



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
SALESIANA
ECUADOR

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

**DISEÑO DE UNA MÁQUINA EMPACADORA
AUTOMATIZADA PARA EL EMBALAJE DE 500G DE
HARINA DE SOYA**

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

AUTORES: Axel Joao Orellana Morán
Diego Alexander Aldaz Verdesoto
TUTOR: José Alexander Zambrano García

Guayaquil - Ecuador
2025

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, **Axel Joao Orellana Moran** con documento de identificación N° **0705376408** y **Diego Alexander Aldaz Verdesoto** con documento de identificación N° **0951817584**; manifestamos que:

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

Guayaquil, 27 de febrero del año 2025

Atentamente,



Axel Joao Orellana Moran
0705376408



Diego Alexander Aldaz Verdesoto
0951817584

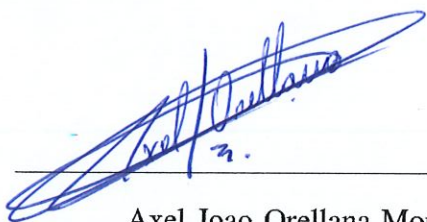
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, **Axel Joao Orellana Moran** con documento de identificación N° **0705376408** y **Diego Alexander Aldaz Verdesoto** con documento de identificación N° **0951817584**, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del **DISEÑO DE UNA MÁQUINA EMPACADORA AUTOMATIZADA PARA EL EMBALAJE DE 500G DE HARINA DE SOYA**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Guayaquil, 27 de febrero del año 2025

Atentamente,



Axel Joao Orellana Moran
0705376408



Diego Alexander Aldaz Verdesoto
0951817584

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **José Alexander Zambrano García**, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **DISEÑO DE UNA MÁQUINA EMPACADORA AUTOMATIZADA PARA EL EMBALAJE DE 500G DE HARINA DE SOYA**, realizado por **Axel Joao Orellana Moran** con documento de identificación N° **0705376408** y por **Diego Alexander Aldaz Verdesoto** con documento de identificación N° **0951817584**, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción **Dispositivo Tecnológico** que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 27 de febrero del año 2025

Atentamente,



Ing. José Alexander Zambrano García, Mg.
0703175521

RESUMEN

El proyecto actual implica el diseño, desarrollo y programación de una máquina empacadora, para ayudar al proceso de embalaje de 500 gramos de harina de soya, que debe ser accesible al mercado y fácil de operar.

El proyecto emerge de la necesidad de optimizar el proceso de empaquetado, aumentar la precisión y reducir costos operativos. La máquina integra sistemas mecánicos, neumáticos y de control automatizado, utilizando un PLC Siemens 1217 DC/DC/DC para la gestión del proceso.

El diseño de la máquina se realizó utilizando el software SolidWorks para obtener sus principales componentes, planos y estudios estructurales, los cuales ayudaron a evaluar cambios de forma y tamaño bajo diferentes cargas para garantizar la seguridad y eficiencia durante la fabricación.

planos y estudios estructurales, que ayudan a evaluar cómo cambian las formas y dimensiones bajo las diferentes cargas para garantizar la seguridad y eficiencia al fabricarlo.

El diseño incluye un sistema de llenado basado en una tolva, un sistema de sellado neumático y un mecanismo de desenrollado de film plástico. Se realizaron análisis estructurales mediante simulaciones por elementos finitos (FEA), verificando que los materiales seleccionados (planchas de acero y acero inoxidable) soportan las cargas operativas con un factor de seguridad de 1.5. Además, se calcularon los consumos de energía y aire comprimido, determinando que la máquina requiere una fuente de alimentación de 400 W y un compresor de 30 L/min para operar eficientemente.

Palabras claves: Máquina empacadora, Automatización, Harina de soya, SolidWorks, Deformación estructural.

ABSTRACT

The current project involves the design, development, and programming of a packaging machine to facilitate the packing process of 500 grams of soybean flour. The machine must be market-accessible and easy to operate.

This project arises from the need to optimize the packaging process by improving precision and reducing operational costs. The machine integrates mechanical, pneumatic, and automated control systems, utilizing a Siemens 1217 DC/DC/DC PLC component to manage the process.

The machine was designed using the SolidWorks program to generate its main components, blueprints, and structural studies, which help assess how shapes and dimensions change under different loads to ensure safety and efficiency during manufacturing.

The design includes a filling system based on a hopper, a pneumatic sealing system, and a plastic film unwinding mechanism. Structural analyses were conducted using finite element simulations (FEA) to verify that the selected materials (steel plates and stainless steel) can withstand operational loads with a safety factor of 1.5. Additionally, energy and compressed air consumption were calculated, determining that the machine requires a 400 W power supply and a 30 L/min compressor for efficient operation.

Keywords: Packaging machine, Automation, Soybean flour, SolidWorks, Structural deformation.

ÍNDICE

I.	Introducción	1
II.	Problema	2
III.	Justificación	3
IV.	Objetivos	4
IV-A.	Objetivo general	4
IV-B.	Objetivos específicos	4
V.	Marco Teórico	5
V-A.	Sistemas Neumáticos	5
V-B.	Sistemas Mecánicos	6
V-C.	Máquinas empacadoras	7
V-D.	Sistema de empacado	7
V-E.	Sistema de sellado	8
V-F.	Tipos de envases flexibles comerciales	8
VI.	Marco Metodológico	9
VI-A.	Recolección y Análisis de Información	9
VI-A1.	Técnicas de Recolección de información	9
VI-A2.	Análisis de Datos	9
VI-A3.	Condiciones del Análisis	9
VI-B.	Diseño de la Máquina Empacadora	10
VI-B1.	Requisitos de Diseño	10
VI-C.	Diseño Conceptual	10
VI-D.	Vista Isométrica Detallada	11
VI-E.	Partes de la Máquina y su Función	11
VI-E1.	Principios de Funcionamiento	13
VI-E2.	Selección de Componentes	13
VI-F.	Función del sistema	15
VI-G.	Diseño Detallado	16
VI-H.	Sistemas de transmisión	16
VI-H1.	Selección de materiales	18
VI-I.	Ensamblaje	19
VI-I1.	Ensamblado estructural	19
VI-J.	Modelado y Análisis Estructural	20
VI-J1.	Propiedades del Material	20
VI-J2.	Condiciones del Análisis	20
VI-J3.	Tipos de Esfuerzos Analizados	20
VI-J4.	Interpretación de los Gráficos	20
VI-K.	Cálculo de la Fuerza y Torque Necesario para el Desenrollado del Film	21
VI-K1.	Descripción del Sistema	22
VI-K2.	Cálculo de la Aceleración Angular	22
VI-K3.	Cálculo del Momento de Inercia del Film	22
VI-K4.	Cálculo del Torque Necesario	22
VI-K5.	Torque debido a la fricción de los rodamientos	23

VI-K6.	Torque total requerido	23
VI-K7.	Cálculo de la Potencia del Motor	23
VI-K8.	Justificación de la Velocidad del Motor	24
VI-L.	Sistema Eléctrico	24
VI-L1.	Potencia total consumida	24
VI-L2.	Corriente total consumida	25
VI-M.	Sistema neumático	25
VI-N.	Cálculo de la Fuerza Necesaria para Cerrar el Paquete	27
VI-N1.	Comparación de Fuerzas	27
VI-Ñ.	Programación PLC	28
VI-O.	Diagrama Neumática	37
VI-P.	Simulación Paso a Paso del Proceso de Empaque: Vista en AutoCAD	38
VII.	Validación de Resultados	41
VII-A.	Validación de Competitividad	41
VII-A1.	Metodología de Comparación	41
VII-A2.	Datos del Distribuidor Local (Métodos Tradicionales)	41
VII-A3.	Datos de la Máquina Empacadora	41
VII-A4.	Análisis Comparativo	42
VII-A5.	Análisis Costo-Beneficio	42
VII-A6.	Beneficios No Económicos	42
VII-B.	Resultados	42
VIII.	Cronograma de actividades	44
IX.	Conclusiones	46
X.	Recomendaciones	47
	Referencias	48
	Anexo A: Capturas de Pantalla de la Simulación	50
	Anexo B: Construcción de prototipo	50
	Anexo C: Diseño y materiales	61
	Anexo D: Diagramas	78

ÍNDICE DE FIGURAS

1.	Diseño detallado. Fuente: Los Autores	11
2.	Función del sistema. Fuente: Los Autores	15
3.	Sistema de poleas. Fuente: Los Autores	16
4.	Sistema de sellado vertical. Fuente: Los Autores	17
5.	Mantenimiento del Sistema de sellado vertical. Fuente: Los Autores	17
6.	Acople para funda. Fuente: Los Autores	18
7.	Sistema de resortes. Fuente: Los Autores	18
8.	Paquete de 500 g. Fuente: Los Autores	19
9.	Tensión axial y de flexión. Fuente: Los Autores	21
10.	Desplazamiento estático. Fuente: Los Autores	21
11.	Variables 1. Fuente: Los Autores	28
12.	Variables 2. Fuente: Los Autores	29
13.	Variables 2. Fuente: Los Autores	29
14.	Segmento 1. Fuente: Los Autores	30
15.	Segmento 2. Fuente: Los Autores	31
16.	Segmento 3. Fuente: Los Autores	31
17.	Segmento 4. Fuente: Los Autores	32
18.	Segmento 5. Fuente: Los Autores	32
19.	Segmento 6. Fuente: Los Autores	33
20.	Segmento 7. Fuente: Los Autores	33
21.	Segmento 7. Fuente: Los Autores	34
22.	Segmento 7. Fuente: Los Autores	34
23.	Segmento 7. Fuente: Los Autores	35
24.	Segmento 8. Fuente: Los Autores	36
25.	Segmento 8. Fuente: Los Autores	36
26.	HMI. Fuente: Los Autores	37
27.	Diagrama de neumática. Fuente: Los Autores	37
28.	Simulación AutoCAD. Fuente: Los Autores	38
29.	Simulación AutoCAD. Fuente: Los Autores	39
30.	Simulación AutoCAD. Fuente: Los Autores	39
31.	Simulación AutoCAD. Fuente: Los Autores	40
32.	Alarma en el sistema de control. Fuente: Los Autores	43
33.	Cronograma de actividades. Fuente: Los Autores	44
34.	Tablero eléctrico en construcción. Fuente: Los Autores	50
35.	Engranaje impreso en resina. Fuente: Los Autores	50
36.	Corte de pieza metálica. Fuente: Los Autores	51
37.	Soldadura de base. Fuente: Los Autores	52
38.	Base. Fuente: Los Autores	53
39.	Formado de tubo. Fuente: Los Autores	54
40.	Formado de tolva. Fuente: Los Autores	55
41.	Base en proceso. Fuente: Los Autores	56
42.	Tablero eléctrico terminado. Fuente: Los Autores	57
43.	Proceso de sellado tubular. Fuente: Los Autores	58
44.	Proceso de corte y sellado. Fuente: Los Autores	59
45.	Prototipo completo. Fuente: Los Autores	60
46.	Actuador neumático. Fuente: Los Autores	61
47.	Servomotor. Fuente: Los Autores	61

48.	Tubo cuadrado de aluminio 2" [23]	62
49.	Tubo rectangular de 1 1/4"x 2"x 1.5mm x 6m [24]	62
50.	Rodamientos de bolas de movimiento lineal LMK13UU [25]	63
51.	Perno M3 x 30mm de acero inoxidable [26]	64
52.	Tubo rectangular de 1 1/4"x 2"x 1.5mm x 6m [24]	65
53.	Rodamientos de bolas de movimiento lineal LMK13UU [25]	66
54.	Perno M3 x 30mm de acero inoxidable [26]	67

ÍNDICE DE TABLAS

I.	Parámetros del sistema de desenrollado del film. Fuente: Los autores	22
II.	Consumo energético de los componentes eléctricos. Fuente: Los Autores	25
III.	Resumen de consumo de corriente por componente. Fuente: Los Autores	25
IV.	Resumen de cálculos principales. Fuente: Los Autores	27
V.	Resumen de fuerzas y margen de seguridad. Fuente: Los Autores	27
VI.	Parámetros del distribuidor local. Fuente: Los Autores	41
VII.	Parámetros de la máquina diseñada. Fuente: Los Autores	41
VIII.	Comparación de competitividad. Fuente: Los Autores	42
IX.	Resultados de la simulación del sistema de control. Fuente: Los autores	42
X.	Costo Total de Materiales	45

I. INTRODUCCIÓN

Este estudio tiene como objetivo desarrollar una solución técnica que optimice el proceso de empaquetado en la producción de harina de soya, un componente crucial para la industria alimentaria en Ecuador. Con el fin de mantener altos estándares de calidad y seguridad, se plantea el diseño de una máquina empacadora automatizada que mejore la eficacia del proceso de empaque, garantice la integridad del producto final y reduzca los riesgos asociados con el empaque manual.

El proyecto abarca desde la concepción estructural hasta la implementación de sistemas de automatización. Se utilizarán herramientas como SolidWorks para la modelación y análisis de componentes, garantizando un buen diseño. La programación del sistema incluirá el enclavamiento de marcha y paro, además de la regulación de temperatura mediante histéresis y la normalización de escalamientos. Estos controles aseguran un proceso de embalaje preciso y seguro.

El diseño del sistema neumático de la máquina incorporará cilindros de doble efecto, filtros, reguladores y mangueras de silicona para asegurar la precisión y durabilidad. El sistema de sellado aplicará calor y presión para mantener la frescura y seguridad del producto, evitando la contaminación y el deterioro de la harina de soya.

Al automatizar el proceso de empaquetado, se anticipa que la máquina contribuirá a una mayor consistencia y calidad del producto, así como a una reducción en los costos operativos y un aumento en la competitividad de los productores locales en el mercado. Aunque los resultados exactos dependerán de la implementación y adaptación en condiciones reales, la solución propuesta está diseñada para ofrecer mejoras significativas en la eficiencia y productividad del sector.

II. PROBLEMA

La producción de soya en Ecuador ha experimentado un crecimiento significativo en las últimas décadas, impulsada por las condiciones climáticas favorables y la geografía del país. A pesar de este crecimiento, la competitividad de la producción nacional de soya es limitada, ya que la superficie sembrada en Ecuador representa solo el 5,7 % de la demanda nacional de soya. Este déficit se agrava por la falta de inversión en tecnología, capacitación y seguros agrícolas, factores que influyen directamente en la productividad y competitividad de precios en el sector [1].

Además, la producción de harina de soya en Ecuador enfrenta desafíos logísticos y de eficiencia en el proceso de embalaje, lo que impacta la competitividad y calidad del producto final. Los pequeños productores locales carecen de la maquinaria adecuada para empacar su harina de soya de manera eficiente y según los estándares requeridos por las industrias procesadoras nacionales, lo que resulta en costos elevados y una calidad inferior del producto final [2].

A nivel nacional, los pequeños productores de harina de soya enfrentan dificultades al no contar con maquinaria adecuada para el embalaje, lo que los lleva a vender sus productos a precios inferiores a los establecidos por competidores con acceso a tecnología de embalaje. Esta situación subraya la necesidad de desarrollar una máquina empacadora automatizada, no solo para abordar los desafíos de producción y embalaje, sino también para mejorar la competitividad y sostenibilidad del sector agrícola en Ecuador.

En la industria alimentaria, la seguridad y calidad del producto son fundamentales. Sin embargo, el embalaje manual de la harina de soya presenta riesgos de contaminación y deterioro de la calidad debido a la manipulación y exposición a condiciones ambientales adversas. Una máquina empacadora automatizada mitigaría estos riesgos al garantizar un proceso de embalaje controlado, reduciendo incidentes de contaminación y asegurando la integridad y frescura del producto. Esta mejora no solo beneficia a los consumidores finales, sino que también fortalece la reputación de los productores locales.

Los pequeños productores locales enfrentan desafíos al embalar manualmente la harina de soya, resultando en una producción inconsistente y calidad variable. La introducción de una máquina empacadora automatizada estandarizaría el proceso, asegurando precisión y uniformidad en el producto final. Reduciendo la dependencia de la mano de obra manual, esta solución tecnológica mejoraría la eficiencia y productividad de los pequeños productores, permitiéndoles competir en igualdad de condiciones con las grandes empresas del sector.

III. JUSTIFICACIÓN

La industrialización de una máquina empacadora automatizada proporcionará a los productores locales de harina de soya la capacidad de optimizar su eficacia en el procedimiento de embalaje, lo que les otorgará una ventaja competitiva al cumplir con los requisitos establecidos por las industrias procesadoras nacionales. Esta medida les permitirá incursionar en mercados adicionales y potenciar su rentabilidad.

El uso de programas como Solidworks para el diseño y evaluación estructural de la máquina empacadora evidencia una perspectiva innovadora en la creación del proyecto. La inclusión de elementos tecnológicos avanzados como motores, controladores y sistemas de guía, junto con la programación correcta, asegurará un rendimiento eficiente y una operación intuitiva para los usuarios.

La automatización de procesos de embalaje no solo mejora la precisión y uniformidad del embalaje, sino que también reduce los costos operativos y aumenta la productividad de los productores locales. Estos hallazgos respaldan la importancia de desarrollar una máquina empacadora automatizada para la harina de soya, ya que proporcionaría beneficios tangibles tanto para los productores como para los consumidores [3].

Al dotar a los pequeños productores locales con la habilidad de empaquetar sus productos según los criterios establecidos por las industrias procesadoras, se impulsa su progreso económico al permitirles comercializar sus productos a precios competitivos. Esto fortalece la cadena de producción local, lo que a su vez tiene un efecto beneficioso en la economía local y en el desarrollo sostenible del sector agrícola.

IV. OBJETIVOS

IV-A. Objetivo general

Desarrollar una máquina empacadora automatizada de harina de soya para la mejora de la competitividad de pequeños productores locales.

IV-B. Objetivos específicos

- Diseñar la estructura mecánica de la máquina empacadora considerando las especificaciones técnicas y los requerimientos de seguridad pertinentes.
- Construir un prototipo de la máquina empacadora de acuerdo con las especificaciones de diseño.
- Validar la competitividad de la máquina en comparación con la producción de un distribuidor local mediante métodos tradicionales.

V. MARCO TEÓRICO

La automatización es fundamental en cualquier modelo que involucre la incorporación de dispositivos relacionados con la robótica, que operan eficientemente mediante sensores, procesadores y actuadores para realizar diversos procesos, ya sea mecánico, industrial, informática o de máquina, según lo establecido en la programación [4].

En el sector industrial, el término “automatización” se usa con frecuencia para describir el proceso mediante el cual una máquina puede realizar ciertas operaciones o realizar tareas sin la intervención humana. Esta práctica se adopta por su capacidad para reducir el tiempo en diversas actividades [5].

En el ámbito alimenticio, se pueden realizar procesos de sistematización en áreas como el envasado para aumentar la eficiencia empleando sistemas duraderos y económicos.

Existen diferentes tipos de automatización industrial, entre estos los sistemas de automatización programable. Se utiliza en situaciones donde la producción es de volumen moderado y hay una variedad de productos a fabricar. Los equipos de producción se diseñan para adaptarse a los cambios en la configuración de los productos fabricados en lotes. Se disponen de controladores que pueden automatizar procesos individuales, funciones de la maquinaria e incluso líneas de producción completas, como los Controladores Lógicos Programables (PLC), los cuales facilitan la incorporación de nuevas características y la detección inmediata de errores [6].

Además, existen los sistemas de automatización flexible. Se asemeja a la automatización programable en algunos aspectos. Estos sistemas suelen tener varias estaciones de trabajo conectadas a través de un sistema de manipulación y almacenamiento de materiales.

Finalmente, se tiene al controlador lógico programable (PLC). Un controlador lógico programable (PLC) es un equipo de control que recibe y procesa información de entrada y salida (E/S) de dispositivos de campo como motores, bombas y sensores [7].

La aplicación de una solución que utiliza controladores lógicos programables en la automatización industrial depende del número de dispositivos que se deben controlar, lo que determina las entradas y salidas requeridas, así como las herramientas de software necesarias para lograr este propósito [8].

V-A. *Sistemas Neumáticos*

La neumática utiliza aire comprimido para energizar mecanismos. En la automatización industrial, sustituye trabajo humano en procesos de fabricación. El aire comprimido se usa ampliamente en diversas industrias, desde agricultura hasta aeronáutica y química. El mercado presenta muchos dispositivos neumáticos por los bajos costos de producción del aire comprimido y de sus componentes, lo que proporciona una ventaja significativa para su uso en la industria [9].

Uno de los elementos principales de los sistemas neumáticos es el compresor de aire. Este es una máquina térmica que incrementa la presión de fluidos compresibles, como gases y vapores, mediante un intercambio de energía entre la máquina y el fluido. Este proceso transfiere el trabajo realizado por el compresor al fluido, aumentando su presión y energía cinética para propulsar su flujo [10].

Se tiene también las válvulas neumáticas, los circuitos neumáticos incluyen actuadores para realizar trabajo, así como elementos de señalización y control que regulan el flujo de aire comprimido, generalmente denominados válvulas. Estos componentes tienen la función de iniciar o detener el sistema, controlar

la dirección del flujo y ajustar la Presión o flujo de aire del depósito regulador. Según su función las válvulas se subdividen en los grupos siguientes: válvulas de vías o distribuidoras, válvulas de bloqueo, válvulas de presión, válvulas de caudal y de cierre [11]. Dentro de estas, las electroválvulas juegan un papel crucial, ya que controlan el flujo de un fluido a través de un conducto mediante un solenoide que convierte energía eléctrica en energía mecánica. Dependiendo de su configuración, pueden ser cerradas en reposo o normalmente cerradas lo cual quiere decir que cuando falla la alimentación eléctrica quedan cerradas o bien pueden ser del tipo abiertas en reposo o normalmente abiertas que quedan abiertas cuando no hay alimentación[12].

1. Actuador neumático doble efecto

Se utilizan en aplicaciones que requieran esfuerzos en ambos sentidos, se emplean cilindros de doble efecto. Estos dispositivos cuentan con dos conexiones de entrada y no incorporan muelle de retroceso, a diferencia de otros cilindros. El cilindro de doble efecto permite que la intensidad aplicada mediante la compresión del aire pueda dirigirse hacia uno u otro lado del émbolo, posibilitando así trabajos en ambas direcciones [13].

2. Filtros y reguladores

El filtro se emplea con el propósito de evitar la penetración de partículas de polvo u otros contaminantes en el sistema, con el propósito de limpiarlo de cualquier agente contaminante presente en la red. Este proceso implica la captura de bacterias por los filtros, que resultan ser de gran utilidad para cualquier empresa que use aire comprimido.

El propósito del regulador de presión es mantener la presión de salida constante, independientemente de las fluctuaciones en la presión primaria. La presión primaria debe ser siempre mayor que la secundaria, y es controlada por una membrana, que responde tanto a la presión de entrada como a un muelle que presiona un tornillo regulador.

Cuando la presión primaria aumenta, la membrana tiende a comprimirse contra el muelle, cerrando la válvula de asiento. La regulación de la presión implica la apertura y cierre continuo de la válvula, que está equipada con un amortiguador de muelle para evitar oscilaciones [14].

3. Mangueras y conexiones

Las mangueras de silicona, con sus propiedades excepcionales, encuentran aplicaciones en diversas industrias debido a su flexibilidad, resistencia a la torsión y compresión, y su capacidad para soportar temperaturas extremas y productos químicos [15].

Las conexiones que se utilizan para sistemas de neumática son los acoplamientos rápidos que permiten una conexión y desconexión rápida sin necesidad de herramientas, asegurando una unión hermética. Su facilidad de conexión los hace ideales para circuitos neumáticos complejos donde simplifican el proceso de conexión, así como para circuitos que necesitan desconexión periódica para ajustes, mantenimiento o sustitución. Por esta razón, estos acoplamientos incluyen un mecanismo anti-retorno para evitar la pérdida de aire al retirar la manguera del conector [16].

V-B. Sistemas Mecánicos

Las máquinas necesitan una fuente de energía externa para superar las resistencias y realizar sus funciones. Las transmisiones mecánicas, que son parte de diversos sistemas, convierten la energía mediante transformaciones de momentos, fuerzas y velocidades. Es esencial que estos elementos se seleccionen o calculen considerando la resistencia, rigidez, durabilidad y confiabilidad.

Algunas variedades de transmisiones mecánicas entre ellas, la correa de transmisión, cuyo propósito es transferir energía de un eje de rotación a otro, utilizando correas como enlaces flexibles entre las poleas montadas en cada eje. La relación de velocidad entre el eje de entrada y el de salida está determinada por la relación entre los diámetros de las poleas [17].

También tenemos los engranajes de transmisión, son componentes industriales utilizados para transmitir potencia mecánica, permitiendo ajustar la velocidad o el torque entre dos equipos. Dado que forman parte de sistemas críticos para la producción, una falla inesperada en una transmisión puede tener consecuencias operativas graves e incluso poner en riesgo la seguridad de las personas [18].

V-C. Máquinas empacadoras

La función principal de la máquina empacadora es embalar granos o polvo, utilizando la calidad del producto disponible. Posteriormente, se procede a comprimirlo para crear un paquete prensado. Cuando se alcanza la longitud deseada para el prensado, se ata con dos unidades de atado y se expulsa de la máquina [19].

1. Máquina semiautomática

Algunos procedimientos son ejecutados manualmente, mientras que otro es automatizado. La máquina está equipada con un mecanismo para formar bolsas, y la introducción de la lámina de empaque puede ser automática. Esto permite que un único operador se encargue tanto de medir como de empacar, logrando niveles de producción aceptables que pueden variar según el producto. Por esta razón, estas máquinas son particularmente adecuadas para pequeñas empresas [19].

2. Máquina automática

Utiliza sistemas mecánicos, neumáticos y electrónicos coordinados por un control lógico programable para lograr una producción eficiente en el proceso de empaquetado. Esto facilita la adaptación de funciones como la impresión y el transporte mediante cintas elevadoras.

Estas empacadoras automáticas solo requieren la supervisión de un operador, lo que reduce los costos de mano de obra y los gastos operativos, lo que las convierte en una opción ideal para empresas de gran tamaño que tienen altos volúmenes de producción. Además, ofrecen dos modos de operación, vertical y horizontal, con distintos métodos de medición [19].

3. Máquina Vertical

Este mecanismo indica la dirección de caída del material durante el proceso de embalaje, siendo comúnmente utilizado para envasar granos o polvo. Las máquinas verticales se diseñan para producir envases con tres costuras, lo que implica que sellen el material a través de tres costuras: dos horizontales y una vertical. El material de envasado se suministra desde la bobina hacia el dispositivo formador, donde se crea un tubo continuo que se sella longitudinalmente. Mientras se sella la base de la bolsa, se introduce el producto a envasar, y una vez completada la dosificación, la máquina vuelve a arrastrar el material para formar otro paquete [20].

