerza de 1547.47 N, mientras que la placa fija frontal se dimensionó por geometría por estar ensamblada con el cilindro que abre y cierra el molde.

### ***5.2.7 Diseño de la estructura***

Para la estructura de la máquina se seleccionó tubos cuadrados de acero (JIS 3141), ubicado de acuerdo a la Figura 40, para determinar el espesor del tubo se aplicó el método aproximado de pórtico con carga vertical, para el análisis se tomó la sección superior e intermedia donde se ubican las placas y la mitad de la estructura de forma vertical, mientras que la placa base se asumió como una unión fija.

Las cargas que se aplican en ambas secciones de estudio se tomaron como cargas distribuidas que resultan del peso de los elementos y de la fuerza de acción y reacción efectuado por el cilindro neumático, así como por el resorte.

### ***5.2.8 Cálculos de los pernos de la máquina***

Los pernos seleccionados para sujetar los elementos de la máquina fueron pernos métricos con un grado de dureza clase 4.6 para la mayoría de pernos y solo para los pernos de la placa fija frontal se utilizaron un grado de dureza de 4.8.

El procedimiento que se aplicó para determinar las características y el número de los pernos que sujetan la placa superior de la máquina donde se encuentra montado el cilindro neumático de inyección se realizó mediante el método de pernos a tracción, como se explica en la sección 6.3.12.

Para los pernos que ajustan la placa fija ajustable, se utilizó la metodología de uniones empernadas, para el cálculo se consideró la placa como un elemento rígido, en la sección 6.3.11 se detalla el proceso y el factor de seguridad que posee

Mientras que para los pernos que sujetan la placa fija frontal se aplicó un análisis por esfuerzo cortante directo debido a la fuerza de cierre de 1547.47 N como se describe en el apartado 6.3.13.

### ***5.2.9 Cálculo de la resistencia eléctricas***

El segundo objetivo partió de la búsqueda bibliográfica sobre los elementos de control que garanticen el correcto funcionamiento y seguidamente el dimensionamiento y la selección de los mismos.

El proceso para calcular la potencia que requiere las niquelinas en la unidad de inyección y de igual manera para las niquelinas usadas en el molde está dado en el apartado 6.4, donde se tomó en cuenta el estado del material a inyectar y las propiedades térmicas de los elementos mecánicos y termoplásticos.

### ***5.2.10 Dimensionamiento del sistema neumático***

Para la inyección del material plástico hacia el molde se propuso un sistema neumático, por lo tanto, para el cilindro neumático que se encarga de inyectar, el dimensionamiento de este elemento se hizo de acuerdo a la presión de inyección, el factor de viscosidad del material y la pérdida por fricción del cilindro. Mientras, para el cilindro de la unidad de cierre se tomó en cuenta la fuerza de cierre y la pérdida por fricción.

Una vez establecido estos parámetros se calculó los diámetros y algunas características adicionales de cada cilindro de acuerdo a lo establecido en la sección 6.5 , algunas medidas de cilindros estándar se muestran en el Anexo 26.

### ***5.2.11 Selección de los sensores***

El control de temperatura lo realiza un termostato modelo REX-C100, modelo que cuenta con un control automático para regular la temperatura, su sonda es un termopar tipo K el mismo que está conectado en la parte central del cilindro de inyección mediante una abrazadera. Mientras, para el control de temperatura del molde se seleccionó un termistor modelo NTC3950 que se encuentra incorporado en la tarjeta de control.

Por otro lado, en la zona del molde se encuentra ubicados dos finales de carrera para indicar la apertura y el cierre del mismo, estos a su vez indican el inicio y el final del ciclo de inyección, mientras para el control del cilindro de inyección se utilizó temporizadores que contiene la placa de control.

#### ***5.2.12 Tarjeta de control***

La tarjeta de control se diseñó en el software Eagle y tiene como procesador a la tarjeta Arduino nano debido a su uso en los procesos industriales, luego se diseñó las entradas usando optoacopladores por su compatibilidad para voltajes de entrada de 12v y 24v, mientras las salidas cuentan con una etapa aislada para la parte de potencia.

La tarjeta se alimenta con 12 voltios y cuenta con un sistema de protección de polaridad inversa, por otro lado, para la alimentación de las válvulas de control de los cilindros se cuenta con una fuente step-up para elevar el voltaje a los 24v de las bobinas.

#### ***5.2.13 Sistema de control***

El sistema de control se programó en el software IDE de Arduino y ejecuta el código de la siguiente forma, para iniciar el proceso de inyección se ajusta los temporizadores con el tiempo apropiado y el cursor debe desaparecer de la pantalla para dar inicio.

Al poseer tres temporizadores en el sistema, cada uno cumple una función específica durante el encendido del ciclo, el temporizador uno controla el tiempo de plastificación del PET, el temporizador dos controla el tiempo de inyección del material y finalmente el temporizador tres controla el tiempo de enfriamiento de la pieza moldeada.

#### ***5.2.14 Construcción de la máquina***

El tercer objetivo se inició por la búsqueda de los elementos mecánicos y de control disponibles en las ciudades del Ecuador, se cotizó en diferentes tiendas para reducir los costos en los elementos y seguido se realizó el pedido de los materiales, así como la fabricación de los elementos mecánicos como se describe en el apartado 6.9.

Finalmente, con todos los elementos disponibles se ensambló las partes mecánicas y las de control. Para detallar los costos de fabricación y adquisición de los elementos se realizó un análisis de costos directos, costos indirectos e imprevistos (Ver sección 6.11).

### **5.2.15 Validación**

Para el cuarto objetivo se determinó los tiempos teóricos que se deben emplear en el ciclo de inyección como se muestra en la sección 6.6.

Finalmente, con los ensayos realizados se determinó los parámetros correctos que se requiere para inyectar el PET reciclado, como se indica en la Tabla 32, Tabla 33 y Tabla 34.

## 6. Resultados

### 6.1 Selección de la máquina y sus elementos

#### 6.1.1 Selección de alternativas

Para la selección de la máquina de inyección se realizó una ponderación para obtener la mejor alternativa de acuerdo a diferentes criterios Tabla 18.

**Tabla 18.** Tipos de máquinas de inyección.

Máquina	Alternativas
De pistón	Alternativa 1
De pistón de pre-plastificación en ángulo.	Alternativa 2
De pistón de pre-plastificación en línea.	Alternativa 3
Con tornillo de pre-plastificación en ángulo.	Alternativa 4
Con tornillo recíproco.	Alternativa 5
Inyección vertical.	Alternativa 6

**Fuente.** Autor

### 6.1.2 Matriz de ponderación

Para la evaluación de la matriz de ponderación se tomó los siguientes parámetros:

**Rango:** 1-5.

**Criterio:** La mejor calificación se le asignará un valor de 5 (bueno), mientras que la peor se le asignará el valor 1.

**Tabla 19.** Valoración de los diferentes tipos de máquinas.

Criterio.	Opción	Peso asignado	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3		Alternativa 4		Alternativa 5		Alternativa 6	
			Calificación	Calificación ponderada	Calificación	Calificación ponderada	Calificación	Calificación ponderada	Calificación	Calificación ponderada	Calificación	Calificación ponderada	Calificación	Calificación ponderada
Nivel Tecnológico		0,21	3	0,63	1	0,21	1	0,21	1	0,21	1	0,21	3	0,63
Costo de fabricación		0,2	3	0,6	1	0,2	1	0,2	1	0,2	1	0,2	3	0,6
Proceso de ensamblaje		0,14	4	0,56	2	0,28	2	0,28	2	0,28	2	0,28	4	0,56
Eficiencia		0,11	3	0,33	4	0,44	3	0,33	4	0,44	4	0,44	3	0,33
Capacidad de producción		0,1	2	0,2	3	0,3	3	0,3	5	0,5	5	0,5	3	0,3
Calidad de piezas		0,09	2	0,18	3	0,27	3	0,27	5	0,45	5	0,45	5	0,45
Nivel de mantenimiento		0,08	5	0,4	3	0,24	3	0,24	3	0,24	4	0,32	5	0,4
Ciclo de trabajo		0,07	5	0,35	5	0,35	5	0,35	5	0,35	5	0,35	4	0,28
Suma		1,00		3,25		2,29		2,18		2,67		2,75		3,55

Fuente. Autor

### 6.1.3 Configuración de la máquina

Gracias a la alternativa seleccionada en la Tabla 19, se obtiene la siguiente matriz que contará con diferentes elementos que permitirán el diseño de la máquina de inyección.

**Tabla 20.** Alternativas de los elementos de acuerdo al tipo de unidad.

Unidad de Inyección.	Sistema de inyección	Husillo	Se usa para producciones continuas, grandes cantidades y elevado costo de fabricación.
		Pistón	Fácil de instalar, baja producción y económico.
	Sistema de alimentación	Tolva cónica	Para descargas rápidas y fácil de construir.
		Tolva rectangular.	Mayor capacidad de almacenamiento, para descarga lenta.
	Sistema de calefacción	Fundición por fuego.	Sistema complejo, requiere de dispositivos adicionales, costoso y emite gases tóxicos.
		Resistencia eléctrica.	Fácil de instalar y un control estable de la temperatura.
Unidad de cierre.	Sistema de cierre de los moldes.	Tornillo sin fin y motor eléctrico.	Fácil instalación, elementos adicionales para su control y bajo costo.
		Mecánico	Requiere varios elementos mecánicos para su funcionamiento y complejidad en su instalación.
		Hidráulica	Instalación sencilla, fácil control, elevado costo.
		Neumático	Instalación sencilla, requiere componentes adicionales, bajo costo.



Unidad de potencia.	Sistema de refrigeración para moldes.	Manual	Necesita un operario permanentemente para abrir y cerrar los moldes.
		Ventilador	Sistema económico, fácil de instalar no requiere elementos adicionales, bajo mantenimiento.
		Bomba hidráulica.	Sistema complejo, requiere de elementos adicionales para su correcto funcionamiento, alto costo, eficiente.
Unidad de control.	Sistema de accionamiento de potencia de la máquina	Manual	Necesita un operario permanentemente.
		Hidráulico	Mayor rendimiento, sistemas auxiliares, costo elevado.
		Neumático	Instalación sencilla, requiere componentes adicionales, bajo costo.
Unidad de control.	Sistema de control de temperatura	ON-OFF	Fácil implementación, oscilaciones muy grandes en la temperatura.
		PID	Control más preciso y bajo costos.
		PLC	Fácil instalación, requiere de dispositivos auxiliares, elevado costo.
	Tarjeta de control	Microcontroladores	Fácil instalación, bajo costo.

**Fuente.** Autor

#### **6.1.4 Descripción de la máquina.**

En base a la Tabla 20, se seleccionó los siguientes elementos para el diseño de la máquina de inyección:

##### **6.1.4.1 Unidad inyectora**

###### **➤ Sistema de inyección.**

Para este sistema se optó por seleccionar un pistón para la etapa de inyección, debido a su bajo costo, así como su fácil ensamblaje y control, lo cual permite tener un sistema de inyección compacto y permite inyectar el material termoplástico de una manera rápida.

➤ **Sistema de alimentación.**

Este sistema contará con una tolva cónica, la misma que estará ubicada en la parte superior del barril de inyección, este elemento fue seleccionado debido a su bajo costo de fabricación, no permite al polímero quedar acumulado en ninguna zona de la tolva y son los modelos frecuentemente usados en máquinas de inyección.

➤ **Sistema de calefacción.**

Este sistema llevará como fuente de calor un juego de resistencias eléctricas (Niquelinas), debido a que se montará en la superficie exterior del barril de inyección, además son fáciles de instalar, existe una variedad de modelos y potencia en el mercado.

#### **6.1.4.2 Unidad de cierre**

➤ **Sistema de cierre de los moldes.**

Esta parte de la máquina contará con un cilindro neumático, obteniendo de esta manera un sistema simple, ya que requiere pocos elementos auxiliares para su manejo, rápido accionamiento, fácil de instalar y controlar.

➤ **Sistema de refrigeración.**

Este sistema contará con ventilador, el mismo que mantendrá a los moldes a una temperatura óptima, es rápido de instalar, no requiere elementos adicionales, no usa ningún tipo de líquido y es económico.

#### **6.1.4.3 Unidad de Potencia**

➤ **Sistema de accionamiento de potencia de la máquina.**

Se seleccionó un cilindro neumático, debido a la variedad de modelos en el mercado, bajo mantenimiento y reducido tamaño. No requiere de un sistema de transmisión de potencia.

#### **6.1.4.4 Unidad de control**

➤ **Sistema de control de temperatura.**

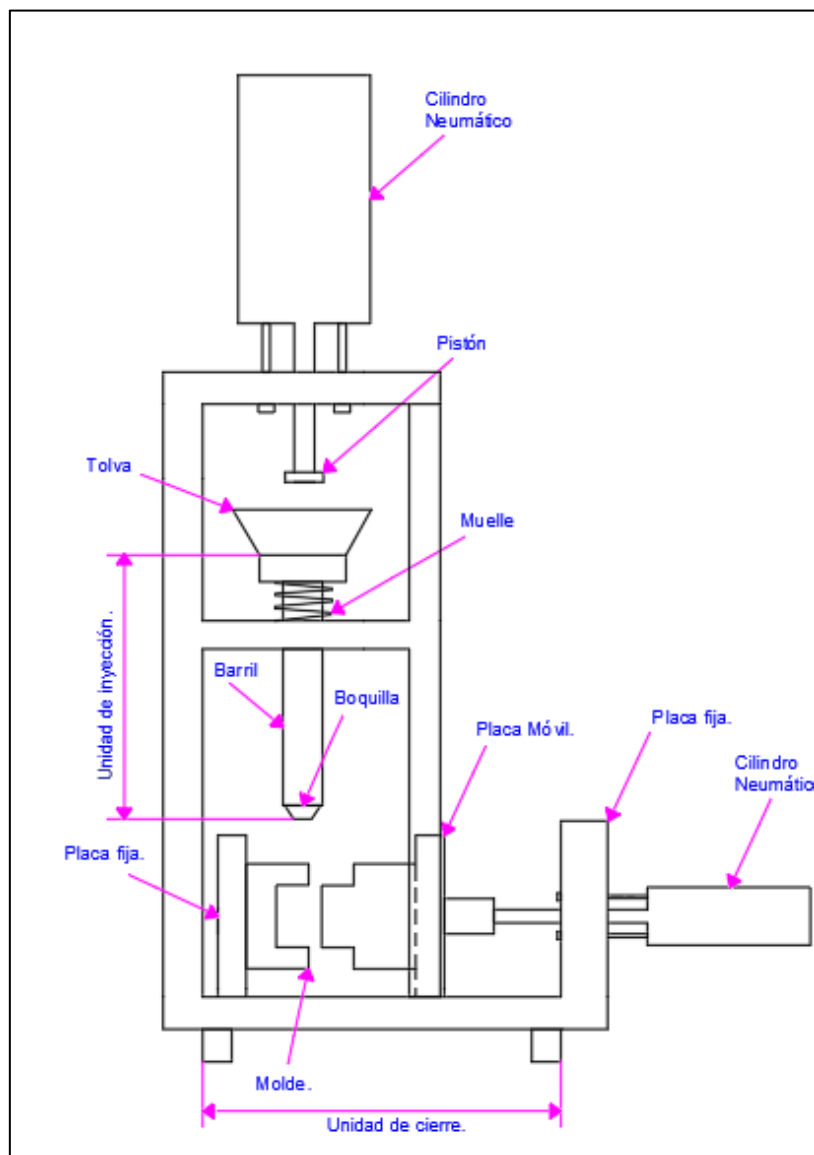
Para el control de la temperatura se contará con un pirómetro digital, el mismo que realiza un control automático sobre la temperatura del cilindro de inyección, obteniendo un control preciso de la temperatura, sin exceso de consumo de energía y además por su rápida

respuesta a cambios de temperatura, son dispositivos pequeños, fácil de instalar y cuentan con una variedad de modelos en el mercado.

➤ **Tarjeta de control.**

Para el control de los actuadores y el sistema de refrigeración se seleccionó un microcontrolador, debido a su bajo costo, fácil de conseguir, bajo consumo, software de programación gratis y su reducido tamaño.

A continuación, en la Figura 27, se detalla la disposición que tendrá cada elemento, así como sus unidades mencionadas anteriormente.



**Figura 27.** Partes de la máquina de inyección a diseñar.

**Fuente.** Autor

## DISEÑO DE LOS ELEMENTOS DE LA MÁQUINA

En el apartado anterior se definió el tipo de máquina de inyección a igual que sus unidades y sus diferentes componentes.

La máquina seleccionada es una máquina de inyección vertical accionada por cilindros neumáticos, el mismo que cuenta con una unidad de inyección, una unidad de cierre, una unidad de control y por último una unidad de potencia. Además, la máquina tendrá una capacidad máxima de inyección de 50 g de material, con un pistón de 25 mm de diámetro y su sistema de calefacción por niquelinas monofásicas.

El diseño de los elementos que conforman la máquina estará en función de la capacidad de inyección, así como de la presión de inyección y temperatura de trabajo.

El diseño de la máquina se abordará de la siguiente manera, se inicia por los parámetros que rigen el proceso de inyección, luego el dimensionamiento de los elementos de la unidad de inyección (sistema de alimentación) seguido de los elementos de la unidad de cierre y por último los elementos de la unidad de potencia.

### 6.2 Parámetros de la máquina

#### 6.2.1 Determinación de la capacidad de inyección

Uno de los parámetros que se considera al momento de elegir o diseñar una máquina de inyección es la capacidad máxima que tiene para inyectar, por ese motivo, para el diseño del cilindro de inyección, se ha establecido un rango de capacidad existente en el mercado para máquinas de inyección vertical, las mismas que oscilan entre los 35 a 850 g de material plástico, para el diseño de la máquina a implementar se propone una capacidad máxima de inyección de 50 g de Polietilen tereftalato (PET).

Una vez establecido este valor, se determina el volumen que ocupará en el interior del barril una vez que inicie el proceso de inyección, a partir de la Tabla 1, se obtiene la densidad del termoplástico tipo pet cuando se encuentra en un estado viscoso.

De acuerdo a la ecuación 4 el volumen máximo será:

$$CI = V = \frac{50 \text{ g}}{1.21 \text{ g/cm}^3} = 41.32 \text{ cm}^3$$

$$CI = V = 4.132 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

Esto indica que el barril de inyección albergará como capacidad máxima  $4.132 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$  de pet fundido para ser inyectado al interior del molde.

### **6.2.2 Determinación de la velocidad de Inyección**

Otro parámetro a considerar es la velocidad de inyección o caudal de la máquina a su máxima capacidad, es uno de los datos que ayuda a determinar el tiempo mínimo de inyección, para ello se propone un tiempo máximo de 4 segundos, según lo recomendado por los expertos del plástico (termoplástico PET).

A continuación, se determina la velocidad de inyección mediante la ecuación 6:

$$V_i = \frac{41.32 \text{ cm}^3}{4 \text{ s}}$$

$$V_i = 10.331 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}$$

De esta forma también se puede obtener el flujo másico o caudal másico máximo entregado por el cilindro de inyección. Al multiplicar la velocidad de inyección por su densidad.

$$M_{\text{pet}} = 10.331 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} * \frac{1.21 \text{ g}}{\text{cm}^3} = 0.013 \text{ kg/s}$$

### **6.2.3 Determinación de la presión de inyección**

La presión de inyección es el parámetro principal al momento de diseñar o seleccionar una máquina de inyección, es por ello que se ha determinado la presión mínima del termoplástico Pet para ser inyectado, la misma que se encuentra expuesta en la Tabla 12 que cuenta con un valor de  $3.5 \text{ kg/cm}^2$  (343.233 KPa), esta es la presión ideal que debe existir en el interior del cilindro para ser inyectado al molde.

El cambio de estado del pet provoca que la presión deba ser mayor debido al aumento de la viscosidad que presenta el material fundido, motivo por el cual, se considera un factor de viscosidad que se muestra en la Tabla 13, al no disponer de un factor para el termoplástico Pet, pero al tratarse de una modificación o un derivado de las fibras de poliéster (PES) se tomó un valor promedio de 1.85.

Con estas consideraciones y aplicando la ecuación 7 se tiene la presión real que se necesita.

$$P_r = 343.233 \text{ KPa} \cdot 1.85$$

$$P_r = 634.981 \text{ KPa} = 6.475 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

La presión necesaria que deberá ejercer el émbolo sobre el material fundido es de 634.981 KPa.

### **6.3 Diseño del sistema de alimentación o inyección**

El sistema de inyección, o también conocida como unidad de inyección, se encarga de transformar el material plástico sólido a una masa viscosa para luego ser inyectado hacia la cavidad del molde. Por este motivo se debe conocer las características generales del barril de inyección.

#### **6.3.1 Carrera del pistón**

Para determinar la carrera máxima o longitud efectiva que deberá realizar el pistón para almacenar e inyectar los  $4.132 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$  de pet, se considera el diámetro interior del barril, como se mencionó al inicio de esta sección, la máquina poseerá un diámetro interior de 25 mm, adicional el rendimiento volumétrico en la cámara de inyección tiene un valor del 85% para estas máquinas.

Establecidos estos valores, se puede calcular la longitud mínima que deberá tener la cámara de inyección.

Despejando la ecuación 5 se tiene:

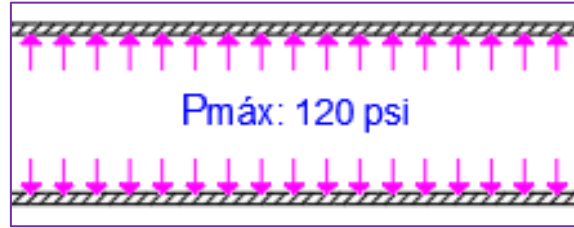
$$L_b = \frac{4 \cdot 4.132 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3}{\pi \cdot (0.025\text{m})^2 \cdot 0.85} = 99.03 \text{ mm}$$

$$L_b = 0.099\text{m}$$

La longitud que requiere el barril para fundir 50 g de material es de 99 mm, pero para el diseño y construcción del mismo se debe considerar una longitud extra, la misma que está en función de las niuelinas, la longitud del resorte y altura de la tuerca de sujeción.

#### **6.3.2 Diseño del cilindro de plastificación**

En esta sección se detalla los esfuerzos a los que está sometido el cilindro de plastificación de la máquina.



**Figura 28.** Vista frontal con corte del cilindro de inyección.

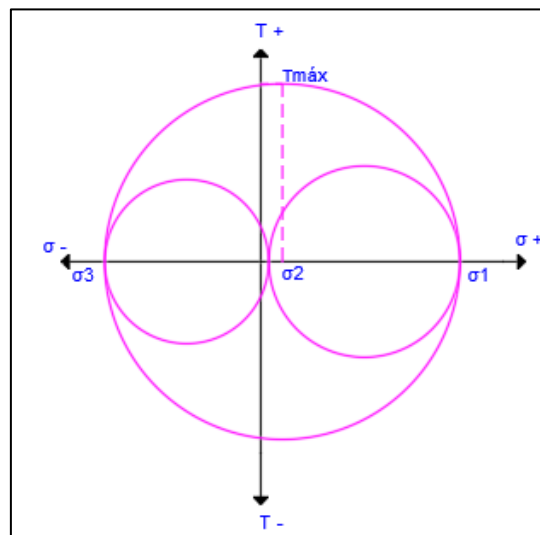
**Fuente.** Autor

En la Figura 28, se muestra la forma en la que el cilindro está expuesto a una presión interna, la misma tiene un valor máximo aproximado de 120 psi (0.827 MPa) y servirá para el diseño.

A causa de esta presión, el cilindro de inyección se encuentra sometido a tres esfuerzos principales, los cuales son esfuerzo circunferencial o tangencial ( $\sigma_t$ ), esfuerzo meridional ( $\sigma_m$ ) y esfuerzo radial ( $\sigma_r$ ), las cuales pueden provocar la falla del elemento, para ello se determinará el espesor mínimo que se necesita para soportar esta presión.

Donde  $\sigma_1 = \sigma_t$  se encuentra a tracción,  $\sigma_2 = \sigma_m$  debido a que la longitud del barril es pequeña y se encuentra apoyada en un extremo, al momento de aplicar la carga las deformaciones longitudinales son demasiado pequeñas y finalmente  $\sigma_3 = \sigma_r$  se encuentra a compresión.

Con estos datos y pasando al círculo de Mohr Figura 29 se tiene que:



**Figura 29.** Esfuerzos principales en el cilindro de inyección que pueden ocasionar la falla.

**Fuente.** Autor

Los esfuerzos principales que producen el esfuerzo cortante máximo son el esfuerzo  $\sigma_1$  y  $\sigma_3$ .

El cilindro se diseñará con acero AISI 4140, con un diámetro interior de 25 mm y roscas exteriores en ambos extremos. Del Anexo 3 se tiene el límite elástico del acero laminado en caliente de  $40 \text{ kgf/mm}^2$  (392.266 MPa). Por otro lado, se obtiene el factor de seguridad basado en las siguientes condiciones: A=(mb) calidad de la pieza y un buen mantenimiento, B=(mb) control de la fuerza aplicada, C=(b) análisis de esfuerzos en el elemento, D=(s) posibles quemaduras para el operario y E=(s) posibles demandas.

Aplicando el método de Pugsley dado por la ecuación 16 y de acuerdo al Anexo 2 se tiene:

$$N_S = 1.2 \cdot 1.3 = 1.56$$

De esta forma se puede determinar el esfuerzo de diseño o admisible para este caso en particular y es igual al esfuerzo equivalente

$$\sigma_{\text{equ}} = \sigma_{\text{adm}}$$

$$\sigma_{\text{equ}} = \frac{40 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}}{1.56} = 25.641 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{\text{equ}} =$$

$$\sigma_{\text{equ}} = 251.453 \text{ MPa}$$

Despejando la ecuación 23 se calcula el radio exterior del cilindro:

$$r_{\text{ext}} = \sqrt{\frac{r_i^2 \cdot \sigma_{\text{equ}}}{\sigma_{\text{equ}} - 2 \cdot P_{\text{m}\ddot{a}\text{x}}}}$$

$$r_{\text{ext}} = \sqrt{\frac{(0.0125\text{m})^2 \cdot 251.453 \text{ MPa}}{251.453 \text{ MPa} - 2 \cdot 0.827 \text{ MPa}}}$$

$$r_{\text{ext}} = 0.0125 \text{ m}$$

$$r_{\text{ext}} = 12.541 \text{ mm}$$

De esta forma se tiene que el diámetro exterior mínimo es de 25.1 mm, pero como se estableció en el diseño, el cilindro lleva dos roscas externas por lo cual debido al espesor no



se puede realizar un proceso tecnológico (un roscado), por esta razón se propuso dos tipos de roscas, la primera de 1 1/8 in y otro de 30 mm, pero el diseño se realizó con un diámetro de 30 mm en el cual se puede efectuar un roscado sin problemas y debido a su factor de seguridad que es de 1.62 mientras para la rosca de 1 1/8 in es de aproximadamente 1, dando el de 30 mm una mayor seguridad al cilindro a posibles fallas, además, es una medida que satisface con las niquelinas tipo abrazadera existentes en el mercado, evitando un proceso de mecanizado adicional para poder acoplar el sistema de calefacción sobre el barril.

De esta forma se tiene que la el diámetro exterior es de 30 mm.

Aplicando la ecuación 20 se tiene:

$$25 \text{ mm}/2.5 \text{ mm} = 10 < 40.$$

Una vez hallado las dimensiones que tendrá el cilindro, se determina los esfuerzos principales que para este caso son los esfuerzos circunferenciales o tangenciales y radiales a los que estará sometido el cilindro durante el ciclo de inyección, de esta forma se obtienen dos esfuerzos normales

Reemplazando en la ecuación 21 se halla la distribución de tensión tangencial:

$$\sigma_t = 0.827 \text{ MPa} * \frac{(15 \cdot 10^{-3} \text{ m})^2 + (12.5 \cdot 10^{-3} \text{ m})^2}{(15 \cdot 10^{-3} \text{ m})^2 - (12.5 \cdot 10^{-3} \text{ m})^2}$$

$$\sigma_t = 4.586 \text{ MPa}$$

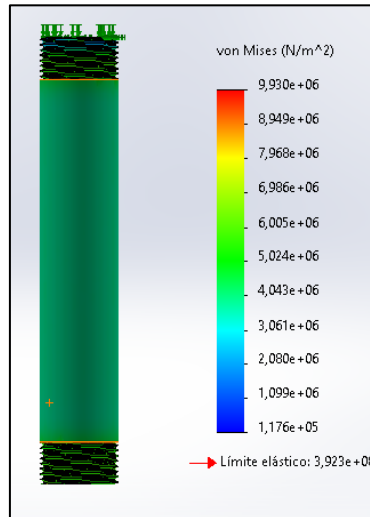
Reemplazando en la ecuación 22 se halla la distribución de tensión radial:

$$\sigma_r = -0.827 \text{ MPa}$$

De esta forma se tiene los valores de los esfuerzos a los que estará sometido el cilindro de inyección.

Para la validación del cilindro, se realizó un análisis estático de elementos finitos mediante el software de diseño SolidWorks 2021. Para la simulación se tomó la parte superior del cilindro como una unión rígida, agregando en su interior una presión de 120 psi.

Se estableció una malla y se obtiene un total de elementos de 12464 y 24898 nodos. Con los resultados arrojados por el software en cuanto a los esfuerzos de Von Mises e tiene que no supera el esfuerzo de fluencia y se puede efectuar la validación Figura 30.



**Figura 30.** Resultados de los esfuerzos de Von Mises en el barril de inyección.

**Fuente.** Autor

### 6.3.3 Cálculo de la rosca

Como se mencionó anteriormente, el cilindro de inyección consta con roscas en ambos extremos, los mismos que serán usados para sujetar la boquilla de inyección, que permitirá pasar el material fundido a la cavidad del molde, mientras que la otra parte se montará una tuerca la cual ayudará a sujetar el barril de inyección sobre el resorte, asegurando que este elemento quede suspendido sobre la placa de apoyo para cada ciclo de inyección, para ello se debe saber cuántos hilos debe tener la sección roscada y se determina los siguientes valores:

Pre-Carga o ajuste inicial: Se determina para este caso el valor del esfuerzo de prueba, el mismo que permitirá calcular la precarga o fuerza inicial que ayudará mantener unido la boquilla y la tuerca superior con el barril, evitando que se genere fugas del material y se suelte mediante el uso de la máquina.

Para ello se inicia calculando mediante la ecuación 29 el valor de resistencia de prueba que tendrá la rosca para este caso en particular.

$$S_p = 0.85 \cdot 392.266 \text{ MPa} = 333.426 \text{ MPa}$$

De igual forma se determina el diámetro de paso y el diámetro de raíz, considerando que la rosca del tornillo será una rosca métrica de cuerda fina para evitar fugas de plástico, con un diámetro nominal de 30 mm como se expuso y el mismo tendrá un paso de 1.5 mm.

A partir de la expresión 26 se tiene:

$$d_p = 30 \text{ mm} - 0.649519 \cdot 1.5 \text{ mm} = 29.026 \text{ mm}$$

$$d_p = 0.029026 \text{ m}$$

De igual forma mediante la ecuación 27 se tiene:

$$d_r = 30 \text{ mm} - 1.226869 \cdot 1.5 \text{ mm} = 28.16 \text{ mm}$$

$$d_r = 0.02816 \text{ m}$$

Otro valor a tomar en cuenta es su área de esfuerzo a la tracción, como este es otro de los datos que se especifica en las tablas de acuerdo al tipo de perno y no se posee, para este caso, se determina el valor del mismo, tomando en cuenta que se trata de un eje hueco, donde se resta el valor del área interior, aplicando la ecuación 28 y considerando lo mencionado se tiene:

$$A_t = \frac{\pi}{4} \cdot \left[ \left[ \frac{0.029026 \text{ m} + 0.02816 \text{ m}}{2} \right]^2 - (0.025 \text{ m})^2 \right]$$

$$A_t = 1.5124 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Con estos datos obtenidos se calcula el valor de la fuerza que podrá soportar la rosca sin sufrir ninguna deformación (fuerza de prueba) la misma que se obtiene a partir de la ecuación 30 se tiene que:

$$F_p = 1.5124 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot 333.426 \text{ MPa} = 50.427 \text{ KN}$$

Finalmente, con la ecuación 31 se halla la precarga de acuerdo al criterio de conexiones no permanentes, debido a que la boquilla de inyección o tuercas se desinstalaran a menudo del cuerpo del cilindro para su respectivo mantenimiento.

$$F_i = 0.75 \cdot 50.427 \text{ KN} = 37.82 \text{ KN}$$

Obtenidos estos datos, los cuales algunos serán usados para calcular el número de cuerdas, otro valor a tener en consideración es la altura de la tuerca para albergar esta cantidad de cuerdas, de esta forma se determina la altura mínima para un correcto funcionamiento.

A partir de la ecuación 32 se tiene:

$$h_{\text{tuerca}} = \frac{1}{2} \cdot 0.02816 \text{ m} = 0.0141 \text{ m}$$

$$h_{\text{tuerca}} \approx 14 \text{ mm}$$

De igual forma otro valor a tener en consideración para este caso es la altura de la rosca, como se trata de una rosca métrica este valor se calcula mediante la ecuación 33:

$$H = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 1.5 \text{ mm} = 1.3 \text{ mm}$$

Como en las roscas métricas sus crestas terminan de forma plana, el valor calculado será la altura teórica, por este motivo, la altura real se halla a partir de la Figura 19, dando como resultado el siguiente valor:

$$h_{\text{rosca}} = \frac{5}{8} \cdot 1.3 \text{ mm} = 0.812 \text{ mm}$$

Finalmente, el número de cuerdas mínimo que requiere el cilindro de plastificación en función de las dimensiones propuestas y de los datos conocidos se determina mediante dos criterios:

Primer criterio:

Rosca sometida a esfuerzos de aplastamiento, la rosca del cilindro al momento de ajustar la tuerca y aplicar la carga de inyección experimenta un esfuerzo de aplastamiento, por este motivo se determina el número mínimo que se necesita para que la rosca no falle por lo cual se iguala las ecuaciones 34 y 35 dando como resultado la siguiente expresión:

$$n_{\text{cuerdas}} = \frac{((D_{\text{ext}})^2 - (d_r)^2) \cdot h_{\text{tuerca}}}{4 \cdot p \cdot d_p \cdot h_{\text{rosca}}}$$

$$n_{\text{cuerdas}} = \frac{((30 \text{ mm})^2 - (28.16 \text{ mm})^2) \cdot 14 \text{ mm}}{4 \cdot 1.5 \text{ mm} \cdot 29.026 \text{ mm} \cdot 0.812 \text{ mm}} = 10.6$$

$$n_{\text{cuerdas}} \cong 11$$

De esta forma se tiene el valor mínimo que se requiere bajo este criterio es de 11 cuerda.

Segundo criterio:

Debido a que las cuerdas de las roscas pueden fallar al corte al momento de aplicar la carga y de realizar el ajuste inicial se determina por este medio el número de hilos, para este criterio se iguala las ecuaciones 36 y 37 las mismas que dará como resultado la siguiente expresión:

$$n_{\text{cuerdas}} = \frac{3 \cdot h_{\text{tuerca}}}{4 \cdot b}$$

En esta ecuación involucra el ancho de la cuerda en la raíz del tornillo y se halla a partir de la Figura 19 la misma que representa el ancho de la sección de la rosca en el núcleo.

Dando como resultado el siguiente valor:

$$b = p - \frac{p}{4} = 1.5 \text{ mm} - \frac{1.5 \text{ mm}}{4}$$

$$b = 1.125 \text{ mm}$$

Con este valor adicional se determina el número de cuerda bajo este criterio:

$$n_{\text{cuerdas}} = \frac{3 \cdot 14 \text{ mm}}{4 \cdot (1.125 \text{ mm})} = 9.33$$

$$n_{\text{cuerdas}} \cong 10$$

De esta forma se tiene que el número de cuerdas requeridas es 10.

En la Tabla 21, se presenta los resultados de acuerdo a los dos criterios planteados para calcular el número de cuerdas:

**Tabla 21.** Datos de la altura y número de hilos de la rosca.

Criterio	Altura de la tuerca	Numero de hilos
Esfuerzo de aplastamiento	14 mm	11
Esfuerzo de corte	14 mm	10

**Fuente.** Autor

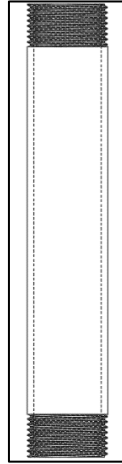
De estos dos valores se selecciona el resultado del primer criterio que son 11 hilos para el diseño de acuerdo a las dimensiones del barril, así se logra evitar que falle por aplastamiento y por cortante.

Nuevamente con este valor se halla la altura que debe tener la rosca del barril para albergar los 11 hilos necesarios, mediante el segundo criterio se calcula la nueva dimensión:

$$h_{\text{tuerca}} = \frac{4 \cdot 1.125 \text{ mm} \cdot 11}{3}$$

$$h_{\text{tuerca}} = 16.5 \text{ mm}$$

Dando como resultado final 11 hilos con una altura de 16.5 mm, con estos valores se fabricarán las roscas en ambos extremos del barril Figura 31.



**Figura 31.** Cilindro de inyección con ambos extremos roscados.

**Fuente.** Autor

A continuación, para determinar el par de apriete que se requiere para ajustar las tuercas hasta el valor de la precarga, se considera los siguientes datos:

Aplicando la ecuación 38 y 39 se determina el ángulo de la hélice:

$$\tan \alpha = \frac{11 \cdot 1.5 \text{ mm}}{\pi \cdot 29.026 \text{ mm}} = 0.1809$$

$$\alpha = 10.256^\circ$$

El ángulo  $\theta_n$  está relacionado con el ángulo  $\theta$  (aproximadamente  $30^\circ$  para una cuerda métrica) y se calcula mediante la ecuación 40:

$$\tan \theta_n = \tan (30^\circ) \cdot \cos (10.256^\circ)$$

$$\theta_n = 29.6^\circ$$

Coefficiente de fricción entre la rosca del tornillo y la tuerca (ver Tabla 16). Al no poseer para aluminio se tomó el valor más bajo.

$$f=0.15 \text{ (para acero seco).}$$

Para este caso se desprecia la fuerza de rozamiento del collarín y el radio de rozamiento del collarín, ya que no posee collarín.

