

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS**

### **SIMULACIÓN DEL PROTOTIPO DE UNA MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA PARA LA ETAPA DE RELLENO Y CORTE DE EMPANADAS PARA LA EMPRESA CRAFT MACHINEC**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN  
ELECTROMECAÁNICA**

**KLEVER JOSÉ SINCHE AVALOS**

**klever.sinche@epn.edu.ec**

**GINA ESTEFANIA CHICAIZA YUGCHA**

**gina.chicaiza@epn.edu.ec**

**DIRECTOR: ING. ABRAHAM ISAMEL LOJA ROMERO, MSc.**

**abraham.loja@epn.edu.ec**

**CODIRECTOR: ROBERTO CARLOS ROJAS MOLINA, PhD.**

**roberto.rojas@epn.edu.ec**

**Septiembre, 2020**

## Declaración

Nosotros, Klever José Sinche Avalos y Gina Estefania Chicaiza Yugcha, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra total autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

Sin perjuicio de los derechos reconocidos en el primer párrafo del artículo 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación -COESC-, somos titulares de la obra en mención y otorgamos una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva de uso con fines académicos a la Escuela Politécnica Nacional. Entregaré toda la información técnica pertinente. En el caso de que hubiese una explotación comercial de la obra por parte de la EPN, se negociará los porcentajes de los beneficios conforme lo establece la normativa nacional vigente



---

Klever José Sinche Avalos



---

Gina Estefania Chicaiza Yugcha

## CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por Klever José Sinche Avalos y Gina Estefania Chicaiza Yugcha, bajo nuestra supervisión.



---

**Ing. Loja Romero Abraham Ismael MSc.**

DIRECTOR DE PROYECTO



---

**Ing. Rojas Molina Roberto Carlos PhD.**

CODIRECTOR DE PROYECTO

## DEDICATORIA

Este proyecto es dedicado a mis padres quienes son las personas más importantes en mi vida.

A mi madre por brindarme todo su amor y ser la mujer que me llena de orgullo, ser el modelo de inspiración, esfuerzo y lucha, porque es gracias a su apoyo incondicional que he logrado superarme cada día y ser un hombre de bien.

A la memoria de mi padre que en vida siempre busco mi bienestar y el de mi familia, por ser el hombre que me enseñó a esforzarme y trabajar duro para conseguir todas las metas que me proponga.

Klever S.

## **AGRADECIMIENTO**

A mi familia por todo el apoyo recibido durante estos años de estudio y a lo largo de mi vida.

A mi director de tesis Ing. Abraham Loja, por haberme dado la oportunidad de ser parte de este proyecto, con el cual hoy puedo culminar esta etapa de mi vida.

A mis compañeros y amigos de la poli, que, con su amistad y apoyo brindado, hicieron que estudiar en esta prestigiosa universidad sea más fácil.

A la Escuela Politécnica Nacional, por acogerme y formarme como un excelente profesional.

Klever S.

## DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado al psicólogo de la EPN, quien fue la persona que me dijo que no podría estudiar en mis condiciones, pero el hambre y la necesidad le obligan a uno a hacer posible algunas cosas.

A Denisse y Alejandro quienes estuvieron presentes durante este trayecto, a pesar de las circunstancias.

A la Sra. Silvia Morocho quien con su apoyo moral y espiritualidad me ayudo cuando más lo necesite.

A Franklin Coraizaca por ser participe desde un principio en el apoyo moral, psicológico y económico, para hacer posible esta meta.

Gina C.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios quien me ha permitido aprender de los diferentes problemas personales y profesionales durante el período académico y durante toda mi vida.

A la EPN por darme el apoyo económico por medio de la beca para poder estudiar.

Al Ing. Abraham Loja por darme la oportunidad de demostrar mis conocimientos aplicándolos en este proyecto.

A todas las personas que me ayudaron sin condiciones en todos los aspectos.

Gina C.

## CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN .....	1
1.1.	Planteamiento del problema .....	1
1.2.	Justificación .....	1
1.3.	Objetivos .....	2
2.	METODOLOGÍA .....	3
2.1.	Tipo de Investigación .....	3
2.2.	Descripción de la metodología usada.....	3
3.	EJECUCIÓN Y RESULTADOS .....	4
3.1.	Dimensionamiento de la capacidad de producción de la máquina.....	4
3.2.	Diseño y selección de la estructura de la máquina.....	7
3.3.	Diseño del sistema de control e instrumentación de la máquina.....	26
3.4.	Simulación de la máquina. ....	46
3.5.	Pruebas de funcionamiento de la máquina.....	51
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	57
4.1.	Conclusiones.....	57
4.2.	Recomendaciones .....	58
5.	REFERENCIAS.....	59
6.	ANEXOS.....	61



## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 3.1</b>	Diseño 3D de la estructura metálica.....	8
<b>Figura 3.2</b>	Estructura en 3D y sus medidas para el mecanismo de corte y sellado. ....	9
<b>Figura 3.3</b>	Diseño del recubrimiento de la estructura .....	10
<b>Figura 3.4</b>	Diseño 3D plano y acotaciones de la tolva.....	11
<b>Figura 3.5</b>	Diseño 3D de la placa superior con sus medidas.....	13
<b>Figura 3.6</b>	Placa de deslizamiento superior.....	13
<b>Figura 3.7</b>	Placa de deslizamiento inferior.....	14
<b>Figura 3.8</b>	Posición abierta de la compuerta de la tolva. ....	15
<b>Figura 3.9</b>	Posición cerrada de la compuerta de la tolva. ....	15
<b>Figura 3.10</b>	Ensamble total del mecanismo de relleno. ....	16
<b>Figura 3.11</b>	Ensamble de las partes del mecanismo de corte y sellado. ....	17
<b>Figura 3.12</b>	Posiciones del molde de la empanada.....	18
<b>Figura 3.13</b>	Posición A del molde de la empanada. ....	19
<b>Figura 3.14</b>	Posición B del molde de la empanada. ....	19
<b>Figura 3.15</b>	Activación del cilindro de simple efecto. ....	20
<b>Figura 3.16</b>	Expulsión de la empanada. ....	20
<b>Figura 3.17</b>	Palanca de accionamiento de corte y sellado.....	21
<b>Figura 3.18</b>	Pieza de enlace.....	22
<b>Figura 3.19</b>	Guía principal.....	23
<b>Figura 3.20</b>	Guía secundaria.....	23
<b>Figura 3.21</b>	Bandeja de deslizamiento. ....	24
<b>Figura 3.22</b>	Vista isométrica del ensamble del mecanismo de corte y sellado. ....	25
<b>Figura 3.23</b>	Ensamble final de la máquina. ....	25
<b>Figura 3.24</b>	Molde de empanada de material plástico. ....	26
<b>Figura 3.25</b>	Tortilla de prueba. ....	27
<b>Figura 3.26</b>	Tortilla sobre el molde. ....	27
<b>Figura 3.27</b>	Sellado y corte de la tortilla. ....	27
<b>Figura 3.28</b>	Objetos con peso de prueba. ....	28
<b>Figura 3.29</b>	Peso necesario para el corte y sellado de la tortilla.....	28
<b>Figura 3.30</b>	Empanada sellada y cortada.....	28
<b>Figura 3.31</b>	Fuerzas que actúan en el mecanismo de corte y sellado. ....	29
<b>Figura 3.32</b>	Distancia 1. ....	30
<b>Figura 3.33</b>	Distancia 2. ....	31
<b>Figura 3.34</b>	Montaje del sensor magnético detector de posición. ....	39
<b>Figura 3.35</b>	Unidad de mantenimiento. ....	41
<b>Figura 3.36</b>	Posición de pulsadores. ....	46
<b>Figura 3.37</b>	Diagrama de la simulación en el Software FLUID SIM. ....	47
<b>Figura 3.38</b>	Diagrama de movimientos.....	48
<b>Figura 3.39</b>	Esquema eléctrico de la máquina. ....	50
<b>Figura 3.40</b>	Fuerza externa aplicada al mecanismo de dosificación.....	51
<b>Figura 3.41</b>	Análisis de esfuerzos del mecanismo de dosificación .....	52
<b>Figura 3.42</b>	Análisis de deformación mecanismo de dosificación.....	53
<b>Figura 3.43</b>	Análisis de fuerzas de la palanca principal.....	54
<b>Figura 3.44</b>	Fuerza externa aplicada al mecanismo de corte y sellado. ....	54
<b>Figura 3.45</b>	Análisis de fuerzas del mecanismo de corte y sellado.....	55
<b>Figura 3.46</b>	Análisis de factor de seguridad del mecanismo de corte y sellado .....	56
<b>Figura 3.47</b>	Análisis de deformación del mecanismo de corte y sellado.....	56

**ÍNDICE DE TABLAS**

<b>Tabla 3.1</b> Demanda de producción de empanadas. ....	4
<b>Tabla 3.2</b> Matriz de PUGH .....	6
<b>Tabla 3.3</b> Propiedades físicas de la estructura metálica .....	8
<b>Tabla 3.4</b> Propiedades físicas del mecanismo dosificador.....	33
<b>Tabla 3.5</b> Masa de elementos. ....	35
<b>Tabla 3.6</b> Cilindros Neumáticos.....	36
<b>Tabla 3.7</b> Electroválvulas. ....	37
<b>Tabla 3.8</b> Características del sensor MMT-22 .....	38
<b>Tabla 3.9</b> Compresor seleccionado. ....	41
<b>Tabla 3.10</b> Características principales del LOGO .....	42
<b>Tabla 3.11</b> Características principales del Módulo de expansión.....	43
<b>Tabla 3.12</b> Conexión de los módulos de expansión del PLCs LOGO. ....	43
<b>Tabla 3.13</b> Entradas y salidas usadas del controlador.....	49

## RESUMEN

El presente proyecto de titulación, "SIMULACIÓN DE UNA MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA PARA LA ETAPA DE RELLENO Y CORTE DE EMPANADAS", se enfoca en realizar el diseño y simulación de la máquina, con la ayuda de varios programas usados dentro del mundo de la ciencia y tecnología.

Inicialmente, se realiza un pequeño estudio del mercado consumidor y productor, de esta manera se conocen datos importantes que permiten dimensionar los parámetros de funcionamiento de la máquina.

La máquina se lo realiza como un mecanismo electromecánico, y su finalidad es realizar el llenado y conformado de la empanada, así la máquina se compone de un mecanismo y estructura mecánica, que es accionada con la ayuda de actuadores electroneumáticos y controlados por un PLC LOGO.

En la elaboración de la máquina se utiliza el programa de diseño SolidWorks para el moldeado de las piezas, ensambles y simulación. Además, la elaboración y diseño del sistema electroneumático se realiza en la aplicación FluidSim. La automatización y control de la máquina se realiza con el software LOGO 8.1 que permite desarrollar el algoritmo y la simulación del proceso.

## **ABSTRACT**

The present project, "SIMULATION OF A SEMIAUTOMATIC MACHINE FOR FILLING AND CUTTING EMPANADAS", focuses on creating the design and simulation of the machine in a virtual way, with some software used in the Science and Technology.

First, we made a small study of the consumer's and the producer's market to obtain information about "empanadas", these important data allowed us to determine the dimensions and the operating parameters of the machine.

The machine was made as an electromechanical mechanism, and its purpose is to perform the filling and shaping of the "empanada". The machine is composed of a structure and a mechanical mechanism, which is driven with electro-pneumatic actuators and controlled by a PLC LOGO. This design satisfies the expectations of the promoter of the project.

SolidWorks was used for the design of the parts and assemblies, and the mechanical simulation. The elaboration and design of the electro-pneumatic system was carried out in the FluidSim application. The automation and control part of the machine was made with the LOGO 8.1 software that allows the creation of the algorithm and the simulation of the process.

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Planteamiento del problema**

La empanada es un producto autóctono de Latinoamérica, que presenta diversidad de sabores, materias primas, y métodos tradicionales de preparación en cada región. Por su gran demanda, este producto es consumido principalmente en las grandes ciudades del Ecuador, como en Quito, Guayaquil y Cuenca [1].

Actualmente, existen varias microempresas que realizan este producto de forma artesanal en la ciudad de Quito, y la operación manual ha sido la principal forma de elaboración del producto. Es importante notar que en el Ecuador no existen empresas que realicen la fabricación de maquinaria automatizada para la elaboración de empanadas [1]. Esto principalmente debido al costo elevado que puede llegar a alcanzar una máquina automatizada; además, de la escasa infraestructura de tecnologías de producción dirigidas a este tipo de alimento, pese a la demanda existente. Por tanto, la competencia de este producto en el mercado es limitada. La utilización de procesos automatizados para la elaboración de empanadas ayudará a este sector a mejorar sus procesos de producción.

Este proyecto busca realizar mediante la ayuda de diferentes programas para diseño mecánico y control automático, la simulación de una máquina semiautomática para la elaboración de empanadas. Este diseño es capaz de sustituir los procesos manuales/tradicionales de relleno y moldeado en la producción de empanadas. Este proceso se describe semiautomático puesto que el usuario deberá realizar la masa, que será colocada manualmente en la tolva para iniciar el proceso de funcionamiento del prototipo de la máquina. Además, el proceso concluye cuando el producto es retirado de forma manual de la máquina.

### **1.2. Justificación**

Las empanadas son un bocadillo de repostería, que inicialmente se elaboraba y se consumía en casa, pero poco a poco ha tenido un desarrollo comercial, con una gran acogida en las grandes ciudades del Ecuador [2].

Craft Machinec al ser una empresa dedicada al diseño, producción, asesoría e instalación de maquinaria automatizada para procesos artesanales, se encuentra interesada en la producción de empanadas, por lo cual busca la creación de una máquina capaz de realizar este producto de forma semiautomática.

El presente proyecto busca realizar la simulación de un prototipo, para la producción de empanadas de la empresa Craft Machinec. En una etapa posterior la empresa, implementará el modelo real. El objetivo de este trabajo es mejorar el producto y tiempos de producción de la elaboración de este bocadillo, a través de la creación de máquinas semiautomáticas, que en un futuro serán implementadas y comercializadas.

El proyecto tiene un impacto económico directo para las personas productoras de empanadas que adquieran la máquina en su modelo real. Con la ayuda del dispositivo es posible aumentar la capacidad de producción y reducir la mano de obra que podría ser utilizada en otras tareas. Además, se lograría abrir plazas de trabajo para las personas con conocimientos dentro del área de ciencias tecnológicas, debido a que estas personas estarán en la capacidad de realizar tareas de operación y mantenimiento de la máquina.

### **1.3. Objetivos**

- **Objetivo general**

Simular el prototipo de una máquina semiautomática para la etapa de relleno y corte de empanadas.

- **Objetivos específicos**

- Dimensionar la capacidad del prototipo en base a la demanda de consumo de empanadas en la ciudad de Quito.
- Diseñar la estructura mecánica del prototipo de la máquina.
- Diseñar el sistema de control e instrumentación del proceso de relleno y corte para la elaboración del producto.
- Simular el prototipo en base al diseño realizado.
- Realizar pruebas de funcionamiento del prototipo de la máquina semiautomática.

## **2. METODOLOGÍA**

### **2.1. Tipo de Investigación**

En este trabajo de titulación los tipos de investigación usados son de tipo aplicada y exploratoria: Aplicativa debido a que el presente trabajo se encuentra directamente dirigido al sector productivo [3], a través de tecnología utilizando conocimientos básicos en electricidad, mecánica y diseños de sistemas neumáticos y de control, obtenidos durante la formación en la carrera en Electromecánica. Estos conocimientos fueron necesarios para la simulación del diseño con todos sus componentes dimensionados en modelo real.

La investigación exploratoria se aplica en el estudio de un pequeño segmento de mercado de productores y consumidores, en donde se halló información relacionada acerca del consumo y producción de empanadas, para luego diseñar un modelo de máquina semiautomática que satisfaga esa demanda.

### **2.2. Descripción de la metodología usada**

En el desarrollo del presente proyecto se utiliza información que fue recolectada a través de encuestas realizadas a productores y consumidores de empanadas, la información obtenida ha servido para determinar los parámetros principales de diseño de la máquina.

Una vez obtenidos estos datos, se procede a realizar el diseño de la máquina dimensionando la capacidad adecuada para las necesidades requeridas.

El diseño y simulación de operación de la máquina es realizado mediante el software de diseño, ensamble y simulación SOLIDWORKS [4], en donde se grafica detalladamente el modelo con los planos y acotaciones respectivas, de esta manera se puede visualizar mejor el funcionamiento de los mecanismos y actuadores que componen el proceso de la máquina. Además, este software permite realizar el análisis de fuerzas de las piezas más importantes que comprometen la máquina, para que en un futuro esta máquina pueda ser implementada.

### 3. EJECUCIÓN Y RESULTADOS.

#### 3.1. Dimensionamiento de la capacidad de producción de la máquina.

La capacidad de producción de la máquina se lo realiza en base a la demanda de empanadas del mercado consumidor, esta información se obtuvo en base a encuestas realizadas en las panificadoras mencionadas en la Tabla 3.1, dentro de la ciudad de Quito. Un modelo de la encuesta se puede ver en el Anexo A.

El objetivo de las encuestas realizadas fue determinar el número de empanadas que se venden diariamente, y el tipo de relleno.

**Tabla 3.1** Demanda de producción de empanadas.

<b>Empresa</b>	<b>Producción de empanadas diarias</b>	<b>Empanda más vendidas</b>
Café de la Vaca	200	Mejido
El rey de las empanadas	150	Pollo
Empandas Factory Cafetería	175	Pollo

**Fuente:** Propia.

Los resultados obtenidos a partir de las encuestas realizadas, fueron en promedio para el proceso de elaboración de empanadas por día igual a 200 empanadas. La empanada más vendida en las 3 empresas fue la empanada con relleno de pollo.

Este resultado se pudo obtener gracias a la pregunta número 3 de la encuesta realizada a los productores de empanadas. Se puede ver detalladamente dichas preguntas en el Anexo A.