V-D. Sistema de empaclado

Este sistema es aquel proceso que ayuda a facilitar el almacenamiento, embalaje y categorización de productos para su envío, proponiéndole seguridad de peligros ambientales físicos durante su almacenamiento y transporte. La extensiva diversidad y accesibilidad sencilla de recursos con características diversas permite a los fabricantes de envoltorios adaptables a una categoría específico de material de embalaje para

cada implementación particular. Esto significa que los fabricantes pueden elegir y combinar materiales de embalaje basándose en las demandas específicas de cada producto, garantizando así la eficiencia y la protección en la producción y transporte de productos [19].

Una lista corta de plásticos que podrían considerarse para el sistema de empaquetado, considerando las normativas relevantes para la tecnología y la seguridad en la industria. Estas normativas son las de la Organización Internacional de Normalización (ISO) y las de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC), las cuales establecen estándares para la producción y el uso de materiales en la industria:

1. El polietileno (PE) es un polímero altamente versátil y ampliamente utilizado en la producción de varios productos, incluyendo bolsa de tiendas, juguetes y chalecos a prueba de balas. Su estructura simple lo convierte en uno de los polímeros comerciales más básicos. Debido a su amplia aplicación industrial, es fundamental comprender su comportamiento y su impacto ambiental, especialmente en términos de reciclaje [21].
2. El polipropileno (PP) emplea en la fabricación de envases con propiedades de barrera, especialmente contra el dióxido de carbono y los aromas. Se utiliza comúnmente en laminación con otros materiales y para la impresión, gracias a su alta cristalinidad y transparencia. Además, este material exhibe notables propiedades mecánicas y dimensionales a temperaturas elevadas [21].
3. Se usa Poliestireno tereftalato (PET) en la fabricación de envases que tienen propiedades de barrera, especialmente contra el dióxido de carbono y los aromas. Este material se lamina con otros materiales y se usa para la impresión por su alta cristalinidad y transparencia. Además, el PET muestra propiedades mecánicas y dimensionales notables a altas temperaturas, lo que lo hace ventajoso para la producción y transporte de productos que necesitan protección contra factores externos como el CO₂ y los aromas.

Es indispensable tener en cuenta que la selección del plástico adecuado dependerá de las necesidades específicas de cada aplicación y de las regulaciones locales y nacionales aplicables [21].

V-E. Sistema de sellado

La función principal del sistema de sellado en una empacadora de harina es asegurar el cierre hermético de las bolsas de harina después de su llenado. Este proceso se realiza mediante la implementación de calor y presión sobre la bolsa, lo que provoca la fusión del material termoplástico y la creación de un sello que previene la contaminación o el derrame de la harina.

Resistencia térmica, el sellado es un proceso mediante el cual se fusionan dos superficies de termoplástico sin degradar el material, utilizando calor y presión. Un sellado de calidad se logra al aplicar la temperatura, el tiempo y la presión adecuados según las características del material [22].

V-F. Tipos de envases flexibles comerciales

Principalmente, bolsa de tres sellos (tipo almohadilla), es ampliamente usada y simple de crear, presenta un sellado vertical y dos horizontales. Se emplea para envasar arroz, azúcar, caramelos, líquidos y otros productos. Por lo general, se fabrican con polietileno o polipropileno debido a su bajo costo.

Bolsa de tres sellos (Fondo plano), ofrecen una presentación más atractiva del producto al contar con un pliegue en la parte inferior que permite mantenerlas de pie. Similar a las bolsas tipo almohadilla, tienen un sellado vertical y dos horizontales. Se utilizan para envasar productos sólidos y en polvo.

VI. MARCO METODOLÓGICO

VI-A. Recolección y Análisis de Información

VI-A1. Técnicas de Recolección de información: Se realizaron consultas con expertos en automatización y diseño mecánico, quienes aportaron valiosos conocimientos sobre la selección de componentes y las mejores prácticas en el diseño de sistemas de control. La observación directa en plantas de procesamiento de alimentos permitió identificar áreas de mejora en la eficiencia del proceso de empaque manual y los riesgos asociados a la contaminación del producto. La recopilación de datos técnicos incluyó especificaciones sobre la producción de harina de soya en Ecuador, con especial énfasis en los volúmenes de producción y las limitaciones tecnológicas presentes en el sector. La combinación de la revisión documental garantizó un enfoque sólido para el desarrollo del diseño.

VI-A2. Análisis de Datos: Este análisis evalúa el desempeño del sistema de control programado en TIA Portal para el proceso de empaquetado. A través de simulaciones, se examinó la precisión del control, la sincronización de los actuadores y la respuesta ante situaciones de emergencia.

El control implementado gestiona la secuencia de operación mediante la activación de actuadores neumáticos, el monitoreo de sensores y la ejecución de medidas de seguridad. Se utilizaron entradas y salidas digitales, temporizadores y bloques de control para la regulación de temperatura en resistencias.

VI-A3. Condiciones del Análisis: Se realizaron simulaciones de 50 ciclos completos en TIA Portal, analizando los siguientes parámetros:

- Tiempo de respuesta de sensores: Tiempo entre la detección del envase y la activación del sistema de llenado.
- Sincronización de actuadores: Diferencia de tiempo entre la activación del sistema neumático y el llenado del envase.
- Tiempo de ciclo completo: Duración total desde el inicio hasta el sellado final.
- Eventos de paro de emergencia: Número de veces que el sistema detuvo el proceso por fallas simuladas.

Requerimientos de la máquina

- Capacidad: 1 paquete/min
- Presión de operación: 6 bar
- Consumo de aire: 21.6 L/min

Las dimensiones de la máquina deben ser compactas para facilitar su integración en espacios de producción limitados, sin comprometer su funcionalidad. El proceso de diseño también debe considerar ciertas limitaciones. Una de las principales restricciones es el presupuesto, ya que se debe encontrar un equilibrio entre calidad, funcionalidad y costo.

El sistema tiene una caída de presión de 0.024 bar en la tubería. Los actuadores, con carreras de 50 mm y 30 mm, generan una fuerza de 188.4 N cada uno, lo que influye en los tiempos de activación.

Para validar los tiempos de respuesta de los actuadores, se utilizó la ecuación de llenado de cilindros neumáticos:

$$t = \frac{V}{Q} \quad (1)$$

Donde:

- V es el volumen del cilindro (15.7 cm³ y 9.42 cm³).
- Q es el flujo de aire disponible (21.6 L/min $\approx$ 0,00036 m³/s).

Calculando para cada actuador:

$$t_{50} = \frac{0,0000157}{0,00036} \approx 0,0436 \text{ s} \quad (2)$$

$$t_{30} = \frac{0,00000942}{0,00036} \approx 0,0261 \text{ s} \quad (3)$$

Estos tiempos son consistentes con el tiempo de 0.2 s de respuesta, considerando los retrasos mecánicos y eléctricos de las electroválvulas y la fricción interna del cilindro.

VI-B. Diseño de la Máquina Empacadora

Para el diseño de la máquina empacadora de harina de soya, se utiliza el software Solidworks con el fin de detectar posibles incompatibilidades durante el montaje, lo que conduce a un proceso de fabricación más exacto al producir los diferentes sistemas y estructuras. Esta metodología asegura una fabricación más eficiente y con menor margen de error al emplear herramientas de modelado avanzadas como Solidworks.

VI-B1. Requisitos de Diseño: Para el diseño, es esencial definir las especificaciones técnicas que debe cumplir. La máquina debe ser capaz de empaçar 500 gramos de harina de soya por unidad en un tiempo máximo de 11 segundos.

VI-C. Diseño Conceptual

El diseño conceptual de la máquina abarca desde la visualización inicial hasta la definición de los principios operativos y las innovaciones.

Se elaboraron bocetos iniciales y diagramas conceptuales para visualizar la disposición general de los componentes de la máquina y el flujo de trabajo dentro del sistema de empaquetado. Estos bocetos proporcionan una visión de cómo interactuarán los distintos elementos de la máquina.

VI-D. Vista Isométrica Detallada

- | | |
|---|--|
| 1) Sensor capacitivo | A) Actuador neumático 1 (Corte y sellado) |
| 2) Sensor inductivo alto | B) Actuador neumático 2 (formación tubular) |
| 3) Sensor inductivo bajo | C) Actuador neumático 3 (Producto terminado) |
| 4) Termocupla resistencia (Sellado tubular) | D) Resistencia 1 (Corte y sellado) |
| 5) Termocupla resistencia (Corte y sellado) | E) Resistencia 2 (Sellado tubular) |
| 6) Balanza | F) Motor 1 (Desplazamiento del Film) |
| | G) Motor 2 (Rotación del royo del Film) |

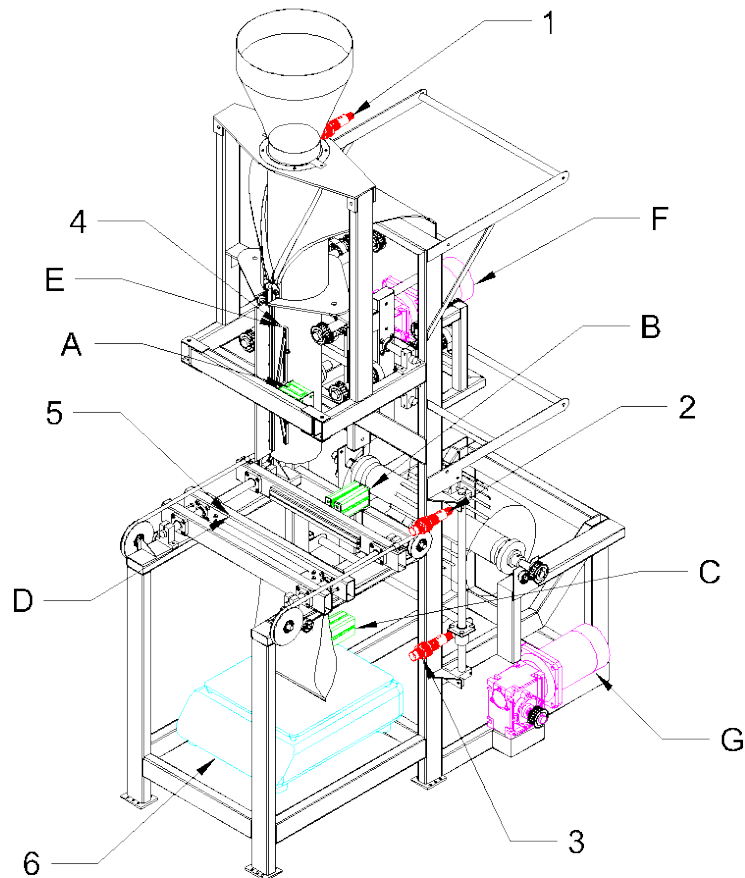


Figura 1. Diseño detallado. Fuente: Los Autores

VI-E. Partes de la Máquina y su Función

Sensores y Medición:

Sensor capacitivo (1): Detecta la presencia de materia prima en el ducto de alimentación.

Sensor inductivo alto (2): Detecta la posición del film en la parte superior del sistema.

Sensor inductivo bajo (3): Detecta la posición del film en la parte inferior antes del corte y sellado.

Termocupla resistencia (Sellado tubular) (4): Mide la temperatura de la resistencia encargada del sellado vertical del film.

Termocupla resistencia (Corte y sellado) (5): Mide la temperatura de la resistencia encargada del sellado horizontal y corte del paquete.

Balanza (6): Verifica el peso del producto final antes de la salida, asegurando un contenido correcto de $500 \text{ g} \pm 1 \text{ g}$.

Actuadores y Mecanismos:

A. Actuador neumático 1 (Corte y sellado): Acciona la resistencia de corte y sellado para cerrar el paquete y separarlo del siguiente.

B. Actuador neumático 2 (Formación tubular): Empuja la resistencia de sellado vertical contra el film para darle forma tubular.

C. Actuador neumático 3 (Producto terminado): Expulsa el paquete finalizado hacia la zona de recolección.

D. Resistencia 1 (Corte y sellado): Aplica calor al área de corte y sellado para garantizar la unión hermética del film.

E. Resistencia 2 (Sellado tubular): Aplica calor en la parte vertical del film para formar la funda.

F. Motor 1 (Desplazamiento del Film): Controla el avance del film durante el proceso de empaquetado.

G. Motor 2 (Rotación del rollo del Film): Permite liberar film según la necesidad del sistema.

Descripción del Funcionamiento Detección de materia prima:

El sensor capacitivo (1) verifica la presencia de harina de soya en el ducto de alimentación. Si detecta material, se activa el proceso de empaquetado.

Posicionamiento y avance del film:

El motor 2 (G) rota el rollo de film, liberando material.

El motor 1 (F) jala el film hacia la zona de empaquetado.

Los sensores inductivos (2 y 3) aseguran el correcto posicionamiento del film.

Formación del envase:

El actuador neumático 2 (B) presiona la resistencia 2 (E) contra el film para darle forma tubular y sellar verticalmente.

La termocupla (4) mide la temperatura de la resistencia para garantizar un sellado óptimo.

Llenado del envase: Una vez sellado verticalmente, el sistema permite la entrada de harina de soya. La balanza (6) mide el peso del producto en el envase.

Sellado y corte del paquete:

El actuador neumático 1 (A) presiona la resistencia 1 (D) contra el film para realizar el sellado horizontal y corte del paquete. La termocupla (5) verifica la temperatura de la resistencia para un sellado adecuado.

Expulsión del paquete finalizado:

Si el peso medido es correcto, el actuador neumático 3 (C) empuja el paquete hacia la zona de recolección. Si el peso no es el esperado, el sistema genera una alerta y detiene el proceso.

Reinicio del ciclo:

El motor 1 (F) vuelve a avanzar el film, repitiendo el proceso para el siguiente paquete.

VI-E1. Principios de Funcionamiento: El funcionamiento de la máquina se basa en un proceso secuencial, donde cada etapa del empaquetado se lleva a cabo de manera coordinada.

Mecanismos de Sellado y Corte: Utilizando actuadores neumáticos, la máquina realiza el sellado y corte de los paquetes.

Control y Monitoreo: El uso de un PLC Siemens 1217 DC/DC/DC junto con una pantalla HMI Weintek MT8071iE permite un control detallado del proceso de empaquetado. A través de esta interfaz, los operadores pueden monitorear el estado de la máquina, ajustar parámetros y diagnosticar fallos, lo que mejora la eficiencia operativa y reduce tiempos de inactividad.

VI-E2. Selección de Componentes: A continuación se describen los principales componentes seleccionados para la máquina los cuales fueron escogidos para cumplir con los requisitos técnicos y operativos del sistema.

Las correas de acero se utilizarán en la estructura principal de la máquina para proporcionar la rigidez y estabilidad necesarias durante el proceso de empaquetado. Estas correas aseguran que la máquina mantenga su integridad estructural y funcional durante el funcionamiento.

Se han seleccionado poleas dentadas para facilitar la transmisión del movimiento a través de las correas dentadas, asegurando una sincronización precisa de los diferentes mecanismos de la máquina.

En cuanto a la estructura de la máquina, se emplearán planchas de acero para construir las partes críticas que requieren una alta resistencia a la flexión y a las fuerzas de impacto. Esto garantiza que la máquina pueda soportar las condiciones variables de operación sin comprometer su integridad.

Para el movimiento de los componentes móviles, se utilizarán rodamientos lineales y rodamientos 6202. Estos rodamientos son esenciales para reducir la fricción y el desgaste, permitiendo un movimiento suave y duradero, lo que contribuye a la eficiencia y fiabilidad general del sistema.

El PLC Siemens 1217 DC/DC/DC será el cerebro del sistema de control, proporcionando un control automatizado preciso y adaptable. La pantalla HMI Weintek MT8071iE permitirá a los operadores monitorear y ajustar los parámetros operativos en tiempo real, facilitando una gestión eficiente del proceso.

Para garantizar movimientos precisos durante el empaquetado, se utilizarán actuadores neumáticos que proporcionan la fuerza y el recorrido necesarios para manejar los materiales de empaque con eficacia. Complementariamente, se emplearán sensores inductivos para detectar la posición de los componentes y paquetes, lo que optimiza la precisión del proceso al eliminar la necesidad de contacto físico.

El sistema neumático de la máquina estará regulado por una electroválvula, que controlará el flujo de aire y permitirá el funcionamiento eficiente de los actuadores. La fuente de alimentación MeanWell HDR-400-24 suministrará la energía necesaria para los componentes electrónicos, garantizando eficiencia y fiabilidad en un entorno industrial.

Las borneras Wago y los cables AWG facilitarán las conexiones eléctricas dentro del sistema, asegurando una distribución adecuada de la corriente y una instalación segura. Los interruptores principales Schneider protegerán los circuitos eléctricos, manejando las corrientes necesarias para el funcionamiento de la máquina. Finalmente, una balanza digital se integrará en el sistema para verificar el peso exacto de la harina de soya en cada paquete, asegurando que se cumplan las especificaciones de 500 gramos.

La selección de materiales y componentes se ha basado en criterios de costo-eficiencia, durabilidad, disponibilidad y compatibilidad con los requerimientos específicos de la máquina empacadora. Los componentes mecánicos y eléctricos seleccionados permiten una operación segura, mientras que los materiales estructurales garantizan la resistencia y longevidad de la máquina. Esta selección asegura que la máquina cumpla con los objetivos de diseño y las restricciones establecidas, proporcionando una solución robusta y eficaz.

VI-F. Función del sistema



Figura 2. Función del sistema. Fuente: Los Autores

VI-G. *Diseño Detallado*

Para monitorear la presencia o posición del material de empaque, se emplean dos sensores inductivos: uno en la parte superior y otro en la parte inferior. Estos sensores son esenciales para mantener la sincronización de la máquina y evitar errores en el proceso de empaquetado.

En cuanto al control de la temperatura, se utilizan termocuplas. Una termocupla ubicada en el área de sellado tubular mide la temperatura para asegurar que el sellado sea adecuado. Otra termocupla se encuentra en la zona de corte y sellado, garantizando que la temperatura sea óptima para un corte limpio y un sellado seguro de cada paquete.

VI-H. *Sistemas de transmisión*

Para la formación de la lámina a funda, se utilizarán rodillos con banda de goma montados en ejes rodantes, impulsados por un motor que acciona cuatro rodillos, dos en direcciones opuestas y dos en extremos opuestos. Este sistema permite desplazar de manera uniforme la lámina para ser manufacturada a una funda. Para la parte del sellado, se utilizará un actuador neumático de doble efecto “ADN-S-20-50-A-P”, modelo 8091433, que reduce el número de actuadores necesarios, generalmente de 2 a 3, hasta solo uno.

Con el fin de facilitar el movimiento del tubo que alberga la resistencia, se asegurará a una banda que forma parte de un sistema de poleas en ambos lados para garantizar una mayor estabilidad. Estas poleas estarán conectadas a las dos tuberías rectangulares de manera que al desplazarse una en una dirección, la otra se moverá en sentido opuesto, funcionando como una prensa doble. Una representación visual detallada de este sistema se encuentra disponible en la figura 2.

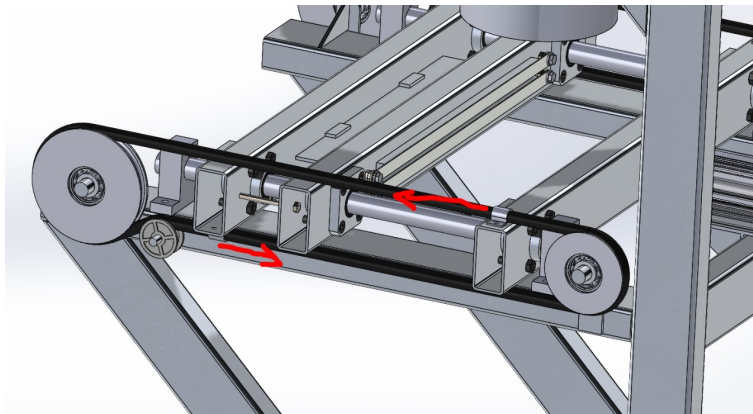


Figura 3. Sistema de poleas. Fuente: Los Autores

En el proceso de sellado, se empleará el actuador neumático ADN-S-20-30-A-P para movilizar una estructura de acero inoxidable especialmente fabricada. Se ha seleccionado este actuador neumático para evitar una aplicación excesiva de fuerza, ya que será responsable de desplazar la resistencia y aplicar la presión necesaria para el sellado vertical de la funda. Se destaca que la platina que sostiene la barra de silicona permanecerá en una posición estática durante este procedimiento, este sistema se puede apreciar en la figura 3.

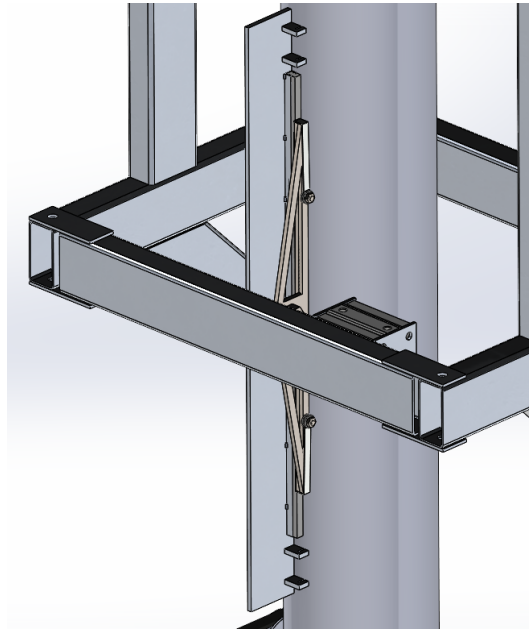


Figura 4. Sistema de sellado vertical. Fuente: Los Autores

Considerando la necesidad de una meticulosa preparación del sistema para garantizar un proceso continuo y viable, se ha considerado la implementación de un tipo de brazo que pueda ser abierto y ajustado según sea necesario para el mantenimiento y reparación del sistema, tal como se ilustra en la figura 4.

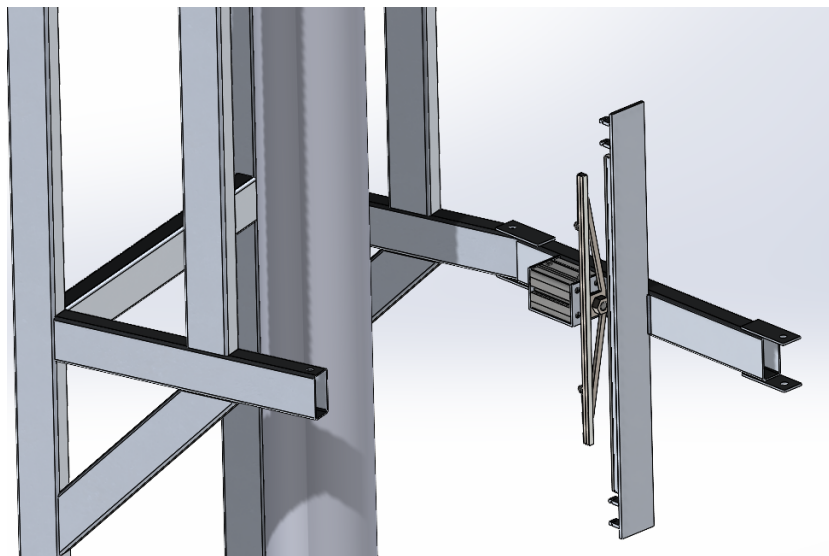


Figura 5. Mantenimiento del Sistema de sellado vertical. Fuente: Los Autores

Para mejorar los resultados, se optó por fusionar una serie de diminutas planchas con el propósito de controlar el deslizamiento de la funda, facilitando así que el sistema de sellado actúe en un área de aproximadamente 5 mm, integrándose como parte esencial de la funda, tal como se ilustra en la figura 5.

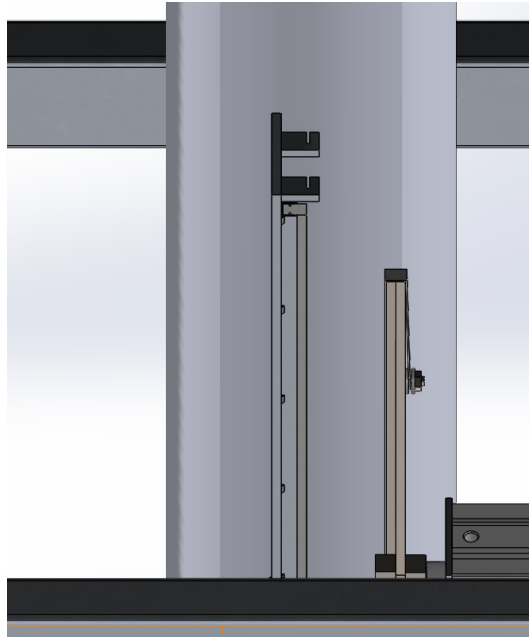


Figura 6. Acople para funda. Fuente: Los Autores

Para realizar el corte entre las dos resistencias que cierran la parte superior e inferior del paquete de entrada y salida, se implementó un sistema de resorte para evitar el uso adicional de actuadores neumáticos. Este sistema consiste en guías lineales de diámetro de 13 mm y rodamientos de bolas de movimiento lineal LMK13UU, que soportan el sistema de corte y sellado mientras mantienen una gran estabilidad al generar el movimiento en un solo plano. Un tubo rectangular adicional, sujeto con tornillos M3 y colocado junto con los resortes, actúa como amortiguador para garantizar un corte suave y preciso, este sistema se puede apreciar en la figura 6.

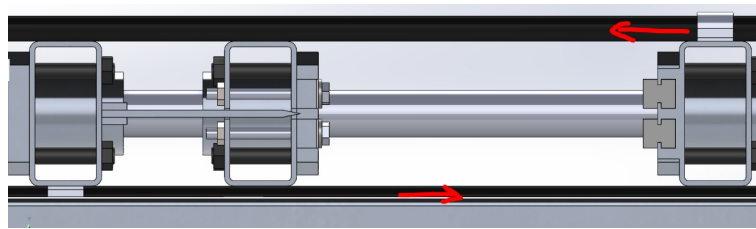


Figura 7. Sistema de resortes. Fuente: Los Autores

VI-H1. Selección de materiales: Durante la selección de materiales, se consideraron varias características relacionadas con los paquetes de harina de 500 g, determinando que el ancho del rollo debe ser de 300 mm y la altura de 240 mm, lo que generaría un diámetro aproximado del paquete de 92 mm y una longitud total de 10 mm para la parte que se encarga de sellar la lámina, convirtiéndolo en un tubo que luego será cortado por el sistema de sellado y corte. Estos datos se pueden verificar en la figura 7.



