

**Implementación de Sistemas en Máquinas Empacadoras: Ensamblaje y Programación
de Controladores Lógicos Programables (PLC) para un óptimo funcionamiento**

Andrés Felipe Balcázar Durán

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Mecatrónico

Director

Luis Rodrigo Mancilla López

Especialista en Automatización Industrial

Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

División de Ingenierías y Arquitectura

Ingeniería Mecatrónica

2024

Dedicatoria

Deseo dedicar este logro a mis padres, cuyo apoyo incondicional ha sido la columna vertebral de mi viaje académico. A lo largo de los años, su amor, orientación y sacrificio han sido una constante fuente de inspiración y motivación. Desde el primer día, han estado a mi lado, alentándome en cada paso del camino y brindándome el impulso necesario para superar los desafíos que se presentaron. Su infinita paciencia, comprensión y aliento han sido fundamentales en mi crecimiento personal y académico. Agradezco profundamente a mis padres por su dedicación y sacrificio, por creer en mí y por brindarme las herramientas y el apoyo necesarios para alcanzar mis metas. Su confianza en mi capacidad ha sido un faro en los momentos difíciles, recordándome siempre que soy capaz de lograr grandes cosas con determinación y esfuerzo.

Además, deseo expresar mi gratitud a Dios, cuya gracia y amor han sido una constante en mi vida. Su guía y protección han sido evidentes en cada paso de este viaje, fortaleciéndome en momentos de duda y proporcionándome la sabiduría necesaria para enfrentar los desafíos con valentía y determinación.

A mis padres y a Dios, les dedico este logro con profundo agradecimiento y humildad. Sin su amor, apoyo y bendiciones, este proyecto no habría sido posible. Que este trabajo sea un testimonio de mi gratitud y un reflejo de la fe, amor y perseverancia que me han guiado en este camino.

Contenido

Introducción	10
1. Implementación de sistemas en máquinas empacadoras: ensamble y programación de controladores lógicos programables (plc) para un óptimo funcionamiento.....	11
1.1 Planteamiento del problema.....	11
1.2 Justificación	11
1.3 Objetivos	12
1.3.1 Objetivo general.....	12
1.3.2 Objetivos específicos	12
2. Descripción de la empresa	13
2.1 Nombre	13
2.2 Misión	13
2.3 Visión	13
2.4 Cobertura.....	13
2.5 Productos y/o servicios	14
2.6 Estructura orgánica	14
3. Marco referencial	15
3.1 Marco teórico	15
3.2 Marco conceptual.....	16
4. Despliegue de actividades.....	18
4.1 Montaje y ensamble de sistemas eléctricos	19
4.2 Manipulación y programación de Controladores Lógicos Programables (PLC).....	28
4.2.1 Metodología de programación con GRAFCET	29

4.2.2 Implementación de la metodología en un proceso específico	31
4.2.3 NB Designer:	34
4.3 Ensamblaje de elementos mecánicos	37
4.3.1 Multicabezal.....	38
4.3.2 Principio de operación del multicabezal	38
4.3.2 Elevador de cangilones	43
5. Resultados	48
5.1 Montaje y ensamblado de sistemas eléctricos	48
5.2 Manipulación y programación de Controladores Lógicos Programables (PLC).....	50
5.3 Ensamblaje de elementos mecánicos	52
5.3.1 Resultados del montaje y funcionamiento del multicabezal:	52
5.3.2 Resultados del montaje y funcionamiento del elevador de cangilones:	58
6. Conclusiones	60
6.1 Montaje y ensamblado de sistemas eléctricos:	60
6.2 Manipulación y programación de Controladores Lógicos Programables (PLC):.....	61
6.3 Ensamblaje de elementos mecánicos:	61
6.4 Calibración de celda de carga y llave:	62
Referencias.....	63

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Lista de componentes electrónicos para el funcionamiento de la maquina empacadora.</i>	
.....	21
Tabla 2. <i>Componentes y Dispositivos del Sistema de Empaque Automatizado.</i>	24
Tabla 3. <i>Partes que componen el multicabezal.</i>	43
Tabla 4. <i>Resultado de pruebas de retardos en los sistemas de sellado.</i>	51

Lista de figuras

Figura 1. <i>Estructura organizativa de Autopacked en relación con el practicante.</i>	14
Figura 2. <i>Montaje frontal del tablero eléctrico (Ilustración).</i>	20
Figura 3. <i>Proceso de Montaje frontal del tablero eléctrico (Fotografía Real).</i>	21
Figura 4. <i>Parte frontal del tablero eléctrico (Fotografía Real).</i>	23
Figura 5. <i>Representación Visual: Tablero Máquina de Empaque Automatizado.</i>	28
Figura 6. <i>Zona de árbol de CX-programmer.</i>	31
Figura 8. <i>Interfaz de NB Designer.</i>	34
Figura 9. <i>Configurar botones en pantalla.</i>	35
Figura 10. <i>Ejemplo de fallo en pantalla.</i>	36
Figura 11. <i>Ejemplo de pantalla que es confiugrable para manejar diferentes retardos.</i>	37
Figura 12. <i>Dispositivo Multicabeza.</i>	38
Figura 13. <i>Distribución del multicabezal mediante vibradores controlados.</i>	39
Figura 14. <i>Estructura del multicabezal.</i>	41
Figura 15. <i>Estructura multicabezal (Fotografía Real).</i>	42
Figura 16. <i>Elevador de cangilones.</i>	44
Figura 17. <i>Montaje de estructura para el levador de cangilones.</i>	46
Figura 18. <i>Montaje de cangilones en el elevador.</i>	47
Figura 19. <i>Validación de funcionamiento de la máquina.</i>	50
Figura 20. <i>Proceso de prueba manual: Selección y pesaje de todas las tolvas.</i>	53
Figura 21. <i>Procedimiento de calibración: Lectura y selección de todas las tolvas.</i>	54
Figura 22. <i>Ajuste de valor cero: Confirmación y retorno al menú de calibración.</i>	55

Figura 23. <i>Confirmación de calibración exitosa.</i>	56
Figura 24. <i>Preparación para calibración con peso estándar de 200g/1000g.</i>	57
Figura 25. <i>Calibración exitosa con peso estándar de 200g.</i>	58
Figura 26. <i>Estructura terminada.</i>	60

Resumen

El presente proyecto tiene como finalidad proporcionar detalles sobre el periodo de prácticas profesionales que se llevó a cabo en la empresa Autopacked, ubicada en la ciudad de Bucaramanga, con el objetivo de cumplir con los requisitos necesarios para obtener el título de “Ingeniero Mecatrónico”. En este contexto, se centró en mejorar la eficiencia y funcionalidad de las máquinas empacadoras mediante la integración efectiva de sistemas eléctricos y mecánicos, así como la actualización de la documentación técnica conforme a las normativas colombianas. El informe detalla la aplicación práctica de los conocimientos adquiridos durante el periodo de estudio universitario en un entorno de prácticas, específicamente en el diseño de manuales industriales reales aplicados. En este contexto, se destacan las habilidades y competencias desarrolladas por el estudiante de Ingeniería Mecatrónica en la creación y actualización de documentación técnica para sistemas industriales.

Palabras clave: eficiencia, tablero de control, funcionalidad, actualización, documentación

Abstract

The purpose of this project is to provide details about the professional internship that took place in the company Autopacked, located in the city of Bucaramanga, with the objective of fulfilling the necessary requirements to obtain the title of "Mechatronic Engineer". In this context, it focused on improving the efficiency and functionality of the packaging machines through the effective integration of electrical and mechanical systems, as well as updating the technical documentation in accordance with Colombian regulations. The report details the practical application of the knowledge acquired during the university study period in an internship environment, specifically in the design of real applied industrial manuals. In this context, the skills and competencies developed by the Mechatronics Engineering student in the creation and updating of technical documentation for industrial systems are highlighted.

keywords: efficiency, control panel, functionality, update, documentation

Introducción

En el ámbito industrial, la eficiencia y la calidad de los procesos son los elementos mas importantes para demostrar la competitividad y satisfacer las demandas del mercado. Siguiendo este camino, las máquinas empacadoras desempeñan un papel fundamental al facilitar el empaquetado de alimentos para su distribución y comercialización. Sin embargo, para que estas máquinas funcionen de manera eficiente, es necesario garantizar la integridad efectiva de sus sistemas eléctricos y mecánicos,

El presente proyecto se enfoca en abordar estos aspectos fundamentales, con el objetivo de mejorar la eficiencia y funcionalidad de las maquinas empacadoras utilizadas en diversos sectores industriales en Colombia. Para ello se llevarán a cabo diversas actividades, comenzando con el montaje y ensamblaje de los sistemas eléctricos lo que implica la conexión precisa de conectores y tableros electrónicos.

Además, se realizará la manipulación y programación de controladores lógicos programables (PLC), cuya correcta configuración es esencial para garantizar un control efectivo y eficiente de los procesos en las máquinas empacadoras. Este aspecto es crucial para optimizar la producción y asegurar la calidad del empaque de los productos.

Asimismo, se llevará a cabo el ensamblaje de elementos mecánicos que forman parte de las máquinas empacadoras, asegurando su correcto funcionamiento y compatibilidad con los sistemas eléctricos mencionados anteriormente.

1. Implementación de sistemas en máquinas empacadoras: ensamblaje y programación de controladores lógicos programables (plc) para un óptimo funcionamiento

1.1 Planteamiento del problema

En la empresa Autopacked, ubicada en Bucaramanga, se enfrenta a la ausencia de una guía estandarizada para el manejo de las máquinas empacadoras, lo que resulta en una operación inconsistente y propensa a errores. Este problema se agrava por la falta de procedimientos estandarizados para el ensamblaje y la programación de Controladores Lógicos Programables (PLC) en estas máquinas. Por ende, el desafío que se plantea es la necesidad inmediata de implementar sistemas en las máquinas empacadoras, especialmente el ensamblaje y la programación de PLC, para garantizar un óptimo funcionamiento. Abordar esta problemática es crucial para asegurar la estabilidad y eficacia de los procesos industriales en Autopacked, así como para reducir los costos operativos y mejorar la eficiencia general de la empresa.

1.2 Justificación

En un entorno empresarial cada vez más competitivo y dinámico, la búsqueda constante de la excelencia operativa se ha convertido en una prioridad para asegurar la supervivencia y el crecimiento sostenible de las organizaciones. La creciente demanda de los consumidores por productos y servicios de calidad superior, junto con el rápido avance tecnológico, ha generado una presión adicional sobre las empresas para adaptarse y mejorar continuamente sus procesos y prácticas de gestión [1].

La realización de prácticas profesionales en empresas como Autopacked se presenta como una oportunidad invaluable para los estudiantes de Ingeniería Mecatrónica. No solo les brinda la

posibilidad de aplicar los conocimientos adquiridos durante su formación académica en un entorno laboral real, sino que también les permite adquirir nuevas habilidades y competencias relacionadas con los procesos y actividades específicas de la industria este proyecto de diseño. Su implementación contribuirá no solo a mejorar la eficiencia operativa y reducir los costos operativos en Autopacked, sino que también proporcionará una experiencia valiosa para el estudiante de Ingeniería Mecatrónica, preparándolo para enfrentar con éxito los desafíos del mercado laboral y contribuir al progreso de la industria

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Ejecutar el ensamblaje de sistemas eléctricos y mecánicos en las máquinas empacadoras, abarcando la conexión de conectores, tableros, sensores, así como la manipulación y programación de controladores lógicos programables (PLC).

1.3.2 Objetivos específicos

Realizar el montaje y ensamblado de los sistemas eléctricos de las máquinas empacadoras, incluyendo la conexión precisa de conectores y tableros electrónicos.

Manipular y programar los controladores lógicos programables (PLC) para garantizar un control efectivo y eficiente de los procesos en las máquinas empacadoras.

Realizar el ensamblaje de elementos mecánicos que forman parte de las máquinas empacadoras, asegurando su correcto funcionamiento y compatibilidad con los sistemas eléctricos.

2. Descripción de la empresa

2.1 Nombre

Autopacked S.A.S.

2.2 Misión

Diseñar, fabricar y comercializar maquinaria industrial innovadora y eficiente para el empaque de productos, brindando soluciones integrales que superen las expectativas de nuestros clientes. Nos comprometemos a mantener estándares de calidad superiores, promoviendo la sostenibilidad y la mejora continua, y a través de un servicio excepcional, contribuir al éxito y crecimiento sostenible de nuestros clientes, empleados y socios [2].

