

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**REHABILITACIÓN, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA LÍNEA  
DE SIMULACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES DE LA CAPEIPI**

**REHABILITACIÓN, DISEÑO, DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN  
DEL SISTEMA DE ENVASADO PARA LA CADENA MEZCLADO DE  
LÍQUIDOS DENTRO DEL SISTEMA DE SIMULACIÓN DE  
PROCESOS INDUSTRIALES DE LA CAPEIPI**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO  
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN  
ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

**CARLOS DANIEL ANALUISA ATIENCIA**

**carlos.analuisa@epn.edu.ec**

**DIRECTOR: DR. GEOVANNY DANILO CHÁVEZ GARCÍA**

**danilo.chavez@epn.edu.ec**

**DMQ, abril 2024**

## **CERTIFICACIONES**

Yo, CARLOS DANIEL ANALUISA ATIENCIA declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

---

**CARLOS DANIEL ANALUISA ATIENCIA**

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por CARLOS DANIEL ANALUISA ATIENCIA, bajo mi supervisión.

---

**DR. GEOVANNY DANILO CHÁVEZ GARCÍA**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

CARLOS DANIEL ANALUISA ATIENCIA

DR. GEOVANNY DANILO CHÁVEZ GARCÍA

## DEDICATORIA

*A mis queridos padres y hermana, quienes fueron el pilar fundamental durante esta travesía académica. Su amor, apoyo incondicional y palabras de aliento me han guiado en cada paso de este camino. Sin su constante motivación y sacrificio, este logro no habría sido posible. A ustedes les dedico este trabajo con todo mi cariño y gratitud.*

## **AGRADECIMIENTO**

A mi padres, Joel y María, quienes supieron acompañarme durante esta travesía brindándome su guía y apoyo incondicional. Sus consejos, valores y enseñanzas me han permitido forjar mi carácter y convertirme en la persona que soy ahora. Espero retribuir su sacrificio y dedicación.

A mi querida hermana, Karina, por su apoyo incondicional y soporte durante esta etapa. Sus palabras de aliento y su presencia constante fueron una fuente de fortaleza para mí en momentos difíciles. Agradezco profundamente su generosidad, comprensión y amor incondicional que me han ayudado a alcanzar este logro. Su apoyo ha sido invaluable y siempre lo llevaré en mi corazón con profunda gratitud.

Al Dr. Danilo Chávez por su guía y ayuda brindada para la elaboración de este trabajo de integración curricular.

A la Ing. Jenny Haro por los consejos y ayuda prestada para el desarrollo de este trabajo.

A la Cámara de la pequeña y mediana empresa de Pichincha (CAPEIPI), en especial a la Dra. Lorena Cabezas, presidenta del sector metalmecánico, por la apertura y confianza depositada para el uso de las instalaciones y equipamiento del Centro De Diseño e Innovación Tecnológica (CEDIT), sin lo cual no hubiese sido posible el desarrollo y ejecución del presente proyecto.

A mis compañeros y amigos en especial, Bryan, David, Jorge, Marco y Cristian, con quienes he compartido gratos momentos. Ustedes han hecho que esta travesía sea más amena y memorable. Su compañía y apoyo han sido fundamentales para superar los desafíos y obstáculos presentes durante esta etapa.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES .....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	II
DEDICATORIA .....	III
AGRADECIMIENTO .....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
RESUMEN .....	IX
ABSTRACT .....	X
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 OBJETIVO GENERAL .....	2
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	2
1.3 ALCANCE .....	2
1.4 MARCO TEÓRICO .....	4
1.4.1 PROCESO INDUSTRIAL.....	4
1.4.2 PROCESO DE ENVASADO DE LÍQUIDOS .....	5
1.4.3 NECESIDAD DE UNA CADENA AUTOMATIZADA PARA EL ENVASADO DE LÍQUIDOS.....	5
1.4.3.1 Situación de las PYMES.....	6
1.4.3.2 Desafíos para las PYMES .....	7
1.4.4 PIRÁMIDE DE AUTOMATIZACIÓN.....	7
1.4.5 SISTEMA SCADA.....	8
1.4.6 COMPONENTES-HARDWARE .....	8
1.4.6.1 Sensores.....	8
1.4.6.1.1 Sensores Capacitivos .....	8
1.4.6.1.2 Sensores fotoeléctricos.....	9
1.4.6.1.3 Sensores magnéticos.....	9
1.4.6.2 Elementos finales de control .....	9
1.4.6.2.1 Actuadores.....	9
1.4.6.2.1.1 Actuadores Eléctricos .....	9
1.4.6.2.1.2 Actuadores Neumáticos .....	9
1.4.6.2.1.3 Actuadores Hidráulicos .....	10
1.4.6.2.2 Válvulas .....	10
1.4.6.2.3 Bomba centrífuga.....	10

1.4.6.2.4	Relés .....	10
1.4.6.3	Dispositivos de control.....	10
1.4.6.3.1	PLC.....	11
1.4.6.3.2	Variador de velocidad .....	11
1.4.6.4	Interfaz de comunicación DB25 8E/8S .....	11
1.4.6.5	Switch Ethernet .....	11
1.4.7	COMUNICACIÓN INDUSTRIAL: PROFINET.....	11
1.4.8	COMPONENTES-SOFTWARE.....	12
1.4.8.1	TIA PORTAL V13.....	12
1.4.8.2	Servidor OPC .....	12
1.4.8.2.1	KEPServerEX .....	12
1.4.8.2.1.1	OPC UA .....	12
1.4.8.3	TouchWin Edit Tool.....	13
1.4.8.4	Excel .....	13
1.4.8.4.1	Cliente DDE .....	13
1.4.8.4.2	Macros en Excel .....	13
1.4.9	TRAZABILIDAD .....	13
2	METODOLOGÍA.....	14
2.1	REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA DE SIMULACIÓN .....	14
2.1.1	ESTADO INICIAL DEL MÓDULO .....	14
2.1.2	ELEMENTOS Y EQUIPOS DISPONIBLES.....	15
2.1.3	ESTRUCTURAS MECÁNICAS .....	16
2.1.3.1	Banda Transportadora.....	17
2.1.3.2	Disco Giratorio .....	17
2.1.3.3	Panel de control .....	18
2.1.3.4	Sistema electroneumático-hidráulico.....	18
2.1.3.5	Tanque de dosificación.....	19
2.1.3.6	Tuberías.....	19
2.2	DISEÑO DEL PROCESO.....	20
2.2.1	ETAPAS DEL PROCESO.....	20
2.2.2	SELECCIÓN DE COMPONENTES ADICIONALES.....	22
2.2.3	REDISEÑO DE LA DISTRIBUCIÓN FÍSICA DE LOS COMPONENTES .....	23
2.2.4	ASIGNACIÓN DE RECURSOS PARA LOS PLCS .....	23
2.2.5	TRATAMIENTO DE LAS SEÑALES PARA LOS PLCS .....	23

2.3	ARQUITECTURA DEL SISTEMA .....	24
2.3.1	NIVEL DE SUPERVISIÓN .....	24
2.3.2	NIVEL DE CONTROL .....	24
2.3.3	NIVEL DE PROCESO.....	24
2.4	DIAGRAMAS DE CONEXIÓN.....	24
2.4.1	PLANO ELÉCTRICO .....	25
2.4.2	ESQUEMA ELECTRONEUMÁTICO-HIDRÁULICO .....	25
2.4.2.1	Esquema Electroneumático.....	26
2.4.2.2	Esquema Hidráulico .....	26
2.4.3	PLANO DE RED .....	27
2.4.3.1	Distribución de la red.....	27
2.5	CABLEADO Y CONEXIÓN FÍSICA.....	27
2.5.1	INTERFAZ DE COMUNICACIÓN DB25 .....	27
2.5.2	IMPLEMENTACIÓN.....	27
2.5.3	ETIQUETADO .....	28
2.6	DISEÑO DEL REGISTRO DE TRAZABILIDAD.....	29
2.7	CONFIGURACIÓN DE SOFTWARE.....	30
2.7.1	PROGRAMACIÓN DEL VARIADOR DE VELOCIDAD MICNO KE300X 30	
2.7.2	CONFIGURACIÓN COMUNICACIÓN PROFINET.....	30
2.7.3	PROGRAMACIÓN PLC 1 S7-1200.....	31
2.7.3.1	Bloques de datos.....	31
2.7.3.2	Programa general.....	32
2.7.3.2.1	Escalamiento .....	32
2.7.3.2.2	Configuración bloque GET .....	33
2.7.4	PROGRAMACIÓN PLC 2 S7-1200.....	34
2.7.4.1	Bloques de datos.....	34
2.7.4.2	Programa general.....	34
2.7.4.2.1	Escalamiento .....	35
2.7.4.2.2	Configuración bloque GET .....	35
2.7.5	DESARROLLO DE LA INTERFAZ HMI .....	36
2.7.5.1	Configuración de comunicación.....	36
2.7.5.2	Convención de colores .....	37
2.7.5.3	Arquitectura del HMI.....	37
2.7.5.4	Asignación de objetos .....	38



2.7.5.5	Ventanas principales .....	38
2.7.5.6	Ventanas secundarias .....	38
2.7.6	LÓGICA DE FUNCIONAMIENTO .....	38
2.7.7	CONFIGURACIÓN SERVIDOR KEPServerEX.....	39
2.7.7.1	Canal PLC S7-1200 .....	39
2.7.7.1.1	Configuración canal .....	39
2.7.7.1.2	Creación nuevo dispositivo .....	39
2.7.7.1.3	Creación Tags.....	40
2.7.7.2	Canal DDE .....	40
2.7.7.2.1	Creación nuevo dispositivo .....	41
2.7.7.2.2	Creación Tags.....	41
2.7.7.3	Advance Tags .....	41
2.7.7.4	Configuraciones adicionales.....	42
2.7.8	CONFIGURACIÓN EXCEL.....	43
2.7.8.1	Habilitación Macros .....	43
2.7.8.2	Programación Macros .....	43
3	RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	43
3.1	RESULTADOS.....	43
3.1.1	VIDEO DE FUNCIONAMIENTO .....	43
3.1.2	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y VALIDACIÓN DE RESULTADOS .....	44
3.1.3	MANUAL DE USUARIO.....	53
3.1.4	PLAN DE CAPACITACIÓN.....	53
3.2	CONCLUSIONES .....	54
3.3	RECOMENDACIONES .....	55
4	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55
5	ANEXOS .....	60

## RESUMEN

En el presente trabajo se detalla la rehabilitación, diseño e implementación del sistema de envasado de líquidos dentro de la línea de simulación de procesos industriales de la Cámara de la Pequeña y Mediana Empresa de Pichincha (CAPEIPI). El sistema integra componentes de hardware y software para el control, monitoreo y supervisión del proceso.

La ejecución del proyecto inicia con la determinación del estado físico y funcional de los elementos y equipos que componen la línea de simulación del proceso, permitiendo identificar los problemas pertinentes previo a iniciar la rehabilitación de la línea de producción. Se rediseña la ubicación física de los componentes y equipos para adaptar su operación en base a la funcionalidad del sistema.

El sistema industrial implementado incluye dos controladores lógicos programables (Siemens S71200) encargados de ejecutar las acciones para el correcto funcionamiento de la línea de producción. Además, se tiene una interfaz hombre-máquina (HMI) en una pantalla táctil para el control, monitoreo y supervisión del proceso. Los distintos componentes del sistema industrial se integran mediante el protocolo de comunicación industrial PROFINET, el cual posibilita la comunicación y transmisión de datos en tiempo real entre los distintos componentes del sistema.

El sistema, además, incorpora un servidor de datos industrial que emplea el protocolo OPC UA, el cual permite recopilar la información relevante del proceso para la elaboración del registro de trazabilidad. Los resultados obtenidos fueron validados mediante la comparación de los tiempos de procesamiento dentro de la línea de producción, demostrando la eficiencia y autonomía del sistema.

**PALABRAS CLAVE:** Control y monitoreo, Envasado de líquidos, Protocolo OPC UA, Proceso industrial, PROFINET, Rehabilitación.

## ABSTRACT

This paper details the rehabilitation, design, and implementation of the liquid packaging system within the industrial process simulation line of the Chamber of Small and Medium Enterprises of Pichincha (CAPEIPI). The system integrates hardware and software components for process control, monitoring, and supervision.

The execution of the project begins with the determination of the physical and functional status of the elements and equipment that make up the process simulation line, allowing the identification of the pertinent problems prior to starting the rehabilitation of the production line. The physical location of the components and equipment is redesigned to adapt their operation based on the functionality of the system.

The implemented industrial system includes two programmable logic controllers (Siemens S71200) in charge of executing the actions for the correct operation of the production line. In addition, there is a human-machine interface (HMI) on a touch screen for the control, monitoring, and supervision of the process. The different components of the industrial system are integrated through the PROFINET industrial communication protocol, which enables real-time communication and data transmission between the different components of the system.

The system also incorporates an industrial data server that uses the OPC UA protocol, which allows the collection of relevant process information for the preparation of the traceability record. The results obtained were validated by comparing processing times within the production line, demonstrating the efficiency and autonomy of the system.

**KEYWORDS:** Control and monitoring, Liquid packaging, OPC UA protocol, Industrial process, PROFINET, Refurbishment.

# 1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el desarrollo industrial se ha encaminado a la par con el desarrollo tecnológico [1]. Debido a esto, la pequeña y mediana empresa (PYME) en Ecuador, cuyas actividades se centran en la producción industrial y manufactura, se ven en la necesidad de implementar sistemas de producción automatizados que integren maquinaria y equipos que permitan suplir la demanda y mantener la competitividad dentro del mercado [2]. Para llevar a cabo esto, se cuenta con los sistemas de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA) [3].

El Centro De Diseño e Innovación Tecnológica (CEDIT) [4], perteneciente a la Cámara de la Pequeña y Mediana Empresa de Pichincha (CAPEIPI) [5], cuenta con distintas líneas de simulación de procesos industriales. Este espacio permite la realización de pruebas y desarrollo de metodologías innovadoras, así como el control, evaluación y validación de nuevos procesos [4], con la finalidad de mejorar la eficiencia y calidad, previo a efectuar la implementación a escala real.

La línea de simulación para el proceso industrial de envasado de líquidos existente en el CEDIT se encontraba desmantelada y deteriorada debido a ciertos factores como su falta de uso y mantenimiento, así como, la carencia del equipamiento requerido para la ejecución del proceso. Por los motivos indicados, en el presente trabajo, se desarrolla la rehabilitación, diseño e implementación de un sistema automatizado, que permita efectuar el control y monitoreo dentro de la línea de simulación del proceso industrial de envasado de líquidos. Se desarrollará una interfaz hombre-máquina (HMI) en una pantalla táctil, que facilite la operación y manipulación del proceso. Además, se efectuará la configuración del protocolo de comunicación industrial PROFINET para posibilitar la comunicación y transmisión de datos en tiempo real entre los distintos componentes del sistema.

Posteriormente, mediante la configuración y uso del servidor de datos industrial (KEPServerEx) que emplea el protocolo OPC UA, se implementará un registro para supervisar la trazabilidad del líquido en el proceso de envasado, permitiendo tener un mecanismo para la gestión de la calidad, eficiencia y seguridad dentro de la línea de producción, facilitando así, la identificación de problemas que afecten la calidad del producto y, en caso de existir no conformidades, implementar acciones correctivas que garanticen los estándares de calidad. Finalmente, se elaborará un plan de capacitación destinado para el personal encargado de la operación del sistema de envasado de líquidos, con la finalidad de dar a conocer los aspectos y parámetros a considerar para su correcto uso, así como su mantenimiento respectivo.

## **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Rehabilitar, diseñar e implementar el sistema de envasado para la cadena de mezclado de líquidos dentro del sistema de simulación de procesos industriales de la CAPEIPI.

## **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Los objetivos específicos propuestos para el presente trabajo son los siguientes:

1. Realizar una revisión bibliográfica que permita abordar la necesidad de implementar una cadena automatizada para el proceso de envasado de líquidos, además de los parámetros y especificaciones del equipamiento e instrumentación requerida para la implementación del proceso.
2. Determinar el estado físico y funcional de los elementos y equipos que componen la línea de simulación del proceso industrial de envasado de líquidos, con la finalidad de identificar los problemas pertinentes para dar paso a la rehabilitación de la línea de producción.
3. Efectuar un análisis y selección de los equipos, sensores y actuadores requeridos para implementar el proceso de envasado de líquidos, así como el tratamiento de las variables para su respectivo manejo mediante el uso de controladores lógicos programables (PLCs).
4. Diseñar e implementar un sistema industrial automatizado que permita la recepción de datos para efectuar el control de la producción en la línea de simulación.
5. Diseñar e implementar una interfaz hombre-máquina (HMI) mediante una pantalla táctil para controlar, monitorear y supervisar el proceso.
6. Realizar un estudio, análisis e implementación de un registro que permita supervisar la trazabilidad del líquido en el proceso de envasado.
7. Realizar pruebas de funcionamiento del sistema y validar los resultados mediante la comparación de los tiempos de procesamiento dentro de la línea de producción.

## **1.3 ALCANCE**

### **A. Fase Teórica**

Se realizará una síntesis bibliográfica sobre la automatización de procesos industriales, haciendo énfasis en el proceso industrial de envasado de líquidos y en la necesidad de implementar una cadena automatizada para su ejecución. De igual modo, se efectuará una

revisión bibliográfica sobre los parámetros y especificaciones más relevantes del equipamiento e instrumentación requerida para efectuar la implementación física.

Se llevará a cabo una revisión bibliográfica sobre el procesamiento de la información y transmisión de datos del proceso, haciendo un enfoque en el uso de servidores de datos para entornos industriales, así como en los protocolos de comunicación para el intercambio bidireccional de datos en tiempo real para aplicaciones del sistema operativo Windows, con la finalidad de implementar el registro para supervisar la trazabilidad del líquido en el proceso de envasado.

Se determinarán las especificaciones de hardware para la implementación de la línea de simulación del proceso industrial de envasado de líquidos, así como las de la interfaz gráfica HMI para el control, monitoreo y supervisión del proceso. Además, se establecerán los requerimientos de software para la programación de los distintos componentes, con la finalidad de receptar la información proveniente de los distintos elementos de campo y, a su vez, posibilitar el manejo a través de una pantalla táctil mediante la interfaz gráfica.

## **B. Fase de diseño**

Se determinará el estado físico y funcional de los elementos y equipos que componen la línea de simulación del proceso industrial de envasado de líquidos, permitiendo identificar los problemas pertinentes previo a iniciar la rehabilitación de la línea de producción. Se realizará la selección adecuada de los elementos y equipos necesarios para efectuar el control y adquisición de datos del proceso, para lo cual se realizará el tratamiento respectivo de las señales para su respectivo manejo mediante el uso de controladores lógicos programables (PLCs). Además, se rediseñará la distribución física de los distintos componentes con la finalidad de adaptar su operación en base a la funcionalidad del sistema de envasado a diseñar. Por otra parte, se realizará la selección del protocolo de comunicación industrial apropiado para establecer la comunicación entre los dispositivos de campo y de control. Además, se seleccionará el servidor de datos para un entorno industrial que permita efectuar la adquisición de datos del proceso.

Se diseñará el sistema industrial automatizado para el proceso de envasado de líquidos, donde se incluye el diseño del software del sistema, que comprende la programación requerida para que los controladores lógicos programables procesen la información y realicen las acciones necesarias sobre los actuadores para el correcto procesamiento dentro de la línea de producción. Además, se diseñará la interfaz HMI para el control, monitoreo y supervisión del proceso.

Se diseñará un registro que permita supervisar la trazabilidad del líquido en el proceso de envasado, lo cual permitirá tener un mecanismo para la gestión de la calidad, eficiencia y seguridad dentro de la línea de producción.

### **C. Fase de implementación**

La implementación tanto del hardware como del software dentro de la línea de simulación del proceso industrial de envasado de líquidos se efectuará conforme al diseño desarrollado en la fase previa, con los ajustes y modificaciones pertinentes para el correcto desarrollo del proceso. Además, se implementará la interfaz HMI diseñada previamente en una pantalla táctil para el control, monitoreo y supervisión del proceso. Se realizará la configuración del servidor de datos para la adquisición de la información procedente de las variables relevantes del proceso, que permita, a su vez, elaborar el registro para supervisar la trazabilidad del líquido en el proceso de envasado para cada lote de producción.

### **D. Fase de pruebas de funcionamiento/validación/análisis de resultados**

Se realizarán pruebas de funcionamiento del sistema de envasado de líquidos mediante la producción de distintos tipos de lotes, con la finalidad de verificar el correcto funcionamiento y operación tanto del proceso como del registro para supervisar la trazabilidad. Los resultados obtenidos serán validados mediante la comparación de los tiempos de procesamiento dentro de la línea de producción, con el fin de garantizar la eficiencia y autonomía del sistema implementado. Además, se elaborará un plan de capacitación para el personal encargado de la operación del sistema, con el propósito de dar a conocer los aspectos a considerar para su correcto uso, así como su mantenimiento respectivo.

## **1.4 MARCO TEÓRICO**

En esta sección se presenta la revisión bibliográfica realizada con la finalidad de proporcionar las bases teóricas que permitan entender la problemática y a su vez fundamenten las actividades a llevar a cabo durante el desarrollo del presente proyecto.

### **1.4.1 PROCESO INDUSTRIAL**

Un proceso industrial hace referencia al conjunto de acciones y operaciones que se efectúan para convertir una cierta materia prima en un producto terminado, el cual será distribuido o a su vez comercializado [6]. En base a la clasificación de los procesos industriales se podrán determinar ciertos aspectos como la asignación de recursos, o el consumo energético que se deberá destinar para su ejecución [7].

#### **1.4.2 PROCESO DE ENVASADO DE LÍQUIDOS**

El proceso de envasado de líquidos se basa esencialmente en el llenado de un recipiente con un determinado volumen de líquido. Se encuentra presente en distintos tipos de industrias, entre las que se destacan la industria alimentaria, farmacéutica y química [8], [9]. Las distintas etapas del proceso de envasado de líquidos se plantean en función de los requerimientos de la industria a la cual se va a destinar su implementación, pudiendo ser modificadas, o a su vez, suprimidas [10]. Se presentan las etapas del proceso de envasado:

- **Recepción de envases:** Se reciben los envases vacíos destinados a contener el producto final. Los envases pueden ser de materiales, como plástico y vidrio [9].
- **Lavado:** Se hace uso de máquinas enjuagadoras o sopladoras permitirá lavar y esterilizar los envases antes de continuar con el proceso [9].
- **Transporte:** Se hace uso de bandas transportadoras, las cuales serán comandadas por motores, para transportar y posicionar los envases lavados a la siguiente etapa.
- **Dosificación:** Los envases lavados son posicionados en el sistema de dosificación, el cual permite verter el líquido hasta que se complete el volumen requerido [9].
- **Cierre:** Una vez culminada la etapa de dosificación, los envases son cerrados. Comúnmente, se suele emplear el cierre a presión y el cierre por rosca [9].
- **Etiquetado:** Esta etapa hace uso de etiquetas, las cuales permiten incluir información relevante del producto en los envases, como el número de lote, fecha de elaboración y vencimiento, entre otras [9].
- **Control de calidad:** Se hace uso de estándares para verificar las condiciones del producto antes de su almacenamiento y posterior comercialización [10].

#### **1.4.3 NECESIDAD DE UNA CADENA AUTOMATIZADA PARA EL ENVASADO DE LÍQUIDOS**

La implementación de una cadena automatizada para el envasado de líquidos se vuelve crucial para las pequeñas y medianas empresas (PYMES) en Ecuador, que se dedican a la producción industrial y manufactura, donde, además, el proceso de envasado forma parte integral de sus operaciones. Las PYMES se ven en la necesidad de implementar sistemas de producción automatizados que integren maquinaria y equipos para satisfacer la demanda y mantener la competitividad dentro del mercado [2]. A continuación, se



presentan los aspectos que fundamentan la implementación de la cadena automatizada para el envasado de líquidos.

### 1.4.3.1 Situación de las PYMES

Las pequeñas y medianas empresas (PYMES) ecuatorianas desempeñan un papel fundamental en la economía nacional, debido a su influencia en la generación de empleo y el fortalecimiento de la economía [11]. Sin embargo, obstáculos como la falta de recursos y la dificultad para adquirir un crédito económico, lo que, a su vez, genera un ciclo de restricciones económicas dificultan su desarrollo y adaptabilidad a nuevas tecnologías. El aporte de las PYMES a la generación de empleo a nivel nacional, puesto que, como se observa en la Figura 1.1, aportan el 31% de la generación de empleo en el Ecuador [2].

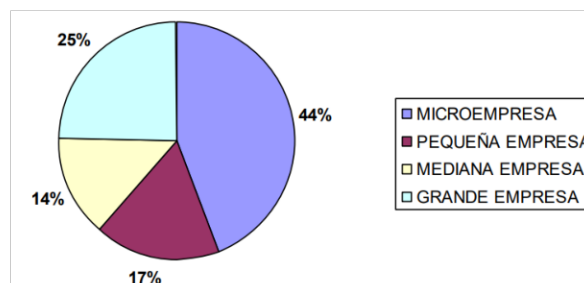


Figura 1.1. Aporte a la generación de empleo en Ecuador [2].

Con respecto a la distribución por la actividad productiva que realizan las PYMES, en la Figura 1.2, se puede observar que el sector predominante son los servicios, mientras que, las actividades manufactureras quedan relegadas al 11% [2].

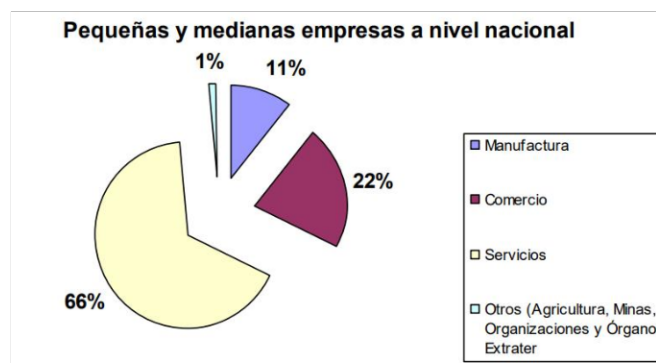


Figura 1.2. Distribución por actividad productiva de las PYMES [2].

Esto corresponde a un indicador de las limitaciones y dificultades que resulta la incursión en este tipo de actividad productiva. En la actualidad, gran parte de las PYMES aún trabajan con tecnología manual [11]. Por consecuente, en el área de manufactura, la falta de producción nacional tiende a ser remplazada por la importación extranjera.