Figura 8. Paquete de 500 g. Fuente: Los Autores

La empacadora se ha diseñado considerando a los micro emprendedores, lo que ha llevado a utilizar materiales económicos, como el aluminio, en lugar de acero inoxidable, lo que representa una ventaja en términos de costos. Es importante destacar que, a pesar de esta elección, se cumple estrictamente con las normativas pertinentes para la fabricación de maquinaria destinada al contacto con alimentos. En concreto, la tolva y el conducto por donde fluye la harina de trigo deben fabricarse con acero inoxidable 316 o 304 para mantener la calidad alimentaria requerida por la normativa ISO 9001.

VI-I. Ensamblaje

El proceso de ensamblaje de una máquina requiere un cuidadoso control y atención para prevenir posibles fallos en la construcción de la empacadora. Es esencial considerar el factor humano, ya que, sin una supervisión adecuada, pueden surgir errores incluso si se cuenta con un plano detallado.

VI-II. Ensamblado estructural: En el ensamblado estructural, se considera que el aluminio, por su facilidad de fusión con soldadura convencional, será principalmente ensamblado con una máquina de soldadura MIG (Metal Inert Gas), lo que garantiza resultados sobresalientes tanto en la apariencia superficial como en la unión molecular entre las piezas.

VI-J. Modelado y Análisis Estructural

El propósito de este apartado es garantizar que la estructura soporte las cargas estáticas impuestas durante el proceso de operación, y que cumpla con los estándares de seguridad.

La estructura de la máquina empacadora está compuesta por un bastidor principal fabricado con perfiles tubulares de acero inoxidable AISI 316L. Estos perfiles fueron modelados con secciones de 20x20x1,5 mm y 40x20x1,5 mm, asegurando un balance entre resistencia y peso. La estructura soporta componentes mecánicos y neumáticos, incluyendo la tolva de alimentación, el sistema de deslizamiento del material, el mecanismo de sellado y el motor principal.

El análisis estructural de la máquina fue realizado a través del módulo Simulation de SolidWorks, utilizando el método de elementos finitos (FEA) para evaluar el comportamiento de los componentes bajo condiciones de carga.

Se presentan los resultados gráficos de distribución de esfuerzos y deformaciones, así como un análisis.

VI-J1. Propiedades del Material: La estructura de la máquina empacadora está construida con acero inoxidable AISI 316L, seleccionado por su alta resistencia mecánica y a la corrosión. Las propiedades mecánicas del material utilizadas en la simulación fueron:

- Módulo de elasticidad: $2,0 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$
- Límite elástico: $1,7 \times 10^8 \text{ N/m}^2$
- Límite de tracción: $4,85 \times 10^8 \text{ N/m}^2$
- Coeficiente de Poisson: 0,265
- Densidad: $8,027 \text{ kg/m}^3$
- Módulo cortante: $8,2 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$

VI-J2. Condiciones del Análisis: El análisis estructural se realizó bajo condiciones de carga estática, considerando restricciones en los puntos de anclaje al suelo y en las uniones principales de la estructura. Se utilizó una malla de vigas para optimizar la simulación, permitiendo un cálculo eficiente de los esfuerzos y deformaciones en la estructura. La carga aplicada representa el peso máximo del producto y los componentes, sin incluir efectos dinámicos o transitorios.

VI-J3. Tipos de Esfuerzos Analizados: Se evaluaron diversos tipos de esfuerzos que afectan la integridad estructural de la máquina:

Esfuerzo Normal (Tracción y Compresión): Ocurre en las vigas y soportes debido a las cargas aplicadas por el material, la balanza y el sistema de deslizamiento.

Esfuerzo Cortante: Se presenta en las uniones y juntas debido a la distribución de fuerzas y la fricción en los componentes móviles.

Esfuerzo de Flexión: Surge en las vigas horizontales y los soportes debido a cargas perpendiculares que generan curvatura en la estructura.

Esfuerzo de Tensión Axial: Se evidencia en los elementos sometidos a tracción, como las vigas que soportan el peso del film y otros mecanismos de la máquina.

Restricciones: Para simular correctamente el comportamiento de la estructura, se aplicaron sujeciones fijas en los puntos de anclaje al suelo y en las uniones principales de la estructura.

VI-J4. Interpretación de los Gráficos: Los resultados del análisis por elementos finitos se presentan en dos imágenes principales:

Distribución de esfuerzos: La figura 9 muestra el mapa de esfuerzos de la estructura. Se observa que las tensiones máximas alcanzan aproximadamente $1,58 \times 10^7 \text{ Pa}$, valor que se encuentra muy por debajo

del límite elástico del material $1,7 \times 10^8$ Pa, indicando que la estructura opera dentro de un rango seguro sin riesgo de plastificación.

Distribución de desplazamientos: La figura 10 muestra los desplazamientos estáticos. Se identifica un desplazamiento máximo de 0.112 mm, localizado en la parte superior de la estructura, lo cual es coherente con la aplicación de cargas en esa zona. Este desplazamiento es reducido, lo que sugiere que la estructura es suficientemente rígida para soportar las condiciones de carga esperadas.

El factor de seguridad obtenido en todas las regiones es superior a 1.4, lo que confirma que el diseño cumple con los estándares de seguridad. Se recomienda, sin embargo, monitorear las zonas de concentración de esfuerzos en las uniones superiores y aplicar refuerzos si se anticipa un aumento en las cargas operativas.

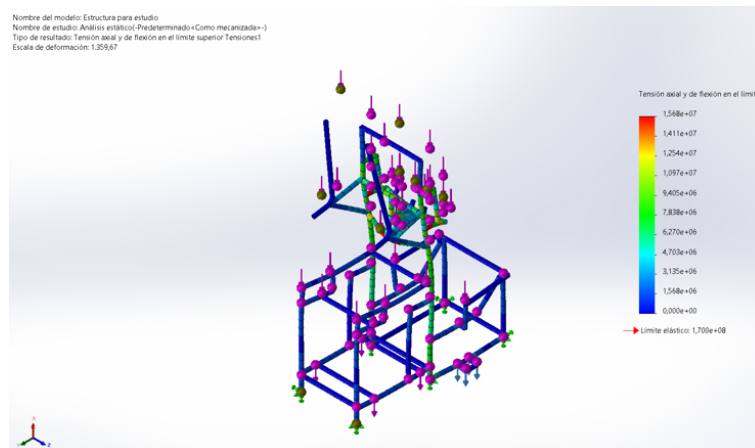


Figura 9. Tensión axial y de flexión. Fuente: Los Autores

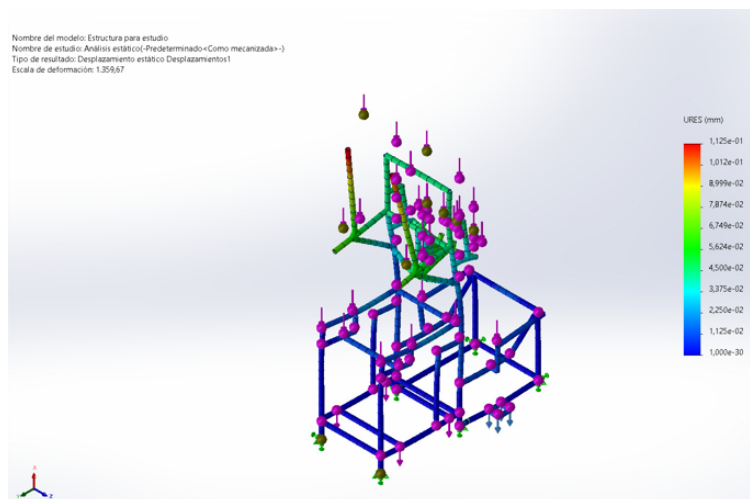


Figura 10. Desplazamiento estático. Fuente: Los Autores

VI-K. Cálculo de la Fuerza y Torque Necesario para el Desenrollado del Film

El presente análisis tiene como objetivo determinar la fuerza necesaria para desenrollar el film, así como el torque y la potencia requerida por el motor para garantizar un funcionamiento adecuado del sistema

de alimentación del film en la máquina empacadora de harina de soya de 500g. Para ello, se consideran los efectos de la inercia del film, la fricción en los rodamientos y la aceleración angular requerida para alcanzar la velocidad de operación establecida.

VI-K1. Descripción del Sistema: El sistema de desenrollado del film consta de un eje montado sobre dos soportes con rodamientos que permiten la rotación del rollo de film. En un extremo, el eje está soportado por dos rodamientos 609, mientras que en el otro extremo se cuenta con cuatro rodamientos 609. La transmisión de potencia se realiza mediante un sistema 1:1, lo que implica que la velocidad angular del motor es la misma que la del eje del film.

Los parámetros geométricos del sistema se detallan en la Tabla I.

Parámetro	Valor
Masa del film	5 kg
Diámetro del film	0.20 m
Radio del film	0.10 m
Diámetro del eje	0.0127 m
Radio del eje	0.00635 m
Velocidad final	12 RPM
Tiempo de aceleración	2 s
Número de rodamientos	6 (2 en un lado y 4 en el otro)
Coefficiente de fricción	0.002

Tabla I

PARÁMETROS DEL SISTEMA DE DESENLADO DEL FILM. FUENTE: LOS AUTORES

VI-K2. Cálculo de la Aceleración Angular: Dado que el rollo de film parte desde el reposo hasta alcanzar una velocidad final de 12 RPM en un tiempo de 2 segundos, se determina la aceleración angular α como:

$$\omega_{\text{final}} = \frac{12 \times 2\pi}{60} \quad (4)$$

$$\alpha = \frac{\omega_{\text{final}} - \omega_0}{t} \quad (5)$$

$$\alpha = \frac{1,2566}{2} = 0,6283 \text{ rad/s}^2 \quad (6)$$

VI-K3. Cálculo del Momento de Inercia del Film: El rollo de film se modela como un cilindro sólido, cuyo momento de inercia se calcula como:

$$I_{\text{film}} = \frac{1}{2} m R_{\text{film}}^2 \quad (7)$$

$$I_{\text{film}} = \frac{1}{2} (5) (0,10)^2 = 0,025 \text{ kg}\cdot\text{m}^2 \quad (8)$$

VI-K4. Cálculo del Torque Necesario: Torque para vencer la inercia del film

$$T_{\text{inercial}} = I_{\text{film}} \cdot \alpha \quad (9)$$

$$T_{\text{inercial}} = (0,025) (0,6283) = 0,0157 \text{ Nm} \quad (10)$$

VI-K5. *Torque debido a la fricción de los rodamientos:* La fuerza normal sobre los rodamientos se aproxima como la mitad del peso del film:

$$F_{\text{peso}} = m \cdot g \quad (11)$$

$$F_{\text{peso}} = (5)(9,81) = 49,05 \text{ N} \quad (12)$$

Distribuyendo esta carga en los 6 rodamientos, la carga por rodamiento es:

$$F_{\text{normal}} = \frac{F_{\text{peso}}}{6} \quad (13)$$

$$F_{\text{normal}} = \frac{49,05}{6} = 8,175 \text{ N} \quad (14)$$

La fuerza de fricción total considerando un coeficiente de fricción de 0.002 es:

$$F_{\text{fricción}} = \mu \cdot F_{\text{normal}} \cdot 6 \quad (15)$$

$$F_{\text{fricción}} = (0,002)(8,175)(6) = 0,0981 \text{ N} \quad (16)$$

El torque generado por la fricción en los rodamientos se calcula con:

$$T_{\text{fricción}} = F_{\text{fricción}} \cdot R_{\text{eje}} \quad (17)$$

$$T_{\text{fricción}} = (0,0981)(0,00635) = 0,000623 \text{ Nm} \quad (18)$$

VI-K6. *Torque total requerido:*

$$T_{\text{total}} = T_{\text{inercial}} + T_{\text{fricción}} \quad (19)$$

$$T_{\text{total}} = 0,0157 + 0,000623 \quad (20)$$

$$T_{\text{total}} = 0,0163 \text{ Nm} \quad (21)$$

VI-K7. *Cálculo de la Potencia del Motor:* La potencia mecánica del motor se obtiene como:

$$P = \frac{T_{\text{total}} \cdot \omega_{\text{final}}}{1000} \quad (22)$$

$$P = \frac{(0,0163)(1,2566)}{1000} \quad (23)$$

$$P = 2,05 \times 10^{-5} \text{ kW} \quad (24)$$

VI-K8. Justificación de la Velocidad del Motor: La selección de una velocidad de 12 RPM con un tiempo de aceleración de 2 segundos responde a los siguientes criterios:

- Control de tensión del film: Una velocidad controlada evita tensiones excesivas en el material que puedan generar fallos en el empaquetado.
- Reducción de impacto mecánico: Un arranque suave minimiza esfuerzos sobre el eje, los rodamientos y la estructura de soporte.
- Compatibilidad con el sistema de sellado: La velocidad del film debe estar sincronizada con los tiempos de sellado y corte para garantizar precisión en el proceso.

El análisis confirma que la fuerza de fricción a superar es de 0.0981 N, mientras que el torque total requerido es de 0.0163 Nm. La potencia mecánica requerida es extremadamente baja ($2,05 \times 10^5$ kW), lo que indica que el motor tiene suficiente margen de operación. La elección de 12 RPM en 2 segundos proporciona una operación estable, asegura la correcta alimentación del film en la máquina empacadora.

La potencia instalada de operación del motor es de 30 W por unidad. Aunque la potencia mecánica requerida es mínima (0.0205 W), se seleccionó un motor de 30 W para garantizar un margen de seguridad del 1,460 %, cubrir ineficiencias en la transmisión y asegurar compatibilidad con componentes estándar del mercado. Esta decisión prioriza la fiabilidad y vida útil del sistema sobre la optimización extrema de energía.

VI-L. Sistema Eléctrico

VI-L1. Potencia total consumida: Antes de calcular la potencia total consumida debemos identificar los elementos que consumen energía y sumar sus potencias individuales.

Componentes que Consumen energía

1. PLC Siemens 1217 DC/DC/DC:
 - Consumo típico: ~10 W
2. Pantalla HMI Weintek MT8071iE:
 - Consumo típico: ~15 W.
3. Fuente de alimentación MeanWell HDR-60-24:
 - Potencia de salida: 60 W (24 V, 2.5 A).
4. Motor NMRV030-24V-12RPM:
 - Consumo típico: ~30 W cada uno
 - Cantidad: 2 unidades.
5. Ventilador axial de 120mm:
 - Consumo típico: ~5 W.
6. Sensores (capacitivos, inductivos, termocuplas):
 - Consumo típico: ~1 W cada uno.
 - Cantidad: 5 sensores en total.
7. Electroválvulas 4V210-08 (5/2):
 - Consumo típico: ~5 W cada una.
 - Cantidad: 3 unidades.
8. Actuadores:
 - Consumo típico: ~20 W cada uno.
 - Cantidad: 4 unidades (2 de cada tipo).

Tabla II
CONSUMO ENERGÉTICO DE LOS COMPONENTES ELÉCTRICOS. FUENTE: LOS AUTORES

Componente	Cantidad	Potencia x Unidad (W)	Total (W)
PLC Siemens 1217 DC/DC/DC	1	10	10
Pantalla HMI Weintek MT8071iE	1	15	15
Fuente de alimentación MeanWell	1	60	60
Motor NMRV030-24V-12RPM	2	30	60
Ventilador axial de 120mm	1	5	5
Sensores	5	1	5
Electroválvulas 4V210-08 (5/2)	3	5	15
Actuadores	4	20	80
Total			250 W

Se considera un margen de seguridad del 20-30 % para cubrir picos de consumo o futuras ampliaciones.

$$\text{Potencia con margen de seguridad} = 290 \text{ W} \times 1,25 = 362,5 \text{ W} \quad (25)$$

La fuente de alimentación (MeanWell HDR-60-24) tiene una potencia de salida de 60 W, lo cual es insuficiente para el consumo total. Debido a esto es necesario una fuente de mayor capacidad, como una de 400 W o más, con la fuente (MeanWell HDR-400-24) abasteceremos todo el sistema.

VI-L2. *Corriente total consumida:* Datos previos:

- Potencia total con margen de seguridad: 312.5 W.
- Voltaje del sistema: 24 V (la mayoría de los componentes usan 24 V DC).
- Corriente total: Se calcula con la ecuación:

$$I_{\text{total}} = \frac{P_{\text{total}}}{V} = \frac{312,5 \text{ W}}{24 \text{ V}} \approx 12,45 \text{ A} \quad (26)$$

Componentes clave y su corriente individual:

Tabla III
RESUMEN DE CONSUMO DE CORRIENTE POR COMPONENTE. FUENTE: LOS AUTORES

Componente	Cantidad	Potencia x Unidad (W)	Corriente x Unidad (A)	Corriente Total (A)
PLC Siemens 1217 DC/DC/DC	1	10	$\frac{10}{24} \approx 0,42$	0.42
Pantalla HMI Weintek MT8071iE	1	15	$\frac{15}{24} \approx 0,63$	0.63
Motor NMRV030-24V-12RPM	2	30	$\frac{30}{24} \approx 1,25$	2.5
Ventilador axial de 120mm	1	5	$\frac{5}{24} \approx 0,21$	0.21
Sensores (capacitivos, inductivos)	5	1	$\frac{1}{24} \approx 0,04$	0.20
Electroválvulas 4V210-08 (5/2)	3	5	$\frac{5}{24} \approx 0,21$	0.63
Actuadores	4	20	$\frac{20}{24} \approx 0,83$	3.32
Total				12.45 A

VI-M. *Sistema neumático*

Cálculo de neumática:

Parámetros Iniciales:

- Presión de trabajo (P): 6 bar (600 kPa)
- Componentes neumáticos:
 - 3 electroválvulas 4V210-08 (5/2)
 - 2 actuadores lineales 8091433ADN-S-20-50-A-P (carrera 50 mm)
 - 2 actuadores lineales 8091441ADN-S-20-30-A-P (carrera 30 mm)
 - Manguera SMC TU0604 (diámetro interno: 6 mm)

2. Consumo de Aire (Q):

a. Consumo de los actuadores:

$$\text{Diámetro del pistón (D)} = 20 \text{ mm} \Rightarrow r = 10 \text{ mm} = 0,01 \text{ m}$$

$$\text{Área del pistón (A)} = \pi \times r^2 = \pi \times (0,01)^2 \approx 0,000314 \text{ m}^2$$

Volumen por carrera:

$$\text{Actuador de 50 mm (L = 0,05 m)} : V_{50} = A \times L = 0,000314 \times 0,05 \approx 15,7 \text{ cm}^3$$

$$\text{Actuador de 30 mm (L = 0,03 m)} : V_{30} = A \times L = 0,000314 \times 0,03 \approx 9,42 \text{ cm}^3$$

Frecuencia de operación : 60 ciclos/min

Consumo por actuador:

$$\bullet 15,7 \text{ cm}^3/\text{ciclo} \times 60 = 0,942 \text{ L/min}$$

$$\bullet 9,42 \text{ cm}^3/\text{ciclo} \times 60 = 0,565 \text{ L/min}$$

$$\text{Consumo total actuadores} : Q_{\text{act}} = (2 \times 0,942) + (2 \times 0,565) = 3,014 \text{ L/min}$$

b. Consumo de las electroválvulas:

$$\text{Consumo por válvula} : 5 \text{ L/min}$$

$$Q_{\text{válv}} = 3 \times 5 = 15 \text{ L/min}$$

c. Consumo total del sistema:

$$Q_{\text{total}} = 3,014 + 15 = 18,014 \text{ L/min}$$

$$\text{Margen de seguridad (20 \%)} : Q_{\text{final}} = 18,014 \times 1,2 \approx 21,6 \text{ L/min}$$

3. Dimensionamiento del Compresor: Requerimiento mínimo: 22 L/min @ 6 bar. Recomendación: compresor de 30 L/min.

4. Diámetro de Tubería:

Velocidad recomendada : 8 m/s

$$Q = 22 \text{ L/min} = 0,0003667 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A = \frac{Q}{v} = \frac{0,0003667}{8} \approx 0,0000458 \text{ m}^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,0000458}{\pi}} \approx 7,6 \text{ mm}$$

La manguera de 6 mm es aceptable con caída de presión baja.

5. Caída de Presión en la Tubería:

$$\Delta P = \frac{f \cdot L \cdot \rho \cdot v^2}{2D}$$

$$f = 0,02, \quad L = 3 \text{ m}, \quad \rho = 7,36 \text{ kg/m}^3$$

$$\Delta P = \frac{0,02 \times 3 \times 7,36 \times 8^2}{2 \times 0,006} \approx 0,024 \text{ bar}$$

6. Fuerza de los Actuadores:

$$F = P \times A = 600,000 \times 0,000314 \approx 188,4 \text{ N}$$

$$F_{\text{total}} = 4 \times 188,4 \approx 753,6 \text{ N}$$

7. Recomendaciones Finales:

1. Compresor:

- Mínimo 22 L/min @ 6 bar (recomendado 30 L/min)
- Incluir depósito de aire

2. Tubería:

- Preferible 8 mm para ciclos rápidos

Tabla IV
RESUMEN DE CÁLCULOS PRINCIPALES. FUENTE: LOS AUTORES

Parámetro	Valor
Consumo total de aire	21.6 L/min
Diámetro de tubería ideal	7.6 mm
Caída de presión en tubería	0.024 bar
Fuerza por actuador	188.4 N
Compresor recomendado	30 L/min @ 6 bar

VI-N. Cálculo de la Fuerza Necesaria para Cerrar el Paquete

Para garantizar un sellado hermético se requiere una fuerza mínima que asegure la unión del film bajo presión y temperatura.

Parámetros:

- Material del film: Polietileno (PE).
- Presión de sellado recomendada: $P_{\text{sellado}} = 0,2 \text{ N/mm}^2$.
- Área de sellado:

$$A_{\text{sellado}} = \text{Ancho} \times \text{Largo} = 10 \text{ mm} \times 195 \text{ mm} = 1950 \text{ mm}^2 = 0,00195 \text{ m}^2.$$

Fuerza requerida:

$$F_{\text{requerida}} = P_{\text{sellado}} \times A_{\text{sellado}} = 0,2 \text{ N/mm}^2 \times 1950 \text{ mm}^2 = 390 \text{ N}.$$

VI-N1. Comparación de Fuerzas:

Tabla V
RESUMEN DE FUERZAS Y MARGEN DE SEGURIDAD. FUENTE: LOS AUTORES

Parámetro	Valor
Fuerza total de los actuadores	753.6 N
Fuerza requerida para sellar	390 N
Margen de seguridad	93.2 %

Los actuadores neumáticos generan 753.6 N, superando la fuerza requerida para el sellado (390 N) con un margen de seguridad del 93.2 %. Este margen garantiza un cierre hermético incluso ante variaciones en el espesor del film o desgaste de componentes.

VI-Ñ. Programación PLC

Definimos todas las variables.

Nombre	Tipo de datos	Dirección	Remanencia	Accesible desde HMI/OPC UA	Escribible desde HMI/OPC UA	Visible en Supervisión HMI Engineering	Comentario
MARCHA	Bool	%I0.0	False	True	True	True	
PARO	Bool	%I0.1	False	True	True	True	
Ingreso_producto	Bool	%I0.2	False	True	True	True	Sensor detección de materia prima
Tensor_inicio	Bool	%I0.3	False	True	True	True	Sensor tensor de funda posicion inicial
Tensor_fin	Bool	%I0.4	False	True	True	True	Sensor tensor de funda posicion final
Temperatura_Rtubular	Int	%IW64	False	True	True	True	Termocupla de la resistencia de sellado para formación tubular
Temperatura_Rcortsell	Int	%IW66	False	True	True	True	Termocupla de la resistencia de corte y sellado
Peso_producto	Int	%IW96	False	True	True	True	Balanza de producto empacado
Actuador_tubular_Open	Bool	%Q0.0	False	True	True	True	Actuador neumático de formación tubular
Actuador_tubular_Close	Bool	%Q0.1	False	True	True	True	Actuador neumático de formación tubular
Actuador_cortsell_Open	Bool	%Q0.2	False	True	True	True	Actuador neumático de corte y sellado
Actuador_cortsell_Close	Bool	%Q0.3	False	True	True	True	Actuador neumático de corte y sellado
Actuador_pterminado_Close	Bool	%Q0.5	False	True	True	True	Actuador neumático de producto terminado
Resistencia_tubular	Bool	%Q0.6	False	True	True	True	Resistencia de sellado para formación tubular
Actuador_pterminado_Open	Bool	%Q0.4	False	True	True	True	Actuador neumático de producto terminado
Resistencia_cortsell	Bool	%Q0.7	False	True	True	True	Resistencia de corte y sellado
Motor_despfilm	Bool	%Q1.0	False	True	True	True	Motor para desplazamiento del film
Motor_rotfilm	Bool	%Q1.1	False	True	True	True	Motor para rotación del film
Ingreso_producto_M	Bool	%M0.2	False	True	True	True	
ENCENDIDO_M	Bool	%M0.5	False	True	True	True	
FALLA_M	Bool	%M0.6	False	True	True	True	
Actuador_tubular_M	Bool	%M0.7	False	True	True	True	
Actuador_cortsell_M	Bool	%M1.0	False	True	True	True	
Resistencia_tubular_M	Bool	%M1.2	False	True	True	True	
Resistencia_cortsell_M	Bool	%M1.3	False	True	True	True	
Motor_despfilm_M	Bool	%M1.4	False	True	True	True	
Motor_rotfilm_M	Bool	%M1.5	False	True	True	True	
Temperatura_Rtubular_M	Real	%MD2	False	True	True	True	
Temperatura_Rcortsell_M	Real	%MD6	False	True	True	True	
Peso_producto_M	Real	%MD10	False	True	True	True	
MARCHA_M	Bool	%M0.0	False	True	True	True	
PARO_M	Bool	%M0.1	False	True	True	True	
Actuador_pterminado_M	Bool	%M1.1	False	True	True	True	
Rtubular	Bool	%M100.0	False	True	True	True	

Figura 11. Variables 1. Fuente: Los Autores

	Rcortsell	Bool	%M100.1	False	True	True	True		
	SP_Peso	Real	%MD101	False	True	True	True		
	Pterminado	Bool	%M100.2	False	True	True	True		
	TRtubular_Real	Real	%MD106	False	True	True	True		
	TRcortsell_Real	Real	%MD110	False	True	True	True		
	Pproducto_Real	Real	%MD114	False	True	True	True		
	Llenar	Bool	%M100.3	False	True	True	True		
	Selladoinicial	Bool	%M100.4	False	True	True	True		
	Ingreso_producto_MP	Bool	%M1.6	False	True	True	True		
	Motor_rotfilm_MN	Bool	%M1.7	False	True	True	True		
	SelladoiniciaMP	Bool	%M18.0	False	True	True	True		
	Selladoycorte	Bool	%M18.1	False	True	True	True		
	LlenadoFin	Bool	%M18.4	False	True	True	True		
	MARCHA_HMI	Bool	%M20.0	False	True	True	True		
	PARO_HMI	Bool	%M20.1	False	True	True	True		
	Produccion	Int	%MW14	False	True	True	True		
	Pterminado_MP	Bool	%M16.0	False	True	True	True		
	Ingreso_producto_MN	Bool	%M16.1	False	True	True	True		
	Tensor_inicio_M	Bool	%M16.2	False	True	True	True		
	Tensor_fin_M	Bool	%M16.3	False	True	True	True		

Totally Integrated Automation Portal									
Nombre	Tipo de datos	Dirección	Remanencia	Accesible desde HMI/OPC UA	Escribible desde HMI/OPC UA	Visible en Supervisión HMI Engineering	Comentario		
	Motor_despfilm_MN	Bool	%M16.4	False	True	True	True		
	RESET_FALLO	Bool	%M0.3	False	True	True	True		
	SelladoiniciaMP2	Bool	%M0.4	False	True	True	True		
	TRtub_H	Bool	%M16.5	False	True	True	True		
	TRtub_H(1)	Bool	%M16.6	False	True	True	True		
	TRtub_L	Bool	%M16.7	False	True	True	True		
	TRcortsel_H	Bool	%M17.0	False	True	True	True		
	TRcortsel_L	Bool	%M17.1	False	True	True	True		

Figura 12. Variables 2. Fuente: Los Autores

	TRcortsel_L	Bool	%M17.1	False	True	True	True		
	InitFail_H	Bool	%M17.2	False	True	True	True		
	Posicioninit	Bool	%M17.3	False	True	True	True		
	PosLlenar	Bool	%M17.4	False	True	True	True		
	PosPrimerCorte	Bool	%M17.5	False	True	True	True		
	PosPrimerCorte2	Bool	%M17.6	False	True	True	True		
	Actuador_cortsel_MN	Bool	%M17.7	False	True	True	True		
	PosLlenado	Bool	%M18.2	False	True	True	True		
	Selladoinicial_M	Bool	%M18.3	False	True	True	True		
	PosLlenado2	Bool	%M18.5	False	True	True	True		
	PosLlenado_MN	Bool	%M18.6	False	True	True	True		
	PosTerminado	Bool	%M18.7	False	True	True	True		

Figura 13. Variables 2. Fuente: Los Autores

En este segmento se definen todas las señales de entrada del sistema, incluyendo tanto botones físicos como variables internas. Se encuentran señales como 'MARCHA', que inicia el proceso, y 'PARO', que lo detiene, además de otras entradas relacionadas con la detección de producto, como 'Ingreso_producto'. También se incluyen sensores de posición, tales como 'Tensor_inicio' y 'Tensor_fin', los cuales permiten monitorear la ubicación del material en el proceso.