2.3 Visión

Ser líderes reconocidos a nivel nacional en el diseño, manufactura, mantenimiento y comercialización de maquinaria industrial para el empaque, destacándonos por la excelencia en la innovación, la calidad y el servicio al cliente. Buscamos ser referentes en sostenibilidad y responsabilidad social, impulsando el desarrollo tecnológico y la eficiencia en la cadena de suministro, con el propósito de contribuir al progreso de la industria y al bienestar de la sociedad en su conjunto [2].

2.4 Cobertura

Somos una empresa colombiana dedicada al diseño, manufactura, mantenimiento y comercialización de maquinaria industrial para el empaque de productos y elementos afines [2].

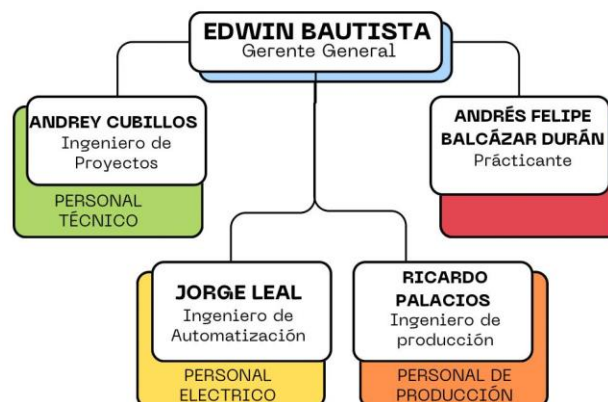
2.5 Productos y/o servicios

Autopacked se destaca en el sector de maquinaria para el empaquetado, ofreciendo una amplia gama de productos y servicios especializados. Nuestra línea de productos incluye sistemas de empaquetado automatizado de última tecnología, diseñados para mejorar la eficiencia operativa y garantizar la calidad en el proceso de embalaje. Además, proporcionamos servicios de mantenimiento preventivo y correctivo para asegurar el funcionamiento continuo de nuestras máquinas. Nos enorgullece ofrecer soluciones personalizadas adaptadas a las necesidades de cada cliente, respaldadas por un equipo altamente capacitado. En Autopacked, estamos comprometidos a brindar no solo productos avanzados, sino también una experiencia integral que contribuya al éxito y crecimiento sostenible de nuestros clientes en la industria del empaquetado. [2].

2.6 Estructura orgánica

La empresa Autopacked cuenta con una estructura organizativa que comprende a 20 empleados. En el siguiente diagrama se muestra la estructura organizativa que tiene un impacto directo en las labores del practicante, donde se destaca a Edwin Bautista como su jefe inmediato.

Figura 1. Estructura organizativa de Autopacked en relación con el practicante.



3. Marco referencial

3.1 Marco teórico

En el ámbito empresarial contemporáneo, la búsqueda constante de la excelencia operativa y la mejora continua se ha convertido en un imperativo para mantener la competitividad y la relevancia en un mercado global dinámico y exigente. En este contexto, el concepto de Kaizen emerge como una filosofía y práctica empresarial fundamental, arraigada en la cultura japonesa y adoptada por organizaciones de todo el mundo en busca de la excelencia. Esta filosofía promueve la idea de que incluso los cambios más pequeños pueden generar grandes mejoras en la eficiencia, la calidad y la competitividad de una organización. A través del intercambio de ideas en grupos de trabajo y prácticas basadas en empresas altamente efectivas, el Kaizen se ha convertido en una poderosa herramienta para impulsar la innovación y el crecimiento sostenible en las organizaciones industriales y de procesos. [3]

El caso de estudio de Matshidiso Mos ejemplifica cómo la integración de técnicas Lean, como el método 5Whys y el enfoque Ishikawa, puede impulsar mejoras continuas en un sistema de cierre de no conformidades. Estas metodologías ayudan a identificar y abordar eficientemente las causas raíz de los problemas, lo que conduce a una resolución más efectiva de los defectos y una mejora en los procesos. [4]

Los beneficios de esta integración son múltiples: en primer lugar, se logra una mayor eficiencia y efectividad en la resolución de problemas, lo que conduce a una reducción significativa en los tiempos de respuesta y en la minimización de los costos asociados con los defectos y no conformidades. El enfoque de Kaizen puede ser especialmente relevante, ya que ofrece una metodología estructurada y efectiva para identificar y abordar las áreas de oportunidad en el

proceso de ensamblaje de sistemas eléctricos y mecánicos en las máquinas empacadoras. Al integrar técnicas Lean con los estándares ISO, el proyecto puede beneficiarse de una mayor eficiencia operativa, una mayor calidad del producto y una mejora continua en los procesos de producción.

3.2 Marco conceptual

En este apartado se presentan los fundamentos conceptuales necesarios para comprender los pilares que sustentan la investigación. Estos conceptos clave son esenciales para contextualizar y abordar adecuadamente los objetivos y alcances del estudio.

- **Lean Manufacturing:** entender los principios y técnicas del Lean Manufacturing es crucial para optimizar la eficiencia de los procesos industriales, reducir desperdicios y mejorar la calidad del producto. El pensamiento Lean es una filosofía empresarial que busca maximizar las ganancias utilizando eficientemente los recursos disponibles. Se centra en prácticas como el justo a tiempo, la reducción de desperdicios, la mejora continua, la producción sin defectos y la estandarización del trabajo. El objetivo principal es reducir costos y aumentar la productividad eliminando todo tipo de desperdicio, desde el exceso de inventario hasta el movimiento innecesario de materiales y empleados. Integrar los principios Lean en diversas industrias, desde la manufactura hasta los servicios, permite mejorar la eficiencia y la calidad mientras se reducen los costos. [5]
- **Kaizen:** la filosofía de Kaizen, centrada en la mejora continua, es fundamental para promover un ambiente de trabajo enfocado en la innovación, la eficiencia y la excelencia operativa. El evento Kaizen se define como un proyecto estructurado y centrado en la mejora, que involucra a un equipo funcional transversal dedicado a mejorar un área específica de trabajo en un

período de tiempo acelerado. Aunque los beneficios inmediatos pueden ser difíciles de mantener, el enfoque a corto plazo puede no ser compatible con las actividades a largo plazo. Sin embargo, la literatura demuestra que Kaizen es una filosofía ampliamente aceptada en las industrias manufactureras. La filosofía Kaizen postula que la mejora constante debe ser el centro de nuestros esfuerzos en todas las áreas de la vida, ya sea laboral, social o doméstica.[6]

- Eficiencia: la eficiencia en el ensamblaje de sistemas eléctricos y mecánicos es fundamental para garantizar un funcionamiento óptimo de las máquinas empacadoras y maximizar la productividad.
- Sistemas eléctricos y mecánicos: comprender la interacción entre los sistemas eléctricos y mecánicos en las máquinas empacadoras es esencial para asegurar un ensamblaje adecuado y un funcionamiento eficiente. El entendimiento profundo de estos sistemas es fundamental para optimizar la eficiencia operativa y garantizar la calidad de los productos finales. Además, el mantenimiento adecuado de estos sistemas es esencial para prevenir averías y maximizar la vida útil de la maquinaria. Los sistemas eléctricos y mecánicos desempeñan un papel fundamental en el funcionamiento y mantenimiento de máquinas e instalaciones industriales. Estos sistemas permiten la transformación y producción eficiente de productos, proporcionando la energía necesaria y facilitando el movimiento y manipulación de materiales. La comprensión y operatividad de sistemas eléctricos, hidráulicos, neumáticos y mecánicos son esenciales para garantizar un rendimiento óptimo y una operación segura de las maquinarias. Además, el mantenimiento adecuado de estos sistemas ayuda a prevenir fallas y prolongar la vida útil de los equipos, lo que contribuye a la eficiencia y productividad de los procesos industriales. Es crucial que los profesionales estén capacitados en la operación y

mantenimiento de estos sistemas, siguiendo las normativas y procedimientos establecidos para garantizar un funcionamiento seguro y eficaz en entornos industriales.[7]

- Normativas y estándares de calidad: familiarizarse con las normativas y estándares de calidad, como las normas ISO, es necesario para garantizar el cumplimiento de requisitos legales y asegurar la calidad y seguridad de los productos. Las normativas y estándares de calidad son fundamentales para garantizar la integridad y fiabilidad de los componentes manufacturados en el proyecto. Estos estándares proporcionan pautas y criterios específicos que deben cumplirse durante todo el proceso de fabricación, desde el diseño hasta la producción y el ensamblaje. Al adherirse a las normativas establecidas por organizaciones reconocidas, como la ISO y ASTM, se asegura que los productos cumplan con los requisitos de calidad y seguridad necesarios para su funcionamiento adecuado. La implementación de estas normativas en el proyecto no solo garantiza la conformidad con los estándares industriales, sino que también contribuye a la optimización de los procesos y la mejora continua de la calidad de los productos finales.[8]
- Controladores lógicos programables (PLC): conocer el funcionamiento y la programación de los PLCs es crucial para asegurar un control efectivo de los procesos en las máquinas empacadoras y facilitar su integración con otros sistemas.

4. Despliegue de actividades

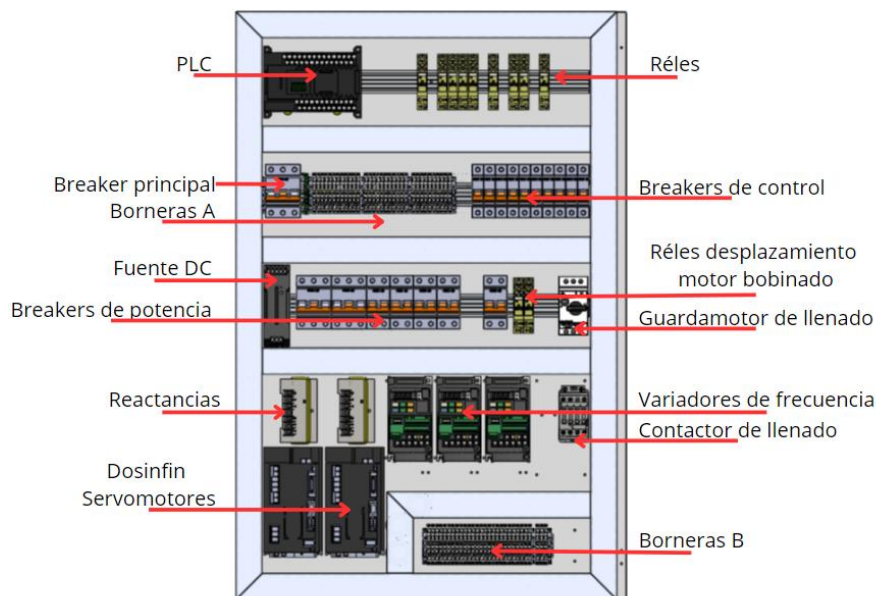
A continuación, se detallan las actividades que serán llevadas a cabo como parte del despliegue de este proyecto.

4.1 Montaje y ensamblado de sistemas eléctricos

Realizar el montaje y ensamblado de los sistemas eléctricos de las máquinas empacadoras, incluyendo la conexión precisa de conectores y tableros electrónicos.

En la fabricación de máquinas empacadoras, el montaje y ensamblado de los sistemas eléctricos son etapas críticas que requieren una atención meticulosa. La correcta conexión de conectores y tableros electrónicos es esencial para garantizar el funcionamiento óptimo y la fiabilidad de la maquinaria. Incluso un pequeño error en el montaje, como un conector suelto o mal soldado, puede resultar en un mal funcionamiento de la máquina, lo que a su vez puede llevar a costosos tiempos de inactividad y reparaciones. Por lo tanto, es crucial seguir procedimientos precisos durante el montaje y ensamblado de los sistemas eléctricos. Esto incluye verificar cada conexión, soldadura y componente para asegurarse de que estén correctamente instalados y funcionando según las especificaciones. Además, se deben realizar pruebas exhaustivas para detectar cualquier problema potencial antes de que la máquina sea puesta en funcionamiento.

La Figura 2 ofrece una ilustración detallada del montaje frontal del tablero eléctrico de la máquina empacadora. Esta representación visual proporciona una guía clara sobre cómo deben ser conectados y organizados los componentes eléctricos en el tablero. Desde los conectores hasta los tableros electrónicos, cada elemento se dispone de manera precisa para garantizar un funcionamiento confiable y eficiente de la maquinaria.

Figura 2. Montaje frontal del tablero eléctrico (Ilustración).

Adaptado de [2]

El montaje frontal del tablero eléctrico de la máquina empacadora, ofreciendo una visión realista de cómo los componentes electrónicos se integran físicamente en la estructura como se observa en la figura 3. Este proceso meticuloso, ilustrado en la fotografía, refleja la cuidadosa disposición de cada componente para garantizar un funcionamiento eficiente y seguro de la maquinaria.