Con estos datos se reemplaza en la ecuación 41 y se determina el par de apriete:

$$T_{\text{ajuste}} = 37.82 \text{ KN} \cdot \frac{0.029026 \text{ m}}{2} \cdot \left[ \frac{\tan(10.256^\circ) + 0.15 / \cos(29.6^\circ)}{1 - 0.15 * \tan(10.256^\circ) / \cos(29.6^\circ)} \right]$$

$$T_{\text{ajuste}} = 200.25 \text{ Nm}$$

A continuación, se halla la fuerza máxima que experimentara el cilindro en su interior:

$$F_{\text{max}} = 0.827 \text{ MPa} \cdot \frac{\pi \cdot (0.025 \text{ m})^2}{4}$$

$$F_{\text{max}} = 405.95 \text{ N}$$

Resultado de la fuerza aplicada en el cilindro de inyección, este experimenta un esfuerzo de tracción, a partir de la ecuación 12 se obtiene el esfuerzo de tracción en el núcleo del cilindro:

$$\sigma_{\text{núcleo}} = \frac{(0.406 \text{ KN})}{1.5124 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$\sigma_{\text{núcleo}} = 2.68 \text{ MPa}$$

Al aplicar el par de apriete, el cilindro se encontrará bajo un esfuerzo de corte. A partir de la ecuación 13 se obtiene el esfuerzo de corte, pero al tratarse de un eje hueco se obtiene la siguiente expresión y se reemplaza el diámetro exterior por el diámetro raíz:

$$\tau_{\text{corte}} = \frac{16T d_r}{\pi(d_f^4 - d_i^4)} = \frac{16 \cdot 200.25 \text{ Nm} \cdot 0.02816 \text{ m}}{\pi((0.02816 \text{ m})^4 - (0.025 \text{ m})^4)}$$

$$\tau_{\text{corte}} = 120.57 \text{ MPa}$$

De esta forma se tiene que el máximo esfuerzo que experimentará el núcleo del cilindro será producido por el par de apriete al momento de ajustar la tuerca, por lo cual se determina el factor de seguridad mediante la teoría del esfuerzo cortante máximo que viene dado por la ecuación 18, para ello despejamos  $N_S$ :

$$F_S = \frac{0.5 \cdot \sigma_y}{\tau_{\text{máx}}}$$

$$F_S = \frac{0.5 \cdot 392.266 \text{ MPa}}{120.57 \text{ MPa}}$$

$$F_S = 1.63$$

A continuación, en la Tabla 22, se presenta los parámetros obtenidos para la rosca 1/8 - 12 UNF aplicando el mismo método de cálculo.

**Tabla 22.** Datos para una rosca de 1 1/8 de in.

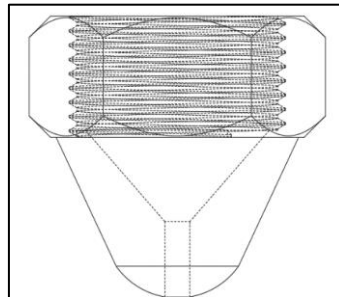
Diámetro nominal	Precarga (Fi= KN)	Momento (Nm)	Esfuerzo de corte (MPa)	Factor de seguridad
1 1/8	15.305	79.9	193.8	0.998=1

**Fuente.** Autor

Donde se puede comparar entre los dos tipos de rosca, la que presenta mayor seguridad es la de 30 mm.

#### **6.3.4 Determinación del diámetro interno de la boquilla**

Para inyectar el material plástico al interior del molde se tuvo en cuenta el diámetro interior de la boquilla Figura 32, puesto que el material debe fluir a una cierta velocidad, si fluye muy rápido se genera un sobrecalentamiento por fricción provocando que el polímero se quemara y si, por el contrario, va lento se genera altas presiones y pérdida de calor por ser un fluido no Newtoniano, el modelo de la boquilla se basa de acuerdo a la Figura 7, específicamente el modelo de la derecha.



**Figura 32.** Modelo de la boquilla de diseño.

**Fuente.** Autor

A continuación, para hallar el diámetro interno se considera los siguientes datos:

➤ **Constante  $v \cdot t$ .**

De la Tabla 11, se tiene la constante  $v \cdot t$  para diferentes materiales, pero para este caso en particular no se tiene un valor de  $v \cdot t$ , por el cual se tomó el valor más alto.

$$v \cdot t = 5$$

➤ **Volumen de la pieza.**

Se considera la capacidad máxima de inyección.

$$V: 41.32 \text{ cm}^3$$



Con estos datos y reemplazando en la ecuación 1 se tiene:

$$D = \sqrt{\frac{1.273 \cdot 41.32}{5}}$$

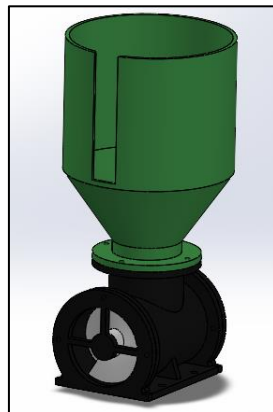
$$D = 3.24 \text{ mm}$$

El diámetro final del agujero de la boquilla será de 3.5 mm medida estándar.

### 6.3.5 Cálculo de la tolva

Para el diseño de la tolva se realizó una selección de alternativas en la que se optó por una tolva cónica, modelo que generalmente se emplea en las máquinas de inyección, este modelo está compuesto por dos partes, la primera tiene forma cónica en la parte inferior y la otra de forma cilíndrica en su parte superior, la máquina posee dos tolvas.

La primera tolva se utilizará para almacenar el material plástico con una capacidad de 930 cm<sup>3</sup>, esta sección se encuentra fabricada mediante impresión 3D Figura 33.



**Figura 33.** Tolva de almacenamiento automática

**Fuente.** Autor

Mientras que la segunda tolva se utilizará para facilitar el ingreso del material plástico hacia la cavidad del barril con una capacidad teórica de 100 cm<sup>3</sup>.

A continuación, se detalla las características que tendrá las tolvas:

➤ **Tolva de almacenamiento.**

Diámetro inferior del cono: 45 mm

Diámetro superior del cono o del cilindro: 100 mm

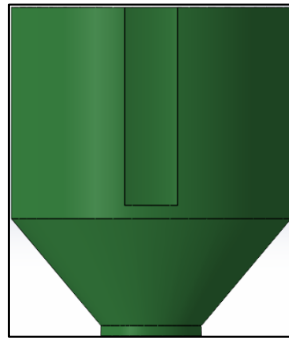
➤ **Tolva de ingreso.**

Diámetro inferior del cono: 25 mm

Diámetro superior del cono o del cilindro: 70 mm

Como se quiere tener un flujo másico a la salida de la tolva, de acuerdo a la Figura 22 el ángulo de diseño para las dos tolvas será de  $40^\circ$ , el proceso de cálculo será igual para ambas tolvas.

➤ **Tolva 1 (Tolva de almacenamiento)**



**Figura 34.** Tolva de almacenamiento.

**Fuente.** Autor

A partir de los datos propuestos se calcula la altura del cono truncado, así como la capacidad que tendrá esta zona.

$$h_{\text{cono}} = \frac{\left(\frac{100 \text{ mm}}{2} - \frac{45 \text{ mm}}{2}\right)}{\tan 40^\circ}$$

$$h_{\text{cono}} = 32.773 \text{ mm}$$

El volumen que podrá almacenar el cono será:

$$V_{\text{cono}} = \frac{3.277 \text{ cm} \cdot \pi}{12} \cdot [(10 \text{ cm})^2 + (4.5 \text{ cm})^2 + (10 \text{ cm}) \cdot (4.5 \text{ cm})]$$

$$V_{\text{cono}} = 141.77 \text{ cm}^3$$

A continuación, se calcula la altura del cilindro de acuerdo a la capacidad de almacenamiento:

$$V_{\text{cilindro}} = 930 \text{ cm}^3 - 141.77 \text{ cm}^3$$

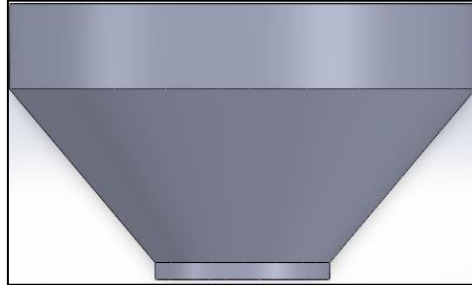
$$V_{\text{cilindro}} = 788.23 \text{ cm}^3$$

$$h_{\text{cilindro}} = \frac{4 \cdot 788.23 \text{ cm}^3}{\pi \cdot (10 \text{ cm})^2}$$

$$h_{\text{cilindro}} = 10.036 \text{ cm}$$

$$h_{\text{cilindro}} = 100.36 \text{ mm}$$

➤ **Tolva 2 (Tolva de ingreso).**



**Figura 35.** Tolva de ingreso del material. plástico.

**Fuente.** Autor

Para esta segunda tolva se aplica el mismo proceso :

$$h_{\text{cono}} = \frac{\left(\frac{70 \text{ mm}}{2} - \frac{25 \text{ mm}}{2}\right)}{\tan 40^\circ} = 26.81 \text{ mm}$$

El volumen que podrá almacenar el cono será:

$$V_{\text{cono}} = \frac{2.681 \text{ cm} \cdot \pi}{12} \cdot [(7 \text{ cm})^2 + (2.5 \text{ cm})^2 + (7 \text{ cm}) \cdot (2.5 \text{ cm})]$$

$$V_{\text{cono}} = 51.062 \text{ cm}^3$$

A continuación, se calcula la altura del cilindro de acuerdo a la capacidad de almacenamiento:

$$V_{\text{cilindro}} = 100 \text{ cm}^3 - 51.062 \text{ cm}^3$$

$$V_{\text{cilindro}} = 48.94 \text{ cm}^3$$

$$h_{\text{cilindro}} = \frac{4 \cdot 48.94 \text{ cm}^3}{\pi \cdot (7 \text{ cm})^2}$$

$$h_{\text{cilindro}} = 1.272 \text{ cm} = 12.72 \text{ mm}$$

A continuación, en la Tabla 23 se detalla las características de las tolvas a implementar en la máquina de inyección:

**Tabla 23.** Características generales de las tolvas.

Parámetros	Tolva de almacenamiento	Tolva de ingreso.
------------	-------------------------	-------------------

Altura del cono (mm)	32.773	26.81
Volumen del cono (cm <sup>3</sup> )	141.77	51.062
Altura del cilindro (mm)	100.36	12.72
Volumen del cilindro (cm <sup>3</sup> )	788.23	48.94

**Fuente.** Autor

### 6.3.6 Selección de resorte

Para la selección del resorte se tomó la fuerza que debe vencer el resorte para regresar las partes móviles. Este elemento se seleccionó mediante catálogo, para ello se consideró el valor de la fuerza aplicada, el peso de los elementos y la deflexión máxima.

Los datos presentes en la Tabla 24 fueron obtenidos a través del software SolidWorks.

**Tabla 24.** Masa de los elementos de la unidad de inyección.

Elementos	Masa (Kg)
Cilindro de plastificación.	0.278
Boquilla de inyección	0.044
Tolva de ingreso	0.0984
Tuerca de sujección.	0.158
Resistencia	0.22

**Fuente.** Autor

Un dato importante a tener en cuenta para la selección del resorte es su constante. A continuación, se detalla los datos que se requiere para seleccionar el resorte:

➤ **Fuerza.**

$$F = (400 + 7.83) \text{ N} = 407.8 \text{ N}$$

➤ **Deflexión de trabajo.**

Se propuso una deflexión máxima de:

$$y_{\text{trabajo}} = 25 \text{ mm.}$$

De acuerdo a la siguiente expresión se determina la constante de un resorte:

$$K_{\text{resorte}} = \frac{F}{Y} = \frac{407.8 \text{ N}}{25 \text{ m}}$$

$$K_{\text{resorte}} = 16.313 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Del Anexo 4 se tiene las características del resorte seleccionado C1586-177-2500-M.

En la Tabla 25 se detalla las características del resorte seleccionado.

**Tabla 25.** Características del resorte seleccionado.

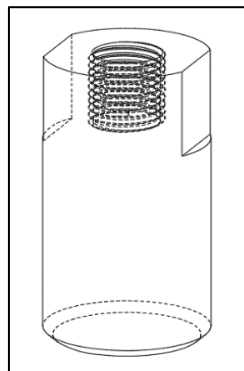
Material	Fuerza (N)	Deflexión de Carga (mm)	Diámetro Exterior (mm)	Diámetro del alambre (mm)
Acero Inoxidable	400	39.36	40.28	4.5

**Fuente.** Autor

### 6.3.7 Cálculo de la tolerancia del émbolo.

Para inyectar el material desde el interior del cilindro, se propuso un émbolo, el mismo deberá tener ciertas dimensiones para evitar generar fricción con el barril al momento de ingresar, por lo cual, el cálculo de la tolerancia está basado en la dilatación térmica que sufre el material, se toma la dilatación que sufre el diámetro del émbolo al alcanzar la temperatura de operación de la máquina hasta llegar al diámetro interno de 25 mm.

Para la construcción del émbolo se optó por un material blando como es el aluminio Figura 36 para evitar un desgaste interno en el barril de inyección.



**Figura 36.** Émbolo de inyección.

**Fuente.** Autor

Se considera para este caso una dilatación superficial, una temperatura promedio anual de la ciudad de Azogues de 15°C según Cuandovisitar (2023) y del Anexo 5 se tiene las características del aluminio.

Por lo tanto:

$$A_f = A_i \cdot [1 + \beta \cdot (T_f - T_i)]$$

$$A_f = \frac{\pi \cdot (0.025 \text{ mm})^2}{4} \cdot \left[ 1 + \left( 2 \cdot 23.4 \times 10^{-6} \frac{\text{m}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right) \cdot (260^\circ\text{C} - 15^\circ\text{C}) \right]$$

$$A_f = 4.965 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 496.5 \text{ mm}^2$$

$$D_f = \sqrt{\frac{4 \cdot 496.4 \text{ mm}^2}{\pi}} = 25.143 \text{ mm}$$

$$\text{Tolerancia} = 25.143 \text{ mm} - 25 \text{ mm}$$

$$\text{Tolerancia} = 0.143 \text{ mm}$$

El diámetro del émbolo es de 25 mm con una tolerancia de 0.143 mm.

Para hallar la dimensión final que deberá tener el émbolo, se recomienda una holgura entre el cilindro y el husillo o en este caso entre el cilindro y émbolo, para evitar una interferencia, el mismo provocará un desgaste entre los dos elementos, esta holgura debe ser lo suficientemente pequeña, caso contrario existirá una pérdida de presión.

Para diferentes elementos de máquinas se tiene los siguientes ajustes que se encuentran en el Anexo 7. Para esta sección de la máquina se propone un ajuste clase 3 (Medio) por las características que posee.

Una vez seleccionada la clase de ajuste y a partir del Anexo 8 y Anexo 9 se calcula la tolerancia y el diámetro máximo y mínimo.

➤ **Tolerancia.**

$$a = 0.0026 \cdot (25)^{\frac{2}{3}}$$

$$a = 0.022$$

➤ **Tolerancia para el eje.**

$$t_{1s} = 0.0069 \cdot (25)^{\frac{1}{3}}$$

$$t_{1s} = 0.02$$

➤ **Diámetro máximo del eje.**

$$d_{\text{máx}} = 25 - 0.022$$

$$d_{\text{máx}} = 24.978 \text{ mm}$$

➤ **Diámetro mínimo del eje.**

$$d_{\min} = 25 - 0.022 - 0.02$$

$$d_{\min} = 24.958 \text{ mm}$$

Considerando la tolerancia debido a la dilatación térmica, el diámetro máximo y mínimo final es de:

$$d_{\max} = 24.978 \text{ mm} - 0.143 \text{ mm}$$

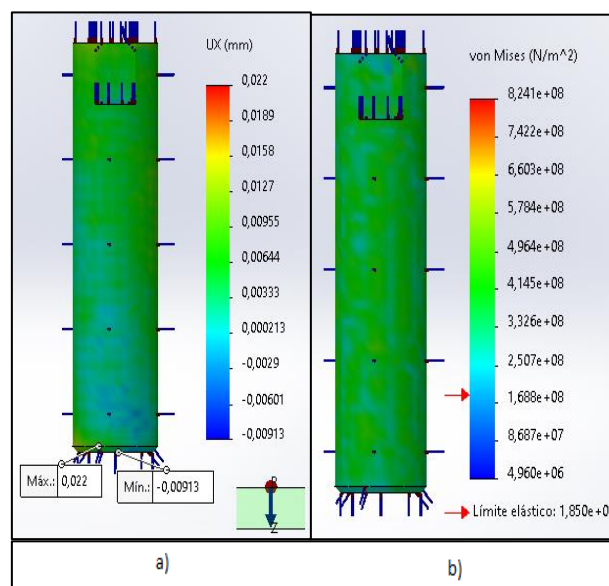
$$d_{\max} = 24.835 \text{ mm}$$

$$d_{\min} = 24.958 \text{ mm} - 0.143 \text{ mm}$$

$$d_{\min} = 24.815 \text{ mm}$$

Para la validación de este elemento se realizó una simulación en el software de diseño mecánico SolidWorks 2021 Figura 37, tomando para la simulación el interior roscado como una unión rígida y una temperatura de 260 °C.

Con la finalidad de obtener la expansión del émbolo de forma radial se estableció una malla, dando un número total de elementos de 8201 y un total de nodos de 13088.



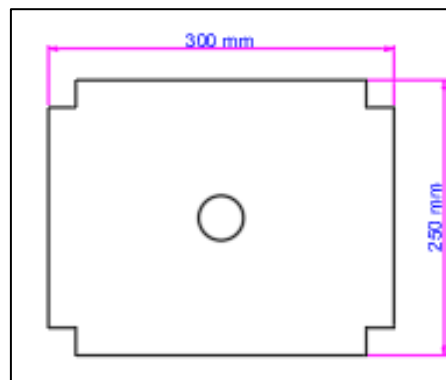
**Figura 37.** Simulación, a) Dilatación térmica. b) Esfuerzos de Von Mises.

**Fuente.** Autor

Con los resultados arrojados por el software se tiene una dilatación máxima del radio del émbolo de 0.022 mm, mientras que el esfuerzo de Von Mises corresponde a 168.8 MPa dentro del valor establecido.

### 6.3.8 Diseño de la placa de soporte del cilindro de calefacción

En el diseño de la placa de soporte se consideró el espacio necesario para las diferentes piezas de la unidad de inyección, de igual manera para la placa que soporta el cilindro neumático, para el análisis de estos elementos se tomó la placa de la unidad de inyección, debido a que recibe la fuerza de inyección y el peso de los elementos, la placa consta con las siguientes dimensiones 300 mm de largo y 250 mm de ancho Figura 38, el material a emplear es un acero ASTM A36.



**Figura 38.** Dimensiones de la placa del cilindro de calefacción.

**Fuente.** Autor

Para determinar el espesor necesario de la placa, se analiza el efecto que produce la carga sobre la placa, adicional se toma en cuenta que la placa se encuentra en sus dos extremos más cortos empotrados y en sus otros extremos apoyados, los cuales son sus condiciones de borde correspondiente al caso número 20 (Anexo 11) de acuerdo a la teoría de placas. La fuerza ejercida sobre este elemento es de 407.8 N, la misma es la suma de la fuerza aplicada y el peso de los elementos del barril.

De acuerdo a la teoría de placas para determinar las tensiones máximas y la flecha máxima, se debe conocer los coeficientes  $K$  y  $K_1$ , estos dependen de la relación de sus bordes,  $b/a$  o  $R/r$  donde el numerador corresponde al extremo largo y el denominador al extremo pequeño, para la placa en estudio se tiene que la relación es:

$$\frac{R}{r} = \frac{300 \text{ mm}}{250 \text{ mm}} = 1.2$$

Determinado la relación y de acuerdo al caso según sus condiciones borde (caso 20, Anexo 10), el valor más cercano al obtenido es de 1.5, por esta razón se toma estos datos para los coeficientes,  $K=1$  y  $K_1 = 0.0582$ .



Para determinar el espesor de la placa, se considera el esfuerzo máximo igual al esfuerzo de fluencia del acero ASTM A36 sobre el factor de seguridad. Aplicando el método de Pugsley y de acuerdo a las condiciones A=(mb), B=(mb), C=(b), D=(sn) y E=(sn).

El factor de seguridad es:

$$N_s = 1.2 \cdot 1 = 1.2$$

Mientras que el esfuerzo de diseño es (las propiedades del acero ASTM A36 se encuentra en el Anexo 6).

$$\sigma_d = \frac{250 \text{ MPa}}{1.2} = 208.33 \text{ MPa}$$

Despejando la ecuación 24 se calcula el espesor mínimo:

$$h = \sqrt{1 \cdot \frac{407.8 \text{ N}}{208.33 \text{ MPa}}}$$

$$h = 1.4 \text{ mm}$$

Por disponibilidad comercial se selecciona una placa de acero con un espesor de 2 mm.

La deflexión máxima producida por la carga de acuerdo a la expresión 25 en la placa es de:

$$\omega_{\text{máx}} = 0.0582 \cdot \frac{407.8 \text{ N} \cdot (0.25 \text{ m})^2}{207 \text{ GPa} \cdot (0.002 \text{ m})^3}$$

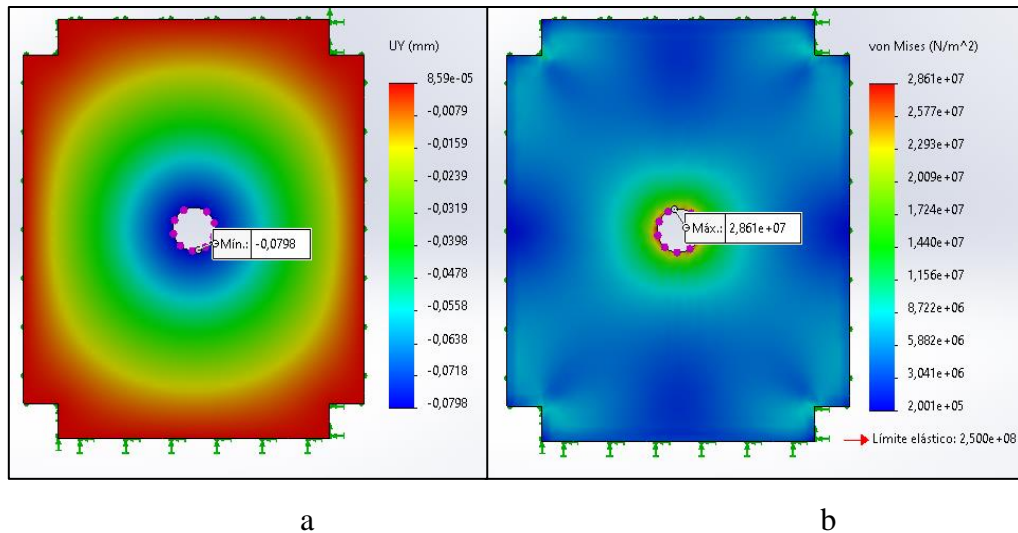
$$\omega_{\text{máx}} = 8.95 \times 10^{-4} \text{ m} = 0.896 \text{ mm}$$

De esta forma cumple con la condición, donde la deflexión máxima debe ser menor a su espesor para un diseño adecuado.

Para la validación del elemento en estudio, se realizó un análisis estático en el software de diseño mecánico SolidWorks 2021. Para la simulación se tomó cada extremo largo de la placa como una viga simplemente apoyada y una fuerza puntual de 407.8 N aproximadamente en el centro producida en el momento de la inyección.

Se estableció una malla, dando como resultado un número de elementos de 9719 y un total de nodos de 18139.

Los resultados obtenidos en el software se presentan en la siguiente Figura 39.



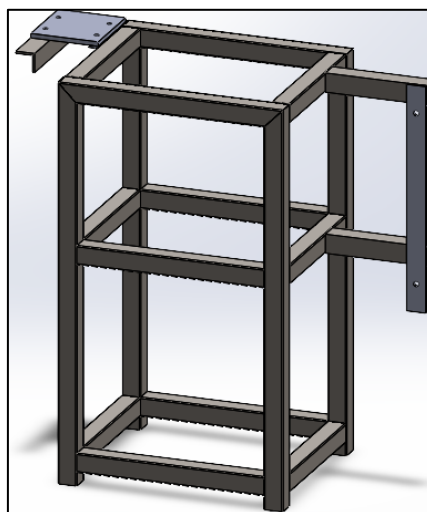
**Figura 39.** Simulación a) Deflexión máxima. b) Esfuerzo de Von Mises.

**Fuente.** Autor

En la gráfica se tiene que la deflexión máxima es de 0.0798 mm cercano a ocho centésima de un milímetro, el cual es un valor adecuado. Mientras el valor del esfuerzo de Von Mises es de 28.61 MPa el cual indica que está dentro del rango del límite elástico, verificando la aptitud del elemento.

### 6.3.9 Cálculo de la estructura

La estructura está conformada por tres partes rectangulares ubicadas de la siguiente manera una en la base, otro en el medio y el último en el extremo superior, cuyos vértices están unidos por cuatro columnas, las mismas que son de tubo cuadrado (acero JIS 3141) de 20 mm. En la Figura 40, se muestra la estructura de soporte de toda la máquina.



**Figura 40.** Estructura de la máquina de inyección.

**Fuente.** Autor

A continuación, se procederá a calcular el espesor que deberá tener el tubo de la estructura, para esto se determinó el peso y la fuerza que actúa en cada sección.

En la sección superior se tiene lo siguiente:

Cilindro neumático de inyección: 10.3 N (1.05 kg).

Placa: 11.77 N (1.2 kg).

Se tiene una fuerza de reacción producida por el resorte durante la inyección, para conocer este valor se considera que el resorte se comprime por completo, dando como resultado el mismo valor de fuerza aplicada (Fuerza de inyección).

Fuerza de reacción: 400N.

En la sección intermedia se tiene:

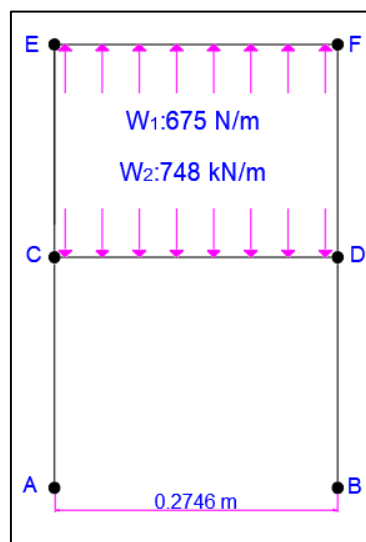
Placa: 11 N (1.12 kg).

Fuerza: 400 N.

Unidad de inyección: 7.8 N (0.795 kg)

Con estos valores y aplicando el método aproximado de pórtico se obtiene el espesor mínimo que requiere el tubo.

Para el análisis se considerará solo una parte de la estructura, como se trata de una estructura que tiene simetría, como se indica en la Figura 41.



**Figura 41.** Disposición de las cargas en la estructura.

**Fuente.** Autor

$$W_1 = \frac{(400 - 10.3 - 11.77) \text{ N}}{0.28 \text{ m}}$$

$$W_1 = 1349.75 \frac{\text{N}}{\text{m}} \cong 1.35 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

$$W_2 = \frac{(400 + 7.8 + 11) \text{ N}}{0.28 \text{ m}}$$

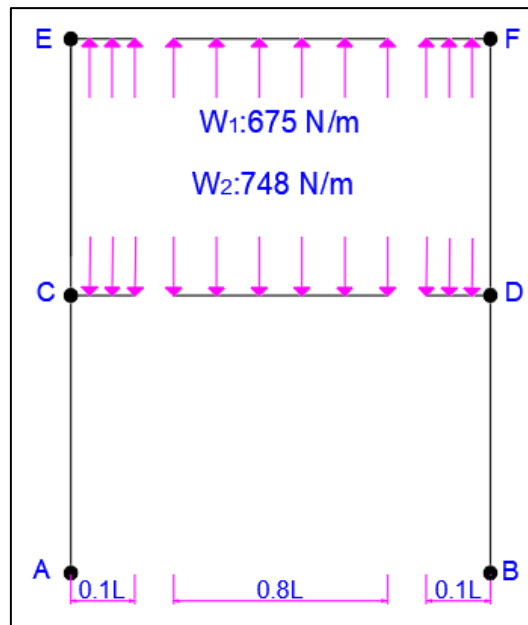
$$W_2 = 1495.71 \frac{\text{N}}{\text{m}} \cong 1.496 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

Debido a que ambos lados de la estructura son iguales, la carga se divide para dos y se tiene:

$$W_1 = \frac{1.35 \frac{\text{KN}}{\text{m}}}{2} = 675 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

$$W_1 = \frac{1.496 \frac{\text{KN}}{\text{m}}}{2} = 748 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

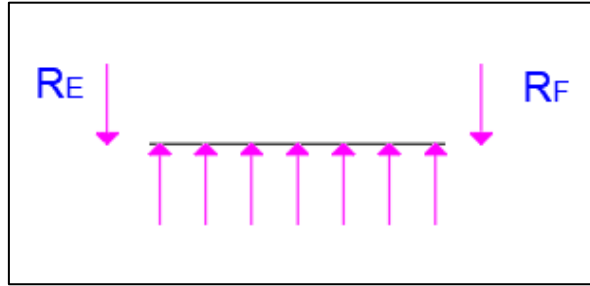
La estructura se descompone de la siguiente forma Figura 42:



**Figura 42.** Representación de la estructura aplicando la teoría del pórtico.

**Fuente.** Autor

Reacciones en la viga intermedia en el tramo E-F para una viga simplemente apoyada  
Figura 43.



**Figura 43.** Sección superior de la estructura donde está ubicado el cilindro de inyección.

**Fuente.** Autor

A partir del Figura 43, se tiene las reacciones y el momento máximo en la viga:

$$R_E = R_F = \frac{675 \frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot (0.8 \cdot 0.28 \text{ m})}{2}$$

$$R_E = R_F = 75.6 \text{ N}$$

$$M_{\text{máx}} = \frac{675 \frac{\text{N}}{\text{m}} * (0.8 \cdot 0.28 \text{ m})^2}{8}$$

$$M_{\text{máx}} = 4.23 \text{ N m}$$

De igual manera para el tramo C-D Figura 44.



**Figura 44.** Sección intermedia tomada como una viga simplemente apoyada.

**Fuente.** Autor

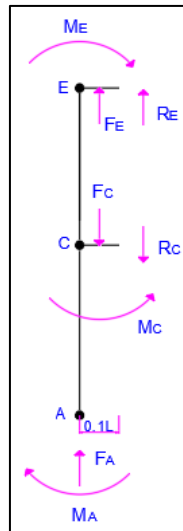
$$R_C = R_D = \frac{748 \frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot (0.8 \cdot 0.28 \text{ m})}{2}$$

$$R_C = R_D = 83.78 \text{ N}$$

$$M_{\text{máx}} = \frac{748 \frac{\text{N}}{\text{m}} * (0.8 \cdot 0.28 \text{ m})^2}{8}$$

$$M_{\text{máx}} = 4.7 \text{ N m}$$

A continuación, en la Figura 45, se calcula la fuerza y momento resultante en la primera columna.



**Figura 45.** Diagrama de equilibrio de la columna izquierda.

**Fuente.** Autor

La fuerza  $F_E$  y  $F_C$  se calcula de la siguiente forma.

$$F_E = 675 \frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot (0.1 \cdot 0.28\text{m})$$

$$F_E = 18.9 \text{ N}$$

$$F_C = 748 \frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot (0.1 \cdot 0.28 \text{ m})$$

$$F_C = 20.94 \text{ N}$$

Momento en el punto E.

$$-M_E + \frac{0.1 \cdot 0.28 \text{ m}}{2} \cdot F_E + 0.1 \cdot 0.28 \text{ m} \cdot R_E$$

$$M_E = \frac{0.1 \cdot 0.28 \text{ m}}{2} \cdot (18.9 \text{ N}) + 0.1 \cdot 0.28 \text{ m} \cdot (75.6 \text{ N})$$

$$M_E = 2.38 \text{ Nm}$$

Momento en el punto C.

$$M_C - \frac{0.1 \cdot 0.28 \text{ m}}{2} \cdot F_C - 0.1 \cdot 0.2746 \text{ m} \cdot R_C$$

$$M_C = \frac{0.1 \cdot 0.28 \text{ m}}{2} \cdot (20.94 \text{ N}) + 0.1 \cdot 0.28 \text{ m} \cdot (83.78 \text{ N})$$

$$M_C = 2.64 \text{ Nm}$$

Sumatoria de fuerzas y momentos.

$$\sum F = 0$$

$$F_A + F_E + R_E - F_C - R_C = 0$$

$$F_A = -75.6 \text{ N} - 18.9 \text{ N} + 20.94 \text{ N} + 83.78 \text{ N}$$

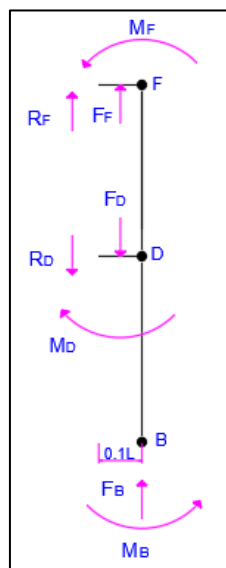
$$F_A = 10.22 \text{ N}$$

$$\sum M = 0$$

$$-M_A - M_E + M_C = 0$$

$$M_A = 2.64 \text{ Nm} - 2.38 \text{ Nm} = 0.26 \text{ Nm}$$

De igual forma y por simetría para la columna dos se tiene el mismo proceso Figura 46.



**Figura 46.** Diagrama de equilibrio de la columna derecha.

**Fuente.** Autor

La fuerza  $F_F$  y  $F_D$  por simetría se tiene:

$$F_F = F_E$$

$$F_D = F_C$$

Momento en el punto F.

$$M_F - \frac{0.1 \cdot 0.28 \text{ m}}{2} \cdot F_F - 0.1 \cdot 0.28 \text{ m} \cdot R_F$$

$$M_F = \frac{0.1 \cdot 0.28 \text{ m}}{2} \cdot (18.9 \text{ N}) + 0.1 \cdot 0.28 \text{ m} \cdot (75.6 \text{ N})$$

$$M_F = 2.38 \text{ Nm}$$

Momento en el punto D.

$$-M_D + \frac{0.1 \cdot 0.28 \text{ m}}{2} \cdot F_C + 0.1 \cdot 0.28 \text{ m} \cdot R_C$$

$$M_D = \frac{0.1 \cdot 0.28 \text{ m}}{2} \cdot (20.94 \text{ N}) + 0.1 \cdot 0.28 \text{ m} \cdot (83.78 \text{ N})$$

$$M_D = 2.64 \text{ Nm}$$

Sumatoria de fuerzas y momentos.

$$\sum F = 0$$

$$F_B + F_E + R_E - F_C - R_C = 0$$

$$F_B = -75.6 \text{ N} - 18.9 \text{ N} + 20.94 \text{ N} + 83.78 \text{ N}$$

$$F_B = 10.22 \text{ N}$$

$$\sum M = 0$$

$$M_B - M_D + M_F = 0$$

$$M_B = 2.64 \text{ Nm} - 2.38 \text{ Nm}$$

$$M_B = 0.26 \text{ Nm}$$

Se selecciona el máximo momento y aplicando la ecuación 15 y se halla el momento de inercia que requiere la estructura. Por otro lado, se determina el factor de seguridad de acuerdo a las siguientes condiciones: A=(mb), B=(b), C=(b), D=(s) y E=(s).

$$N_{s\_estructura} = 1.45 \cdot 1 = 1.45$$



Del Anexo 12 se obtiene la resistencia a la fluencia para el acero jis 3141, el mismo que se tiene un valor promedio de 207.5 MPa, adicionalmente al tratarse de un tubo cuadrado su centroide se encuentra a 10 mm.