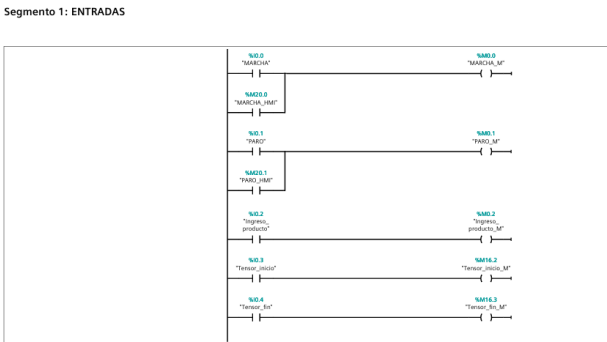


Figura 14. Segmento 1. Fuente: Los Autores

Aquí se establecen las señales de salida encargadas de activar dispositivos físicos en el sistema. Se incluyen actuadores que ejecutan diversas funciones dentro del proceso, como el 'Actuador_tubular' y el 'Actuador_cortsell', además de motores que permiten el desplazamiento del film y otros componentes del sistema. También se definen salidas para controlar resistencias de calentamiento, que intervienen en procesos térmicos dentro de la automatización.

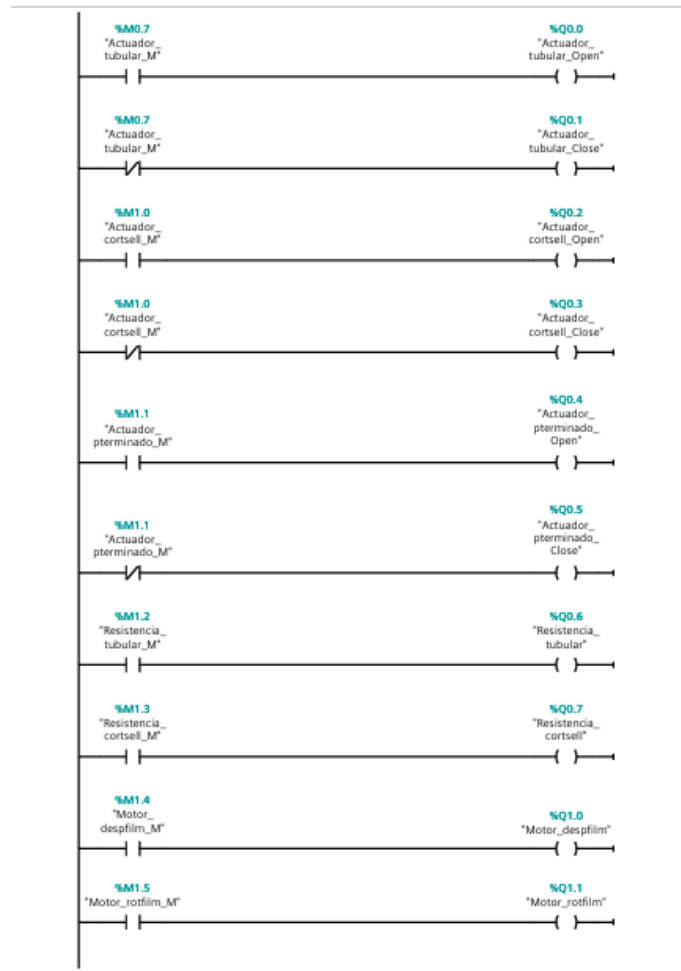


Figura 15. Segmento 2. Fuente: Los Autores

Este segmento gestiona las condiciones de encendido y apagado del sistema, utilizando variables internas que reflejan el estado de la máquina. Se define 'ENCENDIDO_M' como señal de activación general del sistema, mientras que 'FALLA_M' se emplea para registrar fallos que puedan ocurrir durante la ejecución del proceso. Adicionalmente, se establecen condiciones que permiten la correcta inicialización y detención del sistema en función de su estado operativo.

Segmento 3: ENCENDIDO



Figura 16. Segmento 3. Fuente: Los Autores

En este segmento se implementa el control térmico del sistema, asegurando que las resistencias operen dentro de los rangos adecuados. Se definen parámetros como la temperatura de referencia y la histeresis para mantener un control eficiente del calentamiento. Se utilizan bloques de función específicos, como el 'FB1', para regular la temperatura de los elementos calefactores, garantizando que no se sobrepasen los límites establecidos para un funcionamiento seguro.

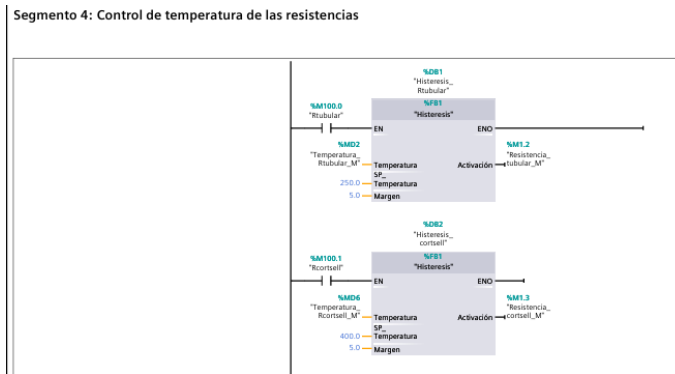


Figura 17. Segmento 4. Fuente: Los Autores

Aquí se lleva a cabo la conversión de valores provenientes de sensores a un formato útil dentro del sistema de automatización. Se aplican funciones matemáticas como 'NORM_X' y 'SCALE_X' para escalar las señales de temperatura y peso del producto, transformándolas en valores legibles y utilizables en la lógica del programa. De esta manera, se garantiza que las mediciones realizadas sean adecuadas para la toma de decisiones en el proceso.

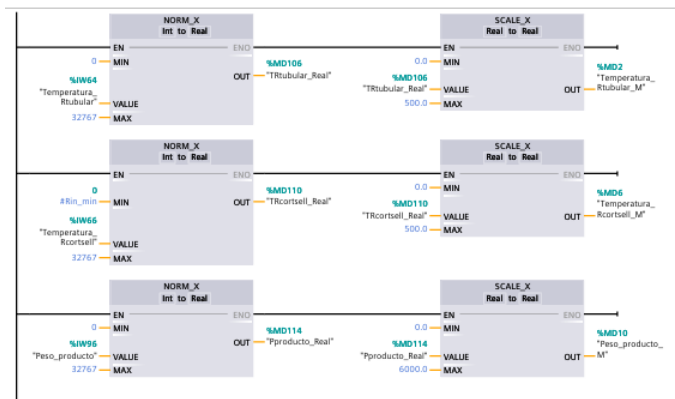


Figura 18. Segmento 5. Fuente: Los Autores

En esta parte del código se establecen las condiciones para la ejecución de los distintos procesos de la máquina. Se utilizan contadores y temporizadores, como 'COUNTUP1' y 'TON4', que permiten secuenciar las operaciones en función del tiempo y la cantidad de productos procesados. Además, se gestionan señales internas que determinan el flujo del proceso, asegurando que cada etapa se active en el momento preciso para un funcionamiento sincronizado.

Segmento 6: Accionamiento de procesos

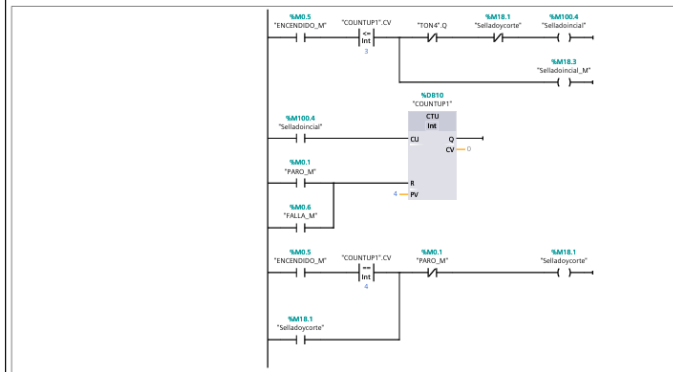


Figura 19. Segmento 6. Fuente: Los Autores

Este segmento es el núcleo de la automatización, donde se ejecuta la lógica principal del sistema. Aquí se controla el funcionamiento de motores, actuadores y otros dispositivos en una secuencia predefinida, permitiendo la correcta operación del proceso productivo. Se utilizan temporizadores y contadores para sincronizar cada etapa, mientras que variables internas monitorean el estado de la máquina y determinan las condiciones en las que deben ejecutarse ciertas acciones. Además, se incluyen mecanismos de detección de fallas y paradas para garantizar la seguridad y eficiencia del sistema.

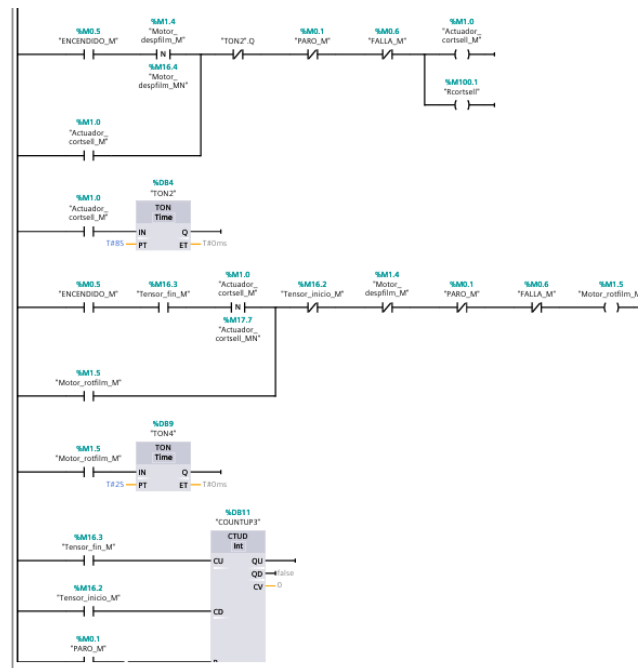
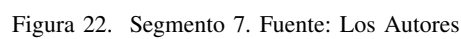
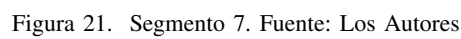


Figura 20. Segmento 7. Fuente: Los Autores



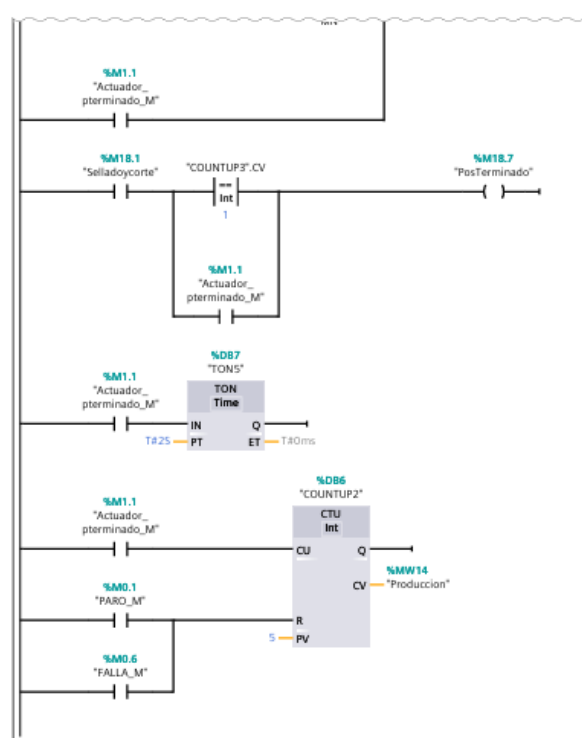


Figura 23. Segmento 7. Fuente: Los Autores

En este segmento se gestionan las alarmas del sistema, permitiendo la detección de condiciones anómalas y activando señales de advertencia en caso de fallos. Se monitorean parámetros críticos como la temperatura de las resistencias y se generan alarmas si estos valores exceden los límites establecidos. También se incluyen alarmas asociadas a fallas en sensores o dispositivos clave, utilizando un bloque de datos específico, 'Data_alarms' (DB8), donde se almacenan las señales de advertencia para su posterior análisis.

Segmento 8: Alarmas

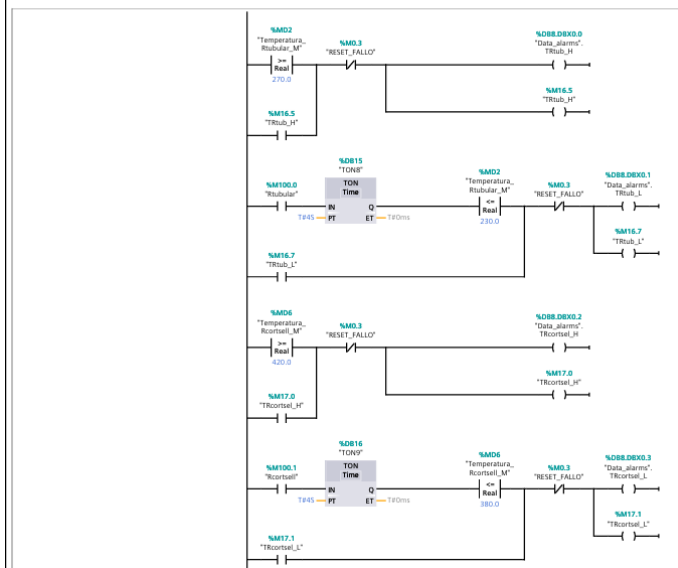


Figura 24. Segmento 8. Fuente: Los Autores

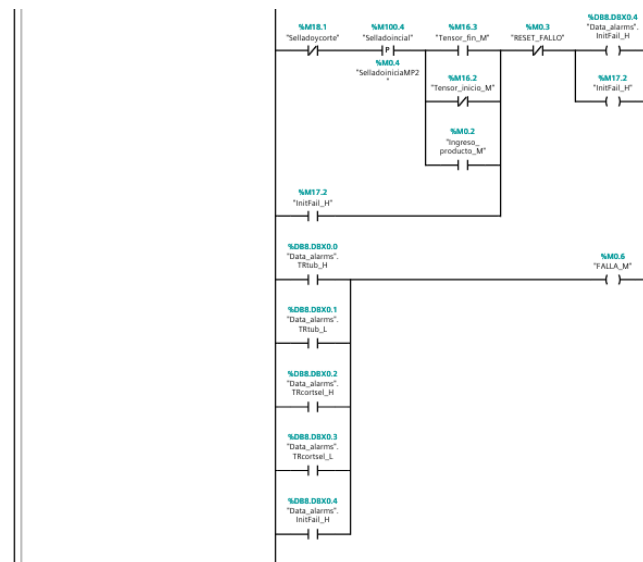


Figura 25. Segmento 8. Fuente: Los Autores

MAIN

Copia impresa de MAIN

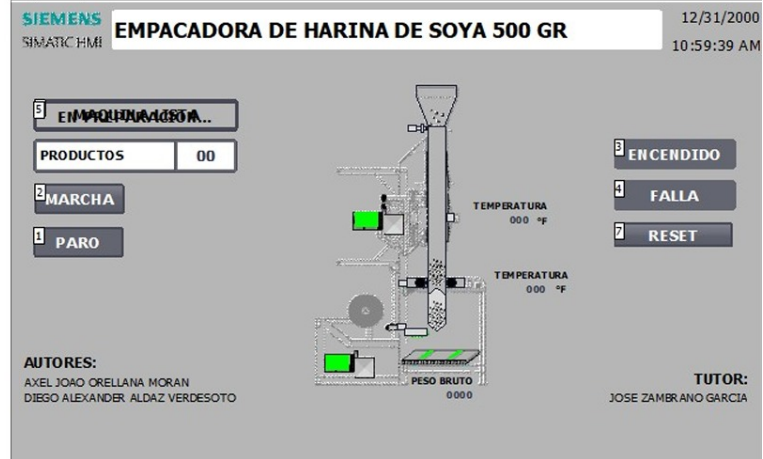


Figura 26. HMI. Fuente: Los Autores

VI-O. Diagrama Neumática

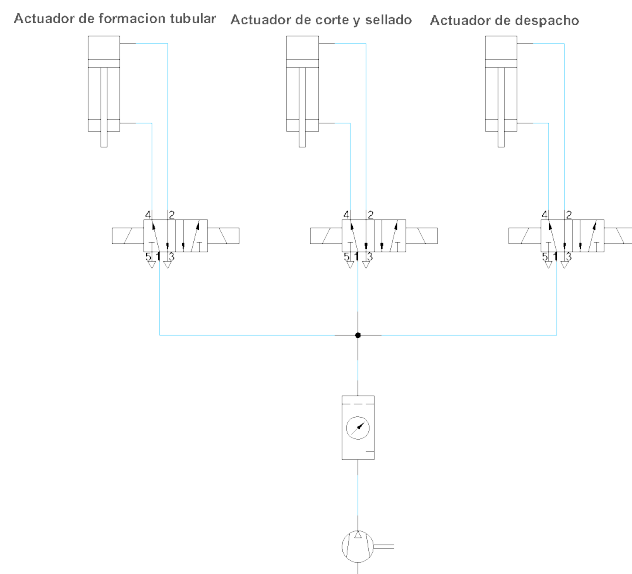


Figura 27. Diagrama de neumática. Fuente: Los Autores

VI-P. Simulación Paso a Paso del Proceso de Empaque: Vista en AutoCAD

Se ingresa la materia prima.

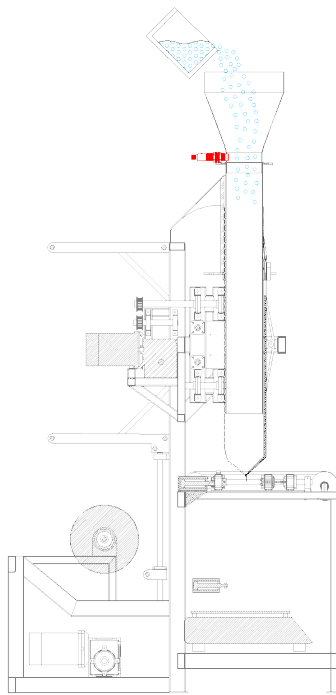


Figura 28. Simulación AutoCAD. Fuente: Los Autores

Se sensa la materia prima y se le da forma al film.

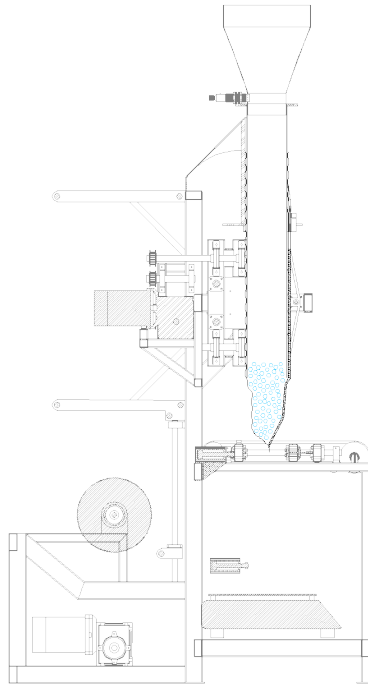


Figura 29. Simulación AutoCAD. Fuente: Los Autores

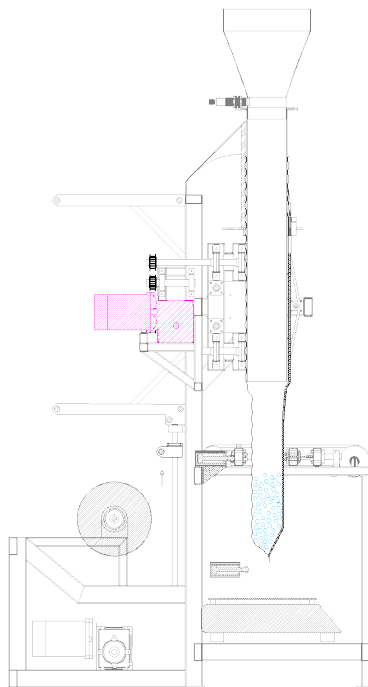


Figura 30. Simulación AutoCAD. Fuente: Los Autores

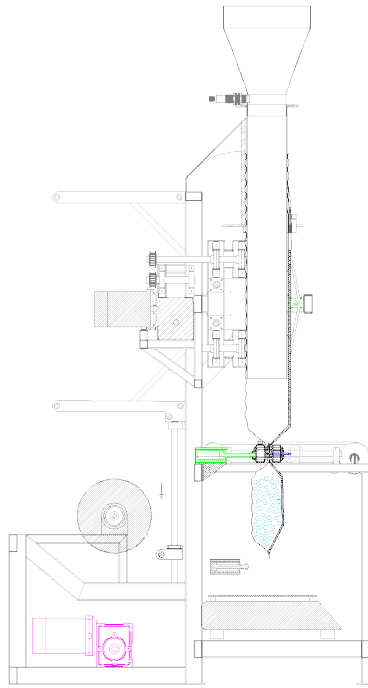


Figura 31. Simulación AutoCAD. Fuente: Los Autores

VII. VALIDACIÓN DE RESULTADOS

Los resultados del análisis estructural mostraron que la estructura mantiene su integridad bajo las cargas aplicadas. Los valores clave obtenidos incluyen: Desplazamiento máximo: Aproximadamente 1.5 mm, localizado en la parte superior de la tolva, lo que indica una deformación aceptable sin comprometer la funcionalidad. Esfuerzo de Von Mises máximo: $1,2 \times 10^8$ N/m², ubicado en las zonas de unión entre los perfiles estructurales. Factores de seguridad: El valor mínimo encontrado fue 1.4, lo que indica que la estructura opera dentro de un margen seguro sin riesgo de falla.

Las pruebas de funcionamiento del sistema de control automatizado demostraron que la sincronización entre los actuadores neumáticos y los sensores garantiza la precisión en el empaque de 500 gramos de harina de soya, manteniendo los márgenes de error dentro de los límites aceptables. Además, se logró una reducción en el tiempo de empaque por unidad, mejorando la productividad en comparación con los métodos manuales tradicionales.

Una de las limitaciones fue la imposibilidad de realizar pruebas físicas completas del prototipo en un entorno industrial real. Si bien las simulaciones y pruebas controladas fueron satisfactorias, se recomienda validar el diseño en condiciones de operación reales para asegurar que el sistema pueda adaptarse a los diferentes entornos de trabajo y volúmenes de producción.

VII-A. Validación de Competitividad

VII-A1. Metodología de Comparación: Para evaluar la competitividad de la máquina empacadora, se compararon los siguientes parámetros con los métodos tradicionales de un distribuidor local:

- Producción máxima: Paquetes por hora (pph).
- Costo operativo: Energía, mantenimiento y mano de obra.
- Inversión inicial: Costo de fabricación/adquisición.
- Precisión: Tolerancia en el peso de los paquetes.
- Requerimientos de mano de obra: Operarios necesarios.

VII-A2. Datos del Distribuidor Local (Métodos Tradicionales):

Tabla VI
PARÁMETROS DEL DISTRIBUIDOR LOCAL. FUENTE: LOS AUTORES

Parámetro	Valor
Producción máxima	40 pph
Costo operativo mensual	\$1,200 USD
Inversión inicial	\$5,000 USD
Precisión (tolerancia)	±20 g
Operarios requeridos	2

VII-A3. Datos de la Máquina Empacadora:

Tabla VII
PARÁMETROS DE LA MÁQUINA DISEÑADA. FUENTE: LOS AUTORES

Parámetro	Valor
Producción máxima	60 pph
Costo operativo mensual	\$500 USD
Inversión inicial	\$8,464 USD
Precisión (tolerancia)	±5 g
Operarios requeridos	0.5 (monitoreo parcial)

Tabla VIII
COMPARACIÓN DE COMPETITIVIDAD. FUENTE: LOS AUTORES

Parámetro	Métodos Tradicionales	Máquina
Producción (pph)	40	60
Costo operativo/mes	\$1,200	\$500
Inversión inicial	\$5,000	\$8,464
Precisión	±20 g	±5 g
Mano de obra	2 personas	0.5 personas

VII-A4. *Análisis Comparativo:*

VII-A5. *Análisis Costo-Beneficio:* Retorno de la Inversión (ROI) - Ahorro mensual:

$$\$1,200 \text{ (tradicional)} - \$500 \text{ (máquina)} = \$700/\text{mes.}$$

- ROI en meses:

$$\frac{\$8,464 - \$5,000}{\$700} \approx 4,95 \text{ meses.}$$

VII-A6. *Beneficios No Económicos:*

- Reducción de errores: Menos mermas por precisión (±5 g vs. ±20 g).
- Escalabilidad: La máquina puede aumentar producción a 120 pph con mejoras menores.
- Ergonomía: Elimina tareas repetitivas peligrosas para operarios.