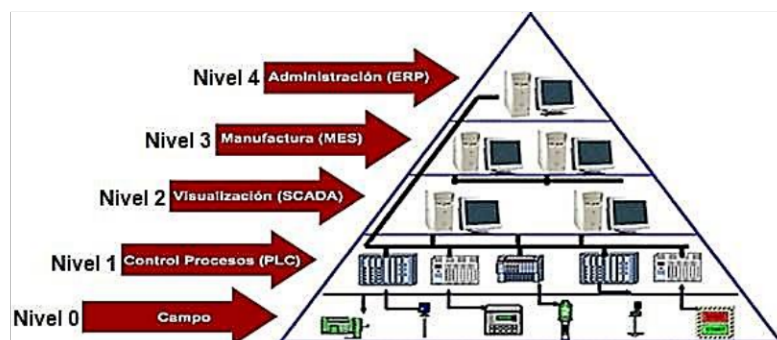
### 1.4.3.2 Desafíos para las PYMES

Es importante abordar el desafío de potencializar la capacidad productiva de las PYMES, especialmente aquellas que desarrollan actividades manufactureras. Esto contribuirá al proceso de transformación de la estructura de la matriz productiva del Ecuador [2]. Para ello, se requiere realizar inversiones que permitan incorporar nuevas tecnologías para los procesos, máquinas y equipos, lo que a su vez permitirá mejorar de manera sustancial la calidad de sus productos [2].

Aunque el factor económico puede ser un limitante a la hora de implementar una cadena automatizada para el proceso de envasado de líquidos, las garantías de eficiencia e incremento de la productividad harán que la inversión realizada sea rentable a mediano y largo plazo. Además, la PYME podrá consolidar su posición dentro del mercado nacional gracias a la mayor aceptación de clientes potenciales y a la posibilidad de obtener mayores ingresos debido a la calidad y valor agregado a su producción [2].

### 1.4.4 PIRÁMIDE DE AUTOMATIZACIÓN

La pirámide de automatización también conocida como pirámide CIM (Computer Integrated Manufacturing) [12], es una representación jerárquica, cuyos niveles se encuentran estructurados de manera estratégica para su correcta operatividad dentro del proceso productivo [12]. Además, permite estructurar de manera correcta la automatización de un proceso. En la Figura 1.3 se presenta la estructura de la pirámide CIM. A continuación, se presentan los distintos niveles que conforman la pirámide CIM [12]:



**Figura 1.3.** Pirámide de automatización [12].

- Nivel 0, Proceso: Incluye los dispositivos de campo como sensores y actuadores.
- Nivel 1, Control del proceso: Incluye dispositivos como los controladores lógicos programables (PLCs), sistemas de control distribuido (DCS), entre otros.

- Nivel 2, Supervisión: Incluye el sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA), encargado de la gestión y control del sistema.
- Nivel 3, Manufactura: Se realizan tareas relacionadas con la programación de la producción, tales como la gestión de materiales, recursos, calidad, entre otros.
- Nivel 4, Administración: Encargado de la gestión e integración de los niveles anteriores. Además, se encarga de la gestión comercial y planificación estratégica.

#### **1.4.5 SISTEMA SCADA**

El sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA) es un sistema empleado en la industria, el cual permite integrar tareas de control, monitoreo y adquisición de datos en tiempo real [12]. Los sistemas SCADA mejoran la eficiencia de la operación del sistema de control industrial (ICS). Su arquitectura está compuesta por [13]:

- Hardware: Incluye las Unidades terminales remotas (RTU), la Unidad terminal maestra (MTU), actuadores y sensores.
- Software: Incluye la interfaz hombre-máquina, base de datos (Historiador).

#### **1.4.6 COMPONENTES-HARDWARE**

A continuación, se presenta la revisión bibliográfica del hardware correspondiente al equipamiento e instrumentación requerida para la implementación del proceso.

##### **1.4.6.1 Sensores**

Los sensores son dispositivos que convierten una magnitud física en una señal que puede ser manipulada e interpretada dentro del sistema de control mediante un determinado principio de transducción [14]. Los sensores pueden clasificarse según el tipo de variable medida. Los sensores de nivel y proximidad son empleados dentro de los sistemas de envasado [15]. Con un enfoque en el sistema de envasado de líquidos, se presenta la clasificación de este tipo de sensores en base a su principio de transducción.

##### **1.4.6.1.1 Sensores Capacitivos**

Su principio de funcionamiento se basa en que el campo eléctrico generado por el sensor se ve alterado ante la presencia de un objeto, lo que provoca una variación en la capacitancia del sensor [16]. Para la detección, no requieren contacto directo con el objeto [15]. Este tipo de sensores detectan principalmente materiales dieléctricos, como plástico, líquidos, entre otros, a su vez, pueden detectar materiales metálicos conductores [16].

#### **1.4.6.1.2 Sensores fotoeléctricos**

Su principio de funcionamiento se basa en que el sensor emite un haz de luz y detecta la cantidad de luz reflejada o transmitida desde un objeto. Cuando el objeto se encuentre dentro del rango de detección, la cantidad de luz recibida por el sensor cambia, indicando que el objeto ha sido detectado [17]. Pueden detectar una gran variedad de materiales, donde se incluyen materiales metálicos, no metálicos, líquidos, entre otros [15].

#### **1.4.6.1.3 Sensores magnéticos**

Su principio de funcionamiento se basa en que el campo electromagnético producido por el sensor presenta variaciones al detectar un material metálico, lo cual ocasiona una variación en la impedancia del sensor [18]. No requiere contacto para la detección. Se suele usar para detectar la posición lineal del émbolo de los cilindros neumáticos.

### **1.4.6.2 Elementos finales de control**

Son aquellos dispositivos encargados de manipular alguna característica durante el proceso de producción. Dicha modificación es una respuesta a la señal proporcionada por el controlador [19]. Existe una variedad de elementos finales de control. Los cuales se detallan a continuación.

#### **1.4.6.2.1 Actuadores**

Los actuadores son dispositivos empleados para transformar una señal de control en movimiento o fuerza, es decir, a partir de una señal proveniente de una fuente eléctrica, mecánica o neumática, se puede controlar un movimiento [15].

##### **1.4.6.2.1.1 Actuadores Eléctricos**

Corresponden a los actuadores que se encargan de transformar la energía eléctrica en energía mecánica [20].

- Motor AC: Los motores trifásicos funcionan con una corriente alterna, donde la generación del campo magnético giratorio requiere de tres fases de alimentación, mismas que se encuentran desfasadas por 120°. El motor trifásico asíncrono es el más utilizado y funciona gracias al fenómeno de inducción electromagnética [21].

##### **1.4.6.2.1.2 Actuadores Neumáticos**

Elementos que transforman la energía del aire comprimido en energía mecánica, compuesto por un cilindro, pistón y sistema de válvulas. Su funcionamiento se basa en utilizar la presión del aire para mover válvulas, compuertas y demás componentes [22].

- Cilindros doble efecto: Estos cilindros utilizan ambas caras del émbolo, lo que les permite trabajar en los dos sentidos, es decir, el aire comprimido actúa en su recorrido de avance y retroceso [22].

#### **1.4.6.2.1.3 Actuadores Hidráulicos**

Elementos que transforman la energía de un fluido comprimido en energía mecánica. Funcionan con fluidos como agua o aceite. Su funcionamiento se basa en utilizar la presión del fluido comprimido para activar válvulas, compuertas, entre otros componentes [15].

- Cilindros doble efecto: Los cilindros hidráulicos son dispositivos que transforman la presión hidráulica en fuerza y movimiento lineales.[15].

#### **1.4.6.2.2 Válvulas**

Son dispositivos mecánicos encargados de regular o controlar el flujo de un fluido mediante la apertura o cierre de la misma [22].

- Válvula distribuidora: Estas válvulas cumplen con la función de controlar y dirigir el flujo de fluidos en un sistema. Por lo general, poseen varios puertos de entrada y salida que permiten cumplir múltiples operaciones [23].
- Electroválvulas: Es una válvula electromecánica cuya función es controlar el flujo de un fluido mediante un conducto. Además, cuenta con dos partes principales que son la válvula y el solenoide [24].

#### **1.4.6.2.3 Bomba centrífuga**

Es un tipo de bomba hidráulica encargada de mover un volumen de un líquido entre dos niveles, es decir, transforman el trabajo mecánico en hidráulico. Sus principales elementos son una tubería de aspiración, el rodete y la tubería de impulsión [25].

#### **1.4.6.2.4 Relés**

Es un dispositivo electromecánico que actúa como un interruptor y una vez que se aplica corriente eléctrica al electroimán, este genera un campo magnético que abre o cierra los circuitos [26].

### **1.4.6.3 Dispositivos de control**

Son dispositivos empleados para la regulación y control de una determinada variable dentro de un proceso industrial.

#### **1.4.6.3.1 PLC**

Es un controlador lógico programable empleado en proceso de automatización industrial, el cual se utiliza para adquirir y procesar información con la finalidad controlar un determinado proceso industrial mediante la ejecución de su programa [27].

#### **1.4.6.3.2 Variador de velocidad**

Es un dispositivo empleado para controlar y ajustar la velocidad de un motor eléctrico de inducción mediante el control tanto del voltaje suministrado como de la frecuencia de la corriente eléctrica. Además, permite disminuir el consumo energético del motor [28].

#### **1.4.6.4 Interfaz de comunicación DB25 8E/8S**

La interfaz de comunicación DB25 maneja una comunicación serial y emplea el protocolo RS232C. Realiza transmisión asincrónica a una velocidad constante. La distancia límite para la transferencia confiable de datos empleando esta interfaz es de 20 metros aproximadamente [29].

#### **1.4.6.5 Switch Ethernet**

Un switch Ethernet se emplea como un punto central de conexión dentro de una red industrial. Permite la conexión de múltiples dispositivos, como PLCs y PCs a través de del uso de cables Ethernet dentro de una red de área local (LAN), proporcionando una forma eficiente y confiable de intercambiar datos entre ellos [30].

### **1.4.7 COMUNICACIÓN INDUSTRIAL: PROFINET**

Las distintas tecnologías de comunicación empleadas en las redes industriales se agrupan en tres generaciones: buses de campo, Ethernet industrial y redes inalámbricas [31]. Ethernet industrial es una versión de la tecnología Ethernet estándar, con la diferencia de que ha sido adaptada para operar dentro de un entorno industrial, presentando una mayor robustez y fiabilidad al momento de efectuar la comunicación y transferencia de datos [31].

El protocolo de comunicación industrial PROFINET se basa en la tecnología de Ethernet industrial, la comunicación se realiza mediante los protocolos estándar TCP/IP (Protocolo de Control de Transmisión/Protocolo de Internet) y UDP/IP (Protocolo de datagrama/Protocolo de Internet). La comunicación entre dispositivos es full dúplex [32].

## **1.4.8 COMPONENTES-SOFTWARE**

A continuación, se presenta la revisión bibliográfica del software correspondiente a los programas requeridos para la implementación y desarrollo del proceso, cuyos requerimientos hacen referencia a las funcionalidades que el software debe cumplir para posibilitar la recepción de la información proveniente de los distintos elementos del proceso.

### **1.4.8.1 TIA PORTAL V13**

TIA Portal es una herramienta de programación que integra varios productos SIMATIC en un solo programa para simplificar la programación de un proceso automatizado. TIA Portal incluye la configuración del dispositivo PLC que gestiona el proceso a través del programa STEP7 [32]. Ofrece dos lenguajes de programación [33]:

- Esquema de contactos (KOP): se basa en esquemas de circuitos.
- Diagrama de funciones (FUP): se basa en símbolos lógicos del álgebra booleana.

### **1.4.8.2 Servidor OPC**

OPC es un software que permite establecer la comunicación entre programas de Windows y dispositivos de hardware industriales [34]. Utiliza la tecnología Cliente/Servidor para establecer una interfaz de software y hardware que permite la transferencia de datos entre el servidor y el cliente [34]. La tecnología OPC presenta una solución efectiva para la comunicación remota en tiempo real entre la PC y los dispositivos del proceso.

#### **1.4.8.2.1 KEPServerEX**

KEPServerEX es un software empleado en entornos industriales para facilitar la comunicación entre diferentes dispositivos y sistemas de control [34]. Emplea el protocolo de comunicación OPC UA (Arquitectura Unificada de OPC) para garantizar una interoperabilidad confiable y segura entre los dispositivos del sistema industrial [35].

##### **1.4.8.2.1.1 OPC UA**

OPC UA es un protocolo de comunicación industrial empleado en procesos de automatización dentro de la industria [36]. Proporciona una plataforma unificada y confiable para el intercambio bidireccional de datos en tiempo real. Facilita la interoperabilidad al permitir integrar toda la información proveniente de los distintos dispositivos del sistema industrial con cualquier plataforma de gestión de información, independientemente de las marcas comerciales y los fabricantes [37].

### **1.4.8.3 TouchWin Edit Tool**

TouchWin Edit Tool es un software de programación diseñado para el sistema operativo Windows. Este software permite crear y editar interfaces gráficas para la pantalla HMI TouchWin de la marca Xinje. Las pantallas HMI TouchWin permiten conectarse a una gran variedad de marcas de PLCs, entre los que se incluye el PLC Siemens S71200. El software permite realizar las configuraciones respectivas para establecer comunicación con las variables del PLC, posibilitando el intercambio de información de manera bidireccional [38].

### **1.4.8.4 Excel**

Microsoft Excel es una aplicación de hojas de cálculo, la cual permite realizar tareas vinculadas al manejo y análisis de datos tanto numéricos como alfanuméricos [39].

#### **1.4.8.4.1 Cliente DDE**

Un cliente DDE (Dynamic Data Exchange) es una aplicación de software que emplea el protocolo DDE para establecer comunicación con otras aplicaciones compatibles con DDE, permitiendo la transferencia de datos entre aplicaciones del sistema operativo Windows [40]. Un servidor OPC UA puede proporcionar datos en tiempo real provenientes del proceso, los cuales son recibidos por el cliente DDE. A su vez, el cliente DDE puede mostrar esos datos en una aplicación cliente, como puede ser una hoja de cálculo de Excel. Microsoft Excel, como cliente DDE, puede establecer una conexión con KEPServerEX para recibir datos en tiempo real a través de DDE [40].

#### **1.4.8.4.2 Macros en Excel**

Una macro en Excel es una serie de instrucciones escritas en el lenguaje de programación de Excel, conocido como VBA (Visual Basic para Aplicaciones). La función principal de las macros es automatizar la ejecución de tareas repetitivas o complejas en dentro de Excel. Las macros se programan dentro de los módulos asociados a cada hoja de cálculo [41].

### **1.4.9 TRAZABILIDAD**

La trazabilidad es la capacidad de documentar y seguir el recorrido de un determinado producto de manera precisa desde su origen hasta su destino final, a través de las etapas de recepción, producción y distribución [42]. La implementación de un sistema para la gestión de la trazabilidad se rige bajo la norma ISO 22005, la cual establece los requisitos y procedimientos pertinentes para implementar un sistema de trazabilidad óptimo y eficiente [43]. El registro de trazabilidad permite mantener un estándar de calidad y seguridad dentro de la línea de producción [43].



## 2 METODOLOGÍA

El presente Trabajo de Integración Curricular posee un estudio experimental cuyo objetivo principal corresponde a la rehabilitación, diseño e implementación del sistema de envasado para la cadena de mezclado de líquidos dentro del sistema de simulación de procesos industriales de la CAPEIPI, todo esto relacionado con un enfoque técnico que se fundamenta en la base teórica presentada en el Capítulo 1. Este enfoque combina e integra teoría y aplicación práctica. El presente capítulo abarca la fase de diseño e implementación del proyecto.

### 2.1 REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA DE SIMULACIÓN

La línea de simulación para el proceso industrial de envasado de líquidos existente en el CEDIT se encontraba desmantelada y deteriorada debido a ciertos factores como su falta de uso y mantenimiento, así como, la carencia del equipamiento requerido para la ejecución del proceso. A continuación, se presenta el proceso desarrollado para la rehabilitación de la línea de simulación.

#### 2.1.1 ESTADO INICIAL DEL MÓDULO

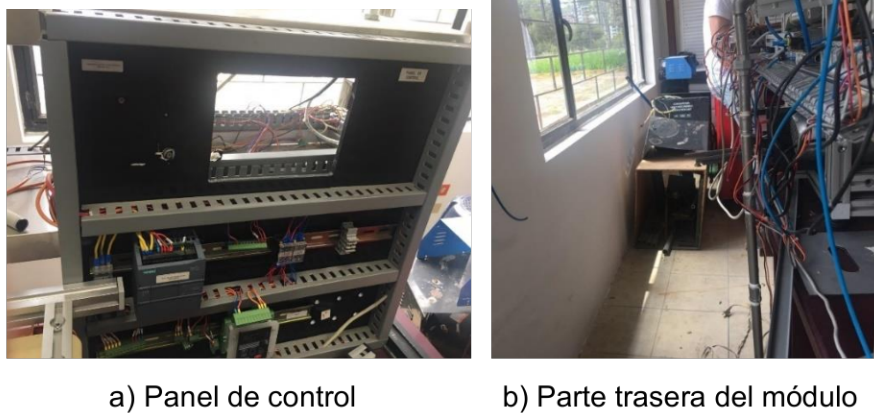
El módulo destinado al proceso de envasado de líquidos se encontraba desmantelado. En la Figura 2.1 se presenta la vista frontal del módulo donde se observa la carencia de elementos pertenecientes al panel de control situado en la parte derecha. En lo que respecta a las estructuras mecánicas, de manera general, se encontraban en buenas condiciones. Inicialmente, a medida que se realizó el reconocimiento del módulo, se efectuó una limpieza del área de trabajo para retirar el polvo y suciedad acumulada.



**Figura 2.1.** Estado inicial del módulo (Vista frontal).

En la Figura 2.2 se puede apreciar el estado inicial del panel de control, así como la parte trasera del módulo. Se observó que, además de la carencia de elementos en el panel de

control, el cableado, sobre todo de la parte trasera del módulo se encontraba enredado y fuera de las canaletas, evidenciando la desorganización total del cableado del módulo.



**Figura 2.2.** Estado inicial del módulo.

### 2.1.2 ELEMENTOS Y EQUIPOS DISPONIBLES

De manera general, los elementos y equipos con los que estaba equipado inicialmente el módulo de envasado de líquidos se encontraban en óptimas condiciones físicas y funcionales. En la Tabla 2.1 se presenta un resumen general de los elementos disponibles, agrupados por su disposición física dentro de la línea de simulación del proceso, donde además se presentan las acciones realizadas para su mantenimiento. El detalle completo de los elementos y equipos con los que contaba inicialmente la línea de simulación para el proceso de envasado de líquidos, que incluye las especificaciones generales, así como la determinación de su estado físico y funcional, se encuentra en el ANEXO I.

**Tabla 2.1.** Elementos y equipos disponibles en el módulo de líquidos

Disposición Física	Elemento/Equipo	Estado de los elementos	Mantenimiento y acciones realizadas
Panel de Control	1 PLC Siemens S7-1200 CPU 1212C AC/DC/RLY	Estado físico y operativo óptimo.	- Limpieza de los bornes del equipo. - Pruebas de funcionamiento.
	1 módulo de salida analógica 6ES7232-4HA30-0XB0		- Limpieza del módulo. - Pruebas de funcionamiento.
	1 torre de advertencia multinivel LTA-205-3WJ		- Limpieza del equipo. - Pruebas de funcionamiento.
Sistema de Transporte	2 variadores de velocidad KE300X-0R4G-S2	Óptimas condiciones físicas y funcionales.	- Limpieza de los equipos. - Cambio del terminal para la fuente de alimentación. - Pruebas de funcionamiento.
	2 motores AC BOX030		- Limpieza de los equipos. - Pruebas de funcionamiento.

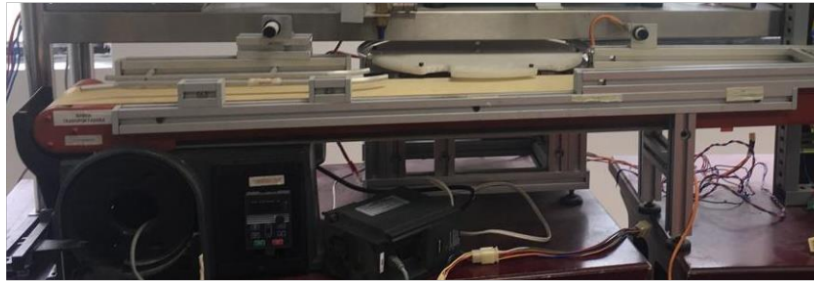
Sistema de Dosificación	2 sensores fotoeléctricos G18-3A10NAT NPN NO	En perfecto estado físico y operativo.	- Limpieza de los sensores. - Pruebas de funcionamiento.
	2 sensores de proximidad capacitivos CR18-8DP		- Limpieza de los sensores. - Pruebas de funcionamiento.
	1 bloque distribuidor neumático		- Limpieza del equipo. - Revisión de fugas de aire. - Pruebas de funcionamiento.
	1 electroválvula neumática 3/2 AIRTAC		- Limpieza del equipo. - Revisión de fugas. - Pruebas de funcionamiento.
	1 electroválvula neumática 5/2 AIRTAC 4V210-08		- Limpieza del equipo. - Revisión de conectores. - Pruebas de funcionamiento.
	1 cilindro doble efecto neumático		- Limpieza del equipo. - Pruebas de funcionamiento.
	1 sensor magnético AIRTAC CS1-M		- Limpieza del equipo. - Pruebas de funcionamiento.
	1 cilindro doble efecto hidráulico		- Limpieza del equipo. - Pruebas de funcionamiento.
	1 válvula distribuidora 5/2 hidráulica con accionamiento neumático biestable		- Limpieza del equipo. - Revisión del acople. - Pruebas de funcionamiento.
	1 válvula de bola con actuador neumático		- Limpieza del equipo. - Revisión de fugas de agua. - Pruebas de funcionamiento.
	1 válvula antirretorno T50p0006		- Limpieza general. - Pruebas de funcionamiento.
	2 válvulas de bola manuales		- Limpieza general. - Pruebas de funcionamiento.
	1 válvula de dosificación		- Limpieza general. - Pruebas de funcionamiento.
	Interfaz de comunicación DB25 8E/8S		- Limpieza general. - Pruebas de funcionamiento.
2 relés 24V	- Limpieza de los elementos. - Pruebas de funcionamiento.		

### 2.1.3 ESTRUCTURAS MECÁNICAS

Las estructuras mecánicas de la línea de simulación del proceso se encontraban en buenas condiciones físicas, por lo que no fue necesario reemplazarlas ni diseñar estructuras adicionales para la ejecución del proceso. A continuación, se presentan las distintas estructuras mecánicas con las que estaba equipado el módulo de envasado de líquidos. En general, se detalla su estado físico, así como el mantenimiento realizado para cada estructura.

### 2.1.3.1 Banda Transportadora

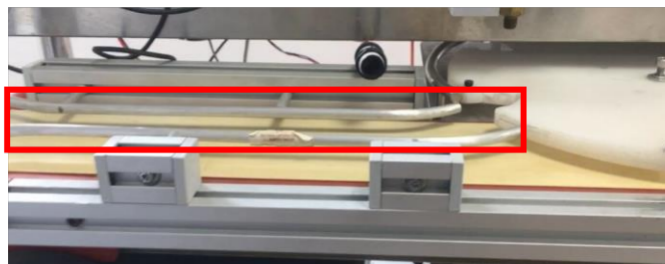
La Figura 2.3 presenta la estructura que conforma la banda transportadora que disponía el módulo de envasado, la cual se encontraba en óptimas condiciones físicas y funcionales, requiriendo únicamente mantenimiento preventivo para retirar el polvo acumulado en su superficie. Además, se realizó la limpieza del sistema de transmisión de movimiento por poleas presentado en la Figura 2.4, el cual está encargado de comandar el movimiento de la banda transportadora. En la parte inicial de la banda transportadora se dispone de un riel de acople para acomodar el posicionamiento de los envases en la primera etapa del transporte, como se observa en la Figura 2.5, mediante esto, los envases se desplazaron de manera individual hacia el sistema de dosificación.



**Figura 2.3.** Estructura mecánica de la banda transportadora.



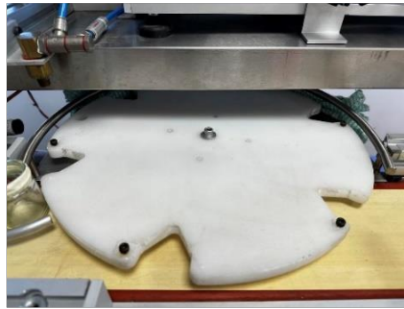
**Figura 2.4.** Sistema de transmisión de movimiento por poleas.



**Figura 2.5.** Riel de acople para los envases.

### 2.1.3.2 Disco Giratorio

El disco giratorio disponible en el módulo de envasado se encontraba en buenas condiciones físicas. En lo que respecta a su estado funcional, se encontraba operativo, requiriendo únicamente de una limpieza general y un ajuste del acople con el motor que comanda su movimiento. El disco giratorio se presenta en la Figura 2.6, donde se aprecia que posee aberturas, dentro de las cuales se podrán ir posicionando los envases a medida que avanzan por la banda transportadora.



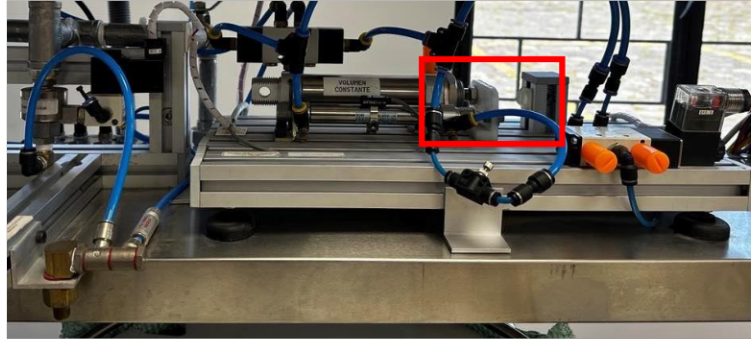
**Figura 2.6.** Disco giratorio.

### **2.1.3.3 Panel de control**

La estructura del panel de control, presentada en la Figura 2.2, cuenta con distintas canaletas, las cuales contenían polvo en su interior, por lo que fue necesario sacar todo el cableado de la parte frontal para realizar la limpieza del interior de las canaletas. En cuanto a los rieles para colocar los distintos elementos, se encontraban en buenas condiciones, requiriendo solo una limpieza general.