De esta forma se tiene que el esfuerzo de diseño es :

$$\sigma_d = \frac{207.5 \text{ MPa}}{1.45} = 143.10 \text{ MPa}$$

$$I = \frac{4.7 \text{ N m} \cdot 0.01 \text{ m}}{143.10 \text{ MPa}} = 3.28 \times 10^{-10} \text{ m}^4 = 328 \text{ mm}^4$$

Una vez hallado el momento de inercia, se calcula la inercia para un tubo cuadrado hueco:

$$I_{\text{tubo}} = \frac{b \cdot h^3}{12} - \frac{(b - 2 \cdot e_{\text{tubo}}) \cdot (h - 2 \cdot e_{\text{tubo}})^3}{12}$$

$$3.28 \times 10^{-10} = \frac{(0.020 \text{ m})^4}{12} - \frac{(0.020 - 2 \cdot e_{\text{tubo}}) \cdot (0.020 - 2 \cdot e_{\text{tubo}})^3}{12}$$

Reemplazando los valores y dejando en función del espesor del tubo se obtiene una ecuación de cuarto grado.

$$16e_{\text{tubo}}^4 - 0.64 e_{\text{tubo}}^3 + 0.01 e_{\text{tubo}}^2 - 6.4 \times 10^{-5} e_{\text{tubo}} + 3.93 \times 10^{-9}$$

Aplicando el método de Newton Raphson y sacando su derivada se tiene:

$$64e_{\text{tubo}}^3 - 1.92 e_{\text{tubo}}^2 + 0.02e_{\text{tubo}} - 6.4 \times 10^{-4}$$

A continuación, en la Tabla 26, se detalla los valores obtenidos mediante el método aplicado:

**Tabla 26.** Datos obtenidos del método de Newton Raphson.

X1	F(X1)	F'(X1)	X2
0	3,93E-09	-0,000064	6,1406E-05
6,14E-05	3,7575E-11	-6,2779E-05	6,20045E-05
6,20E-05	5,2536E-15	-6,2767E-05	6,20046E-05
6,20E-05	-1,0232E-15	-6,2767E-05	6,20046E-05

**Fuente.** Autor

Como se observa en la cuarta iteración el valor ya no se modifica, por lo tanto, se obtiene el espesor del tubo.

$$e_{\text{tubo}} = 6.20 \times 10^{-5} \text{ m}$$

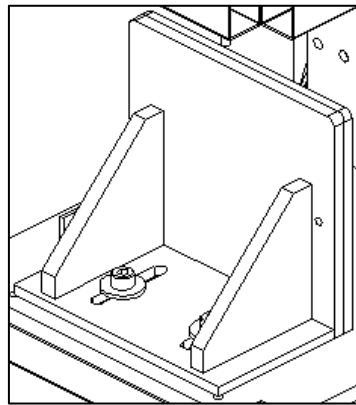
$$e_{\text{tubo}} = 0.0620 \text{ mm}$$

Finalmente, se selecciona un espesor comercial de acuerdo al Anexo 13.

$$e_{\text{tubo}} = 0.8 \text{ mm}$$

### 6.3.10 Cálculo de la placa fija ajustable del sistema de cierre del molde

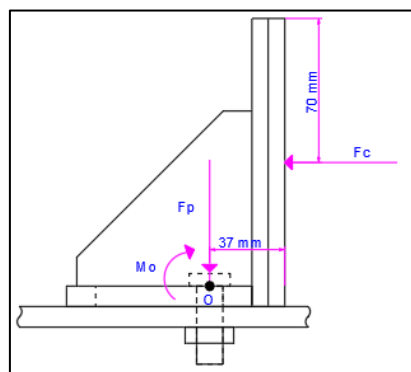
En esta parte de la máquina se implementó un sistema que permite ajustar el molde, para ello se utilizó una placa de acero A36 la misma que estará sujeta por dos pernos y está a su vez soldada con otra placa de forma perpendicular para apoyar el molde Figura 47, para garantizar que la placa no se rompa o se flexione durante el cierre del molde.



**Figura 47.** Sección del porta molde posterior.

**Fuente.** Autor

La placa a analizar es la que se encuentra en la base del sistema de soporte sujeta por los pernos, se considera que la fuerza de cierre actúa de forma puntual en el centro de la placa vertical, debido a la sujeción de los pernos se genera un momento en el punto O Figura 48.



**Figura 48.** Diagrama de equilibrio de la placa porta molde posterior.

**Fuente.** Autor

Momento en el punto O.

$$\sum M_O = 0$$

$$-M_O + 0.07\text{m} \cdot F_c = 0$$

$$M_O = 0.07\text{m} \cdot 1547.47 \text{ N}$$

$$M_O = 108.323 \text{ Nm}$$

El factor de seguridad para este elemento aplicando el método anteriormente mencionado es igual al factor de seguridad aplicado en el análisis de la placa.

$$N_s = 1.2 \cdot 1 = 1.2$$

El esfuerzo a la fluencia para el acero ASTM A36 es 250 MPa, por lo tanto:

$$\sigma_d = \frac{250\text{MPa}}{1.2} = 208.33 \text{ MPa}$$

El espesor mínimo de la placa está en función del momento producido y de su inercia. Despejando la ecuación 15:

$$e_{\text{placa}} = \sqrt{\frac{12 \cdot M_O}{\sigma_d \cdot 2 \cdot b}} = \sqrt{\frac{12 \cdot 108.323 \text{ Nm}}{208.33 \text{ MPa} \cdot 2 \cdot 0.16 \text{ m}}}$$

$$e_{\text{placa}} = 4.42 \times 10^{-3} \text{ m}$$

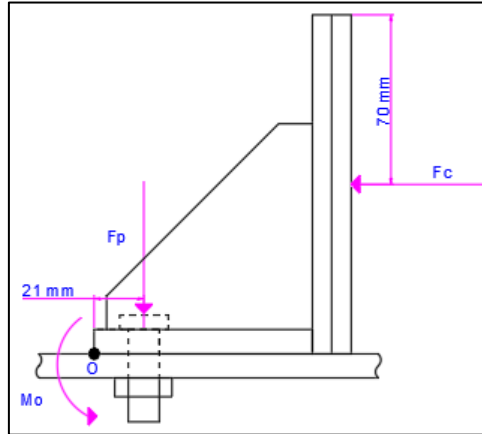
$$e_{\text{placa}} = 4.42 \text{ mm}$$

Finalmente, por disponibilidad comercial se seleccionó una placa de acero con un espesor de 6mm.

### **6.3.11 Cálculo de los pernos de la placa fija ajustable**

Como se mencionó en el apartado anterior, la placa móvil consta de dos pernos, estos permitirán ajustar el molde dependiendo del tamaño del mismo, estos pernos se ubicarán a una distancia de 21 mm(punto crítico).

Para el análisis se asume que la placa móvil es rígida, produciendo un momento en el extremo final de la placa debido a la fuerza de cierre que provoca que se apoye en el punto O Figura 49. De igual forma, la carga actuará en el centro de la placa vertical.



**Figura 49.** Fuerza de reacción producido por el perno de sujeción.

**Fuente.** Autor

➤ **Momento en el punto O.**

Al poseer dos pernos, la carga se distribuirá de forma uniforme en los dos, motivo por el cual la fuerza de cierre se divide para el número de pernos, obteniendo de esta forma la fuerza de tracción en los pernos.

$$\sum M_O = 0$$

$$M_O - 0.021 \text{ m} \cdot F_p + 0.07 \text{ m} \cdot \frac{F_c}{2} = 0$$

$$0 - 0.021 \text{ m} \cdot F_p + 0.07 \text{ m} \cdot \frac{1547.47 \text{ N}}{2} = 0$$

$$F_p = \frac{1547.47 \text{ N} \cdot 0.07 \text{ m}}{2 \cdot 0.021 \text{ m}}$$

$$F_p = 2579.12 \text{ N}$$

$$F_p \cong 2.58 \text{ KN}$$

Por otro lado, debido a la transmisibilidad de la fuerza en la placa, este va a producir un esfuerzo cortante sobre el cuerpo de los pernos.

Mediante la ecuación 13 se determina el esfuerzo de corte en los pernos.

$$\tau = \frac{1547.47 \text{ N}}{2 \cdot A_p}$$

Como se desconoce el diámetro del perno, pero se sabe que el mismo se encuentra bajo la acción de dos esfuerzos, uno de tracción y otro de corte, en este caso se tiene esfuerzos

planos, aplicando la tercera teoría de resistencia, el esfuerzo equivalente será igual a la resistencia mínima a la fluencia del perno para un Grado 4.6 Anexo 19. Reemplazando los valores en la siguiente ecuación se tiene:

$$\sigma_{\text{eqv}} = \sqrt{\sigma^2 + 4 \cdot \tau^2}$$

$$240 \text{ MPa} = \sqrt{\left(\frac{2.58 \text{ KN}}{A_{\text{per}}}\right)^2 + 4 \cdot \left(\frac{1547.47 \text{ N}}{2 \cdot A_{\text{per}}}\right)^2}$$

Despejando el área del perno:

$$A_{\text{per}} = \frac{\sqrt{(2.58 \text{ KN})^2 + 4 \cdot \left(\frac{1547.47 \text{ N}}{2}\right)^2}}{240 \text{ MPa}}$$

$$A_{\text{per}} = 1.25 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

Finalmente, el diámetro mínimo será:

$$D_{\text{min}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1.25 \times 10^{-5} \text{ m}^2}{\pi}}$$

$$D_{\text{min}} = 4 \times 10^{-3} \text{ m} = 4 \text{ mm}$$

De acuerdo al Anexo 19 se tiene el intervalo de tamaños para este tipo de clase de perno y va desde M5-M36 por lo cual se selecciona un perno M5, con una resistencia de prueba mínima 225 MPa, mediante el método de pernos cargados a tensión (rigidez del sujetador). A partir del Anexo 17 se tiene el área de esfuerzo a la tensión y se determina la precarga o la fuerza de ajuste inicial de acuerdo a la ecuación 31 por tratarse de sujetadores no permanente o reutilizables.

$$F_{i_{\text{perno}}} = 0.75 \cdot 225 \text{ MPa} \cdot 1.42 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$F_{i_{\text{perno}}} = 2.396 \text{ KN}$$

A continuación, se determina la longitud total, la cual está en función de los accesorios (tuerca y arandelas) y el espesor de los elementos a sujetar. Del Anexo 20 se tiene la altura de la tuerca para una tuerca hexagonal de 4.7 mm, de igual manera del Anexo 21 se selecciona una arandela 5N, el mismo que tiene un espesor de 1.40 mm (el perno cuenta con dos

arandelas), el espesor de la placa base de la unidad de cierre es de 10 mm mientras que el espesor de la placa móvil es de 6 mm.

Con estos datos se tiene que la longitud del perno es:

$$L_{\text{perno}} = 10 \text{ mm} + 6 \text{ mm} + 4.7 \text{ mm} + 2 \cdot 1.40 \text{ mm}$$

$$L_{\text{perno}} = 23.5 \text{ mm}$$

Del Anexo 22 se obtiene un valor de longitud de perno comercial cercano al dato obtenido:

$$L_{\text{perno}} = 25 \text{ mm}$$

Por otro lado, se tiene que la longitud de la cuerda, del vástago y la longitud efectiva roscada se halla a partir de Anexo 16.

$$L_{\text{cuerda}} = 2 \cdot 5 \text{ mm} + 6 \text{ mm}$$

$$L_{\text{cuerda}} = 16 \text{ mm}$$

$$L_{\text{vástago}} = 25 \text{ mm} - 16 \text{ mm}$$

$$L_{\text{vástago}} = 9 \text{ mm}$$

$$L_t = 10 \text{ mm} + 6 \text{ mm} - 9 \text{ mm}$$

$$L_t = 7 \text{ mm}$$

Una vez determinado los valores se calcula la rigidez del perno y de la junta.

Para calcular la rigidez del perno se describe algunos datos.

➤ **Módulo de elasticidad del perno.**

E: 207GPa (Ver Anexo 18)

➤ **Área del perno.**

$$A_{\text{perno}} = \frac{\pi \cdot (5 \text{ mm})^2}{4}$$

$$A_{\text{perno}} = 19.635 \text{ mm}^2$$

Aplicando la ecuación 42 se tiene:

$$k_b = \frac{1.963 \times 10^{-5} \text{m}^2 \cdot 1.42 \times 10^{-5} \text{m}^2 \cdot 207 \text{ GPa}}{(1.963 \times 10^{-5} \text{m}^2 \cdot 0.007 \text{ m}) + (1.42 \times 10^{-5} \text{m}^2 \cdot 0.009 \text{ m})}$$

$$k_b = 217.57 \frac{\text{KN}}{\text{mm}}$$

Para calcular la rigidez del material se considera lo siguiente:

Como las juntas son del mismo material se escoge el espesor más pequeño para el análisis y se tiene:

$$l = 2 \cdot 6\text{mm} = 12\text{mm}$$

Mediante la ecuación 43 :

$$k_m = \frac{0.5774 \cdot \pi \cdot 207 \text{ GPa} \cdot 0.005\text{m}}{2 \cdot \ln \left( 5 \left( \frac{0.5774 \cdot 0.012\text{m} + 0.5 \cdot 0.005}{0.5774 \cdot 0.012\text{m} + 2.5 \cdot 0.005} \right) \right)}$$

$$k_m = 1.059 \frac{\text{MN}}{\text{mm}}$$

A continuación, se determina la constante de rigidez expresada por la ecuación 44:

$$C = \frac{217.57 \frac{\text{KN}}{\text{mm}}}{217.57 \frac{\text{KN}}{\text{mm}} + 1.059 \frac{\text{MN}}{\text{mm}}}$$

$$C = 0.17$$

Una vez calculado la constante se halla unos datos adicionales de acuerdo a Budynas y Nisbett (2012) se tiene:

Porción de la carga aplicada que soporta el perno:

$$P_b = C \cdot P = 0.17 \cdot 2.58 \text{ KN}$$

$$P_b = 438.6 \text{ N}$$

Fracción de la carga en el material:

$$P_m = (1 - C) \cdot P = (1 - 0.17) \cdot 2.58 \text{ KN}$$

$$P_m = 2141.4 \text{ N}$$

A partir de los valores calculados se obtiene la carga resultante en los elementos tanto para el perno como en el material.

La carga resultante en el perno es:

$$F_b = F_i + C \cdot P = 2396 \text{ N} + 438.6 \text{ N}$$

$$F_b = 2834.6 \text{ N}$$

Y la carga resultante en los elementos es :

$$F_m = F_i - (1 - C) \cdot P = 2396 \text{ N} - 2141.4 \text{ N}$$

$$F_m = 254.6 \text{ N}$$

Finalmente, se calcula el esfuerzo de tensión máximo en el perno.

$$\sigma_b = \frac{2834.6 \text{ N}}{1.42 \times 10^{-5} \text{ m}^2}$$

$$\sigma_b = 199.62 \text{ MPa}$$

Para un perno grado 4.6 se tiene un factor de seguridad contra la fluencia de:

$$N = \frac{240 \text{ MPa}}{199.62 \text{ MPa}}$$

$$N = 1.2$$

Adicionalmente, se determina la carga que se requiere para separar la junta, la misma que nos permitirá calcular un factor de seguridad contra la separación.

$$P_0 = \frac{F_i}{(1 - C)} = \frac{2396 \text{ N}}{1 - 0.17}$$

$$P_0 = 2886.75 \text{ N}$$

Con un factor de seguridad contra la separación de :

$$N_{\text{separación}} = \frac{P_0}{P} = \frac{2886.75 \text{ N}}{2580 \text{ N}}$$

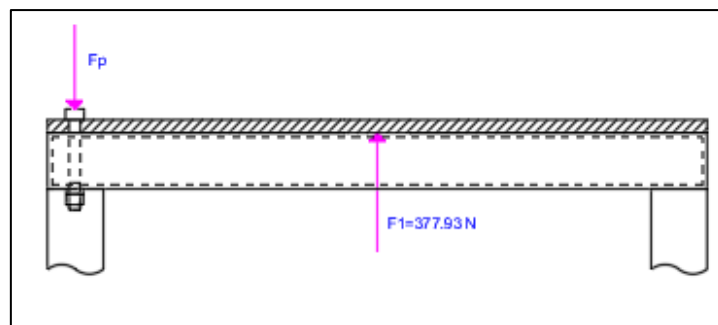
$$N_{\text{separación}} = 1.12$$



### 6.3.12 Cálculo del número de pernos en la placa que soporta el cilindro neumático de inyección

En esta sección de la máquina se diseñó con elementos de sujeción con el fin de poder realizar el mantenimiento de los accesorios que componen la unidad de inyección, para ello se propuso un perno métrico M5, el mismo que se ubicará cerca de los vértices de la estructura con una arandela plana evitando la deformación del tubo cuadrado y soportando la carga de 377.93 N (resta entre la fuerza de reacción del resorte, el peso del cilindro y el peso de la placa de acero).

Para el cálculo se aplicó un análisis por tracción en el perno, asumiendo solo para caso de estudio un perno en uno de los extremos de la placa-estructura Figura 50 y la carga resultante debido a la reacción del resorte sobre el vástago del cilindro.



**Figura 50.** Vista frontal de la placa con corte transversal.

**Fuente.** Autor

El perno seleccionado es de grado 4.6 con una resistencia de prueba de 225 MPa, una longitud de 30 mm de acuerdo al método aplicado en la sección 6.3.11 y un área de esfuerzo a la tracción de 14.18 mm<sup>2</sup> (Anexo 17)

En base a lo anterior se halla el ajuste inicial en el perno, bajo el criterio de uniones no permanentes.

$$F_{i\_perno\_placa} = 0.75 \cdot 225 \text{ MPa} \cdot 1.418 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$F_{i\_perno\_placa} = 2392.88 \text{ N}$$

En función de la resistencia mínima de fluencia se calcula la fuerza de fluencia para el grado de perno seleccionado Anexo 19.

$$F_{fluencia} = 240 \text{ MPa} \cdot 1.418 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$F_{\text{fluencia}} = 3.40 \text{ KN}$$

A continuación, se calcula la fuerza de residuo o la fuerza adicional que el perno puede resistir antes de fallar, la misma que viene a ser la resta de la fuerza de fluencia menos la fuerza inicial de apriete o precarga.

$$F_S = 3400 \text{ N} - 2392.88 \text{ N}$$

$$F_S = 1007.12 \text{ N}$$

Finalmente, se obtiene el número de pernos y es el cociente entre la carga aplica y la fuerza de residuo multiplicado por un factor de carga.

Para un factor de carga de 1.5, el número de pernos mínimo es:

$$N_{\text{pernos}} = \frac{377.93 \text{ N}}{1007.12 \text{ N}} \cdot 1.5$$

$$N_{\text{pernos}} = 0.563 \cong 1$$

Esto indica que la placa requiere de un perno, pero se optó para el diseño final ubicar cuatro pernos cerca de cada vértice para evitar que la placa se desplace y termine desalineando el émbolo de inyección con el barril de inyección.

Adicionalmente, se calcula el factor de seguridad contra la fluencia para un perno a tracción. Para Budynas y Nisbett (2012), para un perno sometido netamente a tracción se tiene:

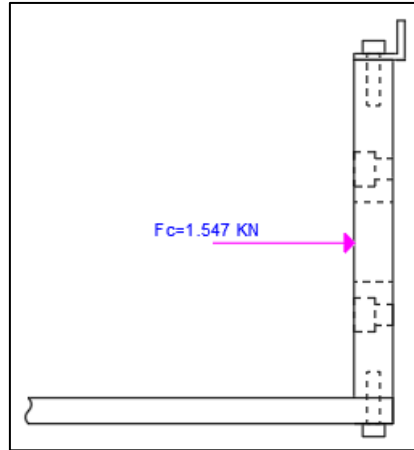
$$N_p = \frac{F_y}{\left(\frac{P}{N_p}\right) + F_i}$$

$$N_p = \frac{3400 \text{ N}}{\left(\frac{377.93 \text{ N}}{4}\right) + 2392.88 \text{ N}} = 1.37$$

### ***6.3.13 Cálculo de los pernos de la placa fija frontal***

Esta sección cuenta con una placa de acero ASTM A36 con las siguientes dimensiones 140 mm x 160 mm y un espesor de 15 mm, la misma que se encargará de sostener el cilindro neumático de la unidad de cierre, motivo por el cual se seleccionó por geometría.

Para sujetar la placa y evitar que se mueva se optó por utilizar pernos en su parte superior e inferior de acuerdo a la Figura 51.



**Figura 51.** Placa frontal sometida bajo una carga puntual.

**Fuente.** Autor

El perno seleccionado tiene un grado de dureza de 4.8, estos pernos se encuentran sometidos bajo esfuerzos cortantes producidos por el cilindro al momento de cerrar el molde.

Aplicando un análisis por cortante directo se determina el esfuerzo de corte en los pernos mediante la expresión:

$$S_{sy} = 0.577 \cdot 340 \text{ MPa}$$

$$S_{sy} = 196.18 \text{ MPa}$$

De esta forma se tiene que el perno para que no falle no deberá superar este valor, por lo cual se determina el diámetro mínimo que se requiere, este elemento estará sujeto por cuatro pernos:

$$A_{\text{perno}} = \frac{1547.47\text{N}}{4 \cdot 196.18 \text{ MPa}}$$

$$A_{\text{perno}} = 1.972 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

Ahora se determina el diámetro mínimo:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 1.972 \times 10^{-6} \text{ m}^2}{\pi}}$$

$$D = 1.58 \times 10^{-6} \text{ m}^3 = 1.58 \text{ mm}$$

Por lo cual se seleccionó un perno M3 para sujetar.

Finalmente, se determina el factor de seguridad:

$$\tau_{\text{perno}} = \frac{1547.47\text{N}}{4 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (0.003 \text{ m})^2}$$

$$\tau_{\text{perno}} = 54.73 \text{ MPa}$$

$$n_{\text{perno}} = \frac{196.18 \text{ MPa}}{54.73 \text{ MPa}} = 3.58$$

## 6.4 Sistema de calefacción

### 6.4.1 Cálculo de las resistencias eléctricas para la unidad de inyección (Niquelinas)

Para la selección de las niquelinas se determinó la cantidad necesaria de calor para elevar la temperatura de los elementos de inyección, tales como, barril de inyección, boquilla de inyección y el material plástico (PET), los mismos que tienen una temperatura ambiente de 15 °C y deberán alcanzar una temperatura final de 260°C.

Mediante la expresión 47 se determina el calor requerido por el barril y la boquilla.

#### ➤ Barril.

Del Anexo 14, se tiene un valor promedio del calor específico del acero 4140.

$$Q_{\text{barril}} = 0.278\text{kg} \cdot 475 \frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot \text{K}} \cdot (260 - 15)\text{K}$$

$$Q_{\text{barril}} = 32.352 \text{ KJ}$$

#### ➤ Boquilla

Se realiza el mismo proceso para la boquilla y el valor del calor específico para el aluminio es de 880 J/ Kg · K.

$$Q_{\text{boquilla}} = 0.044\text{kg} \cdot 880 \frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot \text{K}} \cdot (260 - 15) \text{ K}$$

$$Q_{\text{boquilla}} = 9.486 \text{ KJ}$$

Debido al cambio de fase que sufre el material, se determina el calor necesario para fundir el plástico mediante las expresiones 47 y 48.

De la Tabla 2 se tiene el valor del calor específico (1200 J/Kg.K) y del Anexo 15 se tiene el valor del calor latente o de fusión (59 KJ/Kg).

$$Q_{PET} = 0.05 \text{ kg} \cdot \left[ 1200 \frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot \text{K}} \cdot (260 - 15) \text{ K} + 59000 \frac{\text{J}}{\text{Kg}} \right]$$

$$Q_{PET} = 17.655 \text{ KJ}$$

De esta manera se tiene que la energía necesaria para alcanzar la temperatura óptima es:

$$Q_{\text{Total}} = 32.352 \text{ KJ} + 9.486 \text{ KJ} + 17.655 \text{ KJ} = 59.493 \text{ KJ}$$

Para el cálculo de la niquelina se propone un tiempo de 200 s, este será el tiempo necesario para llegar a la temperatura de 260°C, de la ecuación 49 se tiene una potencia de:

$$P_{\text{Total}} = \frac{59.493 \text{ KJ}}{200 \text{ s}} = 0.29746 \text{ KW}$$

$$P_{\text{Total}} = 297.46 \text{ W}$$

Del Anexo 24 se seleccionó 2 niquelinas modelo RCAH30\_30X30\_I tipo abrazadera de acero inoxidable con una potencia de 150 vatios con un diámetro interior de 30 mm y 30 mm de ancho.

Con este nuevo valor de niquelinas se calcula el tiempo que se tardara en calentar:

$$t_{\text{barril}} = \frac{59.493 \text{ KJ}}{0.3 \text{ KW}} = 198.31 \text{ s} = 3.24 \text{ min}$$

#### **6.4.2 Cálculo de las niquelinas para el molde**

Al poseer un sistema de calefacción, la unidad de cierre, se debe determinar la potencia necesaria que se requiere en el molde para inyectar el material plástico y no sufra contracciones debido al cambio de temperatura. De acuerdo a Tabla 4 la temperatura máxima que se requiere en el molde para inyectar pet es de 120 °C, este dato se utilizará para el cálculo, otro valor que se dispone es la masa total del molde y corresponde a 2.38 kg, pero solo se utilizará resistencias en una cara o sección del molde, el material con el que está construido el molde es aluminio.

De igual manera, aplicando la ecuación 47 se determina la energía necesaria para calentar la sección del molde.

$$Q_{\text{boquilla}} = 1.19 \text{ kg} \cdot 880 \frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot \text{K}} \cdot (120 - 15) \text{ K}$$

$$Q_{\text{boquilla}} = 109.956 \text{ KJ}$$

Para un tiempo de 5 min (300 s) se requiere una potencia de:

$$P_{\text{molde}} = \frac{109.956 \text{ KJ}}{300 \text{ s}} = 0.366 \text{ KW}$$

$$P_{\text{molde}} = 366.52 \text{ W}$$

Del Anexo 25 se seleccionó 2 resistencias tipo cartucho con un diámetro exterior de 6.5 mm y una longitud de 30 mm, con una potencia de 160 watts.

Con este nuevo valor de niquelinas se calcula el tiempo que se tardará en calentar de acuerdo al número de niquelinas:

$$t_{\text{molde}} = \frac{109.956 \text{ KJ}}{2 \cdot 0.16 \text{ KW}} = 343.61 = 5.72 \text{ min}$$

## 6.5 Unidad de potencia

### 6.5.1 Selección del cilindro neumático de la unidad de inyección

Para inyectar el material plástico se propuso un sistema neumático, el mismo que está ubicado en la parte superior de la tolva de ingreso.

A continuación, se determina y se selecciona el diámetro del cilindro neumático para alcanzar la presión requerida, se recomienda para el sistema de alimentación neumática una presión de 80 psi (551.581 KPa) y la presión requerida para inyectar el PET hacia el molde es de 634.981 KPa.

#### ➤ Cálculo de la fuerza de inyección

Para calcular la fuerza de inyección se requiere la presión de inyección, el área interna del barril y la pérdida por fricción (Se considera el 10% de la fuerza calculada).

$$F_{\text{inyección}} = P \cdot A = 634.981 \text{ KPa} \cdot \pi \cdot \frac{(0.025\text{m})^2}{4} \cdot 1.1$$

$$F_{\text{inyección}} = 311.696\text{N} \cdot 1.1$$

$$F_{\text{inyección}} = 342.865 \text{ N}$$

Una vez determinado la fuerza de inyección, se determinó el área del cilindro neumático.

$$A_{\text{cilindro}} = \frac{342.865 \text{ N}}{551.581 \text{ KPa}}$$

$$A_{\text{cilindro}} = 6.216 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

A continuación, se determina el diámetro mínimo:

$$D_{\text{cilindro}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 6.216 \times 10^{-4} \text{ m}^2}{\pi}} = 0.02813 \text{ m}$$

$$D_{\text{cilindro}} = 28.133 \text{ mm}$$

Del catálogo de cilindros neumáticos de la SERIE ISO15552 se seleccionó por disponibilidad comercial un cilindro con las siguientes características Tabla 27:

**Tabla 27.** Características del cilindro neumático de la unidad de inyección.

Diámetro del cilindro	Diámetro del vástago	Longitud del vástago
32 mm	12 mm	250 mm

(para más detalle Ver Anexo 26)

**Fuente.** Autor

Una vez seleccionado el cilindro se determina los siguientes parámetros que tendrá este elemento:

➤ **Fuerza de avance.**

La fuerza de avance teórica está en función del diámetro del cilindro y la presión de operación, mientras que la real se considera la pérdida por rozamiento.

$$F_{\text{avance}} = \frac{551.581 \text{ KPa} \cdot \pi \cdot (0.032 \text{ m})^2}{4} = 443.61 \text{ N}$$

$$F_{\text{avance\_real}} = 443.61 \text{ N} - (443.61 \cdot 0.1) = 399.25 \text{ N} \approx 400 \text{ N}$$

Con este nuevo valor se tiene que la presión de inyección es de:

$$P_{\text{inyección}} = \frac{4 \cdot 400 \text{ N}}{\pi \cdot (0.025 \text{ m})^2} = 814.87 \text{ KPa}$$

$$P_{\text{inyección}} = 118.187 \text{ psi} \approx 120 \text{ psi}$$

➤ **Fuerza de retroceso.**

La fuerza de retrocesos se calcula de igual forma que la fuerza de avance, pero con una pequeña modificación que se debe restar el área del vástago.

$$F_{\text{retroceso}} = \frac{551.581 \text{ KPa} \cdot \pi \cdot [(0.032 \text{ mm})^2 - (0.012 \text{ mm})^2]}{4} = 381.23 \text{ N}$$

$$F_{\text{retroceso\_real}} = 381.23 \text{ N} - (381.23 \text{ N} \cdot 0.1) = 343.11 \text{ N}$$

➤ **Cálculo de la relación de compresión.**

De la ecuación 46 se calcula la relación de compresión (la presión debe de estar en bar):

$$RC = \frac{0.987 + 5.516 \text{ Bar}}{0.987} = 6.59$$

➤ **Cálculo del consumo del aire.**

El consumo de aire depende del número de ciclos que realice la máquina (un ciclo comprende la entrada y salida del vástago), se propone un ciclo por minuto.

De la ecuación 45 se calcula el consumo de aire:

$$Q = 6.59 \cdot 250 \text{ mm} \cdot \pi \cdot \left[ \frac{(32 \text{ mm})^2}{4000000} + \frac{((32 \text{ mm})^2 - (12 \text{ mm})^2)}{4000000} \right] \cdot \frac{1}{\text{min}}$$

$$Q_1 = 2.464 \frac{\text{dm}^3}{\text{min}} = 2.464 \frac{\text{L}}{\text{min}}$$

### 6.5.2 Selección del cilindro neumático de la unidad de cierre

La función de este elemento es abrir y cerrar el sistema de moldeo de la máquina, además de mantener cerrado el molde para evitar que el plástico se derrame.

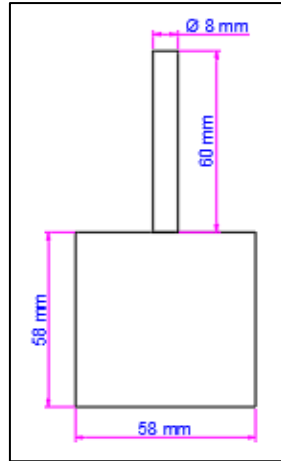
Para determinar la dimensión del cilindro neumático, se considera el área proyectada y la fuerza de cierre.

➤ **Área proyectada.**

De la Tabla 15 se selecciona un diámetro mínimo de 8 mm para la cavidad del molde para inyectar una capacidad de 50 g, la longitud del canal se planteó de 60 mm.

A continuación, en la Figura 52 se presenta las dimensiones que tendrá el área proyectada.





**Figura 52.** Área proyectada del molde.

**Fuente.** Autor

$$A_{\text{cuadrado}} = 0.058 \text{ m} \cdot 0.058 \text{ m} = 3.364 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{\text{canal}} = 0.06 \cdot 0.008 \text{ m} = 4.8 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Finalmente, se tiene el área proyectada y resulta de la suma de todas las áreas.

$$A_m = 3.364 \times 10^{-3} \text{ m}^2 + 4.8 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 3.844 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

➤ **Fuerza de cierre.**

Para calcular la fuerza de cierre se tiene en cuenta dos factores: la viscosidad del material y el tamaño de la máquina.

A continuación, se detalla estos dos factores:

➤ **Coefficiente de presión.**

De acuerdo a los valores establecidos, se realizó un promedio dando como resultado:

$$K = 0.525 \approx 0.5$$

➤ **Coefficiente de reserva.**

Este valor está en función del tamaño de la máquina, el modelo de máquina propuesto se considera como una máquina pequeña de esta manera se tiene  $\beta = 1$ .

Aplicando la ecuación 3 se obtiene el valor de la fuerza de cierre:

$$F_C = 0.5 \cdot 1 \cdot 814.873 \text{ KPa} \cdot 3.844 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$F_C = 1.566 \text{ kN}$$

Finalmente, se considera la pérdida por fricción en el cilindro del 10% para dimensionar el diámetro del nuevo cilindro.

$$F_C = 1.566 \text{ kN} \cdot 1.1 = 1.723 \text{ kN}$$

Con estos datos establecidos y aplicando el mismo proceso propuesto en el primer cilindro se halla el segundo cilindro.

Una vez calculado la fuerza de cierre, se determina el área del cilindro neumático.

$$A_{\text{cilindro}} = \frac{1722.8 \text{ N}}{551.581 \text{ KPa}} = 3.1234 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

A continuación, se determina el diámetro mínimo:

$$D_{\text{cilindro}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3.1234 \times 10^{-3} \text{ m}^2}{\pi}} = 0.06306 \text{ m}$$

$$D_{\text{cilindro}} = 63.06 \text{ mm}$$

Del catálogo de cilindros neumáticos de la SERIE ISO15552 se seleccionó por disponibilidad comercial un cilindro con las siguientes características Tabla 28:

**Tabla 28.** Características del cilindro neumático de la unidad de cierre.

Diámetro del cilindro	Diámetro del vástago	Longitud del vástago
63 mm	25.4 mm	100 mm

(para más detalle Ver Anexo 26)

**Fuente.** Autor

Una vez seleccionado el cilindro se determina los siguientes parámetros que tendrá este elemento:

➤ **Fuerza de avance.**

$$F_{\text{avance}} = \frac{551.581 \text{ KPa} \cdot \pi \cdot (0.063 \text{ m})^2}{4} = 1719.413 \text{ N}$$

$$F_{\text{avance\_real}} = 1719.413 \text{ N} - (1719.413 \text{ N} \cdot 0.1) = 1547.47 \text{ N}$$

➤ **Fuerza de retroceso.**

$$F_{\text{retroceso}} = \frac{551.581 \text{ KPa} \cdot \pi \cdot [(0.063 \text{ mm})^2 - (0.0254 \text{ mm})^2]}{4} = 1439.923 \text{ N}$$

$$F_{\text{retroceso\_real}} = 1439.923 \text{ N} - (1439.923 \text{ N} \cdot 0.1) = 1295.93 \text{ N}$$

➤ **Cálculo de la relación de compresión.**

La relación de compresión tiene el mismo valor que el primer cilindro.

$$RC = 6.59$$

➤ **Cálculo del consumo del aire.**

$$Q = 6.59 \cdot 100 \text{ mm} \cdot \pi \cdot \left[ \frac{(63 \text{ mm})^2}{4000000} + \frac{((63 \text{ mm})^2 - (25.4 \text{ mm})^2)}{4000000} \right] \cdot \frac{1}{\text{min}}$$

$$Q_2 = 3.775 \frac{\text{dm}^3}{\text{min}} = 3.775 \frac{\text{L}}{\text{min}}$$

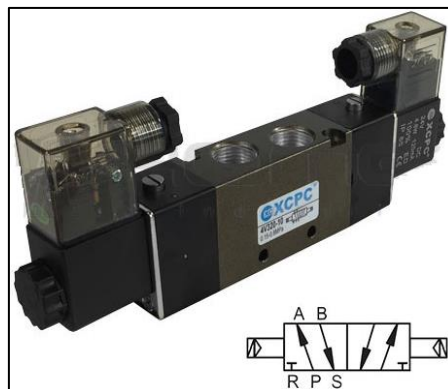
Finalmente, el consumo total de los cilindros:

$$Q = 2.464 \frac{\text{L}}{\text{min}} + 3.775 \frac{\text{L}}{\text{min}} = 6.237 \frac{\text{L}}{\text{min}}$$

Adicional, se seleccionaron los siguientes accesorios para el control de los cilindros neumáticos:

➤ **Válvula 5/2.**

Esta válvula 5/2 consta de cinco agujeros y 2 posiciones Figura 53, tres de los agujeros se usa para alimentar el cilindro neumático tanto de la unidad de inyección como de la unidad de cierre, los cuales permiten sacar o meter el vástago y los otros dos para la purga de aire.



**Figura 53.** Válvula 5/2 biestable.

**Fuente.** (Romeco Industrial, s.f.)

➤ **Válvula de control de caudal.**

Se usa para regular la velocidad de salida y entrada del pistón de la unidad de cierre. Esta válvula consta de una restricción regulable (una llave) y una válvula antirretorno Figura 54, que solo deja pasar en un sentido el aire, el bloque parcial o total se realiza mediante un cono, una bola, un disco o una membrana, obteniendo una presión igual a la presión de entrada o menor en la salida de la válvula (Creus, 2010).



**Figura 54.** Válvula reguladora de flujo tipo block con check ajustable unidireccional.

**Fuente.** (Romeco Industrial, s.f.)

## 6.6 Cálculo del ciclo de inyección

Para las pruebas de la máquina se realizó un molde como se indica en la Figura 55 (placa para perros) con las siguientes características:

➤ **Masa.**

m:5.61 g



**Figura 55.** Diseño de la pieza del molde.

**Fuente.** Autor

### 6.6.1 Tiempo de inyección

Aplicando la ecuación 8 se determina el tiempo de inyección, pero al tratarse de un molde simple con dos cavidades se tomará solo para una cavidad ese dato en la ecuación, la velocidad de inyección debe estar expresado en g/s para ello se multiplica la velocidad de inyección por la densidad del PET en estado líquido.

$$t_i = \frac{5.61 \text{ g}}{10.331 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} \cdot 1.21 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}}$$

$$t_i = 0.449 \text{ s}$$

Adicional se propone un tiempo de presión de sostenimiento de:

$$t_p = 10 \text{ s}$$

### 6.6.2 Tiempo de plastificación

Para determinar este valor se calcula el tiempo que tarda el termoplástico en pasar de sólido a una sustancia viscosa.

$$t = \frac{17655 \text{ J}}{300 \text{ W}}$$

$$t = 58.85 \text{ s}$$

De esta forma se tiene la capacidad de plastificación en g/s.

$$C_m = \frac{50 \text{ g}}{58.85 \text{ s}}$$

$$C_m = 0.85 \frac{\text{g}}{\text{s}}$$

Finalmente, se calcula el tiempo de plastificación que se requiere para esta pieza incluyendo el peso de la vena o canal mediante la ecuación 9.

$$t_f = \frac{(5.61 + 6) \text{ g}}{0.85 \frac{\text{g}}{\text{s}}}$$

$$t_f = 13.65 \text{ s}$$

### 6.6.3 Tiempo de solidificación

Para determinar el tiempo de solidificación se considera los siguientes datos.