- **Especificaciones generales de la máquina.**

En el diseño de la máquina es necesario optar por condiciones propias impuestas para el funcionamiento de la máquina, teniendo las siguientes:

- a) La máquina está limitada a la etapa de relleno y corte de empanadas, por lo que la operación inicia con una masa de tortilla previamente realizada, que el operario debe colocar en la etapa inicial de funcionamiento.
- b) El proceso de relleno y corte de la empanada debe ser de forma continua y automática, teniendo la empanada en la etapa final.



- c) Fácil operación de la máquina, así como el montaje y desmontaje de las piezas de trabajo tales como moldes, mesas y dosificadores, deben permitir accesibilidad y comodidad al operario.
- d) La empresa CRAFT MACHINEC siendo la promotora de este proyecto integrador, opta por las mejores condiciones de funcionalidad y viabilidad, teniendo en cuenta el factor económico, pues la máquina debe ser de bajo costo de adquisición y accesible a los pequeños productores, por lo que el diseño de la máquina se encamina al más sencillo, sin olvidar que debe cumplir con las expectativas de operación y funcionamiento mencionadas anteriormente.

Por otro lado, las limitaciones de la máquina son:

- a) Los materiales y piezas de la máquina deben ser de fácil adquisición en el mercado local o de fabricación dentro del país.
- b) Se debe cumplir con la cantidad mínima de producción requerida.
- c) La máquina debe operar con los parámetros eléctricos propios del país como son 120 (V<sub>AC</sub>), 60 (Hz)
- d) La máquina debe ser de fácil transporte.
- e) El diseño de la máquina debe ser de fácil construcción y mantenimiento.

En base a las encuestas a los productores, lo que el cliente espera de la máquina de empanadas, se puede mencionar las siguientes características:

- a) Tamaño reducido
- b) Menor costo
- c) Fácil operación
- d) Fácil mantenimiento
- e) Silencioso
- f) Capacidad de producción rápida
- g) Semiautomático

Para escoger, clasificar y tomar las mejores decisiones respecto a las especificaciones que tendrá la máquina, se realiza un análisis con la Matriz de Pugh [5], tomando en cuenta los criterios, necesidades del cliente, y las posibles alternativas de diseño que traten de solventar la mayor cantidad de estas necesidades.

Las alternativas de diseño planteadas para la realización de la máquina son:

- a) Diseño 1: Sistema completamente mecánico
- b) Diseño 2: Mecanismo electroneumático

Las características planteadas en la selección de las alternativas de diseño que debe cumplir la máquina son:

- a) Diseño del molde: Resalta la variedad de diseños de empanadas en tamaño y forma, que la máquina puede ofrecer.
- b) Tamaño: Son las dimensiones finales de la máquina.
- c) Costo: Se toma en cuenta la utilización de elementos y mecanismos de bajo costo de adquisición y construcción.
- d) Complejidad: Se toma en cuenta la fácil construcción de los mecanismos, conexiones, y diagramas que conformen la máquina.
- e) Silencioso: Usar mecanismos que no generen demasiado ruido.
- f) Automatizado: La operación continua de la máquina sin la necesidad de la intervención humana.
- g) Mantenimiento: Se toma en cuenta el periodo de tiempo que la máquina puede operar y necesitar un tipo de mantenimiento, sea preventivo o correctivo.

En la Tabla 3.2, se presenta la matriz de PUGH con los criterios seleccionados y se representa con +1 si se cumplen con los requerimientos, mientras si no cumple con el requerimiento toma un valor -1.

**Tabla 3.2** Matriz de PUGH

		<b>Alternativas de diseño</b>	
		Diseño 1	Diseño 2
C			
R	Diseño del molde	+1	+1
I	Tamaño	-1	+1
T	Costo	+1	+1
E	Complejidad	-1	+1
R	Silencioso	+1	-1
I	Automatizado	-1	+1
O	Mantenimiento	+1	+1
S			
	Positivos	4	6
	Negativos	-3	-1
	Total	1	5

**Fuente:** Propia

A través del resultado obtenido de la matriz de Pugh, se tiene la opción de diseño 2 “sistema electroneumático” como la que mejor satisface los requerimientos expuestos.

### **3.2. Diseño y selección de la estructura de la máquina.**

En el diseño de la estructura de la máquina fue necesario tomar en cuenta el tipo de operación al que estará sometido, el periodo de mantenimiento, y el material con el que se simulará dentro del software, buscando resguardar la calidad del producto debido a que es un alimento [6].

Además, se tomó como un criterio importante el hecho de que la máquina debe ser fácil de movilizar y accesible económicamente para pequeños y medianos productores de empanadas en el caso de que pueda ser construida a futuro.

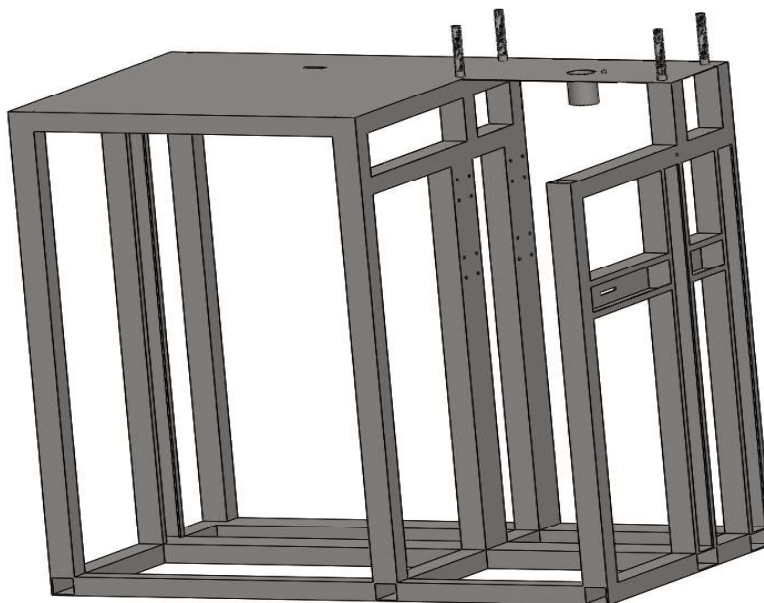
- **Diseño de la estructura de la mesa principal de la máquina.**

La Figura 3.1, muestra el diseño geométrico de la estructura de la mesa de trabajo, la cual permite ajustar planchas de acrílico y de esta manera cubrir los mecanismos de trabajo; además, tiene soportes para los componentes, tanto eléctricos como neumáticos de la máquina. La estructura está diseñada para mantener estable tanto a los elementos de control, como los mecanismos de trabajo.

El material que se selecciona dentro de la simulación es perfil tubular cuadrado de 3 (cm) x 3 (cm) con espesor de 2 (mm) con material aluminio EN AW 6063, porque es altamente resistente a la corrosión, tiene buenas propiedades mecánicas, es de peso ligero y permite tener contacto con alimentos, sin producir contaminación del producto [7].

En el Anexo B1, se encuentra la selección en catálogo de las dimensiones del perfil tubular de material aluminio, para la estructura de la mesa principal de trabajo.

Se toma en cuenta que en la estructura no se selecciona el acero inoxidable debido al gran peso que esta obtendría, y no cumpliría con las expectativas del productor.



**Figura 3.1** Diseño 3D de la estructura metálica.

**Fuente:** Propia.

En la Tabla 3.3, se muestran las propiedades físicas de la mesa principal de trabajo, los datos son obtenidos del software SOLIDWORKS, utilizando el material seleccionado en el punto 3.3.

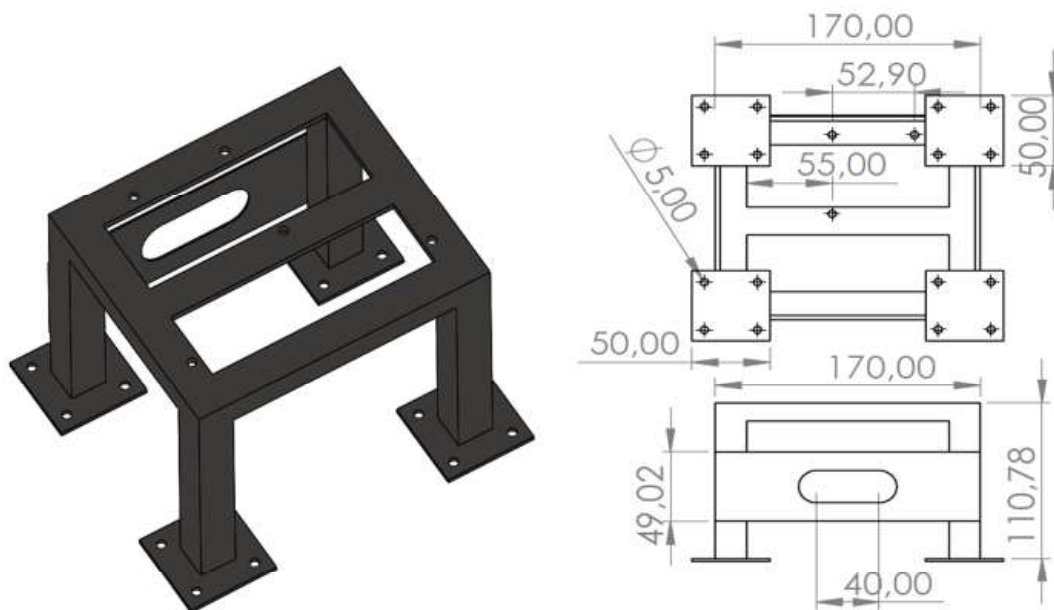
**Tabla 3.3** Propiedades físicas de la estructura metálica.

<b>Propiedades físicas de la mesa principal</b>	
Masa	8.67 (Kg)
Volumen	3212164.17 (mm <sup>3</sup> )
Área de superficie	3471088.40 (mm <sup>2</sup> )

**Fuente:** Propia

- **Diseño de la estructura para el mecanismo de corte y sellado de la empanada.**

La estructura abarca al mecanismo de corte y cierre, también soporta su peso y el esfuerzo generado debido a la acción de los cilindros neumáticos que acoge esta estructura, el material que se selecciona es perfil angular tipo C en material aluminio EN AW 6063, con espesor de 2 (mm). La estructura en planos 3D y las acotaciones con sus respectivas medidas en milímetros, se la puede visualizar en la Figura 3.2 que se muestra a continuación.



**Figura 3.2** Estructura en 3D y sus medidas para el mecanismo de corte y sellado.

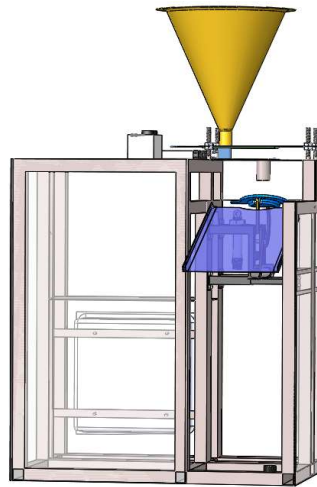
**Fuente:** Propia

En el Anexo B2, se observa la selección de las dimensiones del perfil angular tipo C, material utilizado en la estructura para el mecanismo de corte y sellado de la empanada, basado en los criterios mencionados en el punto 3.3.

- **Recubrimiento de la estructura de la mesa principal**

En la Figura 3.3, se muestra el recubrimiento de la estructura, que permite proteger de la intemperie a los elementos, mecanismos y conexiones. Además, protege al operador de cualquier lesión ocasionado por el ruido ó vibración de sus componentes internos, cumpliendo de esta manera los estándares de riesgos físicos dentro del área de trabajo [8].

El material seleccionado en esta estructura es acrílico de 3 (mm) de espesor, porque es un material liviano y se puede desacoplar fácilmente para realizar los respectivos mantenimientos de la máquina.



**Figura 3.3** Diseño del recubrimiento de la estructura

**Fuente:** Propia

- **Diseño y dimensionamiento del mecanismo de dosificación y relleno.**

Los criterios necesarios tomados en cuenta en el diseño del mecanismo de dosificación son los siguientes:

- a) Tamaño y forma de la tolva
- b) Tipo de relleno
- c) Densidad del relleno
- d) Cantidad de relleno
- e) Cantidad de productos que se obtendrán

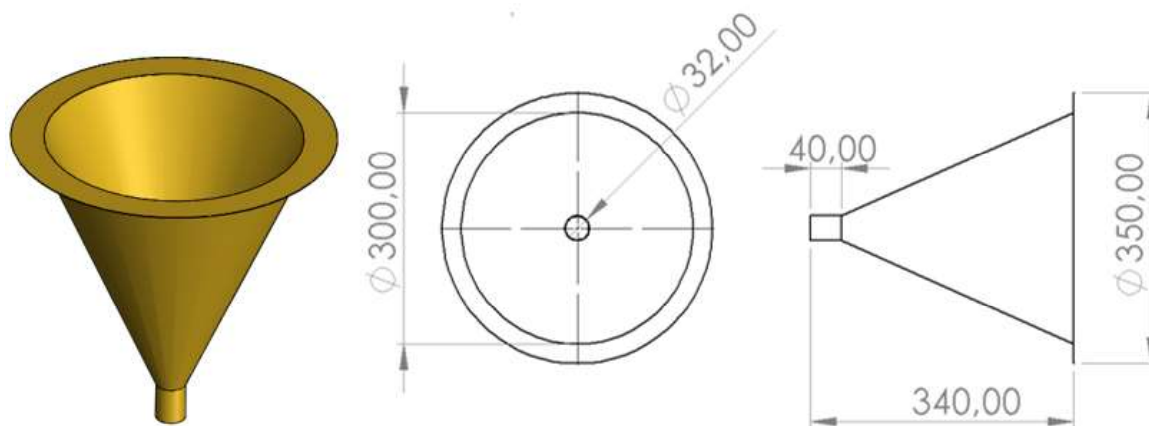
- **Diseño geométrico de la tolva para la dosificación del relleno.**

La tolva se encuentra diseñada para almacenar rellenos de tipo sólido suave, sin restos de fluido que serán colocados dentro de la empanada por medio de un sistema neumático que consta de un cilindro de doble efecto. Este cilindro permitirá por medio de un autómata, actuar de manera imprescindible en el momento exacto en que la tortilla se encuentre ya colocada en el molde, añadiendo de esta manera, la cantidad del relleno necesario.

Para aprovechar recursos se ha realizado el diseño de la tolva en forma cónica truncada, que provoca que el relleno colocado tienda a caer por acción de la gravedad y el relleno es detenido

por el accionamiento del cilindro doble efecto, hasta que se encuentre la siguiente unidad de masa, se debe tener en cuenta que el relleno se coloca en la tolva de manera manual.

La estructura en 3D con sus respectivos planos en milímetros, se observa en la Figura 3.4.



**Figura 3.4** Diseño 3D plano y acotaciones de la tolva.

**Fuente:** Propia.

El volumen máximo admitido por la tolva se calcula a partir de la ecuación del volumen del cono truncado. (Ecuación 1).

$$V = \frac{1}{3} \pi h (R^2 + r^2 + Rr) \quad (\text{Ec.1})$$

Donde:

$V_t$  = volumen de la tolva

$h$  = altura de la tolva

$R$  = radio mayor

$r$  = radio menor

Teniendo:

$$V = \frac{1}{3} \pi * 300\text{mm} (150^2 + 16^2 + 150 * 16) \text{mm}^2$$

$$V = 7902990.4 \text{ mm}^3 * \frac{1\text{cm}^3}{1000\text{mm}^3}$$

$$V = 7902.9\text{cm}^3$$

Ahora, se calcula el volumen del tubo dosificador, a partir de la ecuación del volumen del cilindro. (Ecuación 2).

$$V_c = \pi r^2 * h \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde:

$V_c = \text{volumen del cilindro}$

$r = \text{radio del cilindro}$

$h = \text{altura del cilindro}$

Teniendo:

$$V_c = \pi * (16mm)^2 * 40mm$$

$$V_c = 32169.9mm^3 * \frac{1cm^3}{1000mm^3}$$

$$V_c = 32.2 cm^3$$

De acuerdo con estos parámetros calculados, se puede estimar la cantidad de empanadas que puede dosificar la tolva.

$$\text{Numero de empanadas} = \frac{7902.9cm^3}{32.2cm^3} = 245.4$$

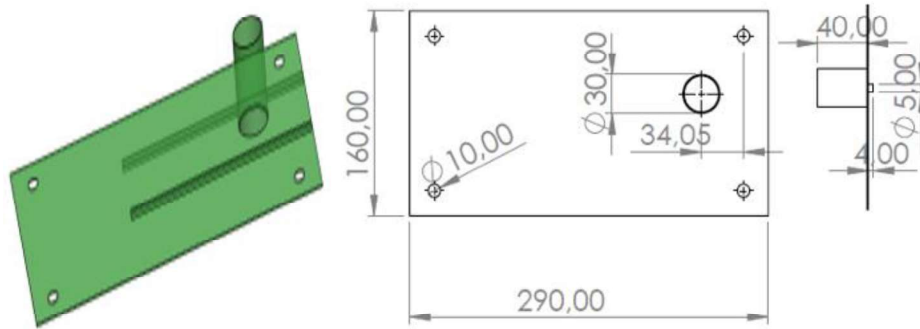
Se tiene un total de 245 empanadas, esta cantidad indica el número de empanadas que se puede dosificar considerando la cantidad máxima del volumen de la tolva y volumen máximo del tubo dosificador, esta cantidad puede aumentar según se regule el mecanismo dosificador.

- **Placa superior del mecanismo de relleno**

Esta placa permite la regulación de la cantidad de relleno que se desea colocar en la empanada, mediante 4 tornillos se puede regular la altura del tubo donde ingresa el relleno desde la tolva a la placa de deslizamiento superior para luego ser desplazado con el cilindro de doble efecto, por medio de 2 rieles que se encuentran en la parte inferior de esta pieza hasta el tubo de la placa de deslizamiento inferior, el deslizamiento hasta el tope de la estructura provoca que el relleno sea colocado justo en el centro de la tortilla para seguir con el respectivo proceso.



En la Figura 3.5, se observa la pieza diseñada en 3D y los planos con sus respectivas dimensiones.