### **2.1.3.4 Sistema electroneumático-hidráulico**

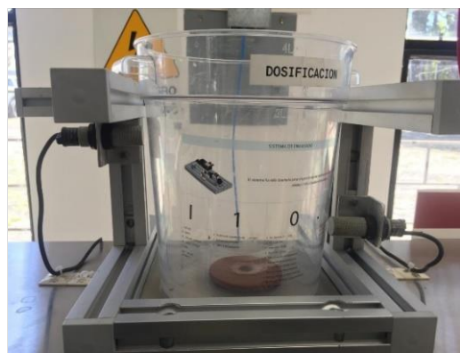
El sistema electroneumático-hidráulico está compuesto por todos los elementos pertenecientes al sistema de dosificación de la Tabla 2.1. La estructura mecánica donde se encontraba implementado este sistema se presenta en la Figura 2.7, la cual se encontraba en buenas condiciones; las mangueras que conectaban los distintos elementos neumáticos e hidráulicos se encontraban en perfecto estado, sin presentar fugas. De igual manera, la estructura donde se sitúan las electroválvulas y los cilindros de doble efecto estaba en buen estado, requiriendo únicamente de un mantenimiento preventivo para retirar el polvo acumulado. Los vástagos del cilindro de doble efecto neumático e hidráulico se encuentran unidos mediante un acople rígido, esto se señala en la Figura 2.7, mediante esto, el movimiento del vástago del cilindro neumático comandará el movimiento del vástago del cilindro hidráulico.



**Figura 2.7.** Estructura sistema electropneumático-hidráulico.

### **2.1.3.5 Tanque de dosificación**

El tanque de dosificación, situado en la parte superior del módulo, se encontraba en perfecto estado físico y funcional. La estructura estaba fijada correctamente a la mesa de metal. Los sensores de nivel del tanque estaban también fijados y posicionados correctamente, al igual que el acople con la tubería para la dosificación situada en la base del tanque, la cual se encontraba en óptimas condiciones al no presentar fugas de agua. El mantenimiento realizado consistió únicamente en la limpieza interna y externa del tanque. El tanque de dosificación equipado en el módulo de envasado tiene una capacidad de 4 litros. En la Figura 2.8 se presenta la estructura del tanque de dosificación.



**Figura 2.8.** Estructura tanque de dosificación.

### **2.1.3.6 Tuberías**

El sistema de tuberías con el que estaba equipado el módulo para la dosificación del líquido se encontraba en buenas condiciones físicas. Los distintos acoples se encontraban en buen estado y además no presentaban fugas de agua. Por lo tanto, únicamente se realizó un mantenimiento preventivo al limpiar la suciedad para retirar la poca cantidad de óxido que se había acumulado en su superficie. En la Figura 2.9 se presenta el sistema de tuberías.



**Figura 2.9.** Sistema de tuberías.

## **2.2 DISEÑO DEL PROCESO**

El diseño del proceso de envasado de líquidos se realizó en diferentes etapas, las cuales fueron adaptadas y diseñadas en base a los elementos y equipos con los que estaba equipado inicialmente el módulo de envasado, así como a los elementos disponibles dentro del inventario del CEDIT. Los envases seleccionados para contener el líquido dosificado son frascos de vidrio con capacidad de 28 mL, los cuales se presentan en la Figura 2.10.



**Figura 2.10.** Envase de vidrio de 28 mL.

### **2.2.1 ETAPAS DEL PROCESO**

#### **Llenado del tanque de dosificación**

El tanque destinado a almacenar el líquido a dosificar, presentado en la Figura 2.8, requiere ser llenado previamente antes de iniciar la ejecución del proceso. El nivel del líquido en el tanque debe de encontrarse por encima del nivel mínimo detectado por el sensor de proximidad capacitivo de nivel bajo, y a su vez, el nivel máximo del líquido que podrá contener el tanque se limita por la activación del sensor de proximidad capacitivo de nivel alto. Si el nivel del líquido del tanque se encuentra entre ambos límites, se podrá dar inicio al proceso de envasado.

## **Ingreso de los parámetros de producción**

Una vez que el nivel del líquido en el tanque es suficiente, se requiere ingresar los distintos parámetros para iniciar un nuevo lote de producción. Entre los parámetros se encuentran el número total de envases que conformarán el lote, la selección del tipo de dosificación y el número de envases destinados a llenarse con el tipo de dosificación seleccionado.

## **Transporte**

Con los envases vacíos posicionados previamente sobre la banda transportadora, la etapa de transporte da inició. Los envases se desplazan individualmente a través del riel de acople que posee la estructura mecánica de la banda transportadora. De manera simultánea, el disco permanecerá girando. Llega un punto en que el avance de los envases permite que estos se posicionen en las aberturas que posee el disco giratorio, logrando que se acoplen y mediante el movimiento del disco cada envase es posicionado en el sistema de dosificación.

Durante la dosificación se detiene la operación tanto del disco como de la banda. Una vez que el envase ha sido llenado la operación se retoma hasta ejecutar un nuevo llenado. Los envases llenados serán posicionados en la parte final de la banda transportadora. Una vez que se ha completado el lote de producción, se detiene la operación de la banda y el disco hasta el momento en que se dé inicio a una nueva producción.

## **Dosificación de líquido**

Haciendo uso del sistema neumático e hidráulico que se encontraba implementado en el módulo de envasado se plantean dos tipos de dosificación:

- **Dosificación volumétrica:** Para este tipo de dosificación se utiliza un cilindro de doble efecto hidráulico, cuyo vástago estaba acoplado al vástago del cilindro de doble efecto neumático. La salida del vástago del cilindro neumático es accionada por la electroválvula neumática 5/2, la cual a su vez también acciona a la válvula distribuidora 5/2 hidráulica, permitiendo el ingreso del líquido al cilindro hidráulico a medida que su vástago se extiende. El vástago de ambos cilindros se extenderá hasta alcanzar una posición determinada. Cuando la electroválvula neumática 5/2 se desactiva, el vástago de ambos cilindros retorna a su posición inicial. La válvula distribuidora 5/2 hidráulica permite que el líquido enviado a presión por el cilindro hidráulico sea dirigido hacia la válvula de dosificación para llevar a cabo el llenado del envase. El volumen de líquido dosificado será de 7 mL, correspondiente al 25% volumen del envase.



- Dosificación en función del tiempo: Para este tipo de dosificación se hace uso de la electroválvula 3/2 neumática, la cual se encuentra acoplada a la válvula de bola con actuador neumático. Cada vez que la electroválvula se accione, dará apertura a la válvula de bola, cuya salida se conecta con la válvula de dosificación. Dependiendo del tiempo que la electroválvula permanezca activada, se llenará un determinado volumen de líquido en los envases. Se plantean dos volúmenes de llenado para este tipo de dosificación, los cuales son de 14 mL y 28 mL, que corresponden al 50% y 100% de la capacidad del envase.

### Etapa de etiquetado

Una vez que todos los envases del lote han sido envasados, se requiere ingresar los parámetros correspondientes al etiquetado como es el caso del número de lote, fecha de elaboración y caducidad, además de distintos parámetros a considerar para el almacenamiento o distribución del lote producido.

### 2.2.2 SELECCIÓN DE COMPONENTES ADICIONALES

En función de los requerimientos de las distintas etapas diseñadas para el proceso de envasado de líquidos, se necesitan de elementos y equipos adicionales que posibiliten su ejecución. Los elementos adicionales se encontraban disponibles en el inventario del CEDIT. En la Tabla 2.2 se presenta un resumen general de los elementos adicionales, donde también se describen las acciones realizadas para su mantenimiento previo a su montaje. El detalle completo de los elementos y equipos adicionales, que además incluye las especificaciones generales, así como la determinación de su estado físico y funcional, se encuentra en el ANEXO II.

**Tabla 2.2.** Elementos y equipos adicionales para el proceso de envasado de líquidos.

Elemento/Equipo	Estado de los elementos	Mantenimiento y acciones realizadas
1 PLC Siemens S7-1200 CPU 1212C AC/DC/RLY	En perfecto estado físico y funcional.	- Limpieza de los bornes del equipo. - Pruebas de funcionamiento.
1 módulo de salida analógica 6ES7232-4HA30-0XB0		- Limpieza del módulo. - Pruebas de funcionamiento.
Pantalla táctil TouchWin TG865-ET		- Limpieza del panel. - Pruebas de funcionamiento.
1 switch ethernet		- Limpieza del equipo. - Pruebas de funcionamiento.
2 fuentes de 24 VDC		- Limpieza de los equipos. - Pruebas de funcionamiento.

Módulo complementario para la interfaz DB25 8E/8S		- Limpieza del equipo. - Pruebas de funcionamiento.
Tanque de reserva		- Limpieza externa e interna del tanque.
Bomba de drenaje PSB-02		- Limpieza del equipo. - Pruebas de funcionamiento.
Botonera		- Limpieza de la botonera. - Pruebas de funcionamiento.
Luces piloto		- Limpieza del módulo de luces. - Pruebas de funcionamiento.
Compresor de aire Porten 2 HP 75 litros		- Limpieza del equipo. - Pruebas de funcionamiento.

### 2.2.3 REDISEÑO DE LA DISTRIBUCIÓN FÍSICA DE LOS COMPONENTES

Los distintos elementos y equipos requeridos para la implementación del sistema de envasado de líquidos, presentados en las Tablas 2.1 y 2.2, requieren que su distribución física dentro de la línea de simulación del proceso permita adaptar su operación en base a la funcionalidad general del sistema de envasado y a los requerimientos de cada etapa del proceso diseñado. El rediseño se divide en dos etapas: la primera etapa corresponde al reposicionamiento de algunos componentes de la Tabla 2.1, y la segunda etapa corresponde al posicionamiento de todos los componentes adicionales presentados en la Tabla 2.2. El rediseño de la distribución física se presenta en el ANEXO III.

### 2.2.4 ASIGNACIÓN DE RECURSOS PARA LOS PLCS

En base a los distintos componentes y equipos presentados en las Tablas 2.1 y 2.2. Se realizó la asignación de recursos para las entradas y salidas de cada PLC Siemens S7-1200. El ANEXO IV muestra la asignación de recursos para cada PLC.

### 2.2.5 TRATAMIENTO DE LAS SEÑALES PARA LOS PLCS

En base a las especificaciones de los sensores presentadas en las tablas de los ANEXOS I y II, y a la asignación de recursos del ANEXO IV, se tiene que las señales de entrada a los PLCs se alimentarán con 24 VDC, que es el voltaje admisible por las entradas digitales según lo presentado en la Tabla 5.1, donde se tiene que la entrada digital del PLC Siemens reconocerá como “1L” el voltaje de 24VDC.

Las salidas se alimentarán con 24 VDC; para el caso de la bomba de drenaje, se hará uso del relé de 24V para su activación. Por lo tanto, no se requiere de ningún tipo de acondicionamiento para las señales que manejan los PLCs, puesto que se están trabajando con los niveles de voltaje admisibles por los PLCs Siemens S7-1200.

## **2.3 ARQUITECTURA DEL SISTEMA**

Para la implementación del sistema de envasado de líquidos y en base a los niveles de la pirámide de automatización descritos en el marco teórico, se propone la arquitectura del sistema, la cual se presenta en el ANEXO V. A continuación, se presentan los niveles que conforman la arquitectura del sistema.

### **2.3.1 NIVEL DE SUPERVISIÓN**

Dentro de este nivel, se tiene un único dispositivo, correspondiente a la PC destinada a ser la estación de supervisión, dentro de la cual se tiene el servidor OPC UA y el cliente DDE.

### **2.3.2 NIVEL DE CONTROL**

Para el nivel de control se cuenta con los siguientes equipos:

- Primer PLC: Siemens S7-1200 CPU 1212C AC/DC/RLY integrado con el módulo de salida analógica 6ES7232-4HA30-0XB0.
- Segundo PLC: Siemens S7-1200 CPU 1212C AC/DC/RLY integrado con el módulo de salida analógica 6ES7232-4HA30-0XB0.
- Pantalla táctil: TouchWin TG865-ET.

### **2.3.3 NIVEL DE PROCESO**

Dentro de este nivel se incluyen los distintos sensores, actuadores y elementos de maniobra y visualización presentes en el proceso, entre los que se tienen:

- Sensores: Sensores de proximidad fotoeléctricos, sensor magnético, sensor de proximidad capacitivo (nivel).
- Actuadores: Bomba de drenaje, Motores (banda transportadora y disco giratorio), Electroválvulas, Válvulas, cilindros de doble efecto (neumático e hidráulico).
- Elementos de maniobra y visualización: botonera (pulsante de emergencia, marcha, paro, selector) y luces piloto.

## **2.4 DIAGRAMAS DE CONEXIÓN**

Los diagramas de conexión sirven como respaldo y guía para llevar a cabo la instalación de los distintos componentes y equipos dentro del módulo, así como para realizar tareas relacionadas con su mantenimiento. A continuación, se presentan los distintos diagramas

de conexión del módulo de envasado, que incluyen la distribución del cableado eléctrico de los distintos componentes y equipos que conforman la línea de simulación del proceso de envasado de líquidos. Además, se presenta el diagrama de conexión del sistema electroneumático-hidráulico encargado de la dosificación del líquido, así como el correspondiente plano de red.

#### 2.4.1 PLANO ELÉCTRICO

El plano eléctrico es una representación de la distribución del cableado y de las conexiones empleadas para los distintos componentes que integran el sistema de envasado de líquidos. Para la elaboración del plano eléctrico, se ha hecho uso de la simbología presente en la norma IEC 60617. La tabla de resumen de los elementos empleados para la elaboración del plano eléctrico se presenta en el ANEXO VI. El plano eléctrico diseñado se presenta en el ANEXO VII y se divide en los siguientes esquemas, donde se abarca tanto la parte de control como la parte de potencia.

- Circuito de Potencia para el PLC 1.
- Circuito de Potencia para el PLC 2.
- Circuito de Control digital I/O para el PLC 1.
- Circuito de Control digital I/O para el PLC 2.
- Circuito de conexionado para la pantalla táctil TouchWin TG865-ET.

#### 2.4.2 ESQUEMA ELECTRONEUMÁTICO-HIDRÁULICO

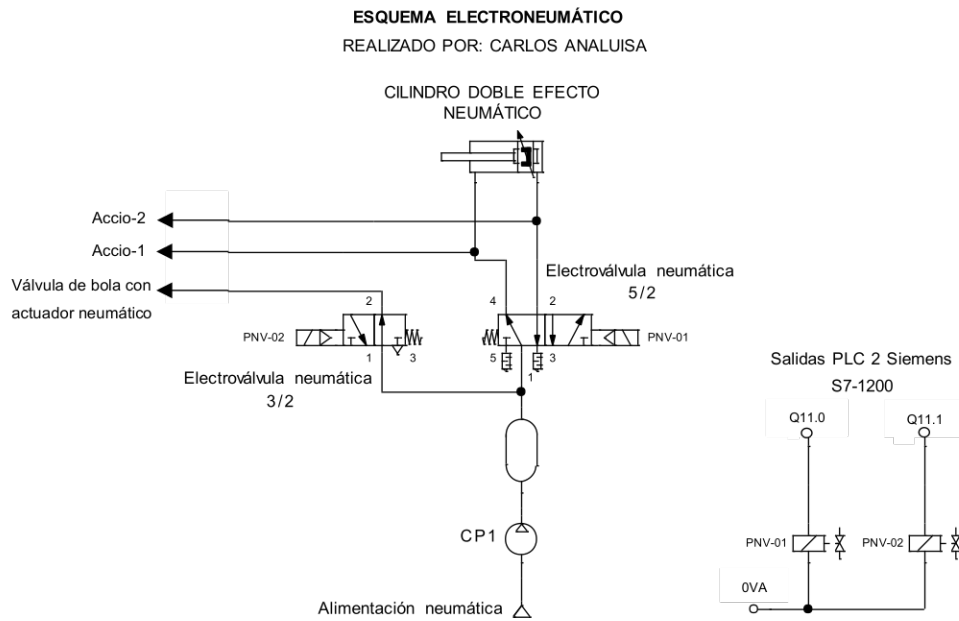
El sistema electroneumático-hidráulico, que se encontraba implementado en el módulo de envasado, el cual fue descrito en el diseño de proceso, se divide en dos etapas. La primera corresponde a la etapa electroneumática y la segunda corresponde a la etapa hidráulica. Cabe mencionar que en la estructura física se tiene un acople rígido entre los vástagos de los cilindros doble efecto neumático e hidráulico, como se muestra en la Figura 2.11. Este acople permite que el movimiento del vástago del cilindro hidráulico sea comandado mediante el movimiento del vástago del cilindro neumático. A continuación, se presentan los diagramas de conexión correspondientes a cada etapa.



**Figura 2.11.** Acople rígido entre los vástagos de los cilindros neumático e hidráulico.

### 2.4.2.1 Esquema Electroneumático

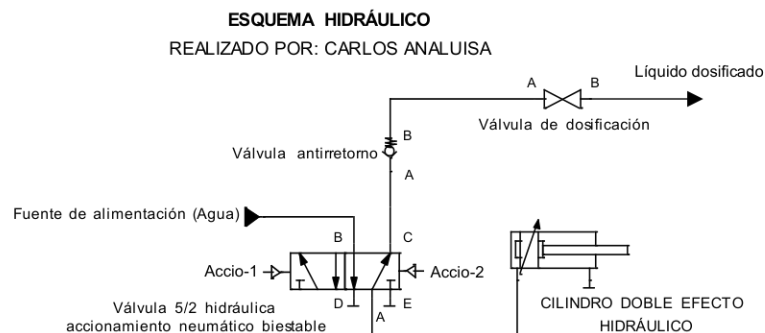
El esquema electroneumático se presenta en la Figura 2.12, donde se muestra que las electroválvulas serán accionadas por las salidas del PLC 2 Siemens S7-1200, como se presentó en el ANEXO VII. Cabe mencionar que las entradas de alimentación del cilindro de doble efecto neumático corresponden también a los accionamientos neumáticos de la válvula distribuidora 5/2 hidráulica.



**Figura 2.12.** Esquema electroneumático.

### 2.4.2.2 Esquema Hidráulico

En la Figura 2.13 se presenta el esquema hidráulico, donde se muestra que los accionamientos neumáticos de la válvula distribuidora 5/2 hidráulica provienen del esquema electroneumático de la Figura 2.12.



**Figura 2.13.** Esquema hidráulico.

### 2.4.3 PLANO DE RED

El plano de red corresponde a una representación que ilustra la topología y conexiones de los distintos equipos que conforman la red del sistema de envasado de líquidos. El plano de red elaborado para el presente proyecto se muestra en el ANEXO VIII.

#### 2.4.3.1 Distribución de la red

En la Tabla 2.3 se presenta la distribución de los distintos equipos que se conectarán en red dentro del sistema de envasado de líquidos, con la respectiva dirección IP asignada para cada equipo.

**Tabla 2.3.** Distribución de los equipos en la red del sistema de envasado de líquidos.

Equipo	Dirección IP	Máscara	Puerto del Switch
PLC 2 Siemens S7-1200 CPU 1212C AC/DC/RLY	192.168.0.2	255.255.255.0	1
PLC 1 Siemens S7-1200 CPU 1212C AC/DC/RLY	192.168.0.4	255.255.255.0	2
Pantalla táctil TouchWin TG865-ET	192.168.0.5	255.255.255.0	3
Computador	192.168.0.146	255.255.255.0	4

## 2.5 CABLEADO Y CONEXIÓN FÍSICA

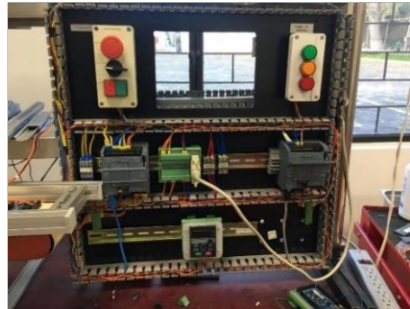
### 2.5.1 INTERFAZ DE COMUNICACIÓN DB25

La disposición física de ciertos elementos, como es el caso de los dos sensores de proximidad capacitivos, el sensor magnético, el relé para la activación de la bomba de drenaje y las electroválvulas, los cuales se encontraban alejados del tablero de control, y con la finalidad de reducir el tamaño del cableado que resultaría de conectar estos elementos de manera directa a las entradas y salidas de los PLCs, se procedió a hacer uso de la interfaz de comunicación DB25 8E/8S. El detalle del uso de esta interfaz se presenta en el ANEXO IX.

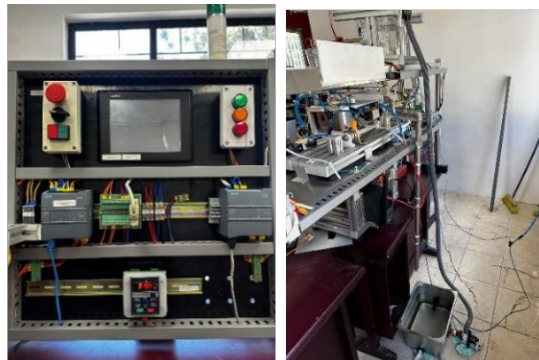
### 2.5.2 IMPLEMENTACIÓN

Una vez posicionados todos los equipos y elementos en base al rediseño de la distribución física, y haciendo uso de los diagramas de conexión de los ANEXOS VII y VIII, además del

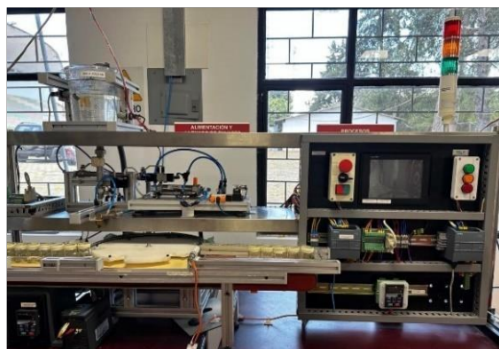
uso de la interfaz de comunicación DB25, se procedió con la implementación física de las conexiones de los distintos elementos, como se evidencia a continuación.



**Figura 2.14.** Proceso de conexonado del panel de control (canaletas sin tapas).



**Figura 2.15.** Conexonado final del panel de control y parte trasera del módulo (canaletas tapadas).



**Figura 2.16.** Vista frontal del módulo de envasado de líquidos con las conexiones terminadas.

### 2.5.3 ETIQUETADO

Una vez realizadas todas las conexiones físicas de los componentes y equipos dentro de la línea de simulación del proceso de envasado de líquidos, se planteó un sistema de etiquetado para poder organizar e identificar los distintos cables presentes en el módulo.

El sistema de etiquetado, así como la evidencia del etiquetado de los distintos componentes y cableado dentro del módulo, se presenta en el ANEXO X.

## **2.6 DISEÑO DEL REGISTRO DE TRAZABILIDAD**

El registro fue diseñado con el objetivo de supervisar la trazabilidad del líquido en el proceso de envasado. Para ello, se hizo un enfoque en la etapa de producción y almacenamiento/distribución de cada lote producido en el sistema de envasado de líquidos.

### **Trazabilidad en la etapa de producción**

Dentro de la etapa de producción se plantearon los siguientes parámetros que serán incluidos en el registro de trazabilidad de cada lote producido.

- Número de lote: Se asigna de manera automática al iniciar una nueva producción dentro del sistema de envasado y posee la siguiente codificación: **(CA\_Año\_Mes\_Día\_Hora\_Minuto)**. Un ejemplo de esta codificación es el número de lote CA2401121510, el cual indica que el lote fue producido el 12 de enero del 2024 a las 15h10.
- Hora de inicio y finalización de producción del lote.
- Tiempo total que tomó la producción del lote.
- Tipo de lote: Se detalla si se trata de un lote mixto o un lote homogéneo.
- Detalle del lote producido: Se presenta el número de envases para cada tipo de dosificación, así como el número total de envases del lote.

### **Trazabilidad en la etapa de almacenamiento/distribución**

Dentro de la etapa de almacenamiento/distribución se plantearon los siguientes parámetros que serán incluidos en el registro de trazabilidad de cada lote producido.

- Fecha de elaboración y caducidad del lote.
- Meses de consumo del lote a partir de la fecha de elaboración.
- Temperatura de almacenamiento y de transporte del lote.
- Parámetros por considerar tanto para el almacenamiento como para la distribución del lote, entre los que se incluyen: ambiente ventilado, embalaje resistente y manejo cuidadoso.



Cada registro de trazabilidad de cada lote producido se almacena en una tabla acumulativa, además, se genera una guía de trazabilidad individual en formato PDF que incluye los parámetros más relevantes del registro de cada lote, la cual se almacena en una carpeta organizada por fechas.

## 2.7 CONFIGURACIÓN DE SOFTWARE

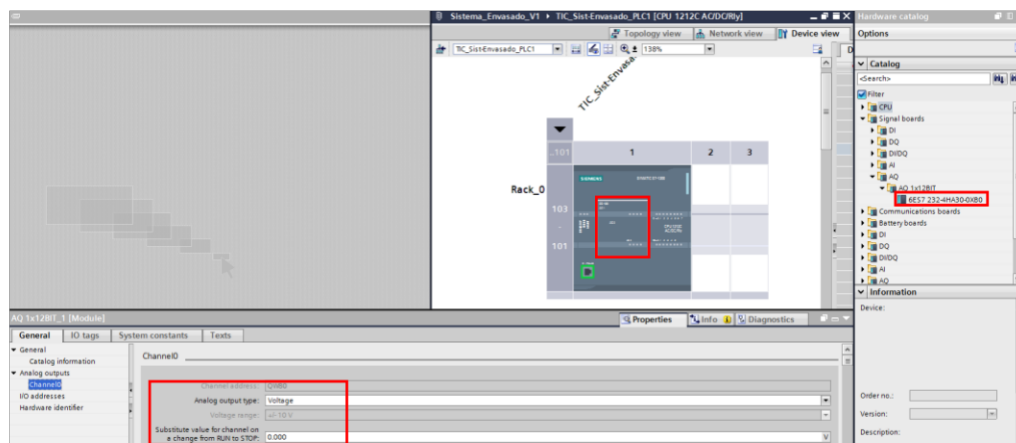
Para llevar a cabo la ejecución del presente proyecto fue necesario establecer el diseño e implementación de software, el cual se detalla a continuación.

### 2.7.1 PROGRAMACIÓN DEL VARIADOR DE VELOCIDAD MICNO KE300X

La programación de los variadores de velocidad que comandan los motores de la banda transportadora y del disco giratorio se realizó en base al manual de usuario del variador [44]. La programación de los distintos parámetros permitió que la salida analógica de cada PLC pueda controlar el valor de la frecuencia del variador, además de poder controlar la activación y desactivación de los motores de manera remota. La configuración de los distintos parámetros de los variadores de velocidad se presenta en el ANEXO XI.

### 2.7.2 CONFIGURACIÓN COMUNICACIÓN PROFINET

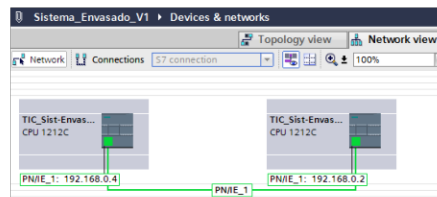
Previamente a establecer la comunicación, se realizó la configuración respectiva de cada PLC dentro de TIA PORTAL, donde se agregó y configuró el módulo de salida analógica como una salida de voltaje, como se observa en la Figura 2.17. Además de asignar las respectivas direcciones IP para cada PLC.



