



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

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE INSPECCIÓN DE  
SELLADO PARA ENVASES PLÁSTICOS DE LUBRICANTES**

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

AUTOR: Elías Joel Pin López

TUTOR: Ing. Jonathan Salvador Paillacho Corredores M.Sc.

Guayaquil - Ecuador

2025

A handwritten signature in blue ink is located in the bottom right corner of the page. The signature is stylized and appears to be the name of the author or tutor.

## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Elías Joel Pin López** con documento de identificación N° **0955924535**; manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo 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, 07 de marzo del año 2025

Atentamente,



---

Elías Joel Pin López  
0955924535

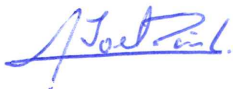
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, **Elías Joel Pin López** con documento de identificación N° **0955924535**, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del **Dispositivo Tecnológico: IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE INSPECCIÓN DE SELLADO PARA ENVASES PLÁSTICOS DE LUBRICANTES**, 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, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 07 de marzo del año 2025

Atentamente,



---

Elías Joel Pin López  
0955924535

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Jonathan Salvador Paillacho Corredores**, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE INSPECCIÓN DE SELLADO PARA ENVASES PLÁSTICOS DE LUBRICANTES**, realizado por **Elías Joel Pin López** con documento de identificación N° **0955924535**, 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, 07 de marzo del año 2025

Atentamente,



---

Ing. Jonathan Salvador Paillacho Corredores, Mg.  
1718907874

## DEDICATORIA

Este trabajo de titulación está dedicado a mi Señor Jesucristo como el motor y sustento de mi vida, a mis excelentísimos padres Celedonio Marino Pin Merchan y Lucía Olivia López Marín quienes por su sabiduría me encaminaron en la disciplina, responsabilidad, compromiso y ética, predispuestos a enseñarme por su amor inmenso, su cuidado y apoyo sin igual para asegurar mi bienestar en el transcurso de todos estos años de estudios universitarios.

## AGRADECIMIENTO

Un alto agradecimiento a mi hermosa novia Kenya Jailine Scott Bajaña, mi abuela materna Dolores Marín y a mis amados hermanos Darling Anthony Pin López y Eliel Adahir Pin López por su confianza absoluta que me ha impulsado a seguir adelante y quienes siempre me han guiado a dar lo mejor de mí.

**Elías Joel Pin López**

## RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo desarrollar un prototipo de verificación para garantizar el correcto sellado de los envases de lubricante, permitiendo mejorar la calidad durante el proceso de producción. La implementación de este sistema automatizado optimiza el proceso de inspección, reduciendo la intervención humana y aumentando la eficiencia en la detección de posibles fugas.

Para la construcción del prototipo, se emplean dispositivos como sensores ópticos y sensores de gases, los cuales proporcionan una comprobación precisa y confiable del sellado. La integración de estos sensores se realiza mediante un sistema de adquisición de datos con un microcontrolador Arduino, que facilita la lectura y el procesamiento de las señales, permitiendo su correcta interpretación por parte del autómatas programable LOGO! de Siemens.

El control y funcionamiento del sistema han sido programados en LOGO! Soft Comfort, mientras que el diseño mecánico estructural fue desarrollado en un programa de 3D. En este proceso, los envases de lubricante son transportados a través de una banda, donde se activa un mecanismo neumático encargado de aplicar una compresión controlada. Simultáneamente, los sensores analizan la presencia de posibles fugas y determinan que el envase esté regido al estándar de calidad establecido.

Este sistema automatizado representa una solución eficiente para la industria, al garantizar un proceso de inspección confiable, reducir desperdicios y mejorar la trazabilidad del control de calidad en la producción.

**Palabras claves:** Banda transportadora, Sistemas automatizados, Envases de lubricantes, Fallas de sellado, Optimización de procesos.

## ABSTRACT

The objective of this project is to develop a verification prototype to ensure the correct sealing of lubricant containers, allowing for improved quality during the production process. The implementation of this automated system optimizes the inspection process, reducing human intervention and increasing efficiency in the detection of possible leaks.

For the construction of the prototype, devices such as optical sensors and gas sensors are used, which provide accurate and reliable verification of the seal. The integration of these sensors is carried out through a data acquisition system with an Arduino microcontroller, which facilitates the reading and processing of the signals, allowing their correct interpretation by the Siemens LOGO! programmable controller.

The control and operation of the system have been programmed in LOGO! Soft Comfort, while the structural mechanical design was developed in a 3D program. In this process, the lubricant containers are transported through a belt, where a pneumatic mechanism is activated in charge of applying a controlled compression. At the same time, the sensors analyze the presence of possible leaks and determine that the packaging complies with the established quality standard.

This automated system represents an efficient solution for the industry, by guaranteeing a reliable inspection process, reducing waste and improving the traceability of quality control in production.

**Keywords:** Conveyor belt, Automated systems, Lubricant packaging, Sealing failures, Process optimization.

## ÍNDICE

<b>I.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>II.</b>	<b>PROBLEMA</b>	2
<b>III.</b>	<b>JUSTIFICACIÓN</b>	3
<b>IV.</b>	<b>OBJETIVOS</b>	4
IV-A.	Objetivo general . . . . .	4
IV-B.	Objetivos específicos . . . . .	4
<b>V.</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b>	5
V-A.	Automatización industrial . . . . .	5
V-A1.	Fuente de poder transformador 110/220V a 24V - 5A . . . . .	6
V-A2.	Sensor de gases Serie - MQ . . . . .	6
V-A3.	Logo - PLC . . . . .	7
V-A4.	Actuadores neumático simple efecto . . . . .	7
V-A5.	Electroválvula neumática 5/2 . . . . .	8
V-A6.	Luces piloto . . . . .	9
V-A7.	Comunicación Modbus TCP/IP . . . . .	10
V-A8.	Sensor FC - 51 IR . . . . .	10
V-A9.	Controlador digital . . . . .	11
<b>VI.</b>	<b>METODOLOGÍA</b>	12
VI-A.	DISEÑO MECÁNICO . . . . .	14
VI-A1.	Diseño de piezas . . . . .	16
VI-A2.	Diseño Banda Transportadora . . . . .	17
VI-B.	Análisis de banda transportadora . . . . .	18
VI-C.	Diseño mecánico final . . . . .	19
VI-C1.	Análisis de fuerza por los actuadores neumáticos . . . . .	20
VI-C2.	Datos y cálculos de actuadores . . . . .	20
VI-D.	Análisis de elementos finitos . . . . .	21
VI-D1.	Análisis de banda transportadora . . . . .	21
VI-D2.	Análisis de envase . . . . .	21
VI-D3.	Análisis general de comprobador. . . . .	22
VI-E.	Diseño Electrónico . . . . .	23
VI-E1.	Diagrama eléctrico de control y conexión . . . . .	23
VI-E2.	Descripción de entradas al logo . . . . .	23
VI-E3.	Descripción de salidas del logo y expansión . . . . .	23
VI-F.	Diagrama de programación del LOGO . . . . .	24
VI-F1.	Comunicación entre LOGO y Arduino . . . . .	24
VI-G.	Diagrama de actuador y controladores neumáticos . . . . .	26
VI-H.	Tabla de verdad de programación del logo y accionamiento neumático . . . . .	27
VI-H1.	Tabla de verdad control neumático . . . . .	27
VI-H2.	Tabla de verdad programación en Logo . . . . .	28

<b>VII. RESULTADOS</b>	29
VII-A. Comprobación de la respuesta del sistema con el sensor MQ-2 . . . . .	29
VII-B. Respuesta del sistema con el Arduino por accionamiento y comprobación en tiempo real . .	29
VII-C. Simulación de comunicación en tiempo real de sensores detectores a Logo! . . . . .	30
VII-D. Diseño de sistema implementado . . . . .	32
VII-E. Tabla de pruebas de eficiencia del comprobador . . . . .	33
<b>VIII. CRONOGRAMA</b>	34
<b>IX. PRESUPUESTO</b>	35
<b>X. CONCLUSIONES</b>	36
<b>XI. RECOMENDACIONES</b>	37

## ÍNDICE DE FIGURAS

1.	Envases sellados con foil [14]. . . . .	5
2.	Automatización industrial. . . . .	5
3.	Fuente de poder 110V a 24V [17]. . . . .	6
4.	Sensor de gases Mq-135 [19]. . . . .	6
5.	Logo - PLC [21]. . . . .	7
6.	Software LOGO!Soft para simulación y programación. . . . .	7
7.	Actuador neumático - simple efecto [23]. . . . .	8
8.	Electroválvula neumática 5/2 [25]. . . . .	9
9.	Software FluidSIM-P de simulación neumática. . . . .	9
10.	Luces pilotos [27]. . . . .	10
11.	Metodo comunicación MODbus. . . . .	10
12.	Sensor FC - 51. . . . .	11
13.	Proceso de verificación. . . . .	13
14.	Esfuerzo por flexión en sistemas rectangulares [30]. . . . .	14
15.	Medidas de soporte 1 . . . . .	16
16.	Medidas de soporte 2 . . . . .	17
17.	Medidas de soporte 3 . . . . .	17
18.	Banda transportadora de acero inoxidable [31]. . . . .	18
19.	Diseño mecanizado. . . . .	20
20.	Análisis en banda transportadora. . . . .	21
21.	Análisis en envase. . . . .	22
22.	Análisis de fuerzas en comprobador. . . . .	22
23.	Análisis de fuerza menor en comprobador. . . . .	23
24.	Diagrama de control y conexión eléctrica. . . . .	24
25.	Programación de Logo! en bloques . . . . .	25
26.	Conexión de sensor para lectura de Logo! por relé. . . . .	26
27.	Diagrama de conexión en actuadores neumáticos . . . . .	26
28.	Diagrama de control neumático . . . . .	27
29.	Tabla de verdad lógica neumática . . . . .	28
30.	Tabla de verdad lógica de Logo . . . . .	28
31.	Pruebas directas con Arduino a sensor MQ-2. . . . .	29
32.	Pruebas en tiempo real de sensor MQ-2. . . . .	30
33.	Comunicación de sensores por relé de 5VDC. . . . .	30
34.	Sensor que comunica con logo. . . . .	31
35.	Sensores de envases y gases en comprobador. . . . .	32
36.	Sistema de comunicación entre sensores y logo! implementado. . . . .	32
37.	Diseño general implementado neumático y sensores a Logo!. . . . .	33
38.	Análisis y seguimiento de pruebas realizadas. . . . .	33
39.	Dibujo técnico de piezas mecánicas . . . . .	43
40.	Medidas de envases para pruebas. . . . .	44
41.	Proceso de armado 1. . . . .	45
42.	Proceso de armado 2. . . . .	45
43.	Proceso de armado 3. . . . .	46
44.	Proceso de armado 4. . . . .	46
45.	Proceso de armado 5. . . . .	47
46.	Diseño 1. . . . .	47
47.	Diseño 2. . . . .	48
48.	Banda transportadora. . . . .	48

ÍNDICE DE TABLAS

I.	Cronograma . . . . .	34
II.	Presupuesto . . . . .	35

## I. INTRODUCCIÓN

En la industria de fabricación de lubricantes, el control de calidad es un proceso fundamental para garantizar la seguridad y eficiencia del producto final. Sin embargo, a pesar de los avances tecnológicos, aún existen operaciones donde la verificación de calidad depende en gran medida de la intervención manual del personal encargado. Este método, aunque funcional, es susceptible a errores humanos, variabilidad en los resultados y tiempos de inspección prolongados, lo que puede afectar la eficiencia del proceso productivo y la confiabilidad del producto en el mercado.

Uno de los aspectos más críticos en este control de calidad es la verificación del sellado de los envases. Un sellado defectuoso puede comprometer la integridad del producto, ocasionando fugas, contaminación y pérdidas económicas significativas. En respuesta a esta problemática, la presente investigación propone la implementación de un sistema de inspección automatizado que permita verificar de manera precisa y eficiente la correcta hermeticidad de los envases de lubricantes.

El sistema desarrollado opera a través de un mecanismo de compresión de los envases, permitiendo detectar posibles fugas o fallos en el sellado. Su diseño integra soluciones mecánicas y neumáticas, lo que posibilita una inspección rápida y confiable sin necesidad de intervención humana directa. Con este enfoque, se busca optimizar el proceso de verificación, reducir el margen de error y asegurar la calidad del producto antes de su distribución.

A lo largo de este estudio, se analizará la viabilidad de este sistema, su impacto en la eficiencia del proceso productivo y los beneficios que puede aportar en términos de reducción de desperdicios y costos operativos. Se presentará un análisis detallado de su funcionamiento, desde el diseño del mecanismo hasta su implementación en un entorno real de producción. Finalmente, se evaluarán los resultados obtenidos y se proporcionarán recomendaciones para su integración en la industria.

Con esta investigación, se espera contribuir al desarrollo de soluciones innovadoras en la manufactura de lubricantes, promoviendo la adopción de tecnologías automatizadas que mejoren la calidad del producto y la competitividad de las empresas en el sector.

## II. PROBLEMA

En el proceso de fabricación de envases plásticos, el control de calidad es fundamental para garantizar la integridad y la seguridad del producto final [1]. Actualmente, el proceso de verificación de calidad enfrenta una alta demanda. Durante la investigación realizada en la fábrica de San Lucas Sacatepéquez, Guatemala [2], se observó que el déficit estadístico en el control de calidad es generado por el rechazo de productos con fallas visibles, detectadas consistentemente durante los últimos cinco años. La prueba del sellado de los envases plásticos, tal como se realiza actualmente, es lenta y propensa a errores humanos, lo cual afecta negativamente tanto la eficiencia como la precisión del control de calidad [3].

En los procesos de manufactura de laminación de envases, el tipo de producto a despachar y la materia prima requerida juegan un papel crucial. Durante el estudio, se ha observado que el porcentaje de desperdicio de láminas podría ser significativamente menor si se anticiparan los imprevistos en el proceso. Esta anticipación permitiría optimizar el uso de la materia prima y reducir las pérdidas, mejorando así la eficiencia y sostenibilidad de la producción [4].

El proceso manual de verificación del sellado de envases plásticos en la producción es lento y propenso a errores humanos, lo que reduce la eficiencia y aumenta el riesgo de defectos no detectados, como sellados incompletos. Estos errores comprometen la calidad del producto final, generando desperdicios y aumentando los costos operativos. Además, la falta de estandarización en el proceso dificulta el control de calidad, lo que puede resultar en inconsistencias y una pérdida de confianza por parte de los consumidores [5].

Los sistemas de verificación de sellado actuales suelen tener dificultades para adaptarse a la diversidad de envases plásticos utilizados en las líneas de producción lo que requiere una gestión adecuada [6]. Estos sistemas están diseñados para tipos específicos de envases, lo que limita su flexibilidad y aumenta los costos operativos al requerir inversiones en múltiples equipos o ajustes frecuentes. La falta de adaptabilidad reduce la eficiencia y la competitividad de las empresas, que se ven obligadas a invertir en soluciones especializadas o a enfrentar dificultades para manejar envases de diferentes tamaños, formas y materiales [7].