La observación conjunta de la Figura 3 y la Tabla 1 permite una comprensión holística del diseño y funcionamiento del tablero eléctrico. Al identificar los componentes físicos en la imagen y consultar su descripción en la tabla, se facilita la comprensión de cómo cada pieza contribuye al rendimiento global de la máquina empacadora.

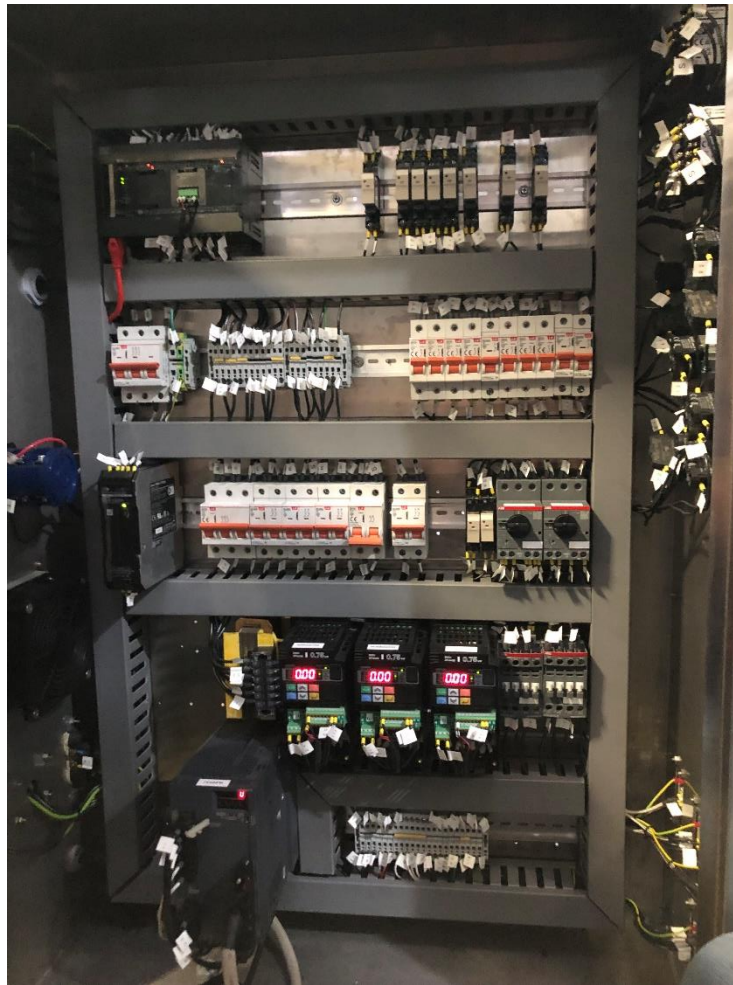
Figura 3. *Proceso de Montaje frontal del tablero eléctrico (Fotografía Real).***Tabla 1.** *Lista de componentes electrónicos para el funcionamiento de la maquina empacadora.*

Componentes eléctricos para el funcionamiento de la maquina empacadora	Funcionamiento
PLC	(Controlador Lógico Programable): Controla y ejecuta el funcionamiento de la máquina empacadora mediante la ejecución de programas específicos.
Breaker principal	Protege el circuito eléctrico principal de la máquina contra sobrecargas y cortocircuitos.
Borneras A	Conectores que permiten la conexión de cables eléctricos a diferentes dispositivos y componentes de la máquina empacadora.
Fuente 24V DC	Suministra energía eléctrica de 24 voltios de corriente continua para alimentar varios componentes de baja potencia en la máquina empacadora.
Breakers de potencia	Protegen los circuitos eléctricos de alta potencia contra sobrecargas y cortocircuitos.
Reactancias	Componentes que controlan y estabilizan la corriente eléctrica en los circuitos

Componentes eléctricos para el funcionamiento de la máquina empacadora	Funcionamiento
Dosinfin Servomotores	Controla y regula el movimiento de los servomotores, permitiendo un posicionamiento preciso y controlado de los elementos de la máquina empacadora.
Relés	Dispositivos electromagnéticos que controlan la apertura y cierre de circuitos eléctricos en la máquina empacadora.
Breakers de control	Breakers que operan a 24 voltios y son activados por el PLC para controlar y proteger circuitos eléctricos específicos dentro de la máquina empacadora.
Relés desplazamiento motor bobinado	Controlan el encendido y apagado del motor bobinado, asegurando un funcionamiento adecuado y seguro.
Guardamotor de llenado	Protege el motor de llenado de la máquina contra sobrecargas y cortocircuitos, asegurando su funcionamiento seguro.
Variadores de frecuencia	Regulan la velocidad de los motores eléctricos, permitiendo ajustes precisos según los requisitos de producción y operación de la máquina empacadora.
Contactor de llenado	Controla la operación del sistema de llenado de la máquina, gestionando el flujo de material en el proceso de empaclado.
Borneras B	Conectores que permiten la conexión de cables eléctricos a diferentes dispositivos y componentes de la máquina empacadora.

La Figura 4 muestra el tablero eléctrico esencial para el funcionamiento de la máquina empacadora. Este tablero alberga componentes críticos como el PLC, breakers, borneras, fuente de 24V DC, relés, servomotores, entre otros. Cada componente cumple una función específica, desde el control de circuitos hasta la protección contra sobrecargas y cortocircuitos, asegurando un funcionamiento eficiente y seguro de la maquinaria.

Figura 4. *Parte frontal del tablero eléctrico (Fotografía Real).*



Componentes y dispositivos controlados por el tablero eléctrico en un sistema de empaque automatizado

La siguiente tabla 2 se presenta una descripción detallada de los diversos componentes y dispositivos utilizados en un sistema de empaque automatizado. Este sistema está diseñado para llevar a cabo el proceso de empaque de productos de manera eficiente y precisa. Los elementos incluidos en la tabla abarcan desde motores y sensores hasta dispositivos de control y monitoreo, proporcionando una visión completa de cómo funciona el sistema en su conjunto. Cada elemento

en la tabla desempeña un papel crucial en el proceso de empaque, desde el enrollado del material de empaque hasta el sellado final de los paquetes. Se describen sus funciones específicas, así como los métodos de control utilizados para operarlos. Además, se incluyen dispositivos de seguridad y señalización, como los botones de parada de emergencia y las luces indicadoras de energía, que garantizan un funcionamiento seguro y confiable del sistema.

El uso de una interfaz de usuario táctil proporciona una manera intuitiva de monitorear y controlar el proceso de empaque, mientras que los diversos sensores aseguran un funcionamiento preciso y eficiente. En conjunto, estos componentes y dispositivos forman un sistema integral que optimiza el proceso de empaque y mejora la productividad en entornos industriales.

Tabla 2. *Componentes y Dispositivos del Sistema de Empaque Automatizado.*

Objeto	Descripción	Función	Controlado Por	Imagen
Motor Bobinar	Motor encargado de enrollar el rollo de los empaques.	Este motor impulsa el mecanismo que enrolla el material de empaque, asegurando su correcta bobinado.	Variador de Frecuencia, Relé Adicional	
Dosificador sin Fin	Dispositivo dosificador que funciona con un servo drive.	Dosifica y dispensa productos de forma continua y precisa.	Servo Drive	
Motor Agitador	Motor utilizado para agitar el producto durante el proceso.	Agita y mezcla el producto para garantizar una distribución homogénea.	Variador de Frecuencia, Relé Adicional	
Motor Arrastre	Motor encargado de arrastrar el material de empaque durante el proceso.	Proporciona la tracción necesaria para mover el material de empaque a través del sistema.	Variador de Frecuencia	

Objeto	Descripción	Función	Controlado Por	Imagen
Marcha	Dispositivo de entrada que inicia el proceso.	Inicia el funcionamiento del sistema.	Botones	
Parada de Proceso	Dispositivo de entrada que detiene el proceso de manera controlada.	Detiene el funcionamiento del sistema de manera programada y segura.	Botones	
Parada de Emergencia	Dispositivo de entrada que detiene el proceso de emergencia.	Detiene inmediatamente el funcionamiento del sistema en situaciones críticas.	Botones	
Muletilla Calor Mordazas	Dispositivo de entrada que activa el calor de las mordazas.	Permite activar el sistema de calentamiento de las mordazas para el sellado del paquete.	Muletilla	
Muletilla de Rodillos	Dispositivo de entrada que activa el sistema de rodillos.	Permite activar el sistema de rodillos para el proceso de arrastre del material de empaque.	Muletilla	
Sensor de Calor - Mordaza Vertical	Sensor de temperatura utilizado para controlar la temperatura de la mordaza vertical.	Monitorea la temperatura de la mordaza vertical para garantizar un sellado adecuado del paquete.	Pirometro	
Sensor de Calor - Mordaza Horizontal (Delantera)	Sensor de temperatura utilizado para controlar la temperatura de la parte delantera de la mordaza horizontal.	Monitorea la temperatura de la parte delantera de la mordaza horizontal para un sellado correcto.	Pirometro	

Objeto	Descripción	Función	Controlado Por	Imagen
Sensor de Calor - Mordaza Horizontal (Fondo)	Sensor de temperatura utilizado para controlar la temperatura de la parte posterior de la mordaza horizontal.	Monitorea la temperatura de la parte posterior de la mordaza horizontal para un sellado correcto.	Pirometro	
Pantalla PLC Táctil	Interfaz de usuario que muestra información y permite interactuar con el sistema.	Proporciona una interfaz de usuario para monitorear y controlar el proceso de empaque.	-	
Fotocelda	Dispositivo sensor que detecta la presencia o ausencia de material.	Controla el desplazamiento del paquete, asegurando que sean empacados uno a uno.	-	
Luz de Energizado	Indicador luminoso que señala si la máquina esta energizada	Informa visualmente si la máquina está energizada o no.	-	
Botón Movimiento Derecha	Botón de entrada que mueve el bobinador hacia la derecha.	Controla el movimiento del bobinador hacia la derecha.	Botone	
Botón Movimiento Izquierda	Botón de entrada que mueve el bobinador hacia la izquierda.	Controla el movimiento del bobinador hacia la izquierda.	Botone	
Botón Arrastre	Botón de entrada que activa el arrastre del material de empaque.	Inicia el arrastre del material de empaque mediante el motor correspondiente.	Botone	

Objeto	Descripción	Función	Controlado Por	Imagen
Sensor Inductivo - Final de Rollo	Sensor inductivo utilizado para controlar el final del rollo de paquetes y detectar fallos en este sector.	Monitorea el final del rollo de paquetes y avisa de cualquier fallo en esta área.	PLC	
Sensor Magnético - Puertas Acrílicas	Sensor magnético utilizado para detectar si las puertas acrílicas están abiertas.	Detecta si las puertas acrílicas están abiertas, indicando un posible fallo en el sistema.	PLC	
Sensor Inductivo - Puertas Acrílicas	Sensor inductivo utilizado para detectar si las puertas acrílicas están abiertas.	Detecta si las puertas acrílicas están abiertas, indicando un posible fallo en el sistema.	PLC	
Final de Carrera - Puerta Izquierda	Sensor de final de carrera utilizado para indicar si la puerta izquierda está abierta.	Detecta si la puerta izquierda está abierta, indicando un posible fallo en el sistema.	PLC	
Final de Carrera - Puerta Derecha	Sensor de final de carrera utilizado para indicar si la puerta derecha está abierta.	Detecta si la puerta derecha está abierta, indicando un posible fallo en el sistema.	PLC	

Tomado de [10]-[22].

La Figura 5 proporciona una representación visual detallada del tablero eléctrico de la máquina de empaque automatizado. Esta ilustración ofrece una visión clara y concisa de cómo están dispuestos los componentes eléctricos clave dentro del sistema, proporcionando una guía

visual para comprender su organización y funcionamiento. La Figura 5 sirve como una herramienta útil para comprender la estructura y la función del tablero eléctrico en el contexto de la maquinaria automatizada. Proporciona una referencia visual que complementa la información textual sobre los componentes eléctricos presentada en la tabla correspondiente, facilitando así una comprensión más completa del sistema en su conjunto.

Figura 5. *Representación Visual: Tablero Máquina de Empaque Automatizado.*



4.2 Manipulación y programación de Controladores Lógicos Programables (PLC)

Manipular y programar los controladores lógicos programables (PLC) para garantizar un control efectivo y eficiente de los procesos en las máquinas empacadoras.

En la empresa empacadora de paquetes automatizados, se enfrentan a un desafío recurrente: cada máquina empacadora requiere ajustes específicos para optimizar los retardos durante el proceso de sellado de los paquetes. Debido a que no todas las máquinas están diseñadas para los mismos tipos de paquetes, se necesita una serie de pruebas exhaustivas para encontrar los retardos adecuados que garanticen un sellado óptimo y sin desperdicios.