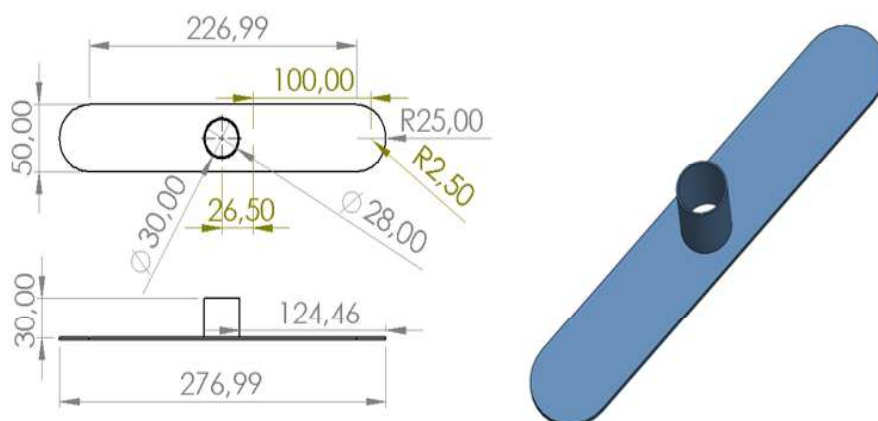
**Figura 3.5** Diseño 3D de la placa superior con sus medidas.

**Fuente:** Propia.

○ **Placa de deslizamiento superior**

Esta placa se encuentra adherida debajo de la placa superior del mecanismo de relleno, y permite el desplazamiento del relleno a través de rieles que se encuentran en la parte superior, la cual se encuentra acoplada a una segunda placa inferior que es la que realiza el movimiento por medio del cilindro de doble efecto.

En la Figura 3.6, se observa el diseño de la pieza en 3D y los planos con sus respectivas dimensiones.



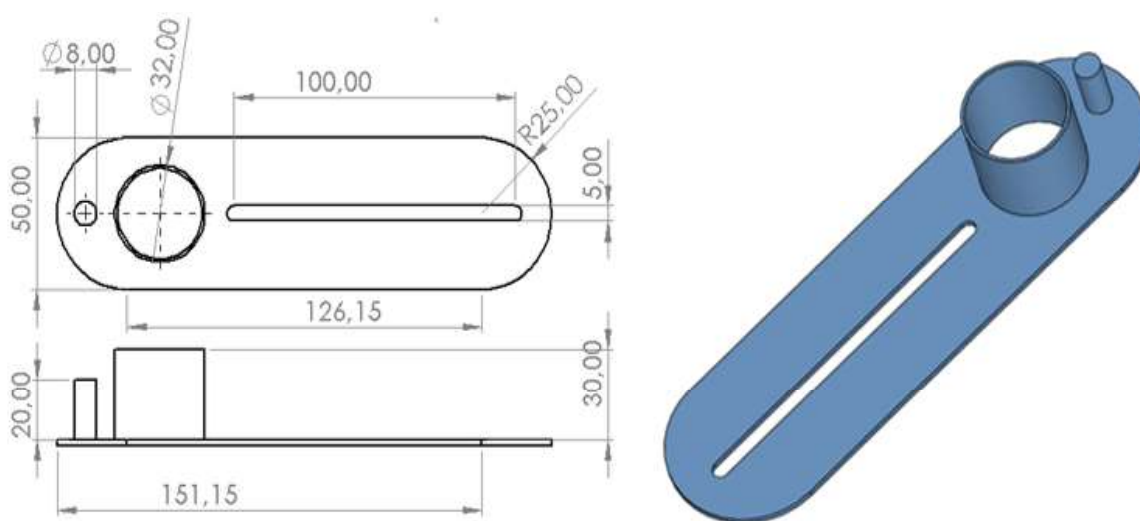
**Figura 3.6** Placa de deslizamiento superior.

**Fuente:** Propia.

- **Placa de deslizamiento inferior**

Esta placa se encuentra acoplada por medio de un tubo con mayor diámetro a la placa de deslizamiento superior del mecanismo de relleno, esta placa adicional tiene acoplado un conector en forma de cilindro, donde se puede acoplar una rótula de ojo para el cilindro neumático, que transmite el movimiento a todo el mecanismo de relleno de la empanada.

En la Figura 3.7, se tiene la pieza diseñada en 3D, con sus dimensiones acotadas.



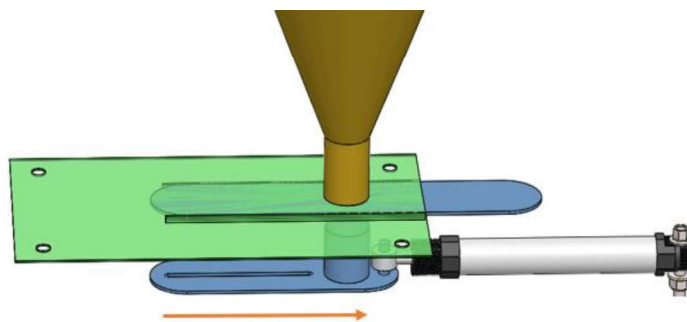
**Figura 3.7** Placa de deslizamiento inferior.

**Fuente:** Propia.

- **Ensamble del mecanismo de relleno de la empanada**

En primera instancia se muestra en la Figura 3.8, el mecanismo de dosificación con el cilindro en su posición inicial, donde el relleno caerá desde la tolva hacia el tubo dosificador, una vez que la altura del tubo ya haya sido regulada.

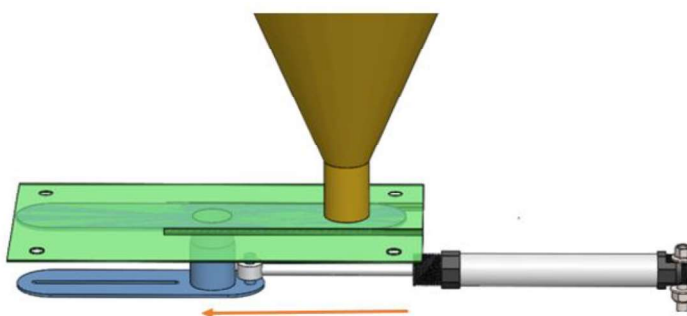
El cilindro de doble efecto realiza la apertura y cierre de la compuerta de la tolva, en la Figura 3.8 se observa que está abierta.



**Figura 3.8** Posición abierta de la compuerta de la tolva.

**Fuente:** Propia.

En segunda instancia se muestra en la Figura 3.9, el mecanismo de dosificación con el cilindro en su posición final, donde el relleno será desplazado mediante el tubo dosificador hacia el centro de la tortilla de masa. En esta imagen la compuerta de la tolva se encuentra cerrada.



**Figura 3.9** Posición cerrada de la compuerta de la tolva.

**Fuente:** Propia.

#### ○ **Funcionamiento del mecanismo de relleno de la empanada**

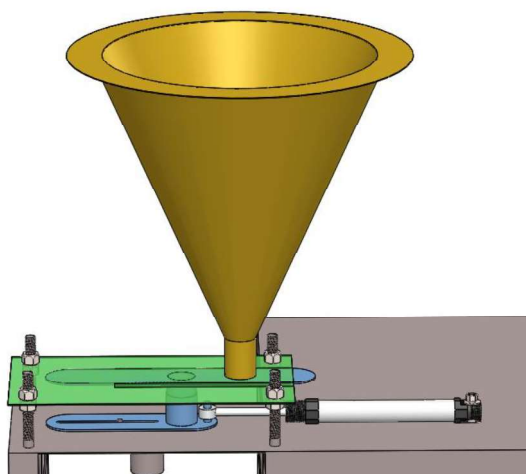
El relleno que se encuentra en la tolva cae por gravedad por lo que el cilindro debe ser capaz de mover el recipiente dosificador desplazándolo una distancia de 10 (cm) que es la carrera total del vástago del cilindro que se va a utilizar, se selecciona esta distancia debido a que en los cilindros es una distancia estándar y; además, esta distancia fue necesaria para acoplar el mecanismo de dosificación con el mecanismo de corte y sellado de la empanada.

El mecanismo de dosificación consta de un sistema de regulación, que sirve para dosificar una cantidad determinada de relleno que se colocará dentro de la empanada, este sistema consiste en mover 4 tornillos que subirán o bajarán una plancha que tiene adherido un tubo a su superficie inferior donde cae el relleno desde la tolva, esta se acopla a una segunda plancha en la parte inferior que también tiene un tubo adherido a su superficie superior con un diámetro de 1.5 (mm) superior al tubo que se encuentra adherido a la plancha superior, de esta manera el volumen del relleno puede aumentar o disminuir de acuerdo a la altura que se regule la plancha superior, teniendo como altura máxima el tope final de los pernos.

Una vez que se regula la cantidad deseada para el relleno de la empanada, se puede accionar la máquina y es aquí donde primero se acciona el mecanismo de relleno, con un movimiento horizontal del vástago del cilindro de doble efecto, que antes de accionarse tomará esta cantidad de relleno que caerá desde la tolva por gravedad hasta el tubo dosificador, se desplazará hasta el centro superior del molde de la empanada que antes ya debió ser cargada con una tortilla de masa, y cuando llegue al tope el relleno caerá por un tubo colocado en la parte inferior de la plancha inferior, quedando el relleno en el centro de la tortilla de masa lista para su segundo proceso el cual es el de sellado y corte de la empanada.

El proceso se repite de acuerdo con la cantidad de empanadas que se necesiten realizar.

El esquema del ensamble total del mecanismo para dosificación del relleno de la empanada se visualiza en la Figura 3.10.



**Figura 3.10** Ensamble total del mecanismo de relleno.

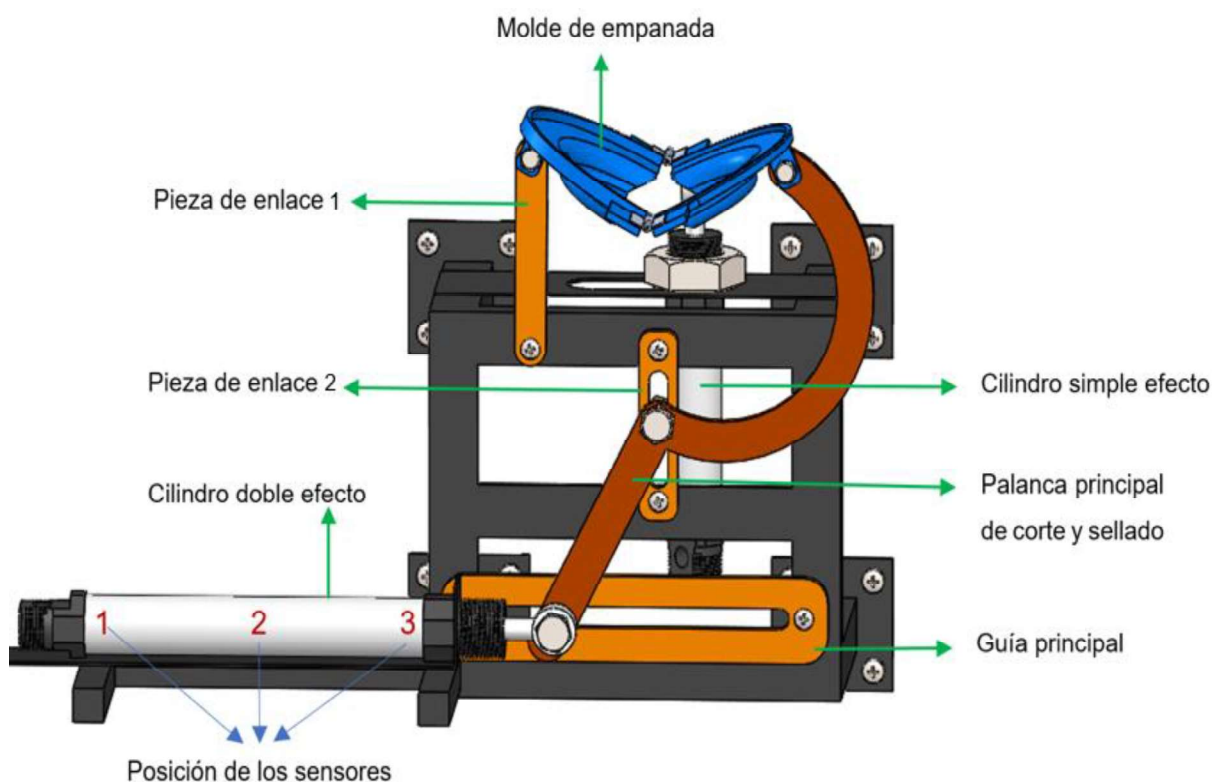
**Fuente:** Propia

- **Diseño del mecanismo de corte y sellado**

En la

Figura 3.11, se observa el ensamble del mecanismo de corte y sellado que está en contacto directo con el producto. Este mecanismo está compuesto por:

- 1 Molde de empanada
- 1 Palanca principal de corte y sellado.
- Pieza de enlace 1.
- Pieza de enlace 2.
- 1 Cilindro de doble efecto.
- 1 Cilindro de simple efecto
- 1 Guía principal.
- Estructura del mecanismo
- 3 Sensores detector de posición

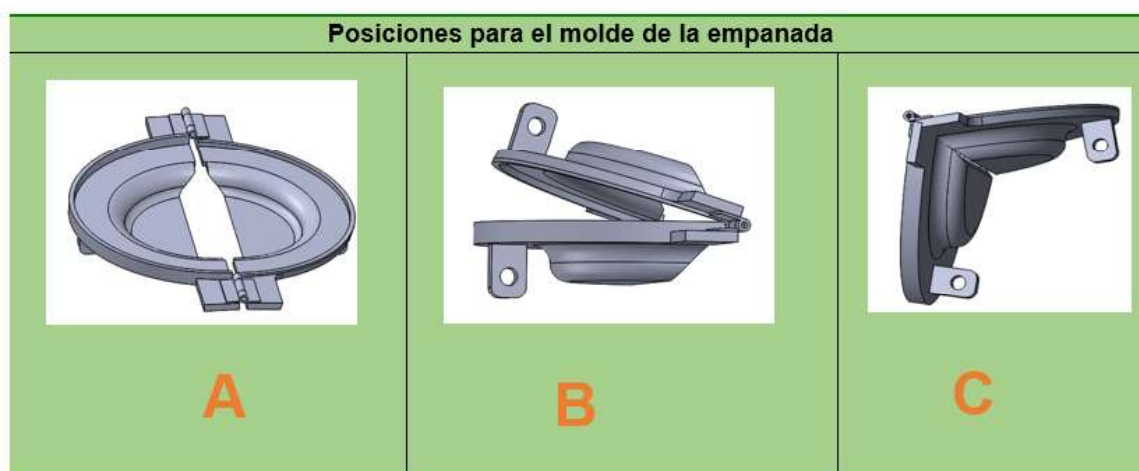


**Figura 3.11** Ensamble de las partes del mecanismo de corte y sellado.

**Fuente:** Propia.

- **Molde de empanada**

El molde es diseñado y simulado en el software SolidWorks, a modo que pueda ser realizado en una máquina 3D con material HIPS (Poliestireno de alto impacto), material de gran capacidad de resistencia a impactos y que se usa frecuentemente en la industria de alimentos al no ser tóxico para los humanos [9]. El molde se realiza con una abertura en el centro, de modo que permita tener 3 posiciones principales, que se puede observar en la Figura 3.12.



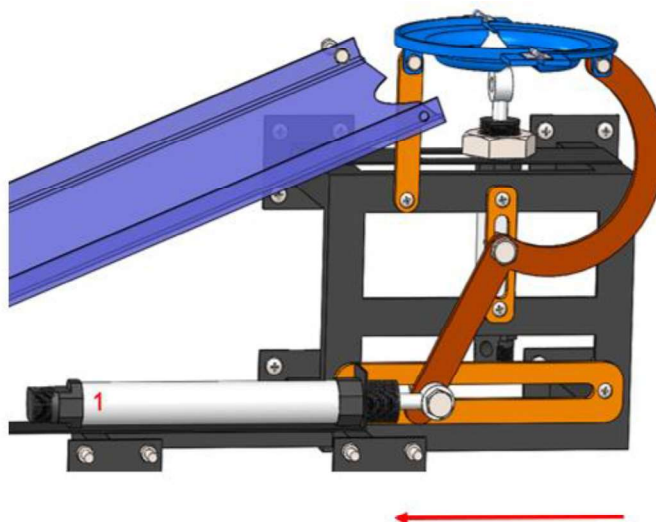
**Figura 3.12** Posiciones del molde de la empanada.

**Fuente:** Propia.

A continuación, se describe el proceso de funcionamiento con los sensores para las distintas posiciones que tiene el molde.

Posición A: Molde totalmente abierto.

En la Figura 3.13, se observa el mecanismo con la posición del molde totalmente abierto, en esa instancia es detectado el sensor 1 con el vástago del cilindro totalmente recogido, es decir que el vástago se encuentra en su posición inicial y en esta posición se iniciará el proceso; además, se debe colocar la tortilla de masa en el molde, para luego pasar al siguiente paso que es la colocación del relleno de la empanada, que antes ya debió ser regulado y cargado en la tolva dosificadora.

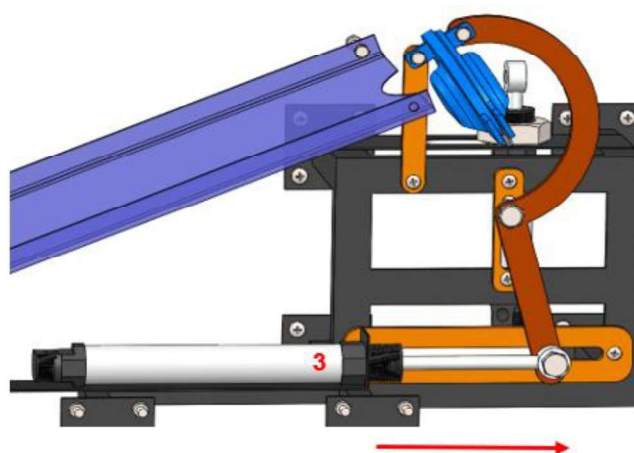


**Figura 3.13** Posición A del molde de la empanada.

**Fuente:** Propia

Posición B: Molde totalmente cerrado.