La implementación de sistemas avanzados de verificación de sellado puede ser costosa, lo que representa un obstáculo para muchas empresas, especialmente aquellas con presupuestos limitados [8]. Aunque estos sistemas mejoran la precisión y eficiencia del control de calidad, los altos costos iniciales, junto con los gastos de instalación, mantenimiento y capacitación, pueden dificultar su adopción. Esto obliga a las empresas a evaluar si el retorno de inversión justifica el gasto, lo que puede retrasar o evitar la actualización de sus procesos. Como resultado, las empresas siguen utilizando métodos tradicionales menos eficientes, afectando la calidad y competitividad de sus productos [9].

### III. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, la intervención del personal en sistemas de calidad en las empresas es alta, debido a la necesidad de garantizar productos que cumplan con los estándares requeridos. Esta labor es crucial para que una industria pueda destacar por la calidad de sus productos y servicios. La gestión de calidad en las industrias implica un cuidadoso manejo de los procesos para asegurar un uso óptimo de los recursos disponibles, minimizando errores y mejorando la eficiencia operativa [10]. La automatización de los procesos industriales enfrenta nuevos desafíos que son cruciales para mantener la competitividad en el mercado del siglo XXI. Las industrias requieren de modelos automatizados para la inspección y prevención, con el objetivo de diagnosticar errores de manera eficiente y promover la minimización de desperdicios en los recursos utilizados [11].

El prototipo de sistema de verificación propuesto es modular y escalable, lo que permite una fácil adaptación a diversas configuraciones de envases y mejora la capacidad de respuesta a diferentes necesidades durante la producción. Este enfoque flexible es crucial para abordar la variabilidad en los procesos industriales y para mantener la eficiencia operativa en un entorno de producción dinámico.

La implementación de este sistema tiene como objetivo principal reducir significativamente los costos asociados con los insumos adquiridos, optimizando el uso de recursos y mejorando la calidad de los productos finales. Al asegurar una verificación precisa y consistente a lo largo del proceso de producción, se minimizan los desperdicios y se maximiza la eficiencia, lo que resulta en un rendimiento óptimo [12].

## IV. OBJETIVOS

### *IV-A. Objetivo general*

Desarrollar un sistema neumático de verificación del sellado de envases plásticos de lubricantes, controlado por un PLC y sensor de gases, para la comprobación del sellado durante el proceso de producción.

### *IV-B. Objetivos específicos*

1. Diseñar un sistema de pruebas de sellado de envases plásticos de lubricantes, utilizando un accionador neumático automatizado.
2. Implementar un mecanismo para la verificación del sellado mediante un sensor de gases.
3. Validar el funcionamiento del sistema midiendo la eficiencia de envases con sellado defectuoso.

## V. MARCO TEÓRICO

La fabricación de envases plásticos es un proceso fundamental en diversas industrias, especialmente en la alimentaria y farmacéutica. La calidad del sellado de estos envases es crucial para garantizar la integridad y seguridad del contenido. Esto aborda los aspectos técnicos y metodológicos del control de calidad en el sellado de envases plásticos, haciendo énfasis en los avances tecnológicos que permiten una detección más precisa y eficiente de defectos [13].

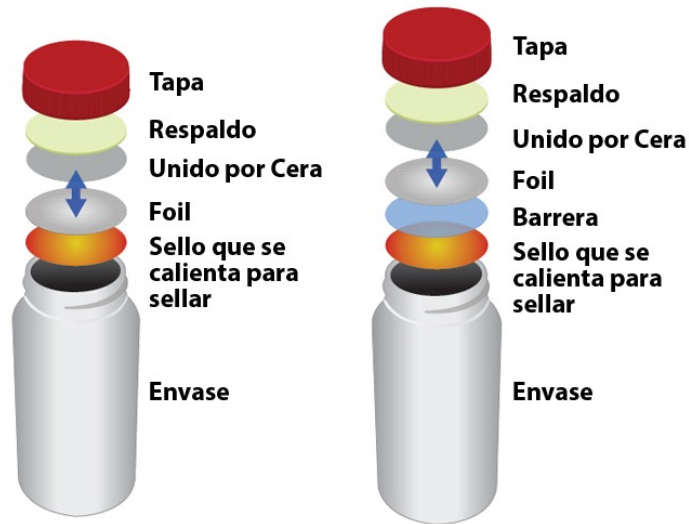


Figura 1. Envases sellados con foil [14].

### V-A. Automatización industrial

La automatización surge como la solución industrial en procesos estructurados y resultados determinados, estos sistemas basados en forma de software muestran beneficios en temas de productividad, costos, reducción en falencias y velocidad. Estos procesos que industrialmente se requieren automatizar tienen como base el objetivo principal en que permitan el beneficio de maximizar el aprovechamiento de todos los recursos [15].



Figura 2. Automatización industrial.

V-A1. *Fuente de poder transformador 110/220V a 24V - 5A*: Las fuentes de alimentación que convierten de 100V a 24V son dispositivos electrónicos que transforman la tensión de entrada de 100 voltios (generalmente de corriente alterna, AC) a una tensión de salida de 24 voltios (generalmente de corriente continua, DC). Una fuente de alimentación es crucial para cualquier dispositivo electrónico, ya que es la responsable de suministrar energía. En cualquier equipo, sin importar su tamaño, siempre existe una fuente de alimentación, aunque no siempre sea visible. Su propósito principal es convertir la energía eléctrica alterna en energía continua, lo que permite el funcionamiento de diversos dispositivos electrónicos. Existen dos tipos principales de fuentes de alimentación: las lineales, que son de diseño sencillo pero menos eficientes, y las conmutadas, que son más eficientes pero más susceptibles a daños [16].



Figura 3. Fuente de poder 110V a 24V [17].

V-A2. *Sensor de gases Serie - MQ*: Sensores que pertenecen a la familia de sensores químicos, estos dispositivos transforman la información que pueden censer en señales que se pueden calcular para un propósito solicitado. Cuentan con una salida digital, que permite su uso en (ON – OFF) [18].



Figura 4. Sensor de gases Mq-135 [19].

V-A3. *Logo - PLC*: Un LOGO! PLC es un tipo de controlador lógico programable (PLC, por sus siglas en inglés) desarrollado por Siemens. Los PLC son dispositivos electrónicos utilizados para automatizar procesos industriales y controlar maquinaria. El LOGO! PLC se destaca por su simplicidad y facilidad de uso, lo que lo hace ideal para aplicaciones pequeñas y medianas, así como para la automatización general de cualquier sistema [20].



Figura 5. Logo - PLC [21].

La programación y el desarrollo de la lógica de control se llevarán a cabo en el software LOGO! Soft, el cual se muestra en la figura. Este programa permite diseñar, simular y verificar el funcionamiento del sistema de control antes de su implementación física, facilitando la detección y corrección de posibles errores. Una vez validadas las simulaciones, la programación será transferida y almacenada en la memoria interna del autómata LOGO! de Siemens, permitiendo su ejecución de manera autónoma sin depender del software.

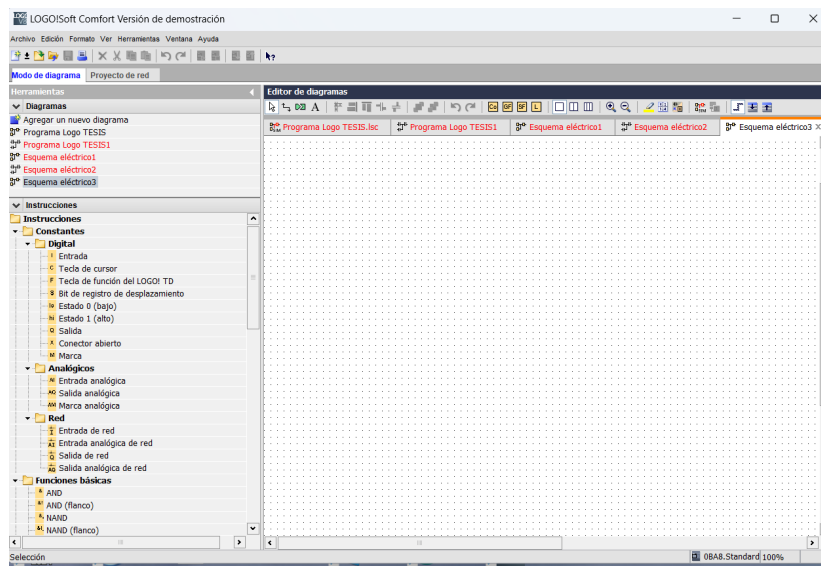


Figura 6. Software LOGO!Soft para simulación y programación.

V-A4. *Actuadores neumático simple efecto*: El principio básico de funcionamiento de un actuador neumático se basa en la utilización del aire comprimido para generar fuerza y movimiento. El aire comprimido es suministrado a través de un sistema de tuberías y válvulas, y cuando entra en el actuador, presuriza un pistón o una membrana, causando su desplazamiento. Este movimiento lineal o rotativo puede ser utilizado para realizar diversas tareas mecánicas, como mover una carga, abrir o cerrar válvulas, o accionar otros dispositivos. Los actuadores neumáticos de simple efecto son dispositivos que realizan un movimiento en una sola dirección mediante la presión del aire

comprimido y utilizan un mecanismo, como un resorte, para retornar a su posición original cuando la presión del aire se libera [22].



Figura 7. Actuador neumático - simple efecto [23].

*V-A5. Electroválvula neumática 5/2:* es un dispositivo que controla el paso de aire en un sistema neumático mediante una señal eléctrica. Su nombre indica que tiene 5 vías y 2 posiciones:

**5 vías:** Dos conexiones hacia los actuadores (salidas), una entrada de aire (alimentación) y dos vías de escape.  
**2 posiciones:** Puede cambiar entre dos estados para dirigir el flujo de aire hacia una u otra salida, controlando así el movimiento de un cilindro neumático de doble efecto. Estas válvulas suelen accionarse mediante solenoides eléctricos, y se utilizan en automatización industrial para controlar actuadores neumáticos con rapidez y precisión [24].





Figura 10. Luces pilotos [27].

V-A7. *Comunicación Modbus TCP/IP:* Modbus TCP/IP es un protocolo de comunicación empleado en la automatización industrial para transmitir datos entre dispositivos mediante redes Ethernet. Opera bajo un modelo cliente-servidor, en el cual un dispositivo hace solicitudes y otro proporciona respuestas. Es confiable, escalable y compatible con equipos de diversos fabricantes, lo que facilita la integración y el control de procesos industriales [28].

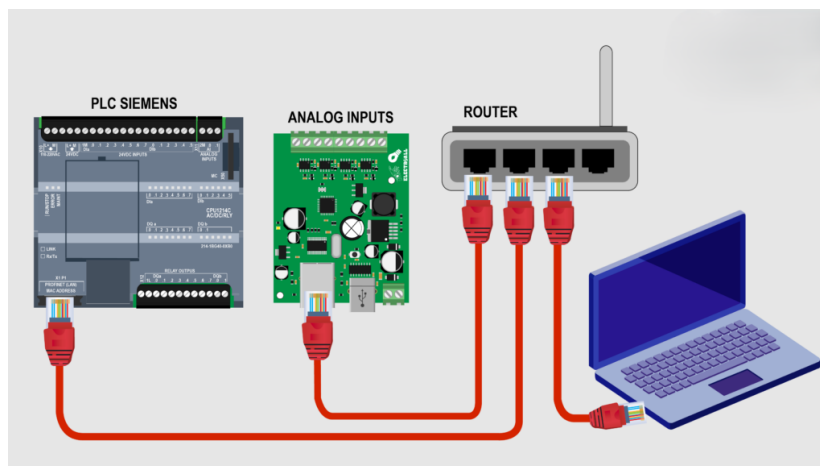


Figura 11. Metodo comunicación MODbus.

V-A8. *Sensor FC - 51 IR:* El módulo FC-51 es un sensor infrarrojo para la detección de obstáculos que se utiliza comúnmente en aplicaciones de robótica, automatización doméstica y sistemas de seguridad. Está compuesto por un emisor y receptor infrarrojo, un potenciómetro para ajustar su sensibilidad y un LED que indica el estado de funcionamiento [29].

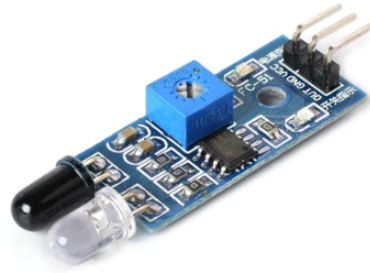


Figura 12. Sensor FC - 51.

V-A9. *Controlador digital:* Los controladores digitales son dispositivos que operan con señales discretas en lugar de señales continuas, lo que permite que las señales sean procesadas en sistemas como microcontroladores o PLCs. Este tipo de control permite realizar operaciones precisas y flexibles, como el control PID, y es ampliamente utilizado en sistemas de automatización para ajustar y regular procesos de manera eficiente y adaptativa. La principal ventaja de los controladores digitales es su capacidad para manejar datos y realizar ajustes de manera rápida y precisa.

## VI. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de un sistema de verificación del sellado en envases de plástico para control de calidad, se propone un prototipo que combina un sensor especializado. Este sistema estará enfocado en la identificación y análisis de posibles fallas en el sellado de los envases plásticos, aspecto crucial para garantizar la hermeticidad y seguridad del contenido. El prototipo se construirá utilizando sensor a gas y algoritmos de procesamiento para detectar irregularidades en el sellado. Esta solución se implementará sobre una estructura diseñada para la verificación automatizada de los envases, permitiendo inspecciones rápidas y precisas, adecuadas para una línea de producción. La finalidad de este sistema es asegurar que cada envase que pase por el proceso de sellado cumpla con la calidad requerida y establecida, optimizando la inspección del proceso y reduciendo las probabilidades de que productos defectuosos lleguen al mercado.

Luego, se procede con el montaje de los componentes de inspección, calibrando el regulador de presión y sensores de gas necesarios para capturar datos del sellado. La alineación precisa de estos componentes permite al sistema una operación mucho más eficiente.

En los componentes ensamblados, el equipo pasa a la configuración del software de inspección, calibrando el sistema de sensor a gas para detectar defectos de sellado. Se llevan a cabo pruebas preliminares para confirmar que el sistema identifica de manera precisa los envases en buen estado y separa aquellos que presentan defectos.

El equipo ejecuta pruebas de calidad y ajustes finales. Durante esta fase, se prueba el sistema en condiciones reales de producción, asegurando que funcione sin interrumpir el flujo de trabajo. Se realizan ajustes finales para los sensores, logrando un balance óptimo entre precisión y eficiencia en la inspección.