**Figura 2.17.** PLC 1 con módulo de salida analógica.

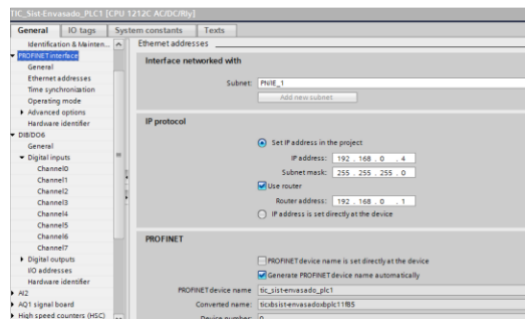
Dentro de la ventana Dispositivos y redes, específicamente en la opción "Vista de red" se puede visualizar los dispositivos que deben conectarse. Para establecer la comunicación PROFINET entre ambos PLCs se seleccionó el puerto Ethernet de uno de los dos PLCs

arrastrando la conexión hasta el puerto del otro PLC. Una vez realizado esto se establece la comunicación entre ambos dispositivos como se observa en la Figura 2.18.

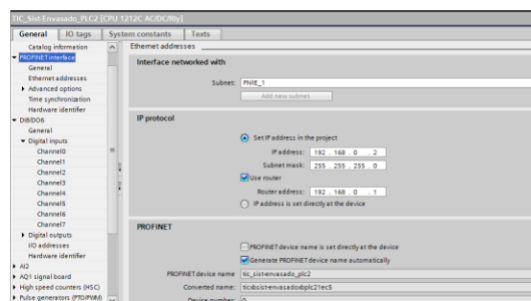


**Figura 2.18.** Comunicación PROFINET establecida entre ambos PLCs.

En las Figuras 2.19 y 2.20 se presenta los detalles de la interfaz PROFINET establecida para cada PLC.



**Figura 2.19.** Detalles interfaz PROFINET PLC 1.



**Figura 2.20.** Detalles interfaz PROFINET PLC 2.

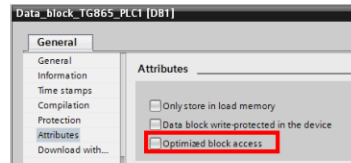
### 2.7.3 PROGRAMACIÓN PLC 1 S7-1200

Para la programación se hizo uso de TIA PORTAL V13. A continuación, se presenta las distintas secciones en que se dividió la programación del primer PLC.

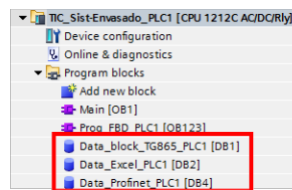
#### 2.7.3.1 Bloques de datos

Para organizar la programación, se hizo uso de los bloques de datos. Inicialmente, dentro de las propiedades de cada nuevo bloque de datos creado, se desmarcó la opción "Optimized block Access", como se muestra en la Figura 2.21. Se crearon tres bloques de

datos destinados a contener las variables asociadas para el manejo de la pantalla táctil TG865-ET, el manejo de las variables destinadas para el registro de trazabilidad y el manejo de las variables empleadas en la comunicación PROFINET con el PLC 2. Los bloques de datos creados se presentan en la Figura 2.22.



**Figura 2.21.** Propiedades del bloque de datos.



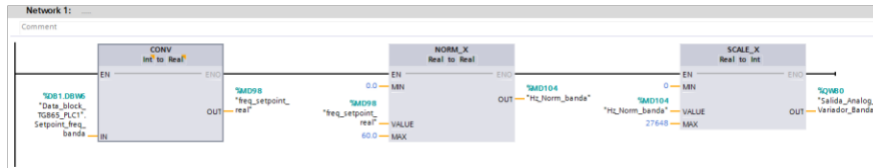
**Figura 2.22.** Bloques de datos creados para el PLC 1.

### 2.7.3.2 Programa general

Previo a desarrollar la lógica de programación se realizó la asignación de las variables de entrada y salida del PLC 1 con su respectivo direccionamiento, esto se presenta en el ANEXO XII. El programa principal del primer PLC se desarrolló en lenguaje Ladder, dentro del cual se efectuó principalmente el control del motor de la banda transportadora y del llenado del tanque de almacenamiento. Además del manejo de los periféricos de maniobra (pulsante de emergencia, selector, pulsante de marcha y paro) y visualización (luces piloto). Para complementar el programa principal se desarrolló un programa auxiliar en lenguaje FBD, dentro del cual haciendo uso del algebra de bloques se plantearon las condiciones necesarias para la ejecución del programa.

#### 2.7.3.2.1 Escalamiento

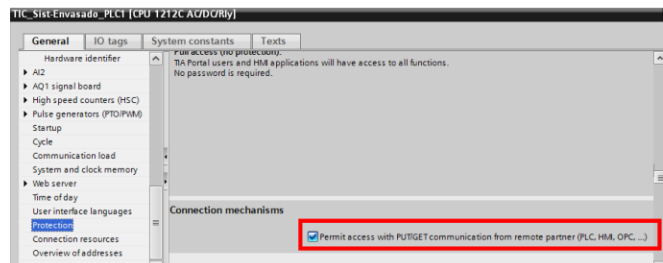
Dentro del programa principal, se realizó el escalado para el manejo de la salida analógica destinada a controlar el valor de la frecuencia del variador de velocidad para el motor de la banda transportadora. Se tiene que el valor de la frecuencia es ingresado desde el HMI y el tipo de dato que manda el HMI al PLC 1 es de tipo entero; por tanto, se requirió realizar la conversión a tipo real. Posteriormente, se realizó la normalización y finalmente el escalado entre 0 y 27648, que permite variar entre 0 y 10 V respectivamente. El escalado realizado se presenta en la Figura 2.23.



**Figura 2.23.** Escalamiento de la variable analógica del PLC 1.

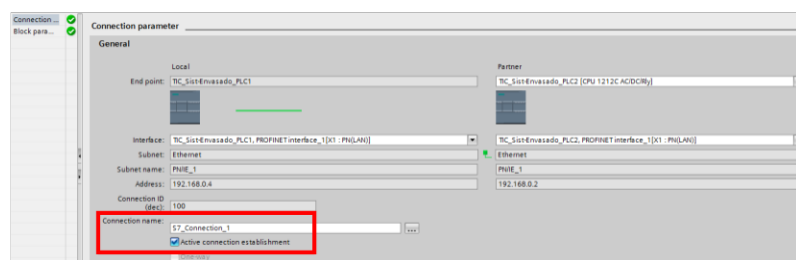
### 2.7.3.2.2 Configuración bloque GET

Para que el PLC 1 pueda recibir las variables provenientes del PLC 2, se hizo uso del bloque GET, el cual permite cumplir esta función. Para hacer uso de este bloque, dentro de las propiedades del PLC 1, en la opción Protección, se requiere marcar la opción que se muestra en la Figura 2.24, la cual habilitará el uso del bloque.



**Figura 2.24.** Habilitación del uso del bloque GET en el PLC1.

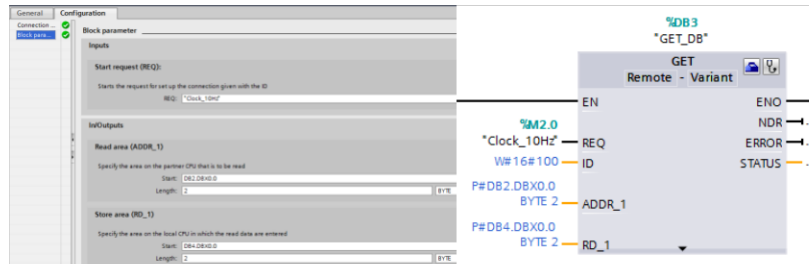
Dentro de los parámetros de conexión del bloque GET, por defecto el PLC 1 es asignado como dispositivo local, mientras que en la opción de PLC interlocutor se seleccionó al PLC 2, como se aprecia en la siguiente figura. Además, se marca la opción para activar la conexión S7.



**Figura 2.25.** Configuración de los parámetros de conexión del bloque GET para el PLC 1.

Dentro de la configuración de los parámetros del bloque, se asignó una marca de ciclo de 10 Hz para que la solicitud de recepción de datos se ejecute de manera cíclica. Dentro del apartado ADDR\_1 se coloca el área específica del PLC interlocutor de donde se va a realizar la lectura de las variables. Al trabajar con bloques de datos, se especificó la dirección del bloque de datos destinado a la comunicación PROFINET en el PLC 2; en este caso, se manejan datos de tipo byte con longitud 2. En el apartado RD\_1 se especifica el

área de memoria del PLC local (PLC 1) donde se almacenarán los datos leídos. Para este caso, se especificó la dirección del bloque de datos destinado a la comunicación en el PLC1, correspondiente al DB4. En la siguiente figura se presenta la configuración de los parámetros, además del bloque GET resultante una vez que se realizaron las configuraciones.

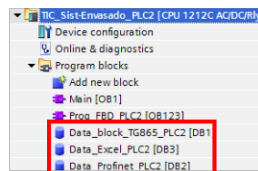


**Figura 2.26.** Configuración de los parámetros del bloque GET para el PLC 1.

## 2.7.4 PROGRAMACIÓN PLC 2 S7-1200

### 2.7.4.1 Bloques de datos

Tomando en cuenta las consideraciones de la creación de bloques de datos empleadas para el PLC 1. Se crearon tres bloques de datos destinados a contener las variables asociadas para el manejo de la pantalla táctil TG865-ET, el manejo de las variables destinadas para el registro de trazabilidad y el manejo de las variables empleadas en la comunicación PROFINET con el PLC 1.



**Figura 2.27.** Bloques de datos creados para el PLC 2.

### 2.7.4.2 Programa general

Previo a desarrollar la lógica de programación se realizó la asignación de las variables de entrada y salida del PLC 2 con su respectivo direccionamiento, esto se presenta en el ANEXO XIII. El programa principal del segundo PLC se desarrolló en lenguaje Ladder, dentro del cual se efectuó principalmente el control del motor del disco giratorio y del control y ejecución del sistema de dosificación de líquido (volumétrico y en función del tiempo). Además del envío de los datos requeridos para el registro de trazabilidad. Para complementar el programa principal se desarrolló un programa auxiliar en lenguaje FBD, dentro del cual se plantearon las condiciones necesarias para la ejecución del programa

que a su vez permitió cumplir los requerimientos de las etapas diseñadas para la ejecución del proceso.

### 2.7.4.2.1 Escalamiento

Dentro del programa principal, se realizó el escalado para el manejo de la salida analógica destinada a controlar el valor de la frecuencia del variador de velocidad para el motor del disco giratorio. Siguiendo la lógica empleada para el escalamiento realizado para el PLC 1 se planteó el siguiente escalamiento para el PLC 2.

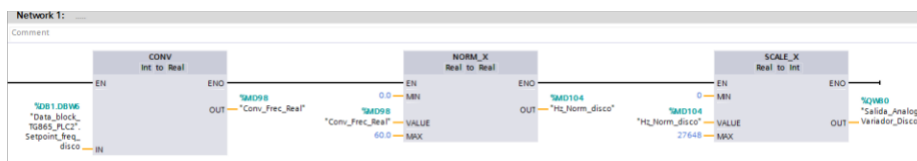


Figura 2.28. Escalamiento de la variable analógica del PLC 2.

### 2.7.4.2.2 Configuración bloque GET

Para el caso del PLC 2, cuya versión de firmware es inferior a la del PLC 1, no se requiere activar la opción para el uso del bloque GET, puesto que esta viene incorporada y habilitada por defecto. Siguiendo el planteamiento realizado para la configuración del bloque GET realizada para el PLC 1, se realizó la configuración correspondiente para el PLC 2, con la diferencia de que para este caso el PLC local es el PLC 2, mientras que el PLC interlocutor es el PLC 1. Para este caso se debe desmarcar la activación de la conexión S7.

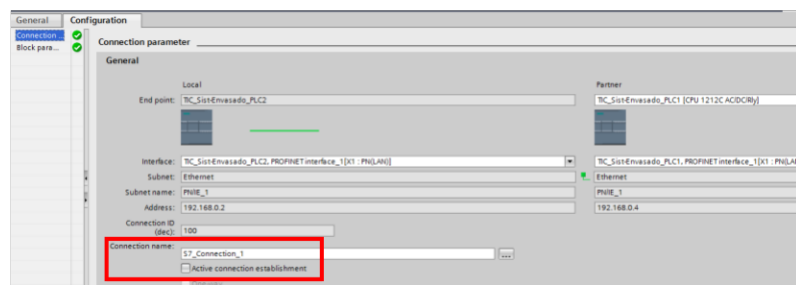


Figura 2.29. Configuración de los parámetros de conexión del bloque GET para el PLC 2.



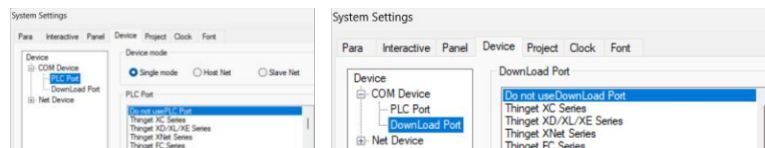
Figura 2.30. Configuración de los parámetros del bloque GET para el PLC 2.

## 2.7.5 DESARROLLO DE LA INTERFAZ HMI

Para la programación de la pantalla táctil TouchWin TG865-ET se hizo uso del software TouchWin Edit Tool versión 2.D3n.

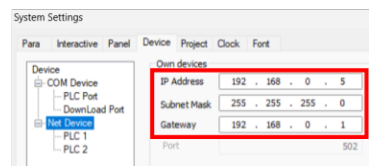
### 2.7.5.1 Configuración de comunicación

Inicialmente dentro de la opción de configuración del sistema en el apartado COM Device, para las opciones PLC Port y Download Port se debe de tener seleccionada la opción ``Do not use PLC Port`` y ``Do not use Download Port`` respectivamente.



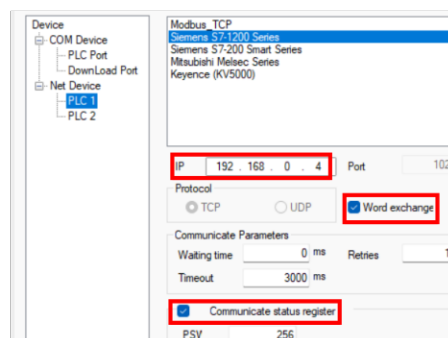
**Figura 2.31.** Selección para no usar el puerto el puerto del PLC ni el puerto de descarga.

La comunicación de la pantalla con los PLCs se realiza vía Ethernet, para esto dentro del apartado Net Device se procede a configurar los parámetros de red de la pantalla, donde principalmente se asignó la dirección IP de acuerdo con lo establecido en el plano de red.



**Figura 2.32.** Configuración parámetros de red de la pantalla táctil.

Al hacer clic derecho sobre el apartado Net Device, se procedió a crear los dispositivos asociados al PLC 1 y PLC 2. Dentro de los cuales se seleccionó la opción de Siemens S7-1200 y se asignó la dirección IP correspondiente de cada PLC, además de marcar las opciones señaladas en las siguientes figuras. Con esto se posibilita el intercambio bidireccional de información entre la pantalla táctil y los PLCs.



**Figura 2.33.** Configuración parámetros para el PLC 1.

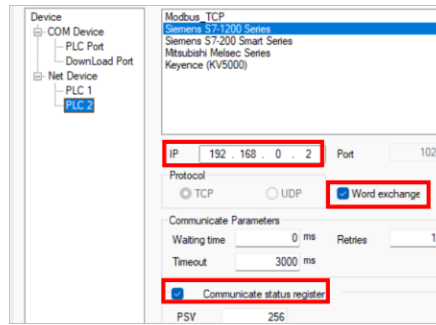


Figura 2.34. Configuración parámetros para el PLC 2.

### 2.7.5.2 Convención de colores

Dentro de las características generales del diseño del HMI se estableció la convención de colores empleada para la elaboración de las ventanas. Esto se presenta en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4. Convención de colores para el HMI.

	Tipo	Color	R	G	B	Representación
Pantalla	Fondo de pantalla	Gris	189	194	189	
	Letra	Negro	0	0	0	
Estado de los equipos	Encendido	Verde	0	176	80	
	Apagado	Rojo	192	0	0	
Estado del proceso	Marcha	Verde	0	176	80	
	Paro	Amarillo	255	192	0	
	Emergencia	Rojo	192	0	0	
Fluidos	Agua	Azul	0	112	192	

### 2.7.5.3 Arquitectura del HMI

Para la arquitectura se planteó 3 niveles de exploración: nivel superior, intermedio e inferior. Inicialmente, se cuenta con una pantalla de ingreso que no se incluyó dentro de la jerarquía. A continuación, se presenta la arquitectura del HMI.

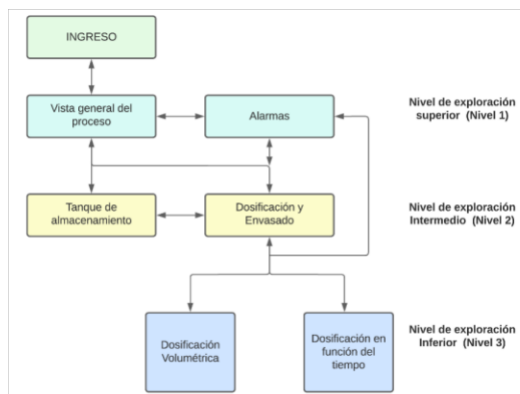


Figura 2.35. Arquitectura del HMI.



#### 2.7.5.4 Asignación de objetos

La asignación de objetos dentro de TouchWin Edit Tool permitirá asociar las variables de los PLCs con los distintos objetos creados en el HMI. Para la asignación se debe de especificar la estación del dispositivo, dentro de este apartado se puede seleccionar entre los dos dispositivos creados, es decir entre el PLC 1 y PLC 2. Dentro del tipo de objeto se selecciona el tipo de dato asociado a la variable del PLC. El hecho de haber usado bloques de datos facilitó la asignación de objetos dentro del HMI, únicamente se requiere especificar el número de bloque de datos y su offset correspondiente. Cabe mencionar, que los datos de tipo Word en el HMI deben de configurarse como datos de tipo entero dentro del PLC. Se ejemplifica la asignación de objetos para el PLC 1 y PLC 2.

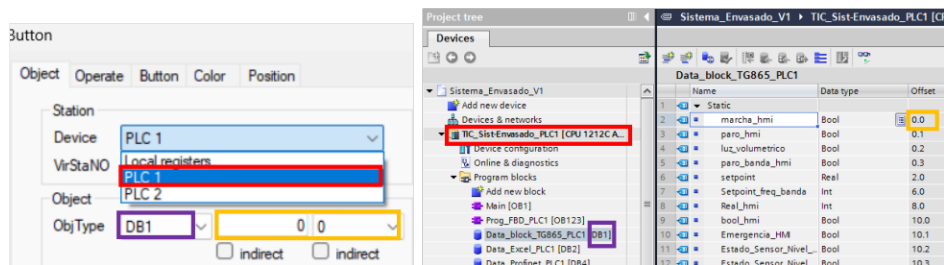


Figura 2.36. Asignación de objeto para la variable pulsante de marcha del PLC 1.

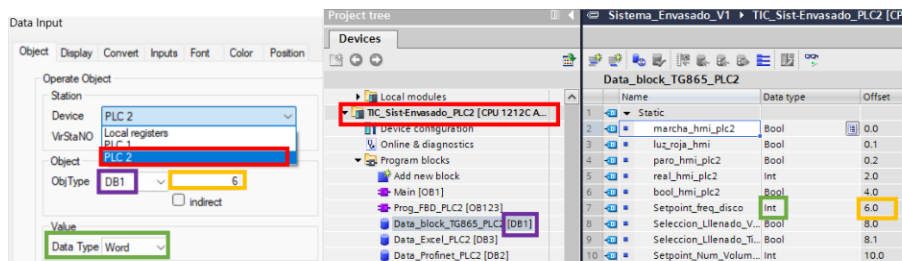


Figura 2.37. Asignación de objeto para el ingreso de la frecuencia del disco del PLC 2.

#### 2.7.5.5 Ventanas principales

Las ventanas principales del HMI con su descripción se presentan en el ANEXO XIV.

#### 2.7.5.6 Ventanas secundarias

Las ventanas secundarias del HMI con su descripción se presentan en el ANEXO XV.

### 2.7.6 LÓGICA DE FUNCIONAMIENTO

La lógica de operación de la programación conjunta de los PLCs y la interfaz HMI que permite la ejecución y operación del sistema de envasado de líquidos se ilustra en el diagrama de flujo del ANEXO XVI.

## 2.7.7 CONFIGURACIÓN SERVIDOR KEPServerEX

Se presenta la configuración desarrollada del servidor de datos que permite establecer la conexión entre las variables del PLC y el cliente DDE para la elaboración del registro de trazabilidad.

### 2.7.7.1 Canal PLC S7-1200

#### 2.7.7.1.1 Configuración canal

Inicialmente se realizó la creación de un canal destinado para el manejo de los dispositivos Siemens S7-1200. Para esto, se seleccionó el driver correspondiente a Siemens TCP/IP Ethernet y se asignó el nombre de Channel\_S71200 al canal. Además, dentro del apartado de configuración de la comunicación Ethernet, se seleccionó la opción correspondiente al adaptador de red de la máquina local, cuya dirección IP es: 192.168.0.146, como se muestra a continuación.

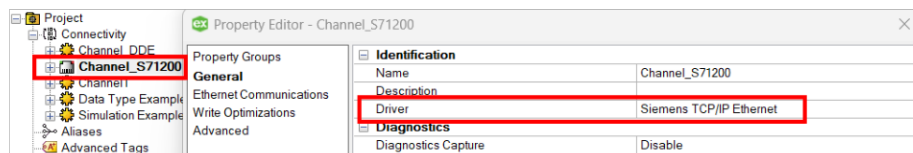


Figura 2.38. Configuración de los parámetros generales del canal S7-1200.

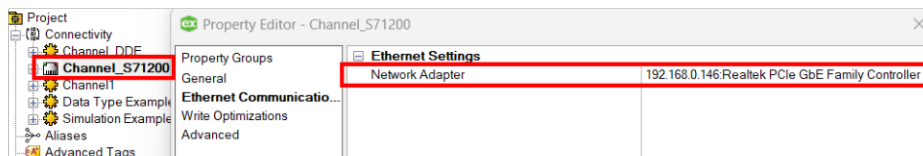


Figura 2.39. Configuración de la comunicación Ethernet.

#### 2.7.7.1.2 Creación nuevo dispositivo

Posteriormente se procedió a crear los dispositivos asociados al PLC 1 y PLC 2 dentro del canal creado. Para cada dispositivo se asignó un nombre respectivo y se especificó el modelo del PLC; para este caso, ambos modelos corresponden al S7-1200. Además, se especificó la dirección IP asociada a cada PLC, como se muestra a continuación.

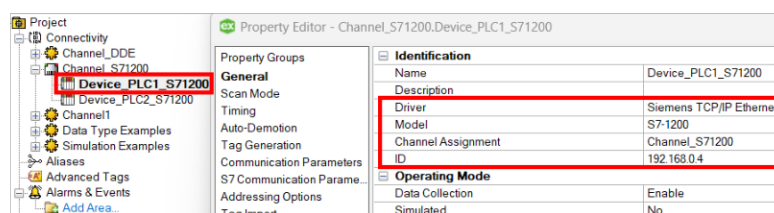


Figura 2.40. Creación del dispositivo asociado al PLC 1.

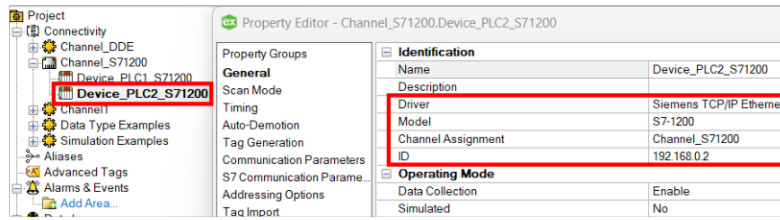


Figura 2.41. Creación del dispositivo asociado al PLC 2.

### 2.7.7.1.3 Creación Tags

La creación de tags se realizó dentro de cada dispositivo asociado a cada PLC. Para cada tag creado se asignó su nombre correspondiente, además de especificar la dirección de la variable asociada en el PLC y el tipo de dato. Al hacer uso de un bloque de datos exclusivo dentro de la programación para las variables destinadas para el servidor, se especificó la dirección incluyendo el número de bloque de datos que contiene la variable, como se presenta a continuación.

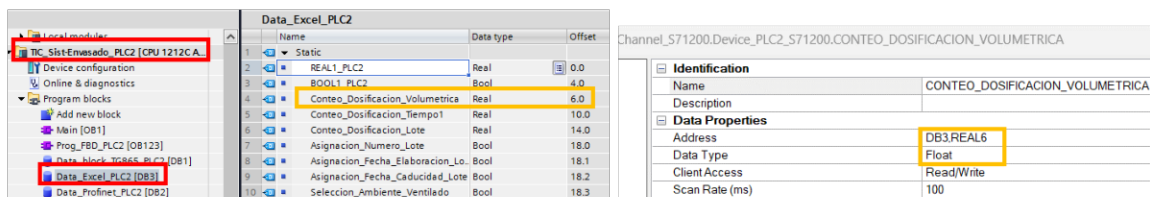


Figura 2.42. Creación de un nuevo tag asociado al PLC 2.

Se presentan todos los tags creados para el PLC 2, el cual es el encargado de manejar las variables relacionadas con el registro de trazabilidad.

Tag Name	Address	Data Ty...	Scan Rate
ASIGNACION_FECHA_CADUCIDAD	DB3.X18.2	Boolean	100
ASIGNACION_FECHA_ELABORACION	DB3.X18.1	Boolean	100
ASIGNACION_NUEVO_LOTE	DB3.X18.0	Boolean	100
ENVIAR_DATOS_TRAZABILIDAD	DB3.X40.2	Boolean	100
LOTE_HOMOGENEO	DB3.X40.1	Boolean	100
LOTE_MIXTO	DB3.X40.0	Boolean	100
SELECCION_AMBIENTE_VENTILADO	DB3.X18.3	Boolean	100
SELECCION_EMBALAJE_RESISTENTE	DB3.X18.4	Boolean	100
SELECCION_MANEJO_CUIDADOSO	DB3.X18.5	Boolean	100
CONTEO_DOSIFICACION_TIEMPO1	DB3.REAL10	Float	100
CONTEO_DOSIFICACION_TIEMPO2	DB3.REAL28	Float	100
CONTEO_DOSIFICACION_VOLUMETRICA	DB3.REAL6	Float	100
GENERACION_NUMERO_REGISTRO	DB3.REAL42	Float	100
GENERACION_REGISTRO_TRAZABILIDAD	DB3.REAL36	Float	100
MESES_CADUCIDAD_LOTE	DB3.REAL32	Float	100
TEMPERATURA_ALMACENAMIENTO_LOTE	DB3.REAL20	Float	100
TEMPERATURA_TRANSPORTE_LOTE	DB3.REAL24	Float	100

Figura 2.43. Tags creados para el PLC 2.