GRAFCET, el Graphe Fonctionnel de Commande Etape/Transition (Diagrama Funcional de Etapas/Transiciones de Control), es una herramienta gráfica esencial para diseñar sistemas de control automatizado en la empresa empacadora de paquetes automatizados. Su uso permite una representación visual clara y concisa de los procesos, lo que facilita la comprensión y la programación de la lógica de control en los PLCs.

4.2.1 Metodología de programación con GRAFCET

Acciones normales

Las acciones normales en GRAFCET representan las operaciones estándar que realiza la máquina empacadora durante el proceso de sellado de paquetes. Estas acciones se ejecutan secuencialmente para llevar a cabo el proceso de empaque de manera ordenada y eficiente. En el contexto de la empresa, estas acciones podrían incluir el movimiento de motores, el control de sensores y la activación de dispositivos de seguridad. [9].

Acciones condicionadas

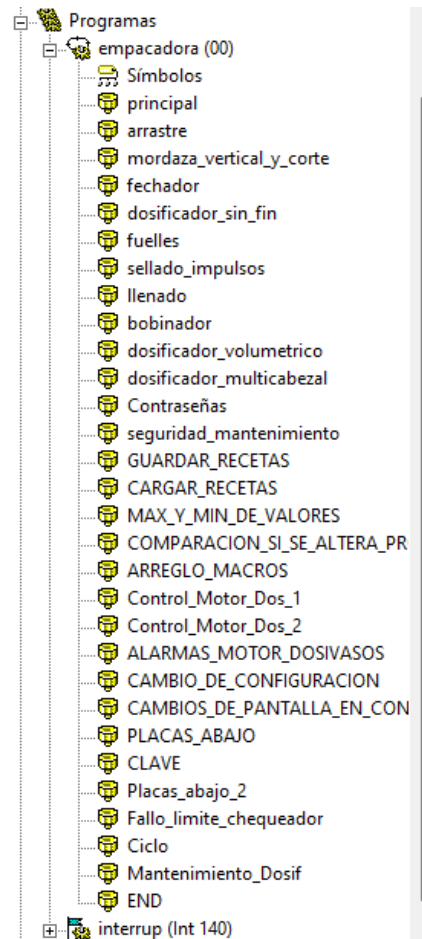
Por otro lado, las acciones condicionadas se activan o desactivan según ciertas condiciones específicas. Esto permite adaptar el proceso de empaque en función de las circunstancias particulares en cada momento, lo que aumenta la flexibilidad y la capacidad de respuesta de la

máquina empacadora. Estas acciones pueden ser activadas por la detección de un paquete mal posicionado o la presencia de un obstáculo en la línea de ensamblaje. [9].

Acciones temporizadas

En cuanto a las acciones temporizadas, introducen pausas específicas entre ciertas operaciones para garantizar un sellado óptimo y sin desperdicios. Estos retardos se configuran de acuerdo con las necesidades del proceso y se controlan con precisión para maximizar la eficiencia de la máquina empacadora. Por ejemplo, podría haber un tiempo de espera entre el cierre y apertura de la mordaza vertical, así como un tiempo específico para el corte del paquete.

En la metodología de programación con GRAFCET, se sigue un proceso estructurado que implica varios pasos. Este proceso se ilustra visualmente en la Figura 6, que muestra la representación de los procesos de la máquina empacadora automatizada en la zona de árbol de CX-programmer. Esta imagen proporciona una guía visual clara de los pasos a seguir en la programación del controlador lógico programable (PLC) utilizando GRAFCET.

Figura 6. Zona de árbol de CX-programmer.

4.2.2 Implementación de la metodología en un proceso específico

Para ilustrar la aplicación de la metodología GRAFCET, se selecciona un proceso específico de la máquina empacadora automatizada, como el proceso de "Mordaza Vertical, Horizontal y Corte". En este proceso, se describen detalladamente las acciones involucradas, los dispositivos utilizados y los objetivos del proceso. El objetivo principal de este proceso es realizar el sellado óptimo de los paquetes, asegurando un empaque adecuado y seguro.

Modelado GRAFCET del Proceso

Se procede a crear un modelo GRAFCET del proceso seleccionado, representando las etapas, transiciones y acciones asociadas a cada una. Esto implica definir las condiciones de activación de las transiciones y las acciones a realizar en cada etapa. Utilizando el GRAFCET, se establece la secuencia de operaciones para el sellado óptimo de los paquetes. Las condiciones temporizadas desempeñan un papel crucial en este proceso, garantizando que cada acción se realice en el momento adecuado para lograr un sellado eficiente y preciso.

La metodología GRAFCET proporciona un marco claro y estructurado para la programación y control de procesos automatizados. En este contexto, se ha desarrollado un GRAFCET específico para el proceso de sellado horizontal, vertical y corte en una máquina empacadora automatizada. Este GRAFCET se basa en una secuencia lógica de etapas y transiciones que coordinan las diferentes acciones necesarias para completar el proceso de forma eficiente y precisa.

El GRAFCET comienza con la Etapa 0, que representa el inicio del proceso. Esta etapa se activa cuando se detecta un paquete por el sensor de color fotocelda, como se indica en la Condición de Transición. A continuación, en la Etapa 1, se lleva a cabo el arrastre controlado del paquete, permitiendo que avance uno a la vez gracias al sensor de color fotocelda, tal como se detalla en la Condición de Transición asociada.

Una vez que el paquete está en posición, se activan las Etapas 2 y 3 para el sellado horizontal y vertical, respectivamente. Estas etapas están controladas por condiciones de temporización para garantizar un sellado adecuado, como se indica en las respectivas Condiciones de Transición.

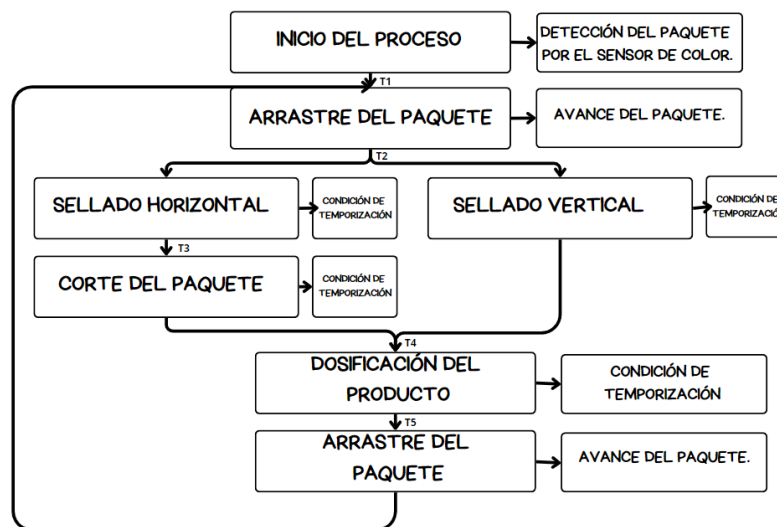
Después del sellado horizontal, en la Etapa 4 se realiza el corte del paquete, controlado también por una condición de temporización. Una vez completado el proceso de sellado y corte,

se procede a la Etapa 5 para la dosificación del producto en el paquete. Luego, en la Etapa 6, se realiza otro arrastre controlado del paquete para avanzar al siguiente, activado por la detección del avance del paquete.

Finalmente, en la Etapa 7, se reinicia el proceso para el siguiente paquete. Esta secuencia de operaciones se repite de manera continua para garantizar un flujo de producción eficiente y continuo.

Este GRAFCET se puede visualizar de manera representativa en la Figura 7, donde se muestra gráficamente la secuencia de etapas y transiciones que componen el proceso de sellado horizontal, vertical y corte en la máquina empacadora automatizada. La figura proporciona una comprensión visual clara de la estructura y la secuencia de operaciones del GRAFCET, facilitando la implementación y supervisión del proceso en el entorno industrial.

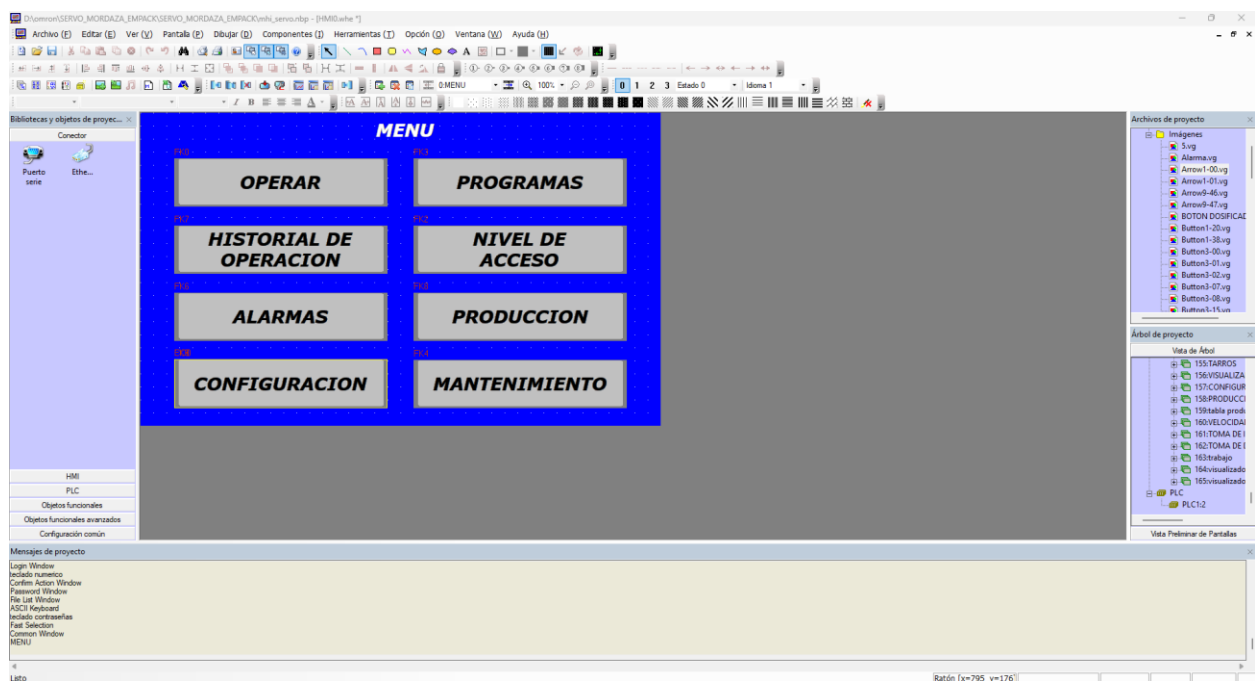
Figura 7. Representación del GRAFCET del Proceso de Sellado Horizontal, Vertical y Corte



4.2.3 NB Designer

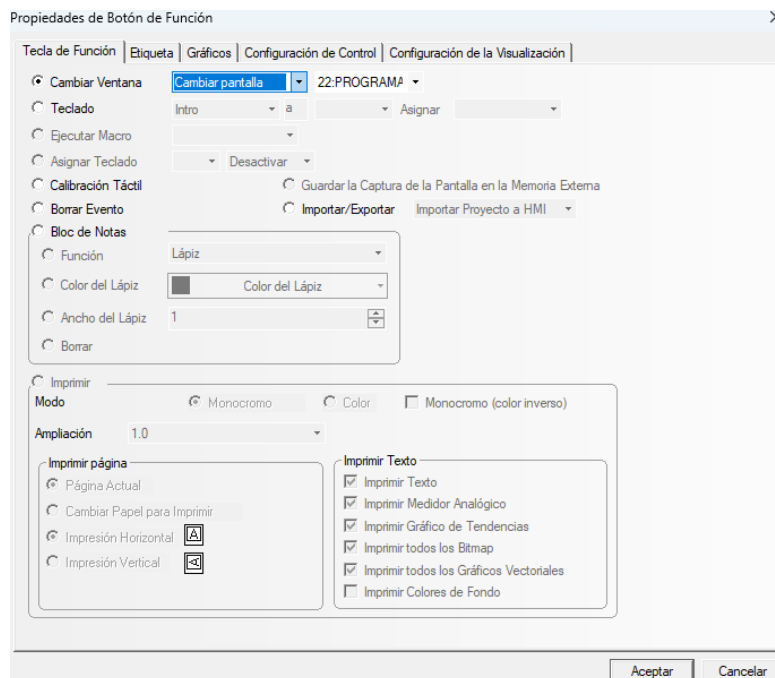
La Figura 8 presenta la interfaz de NB Designer, una herramienta de desarrollo de software diseñada para crear interfaces de usuario intuitivas y eficientes para los controladores de la serie NB de Omron. NB Designer proporciona un entorno de desarrollo integrado (IDE) que permite a los usuarios diseñar y personalizar pantallas táctiles para una variedad de aplicaciones industriales y de automatización. Esta herramienta juega un papel crucial en la configuración y visualización de la interfaz de usuario de los controladores, permitiendo una interacción efectiva y un monitoreo en tiempo real de los procesos automatizados.