A continuación se detalla el proceso de verificación en los envases plásticos de lubricantes:

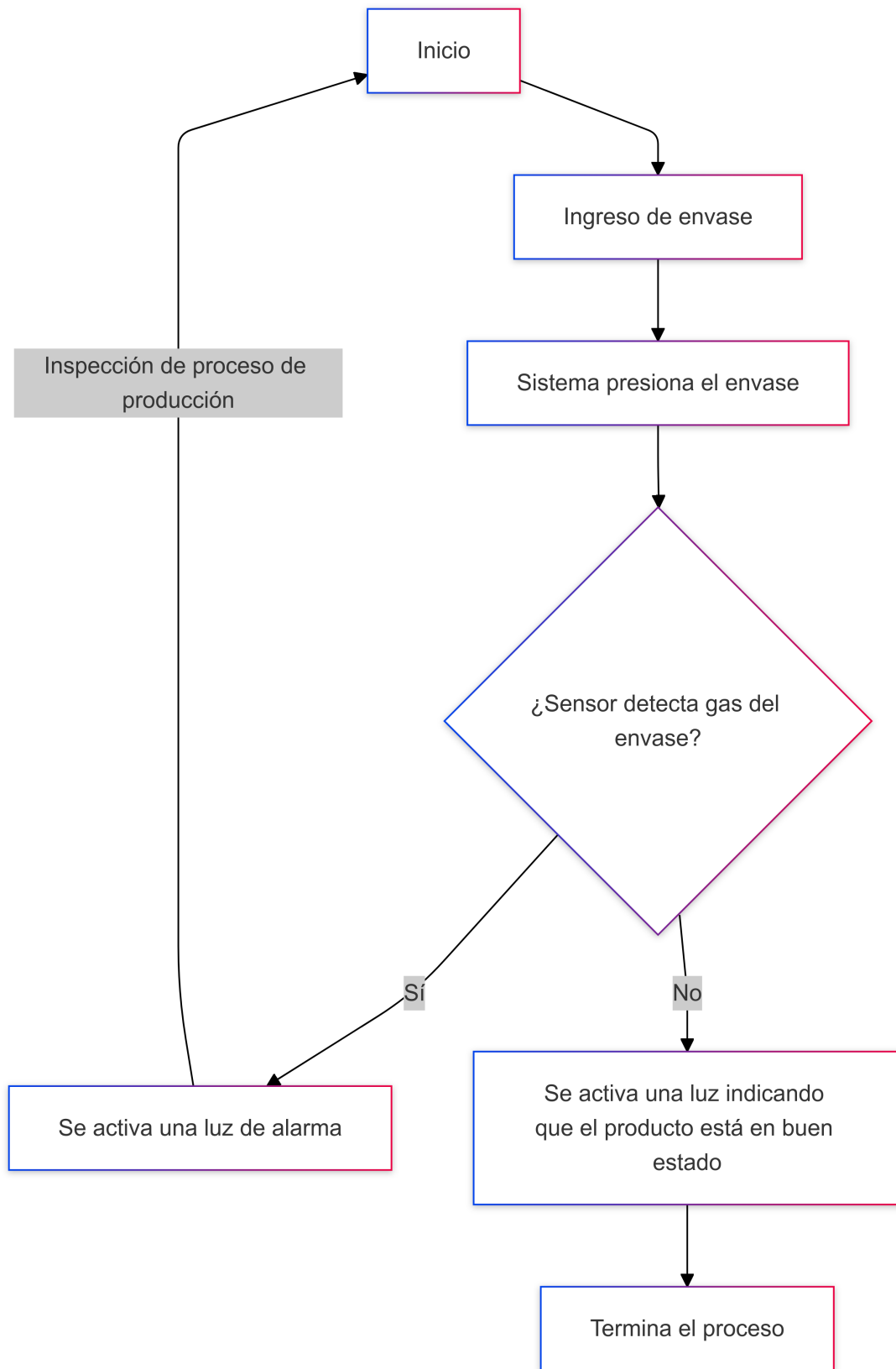


Figura 13. Proceso de verificación.

## VI-A. DISEÑO MECÁNICO

Al calcular la resistencia de un envase plástico rectangular sometido a presión interna, debemos analizar sus paredes planas. A diferencia de un cilindro o una esfera, donde la presión se distribuye uniformemente, en un envase rectangular las paredes pueden comportarse como placas sometidas a flexión tal como se puede apreciar en la figura 14.

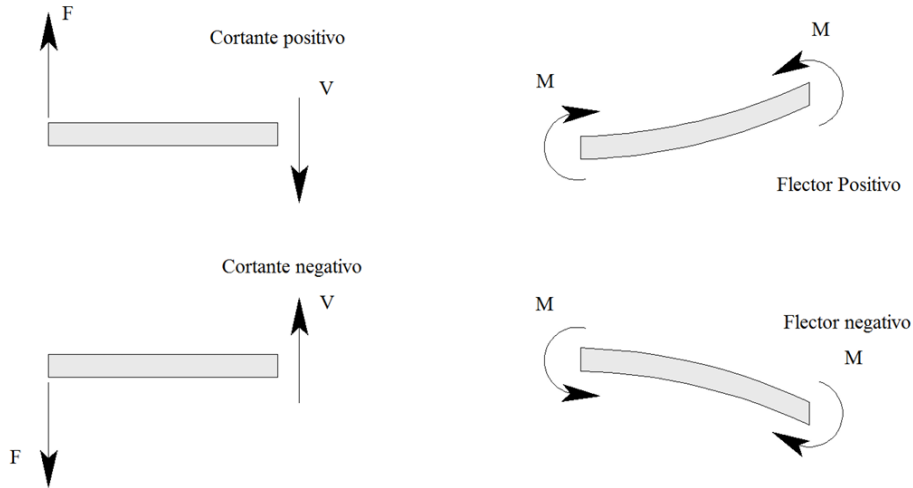


Figura 14. Esfuerzo por flexión en sistemas rectangulares [30].

*Datos del envase que usaremos para calcular la resistencia soportada al ser sometido por esfuerzos en flexión*

Largo = 55 mm  
Ancho = 100 mm  
Altura = 230 mm  
Espesor de pared = 2mm  
Material = Polopropileno (PP)  
Módulo de elasticidad = 1.5 GPa  
Límite elástico = 35 MPa

*Empleando la inercia de la sección transversal:*

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad (1)$$

*la pared de 100 mm × 2 mm como la sección que flexiona:*

$$I = \frac{100 \cdot (2)^3}{12} = \frac{100 \cdot 8}{12} = 66,67 \text{ mm}^4 \quad (2)$$

Se convierte a m:

$$I = 66,67 \times 10^{-12} \text{ m}^4 \quad (3)$$

La ecuación de flexión:

$$\sigma = \frac{M_{\text{máx}} c}{I} \leq \sigma_y \quad (4)$$

Despejando F:

$$F = \frac{4\sigma_y I}{cL} \quad (5)$$

Sustituyendo valores:

$$F = \frac{4(35 \times 10^6)(66,67 \times 10^{-12})}{(1 \times 10^{-3})(55 \times 10^{-3})} \quad (6)$$

$$F = \frac{9,3338 \times 10^{-3}}{55 \times 10^{-3}} \quad (7)$$

$$F = 0,1697 \text{ kN} = 169,7 \text{ N} \quad (8)$$

$$F \approx 17,3 \text{ kgf} \quad (9)$$

*Presión Máxima en las Paredes*

Si el envase contiene un líquido, la presión interna máxima se calcula como:

$$P_{\text{máx}} = \frac{3t^2\sigma_y}{L^2} \quad (10)$$

Sustituyendo:

$$P_{\text{máx}} = \frac{3(2)^2(35 \times 10^6)}{(100)^2} \quad (11)$$

$$P_{\text{máx}} = \frac{3 \times 4 \times 35 \times 10^6}{10000} \quad (12)$$

$$P_{\text{máx}} = 0,042 \text{ MPa} = 42 \text{ kPa} = 0,42 \text{ bar} \quad (13)$$

### Carga de Compresión Máxima

Si el envase es sometido a una carga vertical, la carga crítica de pandeo se calcula como:

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} \quad (14)$$

Para polipropileno con  $E = 1,5$  GPa y suponiendo que el envase está simplemente apoyado ( $K = 1$ ):

$$F_{cr} = \frac{\pi^2(1,5 \times 10^9)(66,67 \times 10^{-12})}{(1 \times 230 \times 10^{-3})^2} \quad (15)$$

$$F_{cr} = \frac{3,14^2 \times 1,5 \times 10^9 \times 66,67 \times 10^{-12}}{(0,23)^2} \quad (16)$$

$$F_{cr} = 132,1 \text{ N} \approx 13,5 \text{ kgf} \quad (17)$$

*VI-A1. Diseño de piezas:* Para el desarrollo del sistema, se analizó la manera más eficiente y accesible de seleccionar y disponer los componentes necesarios, asegurando su disponibilidad e integración adecuada como se verifica en la figura 15. Se consideraron factores como la compatibilidad entre los elementos, la facilidad de ensamblaje y la optimización del espacio para garantizar un funcionamiento eficiente. La estructura planteada funcionará como soporte para llevar a cabo pruebas y ensamblar el sistema.

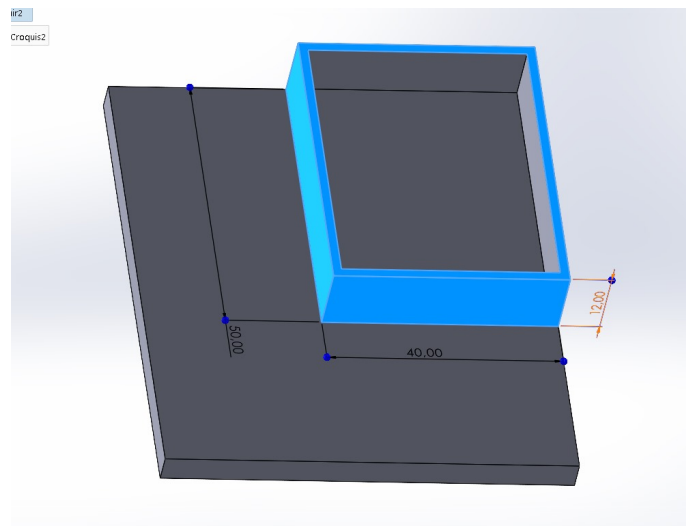


Figura 15. Medidas de soporte 1

En esta plataforma representada en la figura 16 se ubicarán las conexiones esenciales que permitirán la correcta interacción entre los distintos componentes, facilitando la evaluación del desempeño y asegurando un proceso organizado.

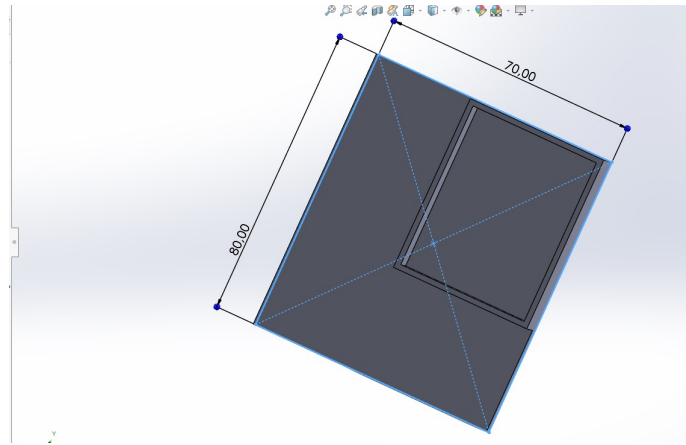


Figura 16. Medidas de soporte 2

Además como se muestra en la figura 17, se tomaron en cuenta aspectos como la estabilidad, la disposición estratégica de los elementos y la accesibilidad para ajustes o mejoras, contribuyendo a una implementación más efectiva y adaptable.

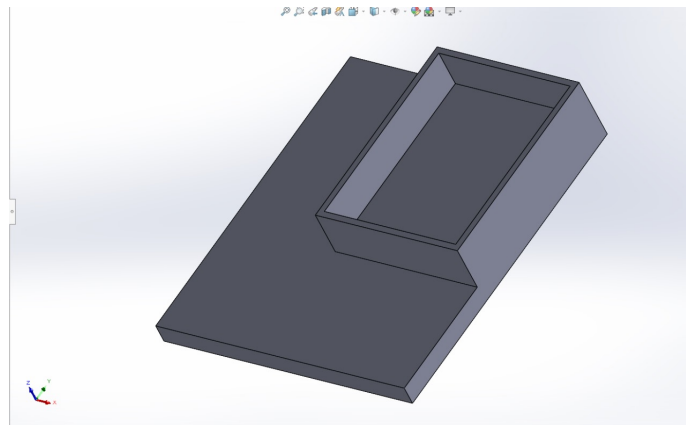


Figura 17. Medidas de soporte 3

*VI-A2. Diseño Banda Transportadora:* La estructura principal estará fabricada en acero inoxidable como se puede visualizar en la figura 18 ya que este material es ampliamente utilizado en la industrias debido a su resistencia a la corrosión, facilidad de limpieza y capacidad para soportar altas temperaturas.



Figura 18. Banda transportadora de acero inoxidable [31].

El diseño contempla las siguientes dimensiones: la base tendrá una altura de 250 mm, un largo de 900 mm y un ancho total de 255 mm, los rodillos, con un diámetro de 55 mm, fueron diseñados para facilitar la instalación tanto de la mesa como de la banda transportadora. Dado que la banda está fabricada con un material rígido y resistente a la tensión, se incorporó una mesa de soporte para evitar que esta se hunda debido al peso de envases, que es de aproximadamente 290 g cada una. Sin este refuerzo, la estabilidad del sistema de transporte podría verse comprometida.

La mesa por la que se desliza la banda tiene un ancho total de 255 mm, mientras que la banda transportadora, hecha de PVC de grado alimenticio en color blanco, mide 245 mm de ancho. Se dejó un margen de 5 mm a cada lado para evitar atascos en los bordes, lo que podría generar retrasos en el traslado del producto.

El prototipo tiene un peso moderado, ya que, aunque está construido completamente en acero inoxidable, sus dimensiones no son excesivamente grandes.