VII-B. Resultados

Tabla IX
RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL. FUENTE: LOS AUTORES

Parámetro	Valor Promedio	Variación
Tiempo de respuesta de sensores	0.2 s	±0.05 s
Sincronización de actuadores	95-98 %	±0.15 s
Tiempo de ciclo completo	10.5 - 12 s	±0.5 s
Eventos de paro de emergencia	2-3 en 50 ciclos	-

- Tiempo de respuesta de sensores: La detección del envase y la activación del sistema de llenado se realizan en 0.2 s, valor típico en sistemas neumáticos con sensores ópticos o inductivos.
- Sincronización de actuadores: La precisión de 95-98 % y una variabilidad de ±0.15 s son coherentes con fluctuaciones de presión y pérdidas mínimas en la tubería.
- Tiempo de ciclo completo: El sistema opera en un rango de 10.5 a 12 s, lo que corresponde a un proceso con actuadores de 20 mm de diámetro y carreras de hasta 50 mm a 60 ciclos/min.
- Eventos de paro de emergencia: Se registraron 2-3 fallos en 50 ciclos, lo que equivale a una tasa de error del 4-6 %, aceptable en entornos industriales con medidas de seguridad activa.

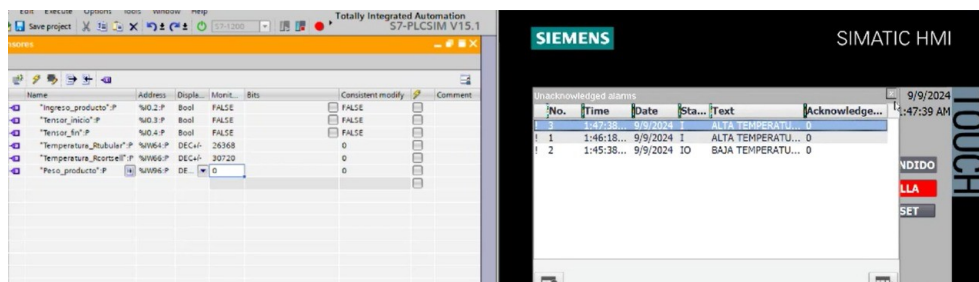


Figura 32. Alarma en el sistema de control. Fuente: Los Autores

VIII. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

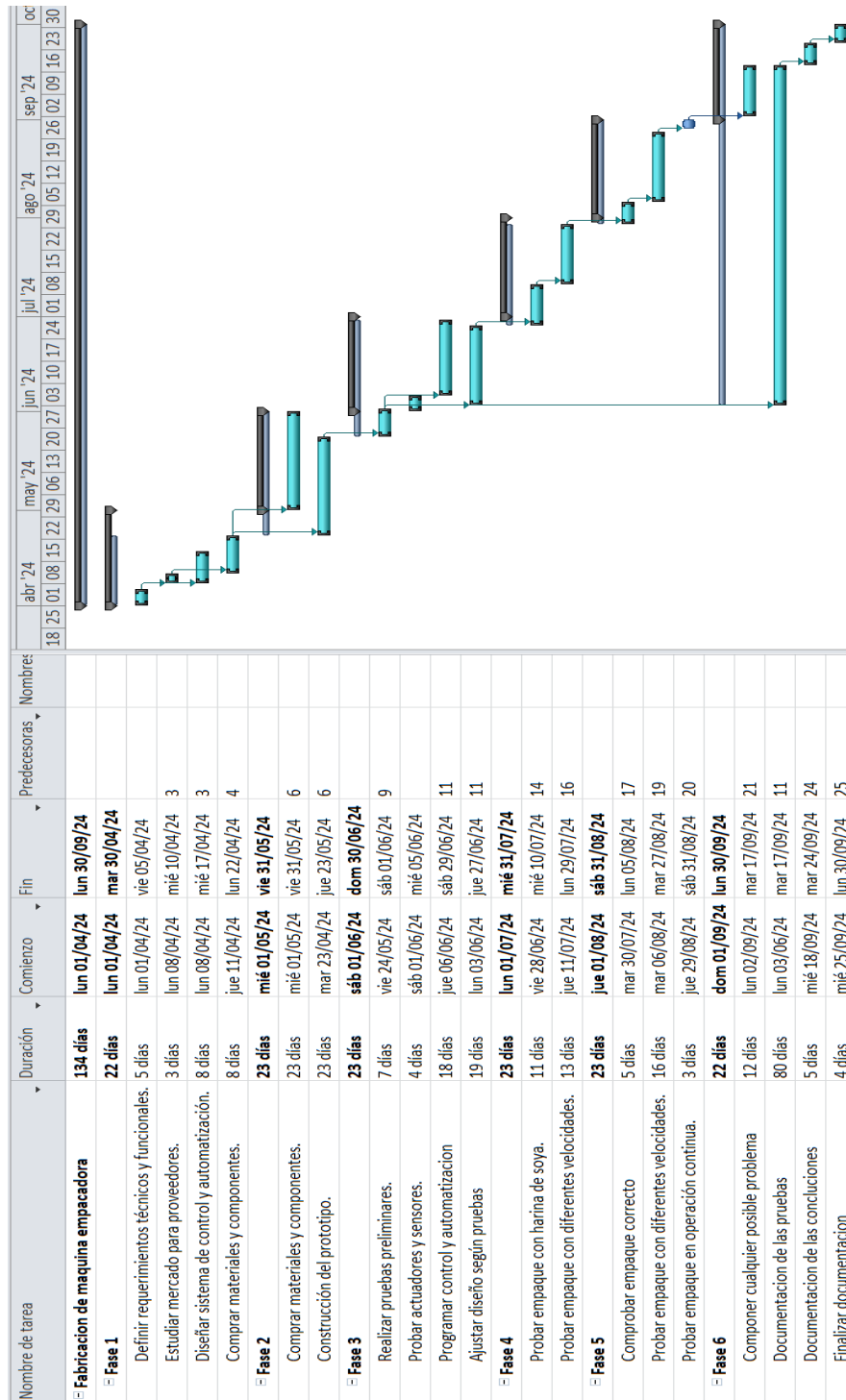


Figura 33. Cronograma de actividades. Fuente: Los Autores

Tabla X
COSTO TOTAL DE MATERIALES

Descripción	Cantidad	Unidad	Precio x U (USD)	Total (USD)
Correa 20x40x1,5mmx6000 de acero	3	Unidad	\$18.00	\$54.00
Correa 20x20x1,5mmx3000 de acero	1	Unidad	\$12.50	\$12.50
Plancha de 4mm de acero	52	m2	\$0.38	\$19.76
Plancha de 3mm de acero	76	m2	\$0.32	\$24.32
Plancha de 2.5mm de acero	84	m2	\$0.28	\$23.52
Plancha de 2mm de acero	18	m2	\$0.19	\$3.42
Plancha de 1.5mm de acero	84	m2	\$0.57	\$47.88
Plancha de 1mm de acero inoxidable	286	m2	\$0.60	\$171.60
Eje de 14mm	1	Metro	\$4.50	\$4.50
Eje de 9mm	1	Metro	\$3.20	\$3.20
Eje de 5mm	1	Metro	\$2.80	\$2.80
Pernos (M3, M4, M4.5, M5, M7, M8)	1	Juego	\$35.00	\$35.00
Tuercas (M3, M4, M4.5, M5, M8)	1	Juego	\$20.00	\$20.00
Rodamiento lineal LMK13UU	12	Unidad	\$8.00	\$96.00
Rodamiento 609	10	Unidad	\$3.50	\$35.00
Rodamiento 6202	6	Unidad	\$5.00	\$30.00
Rodamiento KP002 15	10	Unidad	\$18.00	\$180.00
Polea de correa redonda 70mm de diámetro	2	Unidad	\$6.00	\$12.00
Polea de correa redonda 50mm de diámetro	2	Unidad	\$4.50	\$9.00
Polea de teflón 24mm de diámetro	2	Unidad	\$3.00	\$6.00
Polea dentada AW20-5M100-A-H14	14	Unidad	\$4.00	\$56.00
Engranaje biselado #45 Stell	4	Unidad	\$25.00	\$100.00
Soporte de eje	12	Unidad	\$2.50	\$30.00
Eje deslizante x3m	4	Unidad	\$7.00	\$28.00
Correa redonda x3m	3	Unidad	\$3.00	\$9.00
Correa dentada x3m	3	Unidad	\$4.00	\$12.00
Sujetador de polea	3	Unidad	\$2.00	\$6.00
Electroválvula 4V210-08 (5/2)	3	Unidad	\$45.00	\$135.00
Actuador 8091433 ADN-S-20-50-A-P	2	Unidad	\$120.00	\$240.00
Actuador 8091441 ADN-S-20-30-A-P	2	Unidad	\$85.00	\$170.00
Conector neumático recto SMC KQ2H	22	Unidad	\$5.00	\$110.00
Manguera SMC TU0604 x3m	1	Unidad	\$15.00	\$15.00
PLC Siemens 1217 DC/DC/DC	1	Unidad	\$450.00	\$450.00
Pantalla HMI Weintek MT8071iE	1	Unidad	\$320.00	\$320.00
Fuente de alimentación MeanWell HDR-60-24	1	Unidad	\$90.00	\$90.00
Motorreductor NMRV030 24V 140RPM	2	Unidad	\$65.00	\$130.00
Sensor capacitivo MeanWell HDR-60-24	2	Unidad	\$35.00	\$70.00
Sensor de proximidad inductivo Autonics PR18-8DN	1	Unidad	\$50.00	\$50.00
Termocupla Tipo K Omega KMQXL-125U-6	2	Unidad	\$85.00	\$170.00
Transmisor de Termocupla OMEGA TX91A-K	1	Unidad	\$60.00	\$60.00
Balanza digital ACS-30	1	Unidad	\$90.00	\$90.00
Hilo térmico de 200x8mm	2	Unidad	\$1.50	\$3.00
Hilo térmico de 200x5mm	1	Unidad	\$1.80	\$1.80
Borneras Wago 221-413	24	Unidad	\$0.30	\$7.20
Barra de tierra Copper Bar 12x3mm	1	Unidad	\$35.00	\$35.00
Interruptor principal Schneider 2P 16A	1	Unidad	\$25.00	\$25.00
Interruptor principal Schneider 2P 4A	3	Unidad	\$18.00	\$54.00
Interruptor principal Schneider 1P 4A	1	Unidad	\$10.00	\$10.00
Cable AWG18	3	Metro	\$0.70	\$2.10
Cable AWG14	3	Metro	\$1.00	\$3.00
Puerto serial RS-232	3	Unidad	\$15.00	\$45.00
Ventilador axial de 120mm	1	Unidad	\$18.00	\$18.00
Tablero IDE 300x600x200	1	Unidad	\$200.00	\$200.00
Teflón tira	4	Unidad	\$0.50	\$2.00
Total				\$3,537.60

IX. CONCLUSIONES

El desarrollo de la máquina empacadora automatizada de harina de soya se llevó a cabo con éxito, cumpliendo con el objetivo de mejorar la competitividad de los pequeños productores locales. Gracias a esta automatización, el proceso de empaque es ahora un 50 % más rápido, pasando de 40 a 60 paquetes por hora, y con una precisión de ± 5 g, lo que representa una notable mejora respecto a los métodos manuales tradicionales con tolerancias de ± 20 g. Este avance permite aumentar la capacidad de producción y ofrecer un producto con estándares más altos de calidad, lo que les da una mejor posición en el mercado alimentario.

En cuanto a la estructura mecánica, se diseñó un sistema resistente y seguro, utilizando materiales como acero inoxidable y acero al carbono para garantizar durabilidad. Se incorporaron protecciones en las partes móviles y se siguieron normativas de seguridad industrial para reducir riesgos en la operación. Además, el uso de sistemas neumáticos y mecanismos de transmisión sincronizados permitió optimizar la eficiencia energética del equipo.

El prototipo desarrollado incorporó una Raspberry Pi en lugar de un PLC, junto con sensores y servomotores, priorizando componentes accesibles y de menor costo, dado que se trata de un primer modelo experimental. La construcción permitió validar la integración de estos elementos y evaluar su viabilidad dentro del sistema de automatización. Sin embargo, si bien el prototipo fue ensamblado, no se logró un funcionamiento óptimo en las pruebas realizadas. A pesar de esto, el diseño modular y el uso de materiales estándar sientan las bases para futuras mejoras, permitiendo ajustes y optimizaciones que faciliten su fabricación en serie y su eventual implementación en entornos productivos reales.

Comparando su desempeño con los métodos tradicionales empleados en la industria, se evidenció un aumento en la productividad, menores costos operativos y una reducción de las pérdidas por sobrepeso. Con un costo de operación de \$500 USD/mes frente a los \$1,200 USD/mes del proceso manual, la inversión en esta tecnología puede recuperarse en aproximadamente cinco meses.

Más allá de la eficiencia técnica, la implementación de esta máquina tiene un impacto significativo en el ámbito social y tecnológico. Reduce la dependencia de mano de obra, requiriendo solo medio operario para monitoreo en lugar de los dos que se necesitan en procesos manuales. Además, al eliminar tareas repetitivas y riesgos asociados al sellado térmico manual, mejora las condiciones laborales y la seguridad del personal. Este proyecto también demuestra que la automatización es accesible y rentable para pequeñas empresas, incentivando su modernización y fortaleciendo su competitividad.

X. RECOMENDACIONES

Es esencial utilizar los sistemas de paro de emergencia y apagado automático de la máquina para evitar daños al equipo y al operador.

Se debe garantizar que los sistemas de emergencia y protección operen correctamente en todo momento. Se recomienda realizar inspecciones periódicas de los dispositivos de seguridad, como paros de emergencia, relés de seguridad y sensores de presencia, para evitar fallos operativos.

Se sugiere elaborar un listado detallado de los componentes y seleccionar materiales resistentes a la corrosión, cumpliendo con las normas de bioseguridad para asegurar la calidad del producto y la durabilidad de la máquina.

Para evitar sobrecargas y fluctuaciones de voltaje que puedan afectar la operación de los componentes electrónicos, se recomienda la instalación de protecciones térmicas y disyuntores calibrados para cada circuito de la máquina, asegurando su correcto funcionamiento.

Los operadores deben familiarizarse con los procedimientos de empaquetado para garantizar una operación eficiente y segura.

Es necesario capacitar al personal encargado de la operación y mantenimiento de la máquina en los procedimientos de seguridad, diagnóstico de fallos y respuesta ante emergencias. Además, se sugiere elaborar manuales detallados con los procedimientos operativos estándar para facilitar el manejo del equipo.

Finalmente, realizar pruebas exhaustivas del prototipo permitirá identificar y corregir posibles fallos, asegurando un funcionamiento óptimo del equipo.

REFERENCIAS

- [1] A. M. Sánchez, T. Vayas y F. Mayorga, *Soya en Ecuador*, Repositorio de una universidad técnica de Ambato, 2020.
- [2] H. Oyarvide, T. Arce, W. Loor y G. Quiñones, «La soya en Ecuador: importancia y alternativas para su producción sustentable con rentabilidad económica,» *Agroalimentaria*, 2023.
- [3] E. Martínez, «Regulaciones de seguridad e higiene en la industria alimentaria: un enfoque integral,» *Revista de Seguridad Alimentaria*, vol. 5, n.º 1, págs. 22-35, 2018.
- [4] *Automatización*, <https://ripipsacobots.com/automatizacion>, Consultado el 13 de marzo de 2024.
- [5] N. Agudelo, G. Tano y C. A. Vargas, «Historia de la Automatización,» 2018, Consultado el 13 de marzo de 2024. dirección: <https://ingenierovizcaino.com/ecci/aut1/corte1/articulos/Historia%20de%20la%20Automatizacion.pdf>.
- [6] P. Alcocer Quinteros, M. Calero Zurita, N. Cedeño Zambrano y E. Lapo Manchay, *Automatización de los procesos industriales*, <https://www.journalbusinesses.com/index.php/revista/article/view/82>, Consultado el 13 de marzo de 2024, 2020.
- [7] A. Ghaleb, S. Zhioua y A. Almulhem, «On PLC Network Security,» *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, vol. 22, págs. 62-69, 2018, Consultado el 13 de marzo de 2024. DOI: 10.1016/j.ijcip.2018.05.004.
- [8] S. M. Burbano Robles, «CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE BAJO SOFTWARE Y HARDWARE LIBRE,» Tesis de maestría., 2022. dirección: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/12632/2/PG%201133%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>.
- [9] J. C. Ilasaca Calle, *Trabajo de Suficiencia Profesional*, 2018. dirección: http://3.17.44.64/bitstream/handle/20.500.12819/377/Juan_TrabajoDeSuficienciaProfesional_tesis_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- [10] M. Ortiz Domínguez y A. Cruz Avilés, «Potencia de un Compresor,» *Ingenio Y Conciencia Boletín Científico De La Escuela Superior Ciudad Sahagún*, vol. 10, n.º 19, págs. 58-65, 2023. DOI: 10.29057/escs.v10i19.9886.
- [11] R. Sarce, *Válvulas Neumáticas*, <https://renatosarce.files.wordpress.com/2011/11/cap4-valvulas-neumaticas.pdf>, Consultado el 13 de marzo de 2024, 2011.
- [12] J. C. Arellano Beltrán, *Automatización de máquina cortadora de latón para forja utilizando un PLC para la fábrica Esacontrol*, Proyecto de Titulación, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2011. dirección: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2753>.
- [13] P. A. S. V. DANILO SEBASTIÁN CAIZA, *Diseño y construcción de una máquina para realizar cortes de alimentos en formas variadas con capacidad de 20Kg/h, con dosificación controlada destinada a la industria alimenticia*, 2016. dirección: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/13134/3/UPS-KT01278.pdf>.
- [14] A. D. Vera, *Cálculo y Selección de Compresores Industriales para un Sistema Neumático de Alto Desempeño, de Berlinerluft, para la Empresa Compresores de Aire Zepeda*, Informe Técnico de Residencias Profesionales, 2017. dirección: <http://repositoriodigital.tuxtla.tecnm.mx/xmlui/bitstream/handle/123456789/1962/MDRPIM2017060.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [15] *Mangueras de silicona para neumática*, Pneumatig, Consultado el 13 de marzo de 2024. dirección: <https://pneumatig.eu/es/mangueras-neumaticas/hilos-de-silicona.html>.
- [16] A. A. Pinza Pardo y J. R. Vargas Cedeño, *Implementación de un módulo didáctico de electro-neumática para prácticas de la carrera de Electromecánica en la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión "La Maná"*, Proyecto de investigación, 2022. dirección: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/8467>.
- [17] H. Patiño Duque, L. Posada y E. Angulo, «Metodología del diseño y modelado de un accionamiento mecánico,» *Scientia et technica*, vol. 22, pág. 24, mar. de 2017. DOI: 10.22517/23447214.12801.

- [18] C. Brian, «Estudio teórico de las vibraciones torsionales y radiales de una transmisión de engranajes rectos,» 2022. dirección: <http://repositorio.udec.cl/bitstream/11594/9893/1/Tesis%20Brian%20Cleveland.pdf>.
- [19] E. D. Herrera Bellodas y R. S. Lumbres Álvarez, «Diseño de una máquina vertical empacadora, dosificadora y selladora de accionamiento mecánico-neumático controlado por un PLC para fundas de arroz,» 2018. dirección: <https://hdl.handle.net/20.500.12802/4414>.
- [20] E. P. Moreno Zapata, «Diseño de una máquina vertical empacadora, dosificadora y selladora de accionamiento mecánico-neumático controlado por un PLC para fundas de arroz,» 2010. dirección: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1287/1/CD-2667.pdf>.
- [21] J. A. Mantilla Yépez, *Sistema de formado, guiado y arrastre de funda para una máquina empacadora de Snacks*, Trabajo de Grado, 2018. dirección: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/7978/1/04%20MEC%20214%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>.
- [22] L. F. Z. T. DORIS YANETH CEBALLOS CASTAÑO JUAN DAVID OSORIO USMA, *Implementación de una máquina empacadora de grano de producción personal en el marco del proyecto Mecanos para La Paz*, Trabajo de Grado, 2022. dirección: https://repositorio.pascualbravo.edu.co/bitstream/pascualbravo/1899/1/Rep_IUPB_Tec_Ele_Empacadora_Grano.pdf.
- [23] *Tubo cuadrado de aluminio 2"*, Consultado el 14 de marzo de 2024. dirección: <https://dipacmanta.com/producto/inoxidable/tubo-cuadrado/tubo-cuadrado/>.
- [24] «Tubo rectangular de 1 1/4"x 2"x 1.5mm x 6m.» Consultado el 14 de marzo de 2024. (), dirección: <https://dismetel.ec/productos/tuberias/para-mueble/rectangular>.
- [25] *Rodamientos de bolas de movimiento lineal LMK13UU*, Consultado el 13 de marzo de 2024. dirección: https://es.aliexpress.com/item/1005004422404759.html?spm=a2g0o.detail.pcDetailTopMoreOtherSeller6.41fc6xht6xhtBC&gps-id=pcDetailTopMoreOtherSeller&scm=1007.40050.354490.0&scm_id=1007.40050.354490.0&scm-url=1007.40050.354490.0&pvid=de4bc1f1-b128-46fe-b8c8-d6ac103534c5&t=gps-id:pcDetailTopMoreOtherSeller,scm-url:1007.40050.354490.0,pvid:de4bc1f1-b128-46fe-b8c8-d6ac103534c5,tpp_buckets:668%232846%238107%231934&pdp_npi=4%40dis%21USD%213.55%212.13%21%21%213.55%212.13%21%402101fb0f17086816904044933ebb9b2112000029132610175%21rec%21EC%212955393402%21AB&utparam-url=scene%3ApcDetailTopMoreC7Cquery_from%3A.
- [26] *Perno M3 x 30mm de acero inoxidable*, Consultado el 13 de marzo de 2024. dirección: https://noldarsolutions.com/934_M8/detalles.