En la Figura 3.14, se observa la posición con el molde totalmente cerrado, una vez que el relleno ya se encuentra dentro de la tortilla se activa el cilindro de doble efecto hasta la posición del sensor 3 para realizar el sellado de la empanada, en caso de que exista alguna deformidad en la tortilla, es decir, que ésta no sea totalmente circular o no tenga la medida exacta del molde, el molde cortará los residuos sobrantes, dejando la empanada con la forma deseada, en este caso en forma de media luna como es comúnmente.

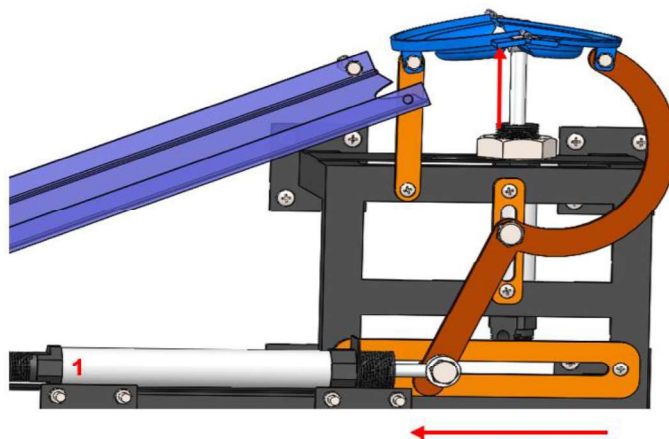


**Figura 3.14** Posición B del molde de la empanada.

**Fuente:** Propia

Posición C: Expulsión de la empanada.

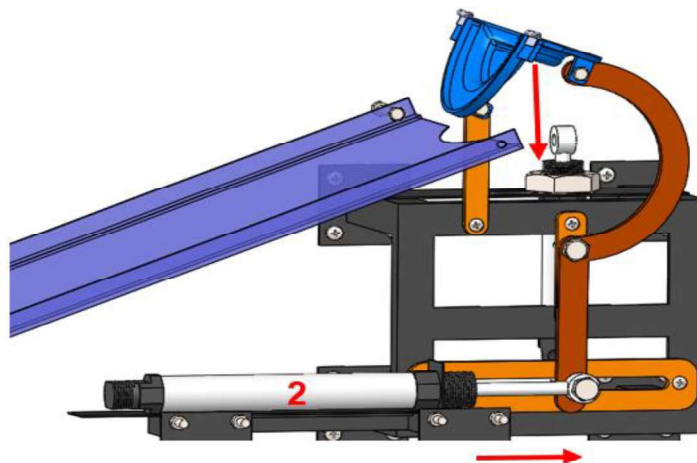
En la Figura 3.15, se puede observar la posición del molde donde se produce la expulsión de la empanada. Para finalizar el proceso luego del sellado y corte de la empanada, se activa el cilindro de doble efecto regresando el vástago a su posición inicial, y posteriormente se activa el cilindro de simple efecto permitiendo cambiar la inclinación del molde dejándolo hacia arriba, listo para el siguiente paso.



**Figura 3.15** Activación del cilindro de simple efecto.

**Fuente:** Propia

En la Figura 3.16, finalmente se puede observar la posición del molde donde se produce la expulsión de la empanada, la misma que caerá por la bandeja para su respectiva recolección.



**Figura 3.16** Expulsión de la empanada.

**Fuente:** Propia

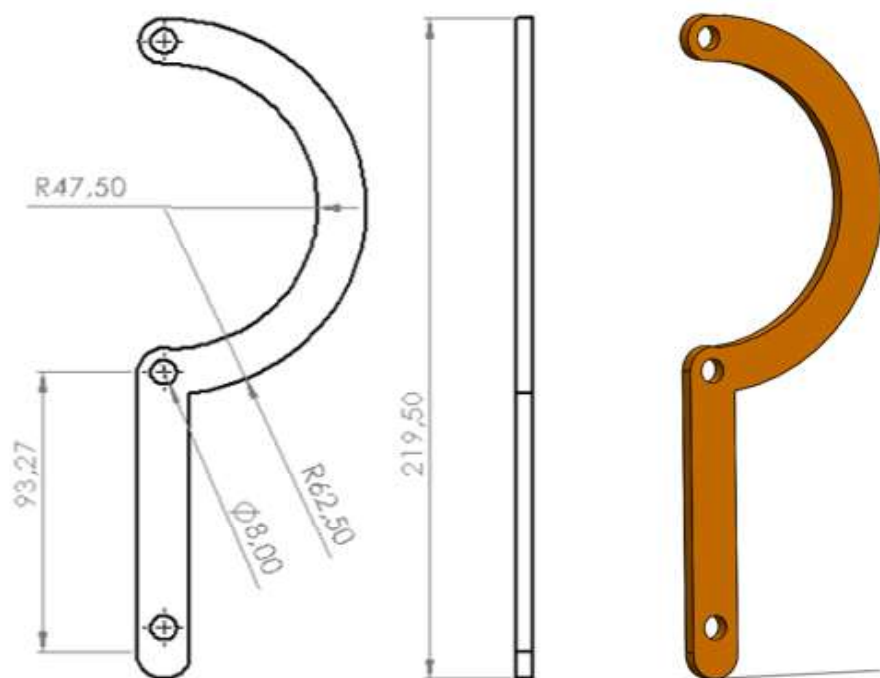


Se asegura la caída de la empanada pues como se observó en la Figura 3.14, al momento de ser cortada el molde trabaja con una inclinación hacia el lado donde se encuentra la bandeja, de modo que cuando esta se abra, la empanada quede de ese lado, y con el movimiento final se expulse correctamente el producto.

- **Palanca principal de corte y sellado**

En el diseño de la palanca se considera el tipo de material y su resistencia, debido que este elemento se encuentra sometida a esfuerzos de compresión y torsión, además que se encuentra en contacto permanente con el producto. Para esta pieza se selecciona el acero inoxidable AISI 316, que es adecuado para el contacto con alimentos.

El diseño de la palanca se lo observa en la Figura 3.17, esta pieza es encargada de transmitir la fuerza del cilindro de doble efecto hacia el molde de la empanada, para realizar el corte y sellado de la tortilla de masa.

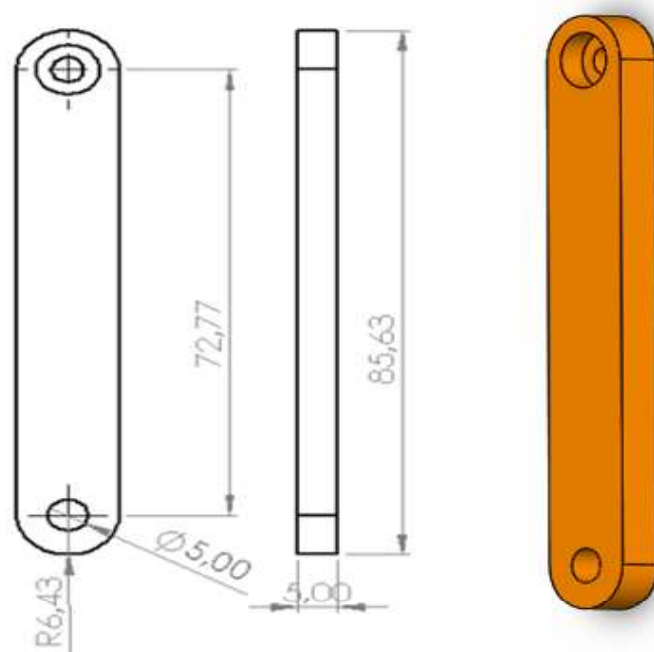


**Figura 3.17** Palanca de accionamiento de corte y sellado.

**Fuente:** Propia.

- **Pieza de enlace 1**

Esta pieza se puede observar en la Figura 3.18, es acoplada bajo el molde, y permite enlazar el molde de empanada a la estructura del mecanismo de corte y sellado, dándole la altura suficiente para que el molde no choque con la estructura del mecanismo, además en el extremo superior en el acople con el molde existe movimiento de rotación, que le permite tener al molde de empanada diferentes posiciones. La pieza es realizada en acero inoxidable AISI 316 y debe soportar la fuerza emitida por el molde.

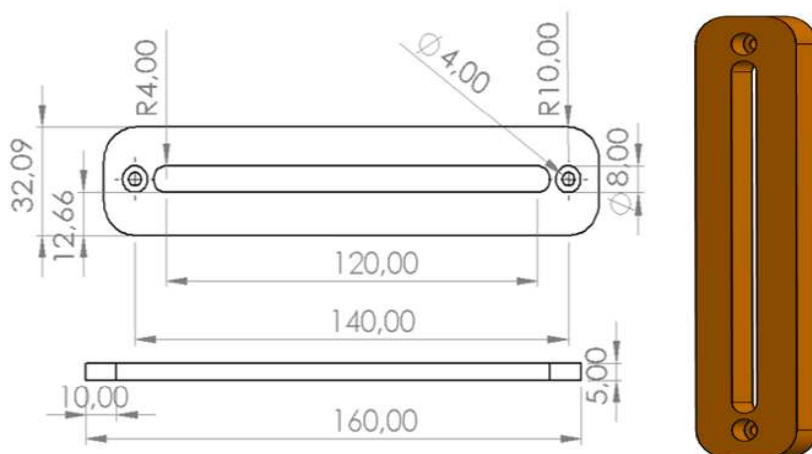


**Figura 3.18** Pieza de enlace.

**Fuente:** Propia.

- **Guía principal**

La guía principal se observa en Figura 3.19 y permite dirigir el movimiento horizontal en 180 grados del vástago del cilindro que este acoplado por medio de un pasador a la pinza principal; además, permite estabilizar el movimiento del vástago a lo largo de su carrera.

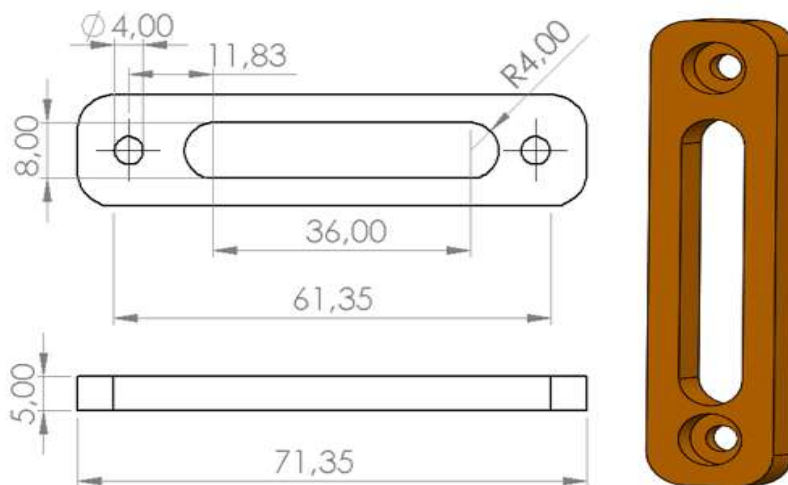


**Figura 3.19** Guía principal.

**Fuente:** Propia.

○ **Pieza de enlace 2**

La guía secundaria se lo puede observar en la Figura 3.20, permite por medio de un pasador deslizable acoplado a la palanca principal transmitir el movimiento en dirección vertical, este movimiento es usado en la palanca para cerrar y presionar el molde.

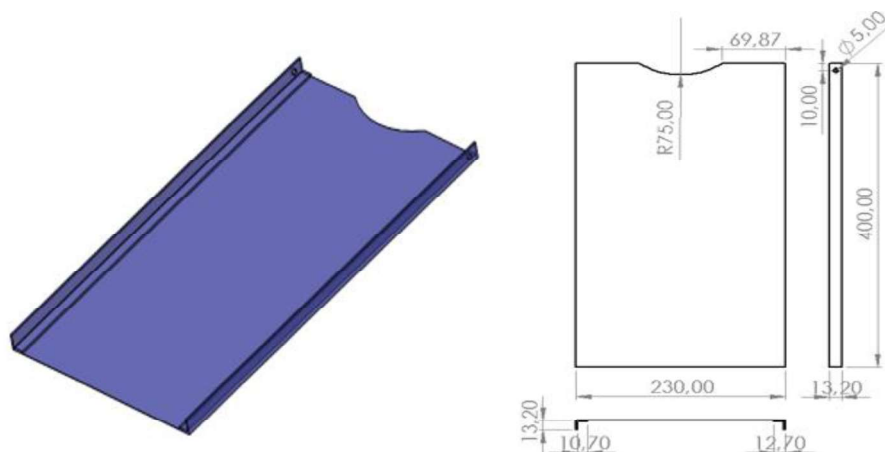


**Figura 3.20** Guía secundaria.

**Fuente:** Propia.

- **Bandeja de deslizamiento de las empanadas.**

La Figura 3.21, muestra el diseño de la bandeja de deslizamiento. El producto realizado cae por esta bandeja inclinada, lo que permite que esta se deslice para su recolección.



**Figura 3.21** Bandeja de deslizamiento.

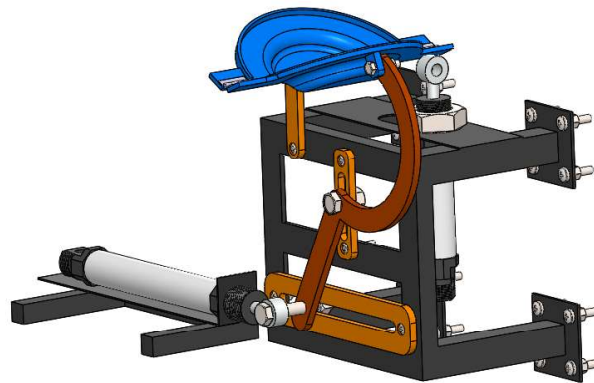
**Fuente:** Propia.

- **Funcionamiento del mecanismo de corte y sellado de la empanada.**

Este mecanismo se activa una vez que el mecanismo de dosificación termina su operación, y para su funcionamiento se seleccionan 3 sensores los que permiten tener 3 posiciones de la palanca principal de corte y sellado, en donde primero se acciona el cilindro de doble efecto hasta la posición del sensor 3 que se encuentra ubicado en el extremo final del cilindro.

En esta posición se sellará y cortará si es necesario la tortilla de masa obteniendo de esta manera la empanada terminada, luego el vástago del cilindro de doble efecto regresa a su posición inicial, es decir a la posición del sensor 1, después se activa el cilindro de simple efecto para cambiar la posición del molde y cuando se active por segunda vez el cilindro doble efecto y el mismo llegue hasta la posición del sensor 2, donde el molde expulsará la empanada hacia una bandeja donde la empanada terminada se deslizará hacia otra bandeja de recolección o a su vez el operario también la puede recoger.

La Figura 3.22, muestra una vista isométrica del ensamble del mecanismo de corte y sellado completo.

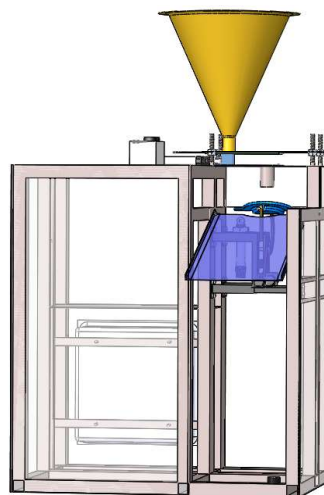


**Figura 3.22** Vista isométrica del ensamble del mecanismo de corte y sellado.

**Fuente:** Propia.

- **Ensamble final de la máquina**

El ensamble final de la máquina se muestra en la Figura 3.23, donde se puede observar la posición de los elementos y mecanismos principales que la conforman. Además, se debe tener en cuenta que la estructura de la máquina cuenta con un espacio interno especial, para colocar los elementos neumáticos como electroválvulas, compresor, y otro espacio para la colocación de la parte eléctrica y de control.



**Figura 3.23** Ensamble final de la máquina.

**Fuente:** Propia

### 3.3. Diseño del sistema de control e instrumentación de la máquina.

La máquina está constituida por un sistema electroneumático, controlado por un autómata, este sistema se encarga de gobernar a los mecanismos de dosificación y corte.

- **Diseño del sistema electroneumático.**

Se eligen los cilindros, para esto se realiza el cálculo de la fuerza aplicada y el diámetro de cada cilindro. Este cálculo permite seleccionar los cilindros adecuados para cada función dentro del mecanismo de la máquina.

- **Selección del cilindro de doble efecto de accionamiento de corte y sellado.**

Primero se calcula la fuerza necesaria para realizar el corte y sellado de una empanada, para esto se realiza mediante la experimentación física, con un molde plástico y con el grosor máximo de la tortilla de empanada que es de 4 (mm), se conoce la cantidad de peso necesario para sellar y cortar la tortilla de empanada.

En la Figura 3.24, se tiene el molde base de material plástico que es usado para realizar el experimento.



**Figura 3.24** Molde de empanada de material plástico.

**Fuente:** Propia

En la Figura 3.25, se observa la tortilla con 4 (mm) de espesor que es utilizada en el experimento, ésta será sellada y cortada con el molde plástico.



**Figura 3.25** Tortilla de prueba.

**Fuente:** Propia.

En la Figura 3.26, se observa el primer paso para la experimentación, en el cual se puede observar que la tortilla ya se encuentra sobre el molde de la empanada listo para colocar el relleno y continuar.



**Figura 3.26** Tortilla sobre el molde.

**Fuente:** Propia

En la Figura 3.27, se tiene el molde de empanada lista con el relleno y con el ángulo de inclinación de  $18^\circ$ , para observar que, desde esa posición, es donde se aplica el peso para realizar el corte y sellado de la tortilla.



**Figura 3.27** Sellado y corte de la tortilla.

**Fuente:** Propia.

En la Figura 3.28 se muestra los objetos con el peso marcado, que serán colocados uno por uno encima del molde hasta sellar y cortar la masa sobrante.