Espesor de la pieza.

$$e=4\text{mm}$$

➤ **Temperatura del molde.**

De Tabla 4 se obtiene la temperatura del molde.

$$T_m = 120^\circ\text{C}$$

➤ **Temperatura a la que se extrae la pieza.**

De la Tabla 14 se toma la temperatura de distorsión del PA6, ya que tiene una temperatura de fundición parecida a la del PET.

$$T_x = 180^\circ\text{C}$$

Temperatura del material fundido.

$$T_c = 260^\circ\text{C}$$

Ahora se determina la difusividad térmica del PET a partir de la ecuación 11 y de la Tabla 2 se tiene algunas propiedades.

$$\Phi = \frac{0.24 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}}{1370 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}}$$

$$\Phi = 1.46 \times 10^{-7} \frac{\text{cm}^2}{\text{s}}$$

Finalmente, aplicando la ecuación 10 se tiene:

$$t_s = \frac{-(0.004\text{m})^2}{2 \cdot \pi \cdot 1.46 \times 10^{-7} \frac{\text{cm}^2}{\text{s}}} \ln \left[ \frac{\pi(180^\circ\text{C} - 120^\circ\text{C})}{4(260^\circ\text{C} - 120^\circ\text{C})} \right]$$

$$t_s = 19 \text{ s}$$

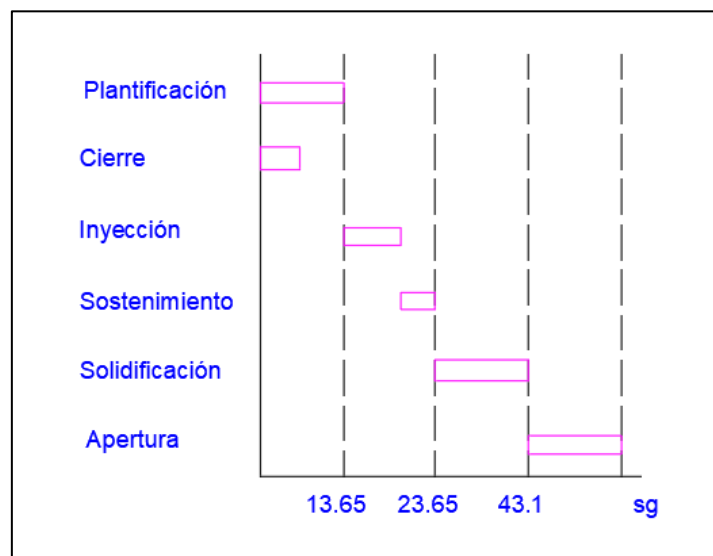
### 6.6.4 Tiempo total

El tiempo total resulta de la suma de cada uno de los tiempos empleados por el proceso de inyección:

$$t_t = (0.449 + 13.65 + 10 + 19) \text{ s}$$

$$t_t = 43.1 \text{ s}$$

A continuación, en la Figura 56 se presenta la secuencia del ciclo de inyección de la máquina propuesta.



**Figura 56.** Secuencia de la máquina de inyección propuesta.

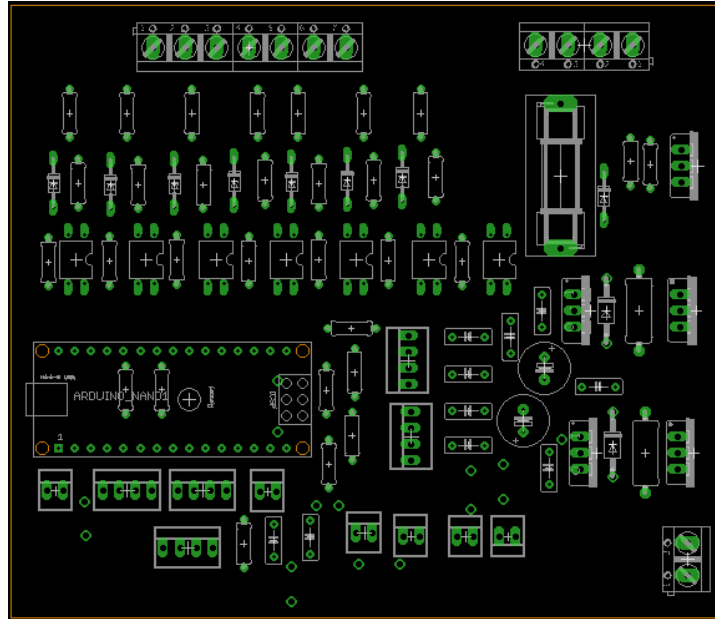
**Fuente.** Autor

## 6.7 Sistema de control

### 6.7.1 Diseño de la tarjeta de control

Para el diseño de la tarjeta que controlará el proceso de inyección se tiene como chip principal al microcontrolador Atmega 328 (para más detalles ver Anexo 31) y este a su vez se encuentra en una tarjeta llamada Arduino nano, el mismo que será montado en la tarjeta de control con el resto de los componentes para el control del sistema.

El desarrollo de la placa de control se hizo mediante el software Eagle, la misma que será impreso en una baquelita con la siguiente ubicación de los componentes Figura 57 y está basado en el esquema de control, algunos elementos empleados en la placa de control se detallan en el Anexo 32, Anexo 33 y Anexo 34.



**Figura 57.** Disposición de los elementos en la tarjeta de control en el software Eagle.

**Fuente.** Autor

Por otro lado, el código de control se realizó en el IDE de Arduino, el mismo que se encuentra disponible en el Anexo 44.

En el Anexo 45, se muestra lo elementos que conforman la placa de control y sus respectivas conexiones.



### 6.7.2 Control de temperatura del barril de inyección

El sistema encargado de controlar la temperatura será un pirómetro modelo REX-C100 Figura 58 que cuenta con un termopar que puede leer temperaturas hasta 400°C y dos tipos de control automático, adicionalmente su salida es controlada por un relé de estado sólido teniendo un control eficiente (para más detalles ver Anexo 29).



**Figura 58.** Termostato modelo REX-C100.

**Fuente.** (Electronics, s.f.)

### 6.7.3 Control de temperatura del molde

El molde de inyección cuenta con un sistema de calefacción automática que es monitoreado a través de un sensor de temperatura NTC modelo 3950 con un rango de temperatura de -30 a 270°C Figura 59, el mismo que se encuentra conectado con la tarjeta principal y posee un sistema de control ON-OFF (para más detalles acerca de este sensor ver Anexo 30).



**Figura 59.** Sensor de temperatura NTC3950.

**Fuente.** Autor

### 6.7.4 Sistema de enfriamiento

Para refrigerar el molde o ayudar al proceso de solidificación de la pieza inyectada se utilizó un ventilador de 12v Figura 60 con las siguientes medidas 60x60x15 mm con un

consumo de corriente 130 mA y una velocidad de giro de las aspas de 3000 rpm de acuerdo al Anexo 35.



**Figura 60.** Ventilador de enfriamiento del molde.

**Fuente.** Autor

## **6.8 Descripción de la propuesta de control**

El sistema de control permitirá el accionamiento de los actuadores y la adquisición de datos mediante una tarjeta Arduino Nano, de tal manera que se requiere de un solo operario para el manejo de la máquina.

La máquina inyectora propuesta consta de tres etapas con el siguiente procedimiento:

- El operario cargará el material plástico en la tolva de almacenamiento.
- Accionará el pulsador que encenderá el motor de la tolva y cargará el material plástico en el barril de inyección.
- En la segunda etapa se dará marcha al inicio del ciclo de inyección.
- En la tercera etapa se descargará de manera manual la pieza moldeada.

Para efectuar el ciclo de inyección, la máquina estará constituida por los siguientes accionamientos.

- Cilindro neumático de inyección.
- Cilindro neumático de la unidad de cierre.
- Electroválvulas para el paso del aire hacia los cilindros neumáticos.
- Niquelinas para el calentamiento del barril de inyección y del molde.
- Finales de carrera y motor síncrono.

En la Tabla 29, se muestra las características eléctricas de los accionamientos que componen la máquina inyectora de modelo vertical.

**Tabla 29.** Características eléctricas de los accionamientos.

N.-	Detalle	Acrónimo	Potencia (W)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Observación
1	Niquelina tipo abrazadera.	NTA	150	120	1.25	
2	Niquelina tipo cartucho.	NCT	160	120	1.33	
3	Electroválvulas 5/2	AV	S/R	24	0.020- 0.040	
4	Válvula de corneta	VC	30	12	2.5	
5	Fuente de alimentación.	FA	120	120- 240	10	Voltaje ajustable.
6	Ventilador	VR	S/R	12	0.25	
7	Motor síncrono	MA	3	120		

**Fuente.** Autor

Para establecer todas las condiciones y conseguir que se ejecute todas las instrucciones establecidas por el operario, se instalaron los siguientes accesorios:

En la máquina.

- Termopar tipo K: Se montará mediante una abrazadera en el centro del barril (Anexo 39).
- Sensor NTC Modelo: se ubicará en una cara del molde, la cual se encuentra en el plato fijo ajustable.
- Final de carrera 1: servirá para posicionar los cilindros neumáticos en caso de que se encuentren accionados y para resetear los temporizadores.
- Sensor de carrera 2: servirá para indicar que el molde se ha cerrado y permitirá que se accione el temporizador 2.
- Motor síncrono: se ubicará en la parte posterior del sistema de almacenamiento acoplado al husillo.
- Ventilador: Se ubicará en la placa móvil y permitirá el enfriamiento tanto del molde como de la pieza.
- Válvula 5/2: Servirá para el control de los cilindros neumáticos, permitiendo la salida y entrada del vástago (Anexo 41).

- Válvula de corneta: Permitirá el control del aire para el cilindro neumático ubicado en la unidad de cierre (Anexo 42).
- Válvula reguladora de caudal: Permitirá regular el flujo de aire en el cilindro neumático de la unidad de cierre.

En el tablero de control:

- Arduino Nano: con entradas analógicas y digitales, programado de tal manera que permita tener la mejor opción para una pieza de calidad (Anexo 31).
- Tarjeta de control: alimentación de 12 a 15 v, contará con 7 entradas las cuales pueden ser de 12/24 V, 4 entradas de 5 V, consta de 6 salidas mediante relés, una entrada analógica para un sensor NTC y una analógica de 5V.
- Fuente step up: Permite elevar a 24v para las bobinas de las válvulas 5/2 (Anexo 28).
- Termostato REX C-100: Controla la temperatura de fundición del material plástico en el barril de inyección.
- Módulo relé: Controlará cada proceso de acuerdo a las señales recibidas por la placa de control Anexo 40.
- Luz piloto roja: Indicará que el tablero se encuentra energizado (Anexo 36).
- Luz piloto verde: Indicará la puesta en marcha del ciclo de inyección.
- Luz piloto Naranja: Indicará que se ha presionado la parada de emergencia.
- Pulsador Rojo: Para el posicionamiento de los cilindros y el apagado del ciclo.
- Pulsador verde: Para el inicio del ciclo de inyección (Anexo 38).
- 4 Push button: uno permitirá navegar en el menú de la pantalla, dos permitirán cambiar los valores de la interfaz y finalmente el cuarto ayudará a pausar el ciclo de inyección.
- Pantalla lcd 16X4: indicará la configuración de la máquina y sus respectivas acciones.
- Para de emergencia (Anexo 37).

En la Tabla 30 se muestra las características eléctricas del conjunto de accesorios de control y mando con los que se equipará la máquina de inyección.

**Tabla 30.** Características de los elementos de control.

N	Detalle	Acrónimo	Tipo de señal	Tipo de contacto	Tensión de trabajo	Corriente de trabajo
---	---------	----------	---------------	------------------	--------------------	----------------------

			Analógica	Digital	NO	NC	(V)	(A)
Final de								
2	carrera tipo palanca	FCP		X	X		12	0.02
1	Sensor NTC	NTC	X					
1	Módulo relé	MR		X		X	5	1.8
2	Válvula 5/2	EV					24	0.12
1	Válvula de corneta.	VC				X	12	2.5
1	Termopar K.	TK	X					
4	Push button	PB		X	X		5	0.02
2	Pulsadores	PNC		X	X		12	0.02
1	Pantalla lcd	LCD					5	0.025
1	Termostato REX-C100	REX		X			120 (AC)	
3	Luz piloto	LP					120 (AC)	0.02
1	Para de emergencia.	PE		X		X	12	0.02
1	Interruptor	IT			X		120 (AC)	0.0125

**Fuente.** Autor

### ***6.8.1 Descripción del funcionamiento de la máquina inyectora modelo vertical***

El encendido del proceso tecnológico de inyección de plástico se realiza a través del “breaker” ubicado en el interior del gabinete metálico, a continuación, deberá cumplir las siguientes condiciones para que la placa de control active los actuadores:

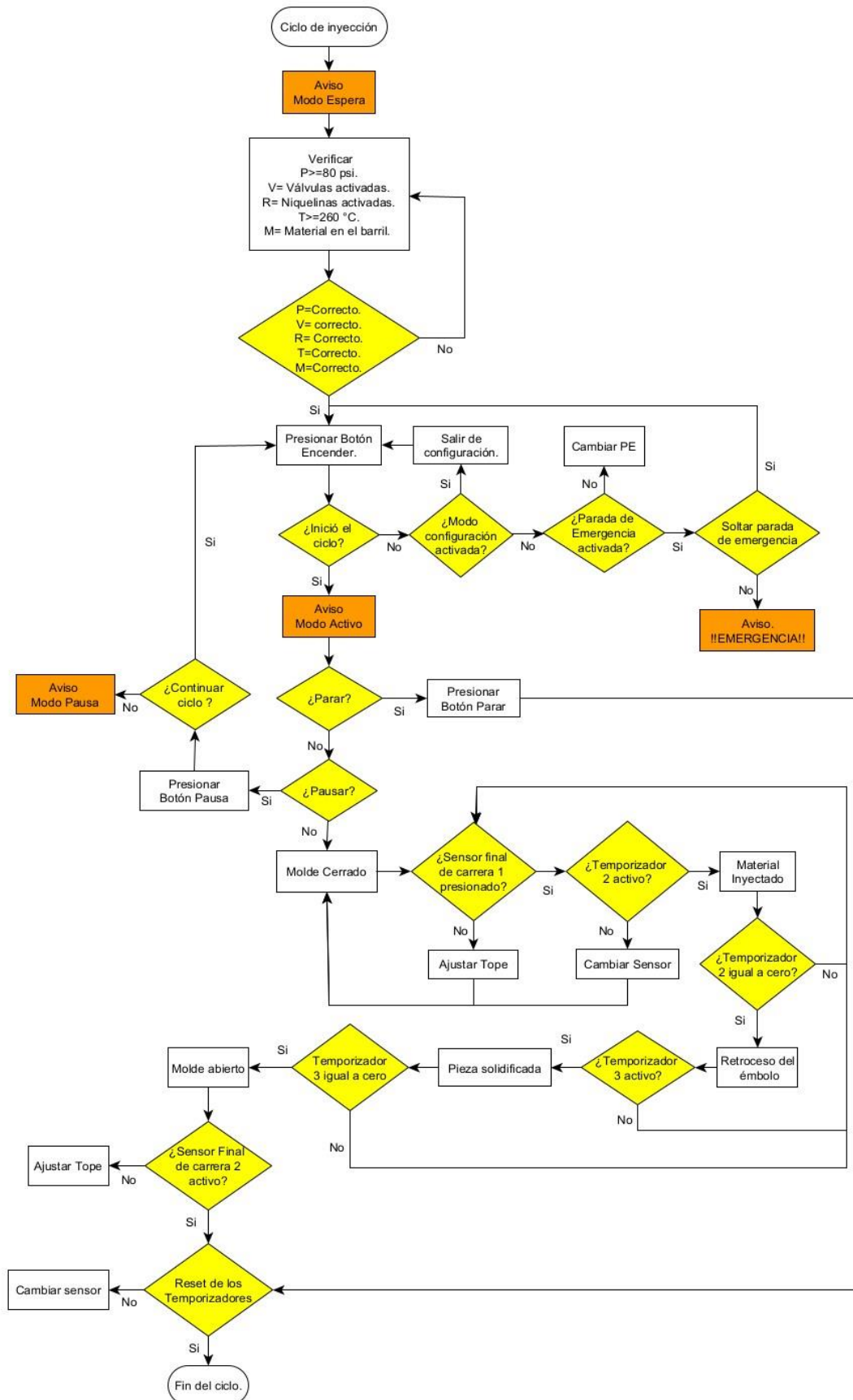
- Temperatura en el barril de inyección sea igual o mayor a 260 °C.
- Material en la tolva de almacenamiento y Presión en la red neumática sea igual o mayor a 80 psi.
- Todos los vástagos de los cilindros se encuentran retraídos a su posición de reposo.
- Los temporizadores deben estar programados con valores iguales o superiores al ciclo de inyección y deben ser diferente de cero.
- La temperatura del molde sea mayor a 50 °C.

En el caso de la temperatura del barril de inyección, se activarán las niquelinas de forma directa una vez energizado el tablero de control hasta alcanzar la temperatura programada de 260 °C mediante su control automático y es independiente de la tarjeta de control, Por otro lado, la temperatura del molde estará en función del sensor de temperatura NTC el mismo que se encargará de encender las niquelinas y se comunicará directamente a la placa de control y es independiente a la ejecución del ciclo de inyección. Una vez que todas estas condiciones sean verificadas, se deberá pulsar el botón de encendido (este botón pone en marcha el ciclo de inyección).

Primero se accionará el cilindro de inyección de la unidad de cierre, el cual juntará las dos partes del molde y accionará el final de carrera , dando paso a la activación del temporizador dos una vez transcurrido 13.65 s del temporizador uno, cuando el temporizador uno se encuentre en cero se activará el cilindro neumático de inyección y el émbolo bajará hacia el barril empujando el material plastificado hacia la cavidad del molde, el tiempo de inyección y presión de sostenimiento tardará 11 s, cuando el temporizador dos llegue a cero se activará el temporizador tres y el emboló de inyección retrocederá hacia su posición de reposo, este temporizador es el encargado de dar el tiempo de solidificación de la pieza y este a su vez activará el sistema de refrigeración, una vez que el temporizador tres llegue a cero el cilindro de inyección de la unidad de cierre abrirá el molde y presionará el final de carrera ubicada en la placa fija frontal y restaurara los valores de los temporizadores, y dará un retardo de 10 s para que se apague el ventilador, de esta forma se dará por finalizado el ciclo de inyección.

Finalmente, una vez pasado por todo el ciclo, el operario puede extraer la pieza inyectada sin deformar. En caso de querer suspender momentáneamente el proceso se realizará de dos formas, uno mediante la parada de emergencia y la otra mediante el pulsador de pausa y en caso de querer suspender por completo presionar el pulsador de “PARAR”. Si por cualquier circunstancia los vástagos de los cilindros de inyección no se encuentran en su posición de reposo, se pulsará el botón “PARAR”, este permitirá posicionar los vástagos sin necesidad de iniciar el ciclo de inyección.

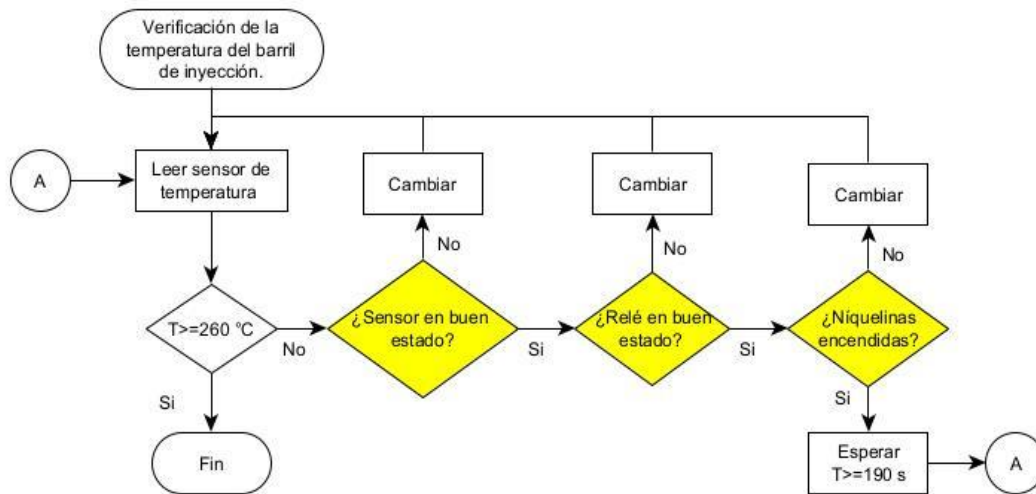
A continuación, mediante diagramas de flujo se describe el funcionamiento de la máquina de inyección vertical con base a lo programado en la tarjeta Arduino nano:



**Figura 61.** Descripción general del funcionamiento de la máquina.

Fuente. Autor

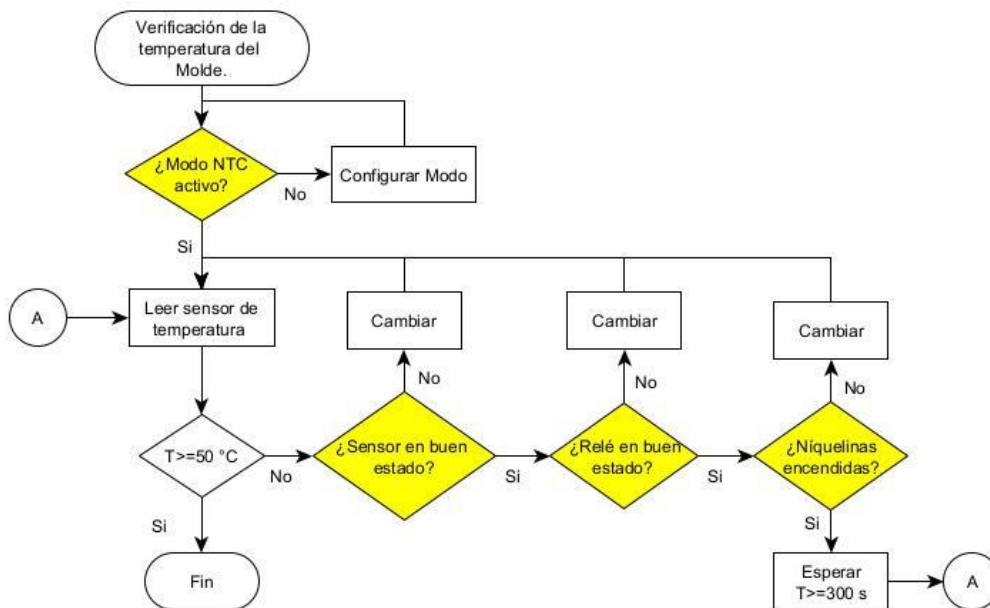
En la Figura 62, se indica el proceso de calentamiento del barril de inyección:



**Figura 62.** Verificación de la temperatura en el barril de inyección.

**Fuente.** Autor

En la Figura 63, se indica el proceso de calentamiento del molde de inyección:

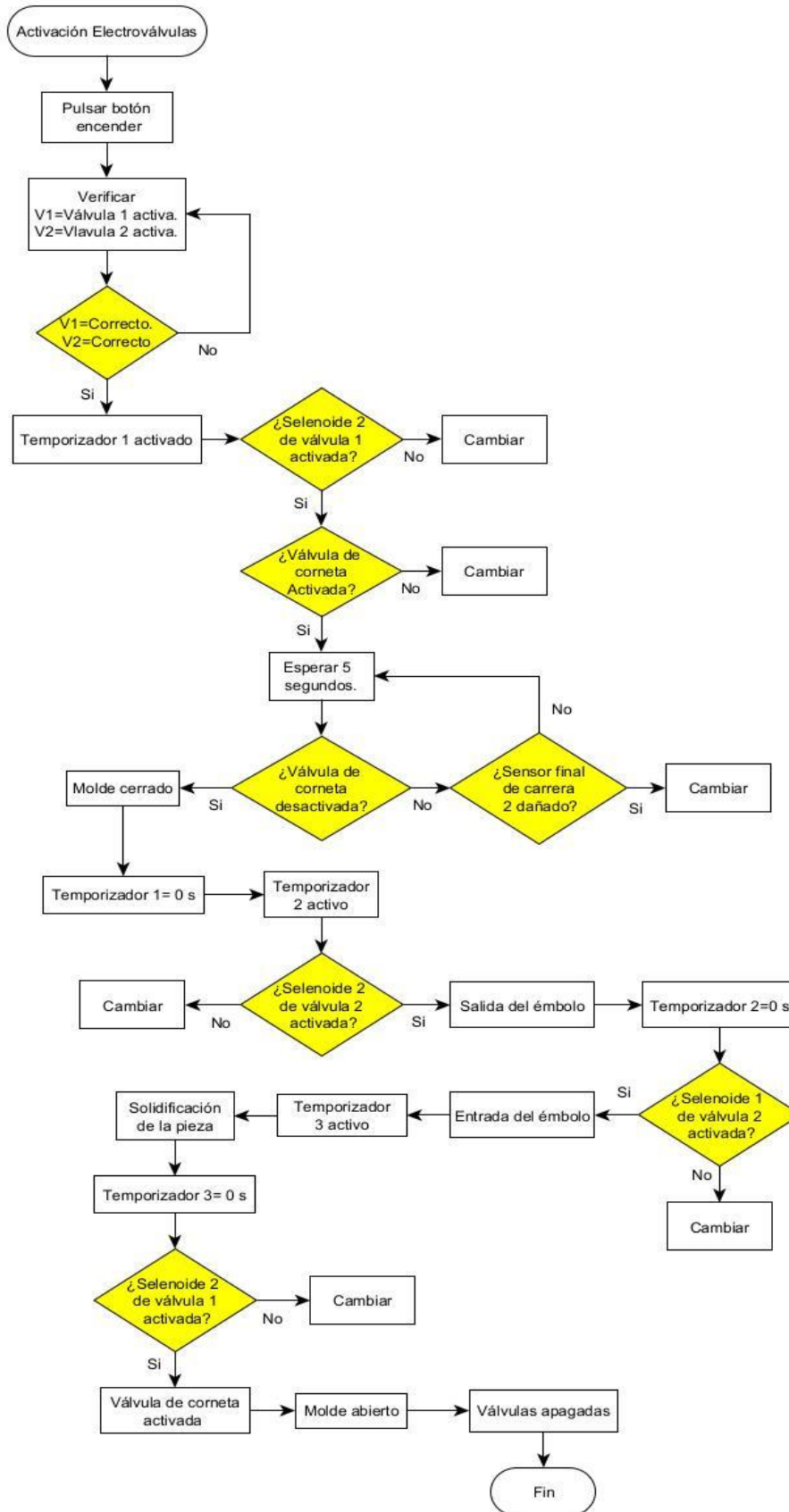


**Figura 63.** Verificación de la temperatura en el molde.

**Fuente.** Autor

En la Figura 64, se indica el proceso de activación y desactivación de las electroválvulas:



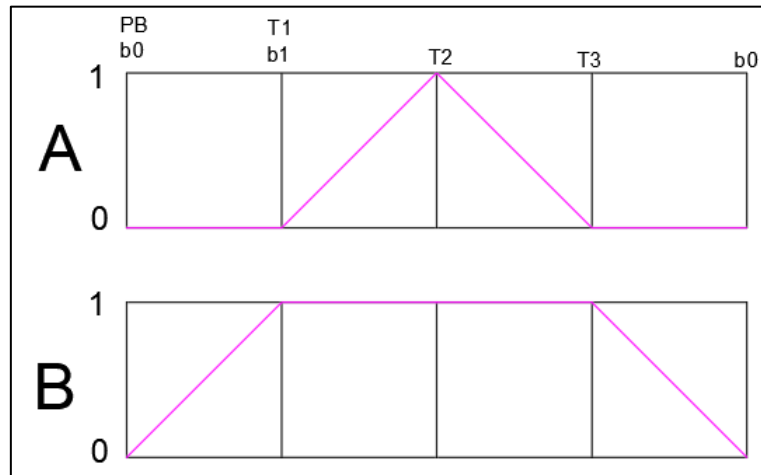


**Figura 64.** Verificación de las electroválvulas 5/2.

**Fuente.** Autor

### 6.8.2 Diagrama Espacio-Fase

Al poseer una máquina que consta de dos cilindros neumáticos, el primero como se había mencionado se encargan de inyectar el material, mientras que el otro abre y cierra el molde, se genera de esta forma una determinada secuencia durante el proceso que se repetirá siempre, por esta razón se estableció el siguiente diagrama Espacio-Fase de acuerdo a lo programado en la placa de control Figura 65:

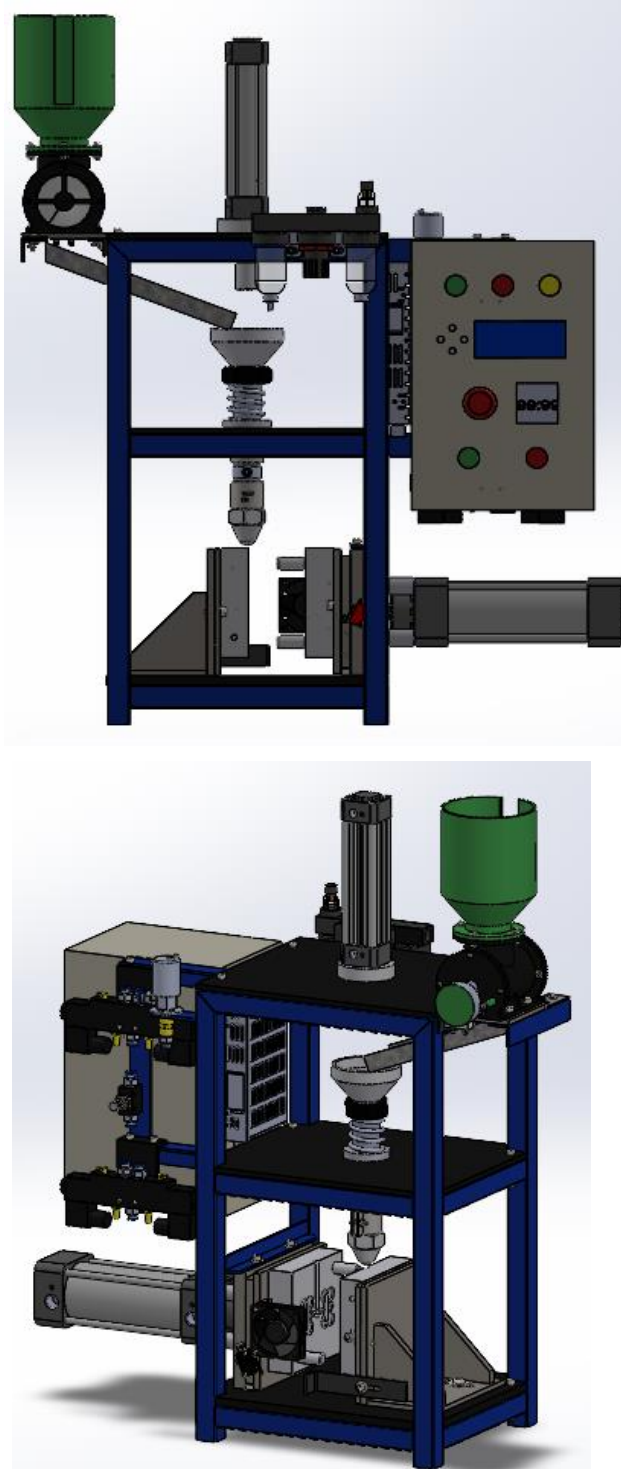


**Figura 65.** Diagrama Espacio-Fase.

**Fuente.** Autor

De acuerdo al diagrama se tiene la siguiente descripción de la secuencia: el cilindro de inyección (A) inicia desactivado, mientras el cilindro de la unidad de cierre (B) se activa para cerrar el molde cuando se presiona el pulsador de encendido (PB) y se encuentra posicionado en el final de carrera (b0), una vez que el molde se ha cerrado, este a su vez presiona el final de carrera (b1) lo cual indica que está listo para la siguiente fase, pero para eso debe esperar que el temporizador (T1) llegue a cero, en la fase dos, una vez el temporizador en cero el cilindro (A) activa su vástago y permite la inyección, mientras que el cilindro (B) se mantiene activo, para la fase tres después de un determinado tiempo cuando el temporizador (T2) está en cero el vástago del cilindro ingresa o retrocede y de igual manera el cilindro (B) se mantiene activo y finalmente en la fase cuatro el cilindro (B) retrocede su vástago cuando el temporizador (T3) llega a cero y el cilindro (A) se mantiene desactivado, retornando de esta manera los cilindros a su posición inicial lista para un nuevo ciclo. Se posee de tres temporizadores en cascada para el ciclo y de dos finales de carrera que indican cuando se abre y se cierra el molde.

Finalmente, en la Figura 66 se ilustra la máquina inyectora de modelo vertical con sus respectivos componentes, en la sección 6.11 se expone un análisis financiero del costo de fabricación de la máquina.



**Figura 66.** Máquina inyectora de modelo vertical.

**Fuente.** Autor

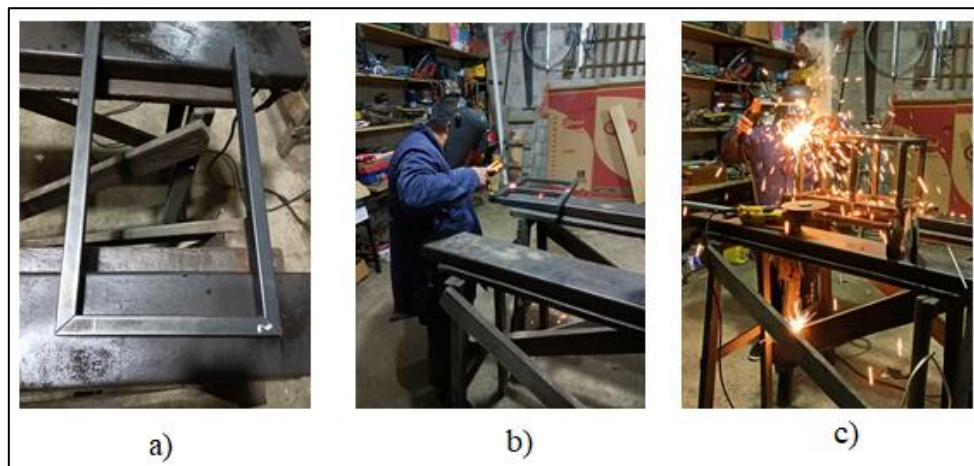
## 6.9 Construcción de la máquina de inyección vertical

Esta etapa hace referencia al proceso de manufactura que se requiere para obtener los elementos mecánicos, así como los elementos de control. Para la construcción se realizó la compra de los elementos (materia prima y partes eléctricas/electrónicas) y el maquinado de las piezas.

Dentro del proceso de manufactura llevado a cabo para la fabricación se tiene: el taladrado, soldadura, fresado, maquinado en torno y machuelado. Cabe recalcar que todo este proceso se realizó según los planos, los mismos que se encuentran consignados en los anexos.

### 6.9.1 Fabricación de la estructura principal

De acuerdo al diseño establecido y a la disposición de cada elemento, la estructura cuenta con 4 columnas y se encuentra dividida en tres secciones, las mismas que son de acero (JIS 3141) las cuales fueron soldadas para formar un rectángulo y dar forma a cada sección de la máquina Figura 67, con la estructura principal armada se montaron las estructuras secundarias las cuales vienen a ser el soporte del tablero de control, el soporte de la válvula y finalmente el soporte de la tolva de almacenamiento.



**Figura 67.** a) Ensamble de las columnas, b) Soldadura de las secciones de la máquina, c) Ensamble final de la estructura.

**Fuente.** Autor

Seguidamente, se dispuso las placas de acero ASTM A36 en cada sección para poder realizar los agujeros por los cuales se pasarán los tornillos que permitirán sujetar las placas contra la estructura y el montaje del cilindro de inyección, así como el barril de plastificación. En la Figura 68, se indica la disposición que tiene cada placa de acero.



a)

b)

**Figura 68.** a) Montaje de las placas de cada sección, b) Placas con sus respectivas perforaciones.

**Fuente.** Autor

### 6.9.2 Construcción de la unidad de inyección.

La unidad de inyección está formada por los siguientes elementos:

**Cilindro de inyección:** Este elemento fue construido con acero AISI 4140 mediante un proceso de torneado, en el cual se efectuó una perforación interna de 25 mm y un cilindrado hasta obtener un diámetro exterior de 30 mm, seguido se realizó dos roscas M30 en sus extremos Figura 69.



**Figura 69.** Fabricación del cilindro de inyección.

**Fuente.** Autor

**Tuerca de sujeción:** Este elemento se elaboró de acero AISI 4140 mediante los procesos de torneado y fresado, en su interior se efectuó un roscado M30 y un mandrilado para sujetar la tolva de alimentación Figura 70.



**Figura 70.** Tuerca de sujeción finalizada.

**Fuente.** Autor

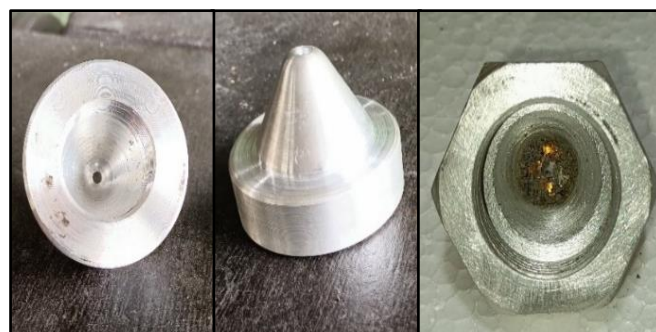
**Buje:** En la Figura 71, se muestra el elemento terminado, en el cual se realizó un proceso de cilindrado y taladrado con un diámetro interno de 30,5 mm, diámetro superior de 52 mm y diámetro inferior de 34 mm.