ANEXO A
CAPTURAS DE PANTALLA DE LA SIMULACIÓN
ANEXO B
CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPO

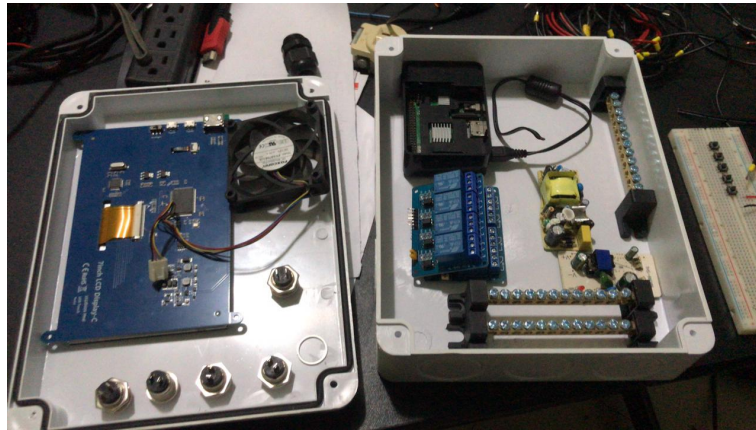


Figura 34. Tablero eléctrico en construcción. Fuente: Los Autores

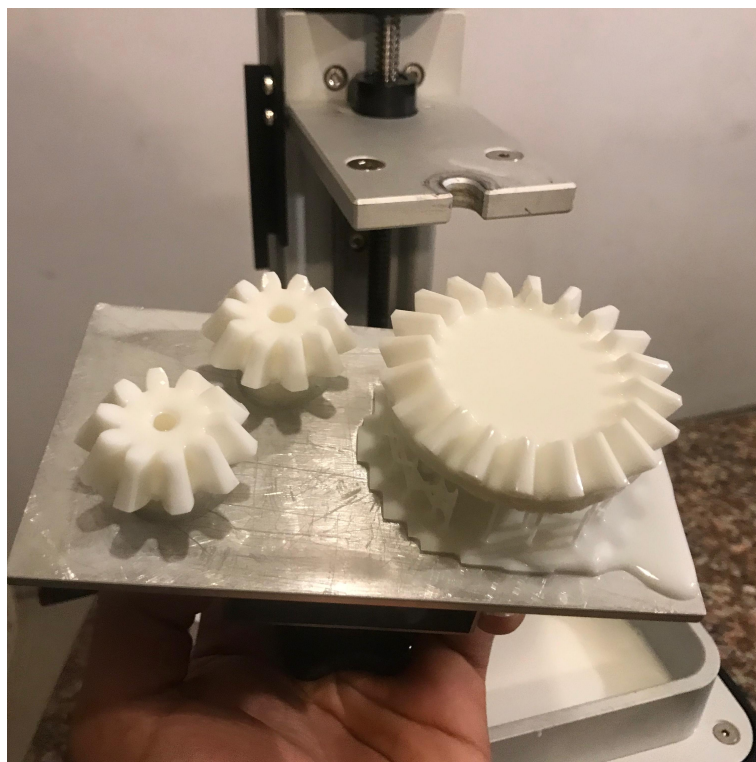


Figura 35. Engranaje impreso en resina. Fuente: Los Autores



Figura 36. Corte de pieza metálica. Fuente: Los Autores



Figura 37. Soldadura de base. Fuente: Los Autores



Figura 38. Base. Fuente: Los Autores



Figura 39. Formado de tubo. Fuente: Los Autores



Figura 40. Formado de tolva. Fuente: Los Autores



Figura 41. Base en proceso. Fuente: Los Autores

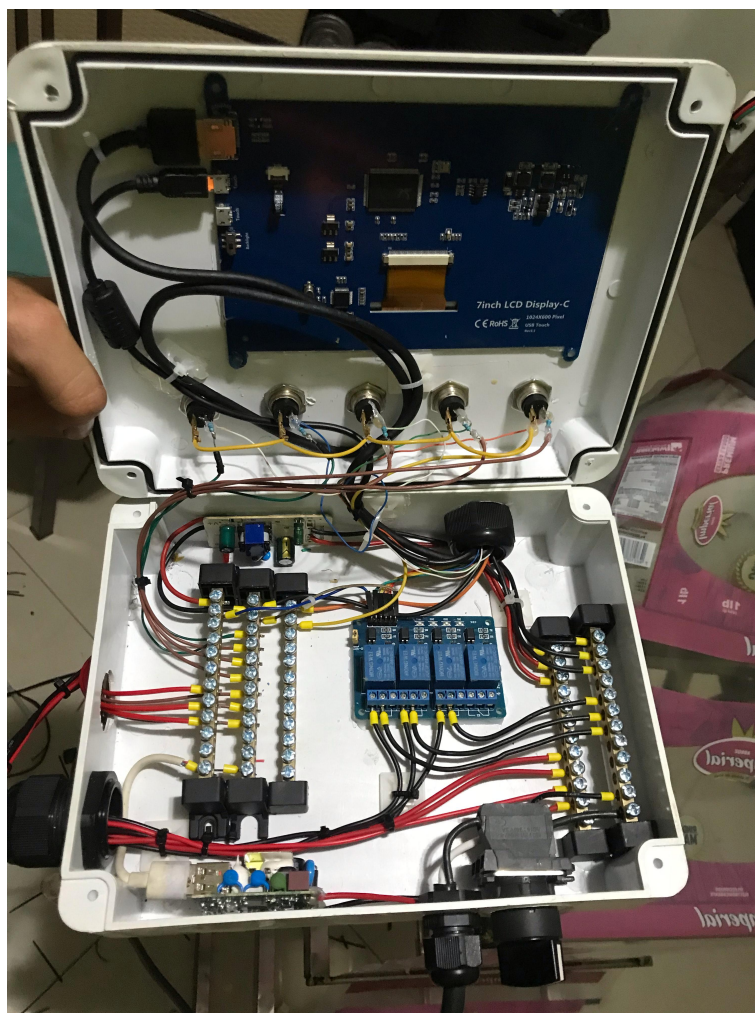


Figura 42. Tablero eléctrico terminado. Fuente: Los Autores



Figura 43. Proceso de sellado tubular. Fuente: Los Autores

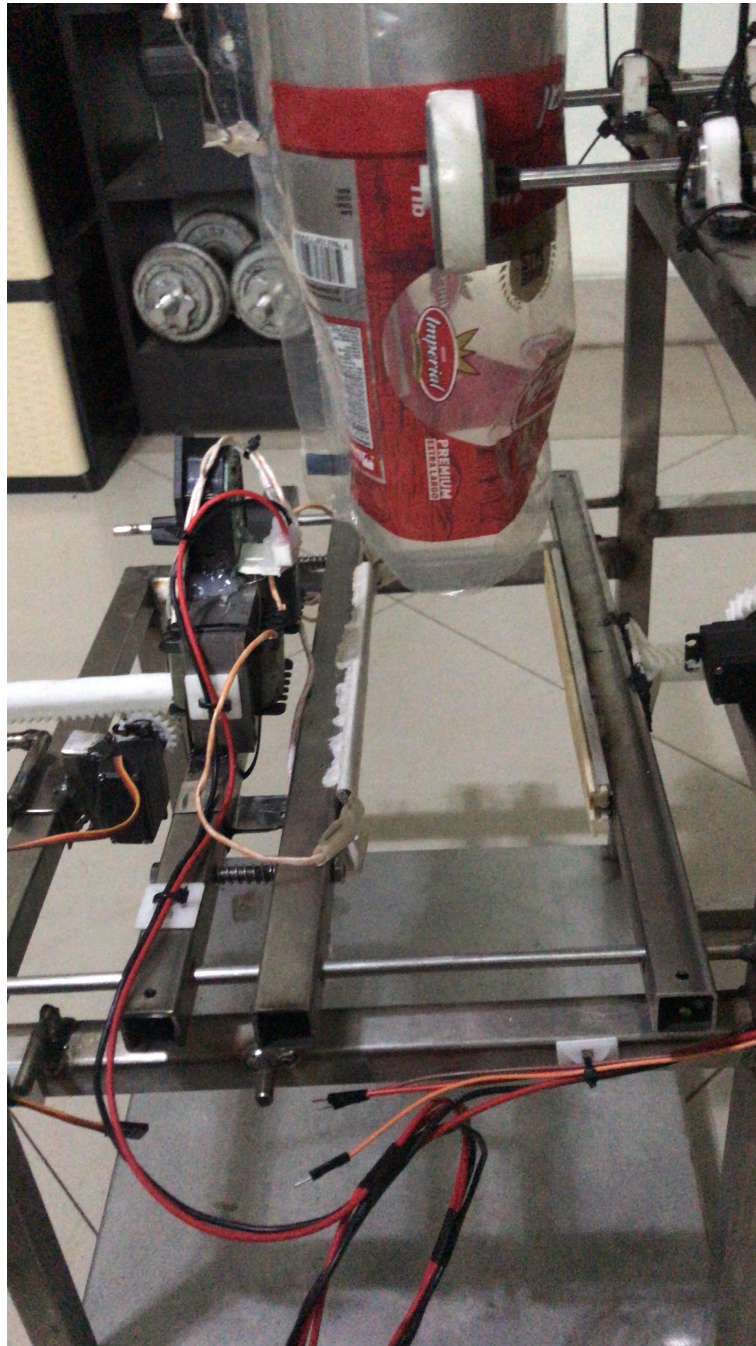


Figura 44. Proceso de corte y sellado. Fuente: Los Autores



Figura 45. Prototipo completo. Fuente: Los Autores

ANEXO C
DISEÑO Y MATERIALES

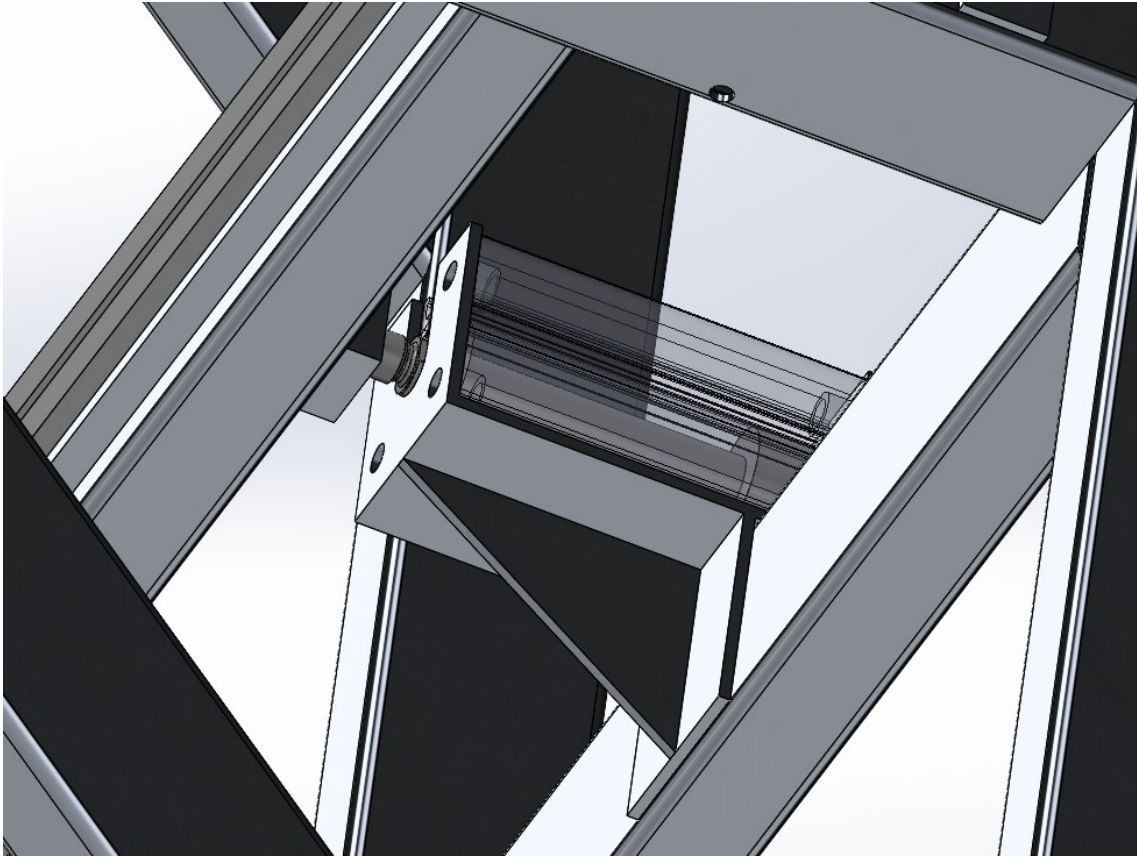


Figura 46. Actuador neumático. Fuente: Los Autores

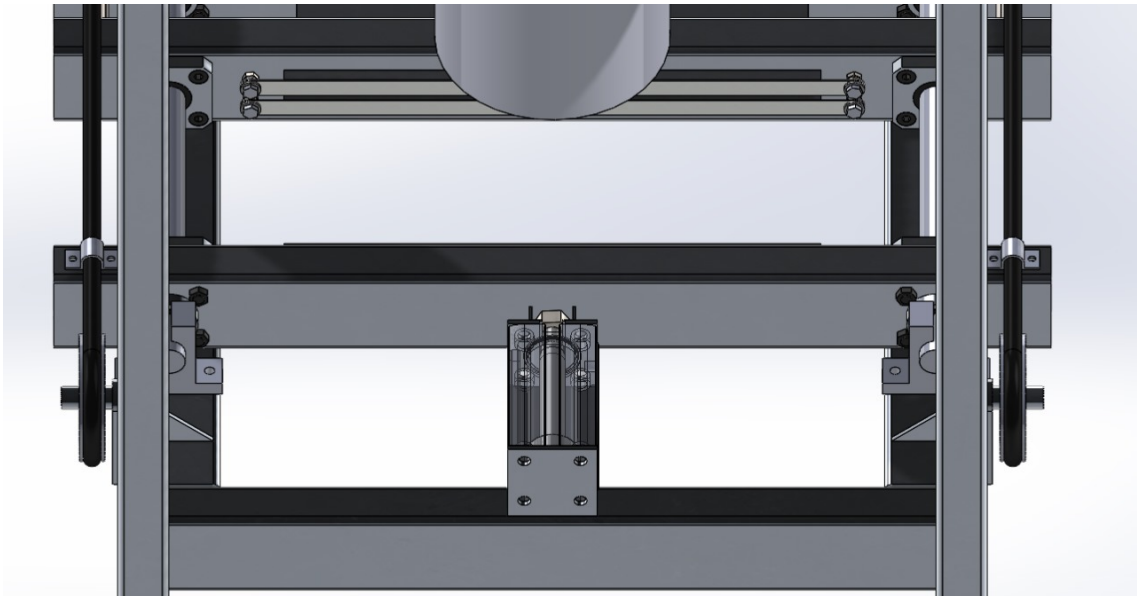
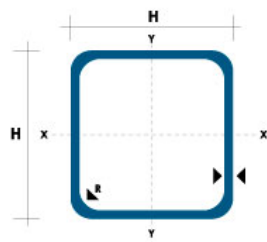


Figura 47. Servomotor. Fuente: Los Autores



DIMENSIONES		PROPIEDADES		
		ESPESOR (e)	PESO	ÁREA SECCIÓN
Pulg.	mm	mm	Kg/mt	Pulg ²
3/4"	19.05	1.2	0.5505	0.057
1"	25.4	1.2	0.8765	0.077
1 1/4"	31.75	1.2	1.1354	0.096
1 1/2"	38.1	1.2	1.3752	0.1165
2"	50.8	2	3.0142	0.1559

Nomenclatura

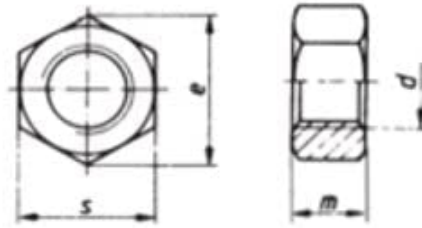
A= Área de selección transversal del tubo, plg².
H= Longitud lado

Figura 48. Tubo cuadrado de aluminio 2" [23]

CALIDAD:	GIS - G3141
OTRAS CALIDADES:	PREVIA CONSULTA
LARGO NORMAL:	6.00m
OTROS LARGOS:	PREVIA CONSULTA
ACABADOS:	PREVIA CONSULTA
OTROS ACABADOS:	MUEBLES, PASAMANOS

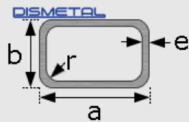
TIPO	DIMENSIONES			PESO
NOMINAL	a	b	e	kg/6m.
Pulgadas	mm	mm	mm	
3/8" x 3/4"	10	20	0.75	1.92
1/2" x 1"	12	25	0.75	2.46
			0.90	2.88
			1.00	3.18
			1.10	3.48
3/4" x 1 1/4"	20	30	0.75	3.36
			0.90	3.96
			1.00	4.38
			1.10	4.80
3/4" x 1 1/2"	20	40	0.75	5.16
			0.90	4.86
			1.00	5.34
			1.10	5.82
1" x 2"	25	50	0.75	5.10
			0.90	6.12
			1.00	6.78
			1.10	7.38
1 1/4" x 2"	30	50	1.50	9.90
			1.10	7.92
			1.50	10.62

Figura 49. Tubo rectangular de 1 1/4"x 2"x 1.5mm x 6m [24]



DIN 934			
d (M)	m (mm)	s	e
M3	2,4	5,5	6,01
M4	3,2	7	7,66
M5	4	8	8,79
M6	5	10	11,05
M8	6,5	13	14,38
M10	8	17	18,90
M12	10	19	21,10
M14	11	22	24,49
M16	13	24	26,75
M18	15	27	29,56
M20	16	30	32,95
M22	18	32	35,03
M24	19	36	39,55
M27	22	41	45,20
M30	24	46	50,85

Figura 51. Perno M3 x 30mm de acero inoxidable [26]



CALIDAD: GIS - G3141
 OTRAS CALIDADES: PREVIA CONSULTA
 LARGO NORMAL: 6.00m
 OTROS LARGOS: PREVIA CONSULTA
 ACABADOS: PREVIA CONSULTA
 OTROS ACABADOS: MUEBLES, PASAMANOS

TIPO	DIMENSIONES			PESO
NOMINAL	a	b	e	kg/6m.
Pulgadas	mm	mm	mm	
3/8" x 3/4"	10	20	0.75	1.92
1/2" x 1"	12	25	0.75	2.46
			0.90	2.88
			1.00	3.18
			1.10	3.48
3/4" x 1 1/4"	20	30	0.75	3.36
			0.90	3.96
			1.00	4.38
			1.10	4.80
3/4" x 1 1/2"	20	40	0.75	5.16
			0.90	4.86
			1.00	5.34
			1.10	5.82
1" x 2"	25	50	0.75	5.10
			0.90	6.12
			1.00	6.78
			1.10	7.38
1 1/4" x 2"	30	50	1.50	9.90
			1.10	7.92
			1.50	10.62

Figura 52. Tubo rectangular de 1 1/4"x 2"x 1.5mm x 6m [24]

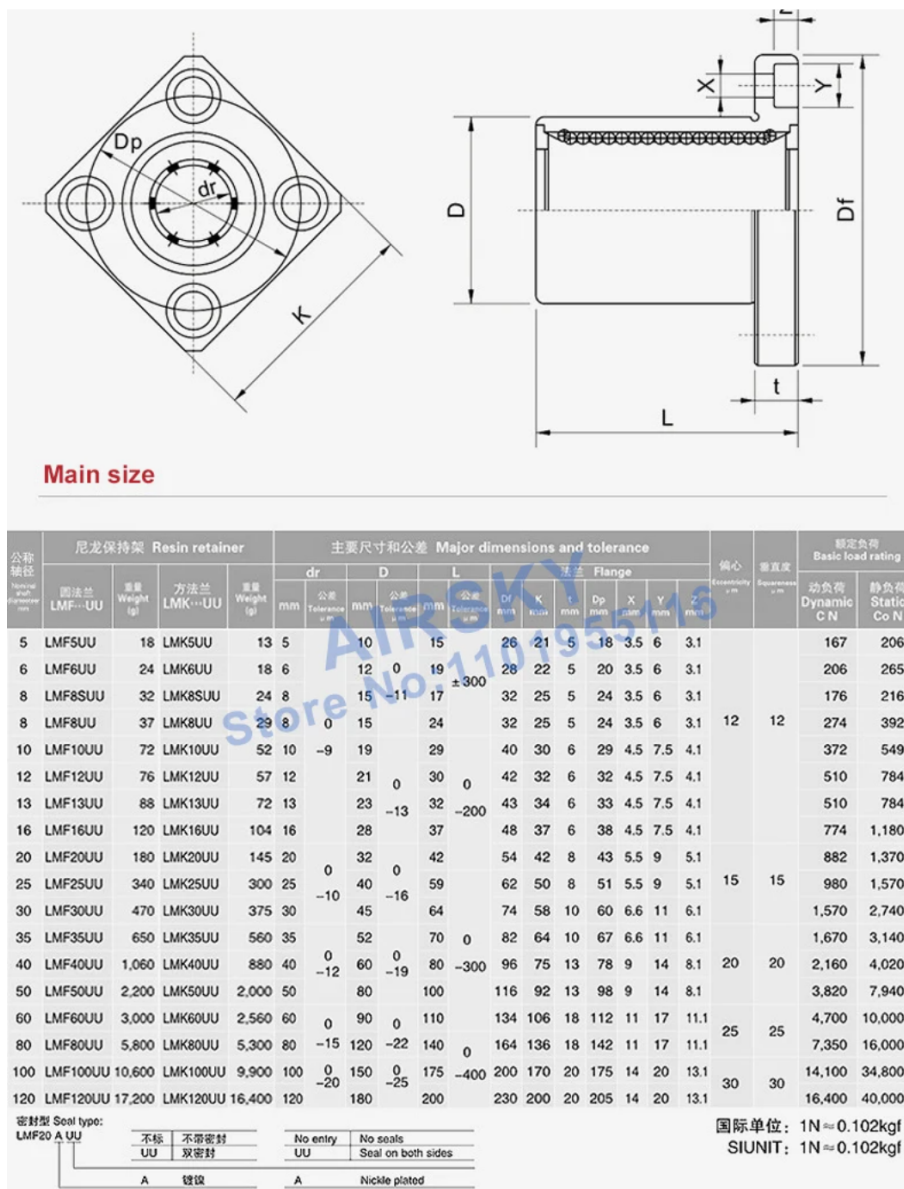
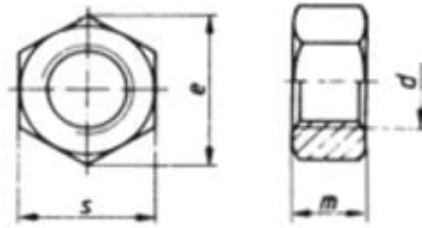
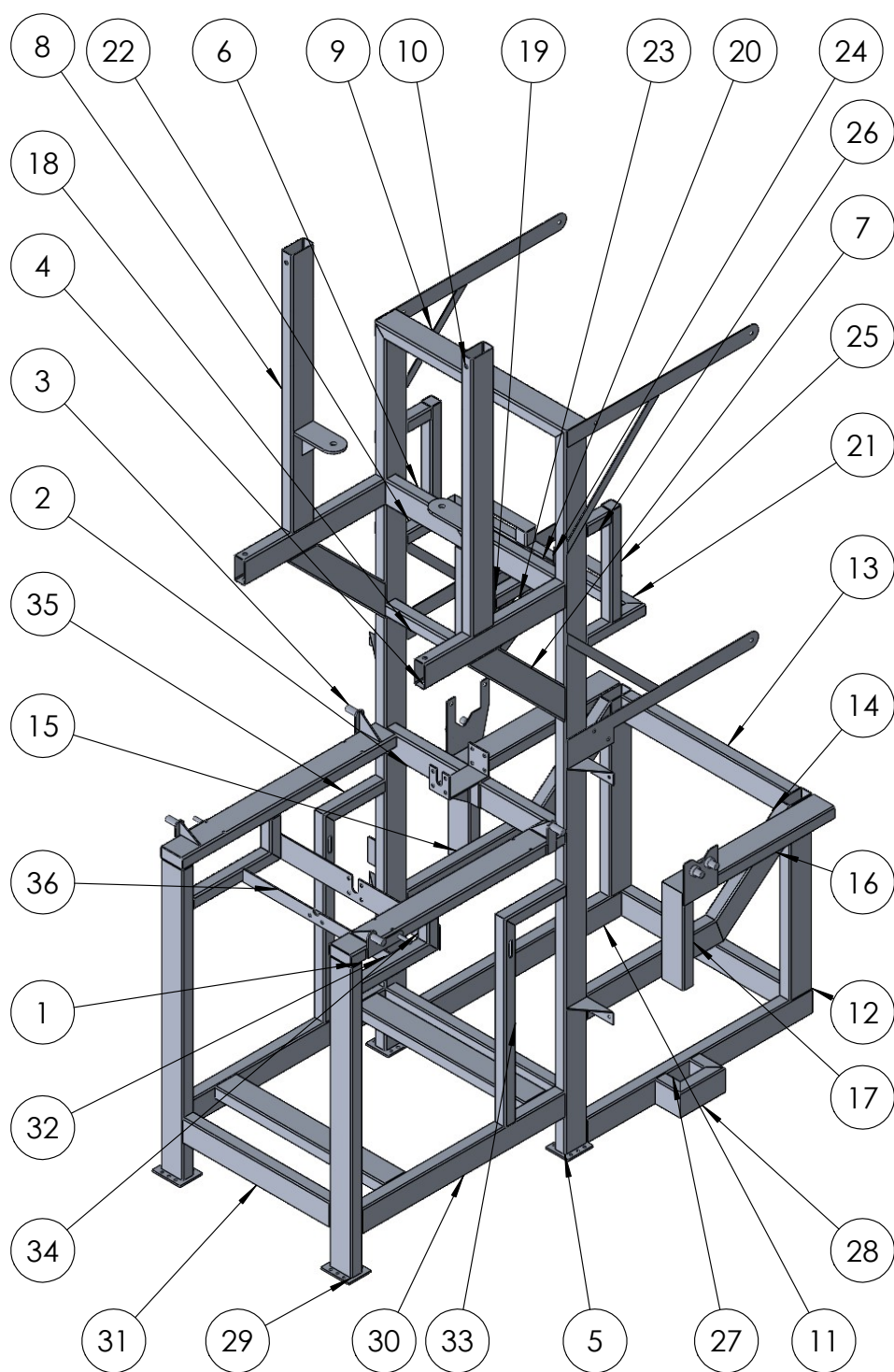


Figura 53. Rodamientos de bolas de movimiento lineal LMK13UU [25]



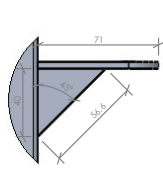
DIN 934			
d (M)	m (mm)	s	e
M3	2,4	5,5	6,01
M4	3,2	7	7,66
M5	4	8	8,79
M6	5	10	11,05
M8	6,5	13	14,38
M10	8	17	18,90
M12	10	19	21,10
M14	11	22	24,49
M16	13	24	26,75
M18	15	27	29,56
M20	16	30	32,95
M22	18	32	35,03
M24	19	36	39,55
M27	22	41	45,20
M30	24	46	50,85

Figura 54. Perno M3 x 30mm de acero inoxidable [26]

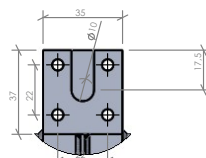


	Fecha	Nombre	 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR
Dibujado	06/03/2025	Diego Aldaz / Axel Orellana	
Comprobado	06/03/2025	Ing. José Alexander Zambrano García	
Escala 1:8	ESTRUCTURA		Normas: ISO 406, ISO 2553, ISO 2768-1 Lámina: 01

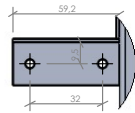
N° de elemento	Cantidad	Descripción	LONGITUD
1	1	Tubo 20x40x1.5mm	380
2	1	Tubo 20x40x1.5mm	300
3	1	Tubo 20x40x1.5mm	380
4	2	Tubo 20x40x1.5mm	249.5
5	2	Tubo 20x40x1.5mm	1114
6	1	Tubo 20x40x1.5mm	300
7	2	Tubo 20x40x1.5mm	246.390327
8	1	Tubo 20x40x1.5mm	427
9	1	Tubo 20x40x1.5mm	340
10	1	Tubo 20x40x1.5mm	427
11	2	Tubo 20x40x1.5mm	400
12	1	Tubo 20x40x1.5mm	340
13	6	Tubo 20x40x1.5mm	300
14	2	Tubo 20x40x1.5mm	186.30749
15	2	Tubo 20x40x1.5mm	242.481997
16	2	Tubo 20x40x1.5mm	270
17	2	Tubo 20x40x1.5mm	150
18	1	Tubo 20x40x1.5mm	300
19	2	Tubo 20x40x1.5mm	151.5
20	2	Tubo 20x20x1.5mm	103.5
21	1	Tubo 20x20x1.5mm	340
22	2	Tubo 20x40x1.5mm	103.5
23	2	Tubo 20x40x1.5mm	148.260142
24	4	Tubo 20x20x1.5mm	21
25	2	Tubo 20x20x1.5mm	172
26	2	Tubo 20x20x1.5mm	41.75
27	2	Tubo 20x40x1.5mm	44.5
28	1	Tubo 20x40x1.5mm	81
29	2	Tubo 20x40x1.5mm	477
30	2	Tubo 20x40x1.5mm	360
31	1	Tubo 20x40x1.5mm	260
32	2	Tubo 20x40x1.5mm	156.333333
33	2	Tubo 20x20x1.5mm	320
34	2	Tubo 20x20x1.5mm	70
35	2	Tubo 20x20x1.5mm	107.933667
36	1	Plancha de 1.5mm	260
	Fecha	Nombre	 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR
Dibujado	06/03/2025	Diego Aldaz / Axel Orellana	
Comprobado	06/03/2025	Ing. José Alexander Zambrano García	
Escala 1:1	LISTA DE ESTRUCTURA		Normas: Lámina: 02