**Figura 3.28** Objetos con peso de prueba.

**Fuente:** Propia

En la Figura 3.29, se muestra los objetos con peso de prueba colocados uno sobre otro encima del molde, observando que se necesita 4 (Kg), para sellar y cortar la masa de tortilla.



**Figura 3.29** Peso necesario para el corte y sellado de la tortilla.

**Fuente:** Propia

En la Figura 3.30, se muestra como la masa sobrante se desprende sin ningún problema del molde plástico y sella completamente, dejando una empanada terminada.



**Figura 3.30** Empanada sellada y cortada.

**Fuente:** Propia



Con la experimentación física realizada, se conoce que 4 (Kg) de peso aplicado sobre el molde, son suficientes para cortar y sellar la empanada sin ningún problema, dejando un corte y junta perfecta.

Ahora, por motivos de seguridad en el dimensionamiento se toma un valor superior al obtenido durante el experimento para realizar los cálculos, tomando un valor de 6 (Kg) para realizar los cálculos requeridos. Donde se tiene:

$$F = m * g \quad (\text{Ec.3})$$

Sabiendo que:

F= fuerza

m= masa

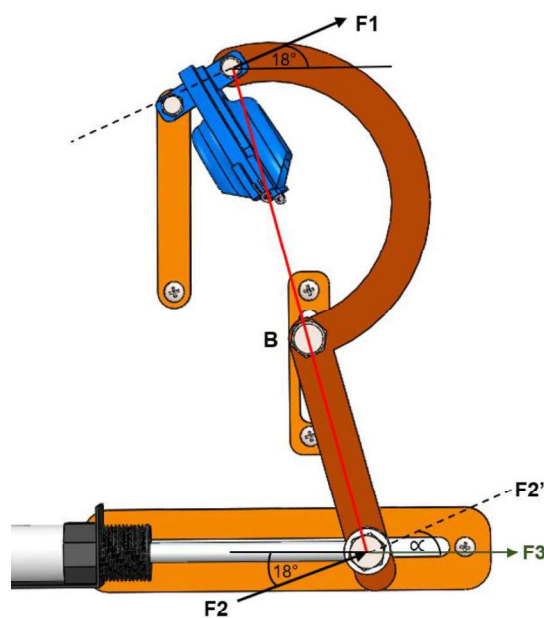
g = gravedad

De la Ec.3 se tiene que:

$$F1 = 6 \text{ Kg} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F1 = 58.8 \text{ N}$$

Las fuerzas que actúan en el sistema se pueden observar en la Figura 3.31.



**Figura 3.31** Fuerzas que actúan en el mecanismo de corte y sellado.

**Fuente:** Propia.

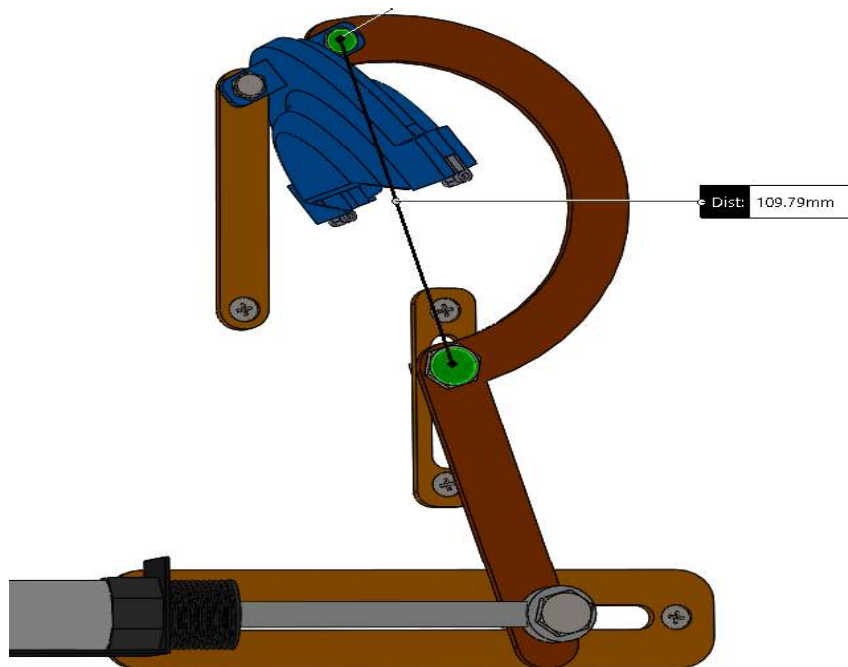
Se aplica la sumatoria de momentos en B:

$$\sum M_B = 0$$

$$F1 * D1 = F2 * D2 \quad (\text{Ec.4})$$

$$F2 = \frac{F1 * D1}{D2}$$

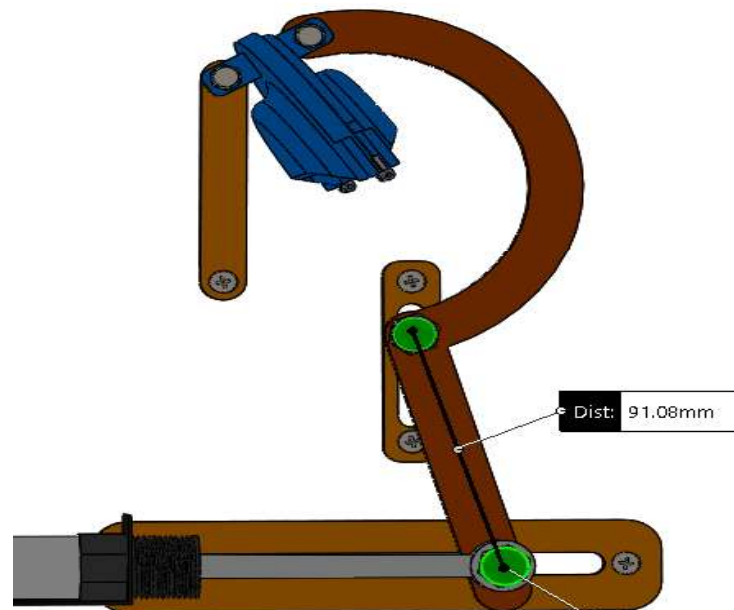
Para obtener la distancia D1 se utilizó el software SOLIDWORK, la misma que se puede observar en la Figura 3.32.



**Figura 3.32** Distancia 1.

**Fuente:** Propia

Para obtener la distancia D2 se utilizó el software SOLIDWORK, la misma que se puede observar en la Figura 3.33.



**Figura 3.33** Distancia 2.

**Fuente:** Propia

Por lo tanto:

$$F2 = \frac{58.8 \text{ N} * 0.109 \text{ m}}{0.091 \text{ m}}$$

$$F2 = 70.43 \text{ N}$$

Una vez obtenida la F2 se puede calcular la F3, sabiendo que por ángulos alternos externos el ángulo de F1 es igual al ángulo de F2. Además, se tiene que:

$$\alpha = 18^\circ$$

Por ángulos opuestos por el vértice entre  $\alpha$  y el ángulo de F2

Por lo tanto, F3 es:

$$\cos(18) = \frac{F3}{F2} \quad (\text{Ec.5})$$

$$F3 = \cos 18 * 70.43 \text{ N}$$

$$F3 = 66.98 \text{ N}$$

La F3 indica la fuerza que debe aplicar el cilindro a la palanca principal para sellar y cortar la empanada.

Mediante la fuerza obtenida, se procede a calcular el diámetro del cilindro que trabajando con un compresor de 2 bar de presión, la fuerza aplicada por un cilindro es:

$$F = P * S \quad (\text{Ec.6})$$

Donde:

F= fuerza aplicada por el cilindro

P= presión aplicada en bar

S= superficie del embolo

Se despeja la superficie del embolo del cilindro

$$S = \frac{F}{P}$$

$$S = \frac{66.98 \text{ kgm/s}^2}{2 * 10^5 \text{ kg/ms}^2} = 3.35 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

La superficie está dada por:

$$S = \frac{\pi * \emptyset^2}{4} \quad (\text{Ec.7})$$

Donde:

S= superficie del embolo

$\emptyset$ = diámetro del cilindro

De la Ec.7, se despeja el diámetro

$$\emptyset = \sqrt{\frac{4s}{\pi}}$$

$$\emptyset = \sqrt{\frac{4(3.35 * 10^{-4}) \text{ m}^2}{\pi}} = 0.0206 \text{ m}$$

$$\emptyset = 20.6 \text{ mm}$$

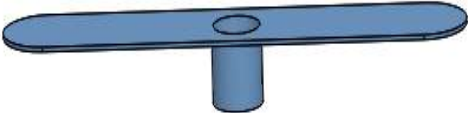

El diámetro para el cilindro doble efecto de corte y sellado es de 20.6 (mm).

- **Selección del cilindro de doble efecto para accionamiento del sistema dosificador.**

Este cilindro al accionarse debe empujar las piezas que conforman el sistema dosificador y la cantidad de relleno que está alojado dentro.

Las piezas que componen el mecanismo, se observan en la Tabla 3.4. Las propiedades físicas se las obtienen mediante la opción calcular propiedades dentro del software SolidWorks.

**Tabla 3.4** Propiedades físicas del mecanismo dosificador.

<p>Placa de deslizamiento superior.</p> 	<p>Propiedades de masa de dispensador 2</p> <p>Masa = 0.03 kilogramos</p> <p>Volumen = 28.13 centímetros cúbicos</p> <p>Área de superficie = 32258.74 milímetros cuadrados</p>
<p>Placa de deslizamiento inferior.</p> 	<p>Propiedades de masa de dispensador 1</p> <p>Masa = 0.14 kilogramos</p> <p>Volumen = 18.02 centímetros cúbicos</p> <p>Área de superficie = 21873.38 milímetros cuadrados</p>

**Fuente:** Propia.

La masa resultante de ambas piezas es el sumatorio de las masas, siendo de 0.17 (kg)

Se toma el volumen de 28.13 (cm<sup>3</sup>), que es el volumen máximo donde esta alojada la cantidad de relleno.

Ahora, es necesario conocer el peso del relleno de la empanada y para ello se necesita conocer su densidad, sabiendo que el relleno siempre será un material sólido; se considerará las peores condiciones que pueda existir dentro del dosificador, que sería un relleno líquido, por este motivo se considera al agua como el fluido más denso que se pueda tener dentro del dosificador con su densidad de 1(g/cm<sup>3</sup>)

La densidad está dada por la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (\text{Ec.8})$$

Donde

$\rho$  = densidad

$m$  = masa

$v$  = volumen

Se despeja de la Ec.8 la masa, de ese modo la masa del relleno es igual al producto de la densidad por el volumen del dispensador.

$$m = 1 \frac{g}{cm^3} * 28.13 cm^3$$

$$m = 28.13 g * \frac{1kg}{1000g}$$

$$m = 0.02813 \text{ kg}$$

La masa total que debe desplazar el cilindro es:

$$m_{total} = 0.02813 \text{ kg} + 0.17 \text{ kg}$$

$$m_{total} = 0.198 \text{ kg}$$

La fuerza ejercida por el mecanismo y la masa de relleno es:

$$F = m * g$$

$$F = 0.198 \text{ kg} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F = 1.94 \text{ N}$$

Trabajando con un compresor de 2 bar de presión

De la EC.6, se despeja la superficie del embolo del cilindro

$$S = \frac{F}{P}$$

$$S = \frac{1.94 \text{ kgm/s}^2}{2 * 10^5 \text{ kg/ms}^2} = 9.7 * 10^{-6} \text{ m}^2$$

De la Ec.7, se despeja el diámetro

$$\varnothing = \sqrt{\frac{4s}{\pi}}$$

$$\varnothing = \sqrt{\frac{4(9.7 * 10^{-6}) \text{ m}^2}{\pi}} = 3.5 * 10^{-3} \text{ m}$$

$$\varnothing = 3.5 \text{ mm}$$

○ **Selección del cilindro simple efecto para cambio de posición de molde.**

Este cilindro cambia la posición del molde por lo que la fuerza que debe vencer es la aplicada por el peso del molde, la palanca de accionamiento de corte y sellado, los pasadores, bisagras y la tortilla de empanada con la cantidad de relleno.

La masa de cada elemento del mecanismo se obtiene mediante el software SolidWorks, opción cálculo de propiedades físicas, que se muestran en la Tabla 3.5. La masa del relleno se lo obtuvo en el apartado del cálculo para el sistema dosificador, la masa de empanada se obtiene conociendo su densidad que es de 7.8 (g/ cm<sup>3</sup>) y multiplicando por el volumen del molde de 15.43 (cm<sup>3</sup>).

**Tabla 3.5** Masa de elementos.

<b>Elemento</b>	<b>Masa (gramos)</b>
Molde	32
palanca	160.07
Pasador 1	1.88
Pasador 2	3.3
Pasador 3	0.78
Bisagra 1	0.32
Bisagra 2	0.32
Relleno	28.13
Tortilla	117
<b>Total</b>	<b>343.8</b>

**Fuente:** propia.

La masa total es 0.3438 (kg)

De la Ec.3 se obtiene la fuerza resultante que ejercen los mecanismos sobre el cilindro:

$$F = 0.3438\text{kg} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F = 3.37 \text{ N}$$

Trabajando con un compresor de 2 bar de presión

De la EC.6 se obtiene la superficie del embolo del cilindro

$$S = \frac{F}{p}$$

$$S = \frac{3.37 \text{ kgm/s}^2}{2 * 10^5 \text{ kg/ms}^2} = 1.68 * 10^{-5} \text{ m}^2$$

De la Ec.7 se despeja el diámetro

$$\varnothing = \sqrt{\frac{4s}{\pi}}$$

$$\varnothing = \sqrt{\frac{4(1.68 * 10^{-5})\text{m}^2}{\pi}} = 4.6 * 10^{-3} \text{ m}$$

$$\varnothing = 4.6 \text{ mm}$$

El diámetro obtenido sirve de base para seleccionar el cilindro adecuado de acuerdo con el catálogo del fabricante.




De los cálculos realizados se tiene el diámetro de cada uno, teniendo:

- a) Cilindro de doble efecto para el mecanismo de corte y sellado es 20.6 (mm).
- b) Cilindro de doble efecto para el mecanismo de dosificación es 3.5 (mm).
- c) Cilindro de doble efecto para el mecanismo de dosificación es 4.6 (mm).

En el Anexo B3, se tiene una parte del catálogo usado donde se seleccionan los cilindros de acuerdo con el diámetro calculado y la carrera estándar.

Los cilindros seleccionados se observan en la Tabla 3.6, se toma el diámetro más cercano de acuerdo con el catálogo proporcionado por el fabricante. Además, la carrera fue elegido de acuerdo con las medidas estándar.

**Tabla 3.6** Cilindros Neumáticos.

CILINDROS NEUMÁTICOS		
	Cilindro de doble efecto	Marca: Parker Carrera: 100 (mm) Vástago: 8 (mm) Diámetro: 20 (mm)
	Cilindro de doble efecto	Marca: Parker Carrera: 100 (mm) Vástago: 4 (mm) Diámetro: 10 (mm)
	Cilindro de simple efecto	Marca: Parker Carrera: 50 (mm) Vástago: 4 (mm) Diámetro: 10 (mm)

Fuente: [10].

- **Regulador de presión.**

Los diámetros obtenidos del cilindro para dosificación y del cilindro de cambio de posición de molde, son bastante pequeños, y de acuerdo a los catálogos que ofrecen los fabricantes (Anexo B3), se encontraron cilindros con un diámetro mínimo de 10 (mm) que sobrepasan hasta el doble el diámetro necesario, por lo cual fue necesario colocar una válvula reguladora de presión para ajustar esa presión de entrada hacia estos dos cilindros, para asegurar el correcto funcionamiento



de la máquina con los cilindros seleccionados, el regulador seleccionado es de tipo LR mini, con un margen de regulación de presión de 0.5 a 7 (bar) y sus características se lo puede apreciar en el (Anexo B4 ).

- **Válvula reguladora de caudal.**



Se seleccionan cinco válvulas reguladoras de caudal tipo GRLA (Válvula reguladora de caudal, estrangulación del escape), por ser de bajo caudal que permite regular el aire de alimentación y escape de los cilindros, las características de esta válvula se lo pueden apreciar en el Anexo B5.

- **Válvulas electroneumáticas.**

Estas válvulas son necesarias para accionar de manera remota los cilindros neumáticos.

Las válvulas seleccionadas y sus características se muestran en la Tabla 3.7.

**Tabla 3.7** Electroválvulas.

Elemento	
	<p>Válvula 5/2 Permite accionar el cilindro de doble efecto, además de poder regular el caudal que requiera tanto al avance y al retroceso del cilindro, de forma independiente. Características:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Caudal Qn= 13 (l/s) Qmax= 16(l/s)</li> <li>○ Voltaje 110 (VAC)</li> <li>○ Potencia 2.8 (W)</li> </ul>
	<p>Válvula 3/2 Permite accionar el cilindro de simple efecto, con un caudal variable de acuerdo con el que se necesite. Características:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Caudal Qn= 13 (l/s) Qmax= 16(l/s)</li> <li>○ Voltaje 110 (VAC)</li> <li>○ Potencia 1.4 (W)</li> </ul>

**Fuente:** [10].

- **Selección del sensor de posición de cilindro.**

Se utiliza tres sensores magnéticos para la detección de posición del vástago de cilindro en el siguiente orden:

Sensor 1: INICIAL

Sensor 2: MEDIO

Sensor 3: FINAL

Estos sensores permiten tener 3 posiciones de la palanca selladora durante la etapa de corte y sellado, optimizando de esta manera el número de actuadores para esta etapa.

Se seleccionan los sensores magnéticos MT- 22, debido a que estos son sensores que sirven para detectar la posición del vástago de un cilindro, realizan una conmutación electrónica a través de la presencia de un campo magnético externo. En la Tabla 3.8, se tiene las características de este tipo de sensores.