Figura 8. *Interfaz de NB Designer.*



En la Figura 9 se ilustra el proceso de configuración de botones en pantalla utilizando NB Designer. Esta herramienta permite a los usuarios diseñar y personalizar los botones de la interfaz de usuario según las necesidades específicas del proyecto. Los botones desempeñan un papel crucial en la interacción del usuario con el sistema automatizado, ya que proporcionan una forma intuitiva de activar diversas funciones y comandos. La capacidad de configurar los botones de manera flexible y eficiente en NB Designer facilita la creación de interfaces de usuario ergonómicas y fáciles de usar para una amplia gama de aplicaciones industriales y de automatización. En la siguiente sección, se explorarán en detalle las funcionalidades y opciones disponibles para la configuración de botones en NB Designer, así como su impacto en la usabilidad y el rendimiento del sistema automatizado.

Figura 9. *Configurar botones en pantalla.*



Adaptado de [2].

La Figura 10 presenta un ejemplo visual de un fallo en pantalla utilizando NB Designer. Esta herramienta permite a los usuarios configurar alarmas y efectos visuales que alertan al usuario sobre condiciones anormales o fallos en el sistema automatizado. Los fallos en pantalla son críticos para la supervisión y el mantenimiento efectivo de los procesos industriales, ya que proporcionan una retroalimentación clara sobre la situación del sistema y ayudan a los operadores a identificar y abordar rápidamente cualquier problema.

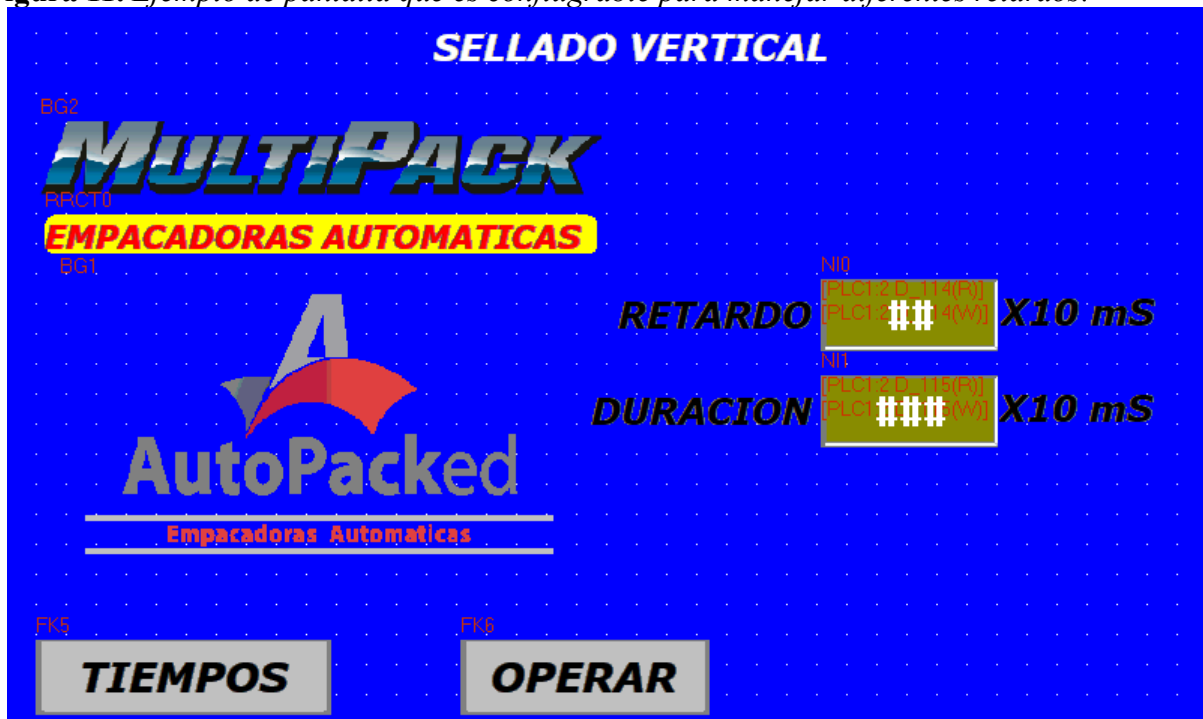
Figura 10. Ejemplo de fallo en pantalla.



La Figura 11 presenta un ejemplo de pantalla configurable en NB Designer, diseñada para manejar diferentes retardos en un sistema automatizado. NB Designer ofrece herramientas avanzadas que permiten a los usuarios personalizar la interfaz de usuario según las necesidades específicas del proceso industrial. En este ejemplo, se muestra cómo la pantalla puede adaptarse

para ajustar y controlar diversos retardos, lo que proporciona una mayor flexibilidad y precisión en la configuración del sistema. La capacidad de configurar la pantalla para manejar diferentes retardos es esencial para optimizar el rendimiento y la eficiencia del proceso, ya que permite una adaptación rápida a cambios en las condiciones operativas o requisitos del sistema.

Figura 11. Ejemplo de pantalla que es configurable para manejar diferentes retardos.



Adaptado de [2].

4.3 Ensamblaje de elementos mecánicos

Realizar el ensamblaje de elementos mecánicos que forman parte de las máquinas empacadoras, asegurando su correcto funcionamiento y compatibilidad con los sistemas eléctricos.

4.3.1 Multicabezal

La Figura 12 presenta un dispositivo multicabeza, utilizado en sistemas de automatización industrial para realizar múltiples tareas de manera simultánea o secuencial. Este tipo de dispositivos son comunes en aplicaciones donde se requiere realizar operaciones repetitivas o coordinadas en varios puntos del proceso. La Figura proporciona una representación visual del diseño y la disposición de las cabezas del dispositivo, así como de sus componentes asociados.

Figura 12. *Dispositivo Multicabeza.*



Tomado de [2].

4.3.2 Principio de operación del multicabezal

Alimentación

El proceso de alimentación del multicabezal comienza con la entrega del producto por parte del transportador al embudo de almacenamiento. Desde allí, el producto se distribuye a través de una serie de bandejas vibratorias que forman parte del sistema. La vibración generada por el cono

superior facilita el movimiento y la distribución uniforme del producto a lo largo de las bandejas.

Este proceso asegura una alimentación constante y eficiente al multicabezal

Distribución

"Una vez que el producto alcanza las bandejas vibratorias, se distribuye uniformemente en cada una de ellas mediante la vibración controlada. Posteriormente, el producto se desplaza desde las bandejas hasta la tolva de alimentación mediante vibración lineal, garantizando una transferencia suave y uniforme. Una vez que la combinación previa en la tolva de pesaje se completa, la puerta de la tolva de alimentación se abre, permitiendo que el producto caiga en la tolva de pesaje para el próximo ciclo de pesaje y combinación. Este proceso se ejecuta de manera precisa y coordinada para garantizar una alimentación constante y precisa al multicabezal.

La Figura 13 ilustra el proceso de distribución del producto en el multicabezal mediante vibradores controlados. La vibración controlada garantiza una distribución uniforme del producto, lo que es esencial para mantener la precisión y la consistencia en el proceso de dosificación.

Figura 13. *Distribución del multicabezal mediante vibradores controlados.*



Combinación

El CPU del sistema utiliza los datos de peso recibidos de las tolvas de pesaje para calcular la combinación óptima, basándose en el peso objetivo. Utiliza varios parámetros para evaluar las combinaciones, como el Optimo y el número de Tolvas Combinadas. Por ejemplo, un valor alto en Optimo garantiza una precisión mayor en la combinación, mientras que un aumento en el número de "Tolvas Combinadas" mejora la tasa de aprobación, el sistema prioriza la combinación más cercana al peso objetivo, utilizando los parámetros configurados previamente. Si no hay una combinación calificada, y el número de tolvas combinadas alcanza el límite establecido, el producto se descarga para mantener el funcionamiento continuo de la máquina. En caso contrario, la máquina espera a que las tolvas de descarga se vuelvan a alimentar antes de realizar una nueva combinación.

Descarga

Descarga directa (configuración de tolva de distribución: 0): el producto se descarga directamente del embudo de recolección al siguiente equipo, sin almacenamiento adicional.

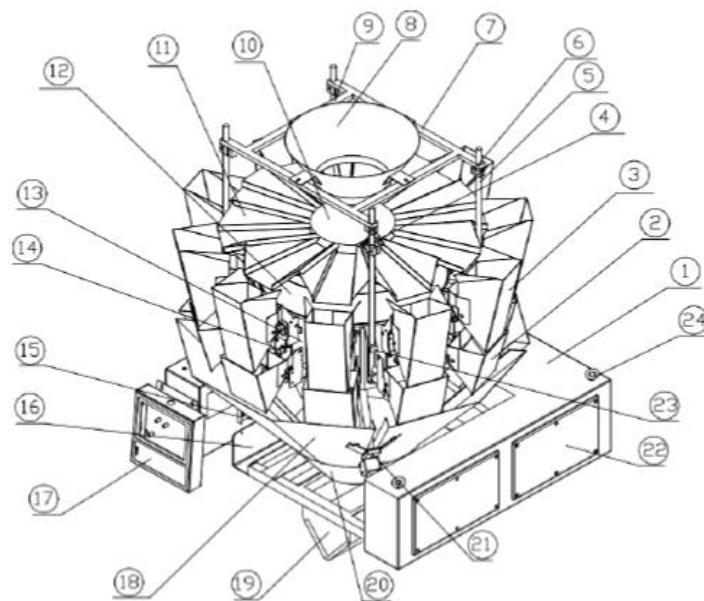
Descarga de la Tolva de Distribución (Configuración de Tolva de Distribución: 1): el producto se almacena temporalmente en la tolva de distribución después de su descarga inicial, antes de verterse en el siguiente equipo. Esta función agiliza la recolección de productos y reduce los tiempos de vaciado.

Descarga de tolva de distribución con distribución dual (configuración de tolva de distribución: 2): tras su descarga inicial, el producto se almacena en la tolva de distribución y luego se distribuye a dos equipos subsiguientes según la señal de vaciado. Esta opción aprovecha la alta velocidad de las pesas multicabecal para una utilización óptima.

Tolva de distribución con autoclasificación (configuración de tolva de distribución: 3): después de la descarga inicial, el producto se almacena en la tolva de distribución. Si el peso del producto no cumple con los criterios establecidos, el motor de auto-clasificación abre la puerta correspondiente para dirigir el producto hacia el canal de productos no calificados. Esta función garantiza la calidad del producto al separar los productos no conformes."

La Figura 14 muestra la estructura del multicabezal, un componente fundamental en los sistemas de dosificación y pesaje en la industria alimentaria y de envasado. El multicabezal se utiliza para dosificar productos de manera precisa y eficiente, garantizando una distribución uniforme en los envases. Esta figura proporciona una representación visual detallada de la disposición y funcionamiento interno del multicabezal, mostrando cómo está compuesto por múltiples cabezas dosificadoras que trabajan en conjunto para lograr una dosificación precisa y rápida.

Figura 14. *Estructura del multicabezal.*



Tomado de [2].

La Figura 15 presenta una fotografía real que muestra la estructura del multicabezal, un componente esencial en los sistemas de dosificación y pesaje en la industria alimentaria y de envasado. Esta imagen proporciona una representación visual auténtica de la disposición y el diseño físico del multicabezal, permitiendo una comprensión más completa de su funcionamiento y configuración. Al mostrar una imagen real del multicabezal, los usuarios pueden apreciar mejor su tamaño, forma y disposición de las cabezas dosificadoras.

Figura 15. *Estructura multicabezal (Fotografía Real).*



La Tabla 3 presenta una lista detallada de las partes que componen el multicabezal, un componente esencial en los sistemas de dosificación y pesaje en la industria de envasado. Estas partes están estrechamente relacionadas con la estructura representada en la Figura 14, que ofrece una visualización detallada de la disposición y el diseño interno del multicabezal.