#### VI-B. Análisis de banda transportadora

1. Cálculo de masa: El cálculo de la densidad de material de la banda por el volumen que se determina por las dimensiones de la banda. Donde:

$\rho$  : Densidad  
 L : Longitud  
 W : Ancho  
 t : Espesor

$$m_{banda} = \rho \cdot L \cdot W \cdot t \quad (18)$$

$$m_{total} = m_{banda} + m_{producto} \quad (19)$$

Solución:

$$m_{banda} = 1240 \times 1,8056 \times 0,245 \times 0,002 = 1,0971 \text{ kg} \quad (20)$$

$$m_{total} = m_{banda} + m_{producto} = 1,3871 \text{ kg} \quad (21)$$

2. Velocidad angular: Considerar que una vuelta completa equivale a 2 pi radianes. Donde:

$\omega$  : Velocidad angular

$v_{nominal}$  : Velocidad nominal

$$\omega = \frac{v_{nominal} \cdot 2\pi}{60} \quad (22)$$

Solución:

$$\omega = \frac{1725 \times 2\pi}{60} = 180,64 \text{ rad/s} \quad (23)$$

3. Velocidad tangencial: La velocidad angular por el radio de la polea, esta velocidad representa la rapidez con la que se mueve la banda en la superficie de la polea. Donde:

$\omega$  : Velocidad angular

$v_{tangencial}$  : Velocidad tangencial

$$v_{tangencial} = \omega \cdot r_{polea} \quad (24)$$

Un radio de polea de 0.03 m:

$$V_t = 180,64 \times 0,03 = 5,419 \text{ m/s} \quad (25)$$

4. Fuerza gravitacional: El peso de la banda. Donde:

$F_g$  : Fuerza gravitacional

$g$  : gravedad

$$F_g = m_{total} \cdot g \quad (26)$$

Solución:

$$F_g = 1,3871 \times 9,81 = 13,60 \text{ N} \quad (27)$$

5. Fuerza de tensión: La potencia transmitida es el producto de la fuerza y la velocidad, considerando la eficiencia del motor. Donde:

$F_T$  : Fuerza de tensión

$$F_T = \frac{P \cdot \eta}{V_t} \quad (28)$$

$$F_T = \frac{(0,25 \times 745,7) \times 0,75}{5,419} = 25,80 \text{ N} \quad (29)$$

6. Fuerza de Fricción: Se calcula multiplicando la fuerza de gravedad por el coeficiente de rozamiento del material. Donde:

$F_f$  : Fuerza de fricción

$\mu$  : coeficiente de fricción

$$F_f = F_g \cdot \mu \quad (30)$$

$$F_f = 13,60 \times 0,35 = 4,76 \text{ N} \quad (31)$$

7. Calculo de Momento: La fuerza de tracción tiene la capacidad de rotar la polea en este punto.

$$M = F_T \cdot R \quad (32)$$

$$M = 25,80 \times 0,1 = 2,58 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (33)$$

### VI-C. Diseño mecánico final

El siguiente diseño representado en la figura 19 proporciona una visión detallada y precisa del comprobador, incluyendo tanto los aspectos exactos como las estimaciones necesarias para la correcta ejecución de las pruebas.

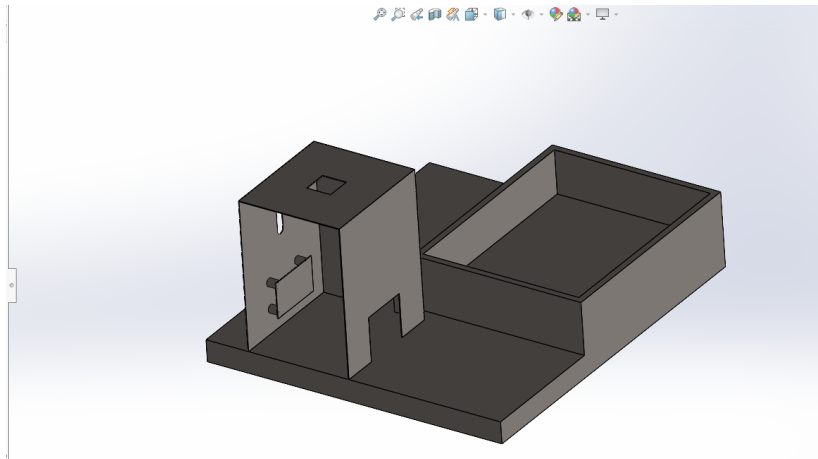


Figura 19. Diseño mecanizado.

*VI-C1. Análisis de fuerza por los actuadores neumáticos:* Para asegurar un diseño mecánico adecuado, es necesario calcular la fuerza generada por los actuadores neumáticos y evaluar la resistencia de la estructura. Para ello, se emplea el Análisis de Elementos Finitos, lo que permite verificar que el diseño se mantenga estable y funcional bajo las condiciones de operación establecidas.

*VI-C2. Datos y cálculos de actuadores:* Para un cilindro neumático de 25 mm de diámetro operando a 25 psi, la fuerza generada es:

Datos del problema

Se tiene un cilindro neumático con los siguientes datos:

- Diámetro del cilindro: 25 mm
- Presión de trabajo: 25 psi

Conversión de Unidades

Diámetro y radio del cilindro

El diámetro en metros es:

$$d = \frac{25}{1000} = 0,025 \text{ m} \quad (34)$$

El radio del cilindro es:

$$r = \frac{d}{2} = \frac{0,025}{2} = 0,0125 \text{ m} \quad (35)$$

Conversión de presión

Se sabe que:

$$1 \text{ psi} = 6894,76 \text{ Pa} \quad (36)$$

Por lo tanto, la presión en Pascales es:

$$P = 25 \times 6894,76 = 172,369 \text{ Pa} \quad (37)$$

Cálculo del área del pistón

El área del pistón se obtiene con la ecuación:

$$A = \pi r^2$$

Sustituyendo valores:

$$A = \pi \times (0,0125)^2 \quad (38)$$

$$A = \pi \times 0,00015625 \quad (39)$$

$$A \approx 0,00049087 \text{ m}^2 \quad (40)$$

Cálculo de la fuerza

La fuerza se obtiene con la ecuación:

$$F = P \times A \quad (41)$$

Sustituyendo los valores:

$$F = 172,369 \times 0,00049087 \quad (42)$$

$$F \approx 84,61 \text{ N} \quad (43)$$

Por lo tanto, la fuerza generada por el cilindro neumático es aproximadamente:

$$84,61 \text{ N} \quad (44)$$

#### VI-D. Análisis de elementos finitos

El estudio mediante elementos finitos permite examinar la distribución de fuerzas y reacciones, es posible identificar las zonas donde se generan mayores concentraciones de esfuerzo y cómo estas afectan la estructura.

*VI-D1. Análisis de banda transportadora:* Este análisis nos permite evaluar cómo se mueve la banda de la figura 20 a lo largo del soporte del rodillo, identificando su desplazamiento y comportamiento durante el funcionamiento.

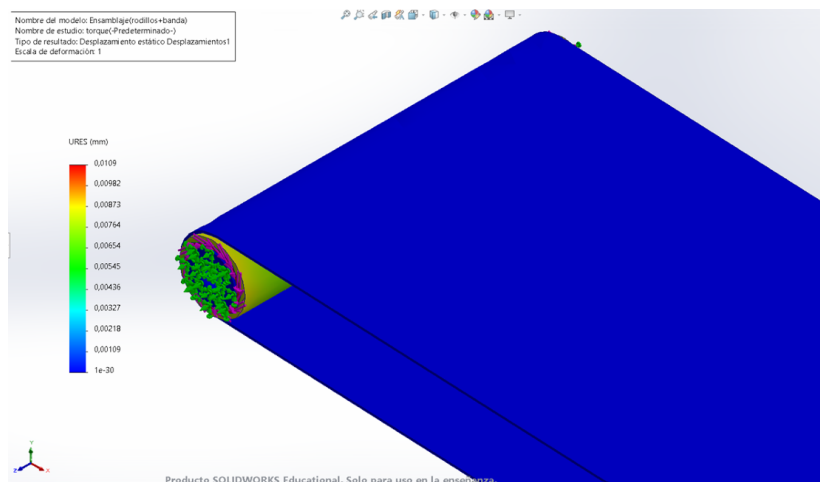


Figura 20. Análisis en banda transportadora.

*VI-D2. Análisis de envase:* En este análisis de la figura 21 se examina la compresión que se ejerce sobre el envase, identificando las áreas donde se concentra la mayor carga. Asimismo, se identifica el punto preciso donde se produce el esfuerzo de flexión debido a la fuerza aplicada, lo que facilita el análisis de su resistencia y comportamiento estructural.

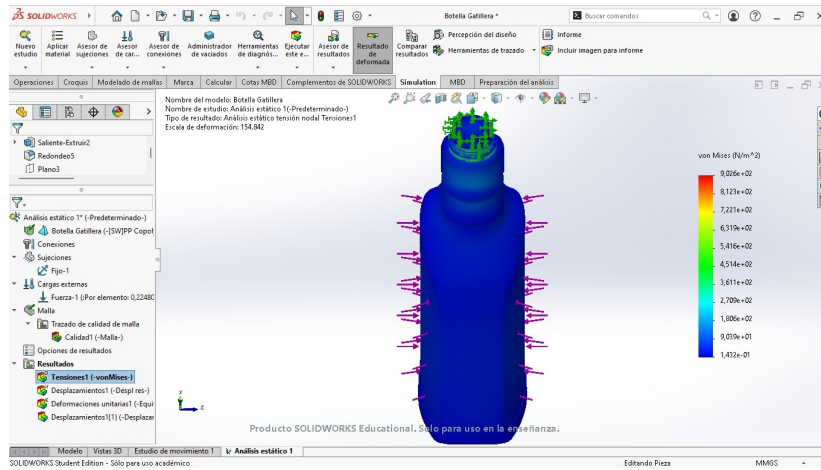


Figura 21. Análisis en envase.

VI-D3. *Análisis general de comprobador.*: Este análisis permite realizar una evaluación simulada del comportamiento del envase dentro de la recámara, determinando cómo se distribuyen las fuerzas y en qué zonas se concentran. Esto facilita la comprensión de su respuesta ante la presión ejercida, asegurando un diseño adecuado y funcional.

- En la siguiente figura 22 se realiza un análisis comparativo de los esfuerzos aplicados, expresados en Newtons (N), con el fin de evaluar el comportamiento del material ante una carga determinada. A partir de las especificaciones y propiedades mecánicas del material, el simulador proporciona una escala precisa de la deformación resultante cuando este es sometido a una fuerza de 870.69 N.

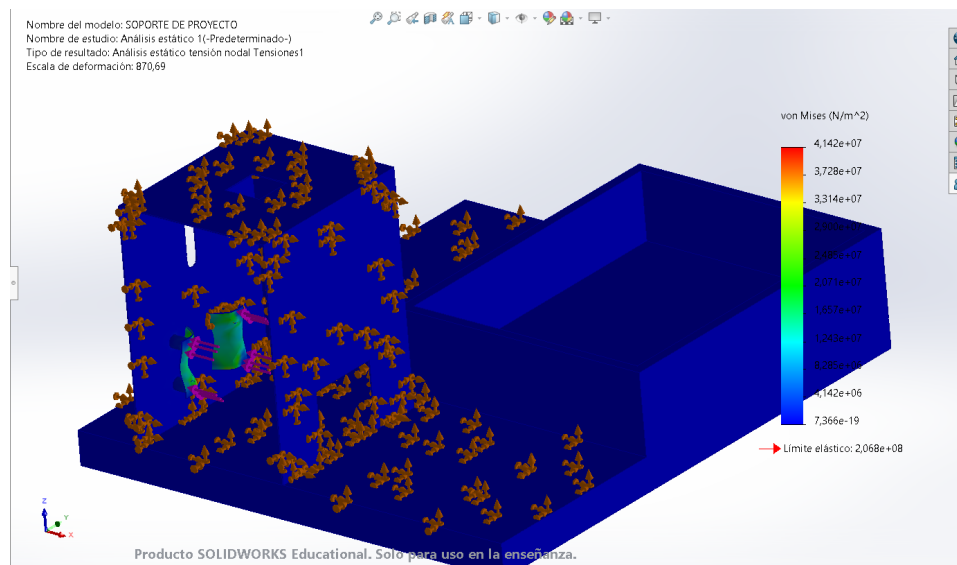


Figura 22. Análisis de fuerzas en comprobador.

- Este análisis permite determinar la resistencia estructural del material, así como su capacidad para soportar cargas sin comprometer su integridad. La información obtenida es fundamental para optimizar el diseño y garantizar que los componentes cumplan con los requisitos de seguridad y desempeño establecidos en la fase de desarrollo del proyecto.

- De acuerdo con los cálculos previamente realizados de la figura 23, es posible verificar que la fuerza generada por el cilindro neumático de 84 N, no provocará deformaciones en la estructura del comprobador. Esta evaluación es fundamental para garantizar la estabilidad y funcionalidad del sistema, asegurando que los esfuerzos aplicados se mantengan dentro de los límites permisibles del material utilizado en la fabricación del dispositivo.

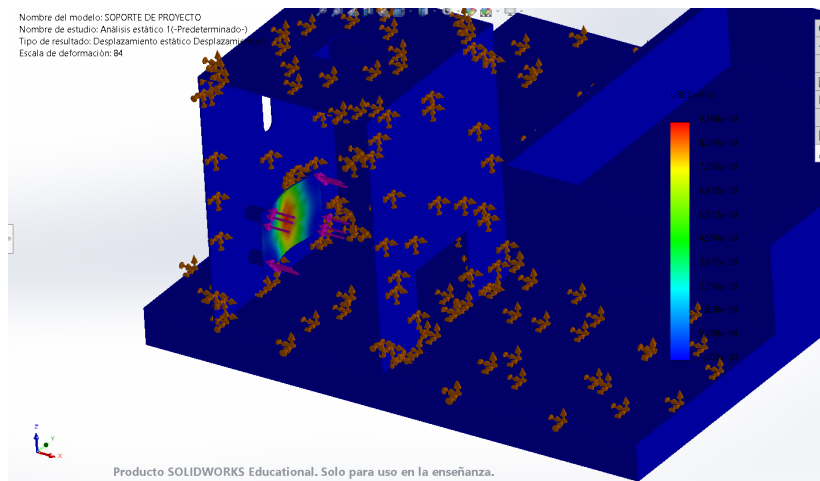


Figura 23. Análisis de fuerza menor en comprobador.

#### VI-E. Diseño Electrónico

*VI-E1. Diagrama eléctrico de control y conexión:* El siguiente diagrama de conexión eléctrica representado en la figura 24 permite identificar los puertos a utilizar y visualizar la configuración del sistema de control, asegurando una correcta integración y funcionamiento de los componentes.