**Figura 71.** Buje una vez terminado el proceso de torneado.

**Fuente.** Autor

**Boquilla de inyección:** Se mecanizó en aluminio Figura 72, se inició con un proceso de cilindrado para obtener un diámetro exterior de 41.5 mm, seguido se realizó un torneado cónico para la punta que tendrá contacto con el molde, un proceso de taladrado en sus dos extremos, en uno de sus extremos se realizó un roscado para acoplar al cilindro de inyección y finalmente se efectuó un proceso de fresado para realizar la parte de la tuerca.



**Figura 72.** Secuencia de mecanizado para la obtención de la boquilla de inyección.

**Fuente.** Autor

**Émbolo de inyección:** Se encuentra fabricado en aluminio Figura 73, su proceso de mecanizado inició con un cilindrado hasta obtener un diámetro de  $24.8^{+0.01}_{-0.00}$  mm, seguido de un proceso de perforado y roscado, finalmente se realizó un fresado que permitirá ajustar en el cilindro neumático.



**Figura 73.** Mecanizado del émbolo de inyección.

**Fuente.** Autor.

**Separador:** En la Figura 74, se muestra la pieza una vez terminado el mecanizado. Se fabricó en aluminio mediante un cilindrado en el cual contiene cuatro agujeros pasantes para pernos M6 y un agujero en el centro para el paso del vástago del cilindro.



**Figura 74.** Separador del cilindro de inyección.

**Fuente.** Autor

**Tolva de alimentación:** Se realizó un torneado cónico en su parte exterior hasta obtener una dimensión en su extremo superior de 74 mm y en su extremo inferior de 29 mm Figura 75 seguido se efectuó un mandrilado hasta alcanzar en su interior una forma cónica dejando un espesor de 4mm.



**Figura 75.** Tolva de alimentación.

**Fuente.** Autor

**Tolva y sistema de almacenamiento:** Estos elementos se fabricaron en secciones mediante la impresión 3D, las cuales fueron ensambladas para formar una sola pieza Figura 76, su tiempo de fabricación fue de aproximadamente 36 horas.



**Figura 76.** Fabricación de la tolva de alimentación.

**Fuente.** Autor

### ***6.9.3 Construcción de la unidad de cierre***

**Placa fija frontal:** Este elemento se encuentra construido de una plancha de acero A36 con un espesor de 15 mm, se realizó cuatro agujeros pasantes para pernos M8 y un agujero en el centro de 36 mm Figura 77, en su extremo lateral y en sus extremos superior e inferior se realizó un proceso de roscado, para pernos M3 respectivamente.





**Figura 77.** Vista detallada de la placa fija frontal.

**Fuente.** Autor

**Placa Movil:** Se encuentra elaborado de una plancha de acero ASTM A36 con un espesor de 8 mm Figura 78, se efectuó un fresado en sus caras laterales, taladrado y roscado en sus dos caras adyacentes, en su extremo inferior y su cara frontal posee agujeros para pernos M3 y M6 respectivamente, finalmente su cara posterior se soldó una tuerca para el acople con el cilindro neumático de 63 mm.



**Figura 78.** Vista posterior de la placa móvil.

**Fuente.** Autor

**Placas portamoldes:** Este elemento consta de dos planchas fabricadas a partir de acero A36, su proceso de fabricación inició por el fresado de sus caras laterales, seguido de agujeros pasantes y roscados para finalizar con el avellanado de los agujeros pasantes.

**Placa fija posterior ajustable:** Este soporte se encuentra fabricado a partir de diferentes piezas en las cuales se realizó algunos métodos, se inició por el corte de los nervios que refuerzan la placa frontal y fresado de los mismos, seguido el corte de la plancha frontal e inferior, de igual forma se fresó, en la plancha inferior se efectuó unos agujeros chinos para el

ajuste del molde y en su cara frontal y lateral se realizaron agujeros roscados para pernos M6 y M5 Figura 79, finalmente con un proceso de soldadura se unieron todos los elementos para formar una única pieza.



**Figura 79.** Proceso de construcción de la placa fija ajustable.

**Fuente.** Autor

**Separadores:** Se fabricaron 4 separadores de acero 1018 con un proceso de cilindrado y taladrado dejando un diámetro exterior de 19 mm y un diámetro interior de 9 mm Figura 80.



**Figura 80.** Separadores que conforman la unidad de cierre.

**Fuente.** Autor

**Guías:** Se elaboró a partir de grilon mediante un fresado para obtener dos piezas que servirán de guía a la placa móvil.

**Molde:** Se fabricó de dos bloques de aluminio (dimensiones 30 mm x120 mm x 120 mm) mediante un mecanizado en una fresadora CNC Figura 81, en el cual se realizó un perfilado, seguido se efectuó las cavidades de las venas para el ingreso del material y la figura de la pieza, finalmente se taladró agujeros pasantes así como agujeros ciegos para los elementos de calefacción y de sujeción.

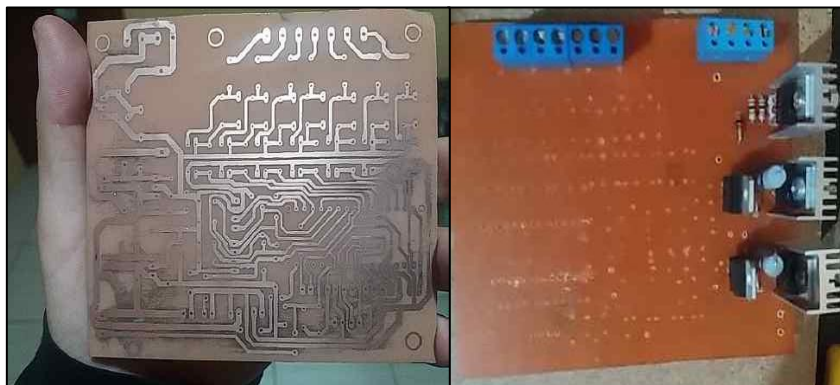


**Figura 81.** Diseño del molde a ser probado en la inyectora.

**Fuente.** Autor

#### **6.9.4 Construcción de la unidad de control.**

**Tarjeta de control:** Se fabricó de acuerdo al diseño mencionado en la sección 6.7.1 Figura 82, se inició por la impresión de las pistas, luego se pasó a la vaquelita para ser sumergida en ácido férrico, seguido se efectuó las perforaciones de acuerdo a los pines de los componentes, finalmente se montó los componentes que corresponden a la tarjeta de control y se soldó cada uno de ellos.



**Figura 82.** Fabricación y montaje de la tarjeta de control.

**Fuente.** Autor

#### **6.9.5 Ensamblaje de los elementos mecánicos, neumáticos y de control**

Una vez obtenido todos los elementos mecánicos de la máquina se realizó el ensamblaje de acuerdo al siguiente orden:

Se inició colocando las tres placas sobre la estructura principal que dividen cada sección, una vez posicionado se pasan los pernos M5 que sujetan estos elementos Figura 83, con una llave Allen se ajusta cada uno de los pernos.

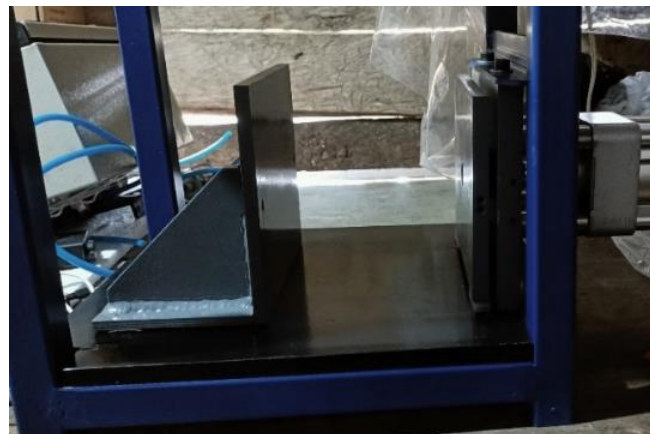


**Figura 83.** Montaje de las planchas en la estructura.

**Fuente.** Autor

Se montó la placa fija frontal de la unidad de cierre debido a sus pernos que se encuentran en la parte interna de la placa base y es de difícil acceso una vez que se haya montado todos los elementos.

Colocados los pernos en la parte inferior y superior, se ajusta hasta que la placa quede firme, se monta el cilindro neumático con sus respectivos separadores y se ajusta los pernos M8, seguido se ensambla la placa fija ajustable mediante sus dos pernos (los pernos no deben estar apretados) Figura 84, de esta forma se obtiene el montaje mecánico de la unidad de cierre.



**Figura 84.** Ensamblaje de la unidad de cierre.

**Fuente.** Autor

En el cilindro de inyección se colocó las resistencias tipo abrazaderas con una separación entre ellas de 25 mm Figura 85, mientras que la abrazadera que contiene la termocupla se ubicó en la mitad de las resistencias.



**Figura 85.** Montaje del sistema de calefacción y censado en el barril de inyección.

**Fuente.** Autor

Armado el sistema de calefacción, se ubicó, él cilindró en la estructura Figura 86, para ello se posicionó el buje en el agujero que se encuentra en la placa de acero, se introdujo desde la parte inferior del buje el barril y se colocó su respectivo resorte y la tuerca de ajuste, se instaló su boquilla y se roscó en el barril, utilizando dos llaves de expansión se ajustó la boquilla y la tuerca (Para un mejor ajuste de la boquilla realizar él apriete cuando se encuentre caliente el barril ).



**Figura 86.** Ensamblaje del sistema de inyección sobre la estructura.

**Fuente.** Autor

Por otro lado, se montó el cilindro neumático de inyección Figura 87, para ello se posicionó su separador con sus pernos, seguido se ajustó el émbolo de inyección y se introdujo en el barril con el fin de centrar el cilindro, una vez centrado se ajustaron cada perno del cilindro neumático.



**Figura 87.** Montaje del cilindro neumático de inyección.

**Fuente.** Autor

Con la unidad de inyección montada, se preparó el molde Figura 88, se partió por la colocación del sistema de calentamiento (niquelinas), seguido se montaron los dos platos porta moldes que se sujetaron con los tornillos avellanados, para luego ser llevados a la unidad de cierre, la primera mitad se montó en la placa móvil (esta parte solo debe estar alineada con la placa sin ajustar los pernos), mientras que la segunda mitad se colocó en la placa fija ajustable.



**Figura 88.** Montaje del molde en la unidad de cierre.

**Fuente.** Autor

Para centrar el molde con respecto a la boquilla se cierra el molde y se ajusta los pernos de la placa fija ajustable Figura 89, con ello se ajusta los pernos restantes que son los que se encuentran ubicados en cada placa porta molde.



**Figura 89.** Calibración del molde y ajuste de la placa fija ajustable.

**Fuente.** Autor

Para evitar la pérdida de calor del barril de inyección se colocó lana del vidrio alrededor de las niquelinas Figura 90.



**Figura 90.** Aislamiento del barril de inyección con lana de vidrio.

**Fuente.** Autor

Se finalizó el ensamblaje de la parte mecánica con el montaje de la tolva de almacenamiento y la rampa de deslizamiento del material granulado Figura 91.



**Figura 91.** Ensamblaje del sistema de alimentación y almacenamiento del material.

**Fuente.** Autor

La parte de control se armó en un gabinete metálico Figura 92, la misma que se encuentra dividida en dos secciones, las cuales son la tarjeta de control y los actuadores de potencia (relé mecánico y relé de estado sólido), la máquina se instaló a la red eléctrica de 120v mientras que la tarjeta de control a 12 v y las válvulas a 24 v.



**Figura 92.** Disposición del sistema de alimentación y control.

**Fuente.** Autor

En la puerta del gabinete se instaló el sistema de control (pantalla, pulsadores y controlador de temperatura) Figura 93.

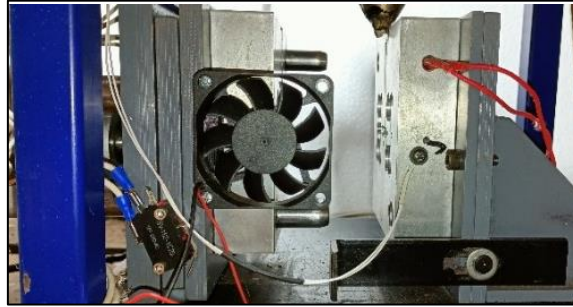


**Figura 93.** Panel de control.

**Fuente.** Autor

Con todos los elementos montados, el gabinete se ubicó en la estructura de la máquina, luego se colocaron los sensores tanto en el molde, así como en el barril y el ventilador de refrigeración Figura 94.





**Figura 94.** Sistema de calefacción y refrigeración de la unidad de cierre.

**Fuente.** Autor

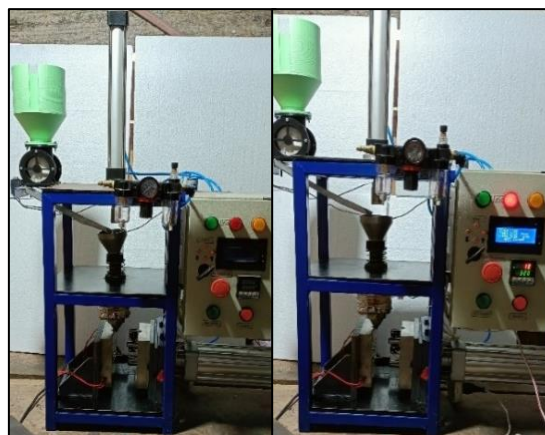
Por otro lado, las válvulas de los actuadores neumáticos se colocaron en la parte posterior del gabinete Figura 95, se cableó y se instaló la red neumática, dando por finalizado el montaje del sistema de control.



**Figura 95.** Conexión de las válvulas con la red neumática.

**Fuente.** Autor

Finalmente realizado todos los procesos mencionados anteriormente, la máquina de inyección quedó en las siguientes condiciones Figura 96.



**Figura 96.** Máquina inyectora vertical de PET terminada.

**Fuente.** Autor

A continuación, en la Tabla 31 se muestra las características de la máquina de inyección.

**Tabla 31.** Características técnicas de la máquina construida.

Parámetros	Unidad	Valor
Tipo de máquina	Eléctrica/Neumática	
Fuerza de inyección	N	400
Fuerza de cierre	N	1547
Distancia entre placas porta molde	cm	Max:14.5 Min:8.5
Volumen de inyección	cm <sup>3</sup>	41.33
Diámetro del émbolo	mm	25
Potencia calefactora	W	300
Voltaje	V	120
Frecuencia	Hz	60
Dimensiones (Largo x Ancho x Alto)	cm	72 x 35 x 91
Tamaño máximo del molde (Largo x Alto)	cm	12 x 12
Peso.	kg	32
Rango de temperatura	°C	0-400
Rango de presión de entrada	psi	80-100

**Fuente.** Autor

## 6.10 Validación

Para la validación de la máquina, se procesó las botellas plásticas obteniendo dos tipos de PET reciclado Figura 97, las cuales fueron PET en forma de pellets y PET en forma de hojuelas con el fin de aprovechar al máximo la botella (Para más detalles del proceso de preparación de la botella de PET ver Anexo 43).



**Figura 97.** Material reciclado en forma de pellets y hojuelas.

**Fuente.** Autor

Se utilizó un molde simple de inyección cuya pieza se indica en la Figura 55 la cual posee dos cavidades, pero para fines de validación se hizo uso de una sola cavidad, las dimensiones generales del molde se indican en los planos de construcción.

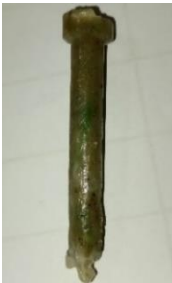

Las pruebas de validación se iniciaron con lo siguiente, se cargó el material plástico en la tolva de almacenamiento (PET paletizado y las hojuelas), para el primer ensayo se colocó los datos obtenidos en la sección 6.6.4 y se basó en el diagrama de secuencia de inyección, se ingresaron esos datos en la pantalla y se dio inicio al proceso.




Posterior a ello se realizó un proceso similar, pero variando los parámetros con el fin de obtener una pieza sin defectos y de validar el proceso de inyección, la temperatura del barril se incrementó 15 grados para cada etapa de prueba.




Ahora bien, los resultados obtenidos en la validación del plástico netamente reciclado se presentan en la Tabla 32, mientras que en la Tabla 33 se muestra los resultados con una combinación de material virgen.

El objetivo de estos ensayos es poder obtener una pieza completa y con el menor número de imperfecciones, motivo por el cual se probó con diferentes parámetros, todos los resultados se compararon hasta conseguir una pieza idéntica a la Figura 55.

**Tabla 32.** Resultados de los ensayos de validación del plástico totalmente reciclado.




#	Barril (°C)	Presión (psi)	Molde (°C)	Tiempo (s)			Reciclado (g)	Resultado	Imagen
				P	I	S			
1	260	80	25	13	10	19	15	El material plástico no se funde por completo (no hay una homogeneización), no se llena la vena del molde, además se observa un enfriamiento prematuro al inicio de la cavidad del molde, material insuficiente en el interior del cilindro, no hay pieza.	
2	260	80	25	60	10	19	18	El material no funde completo, existe una mayor homogeneidad lo cual provoca que el canal se llene casi por completo obteniendo $\frac{3}{4}$ de la vena, se observa alta rugosidad en el material solidificado y en su interior hay plástico sin fundir, presenta un enfriamiento prematuro y rechupes, contracción del material y burbujas de aire en el interior.	
3			45	60	10	19		La prueba tres y cuatro presentan los siguientes resultados, con la diferencia que los tiempos son distintos para cada uno, el material presenta mayor homogeneización, se comparó ambas piezas y se observa que la prueba cuatro presenta una superficie lisa, no existe rechupes, no hay material plástico sin fundir con respecto a la prueba tres, pero en ambas pruebas existe un enfriamiento prematuro provocando que no se llene la cavidad de la pieza, se obtiene la vena completa.	
	275	80					18		
4			50	180	15	19			

5			60	15	19			Se incrementó la cantidad de material, ambos ensayos presentas similares resultados, existe mayor homogeneidad en el barril, las superficies se encuentran completamente lisas, pequeños rechupes en la vena, la característica física sobresaliente en este ensayo es sus superficies brillante y transparente, existe mayor fluidez en el interior de la vena del molde provocando que se llene una pequeña parte de la cavidad de la pieza, pero de igual manera se presenta un enfriamiento brusco y grandes rechupes en la fracción de la pieza moldeada.	
	290	80	50				22		
6			180	15	19			Se obtiene una pieza completa, pero en un tiempo muy amplio de 8 min, de igual manera presenta rechupes en cada extremo de la pieza, presenta un color amarillento transparente debido a las impurezas del material, se generan pequeños espacios de aire al interior, su canal o vena tiene una mejor fluidez, presenta un enfriamiento uniforme sin ventilación forzada.	
7	290	80	50	480	15	19	22		
8			180	15	20			Se disminuye la cantidad del material lo cual provoca un llenado insuficiente, ambas piezas presentan similares características, son transparentes con un color amarillento, presentan una parte moldeada de la pieza, de igual forma tiene buena fluidez en el interior de la vena, presentan pequeñas rugosidades por falta del material.	
	305	80	60				20		
9			240	15	20				
10	320	80	60	360	15	12	25	El material se aumentó para tener un residuo en el interior del barril y permitir una mayor	

								<p>velocidad de fundición al plástico paletizado, se obtiene nuevamente una pieza completa en un tiempo moderado de 6 min, la misma presenta una distribución uniforme del material, aún existe aire atrapado en el interior de la pieza, posee un color amarillo transparente, no existe rechupes, el material fluye de manera correcta.</p>	
11	330	90	70	180	15	20	25	<p>Se realiza un cambio en la presión y temperatura del molde y barril, lo que provoca un recalentamiento del material (se quema el plástico), pero esto a la vez indica un menor tiempo de inyección, logrando obtener una pieza casi completa la misma que presenta material quemado en los bordes, en la vena y una transparencia en el centro.</p>	
12	320	90	70	180	15	20	25	<p>Se establece nuevamente los valores como la prueba diez con la diferencia que se aumenta la presión y temperatura del molde, dando como resultado una pieza completamente funcional, la misma que presenta un llenado completo a los 3 min, tiene un color amarillento combinado con blanco transparente, desaparecen los rechupes y las burbujas de aire en el interior, tiene una buena fluidez, mientras que la vena de igual manera desaparece los rechupes y tiene un color similar a la pieza.</p>	

**Fuente.** Autor

**Tabla 33.** Resultados de los ensayos de validación para el material reciclado con un porcentaje de material virgen.

#	Barril (°C)	Presión (psi)	Molde (°C)	Tiempo (s)			Reciclado (g)	Virgen	Resultado	Imagen
				P	I	S				
1	320	80	50	180	15	20	16	4	El material plástico reciclado contiene un porcentaje de material virgen, ocasionando una mejor fundición del mismo y esto a la vez una mayor fluidez en el interior del molde, se obtiene una pieza a la mitad con aire en el interior, posee un color marrón debido a que se mezcló con material blanco, falta de material en el barril, presenta pequeños rechupes en las esquinas de la pieza obtenida.	
2	320	80	60	240	15	20	17.5	7.5	Se aumenta el tiempo y la cantidad de material provocando una mayor homogeneización, se obtiene una pieza casi completa, no posee rechupes y tiene un color crema más claro que el ensayo uno.	
3	320	90	60	180	15	20	17.5	7.5	Se aumenta la presión, la mezcla de material virgen y reciclada ayuda al proceso de homogeneización, se obtiene una pieza completa sin rechupes, se tiene un color negro mezclado con blanco, debido al pigmento que contiene el pellet, tiene una mejor fluidez con una menor temperatura del molde.	

**Fuente.** Autor

A continuación, en la Tabla 34 se presenta el proceso de una pieza inyectada durante un ciclo continuo de carga y descarga de la pieza, el cual tiene un tiempo para el primer ciclo de plastificación o fundición (P) de 180 s, mientras el tiempo de inyección (I) es de 20 s y de solidificación (S) de 20 s mientras que el segundo ciclo comprende un tiempo de plastificación o fundición (P) de 60 s y el resto de los tiempos se mantienen igual al primer ciclo.

**Tabla 34.** Resultado de los ensayos de validación para un ciclo continuo.

Barril (°C)	Presión (psi)	Molde (°C)	Reciclado (g)	Virgen	Resultado
325	80	55	17.5	7.5	En esta prueba se obtuvo los siguientes resultados, en el primer ciclo de inyección la pieza obtenida es la vena del molde con una porción de la pieza el cual tardó 3 min, durante la etapa de solidificación del primer ciclo se cargó nuevamente el material en el barril dando inicio al segundo ciclo y al cabo de 1 min se volvió a inyectar dando como resultado una pieza completamente utilizable, la cual carecía de rechupes, con un color blanco hueso, no contiene aire al interior de la pieza, su enfriamiento es de manera uniforme sin usar ventilación forzada.



**Fuente.** Autor

La mezcla de material reciclado con material virgen, ayudó a mejorar la homogeneidad y facilitó el ingreso del material al interior del molde, reduciendo el tiempo de plastificación.

Por otro lado, en la Figura 98 se presenta la pieza en el interior del molde una vez obtenida durante el ciclo de inyección de la máquina.





**Figura 98.** Extracción de una pieza moldeada.

**Fuente.** Autor

## 6.11 Análisis financiero

### 6.11.1 Costos directos

Está asociada a los gastos de construcción tanto del circuito de control, elementos de potencia y elementos mecánicos de la máquina, etc.

En la Tabla 35 se presenta los costos de los componentes eléctricos y electrónicos, para la fabricación de la tarjeta y panel de control.

**Tabla 35.** Costos de los elementos del sistema control.

Elementos	Circuito de Control		
	Cantidad	Costo/Unidad	Costo Total
Arduino Nano	1	\$ 9,30	\$ 9,30
Optoacoplador PC817	7	\$ 0,20	\$ 1,40
Resistencias de 2w	2	\$ 0,25	\$ 0,50
Resistencias de 1/4W	31	\$ 0,03	\$ 0,78
Diodo Zener de 4,7v a 1W	8	\$ 0,10	\$ 0,80
Regulador de voltaje 78xx	2	\$ 0,50	\$ 1,00
Transistores TIP 42C	2	\$ 0,50	\$ 1,00
Transistor Mosfet IRFZ44	1	\$ 0,90	\$ 0,90
Fusible de 0,5 amperios	1	\$ 0,50	\$ 0,50
Portafusibles	1	\$ 0,30	\$ 0,30
Relé de 8 canales	1	\$ 9,50	\$ 9,50
Fuente de 12v/10 <sup>a</sup>	1	\$ 5,00	\$ 5,00
Fuente step up	1	\$ 3,50	\$ 3,50

Pantalla LCD 20X4	1	\$	13,00	\$	13,00
Capacitor cerámico	10	\$	0,03	\$	0,25
Capacitores Electrolítico	2	\$	0,15	\$	0,30
Conectores Molex	8	\$	0,20	\$	1,60
Disipadores de calor	2	\$	0,50	\$	1,00
Baquelita	1	\$	1,50	\$	1,50
Borneras de Conexión	5	\$	0,30	\$	1,50
Termistor 100K	1	\$	2,50	\$	2,50
Termostato Rex-C100	1	\$	25,00	\$	25,00
Ventilador de 12 V	1	\$	2,50	\$	2,50
Pulsadores electrónicos	5	\$	0,15	\$	0,75
Pulsadores eléctricos	2	\$	2,50	\$	5,00
Cable blindado de 3 hilos	4	\$	0,60	\$	2,40
Parada de emergencia	1	\$	5,00	\$	5,00
Finales de carrera	2	\$	0,25	\$	0,50
Luces pilotos	3	\$	2,50	\$	7,50
<b>Costo Total</b>				\$	<b>104,78</b>

**Fuente.** Autor

En la Tabla 36, se presenta los costos de los actuadores neumáticos y eléctricos.

**Tabla 36.** Costos de los actuadores.

Elementos de potencia					
Elementos	Cantidad		Costo/Unidad		Costo Total
Cilindro neumático de 32 mm vástago de 250	1	\$	61,61	\$	61,61
Cilindro neumático de 63 mm vástago de 100	1	\$	148,00	\$	148,00
Unidad de mantenimiento FRL	1	\$	15,00	\$	15,00
Válvula reguladora de caudal	1	\$	11,18	\$	11,18
Válvula solenoide 12-24v	1	\$	7,50	\$	7,50
Válvula 5/2 24v	2	\$	20,75	\$	41,50
Resistencia tipo cartucho 120 V /160 W	2	\$	7,50	\$	15,00
Acoples rápidos	14	\$	1,05	\$	14,70
Resistencias tipo abrazadera 110 V/150 W	2	\$	28,00	\$	56,00

Manguera neumática	5	\$	1,00	\$	5,00
Silenciadores neumáticos	4	\$	1,05	\$	4,20
Gabinete eléctrico	1	\$	28,00	\$	28,00
Motor síncrono 120 v/ 6rpm	1	\$	3,00	\$	3,00
Breaker bipolar 10A	1	\$	7,50	\$	7,50
Cable conductor AWG 18	1	\$	22,00	\$	22,00
Compresor 2hp 24 litros	1	\$	150,00	\$	150,00
Terminales de punta	1	\$	3,50	\$	3,50
Costo total				\$	593,69

**Fuente.** Autor

En la Tabla 37 y Tabla 38, se muestra los costos de los elementos mecánicos que fueron adquiridos, mecanizados y los diferentes accesorios.

**Tabla 37.** Costos del material utilizado y piezas mecanizadas.

Elementos mecánicos de la máquina					
Elementos	Cantidad		Costo/Unidad		Costo Total
Acero ASTM A36 DE 2 mm (250mmx300mm)	2	\$	5,50	\$	11,00
Acero ASTM A36 DE 10 mm (250mmx300mm)	1	\$	13,00	\$	13,00
Boquilla de inyección	1	\$	10,00	\$	10,00
Barril de inyección de Acero 4140 (Ø30mm,170mm)	1	\$	10,00	\$	10,00
Tuerca de sujeción del barril	1	\$	7,50	\$	7,50
Tolva de almacenamiento y mecanismo	1	\$	15,00	\$	15,00
Tolva de aluminio	1	\$	10,00	\$	10,00
Piezas impresas en 3D	1	\$	10,00	\$	10,00
Émbolo de inyección.	1	\$	2,50	\$	2,50
Molde de aluminio prodax (120mmx120mm)	1	\$	108,00	\$	108,00
Resorte	1	\$	4,00	\$	4,00
Tubo cuadrado de 20 mm de 6m	1	\$	9,50	\$	9,50

Placas porta molde, placas fijas, separadores.	1	\$	180,00	\$	180,00
Costo Total				\$	390,50

**Fuente.** Autor

**Tabla 38.** Costos de los elementos de sujeción.

Elementos de construcción					
Elementos	Cantidad		Costo/Unidad		Costo Total
Amarras pequeñas	2	\$	1,25	\$	2,50
Rollo de estaño	1	\$	1,50	\$	1,50
Libra de electrodo 6061	1	\$	2,50	\$	2,50
Perno M8 X 80	4	\$	0,75	\$	3,00
Perno M5 X 30	18	\$	0,15	\$	2,70
Perno M5 X 15	5	\$	0,10	\$	0,50
Perno M5 X 16	4	\$	0,10	\$	0,40
Perno M6 X 25	6	\$	0,20	\$	1,20
Perno M3 X 25	8	\$	0,10	\$	0,80
Perno M3 X 10	2	\$	0,05	\$	0,10
Perno M3 X 50	6	\$	0,25	\$	1,50
Perno M3 X 16	10	\$	0,10	\$	1,00
Tuercas M5	27	\$	0,07	\$	1,89
Tuercas M3	18	\$	0,05	\$	0,90
Arandelas M3	16	\$	0,04	\$	0,64
Arandelas M5	27	\$	0,04	\$	1,08
Costo Total				\$	22,21

**Fuente.** Autor

### 6.11.2 Costos Indirectos.

Está relacionado para el proceso de construcción de la máquina, los cuales son adquisición de los equipos, mecanizado, entre otros.

En la Tabla 39 y Tabla 40, se presenta los costos de los equipos utilizados para la construcción y del personal que intervino.

**Tabla 39.** Costos por uso de equipos de trabajo.

Costo de equipos y herramienta			
Concepto	Horas	Costo horario	Costo Total
Máquina fresadora CNC	4	\$ 12,50	\$ 50,00
Torno mecánico	8	\$ 5,00	\$ 40,00
Taladro de banco	1	\$ 7,50	\$ 7,50
Máquina fresadora	6	\$ 6,00	\$ 36,00
Soldadora eléctrica	2	\$ 7,50	\$ 15,00
Costo Total			\$ 148,50

**Fuente.** Autor**Tabla 40.** Costos por mano de obra.

Costo de mano de obra			
Concepto	Días	Costo/día	Costo total
Maestro Soldador	1	\$ 20,00	\$ 20,00
Maestro Tornero	2	\$ 20,00	\$ 40,00
Maestro Fresador	1	\$ 20,00	\$ 20,00
Costo Total			\$ 80,00

**Fuente.** Autor

### 6.11.3 Costo total de la construcción de la máquina

A continuación, en la Tabla 41 se presenta el costo de fabricación de la máquina, el cual involucra los costos directos e indirectos.

**Tabla 41.** Costo total de la máquina.

Costos	Descripción	Costo Total
Directos	Circuito de Control	\$ 104,78
	Elementos de Potencia	\$ 593,69
	Elementos mecánicos de la máquina	\$ 390,50
	Elementos de construcción	\$ 22,21
	Costo de mano de obra	\$ 80,00
Indirectos	Costos de equipos y herramientas	\$ 148,50
	Transporte	\$ 80,00
	Imprevistos (10% del costo de los materiales)	\$ 72,07
Costo de la construcción de la máquina		\$ 1.491,74

**Fuente.** Autor

## 7. Discusión

En el presente trabajo de investigación se construyó una máquina de inyección vertical, con esta máquina se pretende dar uso a los residuos plásticos y al mismo tiempo fomentar el reciclaje, específicamente esta máquina utiliza como materia prima los residuos plásticos del tipo PET (Polietileno tereftalato) debido a que es un material que se encuentra por todos lados, estos en su mayoría son botellas de soda y botellas de agua.

El modelo de máquina se seleccionó comparando las características que tiene este modelo con respecto a otras máquinas existentes en el mercado, la misma se analizaron de la literatura de (Beltrán Rico y Marcilla Gomis, 2012) y (Callero, 2010), por otro lado, para establecer los parámetros de operación de la máquina para inyectar el termoplástico polietileno tereftalato (PET) se utilizó literatura específica como es la de (Sánchez et al, 2005) en la cual indica que la presión de inyección para el material en estudio es de  $3.5 \text{ kg/cm}^2$  y de igual manera la temperatura requerida en el cilindro o barril es entre  $232$  a  $260 \text{ }^\circ\text{C}$ , mientras que Impi (1997) encuentra de acuerdo al perfil de temperatura en el proceso de inyección para el Pet, la temperatura para el molde puede partir desde los  $85 \text{ }^\circ\text{C}$  hasta los  $120 \text{ }^\circ\text{C}$ .

El diseño de la máquina se realizó separando por cuatro unidades: inyección, cierre, potencia y control. La unidad de inyección está constituida por elementos de alimentación, elementos mecánicos, así como de calefacción, las cuales permiten ingresar el material plástico y luego fundir para inyectar al molde, estos elementos están montados sobre placas de acero y cada elemento se diseñó por literatura específica, adicionalmente se aplicó el proceso de cálculo empelado por (Nova Arrieta y Peinado Agresott, 2019) para determinar las dimensiones del cilindro de calefacción. La unidad de cierre y potencia se encuentran relacionados, debido a que tiene como elementos de fuerza dos cilindros de la marca FESTON, el primero permite inyectar el material, mientras el segundo cilindro neumático ayuda a mantener cerrado el molde, por otro lado, los elementos de la unidad de cierre se realizaron con el fin de poder soportar la fuerza generada por el cilindro, además permite cambiar el molde de acuerdo al tamaño y a su vez sea fácil de montar y desmontar el mismo, en cuanto al sistema de potencia implementado en la máquina con respecto al sistema implementado por (Armijos Mora, 2013) se tiene que ambos sistemas mediante accionamiento neumático permiten inyectar material plástico reciclado. Por último, el sistema de control utiliza una placa en la cual se encuentra integrado una tarjeta Arduino Nano para la adquisición de datos de los

sensores, señales de los pulsadores del panel de control, así como la activación de los actuadores o de las válvulas neumáticas, la tarjeta está diseñada con el propósito de trabajar en un ambiente donde se produce ruido eléctrico debido a los diferentes elementos de fuerza como de control neumático.

Cabe destacar que a diferencia de otras máquinas de inyección de modelo vertical existentes en el mercado como las implementadas por (Nova Arrieta y Peinado Agresott, 2019) y (Armijos Mora, 2013), el modelo realizado consta con un sistema de control semiautomático, el cual ayuda a tener un control más exhaustivo en la temperatura del barril y en el molde, de igual forma permite detectar si hay apertura del molde durante la inyección del material durante el ciclo, por otro lado, la apertura del molde lo realiza de manera automática permitiendo aumentar la producción de las piezas y disminuyendo los tiempos muertos, finalmente este modelo consta de una interfaz de fácil acceso y manejo para el operario.

Con respecto a los costos que involucran construir la máquina de inyección de modelo vertical y adquirir una ensamblada en otro país con similares características, está por debajo de los costos de una máquina extranjera.

## 8. Conclusiones

- Se diseñó y construyó una máquina de inyección de modelo vertical, con una capacidad máxima de plastificación de 50 gramos de material reciclado del tipo PET y se puede hacer uso de moldes con diversas formas y figuras.
- Se recolectó información relacionada con los parámetros de inyección de materiales plásticos, así como los tipos de máquina y las partes que poseen, siendo pilar fundamental para la selección de los elementos con los cuales se diseñó y construyó la máquina.
- Se logró elaborar un código de control simple que realice todas las operaciones empleadas por el operario para que se ejecute de similar forma a una inyectora comercial y la elaboración de la tarjeta de control para el accionamiento de los distintos elementos que conforman la máquina, obteniendo buenos resultados.
- El mecanismo construido posee elementos simples y no requieren de un constante mantenimiento, la máquina está conformada en su mayoría por piezas de acero, por la característica abrasiva del plástico PET, el modelo de máquina posee las siguientes unidades:
  - Unidad de inyección.
  - Unidad de cierre.
  - Unidad de potencia (Neumático y Eléctrico).
  - Unidad de Control.
- Las condiciones obtenidas para inyectar material plástico del tipo PET reciclado y la mezcla con un porcentaje de material virgen es de 320 °C para esta máquina, con un tiempo de plastificación de 3 min a una presión de 90 psi y a una temperatura del molde de 70 °C para ciclos con parada, mientras para ciclos seguidos se requiere al inicio tres minutos y posterior a ello cada minuto a una temperatura de 325 °C, presión de 80 psi y temperatura en el molde de 55 °C.



## 9. Recomendaciones

- Construir moldes con conductos o venas de alimentación lo más cortos posible para reducir gastos de material en la vena y reducir las pérdidas de presión, por otro lado, para facilitar la extracción de la pieza, utilizar sistemas de expulsores en los moldes.
- Diseñar un émbolo y boquilla de inyección en un material que presente mayor resistencia al desgaste.
- Precalentar el cilindro de inyección antes de poner en marcha la máquina y de igual manera el molde si el material lo requiere, limpiar los residuos existentes en el interior del barril si se va a cambiar de termoplástico y realizar una prueba en vacío para verificar el estado de la máquina si es el correcto.
- Mantener un correcto control de la temperatura de trabajo de la unidad de inyección para prevenir la degradación en el material plástico durante el proceso.
- No usar moldes que superen el volumen de inyección y el área proyectada para la cual fue calculada y diseñada la unidad de cierre.
- No utilizar plásticos que superen la presión de trabajo de la máquina, así como la temperatura de operación del barril y del molde.