**Tabla 3.8** Características del sensor MMT-22

Sensores Magnético MT- 22	
	Indicador LED rojo
	Consumo de corriente de 8mA
	Corriente de conmutación 100 mA
	Rango de temperatura de -10 ~ + 70°C
	Potencia 0.96 W

**Fuente:** [11].

En la Figura 3.34, se observa cómo se acopla este tipo de sensor al cilindro neumático, el sensor se coloca por medio de una abrazadera de montaje especial para esta función, y con la regulación de un tornillo se ajusta a una presión moderada, la posición varía de acuerdo con la distancia que se desee que el sensor se active.



**Figura 3.34** Montaje del sensor magnético detector de posición.

**Fuente:** [11].

○ **Selección del compresor.**

Para la selección del compresor es necesario determinar el caudal que requiere el sistema en litros por minuto.

Se calcula el consumo de aire de todos los cilindros, para ello se calcula el volumen de aire consumido en cada ciclo del cilindro que corresponde a una salida y una entrada completa del vástago.

De la Tabla 3.6, se toman los datos de los cilindros seleccionados, y se aplica la Ec.9 para conocer el volumen de aire consumido de cada cilindro.

$$V = \frac{\pi(2\phi_e^2 - \phi_v^2)}{4} * e \left[ \frac{m^3}{ciclo} \right] \quad (Ec.9)$$

Donde:

$V =$  volumen de aire

$\phi_e^2 =$  diametro del embolo en metros

$\phi_v^2 =$  diametro del vástago en metros

$e =$  carrera del vástago en metros

Se obtiene los siguientes resultados del volumen de cada cilindro:

a) Cilindro de doble efecto del mecanismo de corte y sellado.

$$V = \frac{\pi(2 * 0.02^2 - 0.008^2)}{4} * 0.1 \left[ \frac{m^3}{ciclo} \right]$$

$$V = 5.8 * 10^{-5} \left[ \frac{m^3}{ciclo} \right]$$

b) Cilindro de doble efecto del mecanismo dosificador.

$$V = \frac{\pi(2 * 0.01^2 - 0.004^2)}{4} * 0.1 \left[ \frac{m^3}{ciclo} \right]$$

$$V = 1.5 * 10^{-5} \left[ \frac{m^3}{ciclo} \right].$$

c) Cilindro de simple efecto de cambio de posición del molde.

$$V = \frac{\pi(0.01^2)}{4} * 0.05 \left[ \frac{m^3}{ciclo} \right]$$

$$V = 4 * 10^{-6} \left[ \frac{m^3}{ciclo} \right]$$

El volumen total del sistema es  $8 * 10^{-5} \left[ \frac{m^3}{ciclo} \right]$

Para conocer el consumo de aire se emplea la siguiente ecuación:

El consumo de aire por maniobra es:

$$Q = nV \quad (\text{Ec.10})$$

Donde:

$n = \text{numero de ciclos por minuto}$

$Q = \text{consumo de aire en ciclos por minuto}$

$V = \text{volumen de aire}$

De la Tabla 3.1, correspondiente a la venta de empanadas, se tiene un promedio de 200 empanadas vendidas por día o lo que es lo mismo 200 ciclos. Y tomando en cuenta el tiempo mínimo de 5 segundos que demora en activarse cada electroválvula, se tiene un total de 7 activaciones en total, dando un total de 35 segundos para realizar una empanada, o lo que es lo mismo 0.58 minutos.

Entonces los ciclos totales que necesita la máquina para realizar las 200 empanadas son:

$$n = \frac{200 \text{ ciclos}}{0.58 \text{ minutos}}$$

$$n = 344.8 \text{ ciclos/minuto}$$

Entonces la cantidad de aire consumido en ese lapso de trabajo es:

$$Q = 344.8 \frac{\text{ciclo}}{\text{minuto}} * 8 * 10^{-5} \frac{m^3}{\text{ciclo}}$$


$$Q = 27.5 * 10^{-3} \frac{m^3}{\text{minuto}} * \frac{1000 \text{ litros}}{1m^3}$$

$$Q = 27.5 \frac{\text{litros}}{\text{minuto}}$$

El caudal de aire que debe suministrar el compresor es de 27.5 (L/min).

De acuerdo con las características que debe tener el compresor se selecciona un compresor de aerografía, las características se observan en la Tabla 3.9.

**Tabla 3.9** Compresor seleccionado.

	<p>Compresor de aerografía mini 20</p> <p>Capacidad de depósito 1.5 L</p> <p>Caudal: 50 L/min</p> <p>Potencia: 130w</p> <p>Tensión: 120 VAC</p> <p>Presión máx.: 6 bar</p> <p>Peso: 18kg</p>
---	--

**Fuente:** [12].

○ **Unidad de mantenimiento.**

Conocido la presión y el caudal de trabajo se selecciona una unidad de mantenimiento tipo FRL mini que se muestra en la Figura 3.35, que permite filtrar y lubricar cualquier impureza en el aire antes de ingresar al sistema, además de regular el caudal necesario de trabajo.

**Figura 3.35** Unidad de mantenimiento.



**Fuente:** [13].

La unidad seleccionada soporta presiones de 1.5 a 10 (bar) y caudales mayores o iguales a 550 (L/min).

• **Automatización y control de la máquina.**

Mediante el sistema de control se gobierna el funcionamiento de la máquina [14]; la misma que posee variables y elementos por gobernar; como, por ejemplo, la masa (variable del proceso),

actuadores (cilindros neumáticos). A continuación, se procede a seleccionar los elementos de control.

- **Selección del controlador.**

Los criterios para seleccionar el controlador adecuado para la máquina son:

- a) Entradas/ salidas. En la máquina se selecciona solamente entradas digitales ya que no se usará ningún sensor analógico. Se accionará tres cilindros neumáticos con la ayuda de electroválvulas por lo que es necesario tener seis salidas digitales.
- b) Capacidad de memoria. Dentro de la máquina la cantidad de salidas requeridas no es mayor como se mencionó, la lógica de movimientos y accionamientos son simples, por lo que no es necesario usar un PLCs de gran capacidad de memoria.

Los criterios mencionados son determinantes a la hora de seleccionar el controlador adecuado, el controlador que satisface los requerimientos, por fácil operación, es el controlador lógico programable LOGO de Siemens, la estructura y partes que conforman este dispositivo se muestra en el Anexo C1 y los datos técnicos se encuentran en el Anexo C2, en la Tabla 3.10 se observa sus características principales.


**Tabla 3.10** Características principales del LOGO

Controlador Lógico Programable LOGO		
	Número de entradas	8 ED
	Número de salidas	4 SD
	Interfaz	ETHERNET
	Memoria.	400 bloques, Ampliable modularmente
	Pantalla	LCD
	Alimentación:	115/230 V ac
	Entradas	115/230 V ac
Salidas	115/230 v ac Rele	

Fuente: [15].

Al requerir seis salidas para la operación de la máquina, es necesario conectar un módulo de expansión al LOGO, en este caso se selecciona el módulo de expansión DM8 230R, sus características principales se muestran en la Tabla 3.11.

**Tabla 3.11** Características principales del Módulo de expansión

Módulo de expansión DM8 230R		
	Número de entradas	4 ED
	Número de salidas	4 SD
	Alimentación	115/230 V CA/CC

**Fuente:** [15].

En la Tabla 3.12, se puede observar la conexión de los módulos de expansión del PLCs LOGO permitiendo tener en total 8 salidas digitales.

**Tabla 3.12** Conexión de los módulos de expansión del PLCs LOGO.

LOGO Basic, 4 módulos digitales y 4 módulos analógicos								
I1.....I8	I9....I12	I13....I16	I17....I20	I21....I24	AI1, AI2	AI3, AI4	AI5, AI6	AI7, AI8
	Módulo	Módulo	Módulo	Módulo	Módulo	Módulo	Módulo	Módulo
LOGO Basic	digital	digital	digital	digital	digital	digital	digital	digital
Q1...Q4	DM 8	DM 8	DM 8	DM 8	AM 2	AM 2	AM 2	AM 2
	Q5...Q8	Q9...Q12	Q13..Q16					

**Fuente:** [15].

- **Selección de componentes eléctricos**

A continuación, se da a conocer el dimensionamiento y selección de los elementos eléctricos necesarios para la operación de la máquina.

- **Selección de la protección termomagnético.**

Para la máquina se selecciona un interruptor termomagnético que es necesario para la protección del PLC LOGO y a los demás componentes, estos lo protegen de sobretensiones transitorias y cortocircuitos.

Para seleccionar correctamente el interruptor termomagnético, se debe consultar la norma IEC, 2018 (Comisión Electrotécnica Internacional), la cual dice que para el dimensionamiento del valor de la protección no debe sobrepasar el 1,25 veces del valor de la corriente nominal del circuito instalado [16]. A partir de esto se tiene la siguiente (Ecuación 11):

$$I_{m1} = I_{nm} \cdot 1,25 \quad (\text{Ec.11})$$

Donde:

$I_{m1}$  = Corriente del magnetotérmico principal (A)

$I_{nm}$  = Corriente nominal (A)

1,25 = Factor de dimensionamiento

Se obtiene la potencia total que consumirá la máquina, para ello se toma en cuenta la potencia nominal de todos los elementos:

$$P_{CT} = P_{LOGO} + P_{COMP} + P_{SEL} + P_{SEN} + P_{OTROS} \quad (\text{Ec.12})$$

Donde:

$P_{CT}$  = Potencia total del sistema

$P_{LOGO}$  = Potencia activa del LOGO (Ver anexo C3)

$P_{COMP}$  = Potencia del compresor (Ver Tabla 3.9)

$P_{SEL}$  = Potencia de los tres solenoides de las electroválvulas (Ver Tabla 3.7)

$P_{SEN}$  = Potencia de los tres sensores detectores de posición (Ver Tabla 3.8)

$P_{OTROS}$  = Potencias activas de otros como: pulsadores, sensores, etc, esta potencia al ser muy baja se desprecia.

Por lo tanto:

$$P_{LOGO} = 500 \text{ W}$$

$$P_{COMP} = 130 \text{ W}$$

$$P_{SEL} = 2.8 \text{ W} + 2.8 \text{ W} + 1.4 \text{ W} = 7 \text{ W}$$

$$P_{SEN} = 0.96 \text{ W} + 0.96 \text{ W} + 0.96 \text{ W} = 2.88 \text{ W}$$



$$P_{OTROS} = 0 W$$

La potencia total es:

$$P_{CT} = 500 W + 130 W + 7 W + 2.88 W = 639.88 W$$

Con este dato se calcula la corriente nominal del circuito para obtener un valor cercano en el dimensionamiento para el elemento de protección.

$$I_{NCT} = \frac{P_{CT}}{V_L} \quad \text{Ec.12}$$

Donde:

$I_{NCT}$  = Corriente nominal de los elementos (A)

$$I_{NCT} = \frac{639.88 W}{120 V} = 5.33 (A)$$

Una vez que se obtuvo la corriente nominal de los circuitos de control, se le multiplica el factor de dimensionamiento que es de 1,25.

Se obtiene:

$I_M$  = Corriente del termomagnético (A)

$$I_M = 5.33 (A) \cdot 1,25 = 6.66 (A) \quad \text{Ec.13}$$

El termomagnético se selecciona de acuerdo con el valor comercial que es estandarizado, y se elige de acuerdo con el inmediato superior obtenido en los cálculos, seleccionando un interruptor comercial de 8 (A) para el circuito general.

- **Selección del interruptor diferencial.**

Debido a que la máquina está en contacto con las personas en todo momento, es necesario seleccionar un interruptor diferencial para protegerlos contra electrocución.

El valor de la protección diferencial debe ser mayor o igual de la protección termomagnética que protege a la máquina, y además, esta protección se selecciona de acuerdo con un factor de corriente residual definidos por la IEC, en donde un valor de 10 a 30 (mA) es un valor usado para protección de vida contra lesiones por contacto directo [16].

Se selecciona un interruptor diferencial de 25 (A) con sensibilidad de 30 (mA).

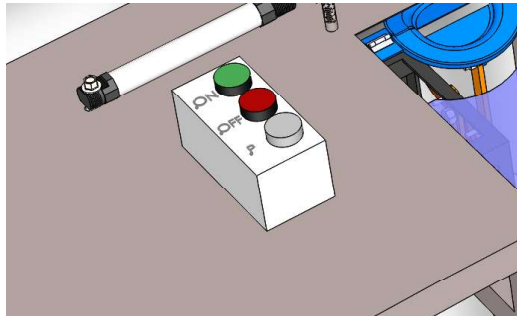
- **Selección de los elementos de mando de la máquina**

- **Pulsadores**

Se selecciona la caja de pulsadores con unidades de mando, por facilidad y protección del operador al momento de realizar el mando manual, debido a que la bornera de los 3 pulsadores

estará colocada directamente sobre la superficie de trabajo de la mesa como se muestra en la Figura 3.36.

Además, las cajas de mando, así como las unidades de mando empotrables, se encuentran equipadas con contactos que en función del tipo de cabeza de mando sólo se conectan o desconectan durante el impulso, tomando después su posición inicial.



**Figura 3.36** Posición de pulsadores.

**Fuente:** Propia

Los pulsadores que se seleccionaron para el accionamiento y apagado del proceso son: un NA (Normalmente abierto) de color verde para el encendido de la máquina, un pulsador NC (Normalmente Cerrado) de color rojo para detener el proceso de la máquina, también usado como paro de emergencia y un pulsador NA color blanco para reiniciar el ciclo de funcionamiento, las características de estos se pueden observar en Anexo B6.

### **3.4. Simulación de la máquina.**

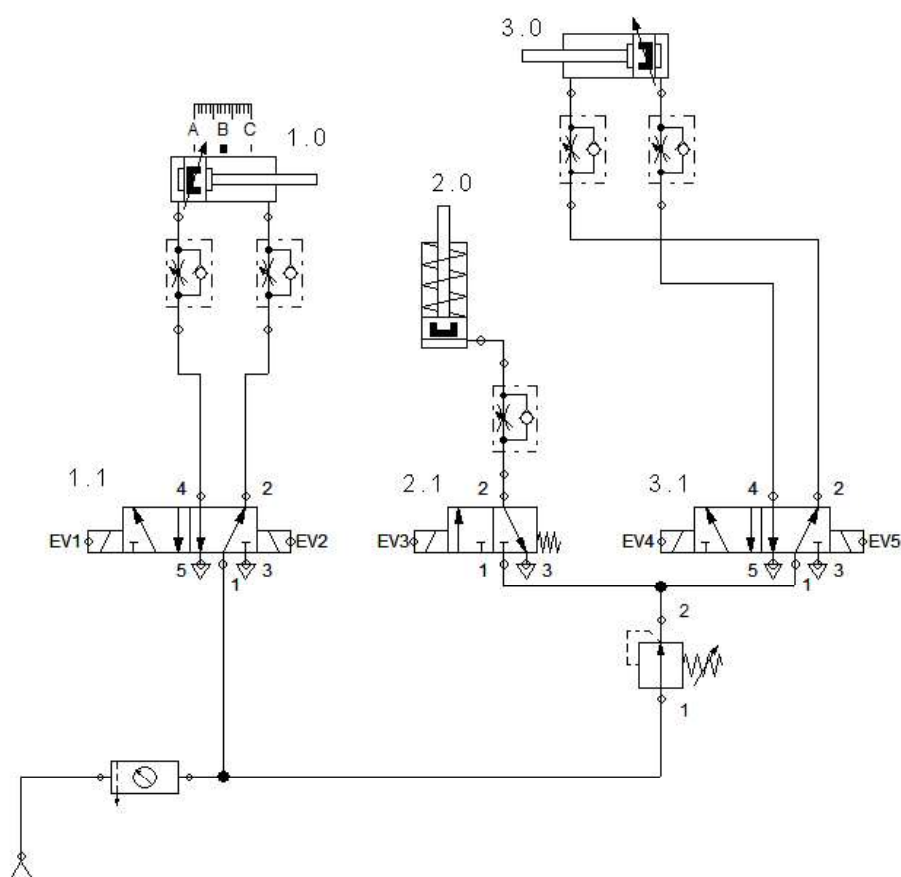
- **Simulación del sistema electroneumático.**

Se utiliza el Software de simulación FLUID SIM, para verificar el funcionamiento correcto del sistema electroneumático, a partir de los elementos seleccionados, el diagrama neumático se puede observar en la Figura 3.37. Donde se observa el conexionado neumático de los cilindros con sus respectivas válvulas de accionamiento.

Dentro del diagrama se diferencia cada cilindro donde cumple un determinado proceso dentro de la máquina.

- a) Cilindro 3.0: al accionarse desplaza al mecanismo dosificador para abastecer de relleno a la empanada.

- b) Cilindro 1.0: se acciona en dos diferentes posiciones con la ayuda de sensores detectores de posición, al primer accionamiento moldea y corta la empanada, y en su segundo accionamiento se encarga de expulsar la empanada del molde hacia la bandeja de deslizamiento.
- c) Cilindro 2.0: al accionarse cambia la posición del molde de empanada, preparándolo para el segundo accionamiento del cilindro 1.0.