### 2.7.7.2 Canal DDE

Inicialmente se crea el canal DDE dentro del cual se asigna el nombre correspondiente y se selecciona como driver al cliente DDE.

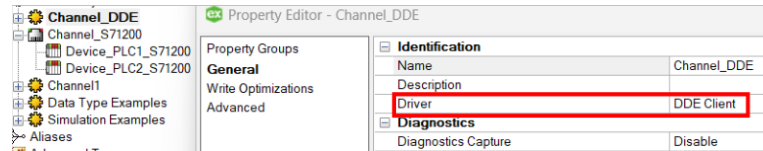


Figura 2.44. Creación del canal DDE.

### 2.7.7.2.1 Creación nuevo dispositivo

Posteriormente se crea el dispositivo asociado al cliente DDE que en este caso corresponde a Excel.

### 2.7.7.2.2 Creación Tags

Dentro del dispositivo creado, se procedió con la creación de los tags asociados a las celdas en Excel. Para esto, se asigna el nombre correspondiente al tag, se especifica el tipo de dato y en el apartado de la dirección se asigna en el siguiente formato: **Excel|Nombre\_hoja!Nombre\_de\_la\_celda**, como se presenta a continuación.

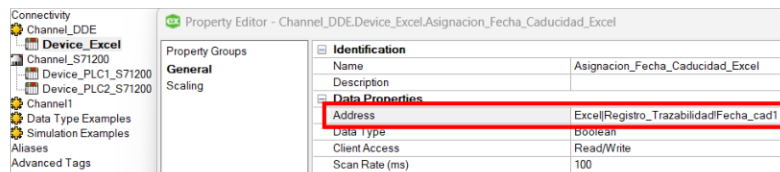


Figura 2.45. Creación de un nuevo tag asociado a Excel.

Tag Name	Address	Data Ty...	Scan Rate
Asignacion_Fecha_Caducidad_Excel	Excel Registro_Trazabilidad Fecha_cad1	Boolean	100
Asignacion_Fecha_Elaboracion_Excel	Excel Registro_Trazabilidad Fecha_elab1	Boolean	100
Asignacion_Numero_Lote_Excel	Excel Registro_Trazabilidad Generar_Numero_Lote	Boolean	100
Envio_Datos_Trazabilidad_Excel	Excel Registro_Historicos historicos_1	Boolean	100
Seleccion_Ambiente_Ventilado_Excel	Excel Registro_Trazabilidad ambiente1	Boolean	100
Seleccion_Embalaje_Resistente_Excel	Excel Registro_Trazabilidad embalaje1	Boolean	100
Seleccion_Lote_Homogeneo_Excel	Excel Registro_Trazabilidad Homogeneo1	Boolean	100
Seleccion_Lote_Mixto_Excel	Excel Registro_Trazabilidad Mixto1	Boolean	100
Seleccion_Manejo_Cuidadoso_Excel	Excel Registro_Trazabilidad manejo1	Boolean	100
Conteo_Dosificacion_Tiempo1_Excel	Excel Registro_Trazabilidad num_time_1	Float	100
Conteo_Dosificacion_Tiempo2_Excel	Excel Registro_Trazabilidad num_2	Float	100
Conteo_Dosificacion_Volumetrica_Excel	Excel Registro_Trazabilidad num_volum	Float	100
Generacion_Numero_Registro_Excel	Excel Hoja1 Numero_Registro	Float	100
Generacion_Registro_Trazabilidad_Excel	Excel Registro_Trazabilidad Generar_PDF_Trazabilidad	Float	100
Meses_Caducidad_Lote_Excel	Excel Registro_Trazabilidad meses1	Float	100
Temperatura_Almacenamiento_Lote_Excel	Excel Registro_Trazabilidad Temp_1	Float	100
Temperatura_Transporte_Lote_Excel	Excel Registro_Trazabilidad Temp_2	Float	100

Figura 2.46. Tags creados para Excel.

### 2.7.7.3 Advance Tags

Para poder enlazar los tags creados para el PLC 2 con los tags creados para Excel, se requirió hacer uso del tag avanzado de tipo link, el cual permitió realizar dicho enlace. Dentro de este tag se asigna un nombre asociado a la conexión a realizarse. Para este caso, dentro del campo de entrada se colocó el tag del PLC 2, mientras que en la salida se colocó el tag de Excel en el cual se verá reflejada la variable del PLC. El modo de enlace

se realiza por intervalos de 1010 milisegundos, esto para que el envío de datos por parte del PLC hacia Excel se realice de manera recurrente.

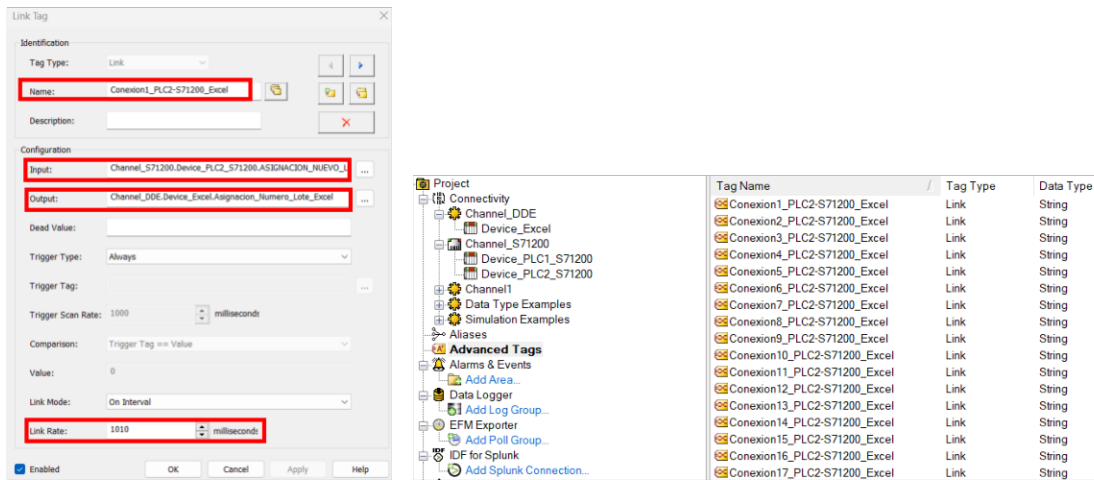


Figura 2.47. Configuración del tag tipo link y total de advance tags creados.

### 2.7.7.4 Configuraciones adicionales

Adicionalmente para que la comunicación se ejecute de manera correcta entre el PLC y Excel se debe de habilitar la conexión DDE con el servidor, esto se configura dentro de las propiedades del proyecto.

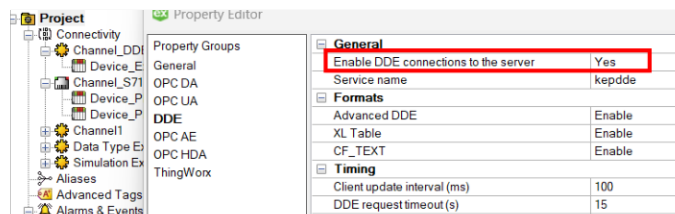


Figura 2.48. Habilitación de la conexión DDE con el servidor.

Además, dentro de la configuración general de KEPServerEX dentro del apartado Runtime process se deberá de seleccionar el modo interactivo.

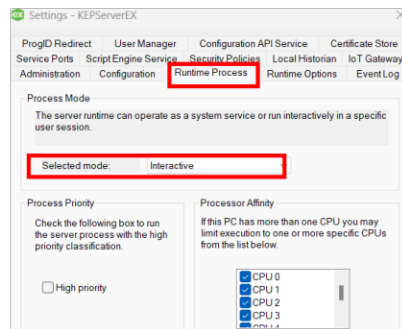


Figura 2.49. Selección del modo interactivo.

## 2.7.8 CONFIGURACIÓN EXCEL

La configuración de Excel se realizó con la finalidad de adaptar los datos recibidos por parte del PLC con la finalidad de elaborar el registro de trazabilidad de acuerdo con lo planteado en su diseño.

### 2.7.8.1 Habilitación Macros

Para poder trabajar con Macros en Excel se requiere habilitar su uso. Para esto dentro de las opciones de Excel, se selecciona la opción Centro de confianza, posteriormente se selecciona la opción Configuración del centro de confianza. Dentro de este apartado se encuentra la opción de configurar las macros, dentro la cual se habilita todas las macros de VBA.

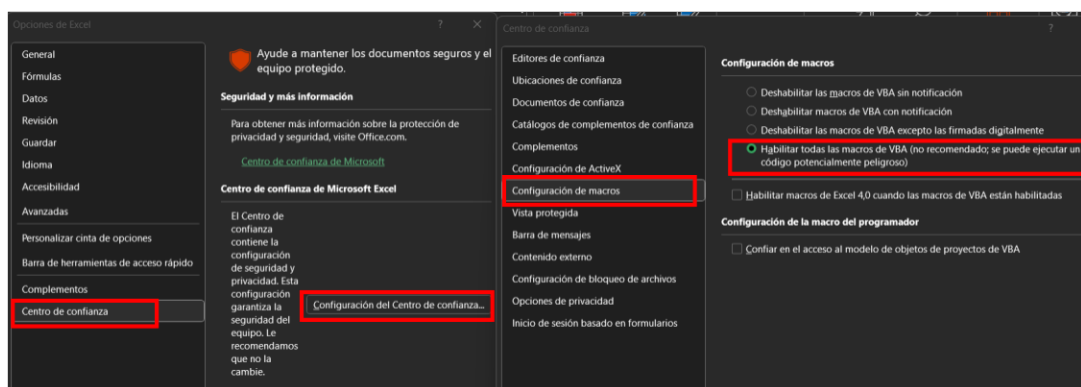


Figura 2.50. Habilitación de macros en Excel.

### 2.7.8.2 Programación Macros

La programación de las macros se realizó con la finalidad de realizar un manejo automático de los datos recibidos por parte del PLC, permitiendo elaborar tanto la guía de trazabilidad, así como la tabla acumulativa del detalle de cada lote producido. La programación de las macros para elaborar el registro de trazabilidad se detalla en el ANEXO XVII.

## 3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 3.1 RESULTADOS

#### 3.1.1 VIDEO DE FUNCIONAMIENTO

Para sustentar y evidenciar la correcta ejecución y finalización del presente trabajo de integración curricular se presentan los videos correspondientes al estado final del módulo de envasado de líquidos y las distintas pruebas de funcionamiento realizadas mediante la producción de distintos tipos de lotes, donde se pudo verificar el correcto funcionamiento y

operación tanto del proceso como del registro para supervisar la trazabilidad. El link de acceso a los videos se adjunta en el ANEXO XVIII.

### 3.1.2 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y VALIDACIÓN DE RESULTADOS

Una vez finalizada la rehabilitación, diseño e implementación del sistema de envasado de líquidos, se procedió a realizar pruebas experimentales con diferentes variables por un periodo de 10 días, donde se realizaron 6 lotes por día. De este modo, se logró medir la eficacia y eficiencia del sistema a través de medidas estadísticas.

El ANEXO XIX detalla la información de los lotes, fecha de producción, tiempo de llenado, meses de caducidad y demás características específicas. De esta información, se realizaron las siguientes tablas y gráficas para mostrar de forma concisa la efectividad del sistema de envasado.

La Tabla 3.1. muestra los lotes de 10 botellas realizados en 7 días con volúmenes homogéneos, es decir, se realizó un llenado de 7 mL en 10 botellas en diferentes días para verificar que el tiempo de llenado no esté disperso entre sí.

**Tabla 3.1.** Resultados de lotes con llenado homogéneo de 7 mL

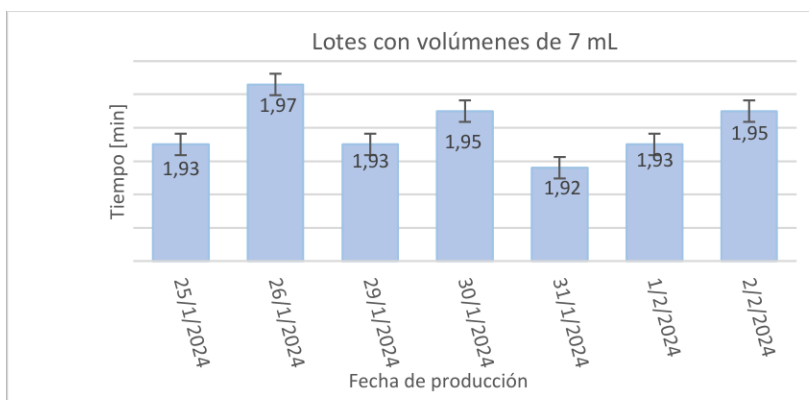
Nº Lote	Fecha Producción Lote	Tiempo de producción Lote [min]	Promedio del tiempo [min]	Desviación estándar	Coefficiente de variación
CA2401251105	25/01/2024	1,93	1,94	0,02	0,88
CA2401261213	26/01/2024	1,97			
CA2401291336	29/01/2024	1,93			
CA2401301329	30/01/2024	1,95			
CA2401311305	31/01/2024	1,92			
CA2402011752	01/02/2024	1,93			
CA2402021420	02/02/2024	1,95			

Una forma de validar el tiempo que tarda en llenar el envase con líquido es realizando el mismo llenado de 7 mL, pero en diferentes días como se mencionó anteriormente. Por tanto, en la Tabla 3.1. se observa que la variabilidad con respecto al tiempo de llenado es relativamente pequeña. Esto se corrobora a través de las medidas de dispersión relativa,

donde el coeficiente de variación fue de 0,88%, demostrando así, que la precisión de los datos de tiempo es alta y, por tanto, no se encuentran sumamente dispersos entre sí [44].

Además, al tener un CV pequeño, la media es representativa por lo que, es correcto asumir que el tiempo de llenado para 10 botellas con un volumen de 7 mL en cada una se tarda alrededor de 1,94 min.

La Figura 3.1. representa de manera visual el tiempo de llenado de las 10 botellas con un volumen de 7 mL con respecto a la fecha de producción. De igual forma, mediante las barras de error se puede apreciar la incertidumbre de los datos, donde estas barras son pequeñas debido a la precisión de las medidas. Es decir, la confiabilidad de los datos del tiempo con respecto a los días de producción es elevada.



**Figura 3.1.** Lotes con volúmenes de 7 mL

La Tabla 3.2. muestra las mediciones registradas en los lotes de 10 botellas con llenado homogéneo de 14 mL en un periodo de 7 días, donde se observa que el coeficiente de variación es de 0,77%, indicando que los datos se encuentran cercanos entre sí y, por tanto, la media es representativa. A partir de esta medida de dispersión relativa se puede asumir que el tiempo de llenado de 10 botellas con volúmenes de 14 mL es de 2,07 min. Este tiempo es mayor al de los lotes con 7 mL de llenado presentado en la Tabla 3.1., lo cual es correcto porque al aumentar el volumen de llenado, el tiempo de igual forma tiene que aumentar al ser directamente proporcionales.

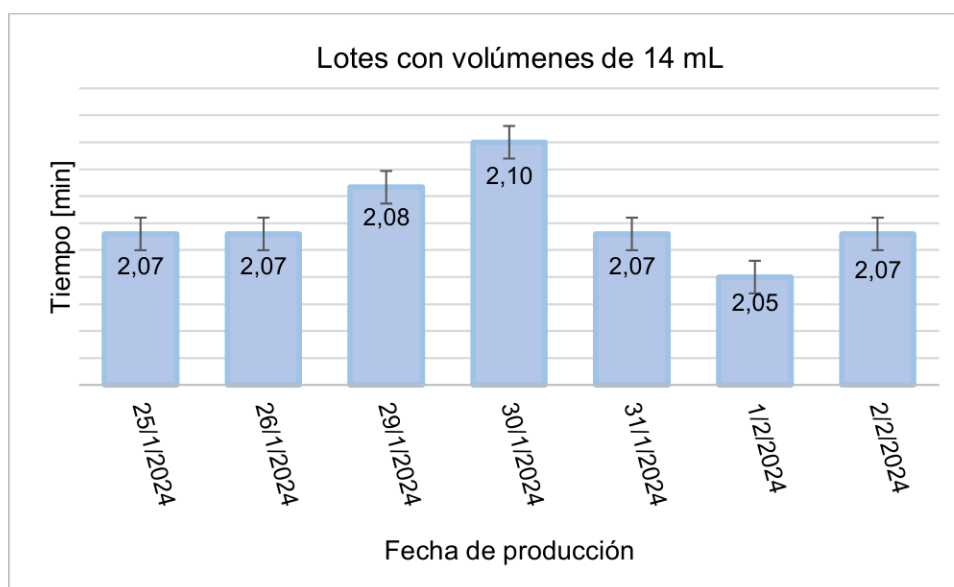
**Tabla 3.2.** Resultados de lotes con llenado homogéneo de 14 mL

Nº Lote	Fecha Producción Lote	Tiempo de producción Lote [min]	Promedio del tiempo [min]	Desviación estándar	Coficiente de variación
CA2401251115	25/01/2024	2,07	2,07	0,02	0,77



CA2401261224	26/01/2024	2,07			
CA2401291252	29/01/2024	2,08			
CA2401301340	30/01/2024	2,10			
CA2401311310	31/01/2024	2,07			
CA2402011749	01/02/2024	2,05			
CA2402021414	02/02/2024	2,07			

La Figura 3.2. muestra de forma visual la variabilidad entre los lotes con su respectiva fecha, donde es posible observar poca dispersión en los datos. Además, las barras de error no presentan un rango amplio o significativo, mostrando así, coherencia y precisión en los tiempos de cada lote.



**Figura 3.2.** Lotes con volúmenes de 14 mL

En cuanto a la Tabla 3.3. correspondiente al lote de 10 botellas con llenado de 28 mL, se puede observar que los tiempos de producción por cada lote son cercanos entre sí. Esta aseveración se comprueba con el coeficiente de variación de 0,85% que indica muy poca dispersión de las medidas que, a su vez, significa que la media es representativa.

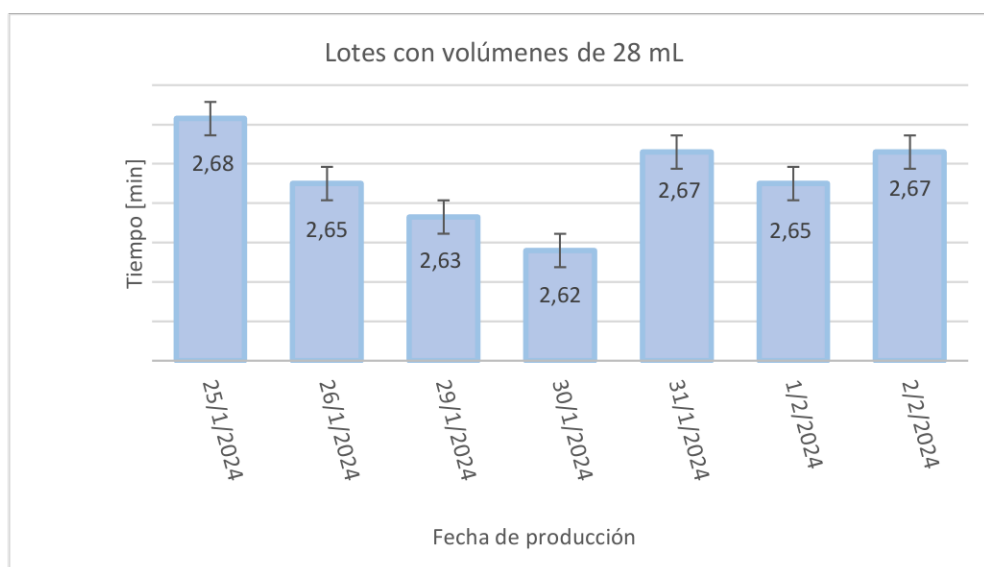
A partir de esto, es correcto asumir que el tiempo promedio de producción de cada lote de 10 botellas con un llenado de 28 mL es de 2,65 min.

**Tabla 3.3.** Resultados de lotes con llenado homogéneo de 28 mL

Nº Lote	Fecha Producción Lote	Tiempo de producción Lote [min]	Promedio del tiempo [min]	Desviación estándar	Coefficiente de variación
CA2401251121	25/01/2024	2,68	2,65	0,02	0,85
CA2401261332	26/01/2024	2,65			
CA2401291244	29/01/2024	2,63			
CA2401301344	30/01/2024	2,62			
CA2401311407	31/01/2024	2,67			
CA2402011744	01/02/2024	2,65			
CA2402021409	02/02/2024	2,67			

En la Figura 3.3. se observa de mejor manera lo expuesto en la Tabla 3.3., donde el tiempo de llenado de cada lote no varía significativamente con relación a los días de producción.

Ahora bien, de manera general, se puede aseverar que el llenado de los lotes homogéneos de 10 botellas con volúmenes de 7, 14 y 28 mL no presentan un coeficiente de variación elevado por lo que, las medidas muestran confiabilidad.



**Figura 3.3.** Lotes con volúmenes de 28 mL

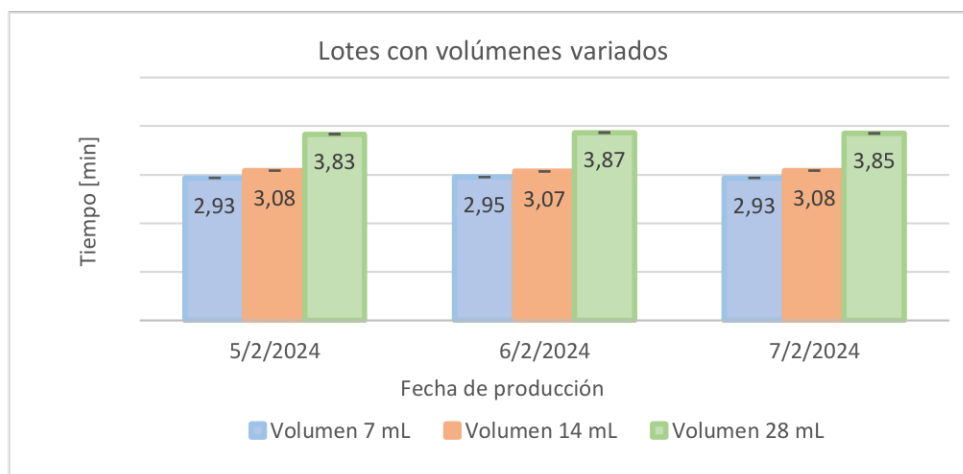
Una vez que se realizó el llenado con lotes homogéneos de 10 botellas, se procedió a comprobar la precisión de los tiempos correspondientes a los lotes homogéneos de 15 botellas con los llenados de 7, 14 y 28 mL como se muestra en la tabla 3.4. Aquí se puede observar que, aquellos lotes con llenado de 7 mL tardan un tiempo promedio de 2,94 min en completar las 15 botellas mientras que, los lotes con llenado de 14 mL tienen un tiempo promedio de 3,08 min y los lotes con llenado de 28 mL tienen un tiempo de 3,85 min.

En cuanto a su coeficiente de variación, los tres poseen CV bajos de 0,33, 0,31 y 0,43% para los volúmenes de 7, 14, y 28 mL, respectivamente. Esto demuestra que existe poca dispersión entre los datos a pesar del aumento de las botellas en relación a las tablas anteriores.

**Tabla 3.4.** Resultados de lotes con llenado homogéneo de 7, 14 y 28 mL

Nº Lote	Volumen [mL]	Fecha Producción Lote	Tiempo de producción Lote [min]	Promedio del tiempo [min]	Desviación estándar	Coefficiente de variación
CA2402051233	7	05/02/2024	2,93	2,94	0,01	0,33
CA2402061140		06/02/2024	2,95			
CA2402071242		07/02/2024	2,93			
CA2402051239	14	05/02/2024	3,08	3,08	0,01	0,31
CA2402061145		06/02/2024	3,07			
CA2402071236		07/02/2024	3,08			
CA2402051244	28	05/02/2024	3,83	3,85	0,02	0,43
CA2402061150		06/02/2024	3,87			
CA2402071230		07/02/2024	3,85			

La Figura 3.4. muestra la poca variabilidad de los datos en las diferentes fechas de producción, donde a su vez, no se aprecian las barras de error justamente por la precisión en las medidas del tiempo.



**Figura 3.4.** Lotes con volúmenes de 7, 14 y 28 mL

Ahora, como se logró verificar la precisión de las medidas de tiempo de lotes homogéneos de 10 y 15 botellas, se procede a analizar la variabilidad para lotes de 15 y 10 botellas con llenados de volúmenes mixtos.

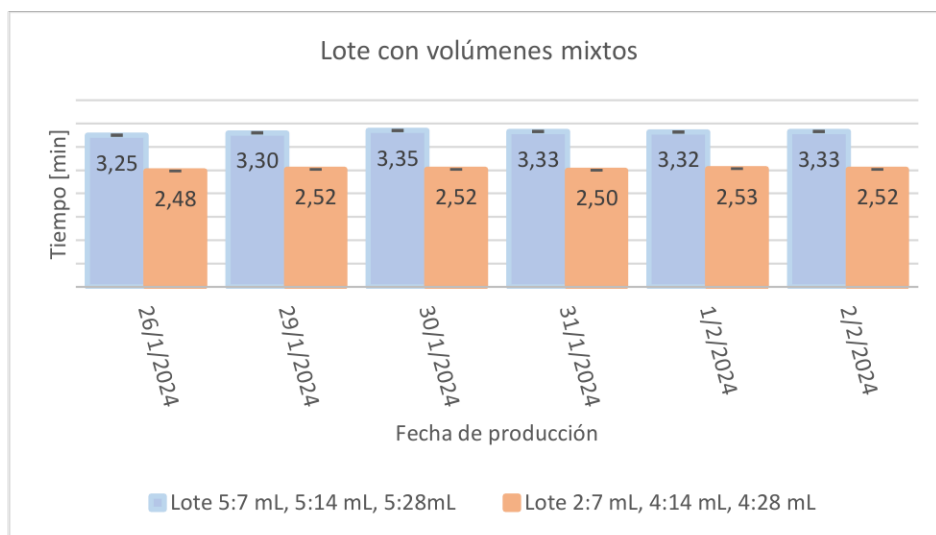
En la Tabla 3.5. se observa que el llenado de 5 botellas con 7 mL, 5 con 14 mL y 5 con 28 mL (codificadas como 5:7 mL, 5:14 mL y 5:28 mL) presentan un tiempo promedio de 3,31 min con un coeficiente de variación de 1,05% mientras que, el llenado de 2 botellas con 7 mL, 4 con 14 mL y 4 con 28 mL (codificadas como 2:7 mL, 4:14 mL y 4:28 mL) tienen un tiempo promedio de 2,51 min y un CV de 0,69%. Por lo tanto, en ambos tipos de llenado la media es representativa y existe poca dispersión de datos.