## 10. Bibliografía

- ACP Materials S.L. (s.f.). Obtenido de [http://acpmaterials.es/images/valenciana/fichas\\_tecnicas/aluminios/Ficha%20Tecnica%20Aluminio%20AW6061\\_ACP.pdf](http://acpmaterials.es/images/valenciana/fichas_tecnicas/aluminios/Ficha%20Tecnica%20Aluminio%20AW6061_ACP.pdf)
- AG Electrónica. (2017). Obtenido de <https://www.agelectronica.com/?n=arduino+nano>
- AINIV. (2020). Recuperado el 12 de Enero de 2020, de <http://www.ainiv.com.ec/product/filtro-regulador-lubricador-2/>
- AllTransistors. (2015). Recuperado el 12 de Enero de 2022, de <https://alltransistors.com/es/transistor.php?transistor=46904>
- Amorós, J., Mallol, G., Sánchez, E., & García, J. (2000). *DISEÑOS DE SILOS Y TOLVAS PARA ALMACENAMIENTO DE MATERIALES PULVERULENTOS. PROBLEMAS ASOCIADOS A LA OPERACIÓN DE DESCARGA*. Instituto de Tecnología Cerámica, Castelló, España. Recuperado el 21 de Diciembre de 2021, de <https://es.slideshare.net/Noonesthere/diseo-de-silos-y-tolva-para-almacenamiento-de-materia-prima>
- Armijos Mora, F. G. (2013). *Diseño e implementación de un sistema de fundición y moldeado, para la elaboración de accesorios de plásticos reciclable con fines didácticos para el AEIRNNR-UNL*. Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador. Recuperado el 3 de Enero de 2022, de <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/12218/1/Armijos%20Mora%2c%20Freddy%20Germ%2c%20a1n.pdf>
- ASCAMM. (16 de Junio de 2015). *Introducción a la tecnología de los moldes*. Recuperado el 20 de Octubre de 2021, de Dokumen: <https://dokumen.tips/documents/ascam-introduccion-a-la-tecnologia-de-los-moldes.html>
- Associates Spring Raymond. (2020). Obtenido de [https://www.metalia.es/data/empresas/BarnesGroupSpain/pdf/Catalogo\\_muelles\\_compresion-20.pdf](https://www.metalia.es/data/empresas/BarnesGroupSpain/pdf/Catalogo_muelles_compresion-20.pdf)
- Beltrán Rico, M., & Marcilla Gomis, A. (2012). *Tecnología de los polímeros*. España: une. Recuperado el 15 de Enero de 2021, de [https://www.academia.edu/37865079/TEMA\\_5\\_INYECCI%C3%93N](https://www.academia.edu/37865079/TEMA_5_INYECCI%C3%93N)

- Bodini, G., & Pessani Cacchi, F. (1992). *Moldes y Mñaquinas de inyección para la transformación de plásticos*. (Segunda ed., Vol. 1). México D.F, México: McGraw-Hill. Recuperado el 12 de Noviembre de 2020, de <https://es.scribd.com/doc/314750184/Bodinni-Moldes-y-Maquinas>
- Boronat, T. (2009). Estudio y modelización de la procesabilidad mediante moldeo por inyección de materiales termoplásticos reciclados. (*Tesis Doctoral*). Universidad Técnica de Valencia, Valencia, España. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/5024/tesisUPV3054.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Brooks, D., & Giles, G. (2002). *PET Packaging Technology*. Canada: Sheffield Academic Press. Recuperado el 17 de Noviembre de 2021, de <https://es.scribd.com/doc/256413070/Pet-Packaging-Technology>
- BrotoTermic. (s.f.). Obtenido de <https://es.scribd.com/document/395061316/catalogo-resistencias-calefactoras-pdf>
- Budynas, R., & Nisbett, K. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (Novena ed.). (P. Roig, M. T. Zapata Terrazas, Edits., & J. E. Murrieta Murrieta, Trad.) México, D.F., México: McGraw-Hill. Recuperado el 5 de Abril de 2021, de <http://www1.frm.utn.edu.ar/electromecanica/materias%20pagina%20nuevas/elementoMaquina/material/libroCabecera.pdf>
- Caballero, M. (2010). *Manual de inyección de plásticos*. Sevilla, España. Obtenido de [http://agrega.juntadeandalucia.es/repositorio/16022011/85/es-an\\_2011021612\\_9123456/manual\\_deinyeccion.pdf](http://agrega.juntadeandalucia.es/repositorio/16022011/85/es-an_2011021612_9123456/manual_deinyeccion.pdf)
- Carlos. (30 de Mayo de 2019). *Nergiza*. Recuperado el 21 de Enero de 2022, de <https://nergiza.com/calor-sensible-y-latente-que-son-y-como-influyen-en-el-aire- acondicionado/>
- Cía. General De Aceros. (13 de Septiembre de 2021). *Cia. General de Aceros S.A.* Recuperado el 14 de Diciembre de 2021, de Acero AISI / SAE 4140: <https://www.cga.com.co/producto/acero-aisi-sae-4140/>
- Creus, A. (2010). *Instrumentación Industrial* (Octava ed.). México D.F., México: Alfaomega.

Cuandovisitar.com.ec. (10 de Enero de 2023). Obtenido de <https://www.cuandovisitar.com.ec/ecuador/azogues-1188895/>

Deutschman, A. D., Michels, W. J., & Charles, E. W. (1987). *Diseño de Máquinas: Teoría y Práctica* (Primera ed.). (Continental, Ed., & J. A. Garza Cardenas, Trad.) México. Recuperado el 22 de Enero de 2021, de <chrome-extension://efaidnbnmnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Ffianemartinez.files.wordpress.com%2F2011%2F03%2Fdisec3a3c2b1o-de-maquinas-teoria-y-practica-deutschman.pdf&clen=41628140&chunk=true>

DIPAC. (Julio de 2022). Obtenido de <https://dipacmanta.com/wp-content/uploads/2022/07/Catalogo-actualizado-JULIO-2022.pdf-3.pdf>

Electronics. (s.f.). Obtenido de [https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-505825144-temostato-rex-c100-ssr-pid-kit-controlador-de-temperatura-\\_JM#position=9&search\\_layout=stack&type=item&tracking\\_id=1782e7ab-7703-4424-b3fd-b0ec5fd5a0b0](https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-505825144-temostato-rex-c100-ssr-pid-kit-controlador-de-temperatura-_JM#position=9&search_layout=stack&type=item&tracking_id=1782e7ab-7703-4424-b3fd-b0ec5fd5a0b0)

Feodosiev, V. (1972). *Resistencia de materiales* (Vol. 1). (P. Gutiérrez Mora, Trad.) Moscú, Union de Republicas Socialistas Soviéticas: MIR. Recuperado el 10 de Diciembre de 2020, de [https://www.academia.edu/40225252/Resistencia\\_de\\_Materiales\\_Feodosiev](https://www.academia.edu/40225252/Resistencia_de_Materiales_Feodosiev)

Fernández Levy, G. (1983). *Resistencia de Materiales* (Vol. II). Habana, Cuba: Pueblo y Educación.

FESTO. (2021). Obtenido de <https://www.festo.com/media/pim/619/D15000100149619.PDF>

Futurlec. (s.f.). Obtenido de <https://www.futurlec.com/Diodes/1N5230.shtml>

Groover, M. (2007). *Fundamentos de manufactura moderna*. (Tercera ed.). (R. Del Bosque, Ed.) México: Mc Graw Hill.

Gutiérrez, M., & Iturralde, S. (2017). *Fundamentos básicos de de instrumentación y control* (Primera ed.). Península de Santa Elena, Ecuador: UPSE. Obtenido de <https://www.fnmt.es/documents/10179/10666378/Fundamentos+b%3%A1sico+de+i nstrumentaci%C3%B3n+y+control.pdf/df746edc-8bd8-2191-2218-4acf36957671>

Hall, A. S., Holowenko, A. R., & Laughlin, H. G. (1971). *Diseño de Máquinas: Teoría y Problemas Resueltos* (Primera ed.). (D. Lopez Arango, Trad.) Colombia: McGraw-Hill.

Recuperado el 7 de Mayo de 2021, de <https://dokumen.tips/documents/ingenieria-mcgraw-hill-diseno-de-maquinas-schaumpdf.html>

Hamrock, B. J., Jacobson, B., & Schmid, S. R. (2000). *Elementos de máquinas*. (A. E. GarcíaHernández, Trad.) México, D.F., México: McGraw-Hill. Recuperado el 22 de Junio de 2021, de [file:///C:/Users/Edison/Downloads/kupdf.net\\_hamrock-bernard-j-elementos-de-maquinas.pdf](file:///C:/Users/Edison/Downloads/kupdf.net_hamrock-bernard-j-elementos-de-maquinas.pdf)

HCmaschinentechnik.de. (s.f.). Recuperado el 8 de Abril de 2022, de <https://hc-maschinentechnik.de/bilder/Datenblatt/Thermistor-Datenblatt.pdf>

Hermida, É. (2011). *Polímeros*. Buenos Aires, Argentina: Industria Argentina. Recuperado el 5 de Diciembre de 2020, de [http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/09\\_Polimeros.pdf](http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/09_Polimeros.pdf)

Hibbeler, R. (2012). *Análisis Estructural* (Octava ed.). (J. E. Murrieta Murrieta, Trad.) México: Pearson Educación. Recuperado el 28 de Marzo de 2022, de [https://mega.nz/file/XTJHAITJ#lgZa-X2DAfOF38Y4CHmhpIvxtgMYWi\\_eDvdT5MqmK4Y](https://mega.nz/file/XTJHAITJ#lgZa-X2DAfOF38Y4CHmhpIvxtgMYWi_eDvdT5MqmK4Y)

*I+D Electrónica*. (s.f.). Obtenido de <https://www.didacticaselectronicas.com/index.php/elementos-electromecanicos/ventiladores/ventilador-12v-0-13a-60x60x15-ventilador-ventiladores-fan,-12v-plasticos-detail>

Impi. (1997). *Enciclopedia del plástico*. México D.F., México: Impi. Recuperado el 12 de Enero de 2021, de <https://es.scribd.com/doc/209149940/LIBRO-PLASTICOS-pdf>

*INSELEC*. (09 de MAYO de 2022). Obtenido de <https://inselec.com.ec/store/supplier/11-schneider-electric-ecuador-sa-schnelectric>

*Intec*. (2021). Obtenido de [https://suministrointec.com/5-2-vias-estable/5400\\_electrovalvula-biestable-5-2-vias-ref-01v-s1-5-aignep.html](https://suministrointec.com/5-2-vias-estable/5400_electrovalvula-biestable-5-2-vias-ref-01v-s1-5-aignep.html)

*maquiclick*. (s.f.). Recuperado el 22 de Enero de 2022, de Maquinaria de inyección vertical: <https://www.fabricantes-maquinaria-industrial.es/maquinaria-vertical-inyeccion-funcionamiento/>



2Fpavisva.files.wordpress.com%2F2016%2F01%2Fmc3a1quinas-y-mecanismos-4-ed-david-h-myszka.pdf&clen=54936033&chunk=true

Naylamp *Mechatronics*. (s.f.). Recuperado el 12 de Enero de 2022, de <https://naylampmechatronics.com/conversores-dc-dc/125-convertidor-voltaje-dc-dc-step-up-2p5a-xl6009.html>

Norton, R. (2011). *Diseño de máquinas* (Cuarta ed.). (L. M. Cruz Castillo, Ed., & A. Enríquez Brito, Trad.) Naucalpan de Juárez, Estado de México, México: Prentice Hall. Recuperado el 9 de Mayo de 2021, de [https://www.academia.edu/38323857/Dise%C3%B1o\\_de\\_Maquinas\\_4edi\\_Norton](https://www.academia.edu/38323857/Dise%C3%B1o_de_Maquinas_4edi_Norton)

Nova Arrieta, M. A., & Peinado Agresott, W. V. (2019). *Diseño y Construcción de una máquina inyectora de polipropileno para fines académico e investigativos en el programa de Ingeniería mecánica de la Universidad de Córdoba*. Universidad de Córdoba, Córdoba, España. Recuperado el 09 de 05 de 2022, de <https://repositorio.unicordoba.edu.co/bitstream/handle/ucordoba/2592/novaarrietammanuel-peinadoagresottwendy.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Pardo, C. (2013). *Picuino*. Recuperado el 20 de Enero de 2022, de <https://www.picuino.com/es/estructuras-esfuerzos.html>

Perchy Becerra, Y., & Donney's Hernández, E. (1980). *Diseño y construcción de una máquina inyectora de plásticos de 80 gramos de capacidad*. Universidad Autónoma de Occidente, Cali, Colombia. Recuperado el 22 de Noviembre de 2020, de <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/4644/T0002491.pdf;jsessionid=63B173C4456DE47FDBAB64B19B90C5A0?sequence=1>

Plásticos Solanas, S.L. (5 de Enero de 2016). *Inyección vertical*. Recuperado el 9 de Mayo de 2021, de <https://plasticossolanas.com/inyeccion-vertical/>

Ramos, L. (1993). *Extrusión de Plásticos*. D.F México, México: Limusa. Recuperado el 12 de Diciembre de 2020

*Resistencias Industriales para Calentamiento*. (12 de Septiembre de 2018). Recuperado el 16 de Octubre de 2021, de Techno Injection & Tools SA de CV: <https://www.technoinjectiontools.mx/resistencias-industriales/>

- Riba Romeva, C. (2008). *Selección de materiales en el diseño de máquinas* (Primera ed.). Barcelona, España: Edicions UPC. Recuperado el 20 de Octubre de 2020, de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.3/36844/9788498804065.pdf>
- Romeco Industrial. (s.f.). Recuperado el 21 de Enero de 2022, de <https://www.romecoindustrial.com/producto/electrovalvula-neumatica-4v320-10/>
- Sánchez Valdés, S., Yáñez Flores, I., & Rodríguez Fernández, O. (2005). *Moldeo por inyección de termoplásticos*. México D.D., México: Limusa. Recuperado el 01 de Diciembre de 2020, de <https://es.scribd.com/document/175415173/Moldeo-Por-Inyeccion-de-Termoplasticos>
- Savgorodny, V. (1973). *Transformación de plásticos*. (L. Uralde, Trad.) Barcelona, España: Gustavo Gili, S.A. Recuperado el 05 de Diciembre de 2020, de [https://www.academia.edu/35550381/Kupdf\\_com\\_transformacion\\_de\\_plasticos\\_vk\\_savgorodny](https://www.academia.edu/35550381/Kupdf_com_transformacion_de_plasticos_vk_savgorodny)
- SHARP. (Julio de 2002). Recuperado el 12 de Enero de 2022, de <https://www.farnell.com/datasheets/73758.pdf>
- Tarjeta de Control*. (2021). Obtenido de Educación: [http://recursostic.educacion.es/secundaria/edad/4esotecnologia/quincena12/4quincena12\\_contenidos\\_1b.htm](http://recursostic.educacion.es/secundaria/edad/4esotecnologia/quincena12/4quincena12_contenidos_1b.htm)
- Veas, V., & Lou, J. C. (2000). *Vigas Hiperestáticas*. Universidad de Chile, Chile. Recuperado el 22 de Mayo de 2022, de [https://www.u-cursos.cl/fau/2011/2/AO505/1/material\\_docente/bajar?id=460731](https://www.u-cursos.cl/fau/2011/2/AO505/1/material_docente/bajar?id=460731)



## 11. Anexos

**Anexo 1.** Guía de uso de la máquina vertical.

### Pasos a seguir para operar

1. Utilizar mascarilla para evitar la inhalación de los gases de desprendimiento durante la plastificación que son nocivos para la salud.
2. Usar guantes y gafas de seguridad resistentes al calor para evitar quemaduras.
3. Evitar el contacto directo con los componentes mecánicos y las resistencias eléctricas durante su funcionamiento.
4. Retirar los objetos que se encuentren en el interior de la máquina antes de accionar cualquier sistema para evitar posibles accidentes.
5. No dejar elementos inflamables cerca de la máquina durante su funcionamiento.

### Manual de Uso

1. Observe la red neumática y sus actuadores para verificar que no se encuentren dañados o sueltos, en caso de algún elemento desconectado verificar el esquema neumático y eléctrico.
2. Conecte la red neumática desde el compresor hasta el filtro FRL (filtro regulador lubricador) Figura 99, revisar la presión del sistema y del compresor (este debe ser mayor que la salida del filtro).



**Figura 99.** Unidad de mantenimiento o filtro FRL.

**Fuente.** Autor

3. Revisar tanto la unidad de cierre como la unidad de inyección que no se encuentre algún elemento que no conforme la máquina y comprobar los sensores de final de carrera si se encuentran en buen estado.
4. Enchufe el conector al tomacorriente de 110 v y activar desde la caja de control los breakers para encender el panel de control y las resistencias Figura 100, cuando se encuentre

energizado el tablero se activará un indicador de color rojo y en la pantalla aparecerá un mensaje “MODO ESPERA”.



**Figura 100.** Conexión y encendido de la máquina de inyección.

**Fuente.** Autor

5. Introducir el material plástico en la tolva de almacenamiento, seguido a eso tomar tres muestras para determinar la cantidad de material que expulsa el tornillo por cada giro para luego ser pesado en una báscula digital Figura 101. Tomar un 20% adicional del material de acuerdo a la cantidad requerida para el molde (el peso del material por cada giro del tornillo estará en función del tipo de material, así como de la forma del pellet), para un pellet de botella reciclado y procesado de manera artesanal se obtiene por cada giro entre 6 a 9 gramos de material plástico.



**Figura 101.** Medición de la cantidad de material expulsado por el sistema de almacenamiento.

**Fuente.** Autor.

6. En el pirómetro o termostato configurar la temperatura que requiere el material plástico para ser inyectado Figura 102, para el PET reciclado se requiere de una temperatura de 320 °C.



**Figura 102.** Interfaz de configuración del termostato.

**Fuente.** Autor

7. En caso de utilizar un material con menor viscosidad que el PET, averiguar los parámetros de inyección para evitar recalentar o quemar el plástico y configurar el termostato.
8. Verificar en qué modo requiere que trabaje la unidad de cierre o para ser más exacto si requiere o no precalentar el molde. Si el material que se vaya a inyectar requiere de un precalentamiento del molde, configurar la temperatura apropiada. Para el material tipo PET, esta máquina requiere de un precalentamiento que está entre los 50 a 70 °C (para más detalles ver la sección de configuración).
9. Configurar la máquina o programar los temporizadores según lo requerido Figura 103, para el PET reciclado se requiere de un tiempo de fundición o plastificación (P) de 180 sg, tiempo de inyección (I) 15 sg y tiempo de solidificación de 20 sg a una presión entre los 80 a 90 psi (para más detalles ver la sección de configuración).



**Figura 103.** Interfaz del sistema de control de la máquina.

**Fuente.** Autor

10. Configurado la temperatura del barril y del molde, dejar reposar la máquina hasta que las temperaturas alcanzasen el valor programado.
11. Si la máquina es encendida por primera vez o después de un largo periodo, arrancar la máquina en vacío (sin material plástico en el interior del barril), para verificar el

funcionamiento de los actuadores neumáticos, válvulas de control, botoneras del panel de control y la parada de emergencia.

12. Si los valores de temperatura se encuentran en los valores programados, colocar la tolva de ingreso y activar el motor que contiene la tolva de almacenamiento para el ingreso del material al interior del barril Figura 104.



**Figura 104.** Ubicación de la tolva de ingreso.

**Fuente.** Autor

13. Una vez parado el ingreso del material, quitar la tolva de ingreso y presionar el botón de encendido llamado “ENCENDER” (botón verde), dando inicio al ciclo de inyección. Cuando se ponga en marcha la máquina se activará un indicador led de color verde y en la pantalla aparecerá un mensaje llamado “MODO ACTIVO” Figura 105.



**Figura 105.** Botón de encendido y mensaje de aviso durante el ciclo de inyección.

**Fuente.** Autor

14. En esta etapa es recomendable no manipular ningún elemento de la unidad de inyección como de la unidad de cierre.

15. En caso de querer parar momentáneamente el proceso, se deberá pulsar el botón inferior que se encuentra entre los botones del menú y de los desplazamientos, una vez presionado en la pantalla aparecerá un mensaje llamado “MODO PAUSA” Figura 106, para reanudar el proceso se deberá pulsar el botón de encender.



**Figura 106.** Botón de pausa y suspensión temporal con mensaje de aviso.

**Fuente.** Autor

16. En caso de surgir algún inconveniente en la inyección se deberá pulsar la parada de emergencia si es necesario, de igual manera en la pantalla se proyectará un mensaje llamado “EMERGENCIA” y se activará un indicado led de color naranja Figura 107, suspendiendo todos los procesos.



**Figura 107.** Parada de emergencia con su respectivo aviso en la pantalla LCD.

**Fuente.** Autor

17. En caso de que se haya iniciado el ciclo de inyección por error y se requiere suspender el proceso, pulsar el botón rojo llamado “PARAR”, en la pantalla aparecerá un mensaje llamado “MODO ESPERA” Figura 108, este pulsador también sirve para posicionar los actuadores neumáticos si se encuentran fuera de la posición de reposo, de esta forma el sistema se encontrará disponible para un nuevo ciclo de inyección.



**Figura 108.** Botón de parada del ciclo de inyección.

**Fuente.** Autor

18. Si el ciclo no es interrumpido, una vez finalizado el ciclo de inyección, el molde se abrirá de forma automática y dará paso al reseteo de los temporizadores y se podrá extraer la pieza, de esta forma el sistema se encontrará disponible para un nuevo ciclo de inyección.
19. Si se realiza un proceso de ciclo continuo, se deberá llenar el barril cada vez que el émbolo haya realizado la inyección y se encuentre en su posición de inicio (en la parte superior del barril de inyección).
20. La máquina al poseer 3 modos de operación, el operario deberá seleccionar qué modo requiere.

### Configuración de los temporizadores y Modos

1. Para navegar en el menú de la máquina se deberá pulsar el botón “MENÚ”, una vez presionado aparecerá una flecha al lado izquierdo de la pantalla que indicará que se ha ingresado al menú de configuración Figura 109.



**Figura 109.** Pulsadores y menú de configuración.

**Fuente.** Autor

2. Para modificar el valor del primer temporizador, ya sea para incrementar o decrementar, se deberá pulsar el botón derecho o izquierdo respectivamente, seleccionado el tiempo, se presionará el botón “MENÚ” por un periodo de 4 segundos, esto permitirá guardar el valor

en la memoria de la máquina y en la pantalla aparecerá un mensaje con la letra “G” Figura 110 que indicara que se ha guardado exitosamente el valor.



**Figura 110.** Mensaje y guardado de un valor.

**Fuente.** Autor

3. De igual manera, para el temporizador dos y tres se realiza el mismo proceso que se aplicó para el temporizador uno
4. Para configurar el modo en el cual va a trabajar el molde se debe pulsar el botón menú hasta llegar a la sección derecha de la pantalla, y con los botones de incrementar o decrementar se podrá navegar en el submenú, aquí se definirá en qué modo va a trabajar, para ello se tiene tres opciones las cuales son:
5. **Modo:** Si en la pantalla se presenta esta opción Figura 111, quiere decir que el molde se encontrará a temperatura ambiente y no se activará el sistema de calefacción, mientras que el ventilador se encontrará desactivado en todo momento.



**Figura 111.** Configuración del modo uno de la unidad de cierre.

**Fuente.** Autor

6. **NTC:** Si en la pantalla se presenta esta opción Figura 112, indicará que se va a hacer uso del sensor que se encuentra conectado al molde y del ventilador, por lo tanto, para programar esta opción se deberá pulsar de igual manera por 4 sg hasta que se guarde exitosamente esta opción.



**Figura 112.** Configuración del modo dos.

**Fuente.** Autor

Una vez definido, se deberá programar la temperatura máxima que deberá alcanzar el molde para desactivar el sistema de calefacción y la temperatura mínima a la que el sistema de calefacción volverá a encender, para ello nuevamente se hace uso del botón menú para navegar en estas opciones y con los botones de incrementar y decrementar se podrá modificar los valores y de igual forma para guardar presionamos por 4 sg el botón de menú, se debe hacer de manera individual el guardado de los valores Figura 113. El ventilador entrará en funcionamiento, en caso de que exista un aumento de la temperatura con respecto al valor máximo, y también se activara cuando el temporizador tres entre en funcionamiento lo cual ayudara a la etapa de enfriamiento o solidificación de la pieza.



**Figura 113.** Configuración de los valores máx y mín de temperatura del molde.

**Fuente.** Autor.

- 7. Clock:** Esta opción desactiva el sistema de calentamiento y por ende solo hace uso del ventilador, este modo entra en funcionamiento cada vez que el temporizador tres se activa Figura 114, acelerando el proceso de enfriamiento de la pieza, esta opción se utilizará solo en piezas que no requieran precalentamiento del molde.



**Figura 114.** Configuración tres de la máquina.

**Fuente.** Autor



De esta forma se configura la interfaz de la máquina, todos estos parámetros están en función de los materiales a inyectar.

### **Detección de averías en la parte de control y encendido de la máquina**

1. Si se ha configurado algún temporizador con un valor nuevo antes de encender el ciclo de inyección y al finalizar en la pantalla aparece el valor antiguo, verificar que se haya guardado con éxito el nuevo valor.
2. Si la máquina al presionar el botón de encender, no inicia el ciclo de inyección, comprobar que no se encuentre en el modo de configuración de los parámetros o pulsado la parada de emergencia, para ello no debe existir el cursor en la pantalla o encendido la luz piloto de color naranja.
3. Si no existe lectura del sensor, revisar que se encuentre en el modo NTC y si es el caso no hay respuesta del sensor comprobar que el mismo se encuentre en buen estado, para ello se recurre a la ayuda de un multímetro.
4. Si se ha iniciado el ciclo de inyección y ha finalizado el primer temporizador, pero no inicia el segundo, verificar que el tope que se encuentra montado en la placa fija ajustable esté tocando el final de carrera y si es el caso y la falla sigue presente, verificar la conexión o reemplazar el final de carrera.
5. Si ha finalizado el ciclo de inyección y los temporizadores no se han restaurado a sus valores programados, comprobar el final de carrera que se encuentra en la placa fija frontal, reemplazar si se encuentra defectuoso o revisar la alimentación.
6. No existe ingreso de aire a los actuadores, verificar que las válvulas 5/2 se encuentren activadas y la válvula de corneta esté funcionando, para ello se debe observar que el indicador led este encendido, si el fallo sigue presente cambiar los solenoides o revisar la alimentación.
7. No se enciende la pantalla, los actuadores y la placa de control, si sucede este problema, revisar la fuente de alimentación, el fusible de la tarjeta de control y si el problema persiste se deberá cambiar la fuente si esta se encuentra dañada o reparar la tarjeta de control.

### **Limpieza y mantenimiento de la máquina**

#### **Limpieza**

1. Si por el uso de la máquina el embolón de inyección se encuentra con material, con un trapo o un cepillo de acero, quitar el exceso de material siempre y cuando se lo haga en caliente.
2. Si en el interior del barril presenta material quemado o material pegado en la pared, con un cepillo de acero pequeño realizar la limpieza hasta que ese exceso desaparezca.

3. Limpiar la boquilla con un cepillo de acero si existe material derretido alrededor.
4. Si el molde presenta residuos de material en las paredes internas, así como en sus cavidades, con un trapo tratar de quitar todo el exceso sin rayar o deformar las caras internas del molde.
5. Material excedente en el barril, si ya no se va a hacer uso de la máquina y aún existe material en el interior del barril, accionar varias veces el cilindro de inyección hasta que se vacíe por completo y se deberá efectuar los pasos descritos anteriormente para la limpieza de cada parte.
6. Finalmente, se deberá limpiar tanto la sección de la unidad de cierre, así como la sección de la unidad de inyección con waípe para eliminar el sobrante de plástico.
7. Vaciar la tolva de almacenamiento y limpiar cada vez que se vaya a hacer uso de la máquina.

### **Mantenimiento**

Para mantener la máquina en buenas condiciones se recomienda realizar las siguientes verificaciones:

1. Comprobar el estado del filtro FRL y si dispone de lubricante para los cilindros neumáticos.
2. Verificar el estado de los elementos eléctricos y electrónicos (cables, actuadores, sensores de temperatura y resistencias eléctricas), en caso de haber daños, realizar las reparaciones adecuadas antes de poner en marcha la máquina.
3. Verificar que no exista residuos de plástico en la placa móvil, en caso de haber, retírelos para que pueda tocar los finales de carrera.
4. Revisar y apretar todos los tornillos, así como la boquilla de inyección.
5. Verificar las condiciones del sistema de la red neumática.
6. Ejecutar todo lo anterior ayudará a prolongar la vida de la máquina y a obtener un buen rendimiento.

## Anexo 2. Factor de seguridad para materiales dúctiles.

**Tabla 1.1** Características de factor de seguridad A, B y C.

Característica <sup>a</sup>		B =			
		mb	b	r	p
A = mb	mb	1.1	1.3	1.5	1.7
	b	1.2	1.45	1.7	1.95
	r	1.3	1.6	1.9	2.2
	p	1.4	1.75	2.1	2.45
A = b	mb	1.3	1.55	1.8	2.05
	b	1.45	1.75	2.05	2.35
	r	1.6	1.95	2.3	2.65
	p	1.75	2.15	2.55	2.95
A = r	mb	1.5	1.8	2.1	2.4
	b	1.7	2.05	2.4	2.75
	r	1.9	2.3	2.7	3.1
	p	2.1	2.55	3.0	3.45
A = p	mb	1.7	2.15	2.4	2.75
	b	1.95	2.35	2.75	3.15
	r	2.2	2.65	3.1	3.55
	p	2.45	2.95	3.45	3.95

<sup>a</sup> mb = muy bien, b = bien, r = regular y p = pobre.  
 A = calidad de los materiales, mano de obra, mantenimiento e inspección.  
 B = control sobre la carga aplicada a la parte.  
 C = exactitud del análisis de esfuerzos, de la información experimental o de la experiencia con partes similares.

**Tabla 1.2** Características del factor de seguridad D y E.

Característica <sup>a</sup>	D =			
	ns	s	ms	
E =	ns	1.0	1.2	1.4
	s	1.0	1.3	1.5
	ms	1.2	1.4	1.6

<sup>a</sup> ms = muy serio, s = serio y ns = no serio.  
 D = peligro para el personal.  
 E = impacto económico.

**Fuente.** (Hamrock et al 2000)

## Anexo 3. Propiedades mecánicas del acero AISI 4140.

Estado de Suministro	Resistencia tracción kg/mm <sup>2</sup>	Límite elástico kg/mm <sup>2</sup>	Alargamiento %	Reducción de área %	Dureza brinell HB
Laminado en Caliente	60/70	40	22	50	210/240
Calibrado	70/80	60	14	40	240/260
Bonificado	88/100	75	14	47	260/320

**Fuente.** (Cía. General De Aceros, 2021)

#### Anexo 4. Medidas estándar de resortes.

N.º Referencia	ALAMBRE MUSICAL							ACERO INOXIDABLE			
	Diámetro exterior (Do) mm	Diámetro de alambre (d) mm	Longitud libre (L) aprox. mm	Longitud de carga (Lc) mm	Altura sólida (Sh) aprox. mm	Carga (P) a L <sub>1</sub> N	Índice de carga (R) N/mm	N.º Referencia	Longitud de carga (Lc) mm	Carga (P) a L <sub>1</sub> N	Índice de carga (R) N/mm
C1586-162-3250-M	40.28	4.12	82.55	40.24	34.41	425.98	10.06	C1586-162-3250-S	46.42	316.28	8.75
C1586-162-3500-M	40.28	4.12	88.90	42.97	36.61	425.98	9.27	C1586-162-3500-S	49.69	316.28	8.06
C1586-162-3750-M	40.28	4.12	95.25	45.71	38.81	425.98	8.59	C1586-162-3750-S	52.95	316.28	7.47
C1586-162-4000-M	40.28	4.12	101.60	48.44	41.02	425.98	8.01	C1586-162-4000-S	56.21	316.28	6.96
C1586-177-2250-M	40.28	4.50	57.15	31.89	28.80	544.22	21.53	C1586-177-2250-S	35.83	399.43	18.72
C1586-177-2375-M	40.28	4.50	60.33	33.39	30.07	544.22	20.19	C1586-177-2375-S	37.59	399.43	17.56
C1586-177-2500-M	40.28	4.50	63.50	34.90	31.35	544.22	19.02	C1586-177-2500-S	39.36	399.43	16.54
C1586-177-2625-M	40.28	4.50	66.68	36.41	32.63	544.22	17.97	C1586-177-2625-S	41.13	399.43	15.63
C1586-177-2750-M	40.28	4.50	69.85	37.92	33.90	544.22	17.03	C1586-177-2750-S	42.90	399.43	14.81
C1586-177-2875-M	40.28	4.50	73.03	39.43	35.18	544.22	16.19	C1586-177-2875-S	44.67	399.43	14.08
C1586-177-3000-M	40.28	4.50	76.20	40.94	36.46	544.22	15.42	C1586-177-3000-S	46.44	399.43	13.41
C1586-177-3250-M	40.28	4.50	82.55	43.96	39.01	544.22	14.09	C1586-177-3250-S	49.98	399.43	12.25
C1586-177-3500-M	40.28	4.50	88.90	46.98	41.56	544.22	12.97	C1586-177-3500-S	53.52	399.43	11.28

Fuente. (Associates Spring Raymond, 2020)

#### Anexo 5. Propiedades generales del aluminio 6061.

NORMA E.N.	AW6061	
Norma U.N.E.		-
Densidad	g/cm <sup>3</sup>	2,70
Estado del tratamiento		T-5
PROPIEDADES GENERALES		
Carga de rotura	N/mm <sup>2</sup>	220
Límite elástico	N/mm <sup>2</sup>	185
Módulo elástico	N/mm <sup>2</sup>	69500
Alargamiento a 5,65%		13
Dureza	Brinell	75
PROPIEDADES FÍSICAS		
Punto de fusión	°C	610-655
Conductividad térmica	W/(K*m)	209
Coefic. dilatación termal lineal	m/(m*K)	23,4
Conductividad eléctrica	%IACS	54

Fuente. (ACP Materials S.L., s.f.)