Tabla 3. *Partes que componen el multicabezal.*

No.	Descripción
1	Marco de maquina
2	Tolva de pesaje
3	Tolva de alimentación
4	Sensor de nivel
5	Poste de soporte
6	Abrazaderas
7	Soporte superior 1
8	Embudo de alimentación
No.	Descripción
9	Soporte superior 2
10	Bandeja vibratoria principal
11	Bandeja vibratoria lineal
12	Cubierta impermeable
13	Solenoides
14	Biela
15	Soporte inferior
16	Pizarra de tolva de distribución
17	Panel de control
18	Canal de descarga
19	Tolva de distribución
20	Embudo de descarga
21	Soporte de vertedero
22	Cubierta de base
23	Soporte de poste inferior
24	Anillo de manejo
25	Impresora
26	Placa de hoyuelo
27	Dispositivo de desvío
28	Cono superior Rotatorio

4.3.2 Elevador de cangilones

La Figura 16 presenta un elevador de cangilones, un componente esencial en los sistemas de transporte y manejo de materiales a granel en la industria. Este dispositivo se utiliza para elevar y transportar materiales a granel de manera eficiente y continua, facilitando su movimiento vertical

a lo largo de un proceso de producción o almacenamiento. La figura proporciona una representación visual del diseño y funcionamiento del elevador de cangilones, mostrando cómo los cangilones están dispuestos en una cinta o cadena para recoger y transportar los materiales.

Figura 16. *Elevador de cangilones.*



Tomado de [2].

Especificaciones técnicas:

- Construcción en acero inoxidable
- Dual Cadenas motorizado de acero inoxidable

- Altura de descarga: 320 cm, otras dimensiones bajo pedido.
- Diámetro de salida del embudo de apertura: 177.8 mm
- Tolva de entrada de producto equipada con descarga vibratoria lineal (con controlador de frecuencia ajustable)
- Producto Capacidad de la tolva: +/- 60 Litros
- Cubos de polipropileno blancos para transportar el producto.
- Volumen cangilón total: +/- 0,65 litros
- Marca de relés OMRON
- Equipado con interruptores de seguridad de bloqueo (desactiva automáticamente el ascensor si se abre la puerta de acceso)
- Dimensiones de la máquina: 3632.2mm Longitud x 812.8mm Ancho x 3860.8mm Alto
- Voltaje: 220V / 3Ph / 60Hz

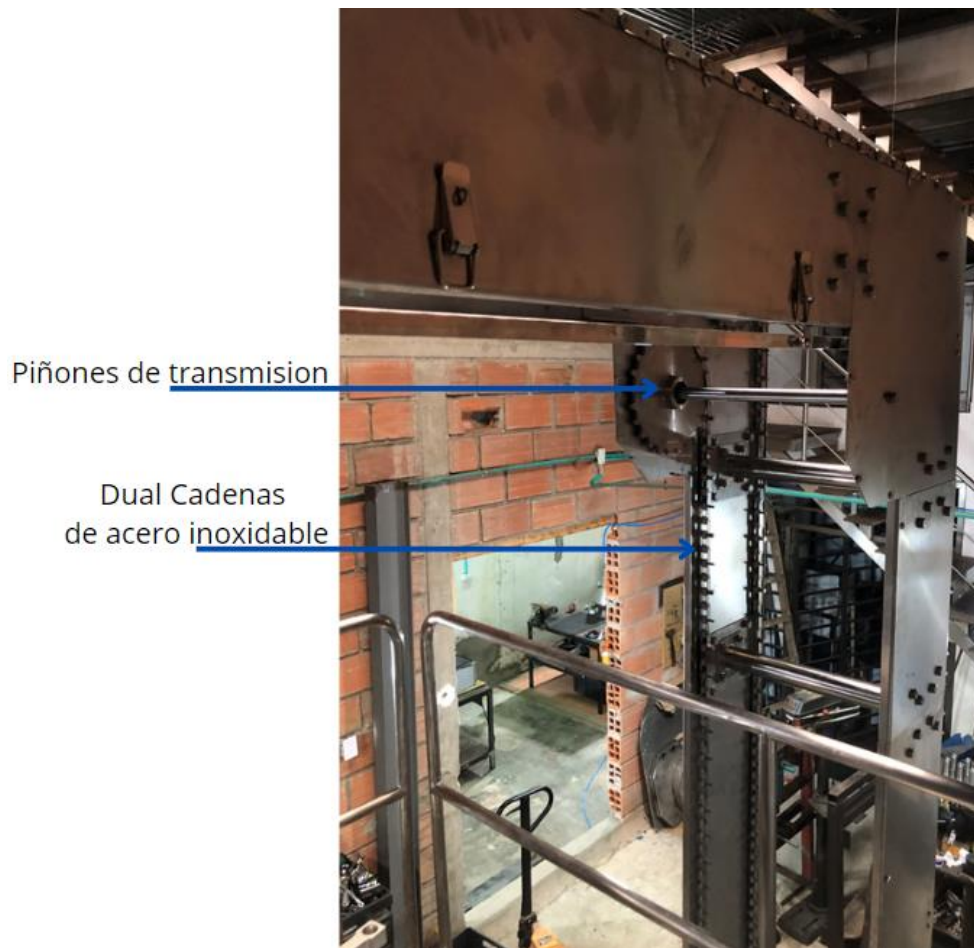
Montaje de elevador de cangilones

Montaje de la estructura: la estructura del elevador de cangilones se monta siguiendo las especificaciones del fabricante y las normativas de seguridad. Esto incluye la instalación de las columnas verticales, los soportes horizontales y las vigas de refuerzo. Además, se montan las Dual Cadenas motorizadas de acero inoxidable, que proporcionan el mecanismo de tracción para mover la cinta transportadora. Estas cadenas se colocan en paralelo a lo largo de la estructura y se conectan al motor para asegurar un movimiento suave y confiable de la cinta transportadora

La Figura 17 muestra el montaje de la estructura para el elevador de cangilones, destacando los piñones de transmisión y las cadenas de acero duales que son componentes fundamentales en su funcionamiento. Esta representación visual ofrece una visión detallada de cómo se ensamblan los diferentes elementos para formar el sistema de elevación de materiales a granel. Los piñones

de transmisión y las cadenas de acero juegan un papel crucial en la transmisión de movimiento y la operación eficiente del elevador de cangilones.

Figura 17. Montaje de estructura para el levador de cangilones.



- Instalación de los cangilones y la cinta transportadora: una vez que la estructura principal está montada, se procede a instalar los cangilones en la cinta transportadora. Los cangilones se fijan a la cinta en intervalos regulares y se aseguran correctamente para garantizar una operación fluida y segura.

La Figura 18 ilustra el montaje de cangilones en el elevador, mostrando cómo se dispone y ensambla cada cangilón en la estructura del elevador de cangilones. Esta representación visual proporciona una vista detallada de cómo los cangilones están fijados y distribuidos a lo largo de la cadena o banda del elevador. El montaje preciso de los cangilones es fundamental para garantizar un transporte eficiente y continuo de materiales a granel en procesos industriales.

Figura 18. *Montaje de cangilones en el elevador.*



- **Montaje del motor y variador de velocidad:** el motor que controla el elevador de cangilones se monta en una posición estratégica, generalmente en la parte superior de la estructura. Se conecta al variador de velocidad, que permite ajustar la velocidad de la cinta transportadora según sea necesario. El variador de velocidad es crucial para controlar el flujo de material y optimizar el rendimiento del elevador.
- **Conexión eléctrica:** una vez que el motor y el variador de velocidad están instalados, se realiza la conexión eléctrica adecuada. Esto implica conectar el motor al variador de velocidad y luego al suministro de energía eléctrica. Además, se instala un botón de arranque para iniciar y detener el funcionamiento del elevador de cangilones de manera segura y conveniente.
- **Pruebas y ajustes:** una vez completado el montaje, se realizan pruebas para asegurarse de que el elevador de cangilones funcione correctamente. Se ajustan los parámetros de velocidad y cualquier otro ajuste necesario para optimizar el rendimiento del equipo.

5. Resultados

5.1 Montaje y ensamblado de sistemas eléctricos

Montaje preciso de componentes eléctricos: Has demostrado habilidades para realizar un montaje meticuloso y exacto de los diferentes componentes eléctricos necesarios para el funcionamiento de las máquinas empacadoras. Este resultado es crucial para garantizar la fiabilidad y eficiencia de los sistemas eléctricos.

Conexiones eléctricas seguras y funcionales: todas las conexiones eléctricas han sido realizadas de manera segura y cumpliendo con los estándares requeridos. Esto garantiza un

funcionamiento seguro de las máquinas empacadoras y reduce el riesgo de fallas o accidentes relacionados con la electricidad.

Integración exitosa de sistemas eléctricos: los sistemas eléctricos ensamblados se han integrado de manera efectiva con otros componentes de las máquinas empacadoras. Esta integración es esencial para asegurar un funcionamiento coordinado y sin problemas de todos los aspectos del equipo.

Verificación de funcionamiento: se ha llevado a cabo una verificación exhaustiva del funcionamiento de los sistemas eléctricos una vez completado el montaje y ensamblado. Esta verificación asegura que todos los componentes estén funcionando correctamente y que el sistema en su conjunto opere de manera eficiente y confiable. Además, se verificó exhaustivamente el funcionamiento de los sistemas eléctricos, con la supervisión y confirmación del ingeniero Jorge Leal, garantizando así su correcto desempeño y confiabilidad.

La Figura 19 representa la validación del funcionamiento de la máquina, un paso crucial en el proceso de desarrollo y puesta en marcha de sistemas industriales. Esta imagen proporciona una visión visual de cómo se lleva a cabo la verificación y prueba de funcionamiento de la máquina, donde se evalúa su rendimiento y capacidad para cumplir con los requisitos de producción y calidad establecidos. La validación del funcionamiento garantiza que la máquina opere de manera segura, eficiente y confiable en condiciones reales de operación.

Figura 19. *Validación de funcionamiento de la máquina.*



5.2 Manipulación y programación de controladores lógicos programables (PLC)

La manipulación y programación de los Controladores Lógicos Programables (PLC) se llevó a cabo con éxito, centrando los ajustes en los retardos para garantizar un sellado adecuado de los paquetes de libra. Estas modificaciones específicas permitieron optimizar el proceso de sellado, asegurando la integridad y calidad de los productos empacados. Esto se puede observar en la tabla. La tabla presenta los resultados de pruebas realizadas para evaluar el efecto de los retardos en el sellado horizontal y vertical durante el proceso de ensamblado de las máquinas empacadoras. Estas pruebas se llevaron a cabo con el objetivo de determinar la configuración

óptima de los retardos para garantizar un sellado efectivo de los paquetes de producto. Cada fila de la tabla corresponde a una prueba individual, donde se variaron los retardos en ambos ejes y se registró si ocurrieron fallos en el sellado horizontal y vertical. Los resultados proporcionan información valiosa sobre cómo ajustar los retardos para optimizar el proceso de sellado y mejorar la eficiencia de las máquinas empacadoras.

Tabla 4. *Resultado de pruebas de retardos en los sistemas de sellado.*

Prueba	Retardo sellado horizontal (x10 ms)	Retardo sellado vertical (x10 ms)	Falla el sellado horizontal	Falla el sellado vertical	Falla en el corte cuchilla
1	0	0	SI	SI	SI
2	5	5	SI	SI	SI
3	10	10	SI	SI	SI
4	15	15	SI	SI	SI
5	20	20	SI	SI	SI
6	25	25	SI	SI	SI
7	30	30	SI	SI	SI
8	35	35	SI	SI	SI
9	40	40	SI	SI	SI
10	45	45	SI	SI	SI
11	50	50	SI	SI	SI
12	55	55	SI	SI	SI
13	60	60	SI	SI	SI
14	65	65	SI	SI	SI
15	70	70	SI	SI	SI
16	75	75	SI	SI	SI
17	80	80	NO	SI	NO
18	80	75	NO	SI	NO
19	80	70	NO	SI	NO
20	80	65	NO	SI	NO
21	80	60	NO	SI	NO
22	80	55	NO	SI	NO
23	80	50	NO	SI	NO
24	80	45	NO	SI	NO
25	80	40	NO	SI	NO
26	80	35	NO	SI	NO
27	80	30	NO	NO	NO

Los primeros 16 intentos de las pruebas de retardo para el sellado horizontal y vertical mostraron consistentemente fallos en ambas etapas de sellado, independientemente del valor del retardo. Esto indica una discrepancia en la sincronización entre el sellado horizontal y vertical, lo que resultó en un cierre inadecuado de los paquetes en todas las pruebas. En particular, en la prueba 17, se observó que el fallo en el sellado vertical persistía a pesar de varios intentos con diferentes valores de retardo. Este hallazgo destacó la necesidad de realizar ajustes específicos para corregir este problema. Se determinó que el exceso de retardo en el sellado vertical estaba interfiriendo con la sincronización del proceso, lo que resultaba en un cierre inadecuado de los paquetes. Como solución, se optó por disminuir el retardo en el sellado vertical hasta el punto de sincronización con el sellado horizontal. Esta acción corrigió los fallos persistentes en el sellado vertical y mejoró la coherencia del proceso en general. Los ajustes realizados fueron fundamentales para optimizar la calidad del sellado de los paquetes y asegurar un funcionamiento adecuado del sistema en su conjunto. Además, estos resultados resaltan la importancia de una cuidadosa calibración de los tiempos de retardo para garantizar la eficacia y consistencia del proceso de sellado.