**Tabla 3.5.** Resultados de lotes con llenado mixto

Nº Lote	Número de botellas: Volumen [mL]	Fecha Producción Lote	Tiempo de producción Lote [min]	Promedio del tiempo [min]	Desviación estándar	Coficiente de variación
CA2401261337	5:7 mL 5:14 mL 5:28 mL	26/01/2024	3,25	3,31	0,03	1,05
CA2401291341		29/01/2024	3,30			
CA2401301356		30/01/2024	3,35			
CA2401311411		31/01/2024	3,33			
CA2402011731		01/02/2024	3,32			
CA2402021431		02/02/2024	3,33			

CA2401261201	2:7 mL 4:14 mL 4:28 mL	26/01/2024	2,48	2,51	0,02	0,69
CA2401291239		29/01/2024	2,52			
CA2401301351		30/01/2024	2,52			
CA2401311415		31/01/2024	2,50			
CA2402011727		01/02/2024	2,53			
CA2402021424		02/02/2024	2,52			

En la Figura 3.5. se observa de mejor manera la precisión de los datos y la confiabilidad de los mismos con respecto al pequeño margen de incertidumbre de las barras de error.



**Figura 3.5.** Lotes con volúmenes de llenado mixtos

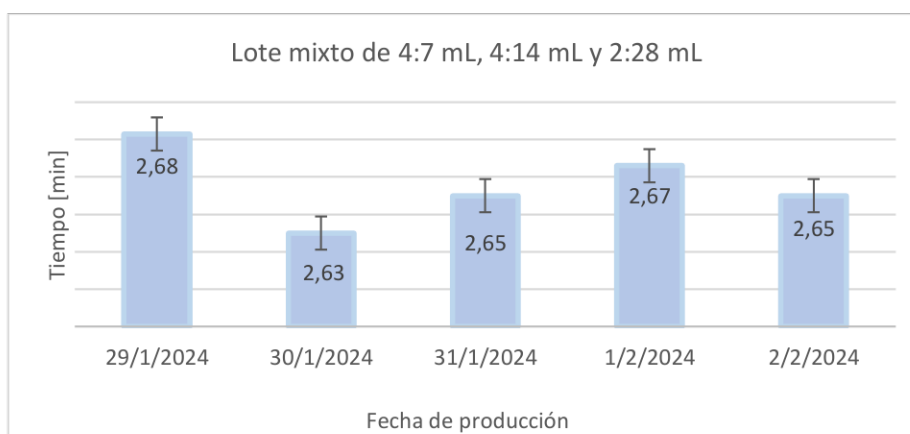
En la Tabla 3.6. correspondiente al lote de 10 botellas de las cuales 4 se llenaron con 7 mL, 4 con 14 mL y 2 con 28 mL, se observa un tiempo promedio de 2,66 min con un coeficiente de variación de 0,75%. Demostrando así, la homogeneidad de los datos junto con su cercanía con respecto a la media.

**Tabla 3.6.** Resultados de lotes con llenado mixto en 10 botellas

Nº Lote	Fecha Producción Lote	Tiempo de producción Lote [min]	Promedio del tiempo [min]	Desviación estándar	Coficiente de variación
CA2401291224	29/01/2024	2,68	2,66	0,02	0,75

CA2401301324	30/01/2024	2,63			
CA2401311419	31/01/2024	2,65			
CA2402011736	01/02/2024	2,67			
CA2402021427	02/02/2024	2,65			

De igual manera, la Figura 3.6. detalla el tiempo de llenado de cada lote con respecto a su fecha de producción, donde las pequeñas barras de error demuestran la precisión de las medidas.



**Figura 3.6.** Lotes de 10 botellas con volúmenes de llenado mixtos

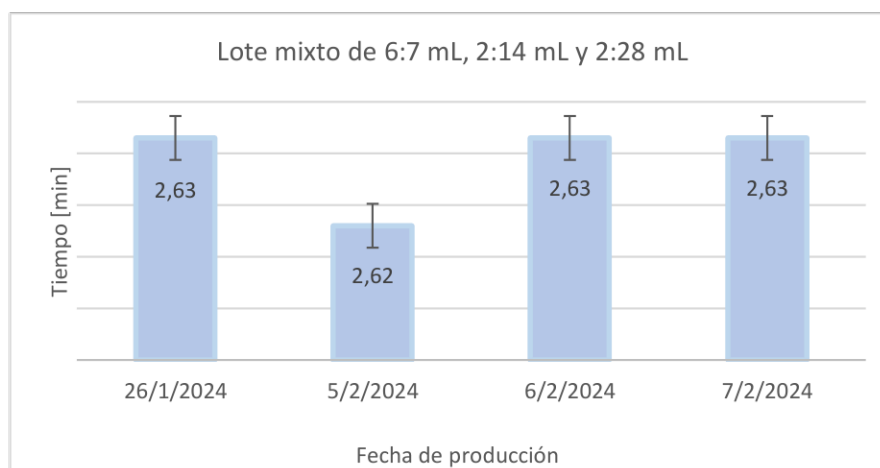
Otro lote mixto de 10 botellas, de las cuales 6 se llenaron con 7 mL, 2 con 14 mL y 2 con 28 mL se detallan en la Tabla 3.7., donde el coeficiente de variación es de 0,32%. Por tanto, la media de tiempo de 2,63 min es representativa y los datos tienen muy poca dispersión entre sí.

**Tabla 3.7.** Resultados de lotes con llenado mixto

Nº Lote	Fecha Producción Lote	Tiempo de producción Lote [min]	Promedio del tiempo [min]	Desviación estándar	Coefficiente de variación
CA2401261208	26/01/2024	2,63	2,63	0,01	0,32
CA2402051229	05/02/2024	2,62			
CA2402061203	06/02/2024	2,63			

CA2402071246	07/02/2024	2,63			
--------------	------------	------	--	--	--

Estos resultados se aprecian de mejor manera en la Figura 3.8., pues la variación entre el conjunto de datos según el día de producción es pequeña.



**Figura 3.7.** Lotes con volúmenes de llenado mixtos

Finalmente, se verificó la variabilidad de dos tipos de lotes de 10 botellas; uno de ellos estuvo compuesto por 5 botellas con llenado de 7 mL, 2 con 14 mL y 3 con 28 mL, mientras que, el otro lote estuvo conformado por 3 botellas con llenado de 7 mL, 4 de 14 mL y 3 de 28 mL.

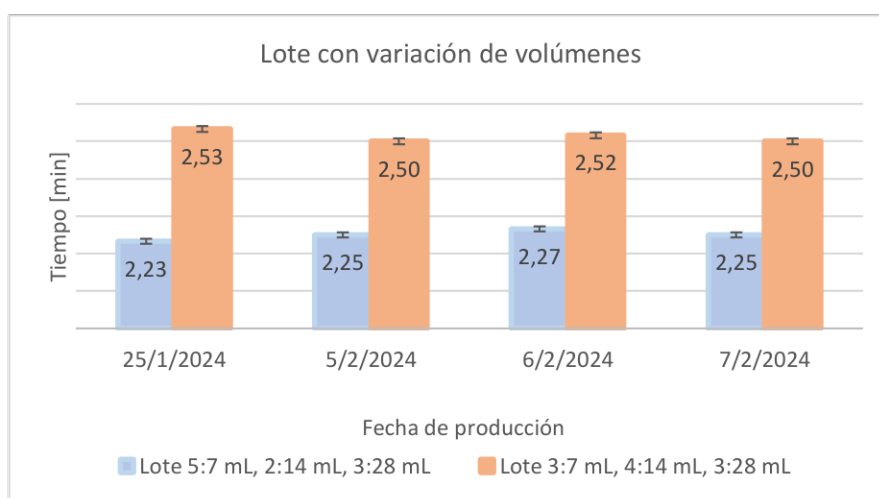
En la Tabla 3.8. se aprecia que el tiempo promedio para los lotes (5:7 mL, 12: 14mL, 3:28 mL) es de 2,25 min y un coeficiente de variación de 0,60%. De manera análoga, los lotes (3:7 mL, 4:14 mL, 3:28 mL) tuvieron un coeficiente de variación pequeño de 0,63% y un tiempo de producción promedio de 2,51 min. De esta manera, se corrobora la cercanía de los datos entre sí.

**Tabla 3.8.** Resultados de lotes con dos tipos de llenado

Nº Lote	Número de botellas: Volumen [mL]	Fecha Producción Lote	Tiempo de producción Lote [min]	Promedio del tiempo [min]	Desviación estándar	Coefficiente de variación
CA2401251224	5:7 mL 2:14 mL 3:28 mL	25/01/2024	2,23	2,25	0,01	0,60
CA2402051225		05/02/2024	2,25			
CA2402061200		06/02/2024	2,27			

CA2402071250		07/02/2024	2,25			
CA2401251054	3:7 mL 4:14 mL 3:28 mL	25/01/2024	2,53	2,51	0,02	0,63
CA2402051220		05/02/2024	2,50			
CA2402061155		06/02/2024	2,52			
CA2402071254		07/02/2024	2,50			

La Figura 3.8. detalla la variación de los datos, misma que es pequeña demostrando así, confiabilidad en los datos.



**Figura 3.8.** Lotes con volúmenes mixtos

En base a los resultados expuestos tanto del llenado homogéneo como con volúmenes variados, se observa que los coeficientes de variación que representan la variabilidad de los datos son pequeños; esto significa que, los tiempos en cada tipo de llenado son precisos y confiables.

### 3.1.3 MANUAL DE USUARIO

El manual de usuario detalla los requerimientos y aspectos a considerar para la correcta operación y uso del módulo de envasado de líquidos. El manual elaborado se presenta en el ANEXO XX.

### 3.1.4 PLAN DE CAPACITACIÓN

El plan de capacitación destinado para el personal encargado de la operación del sistema permitirá proporcionar las habilidades y conocimientos necesarios para que el personal



pueda operar el módulo de envasado de líquidos de manera correcta. En el caso de requerir incorporar nuevas tecnologías o adaptaciones al proceso, el personal capacitado se encontrará preparado para abordar esas situaciones. El plan de capacitación desarrollado se presenta en el ANEXO XXI.

## **3.2 CONCLUSIONES**

La revisión bibliográfica proporcionó una comprensión profunda sobre la necesidad de implementar una cadena automatizada para el proceso de envasado de líquidos, con un enfoque en las PYMES de Ecuador. Además, permitió la identificación de los parámetros y especificaciones del hardware y software requeridos para la implementación del proceso.

La evaluación del estado físico y funcional de los elementos y equipos en la línea de simulación del proceso permitió planificar y ejecutar las acciones correspondientes, como la asignación de elementos y equipos adicionales. Esto posibilitó la ejecución exitosa del proceso de rehabilitación, lo que a su vez permitió restablecer la operatividad del módulo de envasado.

La correcta selección de los equipos e instrumentación permitió establecer las distintas etapas para la ejecución del proceso de envasado de líquidos, donde los requerimientos de cada etapa diseñada se adaptaron a la funcionalidad de los equipos seleccionados.

La implementación de un sistema industrial automatizado para el envasado de líquidos ha mejorado la producción al hacer que las operaciones sean más rápidas, reducir los tiempos de producción en la elaboración de cada lote. La integración de tecnologías avanzadas como PLCs y sistema SCADA ha incrementado la precisión y uniformidad del proceso de envasado.

La interfaz HMI desarrollada ha evidenciado su efectividad al proporcionar herramientas intuitivas y versátiles para operar y monitorear en tiempo real las distintas etapas que conforman el proceso de envasado de líquidos.

El correcto uso y configuración del servidor de datos industrial KEPServerEX permitió el intercambio bidireccional de datos en tiempo real entre las variables del PLC y el cliente DDE. Este software ha posibilitado establecer una conexión fluida y eficiente entre ambos sistemas, permitiendo el enlace directo de las variables relevantes para la elaboración del registro de trazabilidad.

Los datos obtenidos al realizar las pruebas de funcionamiento del sistema para distintos tipos de lote permitieron comparar los tiempos de procesamiento dentro de la línea de

producción. Estos datos mostraron un coeficiente de variación menor al 30%, lo que indica una alta precisión y confiabilidad en los resultados. Por lo tanto, es correcto afirmar que los datos obtenidos concuerdan entre sí, demostrando así la factibilidad de implementar el sistema a escala real.

### 3.3 RECOMENDACIONES

El uso del servidor de datos KEPServerEX está limitado a 2 horas de funcionamiento, puesto que se ha empleado la versión Demo. Se recomienda investigar alternativas de servidores de datos industriales que sean gratuitos o menos costosos, con el fin de mantener el servidor de datos operativo todo el tiempo.

Dentro de la línea de simulación de procesos industriales de la CAPEIPI, existe la posibilidad de acoplar el módulo de envasado de líquidos con el módulo de mezclado. Para trabajos futuros, se recomienda incorporar ambos módulos para establecer un proceso uniforme y completo.

Para trabajos futuros, también se plantea la posibilidad de expandir el módulo de envasado de líquidos. Se sugiere incorporar una etapa de tapado de los envases, así como la asignación de una etiqueta de información física, para complementar el registro de trazabilidad elaborado.

Previo a la utilización del módulo de envasado de líquidos, se recomienda consultar el manual de usuario, donde se detallan los aspectos y requerimientos a considerar para su correcta operación y mantenimiento. Esto con la finalidad de evitar errores al momento de su manipulación.

## 4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. Miller and D. Drozdov, "Development of the program for sustainability of technological development of an industrial enterprise," Omsk Scientific Bulletin. Series Society. History. Modernity, vol. 8, pp. 121–129, Jan. 2023, doi: 10.25206/2542-0488-2023-8-2-121-129.
- [2] Araque Wilson, "Las PyME y su situación actual," 2012. Accessed: Jan. 14, 2024. [Online]. Available: <https://www.uasb.edu.ec/revista-andina/wp-content/uploads/sites/20/2021/04/Cuaderno-de-trabajo-Na-1-El-presente-trabajo-hace-un-analisis-de-la-situacion-actual-de-la-PyME.pdf>
- [3] F. Basholli, B. Mema, D. Hyka, A. Basholli, and A. Daberdini, Analysis of security challenges in SCADA systems, a technical review on automated real- time systems. 2023.
- [4] CEDIT, "Automatización de líneas industriales de producción." Accessed: Jan. 13, 2024. [Online]. Available:

- <https://www.cedit.capeipi.org.ec/2019/08/19/automatizacion-de-lineas-industriales-de-produccion/>
- [5] CAPEIPI, “La Institución.” Accessed: Jan. 13, 2024. [Online]. Available: <https://capeipi.org.ec/site/la-institucion/>
- [6] UNIVERSITAT CARLEMANY, “Procesos industriales: los 4 tipos fundamentales de producción.” Accessed: Jan. 14, 2024. [Online]. Available: <https://www.universitatcarlemany.com/actualidad/blog/procesos-industriales/>
- [7] S. J. Qin, “Survey on data-driven industrial process monitoring and diagnosis,” *Annu Rev Control*, vol. 36, no. 2, pp. 220–234, 2012, doi: <https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2012.09.004>.
- [8] A. Gupta, S. Maurya, and A. Kumar, “Smart control and monitoring of bottle filling system based on SCADA,” *International Journal of Recent Technology and Engineering*, vol. 8, no. 2 Special Issue 11, 2019, doi: [10.35940/ijrte.B1214.0982S1119](https://doi.org/10.35940/ijrte.B1214.0982S1119).
- [9] O. Campaña Solís and C. Mejía Miranda, “Rehabilitación e implementación de controladores PID y SMC para el sistema de dosificación de líquidos del Laboratorio de Control de Procesos Industriales de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Escuela Politécnica Nacional,” *Escuela Politécnica Nacional*, Quito, 2017. Accessed: Jan. 14, 2024. [Online]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/18766>
- [10] D. Paredes and R. Rodríguez, “Diseño e implementación de un sistema de dosificación de líquidos con control de volumen a presión constante,” *Escuela Politécnica Nacional*, Quito, 2010. Accessed: Jan. 14, 2024. [Online]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2396>
- [11] R. Rodríguez and V. Aviles, “Las PYMES en Ecuador. Un análisis necesario,” *593 Digital Publisher CEIT*, vol. 5, no. 5–1, pp. 191–200, Sep. 2020, doi: [10.33386/593dp.2020.5-1.337](https://doi.org/10.33386/593dp.2020.5-1.337).
- [12] G. Barona López and L. E. Velasteguí, “Automatización de procesos industriales mediante Industria 4.0,” *AlfaPublicaciones*, vol. 3, no. 3.1, pp. 84–101, Aug. 2021, doi: [10.33262/ap.v3i3.1.80](https://doi.org/10.33262/ap.v3i3.1.80).
- [13] G. Yadav and K. Paul, “Architecture and security of SCADA systems: A review,” *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, vol. 34. 2021. doi: [10.1016/j.ijcip.2021.100433](https://doi.org/10.1016/j.ijcip.2021.100433).
- [14] R. C. R. Estrada, A. L. Hernández-Sánchez, D. A. Aguilar-Díaz, and J. M. Pérez-Sánchez, “Sensores y tipos de sensores,” *TEPEXI Boletín Científico de la Escuela Superior Tepeji del Río*, vol. 11, no. 21, pp. 50–52, 2024.
- [15] L. G. C. Ramírez, G. S. A. Jiménez, and J. M. Carreño, *Sensores y actuadores*. Grupo Editorial Patria, 2014.
- [16] Y. Ye, C. Zhang, C. He, X. Wang, J. Huang, and J. Deng, “A Review on Applications of Capacitive Displacement Sensing for Capacitive Proximity Sensor,” *IEEE Access*, vol. 8. 2020. doi: [10.1109/ACCESS.2020.2977716](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2977716).

- [17] S. Fenhua and C. Zujue, "The design and implementation of photoelectric sensor for yarn color fault detection," *International Journal of Online Engineering*, vol. 12, no. 2, 2016, doi: 10.3991/ijoe.v12i02.5035.
- [18] M. A. Khan, J. Sun, B. Li, A. Przybysz, and J. Kosel, "Magnetic sensors-A review and recent technologies," *Engineering Research Express*, vol. 3, no. 2. 2021. doi: 10.1088/2631-8695/ac0838.
- [19] P. Castelwhite, "Elementos finales de control." Accessed: Jan. 18, 2024. [Online]. Available: [https://www.academia.edu/6546431/CAPITULO\\_5\\_ELEMENTOS\\_FINALS\\_DE\\_CONTROL](https://www.academia.edu/6546431/CAPITULO_5_ELEMENTOS_FINALS_DE_CONTROL)
- [20] J. Diaz and J. Dorador, "MECANISMOS DE TRANSMISIÓN Y ACTUADORES UTILIZADOS EN PRÓTESIS DE MANO," 2009, Accessed: Jan. 18, 2024. [Online]. Available: [https://somim.org.mx/memorias/memorias2009/pdfs/A1/A1\\_216.pdf](https://somim.org.mx/memorias/memorias2009/pdfs/A1/A1_216.pdf)
- [21] T. Bigelow, "AC Motors and Generators," 2020, pp. 363–391. doi: 10.1007/978-3-030-31355-5\_12.
- [22] M. Escalera and A. Rodríguez, "ACTUADORES NEUMÁTICOS", Accessed: Jan. 18, 2024. [Online]. Available: <https://www.uhu.es/rafael.sanchez/ingenieriamaquinas/carpetaapuntes.htm/Trabajos%20IM%202009-10/Manuel%20Jesus%20Escalera-Antonio%20Rodriguez-Actuadores%20Neumaticos.pdf>
- [23] C. Renedo and F. Ortiz, "VALVULAS DISTRIBUIDORAS." Accessed: Jan. 18, 2024. [Online]. Available: <http://personales.unican.es/reneoc/index.htm>
- [24] J. A. V. Guativa, J. A. L. Velásquez, and L. C. Cárdenas, "Sistema de instrumentación y control para tanques de almacenamiento de agua potable," *Ingeniare*, no. 17, pp. 69–85, 2014.
- [25] A. Marchegiani, "Modificación de las Condiciones de Funcionamiento de una Bomba Centrífuga mediante la Reducción del Diámetro del Impulsor: Una Aproximación Experimental," *+Ingenio*, vol. 4, pp. 20–29, Nov. 2023, doi: 10.36995/j.masingenio.2023.11.21.002.
- [26] N. J. Estrada, O. G. Carmona, and A. G. Ruiz, "Coordinación de relés de sobrecorriente usando el método de optimización de puntos interiores," *Scientia et Technica*, vol. 12, no. 32, pp. 25–30, 2006.
- [27] C. A. Universidad Católica Popular del Risaralda. Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería. and D. Thomson Gale (Firm), *Desarrollo e interacción de un laboratorio virtual asistido y controlado por PLC*, vol. 10, no. 19. Universidad Católica Popular del Risaralda, 2016. Accessed: Jan. 18, 2024. [Online]. Available: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1909-83672016000100002&lng=en&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-83672016000100002&lng=en&nrm=iso&tlng=es)
- [28] A. Pesántez, "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DE LABORATORIO CON VARIADOR DE FRECUENCIA PARA EL CONTROL DE UN SISTEMA DE BOMBEO Y DETERMINACIÓN DEL AHORRO ENERGÉTICO," *Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba*, 2012. Accessed: Jan. 18, 2024. [Online]. Available: <http://dspace.epoch.edu.ec/handle/123456789/1881>

- [29] O. Weis, "Interfaz de comunicación serie. Pinout RS232." Accessed: Jan. 19, 2024. [Online]. Available: <https://www.virtual-serial-port.org/es/article/what-is-serial-port/rs232-pinout/#what>
- [30] C. E. Spurgeon and J. Zimmerman, Ethernet switches: An introduction to network design with switches. "O'Reilly Media, Inc.," 2013.
- [31] P. Ferrari, A. Flammini, and S. Vitturi, "Performance analysis of PROFINET networks," Comput Stand Interfaces, vol. 28, no. 4, 2006, doi: 10.1016/j.csi.2005.03.008.
- [32] S. Milošević, "IMPLEMENTACIJA PROFINET PROTOKOLA ZA INDUSTRIJSKE UREĐAJE," Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu, vol. 38, no. 08, 2023, doi: 10.24867/23ih01milosevic.
- [33] Siemens, "Controlador programable S7-1200," 2018. Accessed: Jan. 16, 2024. [Online]. Available: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/91696622/simatic-s7-controlador-programable-s7-1200?dti=0&lc=es-EC>
- [34] O. AYAN, D. DEMİREZ, H. KIZILOZ, S. ISLEYEN, and S. Ergin, "The Detection of Spoiled Fruits on a Conveyor Belt Using Image Processing Techniques and OPC Server Software," International Journal of Computational and Experimental Science and Engineering, vol. 4, pp. 11–15, Mar. 2018, doi: 10.22399/ijcesen.398335.
- [35] Kepware, "KEPServerEX." Accessed: Jan. 18, 2024. [Online]. Available: <https://www.kepserverexopc.com/kepware-kepserverex-features/>
- [36] S. Vadi, R. Bayindir, Y. Toplar, and I. Colak, "Induction motor control system with a Programmable Logic Controller (PLC) and Profibus communication for industrial plants — An experimental setup," ISA Trans, vol. 122, 2022, doi: 10.1016/j.isatra.2021.04.019.
- [37] Logitek Team, "Beneficios de utilizar OPC UA para clientes finales." Accessed: Jan. 18, 2024. [Online]. Available: <https://www.kepserverexopc.com/beneficios-de-utilizar-opc-ua-para-clientes-finales/>
- [38] Korea JS Systech, "TouchWin edit tool User manual." Accessed: Jan. 19, 2024. [Online]. Available: <https://www.spstiger.de/downloads/Xinje%20Touchwin%20HMI/Touchwin%20software%20manual.pdf>
- [39] Microsoft, "Software de hojas de cálculo Microsoft Excel | Microsoft 365." Accessed: Jan. 19, 2024. [Online]. Available: <https://www.microsoft.com/es-es/microsoft-365/excel>
- [40] Microsoft, "DDE-función." Accessed: Jan. 19, 2024. [Online]. Available: <https://support.microsoft.com/es-es/office/dde-funci%C3%B3n-79e8b21c-2054-4b48-9ceb-d2cf38dc17f9>
- [41] I. Nelly Patricia Acosta Vargas and I. Tania Aleyda Acosta Hurtado, INTRODUCCIÓN A LA PROGRAMACIÓN EN EXCEL CON VISUAL BASIC APPLICATION. 2015. Accessed: Jan. 19, 2024. [Online]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/11934/1/Introducci%C3%B3n%20en%20Excel%20con%20VBA.pdf>

- [42] S. Stranieri, A. Cavaliere, and A. Banterle, "Voluntary traceability standards and the role of economic incentives," *British Food Journal*, vol. 118, no. 5, 2016, doi: 10.1108/BFJ-04-2015-0151.
- [43] International Organization for standardization, "Traceability in the feed and food chain — General principles and basic requirements for system design and implementation," <https://www.iso.org/Standard/36297.html>, vol. 2007, 2007.
- [44] G. F. Reed, F. Lynn, and B. D. Meade, "Use of coefficient of variation in assessing variability of quantitative assays," *Clin Diagn Lab Immunol*, vol. 9, no. 6, pp. 1235–1239, Nov. 2002, doi: 10.1128/CDLI.9.6.1235-1239.2002.
- [45] Siemens, "CPU 1212C-6ES7212-1BE40-0XB0." Accessed: Jan. 20, 2024. [Online]. Available: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6ES7212-1BE40-0XB0>
- [46] Siemens, "6ES7232-4HA30-0XB0." Accessed: Jan. 20, 2024. [Online]. Available: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6ES7232-4HA30-0XB0>
- [47] Winston, "LTA-205 bulb Tower multi-level warning light," 2016, Accessed: Jan. 20, 2024. [Online]. Available: <https://www.cnwinston.com/LTA-205-bulb-Tower-multi-level-warning-light-pd6400734.html>
- [48] SHENZHEN MICNO ELECTRIC, "KE300X/KE300B Inverter." Accessed: Jan. 20, 2024. [Online]. Available: <https://www.micnodrive.com/uploads/file/ke300x-ke300b-series-inverter-user-manual.pdf>
- [49] Niu Feng, "Sensores De Proximidad NPN Y PNP." Accessed: Jan. 15, 2024. [Online]. Available: <https://www.omchsmcs.com/es/npn-and-pnp-proximity-sensors/>
- [50] AIRTAC, "Válvula 3/2." Accessed: Jan. 20, 2024. [Online]. Available: [https://sa-es.airtac.com/pro\\_det.aspx?c\\_kind=4&c\\_kind2=19&c\\_kind3=40&c\\_kind4=46&c\\_kind5=&id=24&Serie=3V1-Valvula-\(3/2\)](https://sa-es.airtac.com/pro_det.aspx?c_kind=4&c_kind2=19&c_kind3=40&c_kind4=46&c_kind5=&id=24&Serie=3V1-Valvula-(3/2))
- [51] AIRTAC, "Válvula solenoide neumática 1/4 "PT AirTAC 4V210-08 Aire 12V/24V/110V/220V Bobina única Operada por piloto Eléctrica 2 Posiciones 5 vías Tipo de conexión (4V210 PT1/4, DC24V)." Accessed: Jan. 20, 2024. [Online]. Available: <https://www.amazon.com/-/es/solenoide-neum%C3%A1tica-4V210-08-Posiciones-DC24V/dp/B09SZJ31Y6?th=1>
- [52] AIRTAC, "SENSOR AIRTAC SWITCH CS1-M." Accessed: Jan. 20, 2024. [Online]. Available: <https://industrialesandes.co/neumatica/226-sensor-airtac-switch-cs1-m.html>
- [53] NORGREN, "T50P0006 VÁLVULAS ANTIRRETORNO." Accessed: Jan. 20, 2024. [Online]. Available: <https://www.norgren.com/es/productos/t50p0006>

## **5 ANEXOS**

ANEXO I. Detalle del equipamiento Inicial del Módulo de Envasado de Líquidos.