**Figura 3.37** Diagrama de la simulación en el Software FLUID SIM.

**Fuente:** Propia.

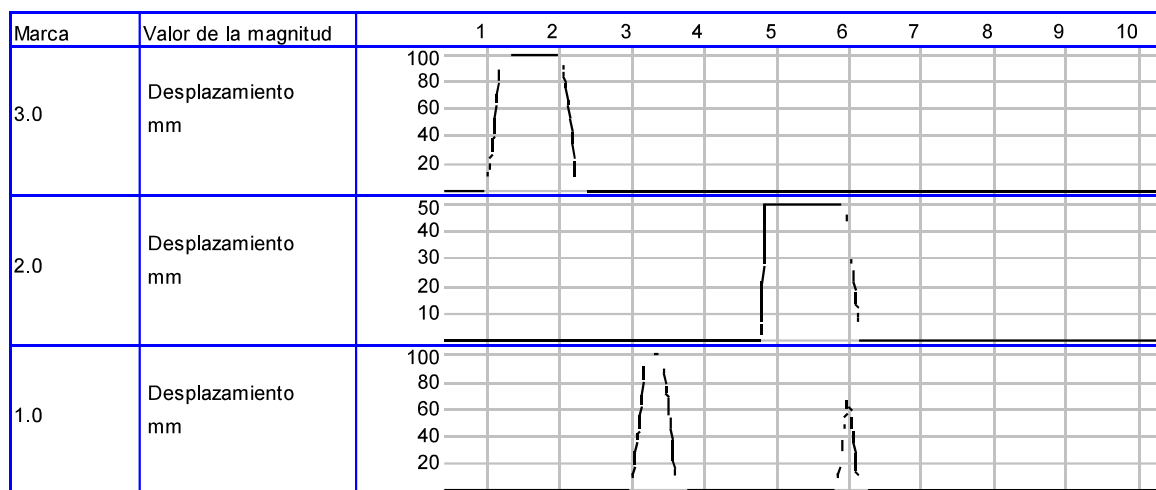
La lógica de contactos realizado para accionar el esquema neumático se lo puede observar en el Anexo D.

Funcionamiento:

- Se activa EV4 y el vástago de 3.0 sale
- Se activa EV5 y el vástago de 3.0 entra
- Se activa EV1 y el vástago de 1.0 sale al 100%

- d) Se activa EV2 y el vástago de 1.0 entra
- e) Se activa EV3 y el vástago de 2.0 sale
- f) Se activa EV1 y el vástago de 1.0 sale al 50%
- g) Se activa EV2 y el vástago de 1.0 entra

El diagrama de movimientos de los cilindros se muestra en la Figura 3.38, donde se aprecia de forma gráfica el movimiento que realiza cada cilindro.



**Figura 3.38** Diagrama de movimientos.

**Fuente:** Propia.

A continuación, es necesario definir el algoritmo de control.

- **Algoritmo de control.**

El algoritmo se construye en base al diagrama de movimientos de los cilindros que se observa en la Figura 3.38, los tiempos de retardo usados, es en función a la cantidad de empanadas por minuto que debe realizar la máquina, siendo de 2 empanadas por minuto.

En el Anexo E, se aprecia el algoritmo de control realizado en lenguaje FBD, que se encarga gobernar los procesos de la máquina.

Las entradas y salidas del LOGO que fueron utilizadas son las siguientes:

Entradas.

- a) I1 corresponde a la entrada del primer sensor detector de posición (ZE 1), que es el encargado de detectar cuando el vástago se encuentra en estado inicial, es decir cuando aún no se ha accionado el cilindro.
- b) I2 corresponde al segundo sensor detector de posición (ZE 2), se encarga de detectar cuando el vástago del cilindro ha realizado un 50 % de su carrera.
- c) I3 corresponde al tercer sensor detector de posición (ZE 3), se encarga de detectar cuando el vástago del cilindro ha realizado el 100% de su carrera.
- d) I4 la entrada está conectada a un pulsador (S1), se encarga de iniciar el proceso, comenzando la secuencia de movimientos de los actuadores.
- e) I5 la entrada está conectada a un pulsador (S2), se encarga de detener el proceso en cualquier instante, sirviendo además como paro de emergencia.
- f) I6 esta entrada se conecta a un pulsador (S3), se encarga de reiniciar el proceso cuando este ha concluido, permite seguir realizando la secuencia de forma indeterminada según se requiera.

#### Salidas.

- a) Q1 se conecta a la entrada EV1 de la electroválvula 1.1
- b) Q2 se conecta a la entrada EV2 de la electroválvula 1.1
- c) Q3 se conecta a la entrada EV3 de la electroválvula 2.1
- d) Q4 se conecta a la entrada EV4 de la electroválvula 3.1
- e) Q5 se conecta a la entrada EV5 de la electroválvula 3.1
- f) Q6 se conecta al contactor que activa al compresor EZ.

En la Tabla 3.13 se aprecia las entradas y salidas mencionadas, con su correspondiente al conector asociado.

**Tabla 3.13** Entradas y salidas usadas del controlador.

Entradas		Salidas	
I1	ZE 1	Q1	EV1
I2	ZE 2	Q2	EV2
I3	ZE 3	Q3	EV3
I4	S1	Q4	EV4
I5	S2	Q5	EV5
I6	S3	Q6	EZ

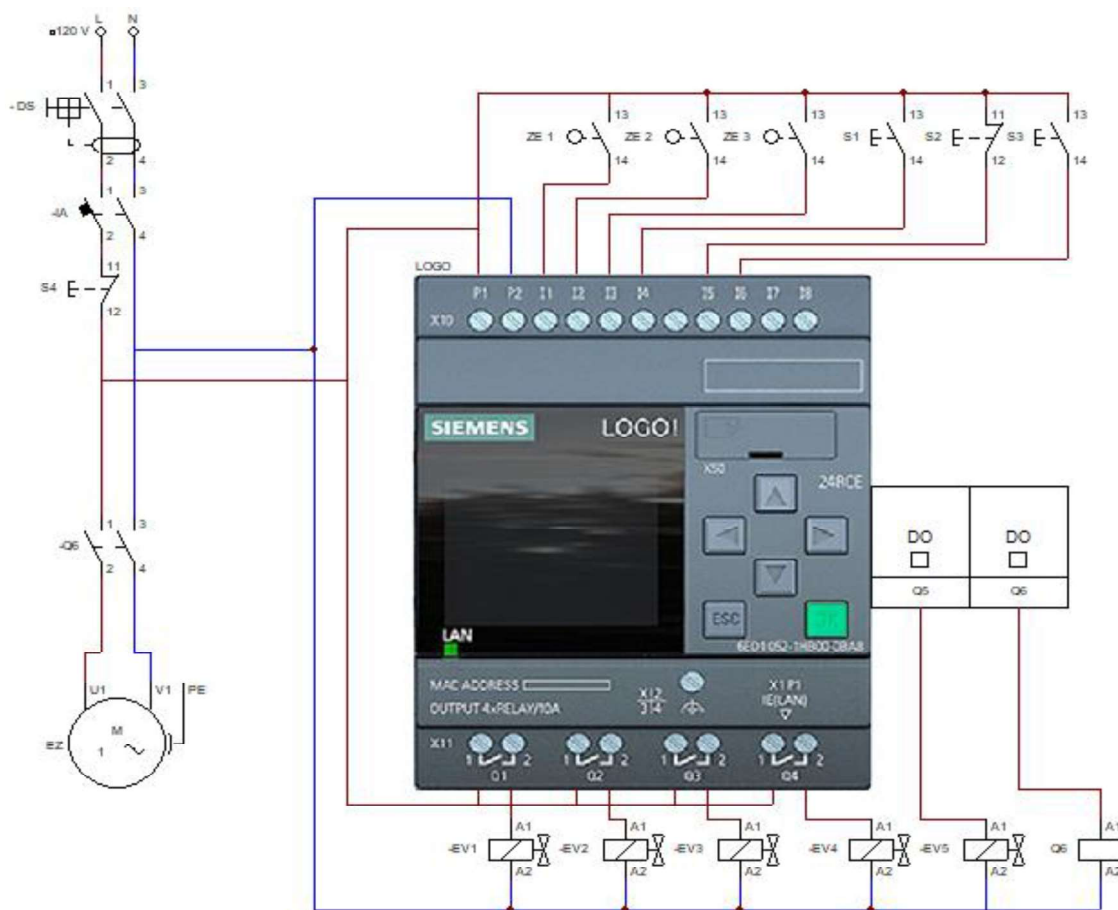
**Fuente:** Propia.

○ **Esquema eléctrico.**

En la Figura 3.39, se puede observar el diagrama de conexión eléctrica de todo el sistema, con su respectiva protección para cada componente que lo conforma; además, se observa la conexión de las salidas extras correspondientes al módulo de expansión.

Dentro del diagrama se puede apreciar los siguientes elementos:

- a) SD: Interruptor diferencial
- b) IA: Interruptor termomagnético
- c) S: Interruptor, pulsador
- d) ZE: Sensor de posición
- e) EV: Electroválvula
- f) EZ: Compresor



**Figura 3.39** Esquema eléctrico de la máquina.

**Fuente:** Propia.

### 3.5. Pruebas de funcionamiento de la máquina.

- **Análisis de fuerzas de los mecanismos de la máquina**

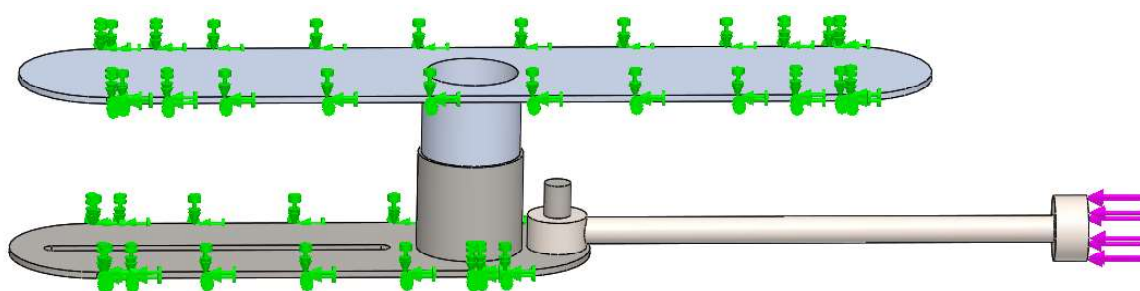
Mediante el software de diseño, ensamble y simulación SOLIDWORKS, se realizó el análisis estático de los mecanismos, tanto de dosificación del relleno, como el de corte y sellado de la empanada, para probar la seguridad y durabilidad de las piezas que conforman estos mecanismos.

Además, con este análisis se conoce los puntos donde se generan la máxima tensión, y puntos donde puedan existir desgaste o deformidad de las piezas, o incluso llegar a fallar, es por ésta razón que a través de las pruebas estáticas se comprueba que el funcionamiento sea adecuado [17], para que cuando se construya la máquina en su modelo real no exista complicaciones mecánicas.

Los tipos de análisis que se realiza son el de esfuerzos producidos, de deformación, desplazamiento realizado y factor de seguridad de cada uno de los mecanismos durante su operación.

- **Análisis de fuerzas del mecanismo de dosificación**

El análisis de fuerzas se realiza en el software de diseño SolidWorks, y en la Figura 3.40 se puede observar la representación de la fuerza tomadas en cuenta para realizar el análisis estático en el mecanismo de dosificación del relleno para las empanadas, en la cual las flechas de color rosado representan la fuerza externa aplicada, que en este caso es la que ejerce el vástago del cilindro de doble efecto, y las flechas de color verde indican las superficies fijas.

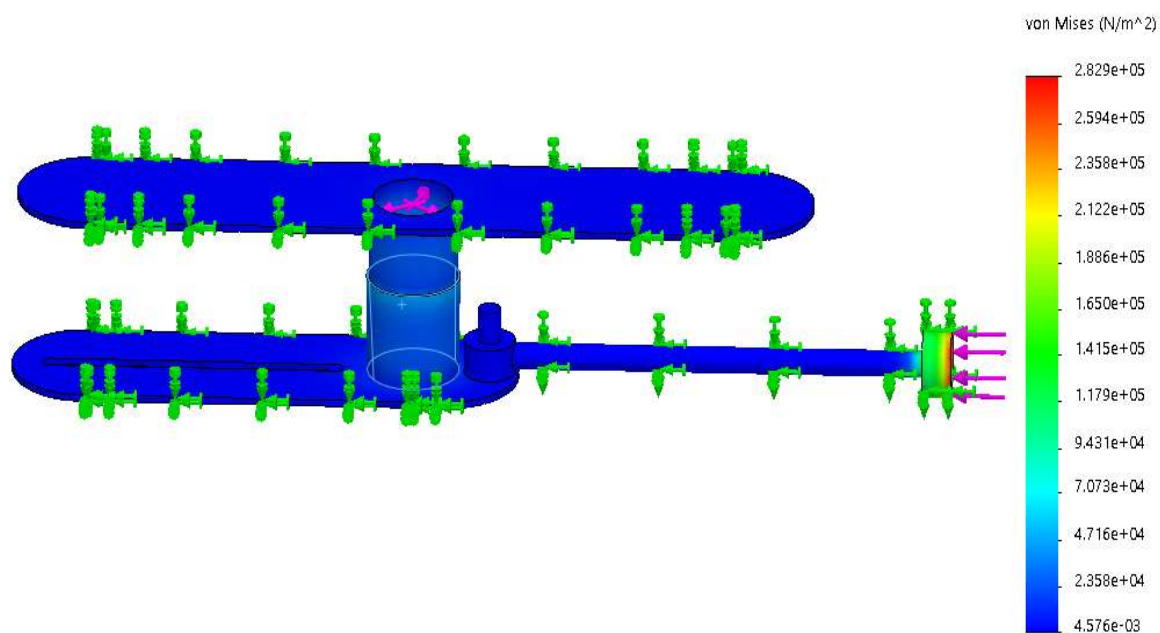


**Figura 3.40** Fuerza externa aplicada al mecanismo de dosificación.

**Fuente:** Propia.

En la Figura 3.41, se observa el análisis de esfuerzos producidos durante el funcionamiento del mecanismo de dosificación en este caso se puede conocer los puntos en las piezas donde se produce la máxima tensión, cuando se active el cilindro de doble efecto.

En la parte derecha de la imagen se puede apreciar una barra de colores, la cual representa la escala de esfuerzos de valores mínimos y máximos de VON MISES en (MPa) de la tensión aplicada, donde el color azul representa los valores mínimos, y va hacia el rojo que son los valores máximos, en este caso el color verde claro que se observa entre la unión de la placa de deslizamiento superior y placa de deslizamiento inferior, es el punto del mecanismo donde se produce el máximo esfuerzo; además, en el tope del extremo también se produce un punto donde se concentra la máxima tensión, lo que quiere decir que en estos puntos las piezas que conforman el mecanismo pueden llegar a fallar. Sin embargo, el material utilizado y que se especificó anteriormente, garantiza que la estructura resista la operación para la cual fue elegido, es por esta razón que el color es verde claro y no rojo, es decir que la fuerza aplicada es la adecuada para esta operación.

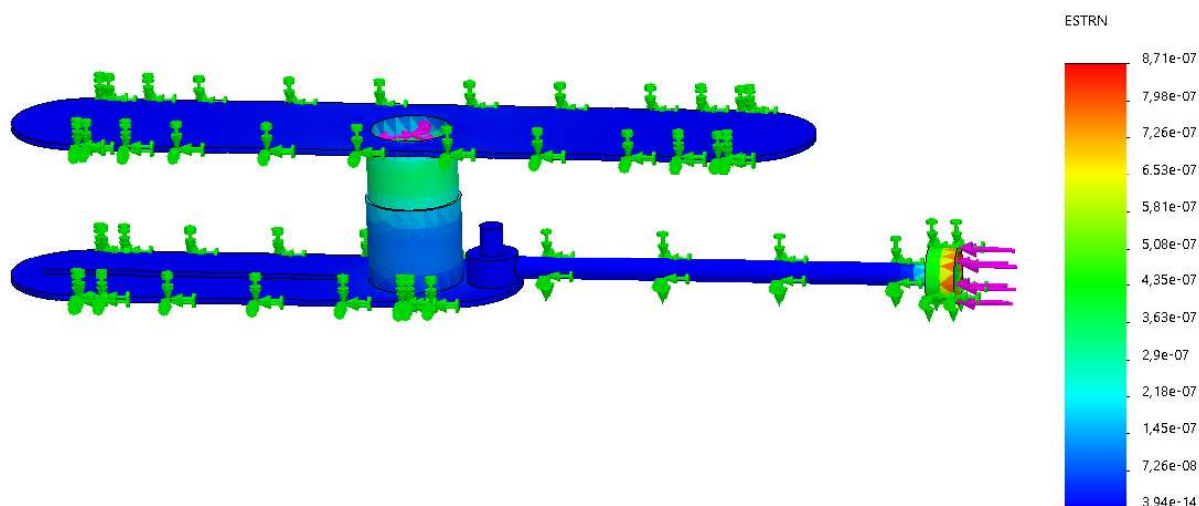


**Figura 3.41** Análisis de esfuerzos del mecanismo de dosificación

**Fuente:** Propia



En la Figura 3.42, se observa el análisis de deformación del mecanismo de dosificación del relleno, que es el cambio que sufre un cuerpo en su tamaño o forma natural, al aplicar sobre este una fuerza externa ya sea de tensión o compresión. En este caso la fuerza externa aplicada a este mecanismo es la fuerza ejercida por el vástago del cilindro de doble efecto. En la figura se aprecia un color verde claro entre las placas de deslizamiento inferior y superior. Esto se debe a que estas placas se encuentran en su límite máximo de separación, teniendo poca superficie de contacto. Además, esto hace que la placa de deslizamiento superior tienda a permanecer fija mientras que la placa de deslizamiento inferior se mueve. Por esta razón, existe una leve deformación entre la unión de estas placas, ya que es en esa área donde existe mayor concentración de esfuerzos.