5.3 Ensamblaje de elementos mecánicos

5.3.1 Resultados del montaje y funcionamiento del multicabezal

Montaje preciso y funcionamiento efectivo: se logró un montaje preciso de todos los componentes del multicabezal, asegurando su correcto funcionamiento. Esto garantiza una operación sin problemas y una distribución uniforme del producto a lo largo de las bandejas vibratorias.

Distribución uniforme del producto: el proceso de distribución del producto se realizó de manera eficiente, asegurando una distribución uniforme en todas las bandejas vibratorias. Esto es crucial para garantizar una alimentación constante y precisa al multicabezal.

Combinación óptima: el CPU del sistema calculó de manera efectiva la combinación óptima de productos basándose en los datos de peso recibidos de las tolvas de pesaje. Se priorizó la combinación más cercana al peso objetivo, lo que asegura una precisión y consistencia en el proceso de combinación.

Calibración de celda de carga calibración de una llave

La Figura 20 muestra el proceso de prueba manual de selección y pesaje de todas las tolvas, una etapa crítica en la evaluación del rendimiento y la precisión de un sistema de dosificación automatizado. En esta representación visual, se observa cómo se lleva a cabo la selección y pesaje manual de cada tolva, permitiendo verificar la exactitud y consistencia en la dosificación de productos. Este proceso de prueba manual es fundamental para identificar posibles desviaciones o discrepancias en el sistema de dosificación y realizar ajustes necesarios para garantizar un rendimiento óptimo.

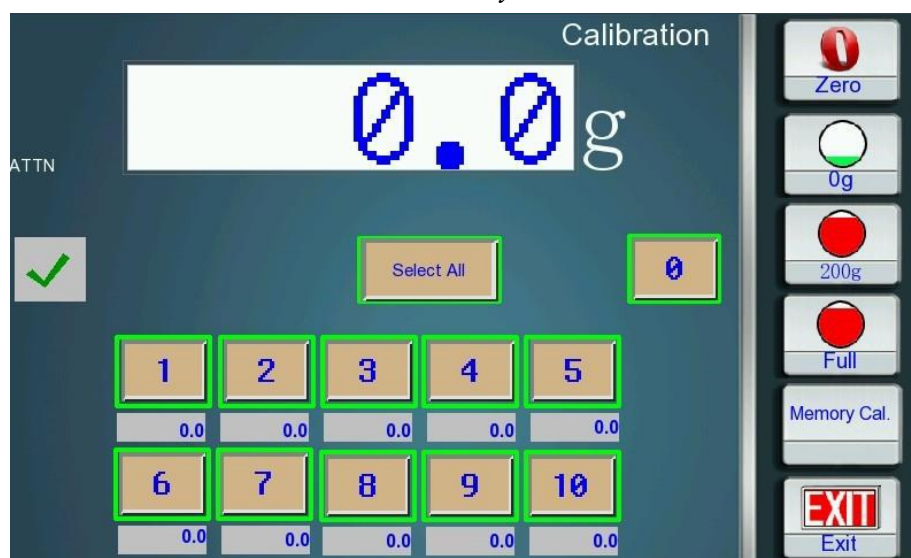
Figura 20. Proceso de prueba manual: Selección y pesaje de todas las tolvas.



En la Figura 21 se muestra el proceso de calibración, donde se lleva a cabo la lectura y selección de todas las tolvas de pesaje. Esta representación visual destaca la secuencia de pasos necesarios para realizar una calibración precisa, comenzando con la selección de todas las tolvas de pesaje y luego procediendo a la lectura de los valores de peso. La calibración garantiza la exactitud y consistencia en la dosificación de productos, lo que es crucial para mantener la calidad y eficiencia en los procesos industriales.

1. Ingrese al menú de prueba manual, presione "Seleccionar todo" para elegir todas las tolvas de pesaje, luego presione "Pesar tolva" para vaciar productos.

Figura 21. Procedimiento de calibración: Lectura y selección de todas las tolvas.

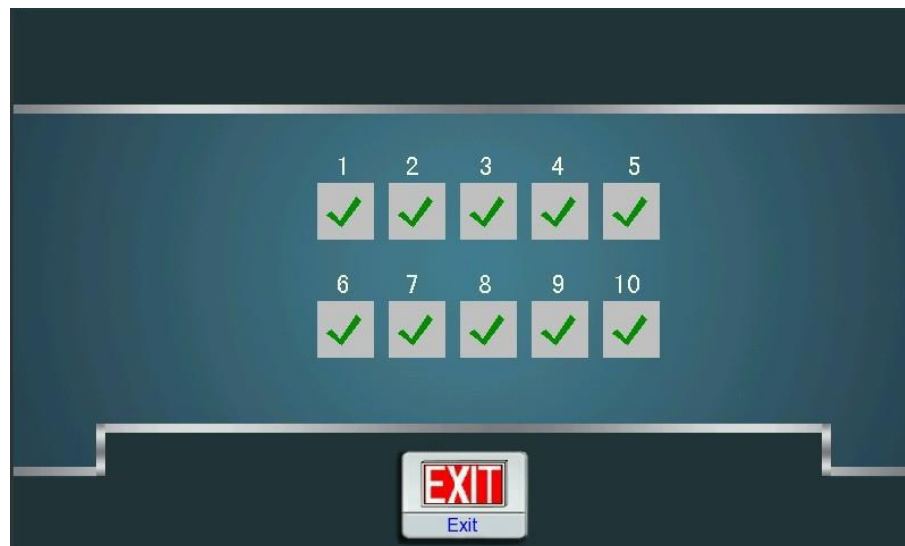


En la Figura 22 se representa el procedimiento de ajuste de valor cero, que implica la confirmación y retorno al menú de calibración después de realizar la lectura de peso de cada tolva. Esta imagen muestra cómo, al ingresar al menú de calibración y presionar "leer", se visualiza el peso actual de cada tolva. Posteriormente, al seleccionar todas las tolvas y realizar el ajuste de

valor cero, se confirma la operación y se retorna al menú de calibración. Aunque los pesos actuales pueden no ser idénticos, este proceso no afecta la calibración, ya que se ajusta el valor cero para cada tolva individualmente.

2. Ingrese al menú Calibración, presione "leer", luego presione "Seleccionar todo", mostrará el peso actual de cada tolva debajo de cada número de tolva, puede que no sean los mismos, pero no afectará la calibración

Figura 22. *Ajuste de valor cero: Confirmación y retorno al menú de calibración.*

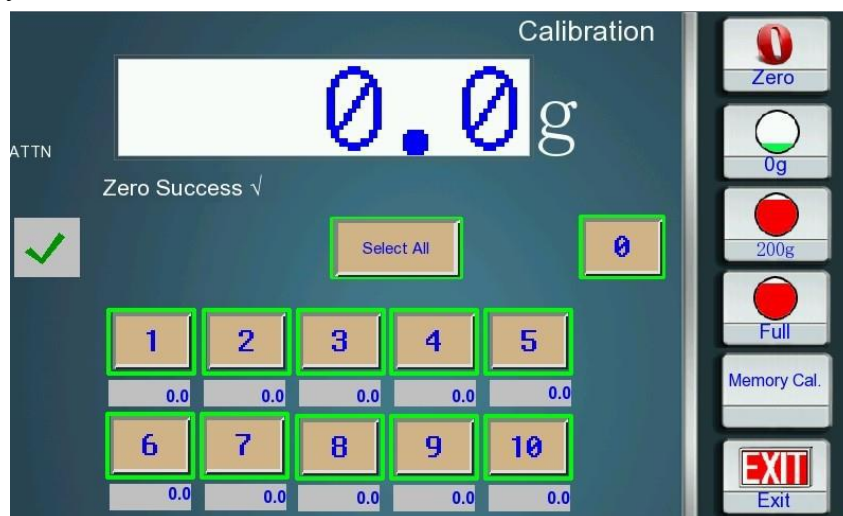


En la Figura 23 se presenta la confirmación de calibración exitosa, donde se detalla el procedimiento para realizar el ajuste de valor cero y verificar la calibración de las tolvas. En esta representación visual, se indica que se debe presionar "Valor Cero" y esperar a que todos los números de la tolva en el monitor muestren un símbolo de verificación (✓). Una vez que se completa este proceso y se confirma que todas las tolvas están calibradas correctamente, se procede

a presionar "Salir" para retornar al menú de calibración. Esta confirmación garantiza que la calibración se haya realizado de manera precisa y exitosa, lo que es esencial para asegurar la exactitud en la dosificación de productos en entornos industriales.

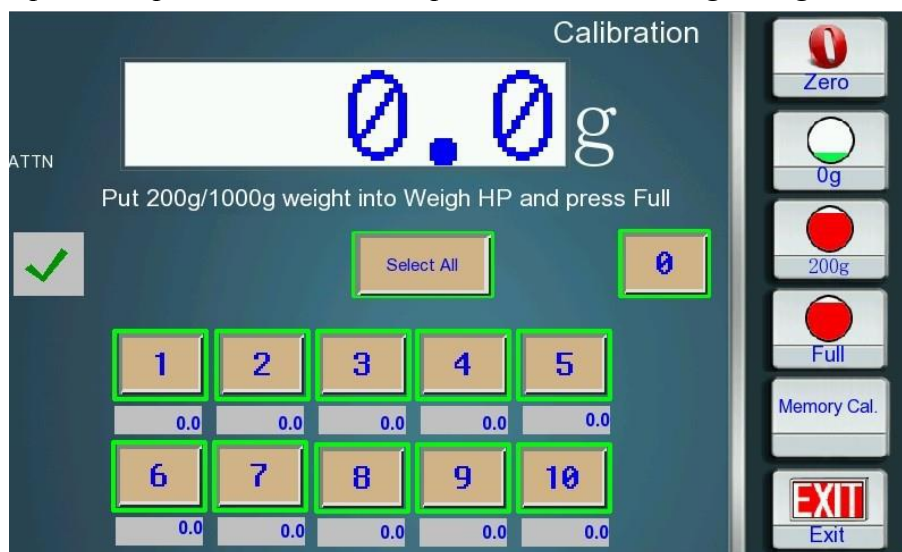
3. Presione “Valor Cero” y espere todos los números de la tolva en el monitor “✓”. Presione “Salir” para retornar al menú de calibración.

Figura 23. *Confirmación de calibración exitosa.*



En la Figura 24 se presenta este proceso, donde se indica que el menú de calibración mostrará "Cero calibrado con éxito" una vez que se haya completado la calibración inicial. Esta representación visual destaca la importancia de la preparación para la calibración con un peso estándar de 200g/1000g, lo que garantiza una referencia precisa para la calibración de las tolvas. Al utilizar un peso estándar conocido, se verifica y ajusta el sistema de dosificación para asegurar la exactitud en la dosificación de productos

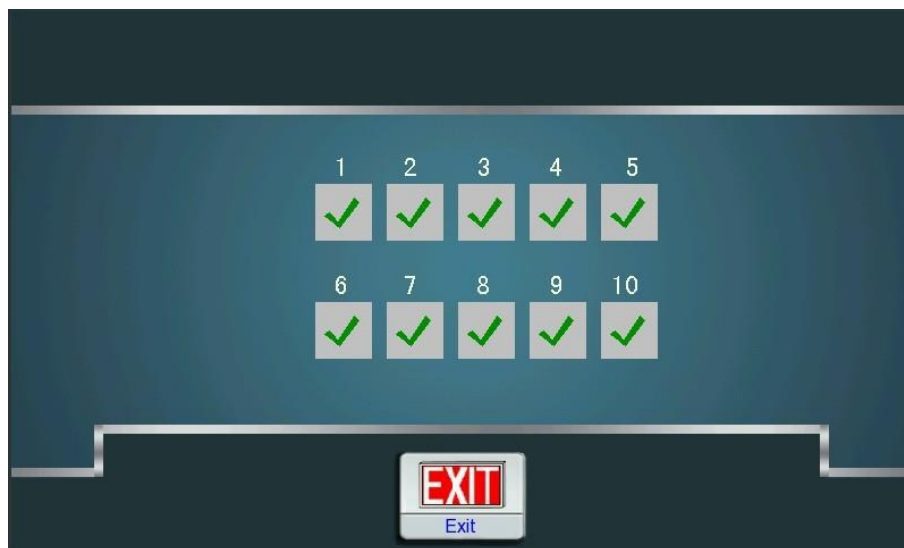
4. El menú de calibración mostrara “Cero calibrado con éxito”

Figura 24. Preparación para calibración con peso estándar de 200g/1000g.