ANEXO II. Detalle del equipamiento adicional requerido para el proceso.

ANEXO III. Rediseño de la distribución física de los componentes.

ANEXO IV. Asignación de recursos para los PLCs.

ANEXO V. Arquitectura del Sistema de Envasado de líquidos.

ANEXO VI. Resumen de la Nomenclatura y Simbología empleada para la elaboración del Plano Eléctrico.

ANEXO VII. Plano Eléctrico.

ANEXO VIII. Plano de Red.

ANEXO IX. Uso de la interfaz de comunicación DB25.

ANEXO X. Etiquetado del cableado dentro del módulo de envasado de líquidos.

ANEXO XI. Programación del variador de velocidad MICNO KE300X.

ANEXO XII. Entradas y salidas para la programación del PLC 1.

ANEXO XIII. Entradas y salidas para la programación del PLC 2.

ANEXO XIV. Ventanas principales desarrolladas para el HMI.

ANEXO XV. Ventanas secundarias desarrolladas para el HMI.

ANEXO XVI. Lógica de funcionamiento del sistema.

ANEXO XVII. Programación de las macros en Excel para la elaboración del registro de trazabilidad.

ANEXO XVIII. Enlace a videos de funcionamiento y archivos.

ANEXO XIX. Detalle de los lotes producidos.

ANEXO XX. Manual de usuario.

ANEXO XXI. Plan de capacitación para el personal de la CAPEIPI.

## ANEXO I. Detalle del equipamiento Inicial del Módulo de Envasado de Líquidos

A continuación, se presentan los distintos elementos y equipos con los que se encontraba equipado inicialmente el módulo de envasado de líquidos. Estos elementos han sido agrupados por su disposición física dentro de la línea de simulación del proceso.

### PANEL DE CONTROL

- **PLC Siemens S7-1200 CPU 1212C AC/DC/RLY**

En el panel de control contaba en un inicio con un PLC S7-1220, el cual se presenta en la Figura 5.1. Este dispositivo de control se encontraba en óptimas condiciones físicas y funcionales. Se realizaron pruebas de funcionamiento que permitieron verificar la correcta operación tanto de sus entradas como de sus salidas. Se realizó un mantenimiento preventivo al limpiar el polvo que se encontraba en los bornes de las entradas, salidas y alimentación del dispositivo. En la Tabla 5.1 se presentan las especificaciones del equipo [45].



**Figura 5.1.** PLC S7-1200 CPU: 1212C AC/DC/RLY N° Orden: 6ES7 212-1BE40-0XB0.

**Tabla 5.1.** Especificaciones PLC S7-1200 de la Figura 5.1 [45].

Parámetro	Valor	
Voltaje alimentación	120/230 VAC	
N° Orden	6ES7 212-1BE40-0XB0	
Versión de firmware	V4.0	
Alimentación de sensores 24V	20.4 a 28.8 VDC	
Entradas digitales	8	
Tensión de entrada	Valor nominal	24 VDC
	Para señal "0"	5 VDC
	Para señal "1"	15 VDC
Salidas digitales	6	



- **Módulo de salida analógica 6ES7232-4HA30-0XB0**

El PLC de la Figura 5.1 disponible en el panel de control, incluía un módulo adicional para el manejo de una salida analógica, el cual se presenta en la Figura 5.2. Se realizaron pruebas de funcionamiento que permitieron verificar la correcta operación del módulo. Se realizó la limpieza del polvo que se encontraba en sus bornes. En la Tabla 5.2 se presentan las especificaciones del módulo [46].



**Figura 5.2.** Módulo de salida analógica 6ES7232-4HA30-0XB0.

**Tabla 5.2.** Especificaciones módulo 6ES7232-4HA30-0XB0 [46].

<b>Parámetro</b>		<b>Valor</b>
	Resolución	12 bits
Salida analógica	Rango salida de voltaje	-10 V a +10 V
	Rango salida de corriente	0 a 20 mA

- **Torre de advertencia multinivel LTA-205-3WJ**

La torre de advertencia multinivel se encontraba en perfecto estado físico y funcional. Se realizaron las respectivas pruebas de funcionamiento y limpieza del equipo. El equipo se presenta en la Figura 5.3. En la Tabla 5.3 se presentan las especificaciones del equipo [47].



**Figura 5.3.** Torre de advertencia multinivel LTA-205-3WJ.

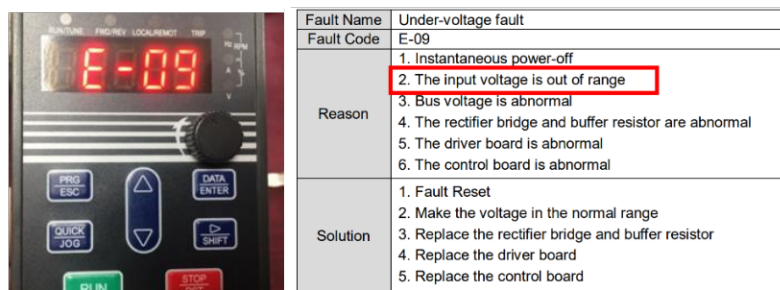
**Tabla 5.3.** Especificaciones torre LTA-205-3WJ [47].

Parámetro	Valor
Voltaje de trabajo	DC12V 24V / AC110V 220V
Potencia	3W
Colores	Rojo-amarillo-verde

## SISTEMA DE TRANSPORTE

- **Variadores de velocidad KE300X-0R4G-S2**

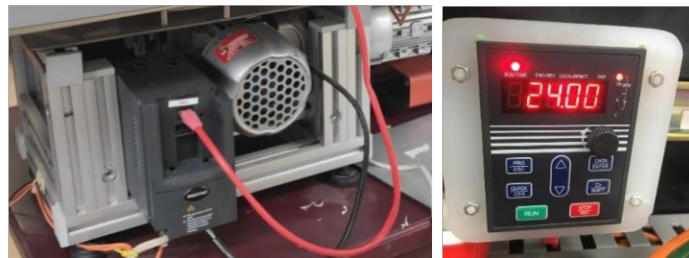
El módulo de envasado incluía dos variadores de velocidad, los cuales estaban destinados para operar los motores que comandan el movimiento de la banda transportadora y del disco giratorio. Ambos variadores se encontraban en un óptimo estado físico, requiriendo solo de una limpieza para quitar el polvo acumulado. Una vez terminado el mantenimiento se procedió a encender los variadores de velocidad; sin embargo, al tratar de poner en marcha la operación de los motores apareció el error E-09, como se observa en la Figura 5.4. En base al manual, se determinó que ese error ocurre cuando el voltaje de alimentación está fuera de rango [48]. Inicialmente los variadores de velocidad tenían colocados terminales de conexión para alimentar con una fuente de 120 VAC, sin embargo, revisando el modelo y la placa de datos del variador se pudo tomar en cuenta que en realidad los variadores funcionan con una fuente de alimentación de 220 VAC, por lo que se procedió a remplazar el terminal de conexión. Una vez que se conectó los terminales de alimentación a la fuente de 220 VAC, el error desapareció y se logró verificar el correcto estado funcional de ambos equipos. Los variadores se presentan en las Figuras 5.5 y 5.6. En la Tabla 5.4 se presentan las especificaciones del equipo [48].



**Figura 5.4.** Error E-09 en los variadores de velocidad.



**Figura 5.5.** Variador de velocidad banda transportadora.



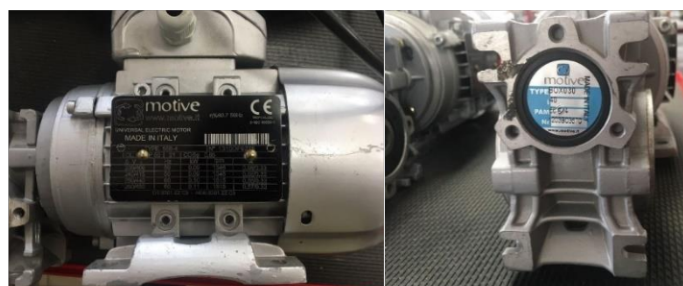
**Figura 5.6.** Variador de velocidad disco giratorio.

**Tabla 5.4.** Especificaciones variador de velocidad KE300X-0R4G-S2 [48].

Parámetro	Valor
Voltaje de alimentación	220 VAC
Potencia	0.4 kW
Salida	2.3A AC / 3PH / 0-240V

- **Motores AC BOX030**

Los motores AC que tenía equipado el módulo se encontraban en óptimas condiciones físicas. Se dispone de dos motores, destinados a comandar el movimiento de la banda transportadora y el disco giratorio. Se realizó un mantenimiento preventivo con la limpieza respectiva de estos equipos. En cuanto al estado funcional, se pudo verificar su correcta operación al probar el su funcionamiento en conjunto con el de los variadores de velocidad. En la Figura 5.7 se presentan los motores. En la Tabla 5.5 se presentan los datos de placa del motor.



**Figura 5.7.** Motores AC BOX030.

**Tabla 5.5.** Especificaciones Motor AC BOX030.

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Alimentación	220/440 VAC
Potencia nominal	0.09 kW
Velocidad	1346 rpm
Corriente	0.58/0.33 A

## SISTEMA DE DOSIFICACIÓN

- **Sensores fotoeléctricos G18-3A10NAT NPN NO**

El módulo de envasado tenía equipado dos sensores fotoeléctricos, los cuales se encontraban posicionados en la parte inicial y final de la banda transportadora. Los sensores se encontraban en buen estado físico y funcional. Se realizaron las respectivas pruebas de funcionamiento y la limpieza correspondiente. Cabe mencionar que al ser de tipo NPN, el transistor en la salida del sensor se encuentra configurado para que, una vez se haya detectado el objeto, la corriente fluya desde el colector (salida) hacia tierra. Por lo tanto, cuando el sensor detecte un objeto, la salida entregará un voltaje cercano a cero, mientras que cuando no detecte nada, entregará el voltaje de la fuente de alimentación [49]. En la Figura 5.8 se presenta el sensor y en la Tabla 5.6 se presentan sus especificaciones.



**Figura 5.8.** Sensor fotoeléctrico G18-3A10NAT NPN NO.

**Tabla 5.6.** Especificaciones Sensor fotoeléctrico G18-3A10NAT NPN NO.

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Alimentación	6-36 VDC
Salida	NPN NO
Distancia detección	5 m

- **Sensores de proximidad capacitivos CR18-8DP**

Los sensores de proximidad capacitivos se encontraban posicionados en el tanque de dosificación para detectar el nivel de agua del tanque. Se realizaron las pruebas de funcionamiento respectivas para verificar su correcto estado físico y funcional,

además de realizar la limpieza correspondiente. Cabe mencionar que al ser de tipo PNP, el transistor en la salida del sensor se encuentra configurado para que, una vez se haya detectado el objeto, la corriente fluya desde la fuente de alimentación hacia el colector (salida). Por lo tanto, cuando el sensor detecte un objeto, la salida entregará el voltaje de la fuente de alimentación, mientras que, cuando no detecte nada, entregará un voltaje cercano a cero [49]. En la Figura 5.9 se presentan los sensores. En la Tabla 5.7 se presentan sus especificaciones.



**Figura 5.9.** Sensor de proximidad capacitivos CR18-8DP.

**Tabla 5.7.** Especificaciones Sensor de proximidad capacitivos CR18-8DP.

Parámetro	Valor
Alimentación	24 VDC
Salida	PNP NO
Distancia detección	15 mm

- **Bloque distribuidor neumático**

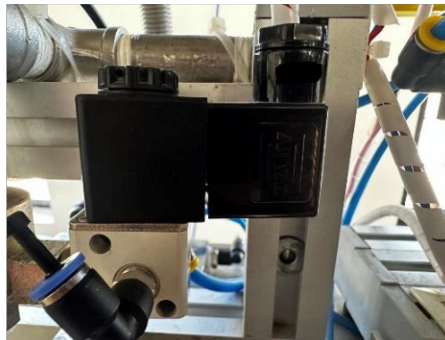
El bloque distribuidor neumático con el que estaba equipado el módulo se encontraba en buen estado físico y funcional. Se realizaron las pruebas de funcionamiento respectivas, donde se pudo notar que no presentaba fugas de aire. Por ende, se realizó un mantenimiento preventivo al llevar a cabo la limpieza correspondiente. El bloque está destinado a distribuir el aire desde la fuente hacia las electroválvulas. En la Figura 5.10 se presenta el bloque distribuidor.



**Figura 5.10.** Bloque distribuidor neumático.

- **Electroválvula neumática 3/2 AIRTAC**

La electroválvula 3/2 neumática disponible se encontraba en perfecto estado físico y funcional. Se realizaron las pruebas de funcionamiento correspondientes, donde se pudo notar su correcta operación; además, se observó que no existían fugas de aire. Se llevó a cabo un mantenimiento preventivo para eliminar la acumulación de polvo en el equipo. En la Figura 5.11 se presenta la electroválvula, y en la Tabla 5.8 se detallan sus especificaciones [50].



**Figura 5.11.** Electroválvula 3/2 AIRTAC.

**Tabla 5.8.** Especificaciones Electroválvula 3/2 AIRTAC [50].

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Alimentación	24 VDC
Tipo	3/2 NC
Presión operación	0-114psi

- **Electroválvula neumática 5/2 AIRTAC 4V210-08**

La electroválvula 5/2 neumática disponible se encontraba en perfecto estado físico y funcional. Se realizaron las pruebas de funcionamiento correspondientes, donde se pudo notar su correcta operación; además, se observó que no existían fugas de aire. Se llevó a cabo un mantenimiento preventivo para eliminar la acumulación de polvo en el equipo. En la Figura 5.12 se presenta la electroválvula, y en la Tabla 5.9 se detallan sus especificaciones [51]



**Figura 5.12.** Electroválvula 5/2 AIRTAC 4V210-08.

**Tabla 5.9.** Especificaciones Electroválvula 5/2 AIRTAC 4V210-08 [51].

Parámetro	Valor
Alimentación	24 VDC
Conexión salida	PT 1/4
Presión operación	21-114 psi

- **Cilindro doble efecto neumático**

El cilindro neumático que disponía el módulo de envasado se encontraba en óptimas condiciones físicas y funcionales. Se realizaron pruebas de funcionamiento, que permitieron verificar su correcto estado funcional; además, se efectuó la limpieza general del equipo. En la Figura 5.13 se presenta el cilindro de doble efecto neumático.



**Figura 5.13.** Cilindro doble efecto neumático.

- **Sensor magnético AIRTAC CS1-M**

El sensor magnético acoplado al cilindro neumático de doble efecto, el cual se emplea para determinar la posición lineal del émbolo del cilindro, se encontraba en perfecto estado físico y funcional. Únicamente se realizó la limpieza del sensor y un pequeño ajuste al acople con el cilindro. En la Figura 5.14 se presenta el sensor magnético. En la Tabla 5.10 se detallan sus especificaciones [52].



**Figura 5.14.** Sensor magnético AIRTAC CS1-M.

**Tabla 5.10.** Especificaciones Sensor magnético AIRTAC CS1-M [52].

Parámetro	Valor
Alimentación	24 VDC
Corriente	5-50 mA
Tipo de contacto	NO

- **Cilindro doble efecto hidráulico**

El cilindro de doble efecto hidráulico que se encontraba en el módulo de envasado se encontraba en óptimas condiciones físicas y funcionales. Se realizaron pruebas de funcionamiento, que permitieron verificar su correcto estado funcional; además, se efectuó la limpieza general del equipo. En la Figura 5.15 se presenta el cilindro de doble efecto hidráulico.



**Figura 5.15.** Sensor doble efecto hidráulico.

- **Válvula distribuidora 5/2 hidráulica con accionamiento neumático biestable**

La válvula de distribución hidráulica que estaba acoplada al cilindro de doble efecto hidráulico se encontraba en óptimas condiciones físicas y funcionales, requiriendo únicamente un mantenimiento preventivo para limpiar el equipo. Además, se verificó que estuviera acoplada de manera correcta, así como la ausencia de fugas de agua. En la Figura 5.16 se presenta este elemento.





**Tabla 5.11.** Especificaciones Válvula antirretorno T50p0006 [53].

Parámetro	Valor
Presión de funcionamiento	-0.9 a 16 bar
O/D Tubo	6mm
Temperatura operación	-20° a 80°C

- **Válvulas de bola manuales**

El módulo de envasado se encontraba equipado con dos válvulas de bola manuales. La primera válvula presentada en la Figura 5.19 se encarga de la apertura y cierre manual del flujo de líquido hacia la válvula de distribución hidráulica. La segunda válvula presentada en la Figura 5.19 es la encargada de vaciar el contenido del tanque de dosificación. Ambas válvulas se encontraban en perfecto estado físico y funcional. Por ende, se realizó una limpieza para retirar el polvo y el óxido de ambos elementos.



**Figura 5.19.** Válvulas de bola manuales.

- **Válvula de dosificación**

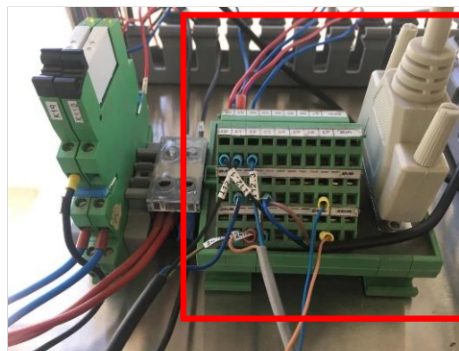
La válvula encargada de la dosificación del líquido se encontraba en perfecto estado físico y funcional. Se realizó la correspondiente limpieza del elemento, verificando que estuviera acoplada de manera correcta a la válvula antirretorno y a la válvula de bola con actuador neumático. En la Figura 5.20 se presenta la válvula encargada de la dosificación del líquido.



**Figura 5.20.** Válvula de dosificación del líquido.

- **Interfaz de comunicación DB25 8E/8S**

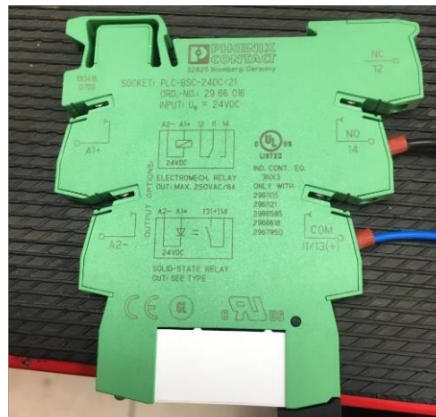
El módulo de envasado de líquidos inicialmente contaba con un solo módulo de interfaz de comunicación DB25 8E/8S, el cual es empleado para conectar las señales provenientes de los sensores situados en campo. Al contar con solo un módulo, solo se podía conectar uno de los extremos del cable de comunicación DB25, lo que imposibilitaba la ejecución de la comunicación. Se revisó el estado físico del elemento además de verificar su correcta funcionalidad. Además, se realizó el mantenimiento preventivo mediante la limpieza del elemento. En la Figura 5.21 se presenta el módulo de interfaz de comunicación DB25.



**Figura 5.21.** Interfaz de comunicación DB25 8E/8S.

- **Relé 24 VDC**

En la Figura 5.21 se puede apreciar que el módulo de envasado, en un inicio, contaba con dos relés de 24 VDC. Se realizó la limpieza correspondiente de los elementos. Además, mediante la medición de la continuidad entre sus terminales NO y NC con el terminal COM, se pudo verificar el correcto estado funcional. En la Figura 5.22 se presenta el relé de 24 VDC.



**Figura 5.22.** Relé 24 VDC.

## ANEXO II. Detalle del equipamiento adicional requerido para el proceso de envasado de líquidos

A continuación, se presentan los distintos elementos y equipos adicionales que fueron incorporados al módulo de envasado.

- **PLC Siemens S7-1200 CPU 1212C AC/DC/RLY**

El uso de un segundo PLC para el proceso de envasado fue necesario, partiendo de la necesidad de querer controlar la velocidad de giro del motor encargado de comandar el disco giratorio, puesto que, el PLC que disponía el módulo en un inicio se encargará del control del motor que comanda el movimiento de la banda transportadora. Además, el uso de un PLC adicional permite efectuar una mejor distribución al momento de asignar las entradas y salidas de cada dispositivo de control. El PLC S7-1220 seleccionado se presenta en la Figura 5.23. Se realizaron pruebas de funcionamiento que permitieron verificar la correcta operación tanto de sus entradas como de sus salidas. Se realizó un mantenimiento preventivo para limpiar el polvo del equipo. En la Tabla 5.12 se presentan las especificaciones.



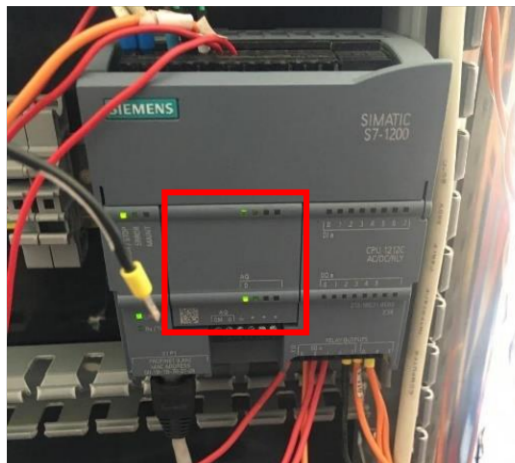
**Figura 5.23.** PLC S7-1200 CPU: 1212C AC/DC/RLY N° Orden: 6ES7212-1BE31-0XB0.

**Tabla 5.12.** Especificaciones PLC S7-1200 de la Figura 2.23 [45].

Parámetro	Valor	
Voltaje alimentación	120/230 VAC	
N° Orden	6ES7212-1BE31-0XB0	
Versión de firmware	V3.0	
Alimentación de sensores 24V	20.4 a 28.8 VDC	
Entradas digitales	8	
Tensión de entrada	Valor nominal	24 VDC
	Para señal "0"	5 VDC
	Para señal "1"	15 VDC
Salidas digitales	6	

- **Módulo de salida analógica 6ES7232-4HA30-0XB0**

El PLC de la Figura 5.23 no incluía el módulo para el manejo de la salida analógica. Sin embargo, dentro del inventario del CEDIT se encontró un módulo adicional, el cual fue equipado al PLC como se muestra en la Figura 5.24. Se realizaron pruebas de funcionamiento que permitieron verificar la correcta operación del módulo. Se realizó la limpieza del polvo que se encontraba en sus bornes. En la Tabla 5.13 se presentan las especificaciones del módulo [46].



**Figura 5.24.** Módulo de salida analógica equipado al PLC.

**Tabla 5.13.** Especificaciones módulo 6ES7232-4HA30-0XB0 [46].

<b>Parámetro</b>		<b>Valor</b>
Resolución		12 bits
Salida analógica	Rango salida de voltaje	-10 V a +10 V
	Rango salida de corriente	0 a 20 mA

- **Pantalla táctil TouchWin TG865-ET**

El uso de la pantalla táctil de la Figura 5.25 es necesario dentro del proceso de envasado debido a que se requiere implementar una interfaz HMI para controlar, monitorear y supervisar el proceso. Mediante pruebas de funcionamiento se verificó su correcto estado funcional. Además, se realizó la limpieza del panel. En la Tabla 5.14 se presentan las especificaciones del módulo.



**Figura 5.25.** Pantalla táctil TouchWin TG865-ET.

**Tabla 5.14.** Especificaciones pantalla táctil TouchWin TG865-ET.

Parámetro	Valor
Alimentación	24 VDC
Potencia de consumo máximo	5 W
Resolución	800x600

- **Switch Ethernet DES-1008A**

El uso del Switch Ethernet de la Figura 5.26 es necesario para poder establecer la conexión respectiva entre los dispositivos de control (PLCs), el computador y la interfaz HMI. Se verificó su correcto estado funcional. Además, se realizó la limpieza del equipo. En la Tabla 5.15 se presentan las especificaciones correspondientes.



**Figura 5.26.** Switch Ethernet DES-1008A.

**Tabla 5.15.** Especificaciones switch Ethernet DES-1008A.

Parámetro	Valor
Interfaz de dispositivo	Ocho puertos LAN Fast Ethernet 10/100
Tasas de transferencia de datos	100 Mbps (semidúplex)

- **Fuente de alimentación 24 VDC**

El módulo de envasado de líquidos carecía de fuentes de alimentación. Las pruebas de funcionamiento de los elementos del ANEXO I, cuyo voltaje de alimentación es de 24 VDC, fueron realizadas de manera individual empleando la fuente de voltaje interna del PLC S7-1200, la cual entrega 24 VDC. Por esta razón el uso de una fuente es requerido, debido a que en una operación conjunta de los distintos elementos que conforman la línea de simulación del proceso, el consumo de corriente se incrementa. Se hace uso de dos fuentes de alimentación, destinadas a alimentar el módulo de la interfaz de comunicación DB25, además de las entradas y salidas de los dos PLCs. Se realizaron pruebas de funcionamiento que permitieron verificar el correcto estado físico y funcional. En la Figura 5.27 se presenta la fuente de alimentación. En la Tabla 5.16 se presentan las especificaciones correspondientes.