Evidenciaremos el uso de los contactos de entrada que nos permitirá el inicio del proceso:

*VI-E2. Descripción de entradas al logo:* Entradas controladas

- I1 = inicio o arrancador del sistema.
- I2 = Sensosr de gases
- I3 = Sensor optico
- I4 = Sensor optico 2
- I5 = Paro del sistema

*VI-E3. Descripción de salidas del logo y expansión:* Salidas controladas

- Q1 = Extractor
- Q2 = Bobina de electroválvula - A
- Q3 = Bobina de electroválvula - B
- Q4 = Bobina de electroválvula - C
- Q1(exp) = Bobina de electroválvula - D
- Q2(exp) = Bobina de electroválvula - E
- Q3(exp) = Luz piloto (Roja de alarma envase mal sellado)
- Q4(exp) = Luz piloto (Verde de alarma envase)

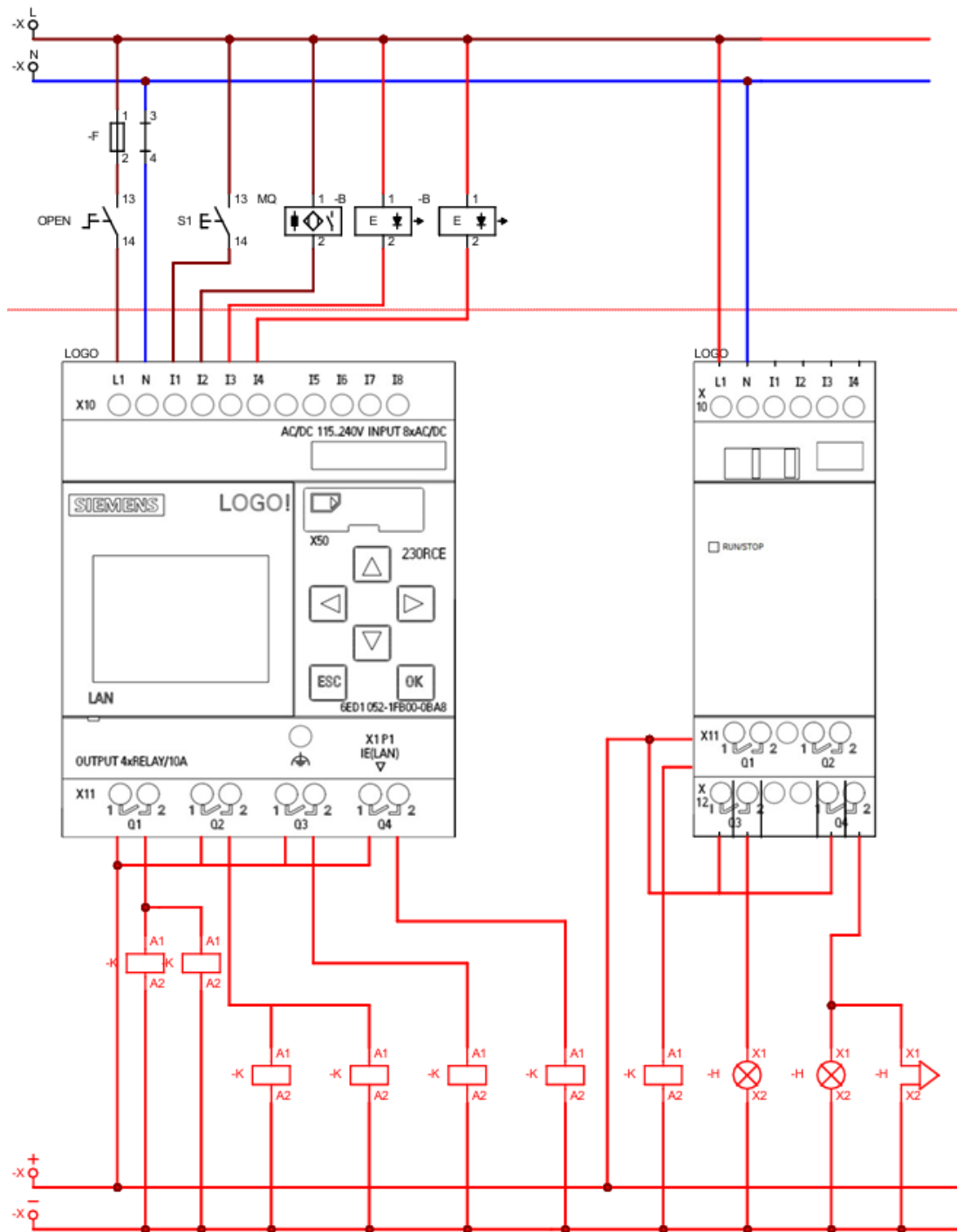


Figura 24. Diagrama de control y conexión eléctrica.

#### VI-F. Diagrama de programación del LOGO

*VI-F1. Comunicación entre LOGO y Arduino:* Para lograr una comunicación eficiente como vemos en la figura 25 entre los controladores, como Arduino y LOGO!, es fundamental verificar la compatibilidad del lenguaje de programación. Ambos dispositivos procesan información y ejecutan acciones mediante comandos y señales; sin embargo, la programación en Arduino puede resultar más compleja y extensa, lo que incrementa la posibilidad de errores debido a la sensibilidad del código ante palabras mal escritas. En contraste, la programación del controlador

LOGO! de Siemens es más sencilla e intuitiva, permitiendo una configuración rápida. Además, su software incorpora una función de simulación que facilita la validación del programa sin necesidad de herramientas externas.

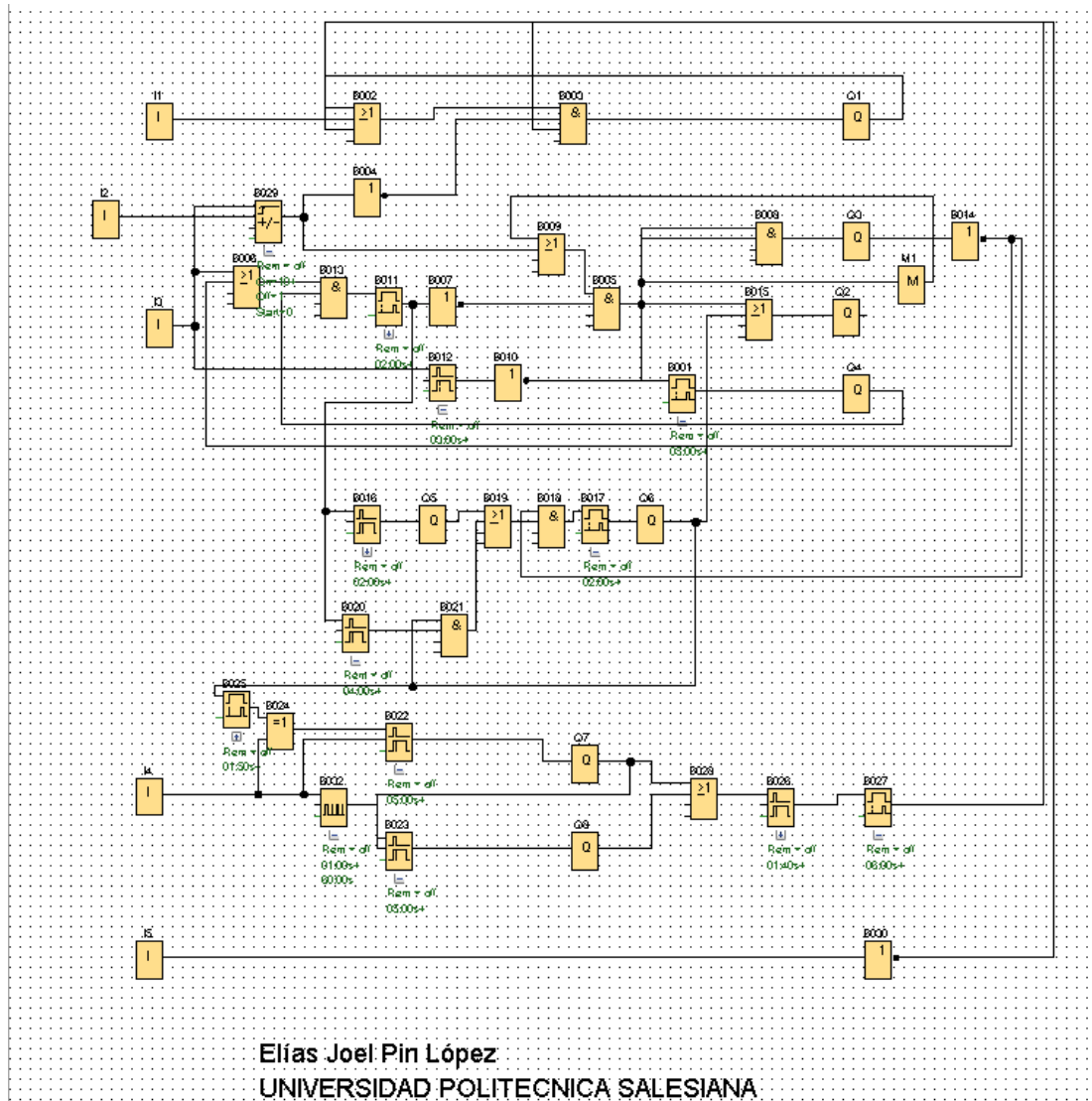


Figura 25. Programación de Logo! en bloques

Dado que el controlador LOGO! opera con una tensión de 110V-AC, las señales de entrada deben estar dentro de este rango. No obstante, en este proyecto se emplean sensores y dispositivos que operan con corriente continua (DC), lo que genera señales digitales de baja amplitud. Estas señales, al no alcanzar niveles adecuados, pueden no ser reconocidas con precisión por el LOGO!, lo que provocaría intermitencias y fallos en el proceso de control.

Un ejemplo de este problema se presenta con el sensor MQ-2, el cual emite una señal digital de hasta 5V-DC. Debido a esta diferencia de niveles de voltaje, es necesario implementar un método de adaptación de señal para garantizar una comunicación efectiva con el LOGO!. Para ello, se empleará un relé de 110V-AC con una bobina de activación de 5V-DC, permitiendo así que el controlador reciba una señal clara y estable, asegurando el correcto funcionamiento del sistema tal como se observa en la figura 26.

La compatibilidad entre los controladores y los sensores es un aspecto crítico en el diseño del sistema de automatización esto garantiza la comunicación efectiva y evita fallos en la detección de señales, es imprescindible adaptar los niveles de voltaje de acuerdo con las especificaciones de cada dispositivo.

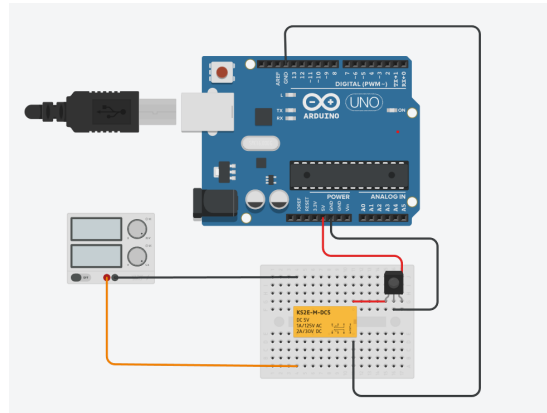


Figura 26. Conexión de sensor para lectura de Logo! por relé.

*VI-G. Diagrama de actuador y controladores neumáticos*

Para el seguimiento y control del sistema neumático, en la siguiente figura 27 se presentan de manera detallada las conexiones realizadas, organizadas por secciones específicas que facilitan su comprensión. Esta representación gráfica permite visualizar la disposición de los componentes, la interacción entre ellos y la lógica de funcionamiento de los actuadores dentro del proceso automatizado.

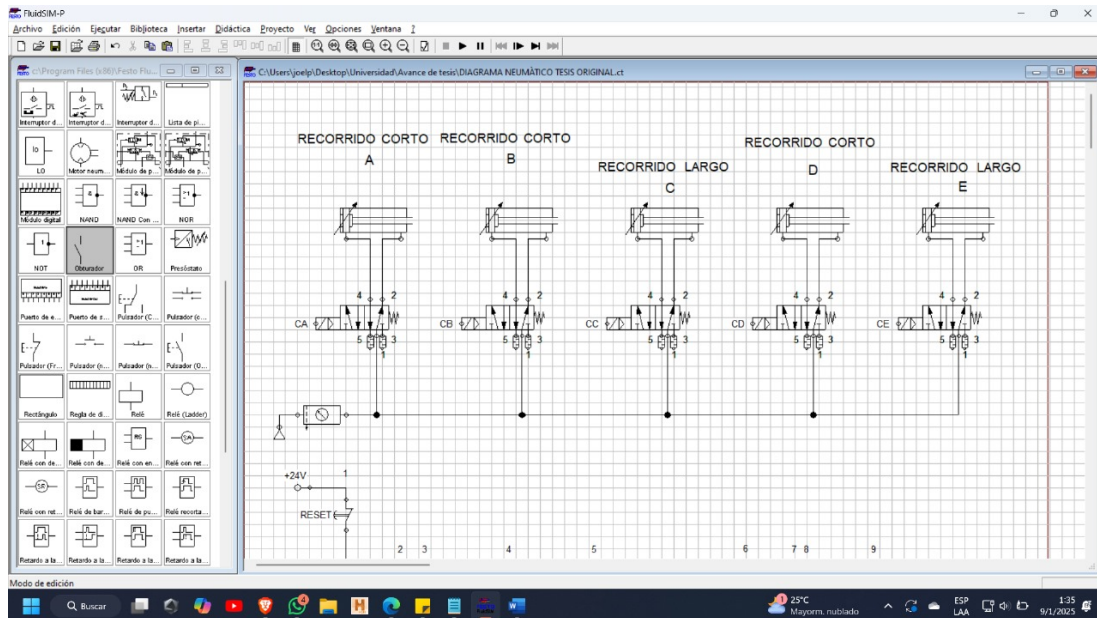


Figura 27. Diagrama de conexión en actuadores neumáticos

La división del esquema en secciones tiene como objetivo mejorar la interpretación del circuito, permitiendo identificar con claridad los elementos que intervienen en cada etapa del accionamiento como se muestra en la

figura 28. De esta manera, se facilita el análisis del sistema, asegurando que la secuencia de operaciones se lleve a cabo de manera ordenada y sin interferencias.

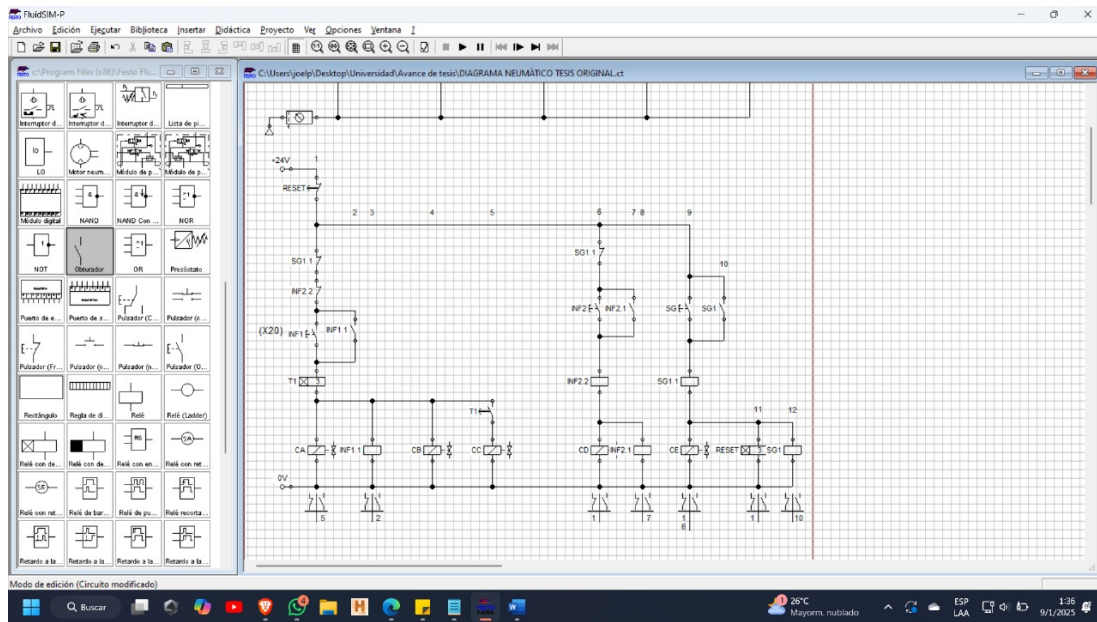


Figura 28. Diagrama de control neumático

#### VI-H. Tabla de verdad de programación del logo y accionamiento neumático

Mediante el uso de una tabla de verdad, es posible realizar un análisis detallado del comportamiento del sistema, permitiendo un seguimiento preciso de las condiciones de accionamiento en cada etapa del proceso. Esto facilita la representación estructurada de las combinaciones lógicas de entradas y salidas, lo que ayuda a prever el funcionamiento del sistema antes de su implementación.