En la Figura 25 se representa este proceso, donde se indica que después de 1 segundo de espera, se mostrará "Poner 200g/1000g de peso estándar y presione completo". Este mensaje indica al operador que debe colocar 200g de peso estándar en cada tolva de pesaje. Este paso es fundamental para calibrar las tolvas y garantizar una dosificación precisa de productos. Una vez que se ha colocado el peso estándar en cada tolva, se presiona "completo" para finalizar la calibración. La Figura 25 ilustra la confirmación de una calibración exitosa con peso estándar de 200g, lo que asegura la precisión y fiabilidad del sistema de dosificación.

- Después de 1 segundo, se mostrará "Poner 200g/1000g de peso estándar y presione completo". Coloque 200g de peso estándar en cada tolva de pesaje.

Figura 25. Calibración exitosa con peso estándar de 200g.



6. Luego presione “200g”, la 200g tecla de calibración es exitosa. Presione “Salir” para retornar a menú de calibración.

Descarga Eficiente: Se implementaron diferentes configuraciones de descarga, como la descarga directa y la descarga de la tolva de distribución, para adaptarse a las necesidades específicas del proceso de envasado. Esto garantiza una descarga eficiente y oportuna del producto para su posterior procesamiento.

5.3.2 Resultados del montaje y funcionamiento del elevador de cangilones

Montaje Estructural Exitoso: Se llevó a cabo un montaje estructural preciso y conforme a las especificaciones del fabricante. Esto asegura la estabilidad y durabilidad del elevador de cangilones durante su operación.

Instalación Correcta de Componentes: Todos los cangilones y la cinta transportadora fueron instalados correctamente, garantizando un movimiento suave y seguro del material a lo

largo del elevador. Además, el motor y el variador de velocidad se montaron de manera adecuada, permitiendo un control preciso de la velocidad de la cinta transportadora.

Conexión Eléctrica Segura: Se realizó una conexión eléctrica adecuada, asegurando el funcionamiento seguro y confiable del motor y el variador de velocidad. Se verificó que todos los sistemas estuvieran correctamente conectados y que los interruptores de seguridad estuvieran operativos.

Pruebas y Ajustes Exitosos: Se llevaron a cabo pruebas exhaustivas para asegurar el funcionamiento correcto del elevador de cangilones. Se realizaron ajustes en los parámetros de velocidad y cualquier otro ajuste necesario para optimizar el rendimiento del equipo.

La estructura terminada del elevador y el multicabezal es el resultado final de un proceso de montaje meticuloso y preciso. En la Figura 26 se muestra esta estructura completa, que incluye tanto el elevador de cangilones como el multicabezal. Esta representación visual resalta el aspecto final del sistema, donde se observa la integración de ambas partes para formar una unidad funcional. La estructura terminada representa el éxito en la implementación del sistema de dosificación automatizado, listo para su operación en entornos industriales.

Figura 26. *Estructura terminada.*



6. Conclusiones

6.1 Montaje y ensamblado de sistemas eléctricos

Montaje preciso de componentes eléctricos: la habilidad demostrada para realizar un montaje meticuloso de los componentes eléctricos es esencial para la fiabilidad y eficiencia de las máquinas empacadoras.

Conexiones eléctricas seguras: la correcta realización de las conexiones eléctricas garantiza un funcionamiento seguro y conforme a los estándares requeridos.

Integración efectiva de sistemas eléctricos: la integración exitosa de los sistemas eléctricos con otros componentes es crucial para un funcionamiento coordinado y sin problemas del equipo.

Verificación exhaustiva de funcionamiento: la verificación completa del funcionamiento de los sistemas eléctricos asegura que todos los componentes operen correctamente, supervisada y confirmada por un ingeniero, garantizando así su desempeño confiable.

6.2 Manipulación y programación de Controladores Lógicos Programables (PLC)

Manipulación y programación exitosa de PLC: los ajustes en los retardos para garantizar un sellado adecuado demuestran una manipulación y programación efectiva de los PLC.

Optimización del proceso de sellado: los resultados de las pruebas de retardos muestran cómo ajustarlos para optimizar el sellado, mejorando la eficiencia de las máquinas empacadoras.

Corrección de problemas de sincronización: la identificación y corrección de problemas de sincronización entre el sellado horizontal y vertical son fundamentales para garantizar un sellado adecuado de los paquetes.

6.3 Ensamblaje de elementos mecánicos

Montaje preciso y funcionamiento efectivo del multicabezal: el montaje adecuado asegura un funcionamiento sin problemas y una distribución uniforme del producto.

Distribución uniforme del producto: la eficiente distribución garantiza una alimentación constante y precisa al multicabezal.

Combinación óptima de productos: la combinación óptima basada en datos de peso asegura precisión y consistencia en el proceso de combinación.

Descarga eficiente: la implementación de diferentes configuraciones de descarga asegura una descarga oportuna y eficiente del producto.

Montaje estructural exitoso: el montaje adecuado asegura la estabilidad y durabilidad del elevador de cangilones.

Conexión eléctrica segura y pruebas exitosas: las conexiones eléctricas adecuadas y las pruebas exhaustivas garantizan un funcionamiento seguro y confiable del equipo.

6.4 Calibración de celda de carga y llave

Calibración precisa: el proceso detallado de calibración garantiza la precisión en la medición del peso de los productos.

Eficiencia en el proceso de calibración: los pasos definidos y la verificación exitosa aseguran una calibración efectiva y confiable del sistema.

Referencias

- [1]. Santiago, H. (2018). Herramientas para la gestión de calidad. Editorial Círculo Rojo.
- [2]. “Multipack,” Empacadorasmultipack.com, 2024 [En línea]. Disponible en: <https://www.empacadorasmultipack.com/multipack.html> [Accedido: 20-marzo-2024].
- [3]. Vladimir, C. (2023). IMPLEMENTAR UN EVENTO KAIZEN MEJORA ENFOCADA PARA REDUCIR EL TIEMPO IMPRODUCTIVO EN UNA LÍNEA DE EMPAQUES. Uaemex.mx. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/138131>
- [4]. Moso, M. (2021). An application of lean six sigma techniques to accelerate the implementation of Kaizen in the film packaging industry. Dut.ac.za. <https://hdl.handle.net/10321/3644>
- [5]. Botti, L., Mora, C., & Regattieri, A. (2017). Integrating ergonomics and lean manufacturing principles in a hybrid assembly line. Computers & Industrial Engineering, 111, 481–491. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.05.011>
- [6]. Jain, A. O., Lad, A. B., & Tandel, D. R. (2015, May). The Kaizen Philosophy for Industries: A Review Paper. In National Conference on Recent Advances in Engineering for Sustainability.
- [7]. Márquez, P. B. (2014). Operatividad con sistemas mecánicos, hidráulicos, neumáticos y eléctricos de máquinas e instalaciones para la transformación de polímeros y su mantenimiento. QUIT0209. IC Editorial.
- [8]. A review on the state-of-the-art of surface finishing processes and related ISO/ASTM standards for metal additive manufactured components. (2021). Virtual and Physical Prototyping. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/17452759.2020.1830346>

- [9]. Nurhanim Saadah Abdullah, Rahman, A., Sri Sumarwati, Mohd Hasril Amiruddin, Ismail, M., Aziz, A., & Hassan. (2021). Programmable Logic Controller (PLC) Automation Control Learning Kit Programmed: Using The CX-Programmer Software.
- [10]. “MOTOR TRIFASICO ABB,” materiales electricos, productos electricos en colombia JD ELECTRICOS, Nov. 25, 2021. [En línea]. Disponible: <https://jdelectricos.com.co/motor-trifasico-abb-2/>. Accedido: May. 13, 2024.
- [11]. “Servomotor Mitsubishi SERVO Drive MR-JE-70AS + HJ-KS73J nuevo en caja,” eBay, 2024. [En línea]. Disponible: https://www.ebay.com/itm/Mitsubishi-SERVO-Drive-MR-JE-70AS-HJ-KS73J-Servo-Motor-New-In-Box-/254193915858?_ul=CO. Accedido: May. 13, 2024.
- [12]. “Pulsador verde Ø 22 - retorno resortenivelado - 1 NA XB5AA31 - ELECTROPARTES S.A.S,” ELECTROPARTES S.A.S, Aug. 03, 2022. [En línea]. Disponible: <https://www.electropartes.com.co/producto/pulsador-verde-o-22-retorno-resortenivelado-1-na-xb5aa31/>. Accedido: May. 13, 2024.
- [13]. “Pulsador rojo Ø 22 - retorno resorte nivelado - 1 NC XB5AA42 - ELECTROPARTES S.A.S,” ELECTROPARTES S.A.S, Aug. 03, 2022. [En línea]. Disponible: <https://www.electropartes.com.co/producto/pulsador-rojo-o-22-retorno-resorte-nivelado-1-nc-xb5aa42/>. Accedido: May. 13, 2024.
- [14]. “Parada De Emergencia,” T&C COLOMBIA S.A.S., 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.tycamerica.com/shop/product/parada-de-emergencia-13259#attr=43155>. Accedido: May. 13, 2024.
- [15]. “Muletilla Conmutadora 2 Posiciones (0-1) - Internacional de Eléctricos Iluminación S.A.S,” Internacional de Eléctricos Iluminación S.A.S., 2024. [En línea]. Disponible:

- <https://interelectricos.com.co/muletilla-y-transferencia/177/muletilla-conmutadora-2-posiciones-0-1>. Accedido: May. 13, 2024.
- [16]. “CONTROLADOR DE TEMPERATURA archivos - Suconel | Tienda electrónica | Colombia,” Suconel | Tienda electrónica | Colombia, 2024. [En línea]. Disponible: <https://suconel.com/product-tag/controlador-de-temperatura/>. Accedido: May. 13, 2024.
- [17]. “SENSOR DE COLOR Y FOTOCELDA,” Blogspot.com, May 2017. [En línea]. Disponible: <https://cofoyealna.blogspot.com/2017/05/sensor-de-color-descripcion-las-celulas.html>. Accedido: May. 13, 2024.
- [18]. “Indicador Led, Luz Piloto 22mm 12~48VDC, Verde,” Dualtronica, 2024. [En línea]. Disponible: <https://dualtronica.com/miscelanea/793-indicador-led-luz-piloto-1248vdc-verde.html>. Accedido: May. 13, 2024.
- [19]. “Pulsador negro Ø 22 - retorno resorte nivelado - 1 NA XB4BA21 - ELECTROPARTES S.A.S,” ELECTROPARTES S.A.S, Aug. 03, 2022. [En línea]. Disponible: <https://www.electropartes.com.co/producto/pulsador-negro-o-22-retorno-resorte-nivelado-1-na-xb4ba21/>. Accedido: May. 13, 2024.
- [20]. “Sensores Magnéticos | Sensores Magnéticos | Sensores Industriales | Seguridad de Máquinas, Sensores Industriales y Fontes de Alimentación | WEG - Productos,” WEG, 2024. [En línea]. Disponible: https://www.weg.net/catalog/weg/BR/es/Seguridad-de-M%C3%A1quinas%2C-Sensores-Industriales-y-Fontes-de-Alimentaci%C3%B3n/Sensores-Industriales/Sensores-Magn%C3%A9ticos/Sensores-Magn%C3%A9ticos/p/MKT_WDC_BRAZIL_SENSORS_MAGNETIC_SENSORS. Accedido: May. 13, 2024.

- [21]. “Sensor Magnético para Cilindro Neumático Modelo CS1-G | STNC 85330 – Ingecom Eléctricos SAS,” Ingecomsas.com, 2024. [En línea]. Disponible: <https://ingecomsas.com/producto/sensor-magnetico-stnc-100ma-10w/>. Accedido: May. 13, 2024.
- [22]. “LXW5-11M 1NO 1NC - Interruptor de final de carrera, tipo botón pulsador con microinterruptor : Amazon.es: Industria, empresas y ciencia,” Amazon.es, 2024. [En línea]. Disponible: <https://www.amazon.es/LXW5-11M-1NO-1NC-Interruptor-microinterruptor/dp/B0848K463Z>. Accedido: May. 13, 2024.