## Anexo 6. Propiedades del acero ASTM-A36.

### PLANCHAS

### LAMINADAS AL CALIENTE

#### Especificaciones Generales:

<b>Norma:</b>	NTE INEN 115
<b>Espesores:</b>	ASTM A36 - SAE J 403 1008
<b>Espesores:</b>	2mm a 12mm
<b>Rollos:</b>	Ancho 1000, 1220, 1500mm
<b>Planchas:</b>	4 x 8 pies y medidas especiales
<b>Acabado:</b>	Acero Negro



Norma	Composición Química							Propiedades Mecánicas				Norma Equivalente
	% C	%MN	%P	%S	%SI	%CU	OTROS	Fluencia (Mpa)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Alargamiento %	Doblado 180°	
ASTM A-588M Grado A	0,19 max	0,8 1,25	0,04 max	0,05 max	0,3 0,6	0,25 0,40	Ni 0,15-0,35 Cr 0,40-0,65 V 0,02-0,10	345 min	485 min	18 min		
ASTM A-283 Grado C	0,12 0,18	0,3 0,6	0,025 max	0,03 max	0,04 max	0,2 max		205 min	380 516 max	25 min	0=1,5e	SAE 1015
JIS G-3101 5541 M	0,17 0,23	0,3 0,6	0,025 max	0,025 max	0,04 max	0,25 max		250 min	400 min 550 max	21 min		SAE 1020 ASTM A-36 ASTM A-570 GRADO 36
A 36	0,25 0,29	0,80 1,2	0,04 max	0,05 max	0,4 max	0,20 max		250 min	400 min 550 max	20 min		
A570-GR50	0,25	1,35 max	0,035 max	0,04 max				340 min	450 min 550 max	17 min	1-1/2e	

Fuente. (DIPAC, 2022)

**Anexo 7.** Clases de ajustes para elementos de máquinas.

Clase	Descripción	Tipo	Aplicaciones
1	Flojo	Holgura ↓	Donde la exactitud no es esencial, tal como en los equipos de construcción de caminos y de operación de minas
2	Libre		En cojinetes de rotación con velocidades de 600 rpm o mayores, tal como en las máquinas y en algunas partes de automóviles
3	Medio		En cojinetes de rotación con velocidades menores de 600 rpm, tales como máquinas, herramientas de precisión y partes de precisión de automóviles
4	Apretado		Donde una pequeña holgura es permisible y donde las partes móviles no se diseñan para moverse libremente bajo la acción de una carga
5	Forzado	Interferencia ↓	Donde es necesaria una presión ligera con un martillo para ensamblar las partes
6	Apretado		En ensambles semipermanentes adecuados para ajustes por contracción o impulsión en secciones ligeras
7	Medio		Donde se necesita una presión considerable para el ensamble y para ajustes por contacción de secciones medias; adecuada para ajustes a presión en armaduras de generadores y de motores, y para los rines de automóviles
8	Gran fuerza o contracción		Donde se requiere una adherencia considerable entre las superficies, tal como en las ruedas de las locomotoras y en los discos pesados de los cigüeñales de motores grandes

**Fuente.** (Hamrock et al. 2000)

**Anexo 8.** Tolerancias recomendadas en función de la clase de ajuste.

Clase	Tolerancia, $a$	Interferencia, $\delta$	Tolerancia	
			Masa, $t_m$	Eje, $t_e$
1	$0.0073d^{2/3}$	—	$0.0216d^{1/3}$	$0.0216d^{1/3}$
2	$0.0041d^{2/3}$	—	$0.0112d^{1/3}$	$0.0112d^{1/3}$
3	$0.0026d^{2/3}$	—	$0.0069d^{1/3}$	$0.0069d^{1/3}$
4	0.000	—	$0.0052d^{1/3}$	$0.0035d^{1/3}$
5	—	0.000	$0.0052d^{1/3}$	$0.0035d^{1/3}$
6	—	$0.00025d$	$0.0052d^{1/3}$	$0.0052d^{1/3}$
7	—	$0.0005d$	$0.0052d^{1/3}$	$0.0052d^{1/3}$
8	—	$0.0010d$	$0.0052d^{1/3}$	$0.0052d^{1/3}$

**Fuente.** (Hamrock et al. 2000)

**Anexo 9.** Diámetro máximo y mínimo para los tipos de ajustes.

Tipo de ajuste	Diámetro de la mesa		Diámetro del eje	
	Máximo $d_{h, \text{máx}}$	Mínimo $d_{h, \text{mín}}$	Máximo $d_{s, \text{máx}}$	Mínimo $d_{s, \text{mín}}$
Holgura	$d + t_{fr}$	$d$	$d - a$	$d - a - t_{fs}$
Interferencia	$d + t_{fr}$	$d$	$d + \delta + t_{fs}$	$d + \delta$

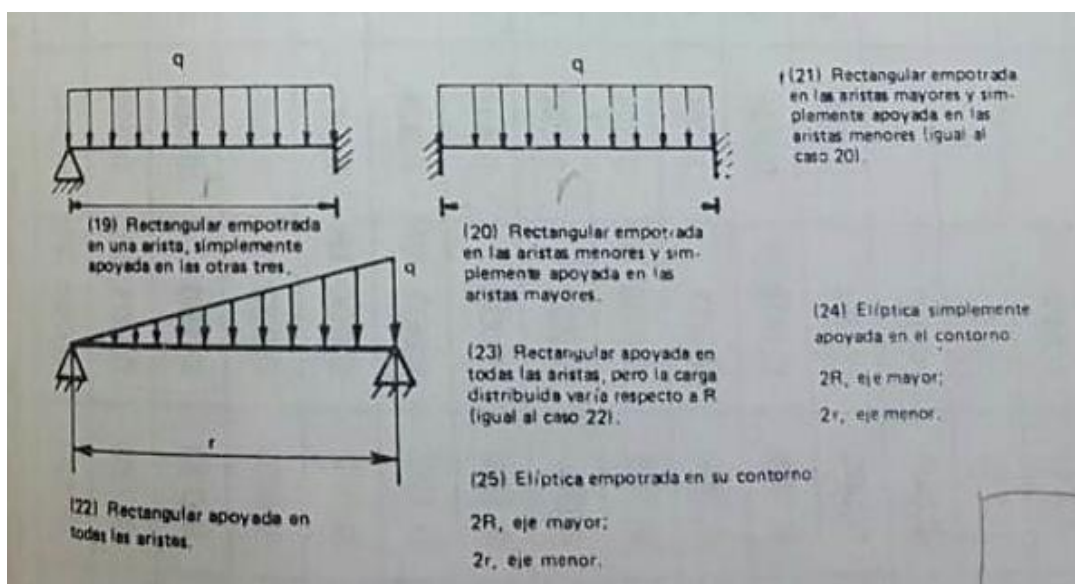
Fuente. (Hamrock et al. 2000)

**Anexo 10.** Coeficientes  $K$  y  $K_1$  para placas rectangulares y elípticas.

$\frac{R}{r}$	1,0		1,5		2,0		3,0		4,0	
Caso	$K$	$K_1$	$K$	$K_1$	$K$	$K_1$	$K$	$K_1$	$K$	$K_1$
16	0,250	0,044 3	0,346	0,084 3	0,400	0,110 6	0,450	0,133 6	0,471	0,140 0
17	0,308	0,013 8	0,454	0,024 0	0,497	0,027 7	0,500	0,028	0,500	0,028
18	0,672	0,140	0,768	0,160	0,792	0,165	0,798	0,166	0,800	0,166
19	-	0,030	-	0,070	-	0,101	-	-	-	-
20	-	0,020 9	-	0,058 2	-	0,098 7	-	0,127 6	-	-
21	-	0,021 6	-	0,027 0	-	0,028 4	-	0,028 4	-	0,028 4
22	-	0,022 1	-	0,042 1	-	0,055 3	-	0,066 8	-	0,070 0
23	-	0,022 0	-	0,043 6	-	0,059 2	-	0,077 2	-	0,090 8
24	1,240	0,700	1,920	1,260	2,260	1,580	2,600	1,880	2,760	2,020
25	0,750	0,171	1,340	0,304	1,630	0,379	1,840	0,419	1,900	0,431

Fuente. (Fernández Levy, 1983)

**Anexo 11.** Condiciones de borde para placas rectangulares y elípticas.



Fuente. (Fernández Levy, 1983)

**Anexo 12.** Propiedades mecánicas del acero JIS 3141.

**PLANCHAS DE ACERO LAF**

Planchas de acero sometidas a un proceso de laminación en frío (LAF) para reducir el espesor y obtener un mejor acabado en la superficie, calidad ASTM A1008 grado CS tipo B. norma equivalente JIS G-3141

Especificaciones: ASTM A1008 Gr. CS tipo B

Se utilizan para la fabricación de aparatos con superficies metálicas.

Propiedades Mecánicas	Límite de Fluencia (Mpa)	140-275
	Resistencia a la Tracción (kg/mm <sup>2</sup> )	-
	Alargamiento (%) en 50 mm	≥30

**Fuente.** <https://www.fiorellarepre.com.pe/FichaTecnica/605010.pdf>



### Anexo 13. Espesores comerciales para tubo cuadrado mecánico.

## TUBO MECÁNICO CUADRADO



**Especificaciones Generales:**

Norma:	NTE INEN 2415
Calidad:	JIS 3141 SPCC SD
Acabado:	Acero negro o galvanizado
Largos:	6,00m y medidas especiales
Dimensiones:	Desde 12mm a 50mm
Espesores:	Desde 0,80mm a 1,50mm

Dimensiones			Área	Ejes X-Xe Y-Y		
A mm	Espesor mm (e)	Peso Kg/m	Área cm <sup>2</sup>	I cm <sup>4</sup>	W cm <sup>3</sup>	i cm <sup>3</sup>
12	0.8	0.30	0.37	0.09	0.14	0.48
12	1.0	0.37	0.50	0.11	0.18	0.47
15	0.8	0.36	0.45	0.15	0.20	0.58
15	1.0	0.45	0.61	0.20	0.26	0.57
20	0.8	0.49	0.61	0.38	0.38	0.79
20	1.0	0.60	0.83	0.50	0.50	0.77
20	1.2	0.72	0.90	0.53	0.53	0.77
20	1.5	0.88	1.05	0.58	0.58	0.74
25	0.8	0.61	0.77	0.61	0.61	0.99

**NOMENCLATURA**

Área = Área de la selección transversal del tubo, cm<sup>2</sup>  
**I** = Momento de inercia de la sección, cm<sup>4</sup>  
**W** = Módulo resistente de la sección, cm<sup>3</sup>  
**i** = Radio de giro de la sección, cm

Fuente. (DIPAC, 2022)

### Anexo 14. Propiedades térmicas del acero AISI 4140.

Propiedad	Temperatura	Valor
<u>Coefficiente de expansión termal</u>	23,0 ° C	<a href="#">1.1E-5 - 1.4E-5 1 / K</a>
<u>Punto de fusion</u>		<a href="#">1382-1529 ° C</a>
<u>Capacidad calorífica específica</u>	23,0 ° C	<a href="#">448 - 502 J / (kg · K)</a>
<u>Conductividad térmica</u>	23,0 ° C	<a href="#">36 - 43 W / (m · K)</a>

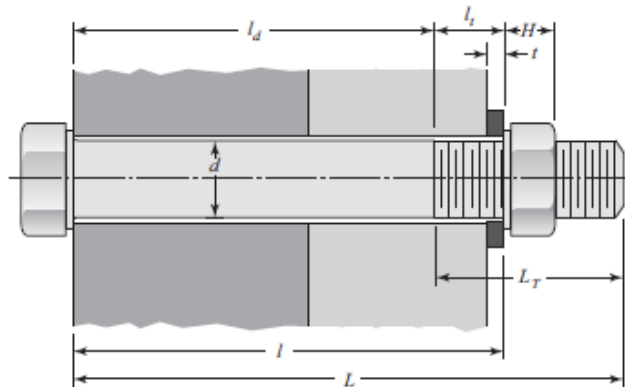
Fuente. (Matmatch, s.f.)

**Anexo 15.** Propiedades del material plástico PET.

	Units	Value
Resin properties		
Intrinsic viscosity	g/cm <sup>3</sup>	0.800
Crystalline density	g/cm <sup>3</sup>	1.400
Amorphous density	g/cm <sup>3</sup>	1.335
Bulk density	g/cm <sup>3</sup>	785
Molecular weight		
M <sub>n</sub>		26 000
M <sub>w</sub>		52 000
Crystallinity	%	50
Melting point	°C	245
Heat of fusion	kJ/kg	59
Thermal conductivity	W/mK	0.25

**Fuente.** (Brooks y Giles, 2002)

**Anexo 16.** Características de diseño para un perno.



Serie métrica

$$L_T = \begin{cases} 2d + 6 \text{ mm}, & L \leq 125 \text{ mm}, d \leq 48 \text{ mm} \\ 2d + 12 \text{ mm}, & 125 < L \leq 200 \text{ mm} \\ 2d + 25 \text{ mm}, & L > 200 \text{ mm} \end{cases}$$

Longitud de la parte sin rosca en el agarre:  $l_d = L - L_T$

Longitud de la parte rosca en el agarre:  $l_r = l - l_d$

**Fuente.** (Budynas y Nisbett, 2012)

**Anexo 17.** Dimensiones de cuerdas de tornillo del estándar métrico ISO.

Diámetro mayor $d$ (mm)	Cuerdas gruesas			Cuerdas finas		
	Paso $p$ mm	Diámetro menor $d_r$ (mm)	Área de esfuerzo por tensión $A_t$ (mm <sup>2</sup> )	Paso $p$ mm	Diámetro menor $d_r$ (mm)	Área de esfuerzo por tensión $A_t$ (mm <sup>2</sup> )
3.0	0.50	2.39	5.03			
3.5	0.60	2.76	6.78			
4.0	0.70	3.14	8.78			
5.0	0.80	4.02	14.18			
6.0	1.00	4.77	20.12			
7.0	1.00	5.77	28.86			
8.0	1.25	6.47	36.61	1.00	6.77	39.17
10.0	1.50	8.16	57.99	1.25	8.47	61.20
12.0	1.75	9.85	84.27	1.25	10.47	92.07
14.0	2.00	11.55	115.44	1.50	12.16	124.55
16.0	2.00	13.55	156.67	1.50	14.16	167.25
18.0	2.50	14.93	192.47	1.50	16.16	216.23
20.0	2.50	16.93	244.79	1.50	18.16	271.50
22.0	2.50	18.93	303.40	1.50	20.16	333.06
24.0	3.00	20.32	352.50	2.00	21.55	384.42
27.0	3.00	23.32	459.41	2.00	24.55	495.74
30.0	3.50	25.71	560.59	2.00	27.55	621.20
33.0	3.50	28.71	693.55	2.00	30.55	760.80
36.0	4.00	31.09	816.72	3.00	32.32	864.94
39.0	4.00	34.09	975.75	3.00	35.32	1028.39








**Fuente.** (Norton, 2011)

**Anexo 18.** Parámetros de rigidez de varios materiales.

Material usado	Relación de Poisson	Módulo de elasticidad,		A	B
		GPa	Mpsi		
Acero	0.291	207	30.0	0.787 15	0.628 73
Aluminio	0.334	71	10.3	0.796 70	0.638 16
Cobre	0.326	119	17.3	0.795 68	0.635 53
Hierro fundido gris	0.211	100	14.5	0.778 71	0.616 16
Expresión general				0.789 52	0.629 14

**Fuente.** (Budynas y Nisbett, 2012)

**Anexo 19.** Propiedades mecánicas para pernos métricos.

Clase de propiedad	Intervalo de tamaños, inclusive	Resistencia de prueba mínima, <sup>†</sup> MPa	Resistencia mínima a la tensión, <sup>†</sup> MPa	Resistencia mínima a la fluencia, <sup>†</sup> MPa	Material	Marca en la cabeza
4.6	M5-M36	225	400	240	Acero de bajo o medio carbono	
4.8	M1.6-M16	310	420	340	Acero de bajo o medio carbono	
5.8	M5-M24	380	520	420	Acero de bajo o medio carbono	
8.8	M16-M36	600	830	660	Acero de medio carbono, T y R	
9.8	M1.6-M16	650	900	720	Acero de medio carbono, T y R	
10.9	M5-M36	830	1 040	940	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	
12.9	M1.6-M36	970	1 220	1 100	Acero aleado, T y R	

**Fuente.** (Budynas y Nisbett, 2012)

**Anexo 20.** Altura de la tuerca para pernos métricos.

Tamaño nominal , mm				
M5	8	4.7	5.1	2.7
M6	10	5.2	5.7	3.2
M8	13	6.8	7.5	4.0
M10	16	8.4	9.3	5.0
M12	18	10.8	12.0	6.0
M14	21	12.8	14.1	7.0
M16	24	14.8	16.4	8.0
M20	30	18.0	20.3	10.0
M24	36	21.5	23.9	12.0
M30	46	25.6	28.6	15.0
M36	55	31.0	34.7	18.0

**Fuente.** (Budynas y Nisbett, 2012)

**Anexo 21.** Dimensiones básicas de arandelas simples estándar.

Tamaño de la arandela*	DI mínimo	DE máximo	Espesor máximo
5 N	5.50	11.00	1.40
5 R	5.50	15.00	1.75
5 W	5.50	20.00	2.30
6 N	6.65	13.00	1.75
6 R	6.65	18.80	1.75
6 W	6.65	25.40	2.30
8 N	8.90	18.80	2.30
8 R	8.90	25.40	2.30
8 W	8.90	32.00	2.80

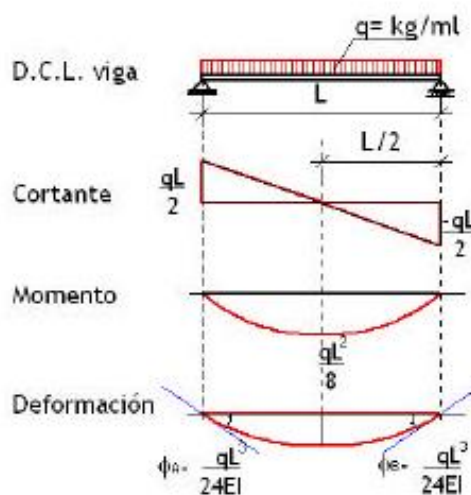
**Fuente.** (Budynas y Nisbett, 2012)

**Anexo 22.** Medidas estándar de pernos métricos.

Milímetros
0.05, 0.06, 0.08, 0.10, 0.12, 0.16, 0.20, 0.25, 0.30, 0.40, 0.50, 0.60, 0.70, 0.80, 0.90, 1.0, 1.1, 1.2, 1.4, 1.5, 1.6, 1.8, 2.0, 2.2, 2.5, 2.8, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0, 8.0, 9.0, 10, 11, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 30, 32, 35, 40, 45, 50, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 250, 300

**Fuente.** (Budynas y Nisbett, 2012)

**Anexo 23.** Formulas de cortante y momento para una viga con carga distribuida.



**Fuente.** (Veas y Lou, 2000)

**Anexo 24.** Diámetros estándar de resistencias tipo abrazaderas.



Temperatura máxima de trabajo: 450 °C  
**ABRAZADERAS HERMÉTICAS PARA BOQUILLA EN INOX**  
**MODELOS RCAH30-I**

Código	Dimensiones en mm		Wattios	Peso En kg
	Øinterior	Ancho		
RCAH30-24X34-I	Ø24	34	125	0,12
RCAH30-30X25-I	Ø30	25	140	0,11
RCAH30-30X30-I	Ø30	30	150	0,11
RCAH30-32X30-I	Ø32	30	150	0,13
RCAH30-32X38-I	Ø32	38	225	0,13
RCAH30-35X25-I	Ø35	25	160	0,12
RCAH30-35X30-I	Ø35	30	180	0,11

**Fuente.** (BrotoTermic, s.f.)

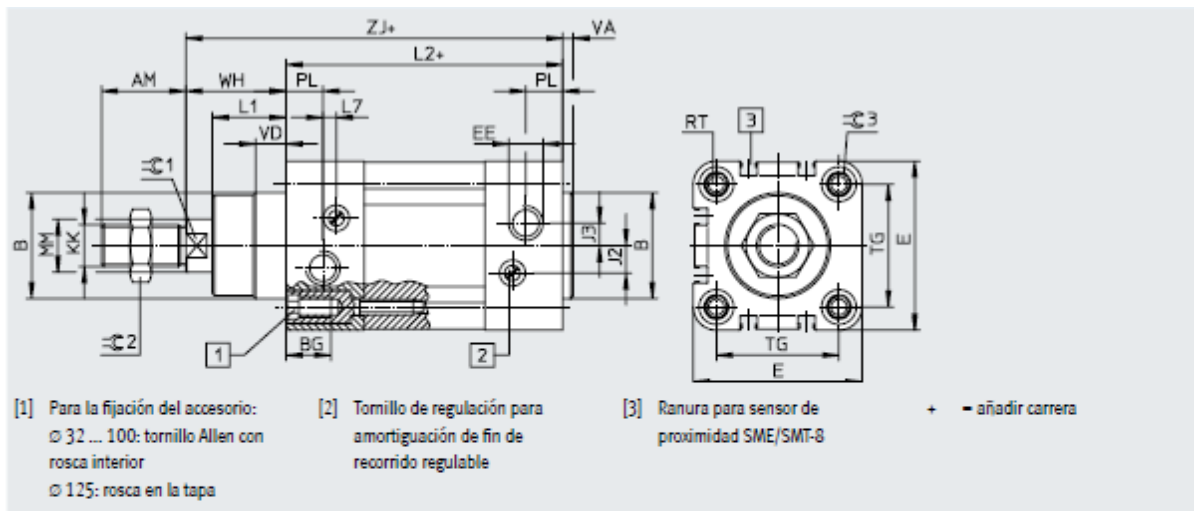
**Anexo 25.** Resistencias eléctricas tipo cartuchos.



Diámetro en mm	Longitud en mm	Wattios					Con termopar Fe-Co incorporado
6,5	30					150-200-300	
	40		100	125	165	200	200
	50		100-125-150	160	200	250	200
	60		125-170-180	200	250	315	
	80	125-170	200-250	280-300-315	350		
	100	100-160-200	220-250-315	350-400			350
	130	220	300-350-400				
	160	250-350	400				
	180	250-350	400				
	200	350-400	500				
	250	250-350-400	500				

**Fuente.** (BrotoTermic, s.f.)

**Anexo 26.** Catálogo de cilindros neumáticos FESTO SERIE ISO15552.



∅	AM	B ∅ d11	BG	E	EE	J2	J3	KK	L1	L2
32	22	30	16	45	G1/8	6	5,2	M10x1,25	18	94
40	24	35	16	54	G1/4	8	6	M12x1,25	21,5	105
50	32	40	17	64	G1/4	10,4	8,5	M16x1,5	28	106
63	32	45	17	75	G3/8	12,4	10	M16x1,5	28,5	121
80	40	45	17	93	G3/8	12,5	8	M20x1,5	34,7	128
100	40	55	17	110	G1/2	12	10	M20x1,5	38,2	138
125	54	60	22	134	G1/2	13	8	M27x2	46	160

Fuente. (FESTO, 2021)

**Anexo 27.** Catálogo de Unidad FRL.

Filter + Regulator + Lubricator			
Size	0	1	
Part No.	HZE0C08GM	HZE1C10GM	HZE1C15GM
Connections	G1/4	G3/8	G1/2
Filtration rate (µm)	5	5	5
Nominal flow rate (NI/min) <sup>(A)</sup>	550	1700	2500
Max inlet pressure (bar-MPa-psi)	10 - 1 - 145	10 - 1 - 145	10 - 1 - 145
Fluid	compressed air	compressed air	compressed air
Pressure adjustment - relieving version (bar)	0,5 ÷ 8,5	0,5 ÷ 8,5	0,5 ÷ 8,5
Pressure gauge (standard supplied)	HZ9464G	HZ9464G	HZ9464G
Pressure gauge adaptor	G1/8 <sup>(B)</sup>	G1/8 <sup>(C)</sup>	G1/8 <sup>(C)</sup>
Condensation drain capacity (cm <sup>3</sup> )	12	45	80
Condensation drain	manual	manual	manual

Fuente. (AINIV, 2020)

## Anexo 28. Características generales del convertidor DC-DC.

### ESPECIFICACIONES TÉCNICAS



- Convertidor DC-DC Boost: XL6009
- Voltaje de entrada: 5V a 32V DC
- Voltaje de salida: 7V a 35V DC
- V. Salida ajustable (Regulable por trimmer)
- Corriente de salida: máx. 2.5A (usar disipador para corrientes mayores a 2A)
- Potencia de salida: 10W
- Eficiencia de conversión: 94% máx.
- Regulación de carga:  $S(I) \leq 0.5\%$ .
- Regulación de voltaje:  $S(U) \leq 0.5\%$ .
- Frecuencia de Trabajo: 400KHz
- Protección de sobre-temperatura: SI (apaga la salida)
- Protección de corto circuito: NO
- Protección limitadora de corriente: SI (4A)
- Protección frente a inversión de polaridad: NO
- Dimensiones: 43mm\*20mm\*14mm

Fuente. (Naylamp Mechatronics, s.f.)

## Anexo 29. Características generales del REX-C100.

DIGITAL CONTROLLER

### REX SERIES INSTRUCTION MANUAL

#### 1. GENERAL INTRODUCTION

REX series PID Temperature Controller is the new product developed by our company. It adopts special microcomputer adjusting meter that employs switching power and surface mount technology (SMT), therefore, the controller is quite smart and reliable. Its special functions like auto diagnosing, auto setting and intelligent control. It can be used widely in the display and control of the parameter of the temperature, pressure, flow, and liquid level.

#### 2. MAIN TECHNICAL INDEX

2.1 Input:  
Thermocouple(TC),Resistance Temperature Detect (RTD)  
Standard Current and voltage signals.

2.2 Display:  
Process Value (PV), Setting Value(SV):-1999~+1999  
Output (OUT1, OUT2) Alarm (ALM1, ALM2) Auto setting(AT)  
Display: LED

2.3 Control way  
(1).PID Control(including ON/OFF, position PID and continuous PID)  
(2).Auto Setting Control

2.4 Accuracy  
Measurement Accuracy:0.5%FS  
Compensation error of cold terminal: 2 °C(amend within 0~50°C by soft)  
Resolution:14bit. Sampling period:0.5Sec.

2.5 Setting Range:  
Setting Value(SV): same range with PV  
Proportional Band(P):0~full range(ON/OFF Control when set to 0)  
IntegrationTime(I):0~3600Sec(no integral action when set to 0)  
Derivative Time(D):0~3600Sec(no derivative action when set to 0)  
Proportional Period:1~100Sec  
On-off control output hysteresis loop width:1~100°C.(or other PV units)

2.6 Control Output  
(1)Current output: DC 0~10Ma,4~20mA(RL<500Ω)  
(2)Voltage output: DC 0-5V,1-5V(RL>10K)  
(3)Relay output: Contact capacity:250V AC 3A(resistive load)  
(4)Voltage impulse output:0-12V(applicable for solid state relay SSR)  
(5)Silicon Controlled Rectifier(SCR) output: zero-cross triggering or phase-shift triggering(resistive load)  
(6)Alarming function output: 2 groups output at most,12 modes  
Output Contact Capacity:250V AC 3A

2.7 Other Parameters  
(1)Insulation resistance:>50MΩ(500V DC)  
(2)Insulation strength:1500V AC/min  
(3)Power consumption:<10W  
(4)Service environment:0~50°C,30~85%RH,no corrosive gas  
(5)Weight:abt.0.5Kg(C900type)

#### 4. PANEL NAME AND FUNCTION

PV: Measured value / mode display value  
SV: Setting value/mode display value  
AT: PID auto calculation indicator lamp  
OUT1: Output 1 indicator lamp  
OUT2: Output 2 indicator lamp  
ALM1: Alarm 1 indicator lamp  
ALM2: Alarm 2 indicator lamp

SET: Setting mode key <R/>S: Shift key V: Up key A: Down key

#### 5. MODEL DESCRIPTION AND MODEL SELECTION

REX-C□00 - □ □ □ □ - □ □ \* □ □

E.g: REX- C 100 - F K 02 - M \* A N

① Outline size(See Form 1)  
② Control type  
F:PID operation and auto calculation(Reverse operation)  
D:PID operation and auto calculation(Forward operation)  
③ Input type: refer to the Input Range Table (See Form2)  
④ Range Code: refer to the Input Range Table (See Form2)  
⑤ First Control Output(OUT1)(Heating side)  
M: Relay contact output 8:Current output(DC 4~20mA)  
V: Voltage impulse output (SSR)  
T: Hydration driving output  
⑥ Second Control Output(OUT2)(Cooling side)  
Null: if it doesn't have second output.  
M: Relay Contact output 8: Current output (DC 4~20mA)  
V: Voltage impulse output (SSR) T: Hydration driving output  
⑦ First Alarm(ALM1) ⑧ Second Alarm(ALM2)  
N: No alarm  
A: Upper-Limit bias alarm  
B: Lower-Limit bias alarm  
C: Upper/Lower Limit bias alarm  
D: Alarm in area  
E: Standby upper-limit bias alarm attached  
F: Standby lower-limit bias alarm attached  
G: Standby upper/lower limit bias alarm attached  
H: Upper-Limit input value alarm  
J: Lower-limit input value alarm  
K: Standby upper-limit input value alarm attached  
L: Standby lower-limit input value alarm attached

Form2: Input Range Table

Input type	Code	Input range	Code	Input range	Code	Input range	
Therm	K	K01	0-200°C	K02	0-400°C	K03	0-600°C
		K04	0-800°C	K05	0-1000°C	K06	0-1200°C
		K07	0-1372°C	K13	0-100°C	K14	0-300°C
	J	J01	0-200°C	J02	0-400°C	J03	0-600°C
		J04	0-800°C	J05	0-1000°C	J06	0-1200°C

Fuente. <https://style.oversubstance.net/wpcontent/uploads/2015/01/ManualREX->



Anexo 30. Parámetros técnicos del sensor NTC modelo 3950.

# NTC Thermistor 3950

## 100 kΩ



Nennwiderstand:	$R_{25^{\circ}\text{C}} = 100 \text{ k}\Omega \pm 1\%$
Temperatur-Koeffizient:	$B_{25,850} = 3950 \text{ K} \pm 1\%$
Temperaturbereich:	-30°C bis +270°C


### Temperatur-Widerstandstabelle

T [°C]	T [K]	R [kΩ]	T [°C]	T [K]	R [kΩ]	T [°C]	T [K]	R [kΩ]	T [°C]	T [K]	R [kΩ]
-30	243,15	1733,200	55	328,15	29,990	140	413,15	2,271	225	498,15	0,360
-25	248,15	1283,000	60	333,15	25,000	145	418,15	2,000	230	503,15	0,328
-20	253,15	959,050	65	338,15	20,900	150	423,15	1,770	235	508,15	0,2993
-15	258,15	724,800	70	343,15	17,550	155	428,15	1,589	240	513,15	0,2737
-10	263,15	551,410	75	348,15	14,760	160	433,15	1,414	245	518,15	0,2507
-5	268,15	423,700	80	353,15	12,540	165	438,15	1,259	250	523,15	0,2300
0	273,15	327,240	85	358,15	10,660	170	443,15	1,122	255	528,15	0,2114
5	278,15	254,800	90	363,15	9,100	175	448,15	0,997	260	533,15	0,1946
10	283,15	199,990	95	368,15	7,784	180	453,15	0,896	265	538,15	0,1794
15	288,15	157,600	100	373,15	6,710	185	458,15	0,797	270	543,15	0,1656
20	293,15	125,245	105	378,15	5,850	190	463,15	0,719	275	548,15	0,1531
<b>25</b>	<b>298,15</b>	<b>100,000</b>	110	383,15	5,070	195	468,15	0,643	280	553,15	0,1417
30	303,15	81,000	115	388,15	4,410	200	473,15	0,582	285	558,15	0,1314
35	308,15	65,650	120	393,15	3,850	205	478,15	0,533	290	563,15	0,1220
40	313,15	53,500	125	398,15	3,340	210	483,15	0,483	295	568,15	0,1134
45	318,15	43,780	130	403,15	2,940	215	488,15	0,437	300	573,15	0,1056
50	323,15	35,899	135	408,15	2,580	220	493,15	0,396			

Fuente. (HCmaschinenteknik.de, s.f.)


## Anexo 31. Características generales de la placa Arduino Nano.

### A000005: ARDUINO NANO



**Distribuidor  
ARDUINO autorizado**

Basico



**NIVEL DE ENTRADA**

Estas placas y módulos son los mejores para iniciar a programar un microcontrolador y adentrarte al mundo de la tecnología.

### Descripción

El Arduino Nano es una placa pequeña de desarrollo de proyectos , basada en el microcontrolador ATmega328 (Arduino Nano 3.x).

- ◆ Se conecta a una computadora a través de la conexión USB Mini-B.
- ◆ Admite la comunicación I2C utilizando la biblioteca WIRE

### Especificaciones

Microcontrolador	ATmega328
Arquitectura	AVR
Voltaje de funcionamiento	5V
Memoria flash	32KB, (2 KB son usados por el bootloader)
SRAM	2 KB
Frecuencia de reloj	16 MHz
Pines de entrada analógicos	8
EEPROM	1 KB
Corriente por cada pin I/O	40 mA
Voltaje de entrada	7 - 12V
Pines digitales I/O	22
Pines PWM	6
Consumo de corriente	19 mA
Tamaño de la placa	18 x 45 mm
Peso	7 g

**Fuente.** (AG Electrónica, 2017)

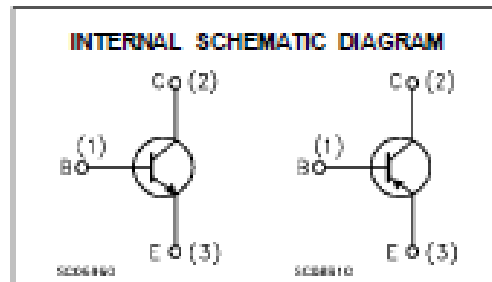
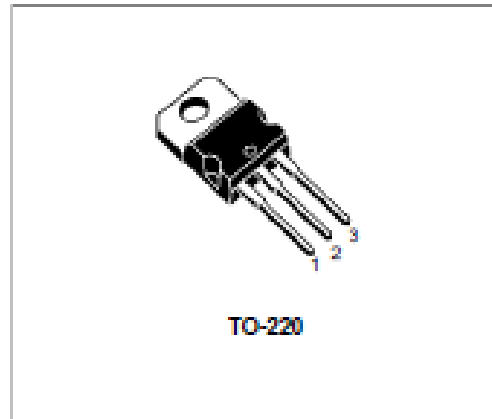
Anexo 32. Características generales del Transistor TIP41C.

**SGS-THOMSON** MICROELECTRONICS **TIP41A/41B/41C**  
**TIP42A/42B/42C**  
**COMPLEMENTARY SILICON POWER TRANSISTORS**

■ SGS-THOMSON PREFERRED SALESTYPES

**DESCRIPTION**

The TIP41A, TIP41B and TIP41C are silicon epitaxial-base NPN power transistors in Jeduc TO-220 plastic package, intended for use in medium power linear and switching applications. The complementary PNP types are TIP42A, TIP42B and TIP42C.



**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS**

Symbol	Parameter	Value			Unit	
		NPN	TIP41A	TIP41B		TIP41C
		PNP	TIP42A	TIP42B		TIP42C
$V_{CB0}$	Collector-Base Voltage ( $I_B = 0$ )	60	80	100	V	
$V_{CE0}$	Collector-Emitter Voltage ( $I_B = 0$ )	60	80	100	V	
$V_{EB0}$	Emitter-Base Voltage ( $I_C = 0$ )	5			V	
$I_C$	Collector Current	6			A	
$I_{CM}$	Collector Peak Current	10			A	
$I_B$	Base Current	3			A	
$P_{tot}$	Total Dissipation at $T_{case} \leq 25^\circ\text{C}$ $T_{amb} \leq 25^\circ\text{C}$	65			W	
		2			W	
$T_{stg}$	Storage Temperature	-65 to 150			$^\circ\text{C}$	
$T_J$	Max. Operating Junction Temperature	150			$^\circ\text{C}$	

Fuente. (AllTransistors, 2015)

## Anexo 33. Características generales del Optoacoplador PC817.

**SHARP**

PC817X Series

# PC817X Series

## DIP 4pin General Purpose Photocoupler

\*4-channel package type is also available.  
(model No. **PC847X Series**)



### ■ Description

**PC817X Series** contains an IRED optically coupled to a phototransistor.

It is packaged in a 4pin DIP, available in wide-lead spacing option and SMT gullwing lead-form option.

Input-output isolation voltage(rms) is 5.0kV.

Collector-emitter voltage is 80V(\*) and CTR is 50% to 600% at input current of 5mA.

### ■ Features

1. 4pin DIP package
2. Double transfer mold package (Ideal for Flow Soldering)
3. High collector-emitter voltage ( $V_{CE0}$ :80V(\*)
4. Current transfer ratio (CTR : MIN. 50% at  $I_F=5$  mA,  $V_{CE}=5$ V)
5. Several CTR ranks available
6. High isolation voltage between input and output ( $V_{iso(rms)}$  : 5.0 kV)

### ■ Agency approvals/Compliance

1. Recognized by UL1577 (Double protection isolation), file No. E64380 (as model No. **PC817**)
2. Package resin : UL flammability grade (94V-0)

### ■ Applications

1. I/O isolation for MCUs (Micro Controller Units)
2. Noise suppression in switching circuits
3. Signal transmission between circuits of different potentials and impedances

Fuente. (SHARP, 2002)

**Anexo 34.** Características generales del Diodo Zener 1N5230.

<b>1N5225 THRU 1N5267</b>									
<b>ZENER DIODES</b>									
<p style="font-size: small; text-align: center;">Dimensions are in inches and (millimeters)</p>			<p style="text-align: center;"><b>FEATURES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Silicon Planar Power Zener Diodes</li> <li>◆ Standard Zener voltage tolerance is <math>\pm 5\%</math> with a "B" suffix. Other tolerances are available upon request.</li> <li>◆ These diodes are also available in Mini-MELF case with the type designation ZMM5225 ... ZMM5267, SOT-23 case with the type designation MMBZ5265 ... MMBZ5267 and SOD-23 case with the types designation MMSZ5225 ... MMSZ5267.</li> </ul>						
<b>MECHANICAL DATA</b>									
Case: DO-35 Glass Case									
Weight: approx. 0.13 g									
<b>MAXIMUM RATINGS</b>									
Ratings at 25°C ambient temperature unless otherwise specified.									
		SYMBOL	VALUE	UNIT					
Zener Current (see Table "Characteristics")									
Power Dissipation at $T_{amb} = 75^\circ\text{C}$		$P_{tot}$	500 <sup>(1)</sup>	mW					
Maximum Junction Temperature		$T_J$	175	°C					
Storage Temperature Range		$T_S$	- 65 to +175	°C					
		SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT			
Thermal Resistance Junction to Ambient Air		$R_{\theta JA}$	-	-	300 <sup>(1)</sup>	°C/W			
Forward Voltage at $I_F = 200\text{ mA}$		$V_F$	-	-	1.1	Volts			
Type	Nominal Zener Voltage <sup>(2)</sup> at $I_{zr}$ $V_z$ (V)	Test Current $I_{zr}$ (mA)	Maximum Zener Impedance <sup>(3)</sup>		Typical Temperature Coefficient $\alpha_{VZ}$ (% / K)	Maximum Reverse Leakage Current		Maximum Regulator Current <sup>(2)</sup> $I_{zk}$ (mA)	
			at $I_{zr}$ $Z_{zr}$ ( $\Omega$ )	at $I_{zk}=0.25\text{mA}$ $Z_{zk}$ ( $\Omega$ )		$I_R$ ( $\mu\text{A}$ )	Test Voltage $V_R$ (V)		
1N5225	3.0	20	29	1600	-0.075	50	1.0	152	
1N5226	3.3	20	28	1600	-0.070	25	1.0	138	
1N5227	3.6	20	24	1700	-0.065	15	1.0	126	
1N5228	3.9	20	23	1900	-0.060	10	1.0	115	
1N5229	4.3	20	22	2000	-0.055	5.0	1.0	106	
1N5230	4.7	20	19	1900	$\pm 0.030$	5.0	2.0	97	
1N5231	5.1	20	17	1600	$\pm 0.030$	5.0	2.0	89	
1N5232	5.6	20	11	1600	+0.038	5.0	3.0	81	

Fuente. (Futurlec, s.f.)

### Anexo 35. Características técnicas del ventilador VN-2350.



#### Ventilador 12V 0.13A 60x60x15mm

---

Ref: VN-2350

Ventilador de 12VDC. Fabricado en plástico.

#### Descripción:

---

Ventilador de 12VDC. Fabricado en plástico.