Al emplear una tabla de verdad, se obtiene una mejor comprensión de la secuencia de operaciones que seguirá el proceso, asegurando que cada paso se ejecute de manera controlada y sin interferencias indeseadas. Este enfoque permite identificar posibles inconsistencias o errores en la lógica de control antes de programar el Logo, optimizando el diseño del sistema y reduciendo el tiempo de prueba y ajuste.

*VI-HI. Tabla de verdad control neumático:* En un sistema neumático, el uso de una tabla de verdad permite definir y analizar con precisión la secuencia de activación de los actuadores, asegurando que cada cilindro o válvula opere en el momento adecuado y bajo las condiciones correctas. Esta herramienta facilita la representación lógica de los estados del sistema en función de las señales de entrada, lo que resulta esencial para el diseño y optimización del control.

Al estructurar la información en una tabla de verdad como se observa en la figura 29, es posible prever la sincronización de los elementos neumáticos, evitando colisiones, bloqueos o tiempos muertos innecesarios. Además, permite detectar posibles fallos en la secuencia de accionamiento antes de implementar físicamente el sistema, reduciendo errores en la programación del controlador y optimizando el rendimiento del proceso.

ELÍAS JOEL PIN LÓPEZ - UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA									
	X = SI		O = NO			LÓGICA SECUENCIAL DE FUNCIONAMIENTO Y ACCIONAMIENTO NEUMÁTICO			
	A	B	C	D	E	I1	I2	I3	I4
1	X	X	X	O	O	X	O	O	O
2	O	O	O	X	O	O	X	O	O
3	X	X	O	O	X	O	X	X	O
4	X	X	O	O	X	O	X	O	O
5	O	O	O	O	O	O	O	O	X

Figura 29. Tabla de verdad lógica neumática

VI-H2. *Tabla de verdad programación en Logo:* En la programación de un autómeta LOGO! 8 de Siemens, la tabla de verdad es una herramienta clave para visualizar el comportamiento lógico del sistema, permitiendo identificar con claridad qué entradas y salidas se activan en cada estado del proceso. Esta representación tabular de la figura 30 define con precisión las condiciones bajo las cuales se generarán las respuestas esperadas, facilitando la comprensión y depuración del programa antes de su implementación.

Su uso mejora la organización y planificación del control, ya que permite prever el funcionamiento sin necesidad de pruebas físicas, reduciendo errores y optimizando el desarrollo. Además, es fundamental para analizar y verificar el desempeño de los circuitos lógicos diseñados en el entorno de programación, asegurando que las combinaciones de entradas generen las salidas esperadas en cada etapa del proceso.

Desde una perspectiva de automatización, integrar tablas de verdad en el diseño del programa contribuye a mejorar la eficiencia, minimizando fallos y asegurando una mayor fiabilidad en la ejecución del control. Esto es especialmente beneficioso en aplicaciones industriales y didácticas donde la precisión en la secuencia de accionamiento es esencial.

ELÍAS JOEL PIN LÓPEZ - UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA													
	X = SI			O = NO					LÓGICA SECUENCIAL DE FUNCIONAMIENTO Y ACCIONAMIENTO EN LOGO!				
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	I1	I2	I3	I4	I5
1	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
2	X	O	O	O	O	O	O	O	X	O	O	O	O
3	O	X	X	X	O	O	O	O	X	X	O	O	O
4	O	O	O	O	X	O	O	O	X	O	X	O	O
5	O	X	O	O	O	X	X	O	X	O	X	O	O
6	O	X	O	O	O	X	O	X	X	O	X	X	O
7	O	X	O	O	O	X	O	X	X	O	X	X	O
8	X	O	O	O	O	O	O	O	X	O	O	O	X

Figura 30. Tabla de verdad lógica de Logo

## VII. RESULTADOS

### VII-A. *Comprobación de la respuesta del sistema con el sensor MQ-2*

Para llevar a cabo las pruebas, es fundamental someter el sistema a condiciones operativas reales como se observa en la figura 32 con el fin de evaluar su desempeño de manera precisa. A través de este proceso, se pueden identificar posibles fallos, validar la efectividad de cada componente y garantizar que el sistema cumpla con los parámetros establecidos en su diseño.

Además, este análisis permite comprender el comportamiento del sistema en diferentes escenarios, asegurando su estabilidad y eficiencia. La realización de estas pruebas resulta esencial para optimizar su funcionamiento, corregir analizando las posibles desviaciones y confirmar que los resultados obtenidos sean consistentes y verídicos con los objetivos planteados según su programación.

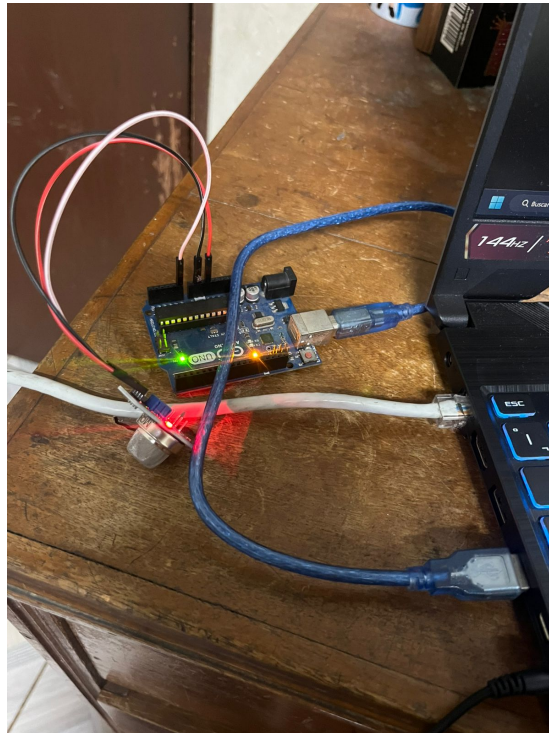


Figura 31. Pruebas directas con Arduino a sensor MQ-2.

### VII-B. *Respuesta del sistema con el Arduino por accionamiento y comprobación en tiempo real*

Como se ha comprobado en las pruebas realizadas con el sensor MQ-2 en tiempo real, es posible analizar su capacidad para detectar distintos tipos de gases y responder de manera eficiente como se muestra en la figura 32. Al identificar la presencia de un gas específico, el sensor genera una señal que es enviada al sistema de procesamiento, permitiendo una respuesta inmediata dentro del circuito de control.

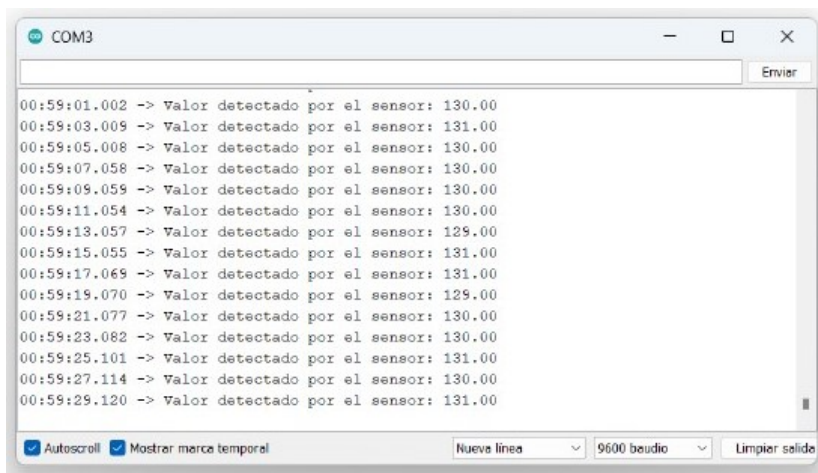


Figura 32. Pruebas en tiempo real de sensor MQ-2.

En este caso, el sensor transmite la señal al microcontrolador encargado de interpretar la información y, posteriormente, activar el controlador principal del sistema. Esta interacción asegura una comunicación fluida entre los componentes, optimizando el proceso de detección y respuesta ante la presencia de gases. Dicho procedimiento es esencial para garantizar la fiabilidad del sistema y su correcto desempeño en aplicaciones donde la seguridad y la precisión en la detección son factores críticos.

#### VII-C. Simulación de comunicación en tiempo real de sensores detectores a Logo!

Para garantizar una comunicación efectiva entre los sensores y el controlador principal, es necesario amplificar la señal generada por los sensores para que pueda ser correctamente interpretada sin interferencias ni pérdidas de información. Para ello, se ha implementado una simulación en Arduino que, mediante la activación de un relé de 5VDC, permite conmutar una señal de 110V, asegurando así su compatibilidad con el sistema de control como se observa en la figura 33.

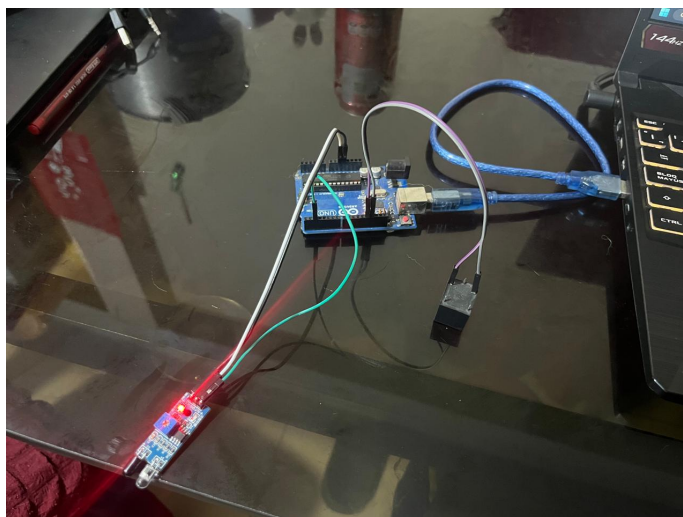


Figura 33. Comunicación de sensores por relé de 5VDC.

Este proceso es fundamental para garantizar que la transmisión de datos entre los dispositivos sea estable y precisa, evitando errores en la lectura de señales y optimizando el desempeño del sistema. Además, la integración

de estos elementos facilita la automatización del proceso y mejora la fiabilidad de la comunicación en entornos industriales o de control de calidad.

Debido a que las señales emitidas por los sensores tienen un nivel de voltaje relativamente bajo como se muestra en la figura 34, es necesario utilizar dispositivos intermedios que faciliten su correcta transmisión y adaptación para la comunicación con el controlador principal. Estos intermediarios permiten que las señales sean interpretadas de manera eficiente, asegurando su compatibilidad con los requerimientos del sistema.

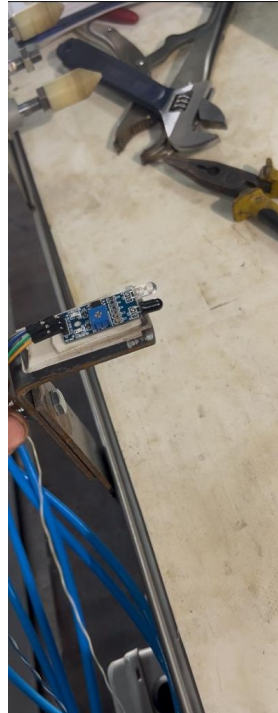


Figura 34. Sensor que comunica con logo.

Asimismo, cuando los sensores utilizados cumplen con estándares industriales, sus señales pueden ser directamente reconocidas sin necesidad de adaptaciones adicionales, lo que optimiza la integración y el rendimiento del sistema en entornos de automatización y control, como se observa en la figura 35.



Figura 35. Sensores de envases y gases en comprobador.

#### VII-D. *Diseño de sistema implementado*

El diseño del sistema para el comprobador de sellado de envases se enfoca en garantizar un control de calidad automatizado y eficiente en la detección de fugas o defectos. Integra sensores ópticos y de gases para identificar anomalías en el sellado, cuyos datos son procesados por un controlador que activa mecanismos de rechazo o alertas si se detecta un fallo.

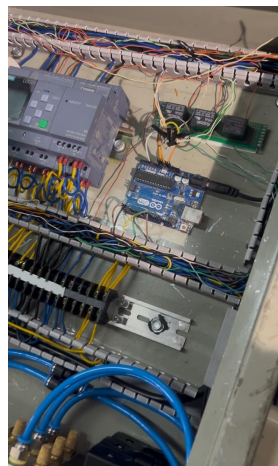


Figura 36. Sistema de comunicación entre sensores y logo! implementado.

El diseño estructural está optimizado para adaptarse a diferentes envases y configuraciones, considerando la resistencia mecánica, el mantenimiento y la compatibilidad con otros sistemas, con el objetivo de mejorar la

eficiencia, reducir errores y asegurar el cumplimiento de los estándares de calidad, todo controlado por un panel principal como se observa en las figuras 36 y 37.



Figura 37. Diseño general implementado neumático y sensores a Logo!.

#### VII-E. Tabla de pruebas de eficiencia del comprobador

Una vez probado nuestro prototipo, es necesario realizar pruebas continuas para evaluar la cantidad de fallos que puedan surgir durante el proceso. Estos fallos pueden deberse a una mala colocación de los envases o a un error en la detección del sensor. Además, dado que los sensores no son de categoría industrial, podrían presentar fallos intermitentes o aleatorios, lo que afectaría la fiabilidad del sistema en ciertas situaciones. Es importante realizar estas pruebas para optimizar el rendimiento del prototipo como se puede verificar en la figura 38.

Comprobador de envases				
Nº	Pruebas realizadas	Acertada	Negada	Sin respuesta
1	Listo		X	
2	Listo	X		
3	Listo	X		
4	Listo		X	
5	Listo	X		
6	Listo	X		
7	Listo	X		
8	Listo		X	
9	Listo	X		
10	Listo	X		
11	Listo	X		
12	Listo	X		
13	Listo	X		
14	Listo	X		
15	Listo	X		
16	Listo	X		
17	Listo	X		
18	Listo		X	
19	Listo	X		
20	Listo	X		
	Total	16	4	0

Figura 38. Análisis y seguimiento de pruebas realizadas.