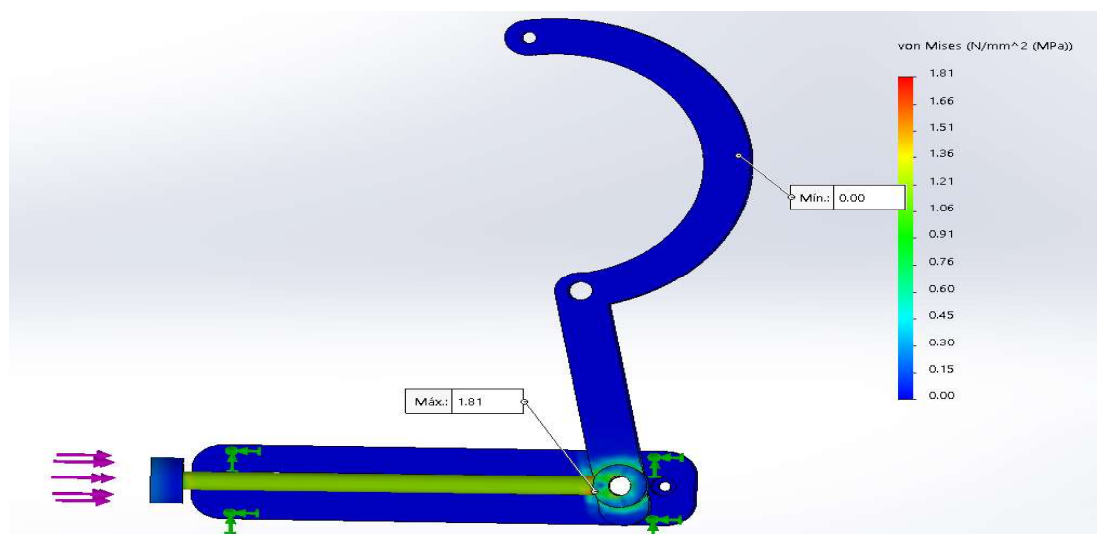


**Figura 3.42** Análisis de deformación mecanismo de dosificación.

**Fuente:** Propia.

○ **Análisis de fuerzas del mecanismo de corte y sellado de la empanada**

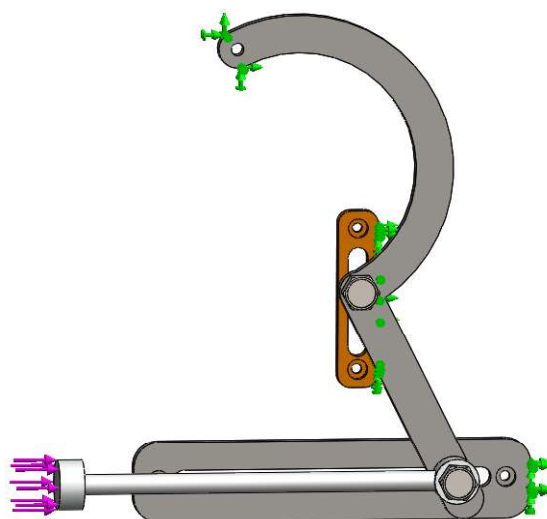
En la Figura 3.43, se observa el punto donde se aplica una fuerza horizontal de 70 (N). Este punto tiene la presión máxima igual a 1.81 (MPa). Sin embargo, al tener un mecanismo que consta de varias piezas, se realizó el análisis en conjunto ya que de esta manera las fuerzas se distribuyen a todo el mecanismo, esto se visualiza en la Figura 3.45.



**Figura 3.43** Análisis de fuerzas de la palanca principal.

**Fuente:** Propia.

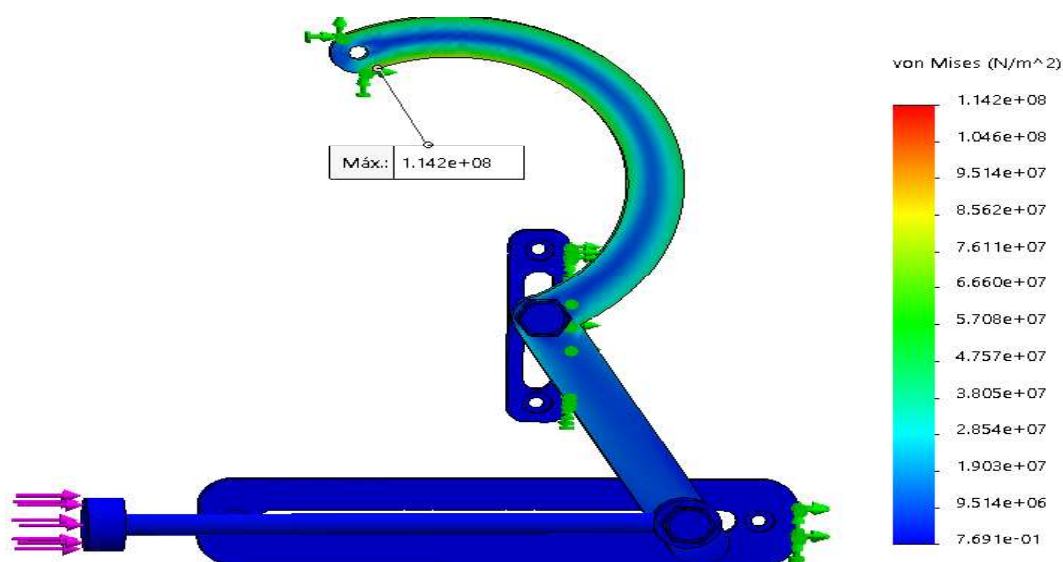
En la Figura 3.44, se observa la representación de la fuerza externa que se aplica al mecanismo de corte y sellado de las empanadas. Las flechas de color rosado representan la fuerza que ejerce el vástago del cilindro de doble efecto, y las flechas de color verde representan las superficies que se encuentran fijas durante el funcionamiento del mecanismo. Es importante recalcar que la palanca principal de corte y sellado se encuentra en la posición máxima de sellado y corte, por lo que el extremo superior se mantiene fijo.



**Figura 3.44** Fuerza externa aplicada al mecanismo de corte y sellado.

**Fuente:** Propia.

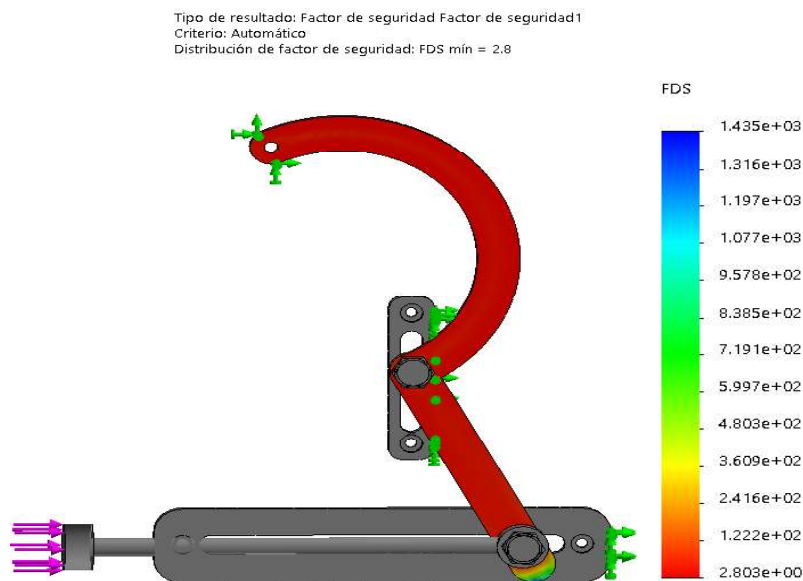
En la Figura 3.45, se observa el análisis de fuerzas de las piezas en conjunto del mecanismo de corte y sellado de la empanada. Se puede visualizar claramente que las fuerzas aplicadas se distribuyen de manera uniforme hacia toda la palanca principal. Los esfuerzos se pueden notar mejor en la superficies exteriores superior e inferior de la sección curva de la palanca. Los esfuerzos presentes, son esfuerzos de compresión y de tensión. Además, se tiene un esfuerzo de VON MISES máximo de  $1.14 \times 10^8$  (MPa). De esta manera la palanca principal aplica la fuerza necesaria en el molde para sellar y cortar la masa de la empanada. Esto gracias a la pieza de enlace que le permite desplazarse verticalmente, haciendo el mecanismo más óptimo, para un correcto funcionamiento y durabilidad de las piezas.



**Figura 3.45** Análisis de fuerzas del mecanismo de corte y sellado.

**Fuente:** Propia

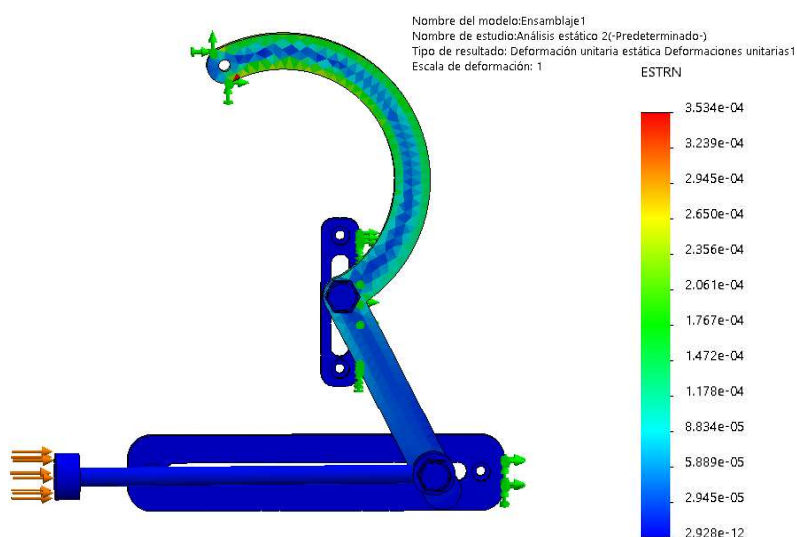
En la Figura 3.46, se observa la distribución del factor de seguridad. El mínimo valor es igual a 2,8 en la palanca principal de corte y sellado de la empanada. Sabiendo que el factor mínimo de seguridad debe ser igual o mayor a 2, se puede decir que la pieza mencionada va a soportar sin problemas la carga aplicada.



**Figura 3.46** Análisis de factor de seguridad del mecanismo de corte y sellado

**Fuente:** Propia

En la Figura 3.47, se representa el análisis de deformación del mecanismo de corte y sellado. Se puede visualizar que en la superficie inferior de la curvatura de la palanca principal existe una deformación máxima de  $3.54 \times 10^{-4}$ . Esto debido a que en esta zona existe mayor concentración de esfuerzos, pero al ser esta deformación la mínima, se puede decir que el mecanismo de corte y sellado no falla. Además, el material usado da garantía de una buena durabilidad de la pieza.



**Figura 3.47** Análisis de deformación del mecanismo de corte y sellado

**Fuente:** Propia.

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. Conclusiones

- La facilidad de acceder y trabajar con programas de diseño mecánico y control automático industrial, permitieron que este proyecto de titulación se haya logrado satisfactoriamente en todas las etapas de diseño, modelado, ensamble y simulación para una máquina elaboradora de empanadas. Esta máquina cumple con las expectativas de diseño, además, es de peso ligero y pequeña para que facilite su movilidad, haciendo que sea agradable y accesible para los productores en general.
- Construir una máquina que se introducirá en el sector de la producción alimenticia implica conocer de su mercado productor y consumidor, por ello la utilización de una metodología exploratoria como encuestas directas hacia este sector, proporcionan información vital para su diseño y dimensionamiento final.
- La disponibilidad de diferentes librerías de materiales dentro del software SOLIDWORKS permite seleccionar el material adecuado para cada parte del diseño de la máquina. Por lo tanto, se puede realizar una simulación del proceso con resultados muy próximos al que se obtendría con un modelo real.
- El control discreto usado en la máquina puede ser realizado en base a compuertas RS (set- reset), que permiten realizar el programa por bloques y dar acceso a los retardos internos usados. Según la configuración se permite aumentar o disminuir la velocidad de operación de la máquina.
- Las pruebas experimentales realizadas con la ayuda de materiales caseros, para encontrar las fuerzas ideales que deben aplicar los mecanismos, permitieron obtener datos reales de dimensionamiento, esta información fue usada dentro de la simulación para conocer el comportamiento de los mecanismos de la máquina, el cual es muy cercano a la operación real de la máquina.
- Se confirma el funcionamiento de la máquina por medio del análisis de fuerzas o análisis dinámico realizado en los sub-ensamblajes. Este análisis toma en cuenta todos los estados de carga de la máquina en operación, así se detectó los puntos débiles, y de desgaste en los mecanismos de corte, sellado y dosificación, verificando que no son críticos por lo cual la máquina funciona sin inconvenientes.
- El diseño final permite crear 207 empanadas trabajando en un lapso de 2 horas, logrando satisfactoriamente cumplir los requerimientos iniciales planteados.

## 4.2. Recomendaciones

- Debido a que la máquina no necesita más de 7 salidas y la lógica de movimientos y accionamientos son simples, no es recomendable usar un PLCs de gran capacidad de memoria, porque sería un sobredimensionamiento del autómata.
- Se controla la máquina desde un mando manual, sin embargo, se recomienda tener consideración de la probabilidad de comunicación entre dos o más controladores, mediante un protocolo de comunicación a futuro. Es importante mencionar que actualmente inclusive los controladores de menor rango pueden comunicarse a través de diversos protocolos de comunicación.
- Para realizar una simulación de ensamblajes dentro del software SOLIDWORKS, se recomienda fijar las piezas que no realizarán movimientos, para no tener complicaciones en la simulación.
- Usar la biblioteca *Toolbox* que se encuentra en el software SOLIDWORKS, porque se encuentran los pernos y tuercas con normas y medidas estándares existentes en el mercado.
- Seleccionar y trabajar con materiales estándar que se puedan encontrar en el mercado, y que se puedan encontrar dentro del software SOLIDWORKS, para obtener una simulación más precisa y real, durante el análisis de fuerzas.
- Dentro del análisis de fuerzas de la máquina se recomienda realizar sub-ensamblajes, para observar cómo actúan las fuerzas en el conjunto de piezas que lo conforman.
- Crear varios planos auxiliares para facilitar la utilización de la operación recubrir en el software SOLIDWORKS, para el modelado de algunas de las piezas.
- Utilizar materiales normalizados, que se encuentren aptos para realizar procesos que se encuentren en contacto directo con los alimentos, para evitar la contaminación del producto a consumir.
- En el caso de requerir implementar la máquina se recomienda usar una tolerancia de  $\pm 0,1$  (mm), al mecanizar las piezas de los mecanismos.
- Si requiere aumentar el proceso de producción, se recomienda reducir el tiempo de los temporizadores dentro del algoritmo de control, hasta un máximo de 0,5 segundos para cada temporizador.

## 5. REFERENCIAS

- [1] «UNIVERSO,» 29 10 2014. [En línea]. Available: <https://www.eluniverso.com/noticias/2014/10/22/nota/4135486/empanadabocado-evocarrecuerdos>.
- [2] U.p.d.p, «¿Empanada mental o bocadillo ideal?,» 2011. [En línea]. Available: [http://unpedazodepan.es/empanada-mental-o-bocadillo-ideal/..](http://unpedazodepan.es/empanada-mental-o-bocadillo-ideal/)
- [3] Z. R. Vargas Cordero, «La investigación aplicada,» Educación, pp. 155-165, 2014.
- [4] «SOLIDBI,» SOLIDWORKS, que es y para que sirve, 2017. [En línea]. Available: [https://solidbi.es/solidworks/..](https://solidbi.es/solidworks/)
- [5] R. Gonzalez, «PDCA,» 20 11 2012. [En línea]. Available: [https://www.pdcahome.com/2569/matriz-de-pugh-ayuda-a-la-toma-de-decisiones/.](https://www.pdcahome.com/2569/matriz-de-pugh-ayuda-a-la-toma-de-decisiones/)
- [6] A. M. Marin Herrera, «Soldadura y estructuras,» 2016. [En línea]. Available: [http://soldadurayestructuras.com/2184323\\_Inicio.html](http://soldadurayestructuras.com/2184323_Inicio.html).
- [6] A. M. Marin Herrera, «Soldadura y estructuras,» 2016. [En línea]. Available: [http://soldadurayestructuras.com/2184323\\_Inicio.html](http://soldadurayestructuras.com/2184323_Inicio.html).
- [7] «ALU STOCK,» 2020. [En línea]. Available: [https://www.alu-stock.es/es/aluminio-industria/perfiles-normalizados/.](https://www.alu-stock.es/es/aluminio-industria/perfiles-normalizados/)
- [8] A. Muñoz, La seguridad industrial su estructuracion y contenido, Miner, 2000.
- [9] «ALL3DP,» [En línea]. Available: [https://all3dp.com/es/1/filamento-3d-filamento-impresora-3d/.](https://all3dp.com/es/1/filamento-3d-filamento-impresora-3d/)
- [10] «PARKER,» [En línea]. Available: <https://ph.parker.com>.
- [11] «CHANTO,» [En línea]. Available: [https://www.chanto.com.tw/.](https://www.chanto.com.tw/)
- [12] «ABAC,» [En línea]. Available: <https://www.abacaircompressors.com/es/dealer/tarifas>
- [13] «FESTO,» [En línea]. Available: [https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/377670/Process\\_Automation\\_es\\_2019-05\\_low.pdf](https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/377670/Process_Automation_es_2019-05_low.pdf).

- [14] Siemens, «Características generales,» 1 noviembre 2018. [En línea]. Available: [https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/controladores\\_modulares/logo/pages/default.aspx](https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/controladores_modulares/logo/pages/default.aspx).
- [14] Siemens, «Características generales,» 1 noviembre 2018. [En línea]. Available: [https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/controladores\\_modulares/logo/pages/default.aspx](https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/controladores_modulares/logo/pages/default.aspx).
- [15] IEC, «IEC Academy,» 10 12 2018. [En línea]. Available: <https://www.iec.ch/>.
- [16] G. Carman, «CARMAN OFFICIAL SITE,» [En línea]. Available: <https://www.alu-stock.es/es/aluminio-industria/perfiles-normalizados/>.
- [17] L. M. Cerda, Instalaciones eléctricas y automatismos, Madrid: Paraninfo, 2014.
- [18] G. Henriquez Harper, Manual de instalaciones electromecánicas, México, D.F.: Limusa, 2004.
- [19] V. G. Adrian López, «Aplicación de fusibles e interruptores termomagnéticos,» 10 12 2010. [En línea]. Available: <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/101296/D-CD90818.pdf>.



## **6. ANEXOS.**

**ANEXO A:** Modelos de encuesta a productores.

**ANEXO B:** Catálogo de componentes.

**ANEXO C:** Estructura y datos técnicos del módulo PLC LOGO

**ANEXO D:** Diagrama lógico de contactos de relé.

**ANEXO E:** Algoritmo de control en lenguaje FBD.

**ANEXO F:** Diagrama de flujo.