#### Características:

- Voltaje de funcionamiento: 12V
- Corriente: 130mA
- Dimensiones: 60x60x15mm

**Fuente.** (I+D Electrónica, s.f.)

**Anexo 36.** Características de los indicadores led.

## Indicadores luminosos LED Serie AD22



### Luminosos LED AD22



Cabeza(mm)	Color	Tensión	Referencia	Embalaje
Ø 22	● Rojo	23-CC.AC24V	AD22-22D24V-R	12
		25-CC.AC48V	AD22-22D48V-R	12
		31-AC220V	AD22-22D220V-R	12
		32-AC380V	AD22-22D380V-R	12
	● Verde	23-CC.AC24V	AD22-22D24V-G	12
		25-CC.AC48V	AD22-22D48V-G	12
		31-AC220V	AD22-22D220V-G	12
		32-AC380V	AD22-22D380V-G	12
	● Amarillo	23-CC.AC24V	AD22-22D24V-Y	12
		25-CC.AC48V	AD22-22D48V-Y	12
		31-AC220V	AD22-22D220V-Y	12
		32-AC380V	AD22-22D380V-Y	12
	○ Blanco	23-CC.AC24V	AD22-22D24V-W	12
		25-CC.AC48V	AD22-22D48V-W	12
		31-AC220V	AD22-22D220V-W	12
		32-AC380V	AD22-22D380V-W	12
● Azul	23-CC.AC24V	AD22-22D24V-B	12	
	25-CC.AC48V	AD22-22D48V-B	12	
	31-AC220V	AD22-22D220V-B	12	
	32-AC380V	AD22-22D380V-B	12	

**Fuente.** (INSELEC, 2022)


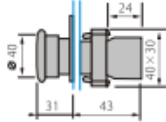

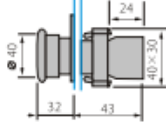

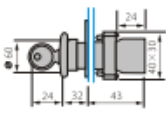
## Anexo 37. Características de la parada de emergencia.



## Pushbutton Switches

### Technical specifications

Standard	IEC60947-5-1	
Approval	CE	
Rated insulation voltage $U_i$ (V)	400	
Conventional thermal current $I_{th}$ (A)	10	
Rated operational voltage $U_e$ (V)	110,230,400	
Rated operational current $I_e$ (A)	In AC-15	2.5 for 400V, 4.5 for 230V
	In DC-13	0.3 for 230V, 0.6 for 110V
Rated frequency (Hz)	50~60	
Electrical life ( $10^5$ times)	50 for flush-headed and mushroom-head type 10 for other types	
Mechanical life ( $10^5$ times)	10 for flush-headed and mushroom-head type 3 for button with light 1 for other types	
Degree of protection	IP40	
Pollution degree	3	
Oversvoltage category	II	
Ambient temperature(°C)	-5 to +40, max. 95 % humidity	
Storage temperature(°C)	-30 ~+65	
Maximum operating altitude (meters)	2000	

Metal headed and mushroom headed emergency stop pushbutton	Contact position	Diameter	Description	Type code Order code		Overall dimensions
				Type code	Order code	
	N/C	Ø40	push pull red	35A8-BT42	24830	
	N/C	Ø60		35A8-BX42	24831	
	N/C	Ø30	turn to release	35A8-B5442	24832	
	N/C	Ø40	red	35A8-B5542	24833	
	N/C	Ø60	red	35A8-B5642	24834	
	N/C	Ø40	Key release	35A8-B5142	24836	
	N/C	Ø60	red	35A8-B5242	24837	



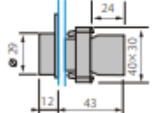

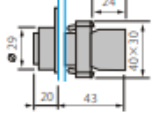

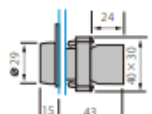

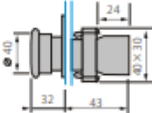

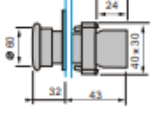
Fuente. (INSELEC, 2022)



### Anexo 38. Características de los pulsadores eléctricos.

#### Technical specifications

Standard	IEC60947-5-1
Approval	CE
Rated insulation voltage $U_i$ (V)	400
Conventional thermal current $I_{th}$ (A)	10
Rated operational voltage $U_e$ (V)	110,230,400
Rated operational current $I_e$ (A)	In AC-15 2.5 for 400V, 4.5 for 230V In DC-13 0.3 for 230V, 0.6 for 110V
Rated frequency (Hz)	50~60
Electrical life ( $10^5$ times)	50 for flush-headed and mushroom-head type 10 for other types
Mechanical life ( $10^5$ times)	10 for flush-headed and mushroom-head type 3 for button with light 1 for other types
Degree of protection	IP40
Pollution degree	3
Overvoltage category	II
Ambient temperature(°C)	-5 to +40, max. 95 % humidity
Storage temperature(°C)	-30 ~+65
Maximum operating altitude (meters)	2000

Metal headed pushbutton spring return	Contact position	Color	Description	Type code	Order code	Overall dimensions
		N/O	flush pushbuttons	3SAB-BA11	34894	
		N/O		3SAB-BA21	34895	
		N/O		3SAB-BA31	34896	
		N/O		3SAB-BA51	34897	
		N/O		3SAB-BA61	34898	
		N/C		3SAB-BA22	34899	
		N/C		3SAB-BA42	34900	
		N/O	projecting pushbuttons	3SAB-BL21	24805	
		N/O		3SAB-BL31	24806	
		N/O		3SAB-BL51	24807	
		N/O		3SAB-BL61	24808	
		N/C		3SAB-BL22	24809	
		N/C		3SAB-BL42	24810	
		N/O	booted pushbuttons	3SAB-BP21	24811	
		N/O		3SAB-BP31	24812	
		N/O		3SAB-BP51	24813	
		N/O		3SAB-BP61	24814	
		N/C		3SAB-BP42	24815	
		N/O	mushroom head pushbuttons $\phi 40$ mm	3SAB-BC21	24816	
		N/O		3SAB-BC31	24817	
		N/O		3SAB-BC51	24818	
		N/O		3SAB-BC61	24819	
		N/C		3SAB-BC42	24820	
		N/O	mushroom head pushbuttons $\phi 60$ mm	3SAB-BR21	24821	
		N/C		3SAB-BR42	24822	

Fuente. (INSELEC, 2022)

## Anexo 39. Características del termo par tipo K.

### TERMOPARES FABRICADOS Y ESPECIALIZADOS

Compre estos y otros artículos en [rspro.com](https://rspro.com)



#### Termopar con arandela



TIPO	LONGITUD	CABLE	TERMINACIÓN	RANGO DE TEMPERATURA	N.º DE STOCK
K	2 metros	Fibra de vidrio aislada, trenza de acero inoxidable	Enchufe estándar	de -60 °C a 350 °C	131-4761
J	2 metros	Fibra de vidrio aislada, trenza de acero inoxidable	Enchufe estándar	de -60 °C a 350 °C	131-4744

#### Termopar con boquilla



TIPO	LONGITUD	CABLE	TERMINACIÓN	RANGO DE TEMPERATURA	N.º DE STOCK
K	2 metros	Fibra de vidrio aislada, trenza de acero inoxidable	Enchufe estándar	de -60 °C a 350 °C	131-4745

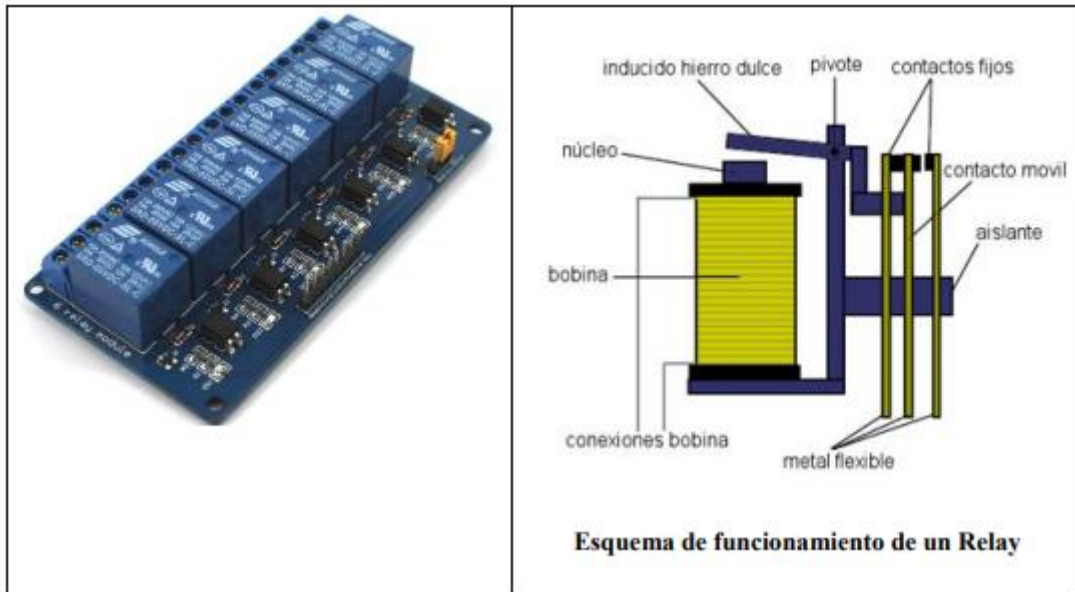
#### Termopar con lámina de acero inoxidable



TIPO	LONGITUD	CABLE	TERMINACIÓN	RANGO DE TEMPERATURA	N.º DE STOCK
K	2 metros	Fibra de vidrio aislada, trenza de acero inoxidable	Enchufe estándar	de -60 °C a 350 °C	131-4746

Fuente. <https://docs.rs-online.com/ce8f/A700000007389435.pdf>

## Anexo 40. Características técnicas de un módulo relé.



### Descripción del Producto

Plataforma: Arduino 8051 AVR PIC DSP ARM MSP430 TTL. (Son distintas plataformas)

Control Dispositivos varios/cargas

Voltaje de operación 250VAC/30VDC

Voltaje de la bobina (relé) 5V

Corriente de operación 10A. *Algunos fabricantes aclaran:*

**Corriente máx: 10A (NO), 5A (NC)**

**Tiempo de acción: 10 ms / 5 ms**

**Corriente de activación por relé 15mA~20mA**

Canales 1-2 - 4 - 6 -8 (independientes protegidos con Optoacopladores)

LED indicador Para cada canal (cuando bobina está activa)

**Fuente.** <https://www.bolanosdj.com.ar/MOVIL/ARDUINO2/moduloRele.pdf>

#### Anexo 41. Características de la electroválvula 5/2.



5/2 Biestable

#### VÁLVULAS DE ACCIONAMIENTO ELECTRONEUMÁTICO

Caudal con aproximación a 6 bar:

- 1/8: 740 NI/min.
- 1/4: 1200 NI/min.
- 1/2: 5000 NI/min.

Presión de ejercicio:

- Monoestable: 2-10 bar.
- Biestable: 1-10 bar.

Temperatura: -10° C a +60° C.

Materiales y componentes:

- Cuerpo en aluminio anodizado y barnizado. Corredera en aluminio niquelado químicamente. Juntas en NBR.

Tensión bobina: 24V DC - 12V DC - 24V AC - 110V AC - 220V AC.

Potencia mínima: 2W - 3VA.

Comando manual: Biestable.

Par de apriete de la tuerca sobre la bobina: 0,6 Nm.

**Fuente.** (Intec, 2021)

**Anexo 42.** Características generales de una válvula de corneta.



Salida de aire: 1/4" npt-male  
Entrada de aire: 1/8" NPT hembra  
Incluye un 1/4" Barb  
Ajuste para 1/4" ID Manguera  
Max PSI: 180  
Paquete incluye:  
1 x Air Horn Solenoide

**Fuente.** <https://www.amazon.com/-/es/Heavy-el%C3%A9ctrico-v%C3%A1lvula-solenoide-Truck/dp/B01EFQ8C54>

**Anexo 43.** Proceso de paletización de las botellas plásticas recicladas.





## Anexo 44. Código de control.

<pre>#include &lt;EEPROM.h&gt; #include &lt;LiquidCrystal_I2C.h&gt; LiquidCrystal_I2C lcd (0x27, 20, 4); #define P_PAUSA 5 // PAUSA LA MÁQUINA #define P_MAS 4 // INCREMENTA EL VOLOR DE LOS 3 TEMPORIZADORES #define P_OK 3 // GUARDA LOS VALORES DE LOS TEMPORIZADORES Y PERMITE NAVEGAR POR EL MENÚ #define P_MEN 2 // DECREMENTA EL VALOR DE LOS 3 TEMPORIZADORES #define P_OFF 6 // PARA EL PROCESO DE INYECCIÓN #define P_ON 7 // ENCIENDE LA MÁQUINA #define P_EME 8 // PAUSA LA MÁQUINA #define FINAL_CIERRE 10 // SENA CUANDO EL MOLDE SE HA CERRADO #define FINAL_ABIERTO 11 // SENA CUANDO EL PISTÓN ABRE EL MOLDE Y RETORNA A SU POSICIÓN INICIAL #define GENERAL A0 #define ACTU_A1 12 #define ACTU_A2 A1 #define VENTILADOR 1 #define CALEFACTOR A3 #define VALVULA A2 #define SENSOR A6 // TIEMPOS PARA LAS TAREAS ASIGNADAS unsigned long ACT = 0; unsigned long ANT = 0; unsigned long PER = 150; unsigned long ANT_1 = 0; //REFESCA LA PANTALLA unsigned long ANT_2 = 0; //ACTUALIZA EL RETROCESO DEL TEMPORIZADOR unsigned long PER_2 = 1000; unsigned long ANT_3 = 0; //PARA ALMACENAR LOS VALORES DE LOS TIEMPORIZADORES EN LA EEPROM unsigned long PER_3 = 2500; unsigned long ANT_4 = 0; //PARA LA LECTURA DEL SENSOR unsigned long PER_4 = 500;</pre>	<pre>void ENTRADAS () { if (ACT - ANT &gt;= PER) { ANT = ACT; ///////// if (digitalRead (P_OK) == HIGH) { ANT_3 = ACT; } if (!digitalRead (P_OK) &amp;&amp; (ACT - ANT_3 &lt;= PER_3)) { EST_AUX = 0; } if (!digitalRead (P_OK) &amp;&amp; (ACT - ANT_3 &gt;= PER_3)) { EST_AUX = 1; } } if (digitalRead (P_OK) == HIGH &amp;&amp; EST_AUX == 0 &amp;&amp; ENCENDER != 1) { if (MENI == 0) { if (MODOS == 0) { MENS++; if (MENS &gt;= 5)MENS = 0; } } if ( MODOS == 1) { SUB_TEMP ++; if (SUB_TEMP &gt;= 3) { SUB_TEMP = 0; } } } } LIMPIAR (); EST_AUX = 1; } ///// EVITA EL REBOTE PARA EL SUBMENU DE LAA SELECCION DEL MOLDE if (digitalRead(P_MAS) == HIGH &amp;&amp; digitalRead(P_MEN) == HIGH) { EST_AUX_8 = 0; } } ///// if (digitalRead(P_MAS) == LOW) { if (MENS == 4) { MENI++; if (MENI &gt;= 2)MENI = 1;</pre>	<pre>// CUANDO SE ESTÉ NAVEGANDO EN EL SUBMENU DEL MENU 4 if (MODOS == 1) {  if (SUB_TEMP &gt;= 0) { lcd.setCursor(13, 2); lcd.print (MAX_T); lcd.setCursor(17, 2); lcd.print (MIN_T); } }  if (MODOS == 2) { lcd.setCursor(14, 2); lcd.print ("AUTO"); } } // SUBMENU DEL CONTROL DEL VENTILADOR if (MENS == 3) { lcd.setCursor (13, 1); }  if (MODOS == 1) { lcd.print ("NTC "); AUX_SAL = 1; } if (MODOS == 2) { lcd.print ("CLOCK "); AUX_SAL = 1; } } if (MODOS == 0) { lcd.setCursor (13, 1); lcd.print ("MODO "); } } // CONDICIONES PARA LA PANTALLA if (!digitalRead (P_EME)) { lcd.setCursor(0, 3); lcd.print (" !! EMERGENCIA !! "); } } else { lcd.setCursor(0, 3); if (ENCENDER == 1) { lcd.print (" MODO ACTIVO ");</pre>	<pre>if (T1 == 0 &amp;&amp; T2 != 0 &amp;&amp; EST_AUX_4 == 1) { digitalWrite ( ACTU_A2, LOW); // PERMITE SALIR AL ÉMBOLO PARA INYECTARA EL MATERIAL PLÁSTICO } if (T2 == 0) { digitalWrite ( ACTU_A2, HIGH); // RETROCEDE EL ÉMBOLO UNA VEZ INYECTADO if (VAL_3 == 2) { digitalWrite ( VENTILADOR, LOW); } } if (T3 == 0) { digitalWrite ( ACTU_A1, HIGH); // RETROCEDE EL ÉMBOLO PARA ABRIR EL MOLDE ENCENDER = 0; //TERMINADO EL CICLO DE INYECCION RESETEA EL VALOR PARA INICIAR UN NUEVO CICLO DE INYECCION } } // POSICIONA TODO LOS ACTUADORES Y TIMER SEGUN LO PROGRAAMADO if ( ENCENDER == 0 &amp;&amp; EST_AUX_7 != 1) { digitalWrite ( ACTU_A1, HIGH); digitalWrite ( ACTU_A2, HIGH); if (digitalRead(FINAL_ABIERTO) == HIGH    digitalRead(P_EME) == LOW) { digitalWrite ( GENERAL, HIGH); digitalWrite ( VALVULA, HIGH); if (VAL_3 == 2) { digitalWrite ( VENTILADOR, HIGH); } } if (T3 == 0) { EST_AUX_3 = 0; //ENCENDER = 0; } } } // EN CASO DE PRESIONAR EL BOTON OFF Y SI LOS ACTUADORES ESTAN SALIDOS LOS POSICIONA EN EL ORIGEN</pre>
---	---	---	---



<pre> unsigned long ANT_5 = 0; //PERMITE UN RETARDO EN EL CIERRE DEL MOLDE UNA VEZ CERRADO unsigned long PER_5 = 4000; unsigned long ANT_6 = 0; //PERMITE UN RETARDO EN EL APAGADO DEL VENTILADOR unsigned long PER_6 = 10000; // VARIABLES PARA INCREMENTAR Y DECREMENTAR LOS TEMPORIZADORES int T1 = 0; int T2 = 0; int T3 = 0; int F = 600; // char TEMPO1[10]; char TEMPO2[10]; char TEMPO3[10]; char PIEZAS[10]; //MENU PRINCIPAL Y SECUNDARIO int MENI = 0; // PERMITE CABIAR DE MENU int MENS = 4; // PERMITE CONFIGURAR LOS TIMER Y EL MODO DE TRABAJO DEL MOLDE // VARIABLES AUXILIARES int AUX = 0; int EST_AUX = 1; // EVITA EL REBOTE DEL PULSADOR P_OK int EST_AUX_1 = 0; // EVITA EL REBOTE DEL PULSADOR P_ON int EST_AUX_2 = 0; // EVITA EL REBOTE DEL PULSADOR P_OFF int EST_AUX_3 = 0; // VARIABLE AUXILIAR Q PERMITE REALIZAR SOLO UNA LECTURA CADA VEZ QUE SE GUARDE UN VALOR DISTINTO int EST_AUX_4 = 0; // INDICA QUE EL MOLDE SE HA CERRADO O EL PFINAL DE CARRERA SE HA PRESIONADO int EST_AUX_5 = 1; // PERMITE ACTIVAR EL TEMPORIZADOR 2 int EST_AUX_6 = 0; int EST_AUX_7 = 0; //PERMITE DESACTIVAR LA PAUSA DE LA MAQUIN int EST_AUX_8 = 0; // EVITA EL REBOTO EN EL SUBMENU DE LA PANTALLA PRINCIPAL </pre>	<pre> LIMPIAR (); } if (MENS == 0) { T1++; if (T1 &gt;= F)T1 = F; } if (MENS == 1) { T2++; if (T2 &gt;= F)T2 = F; } if (MENS == 2) { T3++; if (T3 &gt;= F)T3 = F; } if (MENS == 3) { if (SUB_TEMP == 0 &amp;&amp; EST_AUX_8 == 0) { MODOS++; if (MODOS &gt;= 3)MODOS = 2; lcd.setCursor(13, 2); lcd.print(" "); // LIMPIA EL SUBMENU EST_AUX_8 = 1; } if (MODOS == 1) { if ( SUB_TEMP == 1) { MAX_T++; if (MAX_T &gt;= 99) { MAX_T = 99; } } if ( SUB_TEMP == 2) { MIN_T++; if (MIN_T &gt;= 99) { MIN_T = 99; } } } } if (digitalRead(P_MEN) == LOW) { if (MENS == 4) { MENI--; if (MENI &lt;= 0)MENI = 0; LIMPIAR (); } if (MENS == 0) { T1--; if (T1 &lt;= 0)T1 = 0; } } </pre>	<pre> } else { if (EST_AUX_7 == 1) { lcd.print(" MODO PAUSA "); } else lcd.print(" MODO ESPERA "); } } } CURSOR (); } void LIMPIAR () { lcd.clear (); } void CURSOR () { if (MENI == 0) { if (MENS &gt;= 0 &amp;&amp; MENS &lt; 3) { lcd.setCursor (0, MENS); lcd.write((byte)1); } if (MENS == 3) { lcd.setCursor (12, 1); lcd.write((byte)1); } if (MODOS == 1) { if (SUB_TEMP == 0) { lcd.setCursor (16, 2); lcd.print(""); } if (SUB_TEMP == 1) { lcd.setCursor (16, 2); lcd.print(""); lcd.setCursor (12, 2); lcd.write((byte)1); } if (SUB_TEMP == 2) { lcd.setCursor (12, 2); lcd.print(""); lcd.setCursor (16, 2); lcd.write((byte)1); } } } } void GUARDAR_LEER () { if (ACT - ANT_3 &gt;= PER_3) { </pre>	<pre> if ( EST_AUX_5 == 0 &amp;&amp; digitalRead(FINAL_ABIERTO ) == LOW &amp;&amp; digitalRead(P_EME) == HIGH) { digitalWrite ( GENERAL, LOW); digitalWrite ( VALVULA, LOW); EST_AUX_5 = 1; } // CONDICIONES PARA LA REFRIGERACIÓN DEL MOLDE // EN MODO NTC if (VAL_3 == 1 &amp;&amp; digitalRead(P_EME) == HIGH) { if (TEMPERATURA &gt;= MAX_T + 2    (ACT - ANT_6 &lt;= PER_6 &amp;&amp; T3 == 0)) { digitalWrite ( VENTILADOR, LOW); } if (ACT - ANT_6 &lt;= PER_6 &amp;&amp; T3 == 0) { EST_AUX_6 = 1; } } if (ACT - ANT_6 &gt;= PER_6 &amp;&amp; T3 != 0) { EST_AUX_6 = 0; } if (EST_AUX_6 == 0) { ANT_6 = ACT; //EST_AUX_6 = 0; } if (TEMPERATURA &lt;= MIN_T    (EST_AUX_6 == 0 &amp;&amp; TEMPERATURA &lt;= MAX_T + 2 )) { digitalWrite ( VENTILADOR, HIGH); } if (TEMPERATURA &gt;= MAX_T) { digitalWrite ( CALEFACTOR, HIGH); } if (TEMPERATURA &lt;= MIN_T) { digitalWrite ( CALEFACTOR, LOW); } } if (VAL_3 == 2    VAL_3 == 0    digitalRead(P_EME) == LOW) { //digitalWrite ( VENTILADOR, HIGH); digitalWrite (CALEFACTOR, HIGH); } } } </pre>
--	---	---	--

<pre>// VARIABLES QUE PONE EN MARCHA A LA MÁQUINA int ENCENDER = 0; //VARIABLES PARA EL NÚMERO DE PIEZAS INYETADAS int CICLOS = 0; // VARIABLES PARA LA LECTURA DEL TERMITOR DE 10K int Vo; float R1 = 100000; //resistencia fija del divisor de tension float logR2, R2, TEMPERATURA, FILTRO; float c1 = 2.114990448e-03, c2 = 0.3832381228e- 04, c3 = 5.228061052e-07; // coeficientes de S-H en pagina: float ALFA = 0.35; //EN LA LECTURA DEL SENSOR // VARIABLES PARA GUARDAR Y LEER LA EEPROM int CASA = 8; int CASA_1 = 12; int CASA_2 = 16; int CASA_3 = 20; // GUARDA EN EL PUESTO 20 DE LA EEPRON EL VALOR DEL MODO DEL MENU 4 int CASA_4 = 24; // GUARDA EN EL PUESTO 20 EL VALOR MÁXIMO DEL RANGO DE TEMPERATURA int CASA_5 = 28; // GUARDA EN EL PUESTO 20 EL VALOR MÍNIMO DEL RANGO DE TEMPERATURA int VAL = 0; int VAL_1 = 0; int VAL_2 = 0; int VAL_3 = 0; int VAL_4 = 0; int VAL_5 = 0;  // SUBMENU PARA EL CONTROL DEL VENTILADOR int MODOS = 0; // PERMITE SELECCIONAR ENQUE MODO VA TRABAJAR EL VENTILADOR int AUX_SAL = 0; // VARIABLE AUXILIAR QUE PERMITIRA SALIR DEL SUBMENU int SUB_TEMP = 0; int MAX_T = 0; int MIN_T = 0;</pre>	<pre>if (MENS == 1) { T2--; if (T2 &lt;= 0)T2 = 0; } if (MENS == 2) { T3--; if (T3 &lt;= 0)T3 = 0; } if (MENS == 3) { if (SUB_TEMP == 0 &amp;&amp; EST_AUX_8 == 0) { MODOS--; if (MODOS &lt;= 0)MODOS = 0; lcd.setCursor(13, 2); lcd.print (" "); // LIMPIA EL SUBMENU EST_AUX_8 = 1; } if (MODOS == 1) { if (SUB_TEMP == 1) { MAX_T--; if (MAX_T &lt;= 0) { MAX_T = 0; } } if ( SUB_TEMP == 2) { MIN_T--; if (MIN_T &lt;= 0) { MIN_T = 0; } } } } } //Serial.println (MENS); //// ENTRADAS DE LOS PULSADORES DE CONTROL DE LA MÁQUINA if (digitalRead (P_ON) == LOW ) { EST_AUX_1 = 0; //RESETA EL VALOR PARA LA SIGUIENTE VEZ QUE SE PULSE } if (digitalRead (P_ON) == HIGH &amp;&amp; EST_AUX_1 == 0 &amp;&amp; MENI == 0 &amp;&amp; MENS == 4) { ENCENDER = 1; //VARIABLE QUE PERMIETE ARRANCAR LA MÁQUINA EST_AUX_7 = 0; //PERMITE DESACTIVAR LA PAUSA DE LA MAQUIN EST_AUX_1 = 1; //RESETA EL VALOR PARA LA SIGUIENTE VEZ QUE SE PULSE</pre>	<pre>if (!digitalRead (P_OK)) { if (MENS == 0) { if (T1 != VAL) { EEPROM.put (CASA, T1); SIMBOLO (); } } if (MENS == 1) { if (T2 != VAL_1) { EEPROM.put (CASA_1, T2); SIMBOLO (); } } if (MENS == 2) { if (T3 != VAL_2) { EEPROM.put (CASA_2, T3); SIMBOLO (); } } if (MENS == 3) { if (SUB_TEMP == 0) { if (MODOS != VAL_3) { EEPROM.update (CASA_3, MODOS); SIMBOLO (); } } if (SUB_TEMP == 1) { if (MAX_T != VAL_4) { EEPROM.put (CASA_4, MAX_T); SIMBOLO (); } } if (SUB_TEMP == 2) { if (MIN_T != VAL_5) { EEPROM.put (CASA_5, MIN_T); SIMBOLO (); } } } if ( EST_AUX_3 == 0) { VAL = EEPROM.get (CASA, T1); VAL_1 = EEPROM.get (CASA_1, T2); VAL_2 = EEPROM.get (CASA_2, T3); VAL_3 = EEPROM.read (CASA_3); VAL_4 = EEPROM.get (CASA_4, MAX_T);</pre>
--	--	---

<pre> byte flechas[8] = { B11000, B11100, B11110, B11111, B11111, B11110, B11110, B11100, B11000 }; byte TERMOMETRO[8] = { B00100, B01010, B01010, B01010, B11111, B11111, B01110, B01110 }; void setup() {   lcd.init ();   lcd.begin (20, 4);   lcd.backlight ();   lcd.createChar(1, flechas);   lcd.createChar(2, TERMOMETRO);   lcd.setCursor (0, 0);   lcd.print ("UNIVERSIDAD NACIONAL");   lcd.setCursor (7, 1);   lcd.print ("DE LOJA");   lcd.setCursor (0, 2);   lcd.print ("ING ELECTROMECHANICA");   lcd.setCursor (0, 3);   lcd.print ("MAQUINA DE INYECCION");   delay (5000);   lcd.clear ();   pinMode (P_MAS, INPUT);   pinMode (P_OK, INPUT);   pinMode (P_MEN, INPUT);   pinMode (P_EME, INPUT);   pinMode (P_ON, INPUT);   pinMode (P_OFF, INPUT);   pinMode (P_PAUSA, INPUT);   pinMode (FINAL_CIERRE, INPUT);   pinMode (FINAL_ABIERTO, INPUT);   pinMode (VALVULA, OUTPUT);   pinMode ( GENERAL, OUTPUT);   pinMode ( ACTU_A1, OUTPUT); </pre>	<pre> } if (digitalRead (P_OFF) == HIGH ) {   EST_AUX_2 = 0; //RESETA EL VALOR PARA   LA SIGUIENTE VEZ QUE SE PULSE } if (!digitalRead (P_OFF) &amp;&amp; EST_AUX_2 == 0 &amp;&amp; digitalRead(P_EME) == HIGH) {   ENCENDER = 0; // VARIABLE QUE PERMITE   APAGAR LA MÁQUINA   EST_AUX_3 = 0; //REESTABLECE LOS TIMER   SI SE A PULSADO OFF   EST_AUX_5 = 0; //SI POR ALGUN MOTIVO   EL VASTAGO DEL MOLDE Y DEL   INYECTOR SE ENCUENTRA FUERA DE LA   POSICION ORIGINAAL ESTE VALOR SE   REESTABLECE UNA VEZ PULSADO OFF   EST_AUX_7 = 0; //PERMITE DESACTIVAR   LA PAUSA DE LA MAQUIN } if (!digitalRead (P_PAUSA) &amp;&amp; ENCENDER == 1) {   EST_AUX_7 = 1; } /// ENTRADAS DE LOS FINALES DE CARRERA if (digitalRead(FINAL_CIERRE ) == HIGH) {   EST_AUX_4 = 1; // INDICA   QUE EL MOLDE SE HA CERRADO O EL   PFINAL DE CARRERA SE HA PRESIONADO } else EST_AUX_4 = 0; // EVITA QUE EL CONTADOR SIGA MARCANDO EN CASO QUE EL FINAL DE CARRERA SE HAYA ABIERTO } } void PANTALLA () { if (MENI == 0) {   lcd.setCursor (1, 0);   lcd.print ("TIMER_1:");   sprintf(TEMPO1, "%02d ", T1);   lcd.print (TEMPO1);   lcd.setCursor (1, 1);   lcd.print ("TIMER_2:");   sprintf(TEMPO2, "%02d ", T2);   lcd.print (TEMPO2);   lcd.setCursor (1, 2); </pre>	<pre> VAL_5 = EEPROM.get (CASA_5, MIN_T); Serial.println("LEIDO"); EST_AUX_3 = 1; } } void SIMBOLO () {   lcd.setCursor (19, 3);   lcd.print ("G");   Serial.println("GUARDADO");   EST_AUX_3 = 0; } void TEMPORIZADORES() {   if (ACT - ANT_2 &gt;= PER_2 &amp;&amp; ENCENDER ==   1 &amp;&amp; digitalRead(P_EME) == HIGH ) {     ANT_2 = ACT;     T1--;     if (T1 &lt;= 0)T1 = 0;     if (T1 == 0 &amp;&amp; EST_AUX_4 == 1) {       T2--;       if (T2 &lt;= 0)T2 = 0;       if (T2 == 0) {         T3--;         if (T3 &lt;= 0)T3 = 0;       }     }   } } void SENSORMOLDE () {   if (ACT - ANT_4 &gt;= PER_4 &amp;&amp; VAL_3 == 1) {     ANT_4 = ACT;     Vo = analogRead(A6); // lectura de A0     FILTRO = (ALFA * Vo ) + ((1 - ALFA) *     FILTRO);     R2 = R1 * (1023.0 / (float)FILTRO - 1.0); //     conversion de tension a resistencia     logR2 = log(R2); // logaritmo de R2 necesario     para ecuacion     TEMPERATURA = (1.0 / (c1 + c2 * logR2 + c3 *     logR2 * logR2 * logR2)); // ecuacion S-H     TEMPERATURA = TEMPERATURA - 273.15;     // Kelvin a Centigrados (Celsius)     //Serial.println (" M");   } } void CONDICIONES () {   if (((digitalRead(P_EME) == LOW    EST_AUX_7   == 1) &amp;&amp; ENCENDER == 1) { </pre>
--	--	--

<pre> pinMode ( ACTU_A2, OUTPUT); pinMode ( VENTILADOR, OUTPUT); pinMode ( CALEFACTOR, OUTPUT); digitalWrite ( ACTU_A1, HIGH); // AL ENERGIZAR LA TAJETA PIRMETE QUE TODOS LOS CONTACTOS ENTEN APAGADOS Y AL FINALIZAR EL PROCESO TAMBIÉN digitalWrite ( GENERAL, HIGH); // AL ENERGIZAR LA TAJETA PIRMETE QUE TODOS LOS CONTACTOS ENTEN APAGADOS Y AL FINALIZAR EL PROCESO TAMBIÉN digitalWrite ( ACTU_A2, HIGH); // AL ENERGIZAR LA TAJETA PIRMETE QUE TODOS LOS CONTACTOS ENTEN APAGADOS Y AL FINALIZAR EL PROCESO TAMBIÉN digitalWrite ( VALVULA, HIGH); digitalWrite ( VENTILADOR, HIGH); // AL ENERGIZAR LA TAJETA PIRMETE QUE TODOS LOS CONTACTOS ENTEN APAGADOS Y AL FINALIZAR EL PROCESO TAMBIÉN digitalWrite ( CALEFACTOR, HIGH); //Serial.begin (9600); }  void loop() { ACT = millis (); ENTRADAS (); PANTALLA (); TEMPORIZADORES(); CONDICIONES (); GUARDAR_LEER (); SENSORMOLDE (); } </pre>	<pre> lcd.print ("TIMER_3:"); sprintf(TEMPO3, "%02d ", T3); lcd.print (TEMPO3); } if (MENI == 1) { lcd.setCursor (1, 0); lcd.print ("INYECTOR:"); lcd.setCursor (1, 2); lcd.print ("MOLDE:"); } // CONDICIONES DE PANTALLA CUANDO SE GUARDA UN SUBMENU EN EL MENÚ 4 if (MENI == 0) { if (VAL_3 == 0 &amp;&amp; MODOS == 0) { lcd.setCursor(13, 2); lcd.print (" "); } if (VAL_3 == 1 &amp;&amp; MODOS == 0) { lcd.setCursor(14, 2); lcd.write((byte)2); lcd.print (TEMPERATURA, 0); lcd.print ("C "); } if (VAL_3 == 2 &amp;&amp; MODOS == 0) { lcd.setCursor(14, 2); lcd.print ("AUTO"); } } </pre>	<pre> ENCENDER = 0; // EST_AUX_5 = 0; } if (ENCENDER == 1) { digitalWrite ( GENERAL, LOW); // ENERGIZA LOS SELENOIDES UNA VEZ QUE ARRANCA LA MÁQUINA if (digitalRead(FINAL_CIERRE) == LOW    T3 == 0) { // ACTIVA LA VALVULA SI EL FINAL DE CARRERA DEL MOLDE ESTA DESACTIVADO O SI EL TIMER 3 LLEGO A CERO ANT_5 = ACT; // MANTIENE EN CERO EL CONTADOR PARA EL RETARDO A LA CONEXION digitalWrite ( VALVULA, LOW); // LA VALVULA SE ACTIVA if (T3 != 0) { digitalWrite ( ACTU_A1, LOW); // PERMITE SALIR AL ÉMBOLO PARA CERRAR EL MOLDE } } if (digitalRead(FINAL_CIERRE) == HIGH &amp;&amp; ACT - ANT_5 &gt;= PER_5) { //APAGA LA VALVULA UNA VEZ PULSADO EL FINAL DE CARRERA Y UNA VEZ SUPERADO EL RETARDO A LA CONEXIÓN digitalWrite ( VALVULA, HIGH); // LA VALVULA SE DESACTIVA } } </pre>	
--	--	---	--

**Anexo 45:** Plano del esquema de control.

**Anexo 46:** Plano de la pieza a moldear.

**Anexo 47.** Diagrama Neumático

**Anexo 48.** Plano del circuito de control.

**Anexo 49.** Plano del circuito de fuerza.

**Anexo 50.** Planos de las piezas de la máquina.

(Ubicados en el CD-R Nro. 1)

**Anexo 51. Certificación de la traducción del resumen.**

---

Loja, 13 de diciembre del 2022.

CERTIFICADO DE TRADUCCION

Marcelo Ordóñez Palacios  
Certificado en enseñanza del inglés.  
DOCENTE DE EUROpeek

**CERTIFICO:**

Haber realizado la traducción de español a inglés del resumen de la Tesis titulada: **"DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y CONTROL DE UNA MÁQUINA DE INYECCIÓN DE PLÁSTICOS RECICLABLES"** de autoría de **Edison Gustavo Coraizaca Chuqui**, portador de la cédula de identidad nro. **0302701958**. Egresado de la Carrera de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Nacional de Loja, trabajo que se encuentra bajo la dirección del Ingeniero Byron Solórzano Mg. Sc. Previo a la obtención del Título de Ingeniero Electromecánico.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad. Facultando al interesado hacer uso del presente en lo que creyere conveniente.

  
Marcelo Ordóñez Palacios  
DOCENTE DE EUROpeek Instituto de Idiomas

 **EUROpeek**  
INSTITUTO DE IDIOMAS

---

 @Europeek Center  @Europeek Center  07 254 6834  
098 436 1690  099 968 1161

 EDIFICIO ROSALIA Calle Ja Condamine y Av. Pío Jaramillo Alvarado ( a una cuadra del redon del de la Argota)  
Email: europeek.loja@gmail.com