## IX. PRESUPUESTO

A continuación se detalla el presupuesto

Tabla II  
PRESUPUESTO

<b>MATERIALES</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO UNITARIO</b>	<b>COSTO ESTIMADO</b>
Breaker	1	\$6	\$6
Componentes de montaje y cables	5	\$7	\$35
Indicador Led	2	\$4	\$8
Sensor de gases	1	\$6	\$6
PLC - Logo	1	\$175	\$175
Expansión - Logo	1	\$85	\$85
Manguera neumática 6	15	\$1.50	\$22.50
Caja metálica	2	\$25	\$50
Borneras	2	\$4	\$8
Cables para conexión	60	\$0.75	\$45
Cilindro neumático	5	\$75	\$375
Válvulas de control neumático	5	\$25	\$125
Regulador de presión neumática	1	\$45	\$45
Regulador de caudal Neumático	10	\$3	\$30
Racor para válvulas de 3/8	15	\$0.90	\$13.50
Mano de Obra	120 Horas		\$200
Varios			\$50
<b>TOTAL ESTIMADO</b>			<b>\$1279</b>

## X. CONCLUSIONES

La investigación permitió desarrollar un sistema automatizado para optimizar la verificación del sellado en envases plásticos de lubricantes, logrando un control de calidad más preciso y eficiente en la producción, siempre que se utilicen los componentes industriales adecuados.

Se diseñó un mecanismo que emplea un actuador neumático para evaluar el sellado de los envases. Gracias a esta automatización, las pruebas se realizan de manera uniforme, reduciendo la necesidad de intervención manual y aumentando la confiabilidad del proceso.

Además, se incorporó un sensor de gases capaz de detectar posibles fugas en los envases. Este método resulta más rápido y preciso que las técnicas tradicionales, permitiendo una identificación más eficaz de los productos defectuosos.

El sistema fue sometido a pruebas de validación, confirmando su capacidad para detectar fallas en el sellado de los envases. Esta mejora no solo garantiza una mayor calidad del producto final, sino que también reduce el tiempo y los costos asociados con la inspección manual, ya que la automatización agiliza y hace más eficiente todo el proceso.

## XI. RECOMENDACIONES

Se aconseja realizar mantenimientos preventivos y ajustes periódicos al equipo de verificación de sellado para asegurar su correcto desempeño y prolongar su vida útil. Estas medidas ayudarán a conservar su precisión y eficacia en la detección de fallas, garantizando así la calidad del proceso de producción.

Además, es esencial capacitar al personal responsable del manejo del sistema para que pueda interpretar adecuadamente los resultados y actuar de manera oportuna ante cualquier inconveniente. Una formación adecuada permitirá mejorar el control del proceso, reducir los tiempos de respuesta y evitar interrupciones en la producción.

Para optimizar la eficiencia y el seguimiento del proceso, se recomienda integrar el verificador de sellado con otros sistemas automatizados de producción y control de calidad. Esto facilitará un flujo de trabajo más eficiente, una mejor recopilación de datos y un mayor aseguramiento de la calidad en cada etapa de la fabricación.

Asimismo, es importante estar al tanto de los avances en automatización y control de calidad, incorporando mejoras tecnológicas que optimicen el rendimiento del sistema. La actualización del software y hardware del equipo contribuirá a mantenerlo alineado con las exigencias del mercado y a garantizar su funcionamiento óptimo a largo plazo.

Por último, se sugiere realizar evaluaciones periódicas sobre el impacto del sistema en la producción, con el fin de identificar oportunidades de mejora. Estos análisis permitirán ajustar los procedimientos operativos y aumentar la eficiencia del verificador de sellado, asegurando su máximo aprovechamiento y su contribución a la calidad del producto final.

## REFERENCIAS

- [1] J. Smith, *Quality Control in the Plastic Packaging Industry*, 2nd. New York: TechPress, 2021.
- [2] B. C. Valle, «PLAN DE MEJORA CONTINUA AL PROCESO DE SELLADO DE ENVASES DE EMPRESA COSMÉTICOS GLOBAL, KM. 26.5 CHOACORRAL, SAN LUCAS SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA.,» 2021.
- [3] H. Lee y M. Brown, «Application of Computer Vision in Plastic Packaging Inspection,» *Journal of Industrial Technology*, vol. 35, n.º 4, págs. 150-165, 2020. DOI: 10.1016/j.jindtech.2020.05.003.
- [4] K. P. Javier Flores y J. G. Soria Marin, «Propuesta de mejora del proceso productivo integrando el ciclo DMAMC Y KAIZEN para mejorar la baja eficiencia producida por las mermas en una MYPE de producción de envases plásticos,»
- [5] H. Lee y M. Brown, «Application of Computer Vision in Plastic Packaging Inspection,» *Journal of Industrial Technology*, vol. 35, n.º 4, págs. 150-165, 2020. DOI: 10.1016/j.jindtech.2020.05.003.
- [6] J. Luis, S. L. -Diana, E. Sánchez, Z. -. Del y C. Zapata, «94,» *Revista Colombiana de Contabilidad*, vol. 9, pág. 95, jul. de 2021, ISSN: 2619-6263.
- [7] Y. Wang y J. Li, «Adaptive Systems for Quality Control in Plastic Packaging,» *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 94, n.º 5, págs. 2345-2357, 2018. DOI: 10.1007/s00170-018-1234-5.
- [8] E. G. LIZAMA y W. W. LARCO, «Propuesta-de-desarrollo-de-un-sistema-de-gestión-de-calidad-para-una-empresa,» págs. 5-7, 2019.
- [9] C. Rodriguez y E. Fernandez, «Open Source Technologies for Cost-Effective Quality Control in Packaging,» *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 45, n.º 3, págs. 180-190, 2017. DOI: 10.1016/j.jmsy.2017.05.004.
- [10] G. A. Diaz Muñoz y D. A. Salazar Duque, «La calidad como herramienta estratégica para la gestión empresarial,» *Podium*, n.º 39, págs. 19-36, 2021.
- [11] S. P. R. Sánchez, F. D. M. G. T. De, J. P. J. Rojas, J. N. M. Gutiérrez et al., «Industria 4.0 y gestión de calidad empresarial,» *Revista Venezolana de Gerencia: RVG*, vol. 27, n.º 97, págs. 289-298, 2022.
- [12] D. J. y Sarah Lee, «Affordable Automation with Open Source Technology for Quality Control,» *Manufacturing Engineering*, vol. 56, n.º 2, págs. 200-210, 2018. DOI: 10.1109/MANENG.2018.023456.
- [13] E. Industries, *Lograr un Sello Perfecto Las mejores prácticas del Sellado por Inducción*, 2019.
- [14] J. Pierre, M. Barros, J. Vicente et al., *Dirigido por*, 2022.
- [15] D. M. R. Tejada, I. J. N. Navarro y C. H. O. Ibarra, «Lineamientos para la Automatización de Robótica de Procesos,» *Revista CIES Escolme*, vol. 11, n.º 01, págs. 143-158, 2020.
- [16] F. M. Oliveros Roa y B. Quino Ferreira, «Diseño de una fuente de alimentación DC con medidor de humedad para suelo y una celda electrolítica para su aplicación en la técnica de Electrorremediación de suelos,» 2019.
- [17] Megatrónica, *Fuente de Alimentación 24V 10A 240W*, [https://megatronica.cc/producto/fuente-de-alimentacion-24v-10a-240w/?srsltid=AfmBOorIV-gczfSXLrLZudILD18\\_2oBxPOkDXIfLA87\\_2vLto1-5DgE](https://megatronica.cc/producto/fuente-de-alimentacion-24v-10a-240w/?srsltid=AfmBOorIV-gczfSXLrLZudILD18_2oBxPOkDXIfLA87_2vLto1-5DgE), Accedido: 19 de noviembre de 2024.
- [18] A. S. Nagy, A. Polanco Risquet, O. L. Martínez de la Cotera y O. Carralero Ibargollen, «Medición simultánea de gases con sensores MQ,» *Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*, vol. 41, n.º 1, págs. 34-43, 2020.
- [19] Uelectronics, *MQ-135 Módulo Detector de Calidad de Aire*, <https://uelectronics.com/producto/mq-135-modulo-detector-de-calidad-de-aire/?srsltid=AfmBOorOLitfM8A0Env-AiEs8S0IUhxE3JjvWqhiSRM4WS2v1-wIHRsV>, mar. de 2022.
- [20] D. FA, *LOGO!* 2022.
- [21] Siemens, *PLC LOGO!* <https://www.siemens.com/mx/es/productos/automatizacion/systems/industrial/plc/logo.html>, jul. de 2020.
- [22] M. J. E. Tornero y A. J. R. Fernández, «Actuadores neumáticos,» *Ingeniería Industrial, Universidad de Huelva*, 2016.
- [23] Tameson, *Cilindro Neumático: Simple Efecto y Doble Efecto*, <https://tameson.es/pages/cilindro-neumatico-simple-efecto-doble-efecto>, mar. de 2023.

- [24] A. C. Solé, *Neumática e hidráulica*. Marcombo, 2012.
- [25] Romeco Industrial, *Válvula Neumática 4A110-06, 5/2 Puertos de 1/8"*, <https://www.romecoindustrial.com/producto/4a110-06-valvula-neumatica-52-puertos-de-18/>, 2024.
- [26] *Referencia Corriente Corriente Corriente corto circuito BREAKERS CAJA MOLDEADA 2 Y 3 POLOS "NF-CS"*, jun. de 2020.
- [27] TES Electric, *Luces Pilotos*, [https://tes-electric.com/portfolio\\_page/luces-pilotos/](https://tes-electric.com/portfolio_page/luces-pilotos/), dic. de 2021.
- [28] Siemens, *LOGO! 8 ¡Bienvenidos!* Jul. de 2019.
- [29] E. Caribe, *Módulo FC-51 sensor de proximidad con infrarrojo*, Accedido: 2025-03-07, n.d. dirección: <https://electronicacaribe.com/product/modulo-fc-51-sensor-de-proximidad-con-infrarrojo/>.
- [30] M. P. Alarcón, «*7-Esfuerzo normal en flexi*,» mar. de 2019.
- [31] China HAE, *Conveyor*, Último acceso: 1 de marzo de 2025, 2025. dirección: <https://es.chinahae.com/conveyor/>.

## ANEXO A: CÓDIGO DE ARDUINO - PRUEBAS DE SENSOR MQ2

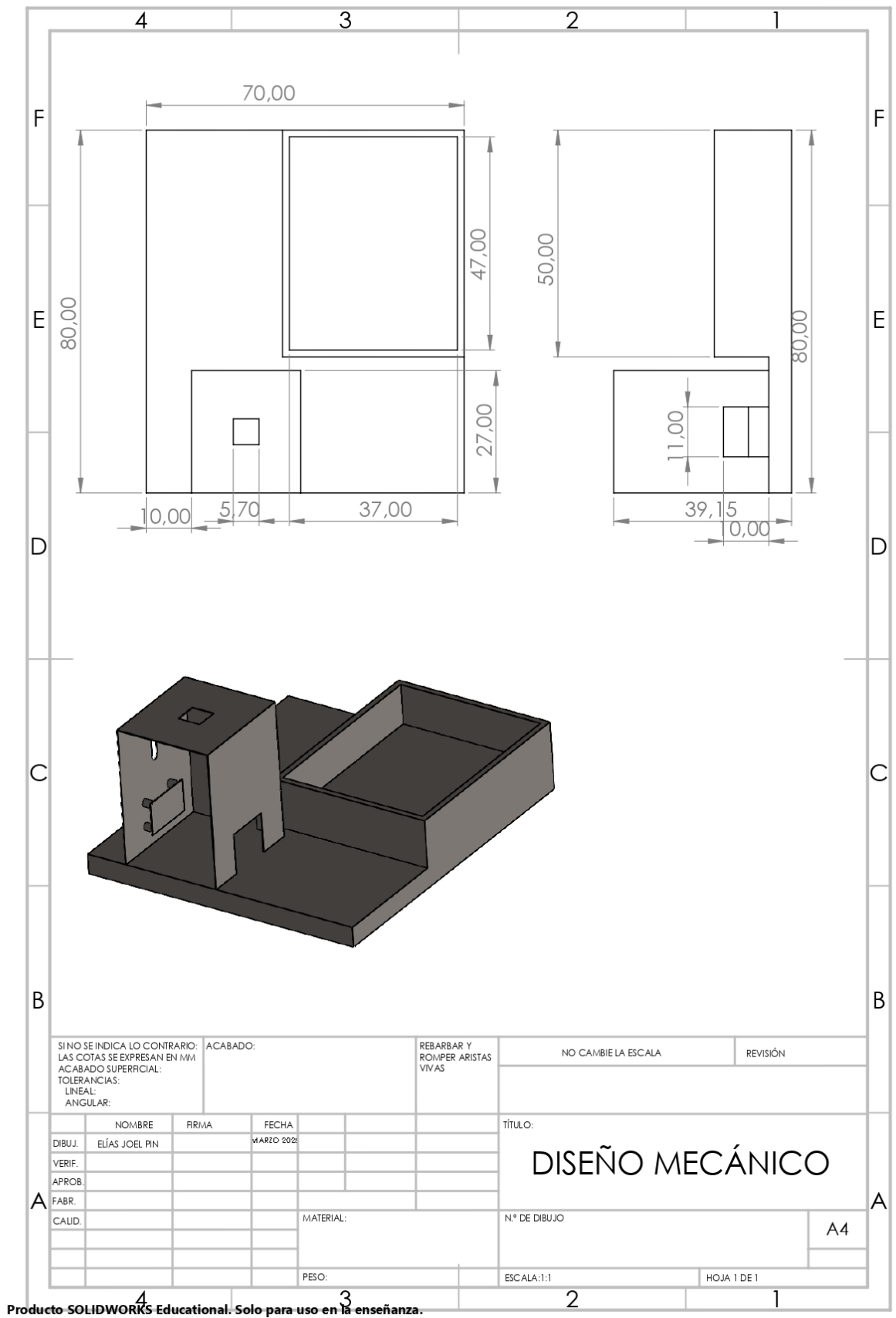
```
1 // Definición de pines
2 const int sensorPin = A0; // Pin analógico para la salida AOUT del MQ-2
3 const int ledPin = 13; // Pin donde está conectado el LED
4 const float umbralVoltaje = 2.0; // Umbral en voltios para encender el LED
5 const float VREF = 5.0; // Voltaje de referencia del Arduino (5V)
6
7 void setup() {
8     // Configuración de pines
9     pinMode(sensorPin, INPUT); // El sensor es entrada
10    pinMode(ledPin, OUTPUT); // El LED es salida
11
12    // Iniciar comunicación serie para monitoreo
13    Serial.begin(9600);
14 }
15
16 void loop() {
17     // Leer el valor analógico del sensor
18     int valorSensor = analogRead(sensorPin);
19
20     // Convertir el valor analógico a voltaje
21     float voltaje = (valorSensor / 1023.0) * VREF;
22
23     // Imprimir el voltaje en el monitor serie
24     Serial.print("Voltaje del sensor: ");
25     Serial.print(voltaje);
26     Serial.println(" V");
27
28     // Comparar el voltaje con el umbral
29     if (voltaje > umbralVoltaje) {
30         digitalWrite(ledPin, HIGH); // Encender el LED
31         Serial.println("Estado: Gas detectado!");
32     } else {
33         digitalWrite(ledPin, LOW); // Apagar el LED
34         Serial.println("Estado: Sin detección de gas");
35     }
36
37     // Pausa para evitar saturar el monitor serie
38     delay(200);
39 }
```