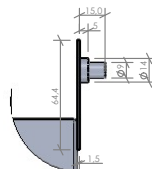
DETALLE B
ESCALA 1 : 4



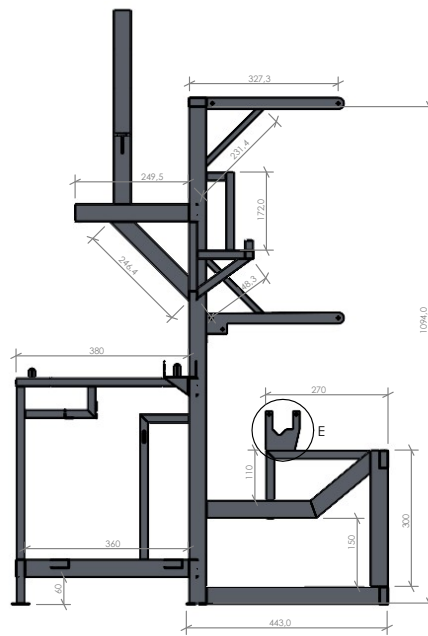
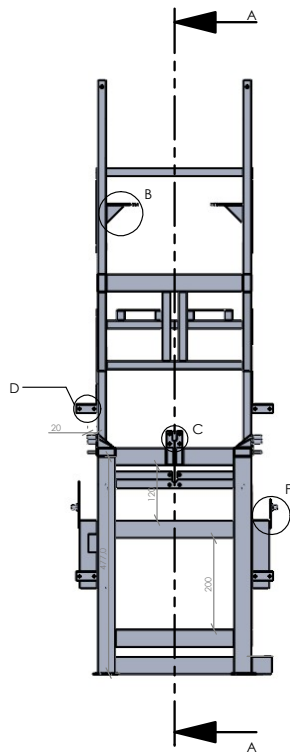
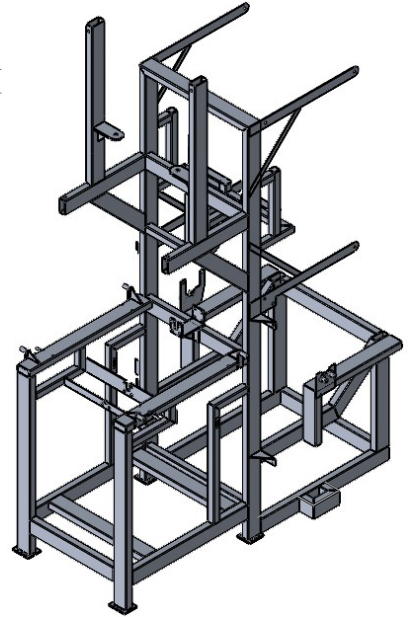
DETALLE C
ESCALA 1 : 3



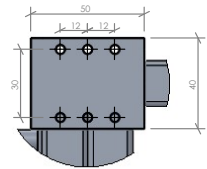
DETALLE D
ESCALA 1 : 3



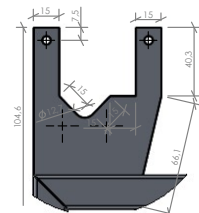
DETALLE F
ESCALA 1 : 4



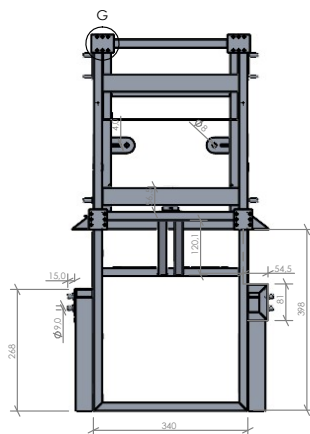
SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 15



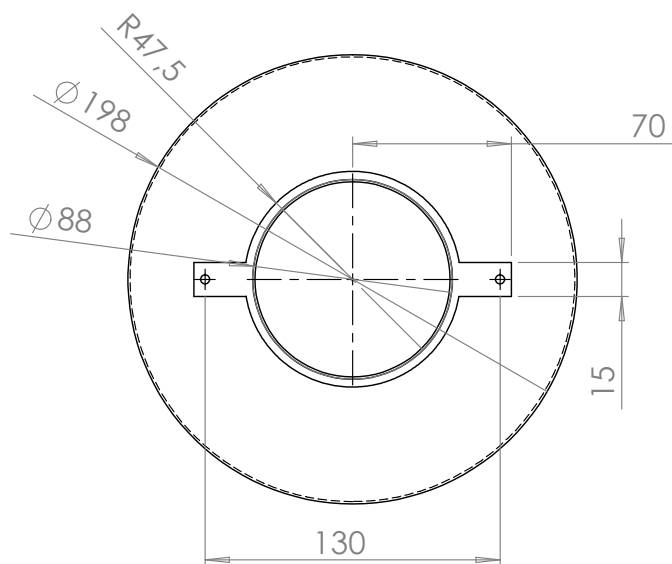
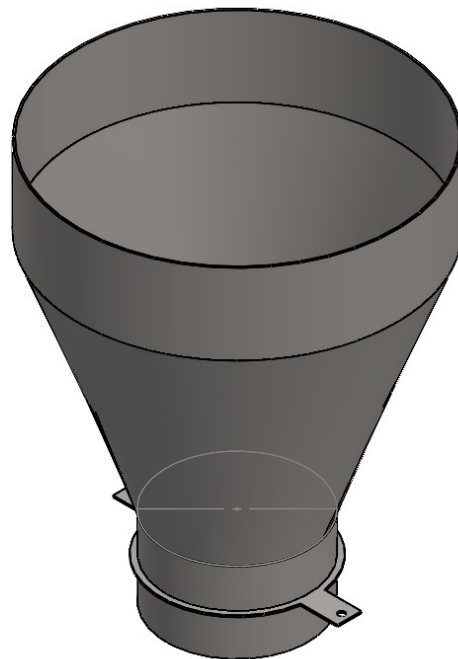
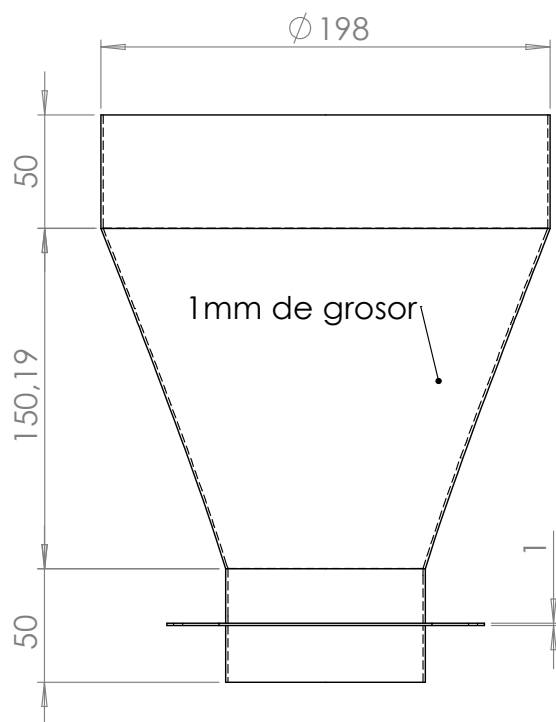
DETALLE G
ESCALA 1 : 3



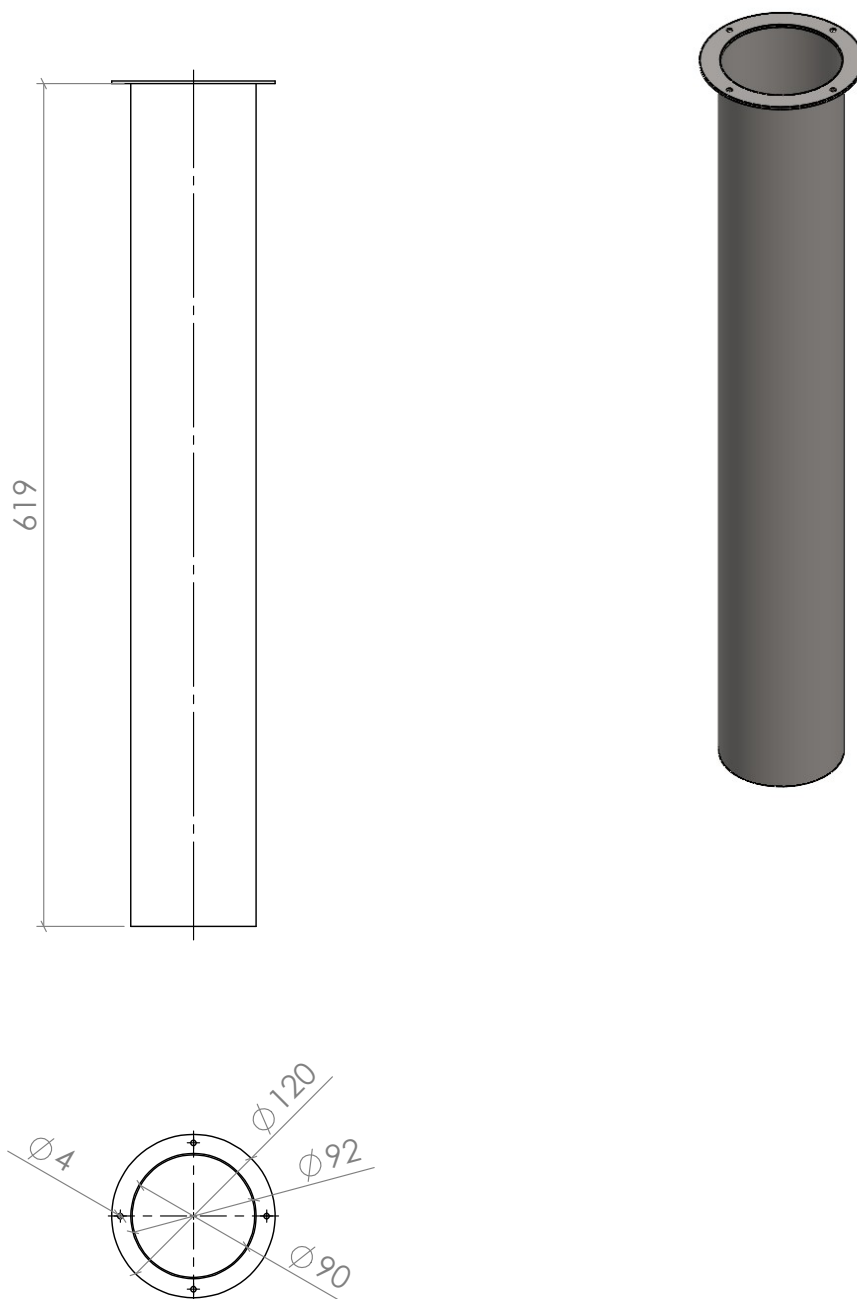
DETALLE E
ESCALA 1 : 4



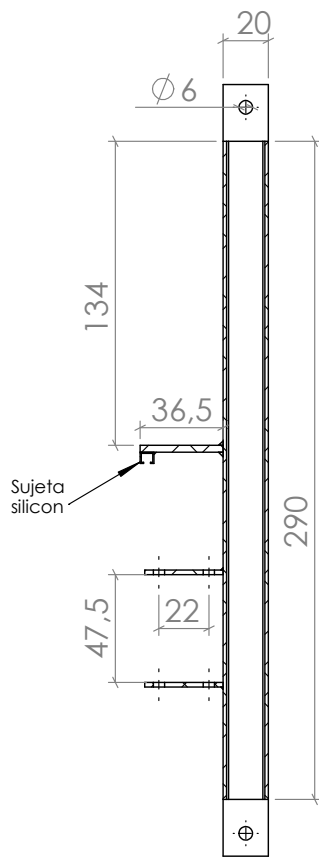
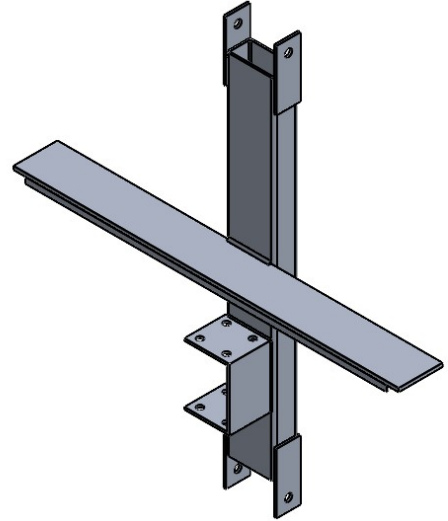
	Fecha	Nombre	 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR
Dibujado	06/03/2025	Diego Aldaz / Axel Orellana	
Comprobado	06/03/2025	Ing. José Alexander Zambrano García	
Escala	ESTRUCTURA		Normas: ISO 406, ISO 2553, ISO 2768-1
01:15			Lámina: 03



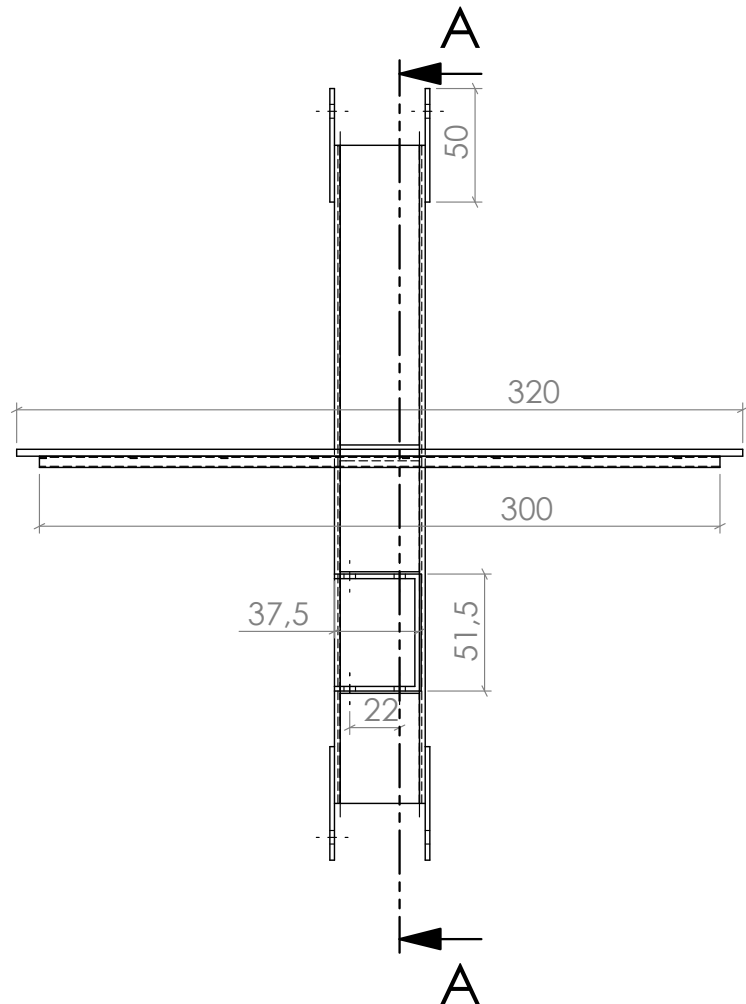
	Fecha	Nombre	 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR
Dibujado	06/03/2025	Diego Aldaz / Axel Orellana	
Comprobado	06/03/2025	Ing. José Alexander Zambrano García	
Escala	TOLVA		Normas: ISO 406, ISO 2553, ISO 2768-1
1:3			Lámina: 05



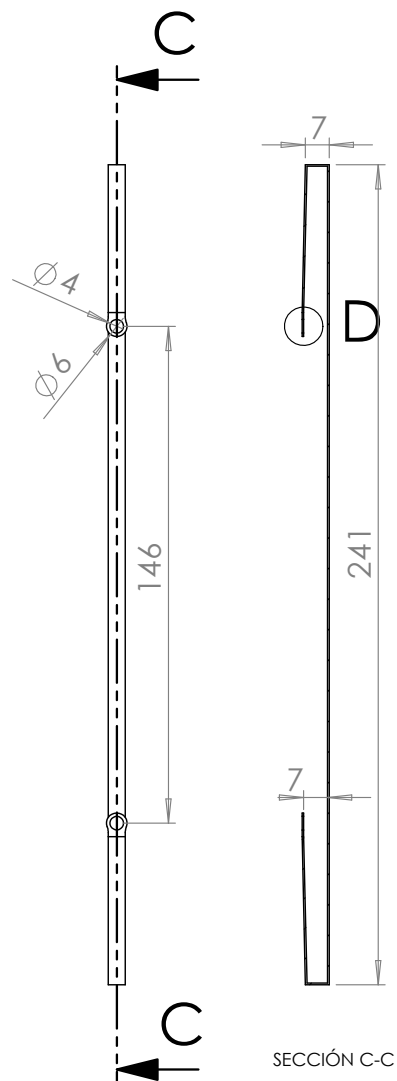
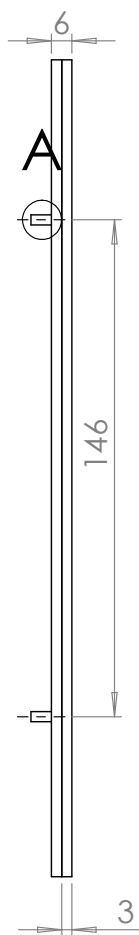
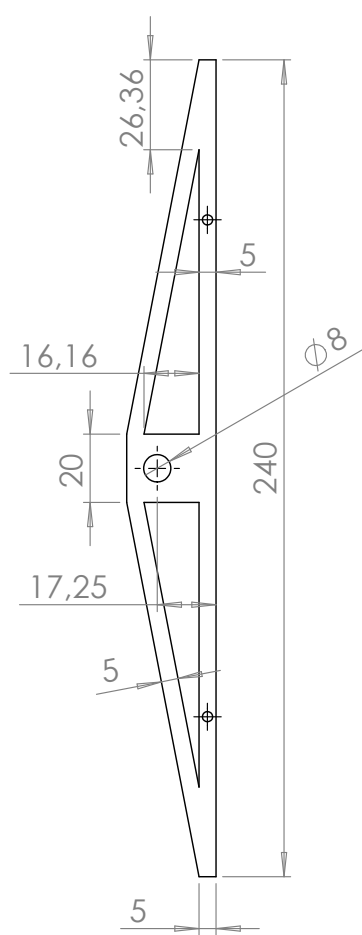
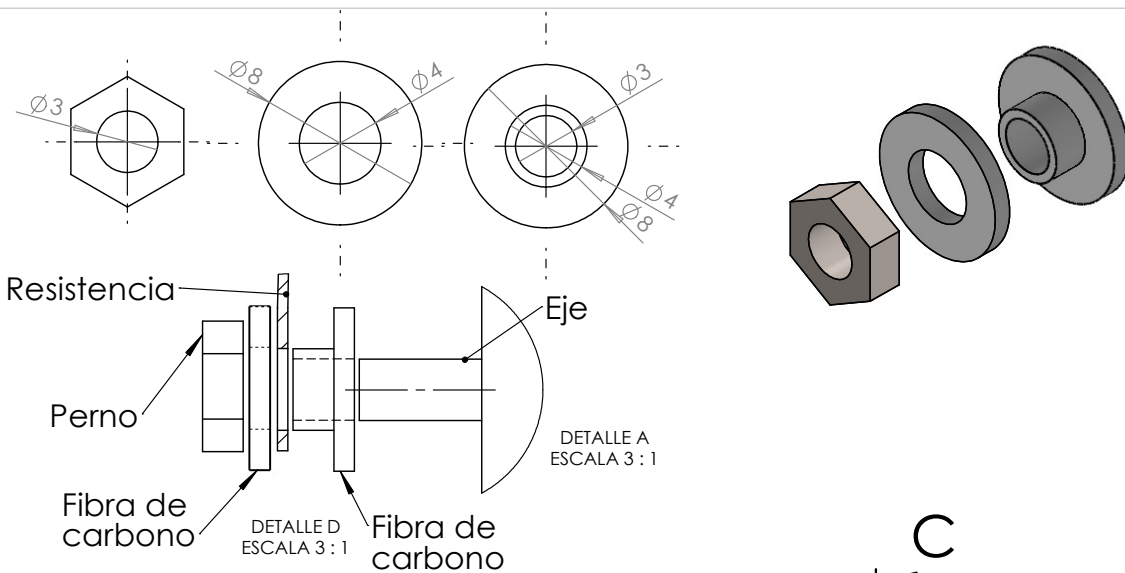
	Fecha	Nombre	 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR
Dibujado	06/03/2025	Diego Aldaz / Axel Orellana	
Comprobado	06/03/2025	Ing. José Alexander Zambrano García	
Escala 1:5	DUCTO		Normas: ISO 406, ISO 2553, ISO 2768-1 Lámina: 06



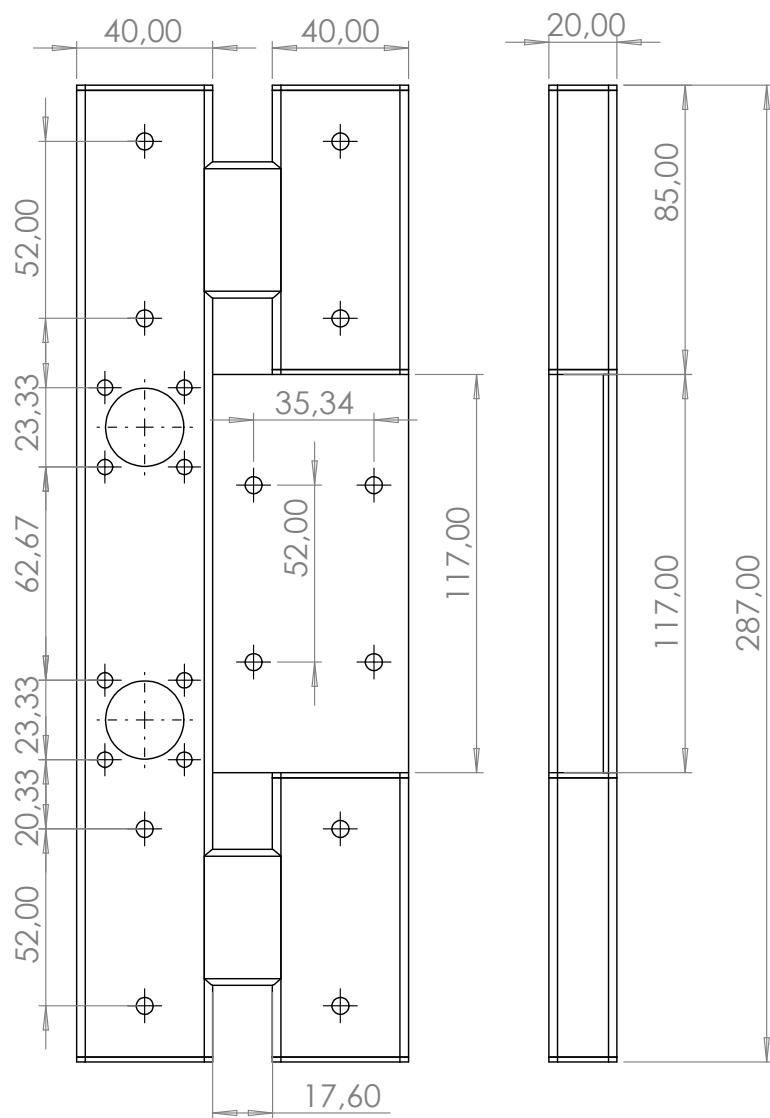
SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 3



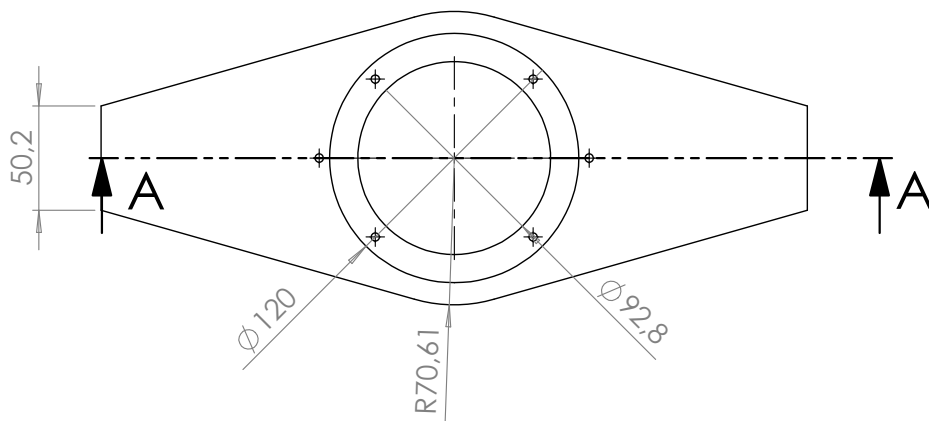
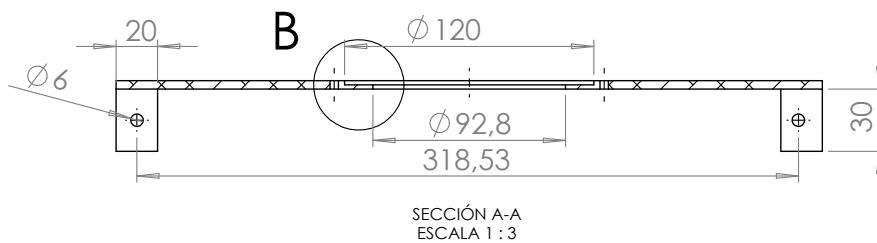
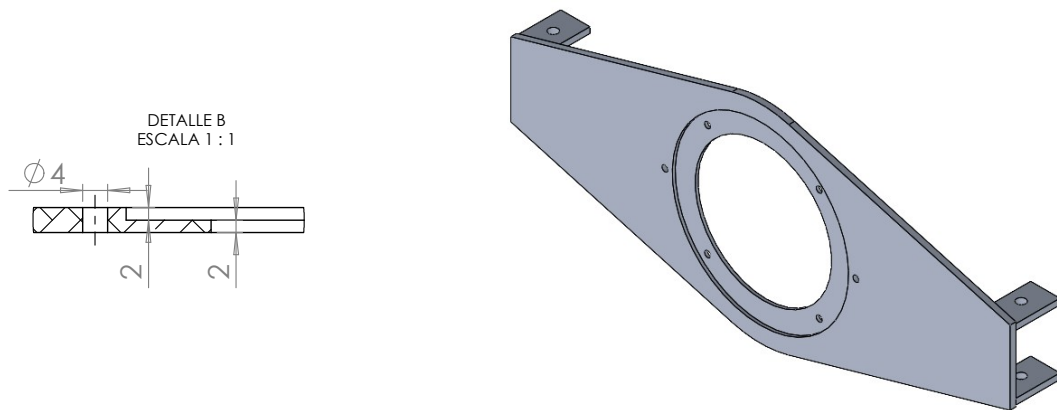
	Fecha	Nombre	 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR
Dibujado	06/03/2025	Diego Aldaz / Axel Orellana	
Comprobado	06/03/2025	Ing. José Alexander Zambrano García	
Escala 1:3	ESTRUCTURA SELLADO		Normas: ISO 406, ISO 2553, ISO 2768-1 Lámina: 07



	Fecha	Nombre	 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR
Dibujado	06/03/2025	Diego Aldaz / Axel Orellana	
Comprobado	06/03/2025	Ing. José Alexander Zambrano García	
Escala	SELLADO #1		Normas: ISO 406, ISO 2553, ISO 2768-1
1:2			Lámina: 08