## ANEXO B: CÓDIGO DE ARDUINO - COMUNICACIÓN ENTRE SENSORES Y RELÉ 5VDC

```
1 // Definición de pines
2 const int sensorPin = 7; // Pin donde está conectado el DOUT del MQ-2
3 const int ledPin = 13; // Pin donde está conectado el LED
4
5 void setup() {
6     // Configurar los pines
7     pinMode(sensorPin, INPUT); // El sensor será entrada
8     pinMode(ledPin, OUTPUT); // El LED será salida
9
10    // Iniciar comunicación serie para monitorear
11    Serial.begin(9600);
12 }
13
14 void loop() {
15     // Leer el estado del sensor
16     int sensorValue = digitalRead(sensorPin);
17
18     // Si se detecta gas
19     if (sensorValue == HIGH) {
20         digitalWrite(ledPin, HIGH); // Encender el LED
21         Serial.println("Gas detectado!");
22     } else {
23         digitalWrite(ledPin, LOW); // Apagar el LED
24         Serial.println("Sin detección de gas");
25     }
26
27     // Pequeño retraso para estabilidad
28     delay(100);
29 }
```

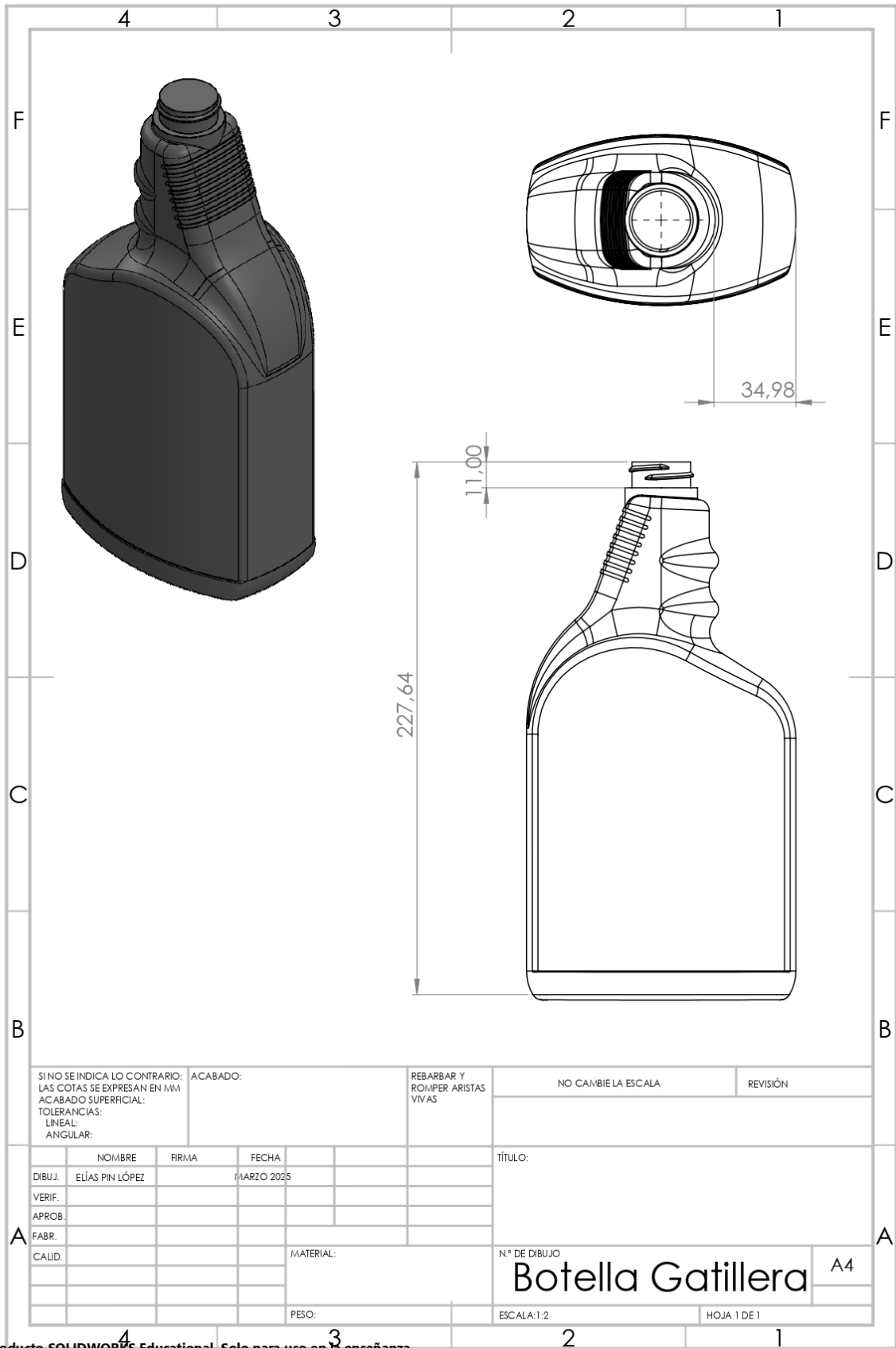
## ANEXO C: CÓDIGO DE ARDUINO - COMUNICACIÓN ENTRE SENSORES Y LOGO

```
1 // Definición de pines
2 const int sensorPin = A0; // Pin analógico para la salida AOUT del MQ-2
3 const int ledPin = 13; // Pin donde está conectado el LED
4 const int inputPin1 = 2; // Pin de entrada digital 2
5 const int outputPin1 = 9; // Pin de salida digital 9
6 const int inputPin2 = 3; // Pin de entrada digital 3
7 const int outputPin2 = 10; // Pin de salida digital 10
8 const float umbralVoltaje = 2.0; // Umbral en voltios para encender el LED
9 const float VREF = 5.0; // Voltaje de referencia del Arduino (5V)
10
11 void setup() {
12     // Configuración de pines
13     pinMode(sensorPin, INPUT); // El sensor será entrada
14     pinMode(ledPin, OUTPUT); // El LED será salida
15     pinMode(inputPin1, INPUT); // Entrada digital 2
16     pinMode(outputPin1, OUTPUT); // Salida digital 9
17     pinMode(inputPin2, INPUT); // Entrada digital 3
18     pinMode(outputPin2, OUTPUT); // Salida digital 10
19
20     // Iniciar comunicación serie para monitoreo
21     Serial.begin(9600);
22 }
23
24 void loop() {
25     // Leer el valor analógico del sensor
26     int valorSensor = analogRead(sensorPin);
27
28     // Convertir el valor analógico a voltaje
29     float voltaje = (valorSensor / 1023.0) * VREF;
30
31     // Imprimir el voltaje en el monitor serie
32     Serial.print("Voltaje del sensor: ");
33     Serial.print(voltaje);
34     Serial.println(" V");
35
36     // Comparar el voltaje con el umbral
37     if (voltaje > umbralVoltaje) {
38         digitalWrite(ledPin, HIGH); // Encender el LED
39         Serial.println("Estado: Gas detectado!");
40     } else {
41         digitalWrite(ledPin, LOW); // Apagar el LED
42         Serial.println("Estado: Sin detección de gas");
43     }
44
45     // Control de las nuevas entradas y salidas digitales
46     if (digitalRead(inputPin1) == HIGH) {
47         digitalWrite(outputPin1, HIGH);
48     } else {
49         digitalWrite(outputPin1, LOW);
50     }
51
52     if (digitalRead(inputPin2) == HIGH) {
53         digitalWrite(outputPin2, HIGH);
54     } else {
55         digitalWrite(outputPin2, LOW);
56     }
57
58     // Pausa para evitar saturar el monitor serie
59     delay(200);
60 }
```



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Figura 39. Dibujo técnico de piezas mecánicas



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Figura 40. Medidas de envases para pruebas.

## ANEXO: PROCESO DE ARMADO



Figura 41. Proceso de armado 1.



Figura 42. Proceso de armado 2.

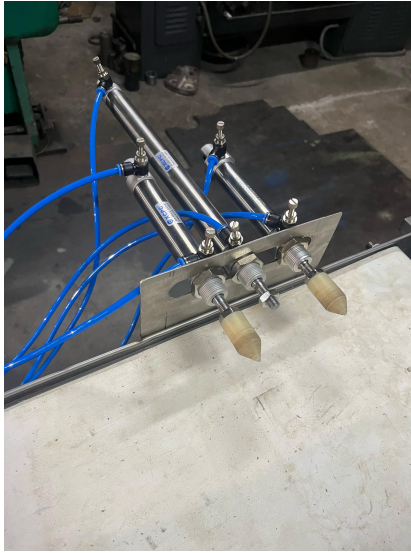


Figura 43. Proceso de armado 3.

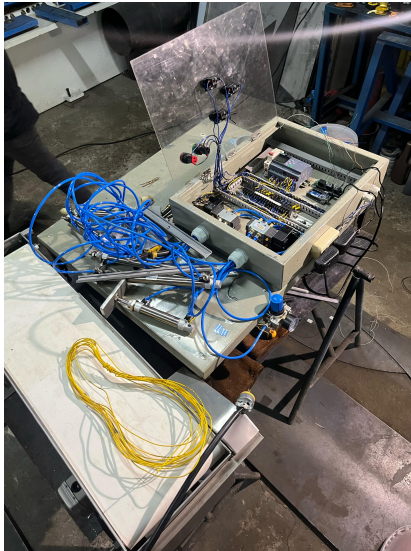


Figura 44. Proceso de armado 4.



Figura 45. Proceso de armado 5.

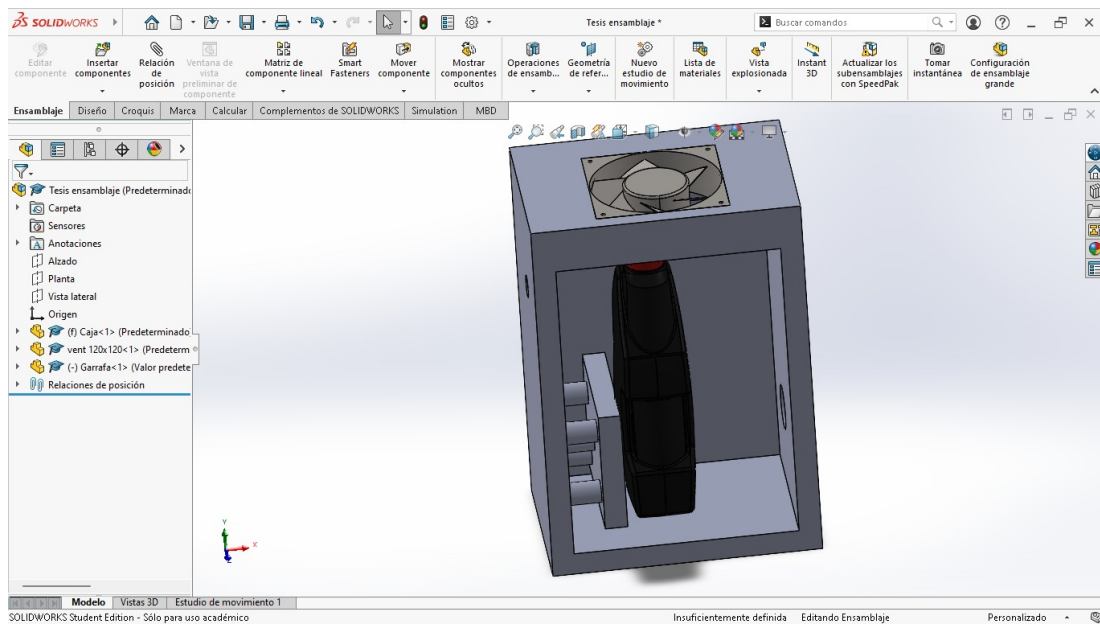


Figura 46. Diseño 1.

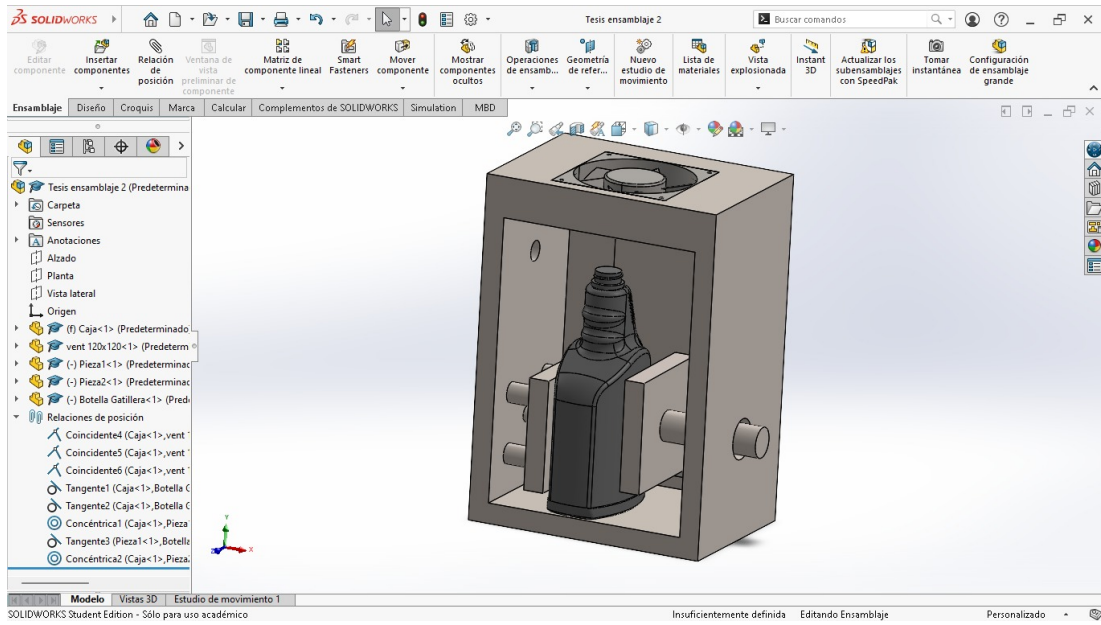


Figura 47. Diseño 2.



Figura 48. Banda transportadora.