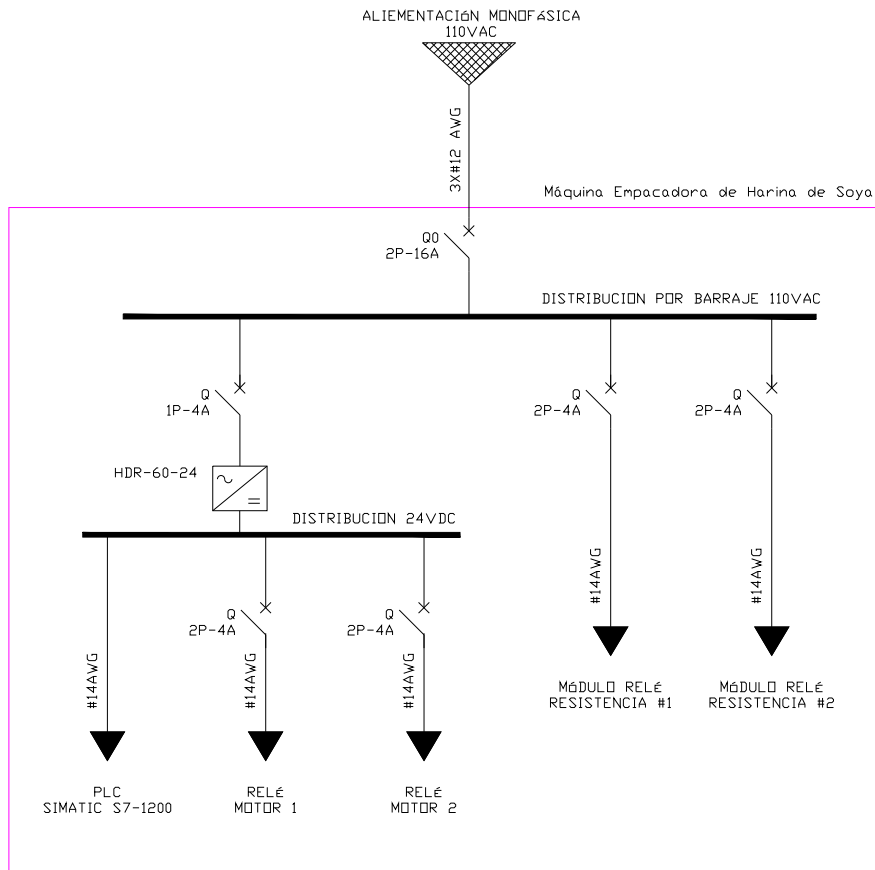


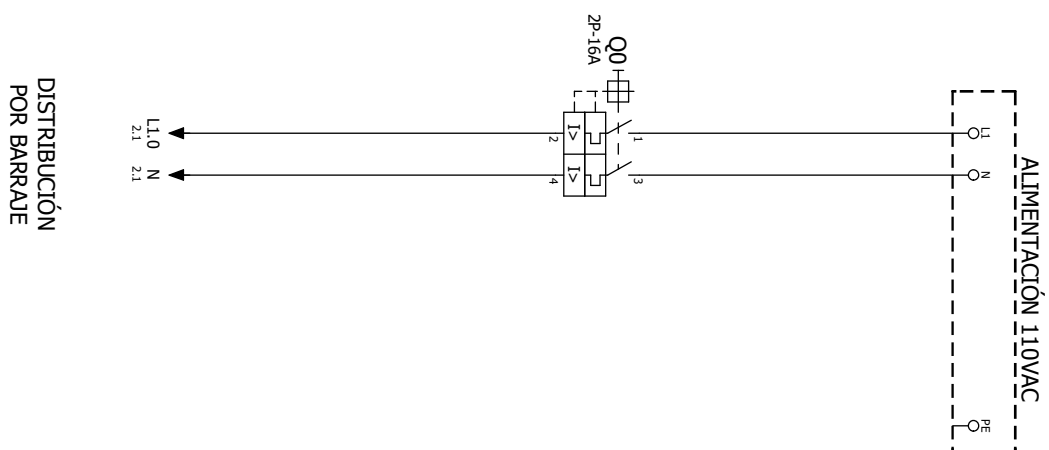
	Fecha	Nombre	 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR
Dibujado	06/03/2025	Diego Aldaz / Axel Orellana	
Comprobado	06/03/2025	Ing. José Alexander Zambrano García	
Escala	ESTRUCTURA RODILLOS		Normas: ISO 406, ISO 2553, ISO 2768-1
1:3			Lámina: 09

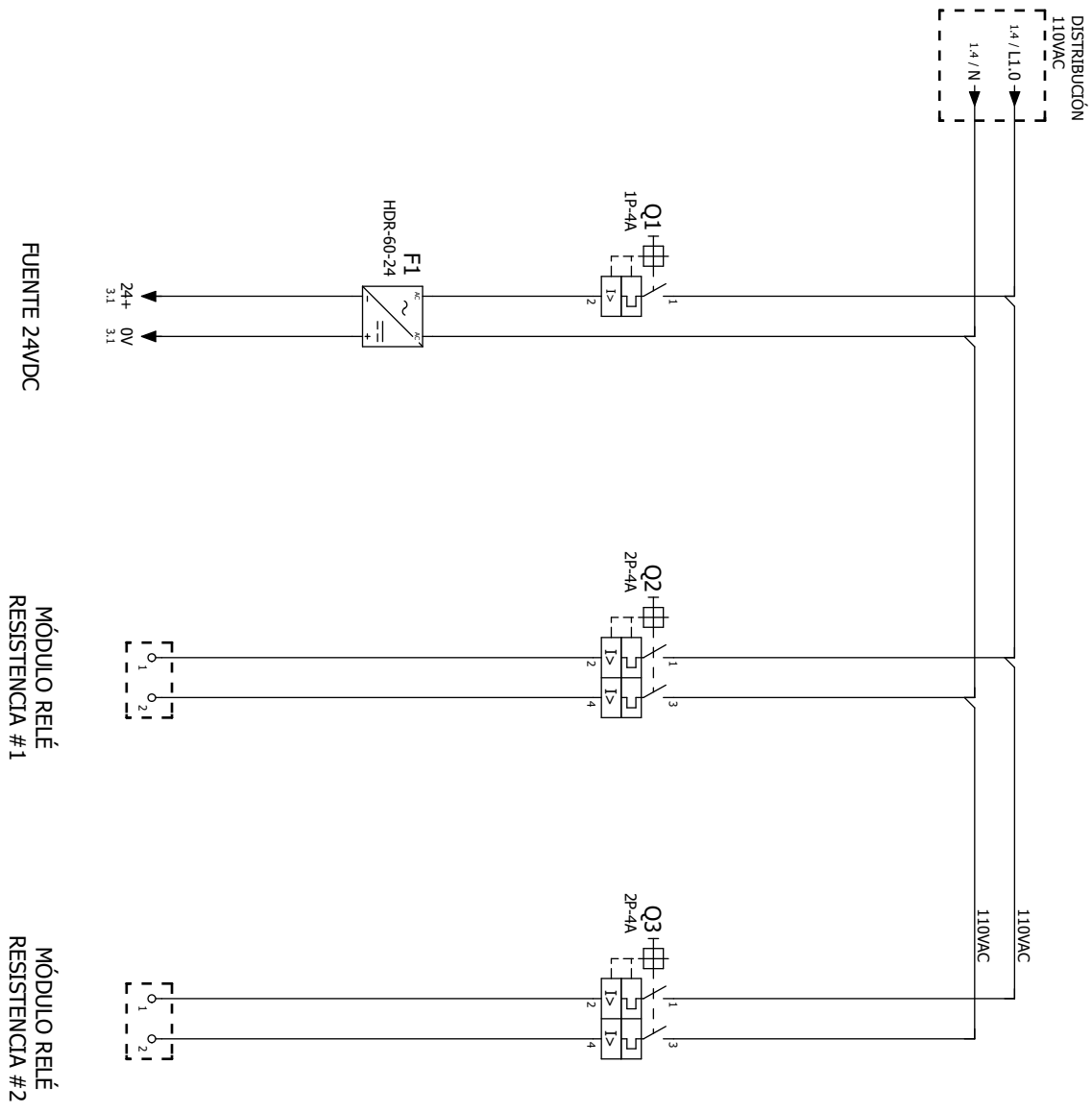


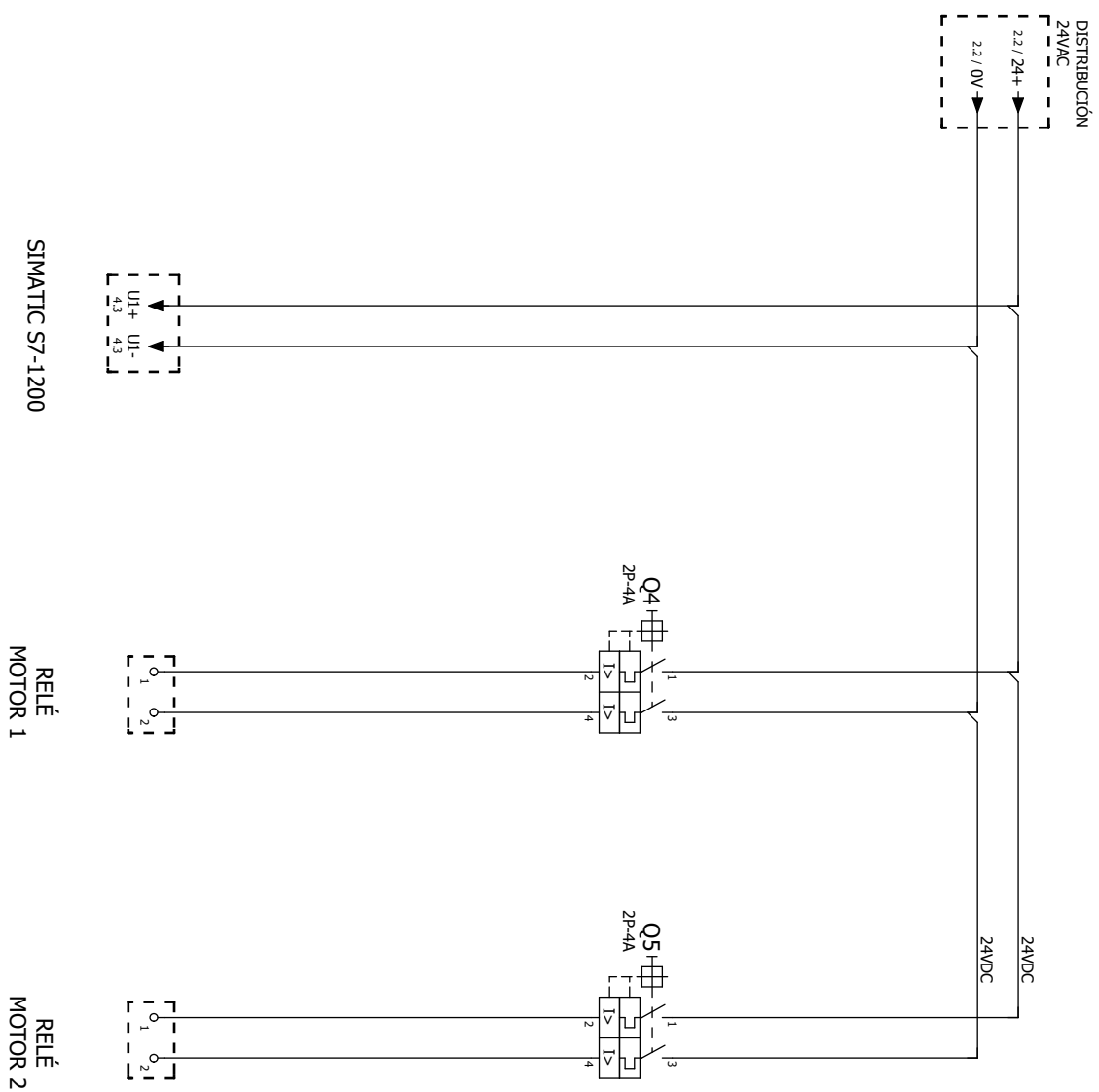
	Fecha	Nombre	 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR
Dibujado	06/03/2025	Diego Aldaz / Axel Orellana	
Comprobado	06/03/2025	Ing. José Alexander Zambrano García	
Escala	PLACA TOLVA		Normas: ISO 406, ISO 2553, ISO 2768-1
1:3			Lámina: 10

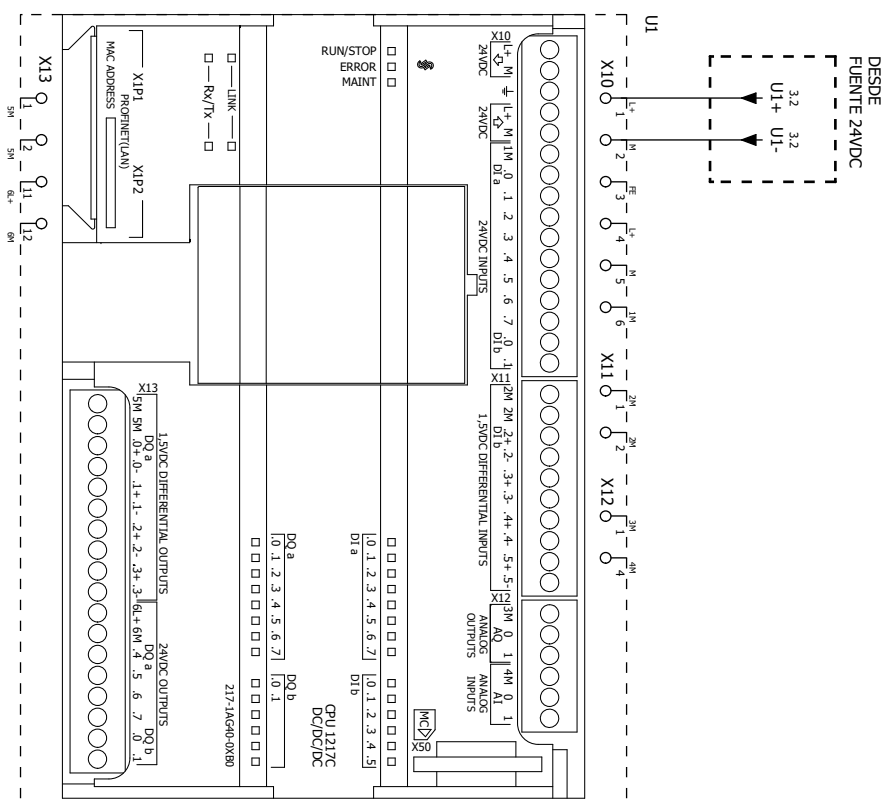
ANEXO D DIAGRAMAS



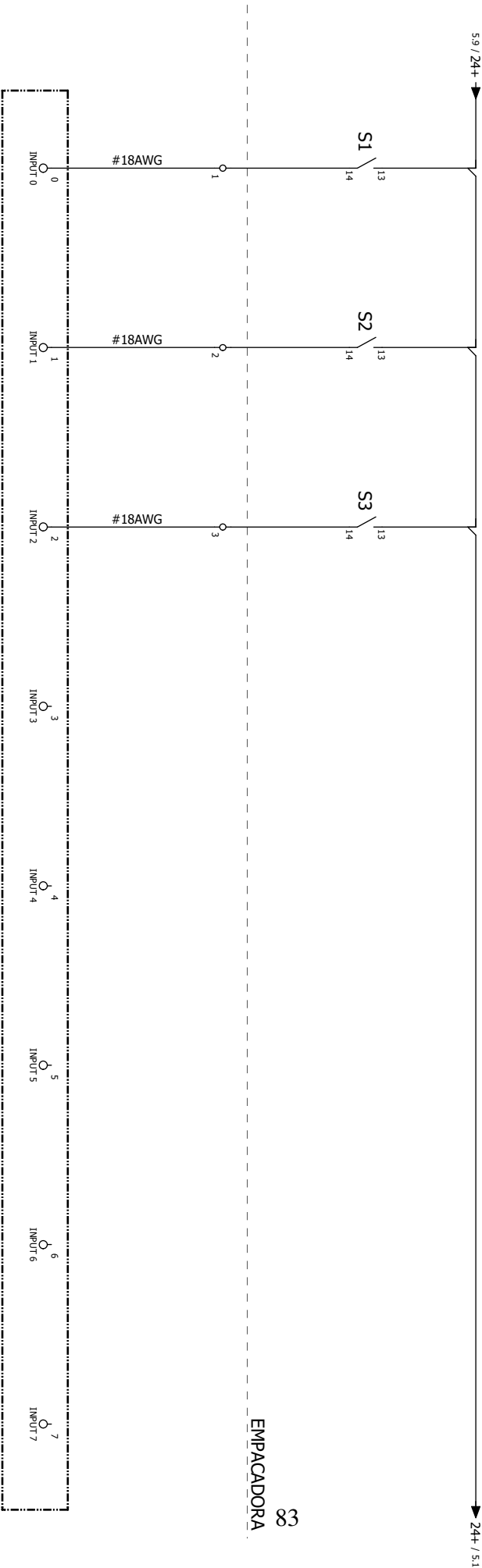






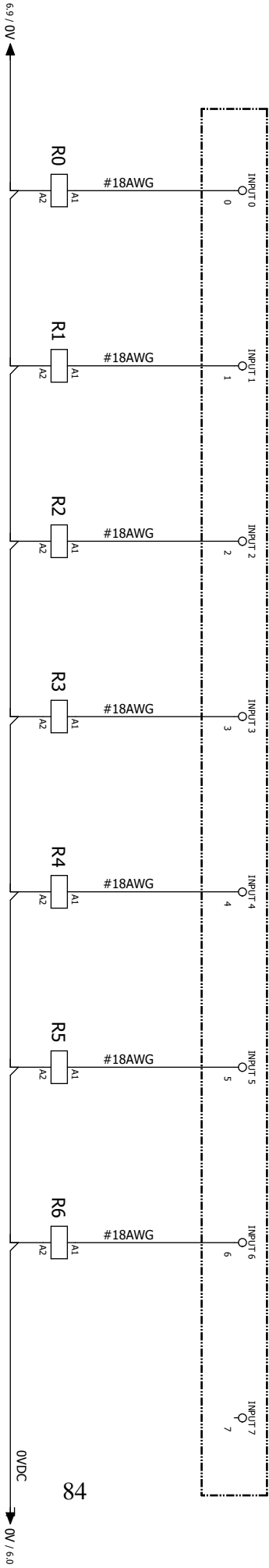


SENSOR CAPACITIVO	SENSOR INDUCTIVO	SENSOR INDUCTIVO
DETECTA PRESENCIA	NIVEL ALTO	NIVEL BAJO



DI
SIMATIC S7-1200
CPU 1217C

DO
SIMATIC S7-1200
CPU 1217C



VÁLVULAS SOLENOIDES	VÁLVULAS SOLENOIDES	VÁLVULAS SOLENOIDES	MÓDULO DE RELÉ	MÓDULO DE RELÉ	MÓDULO DE RELÉ	MÓDULO DE RELÉ
CORTE Y SELLADO	FORMACIÓN TUBULAR	PRODUCTO TERMINADO	MOTOR#1 DESPLAZAMIENTO FILM	MOTOR#2 ROTACIÓN ROYO FILM	RESISTENCIA CORTE Y SELLADO	RESISTENCIA SELLADO TUBULAR

11 - 14 / 9.1

11 - 14 / 9.2

11 - 14 / 9.3

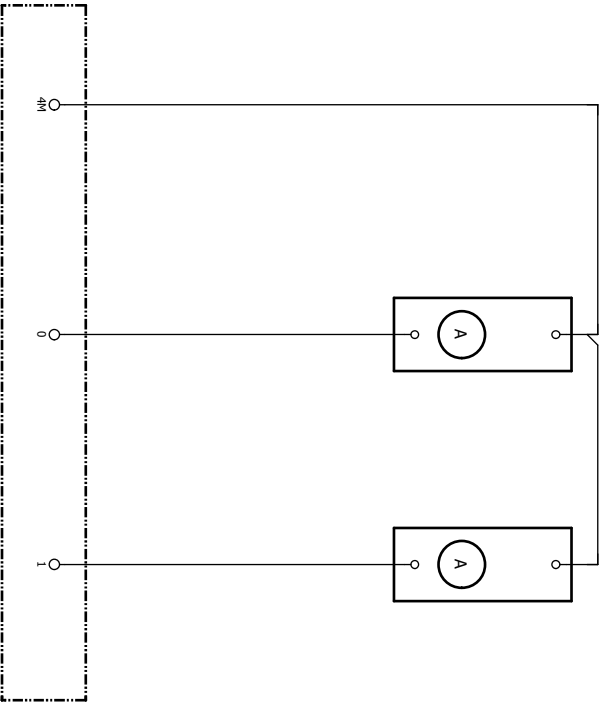
11 - 14 / 9.4

11 - 14 / 9.5

11 - 14 / 10.4

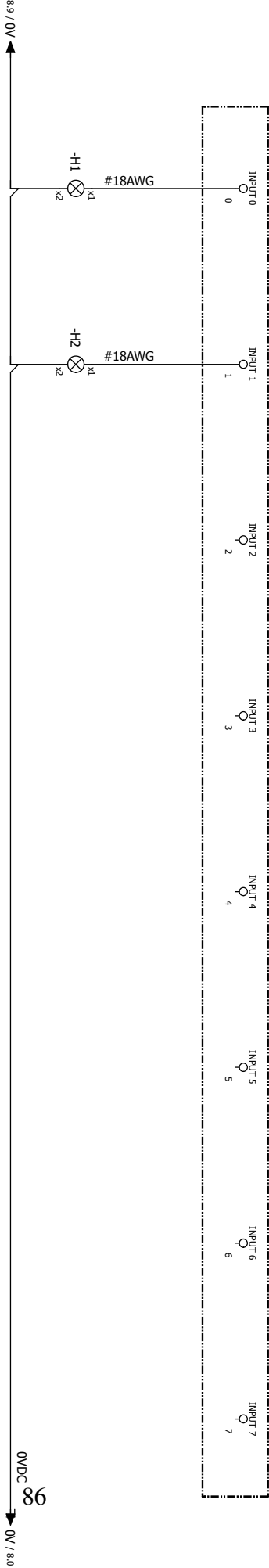
11 - 14 / 10.5

BALANZA	TERMOCUPLA RESISTENCIA
PESO PRODUCTO FINAL	SELLADO TUBULAR

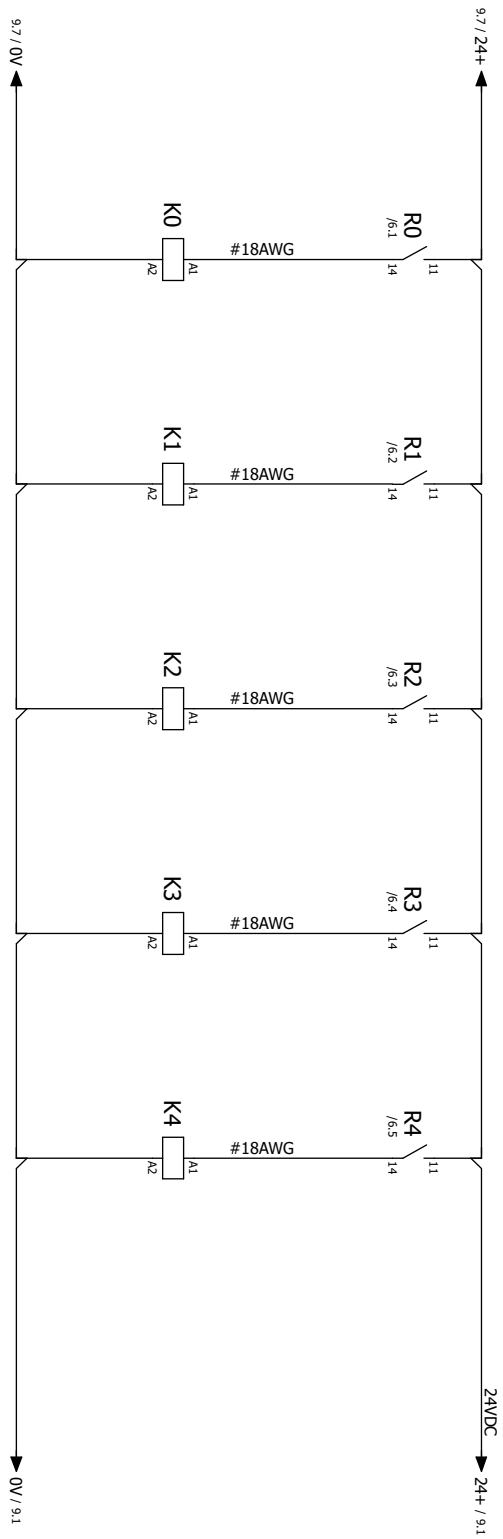


AI
SIMATIC S7-1200
CPU 1217C

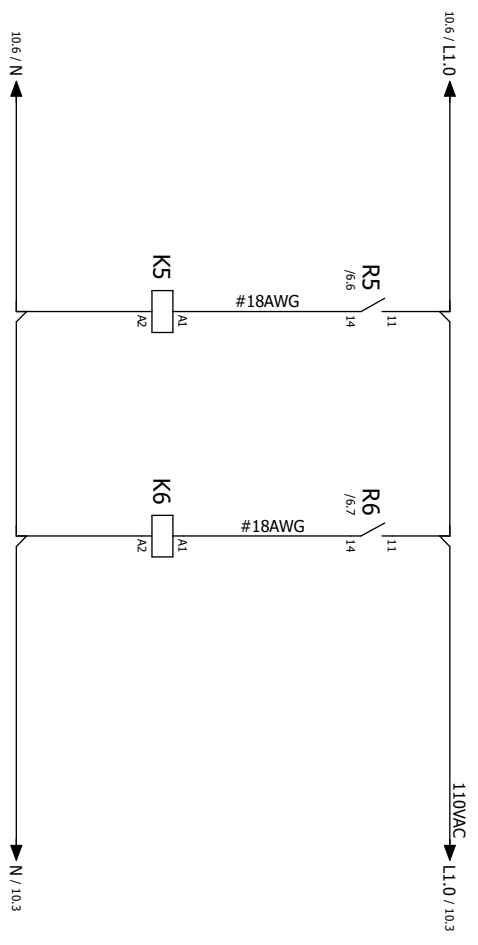
DO
SIMATIC S7-1200
CPU 1217C



LED PILOTO	LED PILOTO
LUCES INDICADORAS	LUCES INDICADORAS



VÁLVULAS SOLENOIDES	VÁLVULAS SOLENOIDES	VÁLVULAS SOLENOIDES	MÓDULO DE RELÉ	MÓDULO DE RELÉ
CORTE Y SELLADO	FORMACIÓN TUBULAR	PRODUCTO TERMINADO	MOTOR#1 DESPLAZAMIENTO FILM	MOTOR#2 ROTACIÓN ROYO FILM



MÓDULO DE RELÉ	MÓDULO DE RELÉ
RESISTENCIA CORTE Y SELADO	RESISTENCIA SELADO TUBULAR

U2