**Figura 5.27.** Fuente de alimentación 24 VDC.

**Tabla 5.16.** Especificaciones fuente de alimentación 24 VDC.

Parámetro	Valor
Voltaje de alimentación de entrada	100 a 120 VAC (2.4 A) 200 a 240 VAC (1.2 A)
Voltaje de salida	24 VDC (4.2 A)

- **Módulo complementario para la interfaz DB25 8E/8S**

En la línea de simulación del proceso de envasado de líquidos se emplea este módulo con la finalidad de conectar los distintos periféricos tanto de entrada como de salida situados en campo. Inicialmente se contaba con un solo módulo para la interfaz DB25; por lo tanto, se requiere del módulo complementario para poder conectar los dos extremos del cable DB25 y posibilitar la transferencia de datos de manera correcta. Se realizó la limpieza del equipo, además de las pruebas de funcionamiento respectivas. En la Figura 5.28 se presenta el módulo complementario para la interfaz DB25.



**Figura 5.28.** Módulo complementario interfaz DB25.

- **Tanque de reserva**

Para la etapa del llenado del tanque de dosificación se requiere un tanque de reserva de líquido del cual pueda abastecerse el tanque de dosificación. Dentro del CEDIT se encontró un tanque disponible, el cual se presenta en la Figura 5.29. Se verificó la ausencia de fugas de agua y se realizó la limpieza correspondiente tanto del interior como del exterior del tanque.



**Figura 5.29.** Tanque de reserva del líquido.

- **Bomba de drenaje PSB-02**

El uso de una bomba es necesario para transferir el líquido del tanque de reserva al tanque de dosificación y así llevar a cabo la etapa de llenado. Dentro del inventario del CEDIT se encontró la bomba de drenaje, mostrada en la Figura 5.30. Se realizaron pruebas de funcionamiento y se efectuó la limpieza correspondiente. En la Tabla 5.17 se presentan las especificaciones del equipo.



**Figura 5.30.** Bomba de drenaje PSB-02.

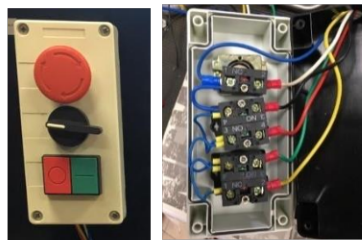


**Tabla 5.17.** Especificaciones de la bomba de drenaje PSB-02.

Parámetro	Valor
Voltaje de alimentación	110-127 VAC
Potencia	35 W
Corriente	0.54 A
Caudal	20 L/min

- **Botonera**

El uso de una botonera es requerido para poder accionar de manera manual la marcha y paro del proceso, además de accionar de manera manual el pulsante de emergencia, que a su vez detendrá la ejecución del proceso. Por otra parte, el selector permitirá escoger entre el mando local (marcha y paro son accionados desde la botonera) y el mando remoto (marcha y paro son accionados desde el HMI). Dentro del inventario del CEDIT se encontró la botonera, mostrada en la Figura 5.31. Se realizaron pruebas de funcionamiento y se efectuó la limpieza correspondiente. En la Tabla 5.18 se presentan las especificaciones del equipo.



**Figura 5.31.** Botonera.

**Tabla 5.18.** Resumen de los elementos de la botonera.

Elemento	Tipo	Alimentación
Pulsante de emergencia tipo seta	NC	24 VDC
Pulsante de marcha	NO	24 VDC
Pulsante de paro	NC	24 VDC
Selector mando local/remoto	NO	24 VDC

- **Luces piloto**

El uso de luces piloto permitirá mostrar el estado del proceso de envasado, teniendo que el color verde indica que el proceso se encuentra en marcha; el color amarillo indica la pausa del proceso, mientras que el color rojo indica que ha ocurrido una emergencia dentro del proceso. Dentro del inventario del CEDIT se encontró el

módulo de luces piloto presentado en la Figura 5.32. Se realizaron pruebas de funcionamiento y se efectuó la limpieza correspondiente. En la Tabla 5.19 se presentan las especificaciones del módulo de luces piloto.



**Figura 5.32.** Módulo de luces piloto.

**Tabla 5.19.** Especificaciones de las luces piloto.

Parámetro	Valor
Voltaje de alimentación de cada luz piloto	24 VDC

- **Compresor de aire Porten 2 HP 75 litros**

El uso del compresor de aire es requerido para alimentar al sistema neumático, encargado de la dosificación del líquido. Se realizó la limpieza del equipo, así como las respectivas pruebas de funcionamiento que permitieron verificar su óptimo estado físico y funcional. En la Figura 5.33 se presenta el compresor de aire empleado. En la Tabla 5.20 se presentan sus especificaciones.



**Figura 5.33.** Compresor de aire Porten 2 HP 75 litros.

**Tabla 5.20.** Especificaciones del compresor de aire.

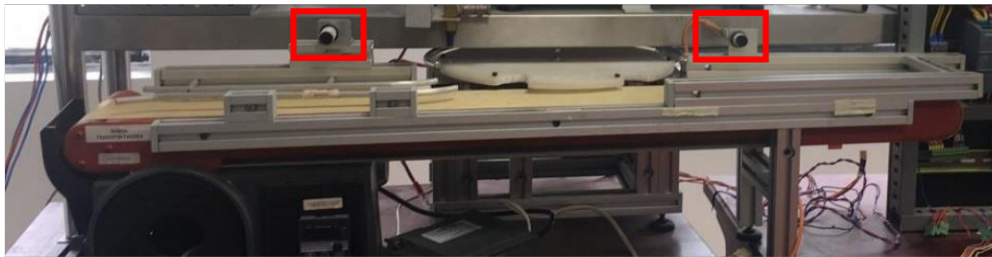
Parámetro	Valor
Caudal	4.1 cfm a 90 psi
Presión máxima	116 psi-8 bar
Motor	2 HP-1.4 kW
Voltaje de alimentación	110V

### **ANEXO III. Rediseño de la distribución física de los componentes**

El rediseño se divide en dos etapas: la primera etapa corresponde al reposicionamiento de ciertos componentes de la Tabla 2.1, y la segunda etapa corresponde al posicionamiento de todos los componentes adicionales presentados en la Tabla 2.2.

#### **Etapas 1: Reposicionamiento de los componentes con los cuales estaba equipado inicialmente el módulo de envasado.**

En lo que respecta a las distintas estructuras mecánicas del módulo, no se modificó su ubicación física. Dentro de los componentes iniciales del módulo, únicamente se cambió el posicionamiento de los sensores fotoeléctricos dentro de la estructura de la banda transportadora. La Figura 5.34 muestra el posicionamiento inicial de los dos sensores fotoeléctricos, donde el sensor de la izquierda corresponde al primer sensor fotoeléctrico, mientras que el sensor de la derecha corresponde al segundo sensor.



**Figura 5.34.** Posicionamiento inicial de los sensores fotoeléctricos.

El posicionamiento del primer sensor fotoeléctrico se presenta en la Figura 5.35. Su nueva ubicación permite detectar si el envase se ha posicionado correctamente debajo de la válvula de dosificación de líquido, indicando así que se puede iniciar el llenado del envase.



**Figura 5.35.** Nuevo posicionamiento para el primer sensor fotoeléctrico.

El posicionamiento del segundo sensor fotoeléctrico se muestra en la Figura 5.36. Su nueva ubicación, en comparación con su ubicación inicial presentada en la Figura 5.34,

permite evitar la detección de objetos ajenos al proceso de envasado. Este sensor, a su vez, permite realizar el conteo de los envases dosificados.



**Figura 5.36.** Nuevo posicionamiento para el segundo sensor fotoeléctrico.

### **Etapas 2: Posicionamiento de los componentes y equipos adicionales.**

Los siguientes elementos fueron posicionados dentro del panel de control del módulo de envasado: PLC Siemens S7-1200 CPU 1212C AC/DC/RLY con módulo de salida analógica, Pantalla táctil TouchWin TG865-ET, Módulo complementario para la interfaz DB25 8E/8S, Botonera y luces piloto. En las Figura 5.37 y 5.38 se observa el posicionamiento de estos elementos.

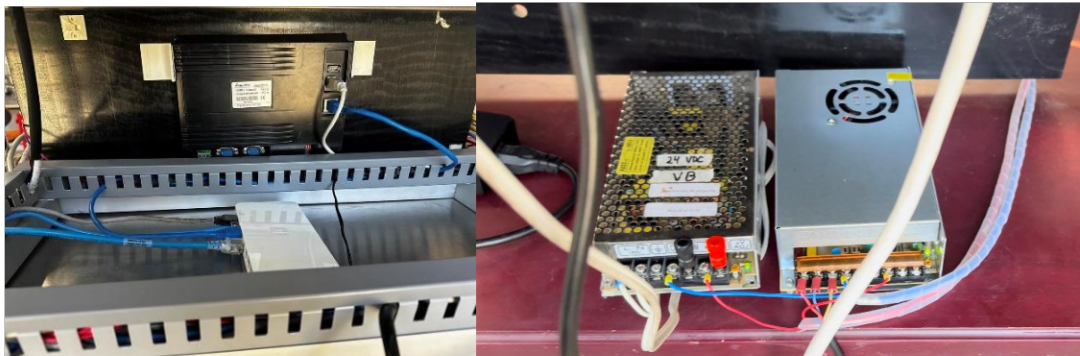


**Figura 5.37.** Posicionamiento para PLC S7-1200 y el módulo DB25 8E/8S en el panel de control.



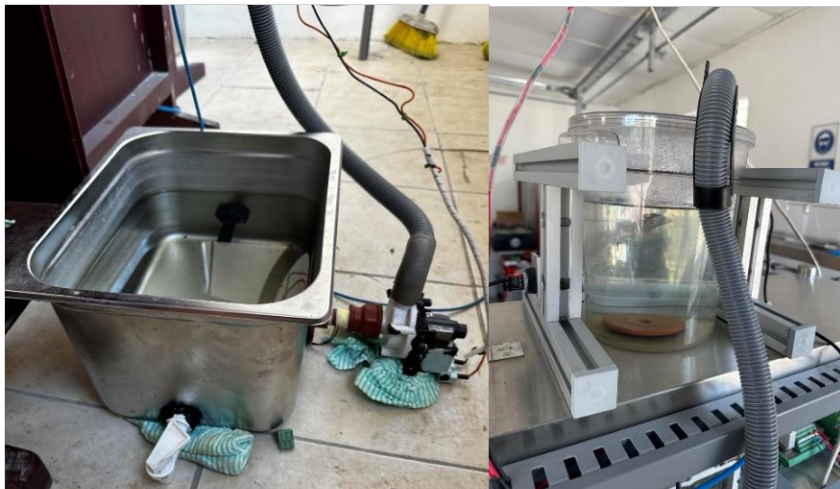
**Figura 5.38.** Posicionamiento de la botonera, pantalla y luces piloto en el panel de control.

El switch Ethernet y las fuentes de alimentación de 24 VDC se ubicaron en la parte trasera del módulo de envasado, como se observa en las Figuras 5.39.



**Figura 5.39.** Posicionamiento del switch Ethernet y las fuentes de alimentación de 24 VDC.

En cuanto al tanque de reserva, se acopló a la bomba de drenaje, la que, a su vez, mediante una manguera se conecta con el tanque de dosificación, como se observa en la Figura 5.40.



**Figura 5.40.** Posicionamiento y acople del tanque de reserva y la bomba de drenaje.

## ANEXO IV. Asignación de recursos para los PLCs

La Tabla 5.21 presenta la asignación de recursos para las entradas y salidas del primer PLC correspondiente al PLC S7-1200-Nº Orden: 6ES7 212-1BE40-0XB0 de la Figura 5.1.

**Tabla 5.21.** Asignación de recursos para el primer PLC Siemens S7-1200

	<b>Terminal PLC</b>	<b>Elemento asignado</b>
<b>ENTRADAS DIGITALES</b>	DI.0	Pulsante de emergencia tipo seta
	DI.1	Selector
	DI.2	Pulsante de marcha
	DI.3	Pulsante de paro
	DI.4	Sensor de proximidad capacitivo (nivel bajo)
	DI.5	Sensor de proximidad capacitivo (nivel alto)
<b>SALIDAS DIGITALES</b>	DQ.0	Luz piloto verde (módulo de luces piloto y torre LTA-205-3WJ)
	DQ.1	Luz piloto amarilla (módulo de luces piloto y torre LTA-205-3WJ)
	DQ.2	Luz piloto roja (módulo de luces piloto y torre LTA-205-3WJ)
	DQ.3	Relé 24 V (Bomba de drenaje)
	DQ.4	Terminal D1 del variador de la banda transportadora (Marcha motor banda)
	DQ.5	Terminal D2 del variador de la banda transportadora (Paro motor banda)
<b>SALIDAS ANALÓGICAS</b>	AQ0	Terminal AL1 (Variador motor banda transportadora)

La Tabla 5.22 presenta la asignación de recursos para las entradas y salidas del segundo PLC correspondiente al PLC Siemens S7-1200 CPU: 1212C AC/DC/RLY Nº Orden: 6ES7212-1BE31-0XB0 de la Figura 5.24.

**Tabla 5.22.** Asignación de recursos para el segundo PLC Siemens S7-1200

	<b>Terminal PLC</b>	<b>Elemento asignado</b>
<b>ENTRADAS DIGITALES</b>	DI.1	Sensor de posición magnético para el cilindro de doble efecto neumático
	DI.2	Segundo sensor fotoeléctrico
	DI.3	Primer sensor fotoeléctrico
<b>SALIDAS DIGITALES</b>	DQ.0	Electroválvula 5/2 (llenado volumétrico)
	DQ.1	Electroválvula 3/2 (llenado en función del tiempo)
	DQ.4	Terminal D1 del variador del disco giratorio (Marcha motor banda)
	DQ.5	Terminal D2 del variador del disco giratorio (Paro motor banda)
<b>SALIDAS ANALÓGICAS</b>	AQ0	Terminal AL1 (Variador motor disco giratorio)

## ANEXO V. Arquitectura del Sistema de Envasado de líquidos

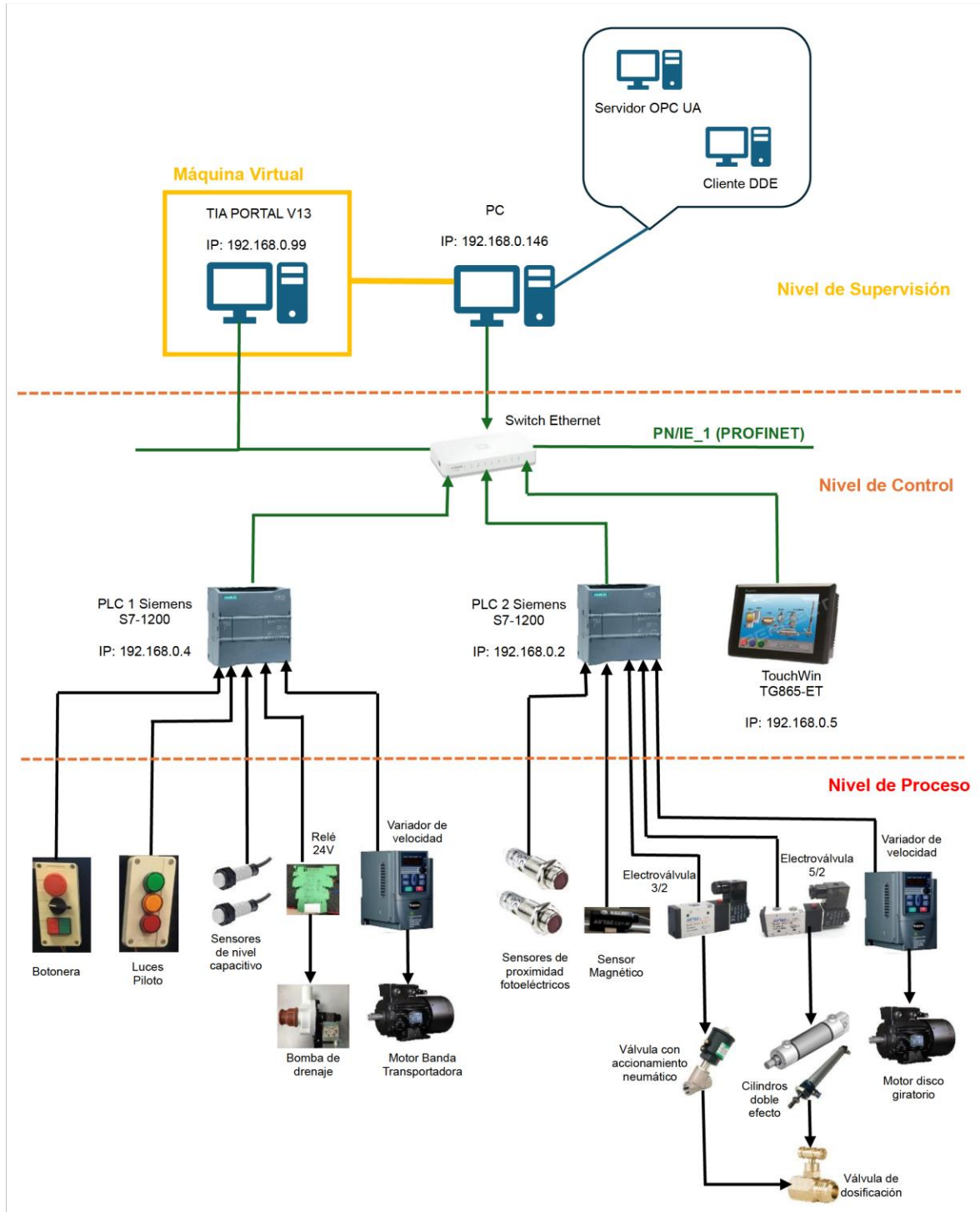
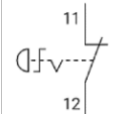
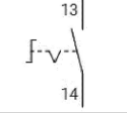
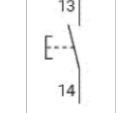
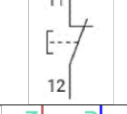
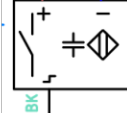
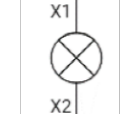
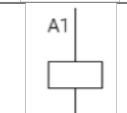
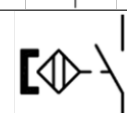

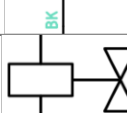


Figura 5.41. Arquitectura del sistema.

## ANEXO VI. Resumen de la Nomenclatura y Simbología empleada para la elaboración del Plano Eléctrico

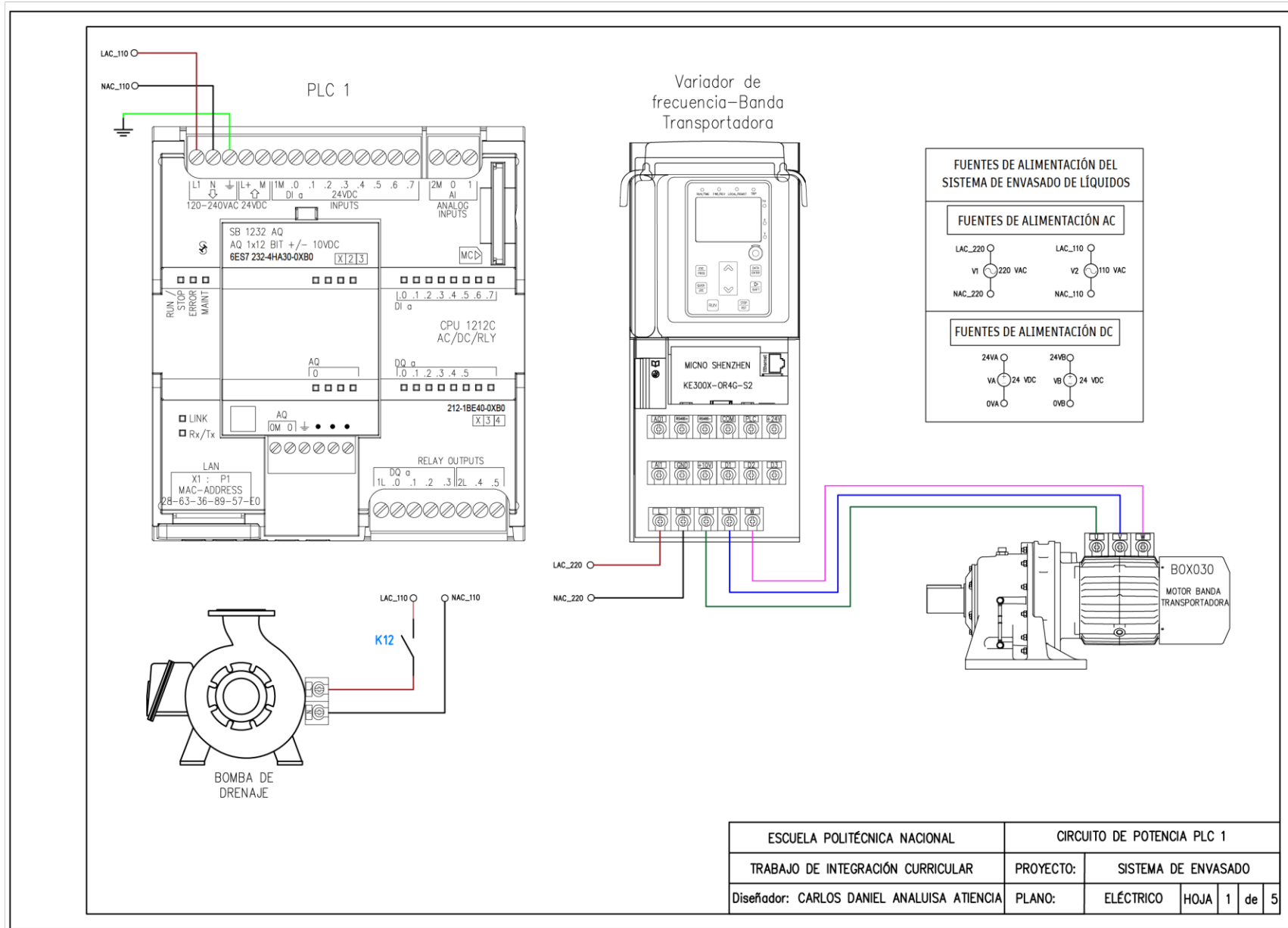
La Tabla 5.23 presenta la nomenclatura y simbología empleada para la elaboración del plano eléctrico, la cual se rige bajo la norma IEC 60617.

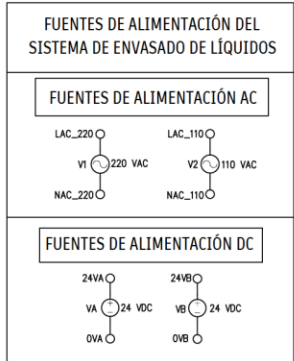
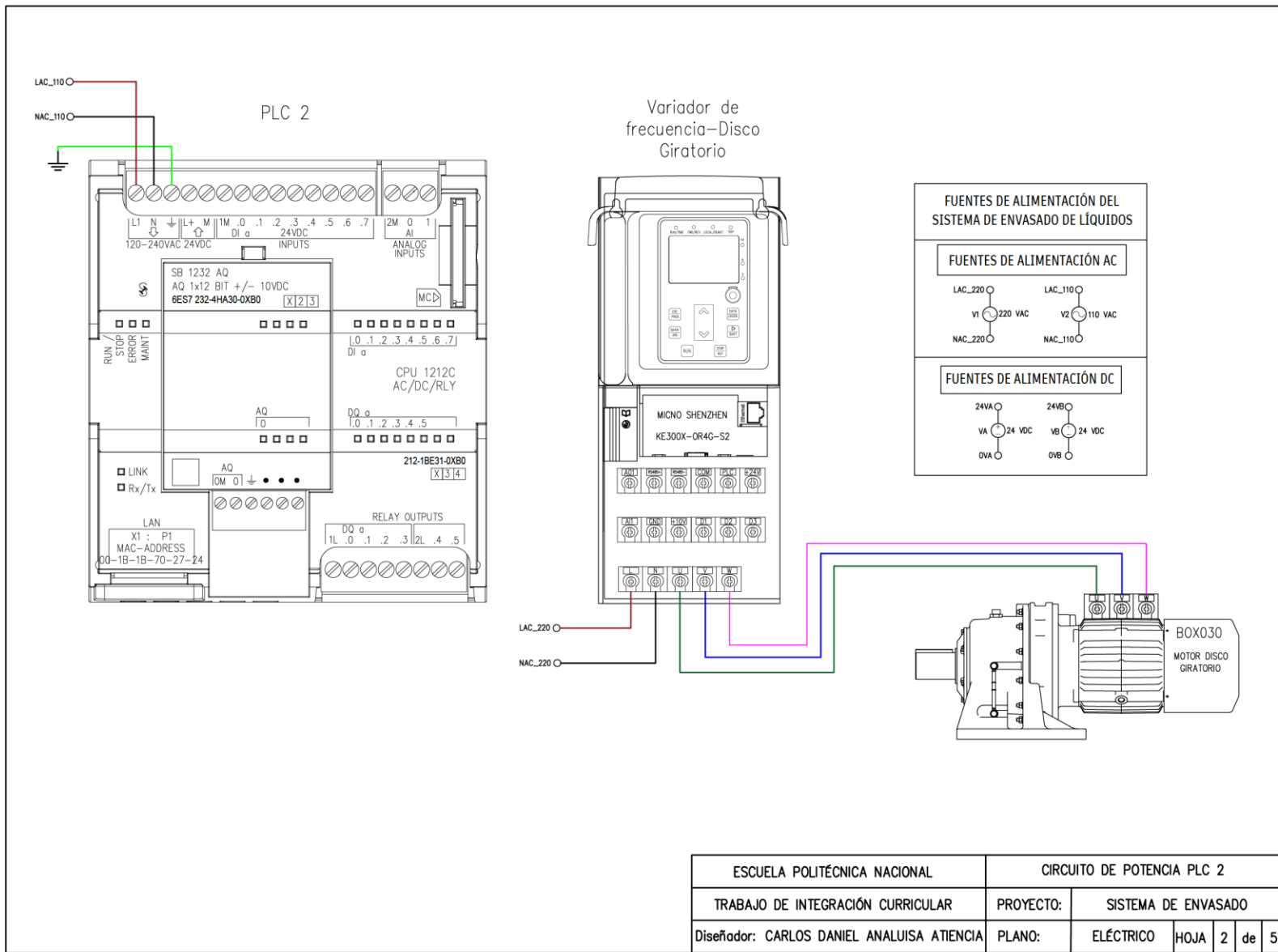
**Tabla 5.23.** Nomenclatura elementos del plano eléctrico

Elemento	Nomenclatura	Simbología
Pulsante NC tipo seta con enclavamiento	-SE1	
Switch Selector NO	-S1	
Pulsante NO retorno por resorte	-SM1	
Pulsante NC retorno por resorte	-SP1	
Sensor de proximidad capacitivo	-LSL	
Luz piloto	-H1	
Bobina (relé)	-K12	
Sensor de proximidad magnético	-ZSO-01	
Sensor de proximidad fotoeléctrico	-ZSC-01	
Electroválvula	-PNV-01	

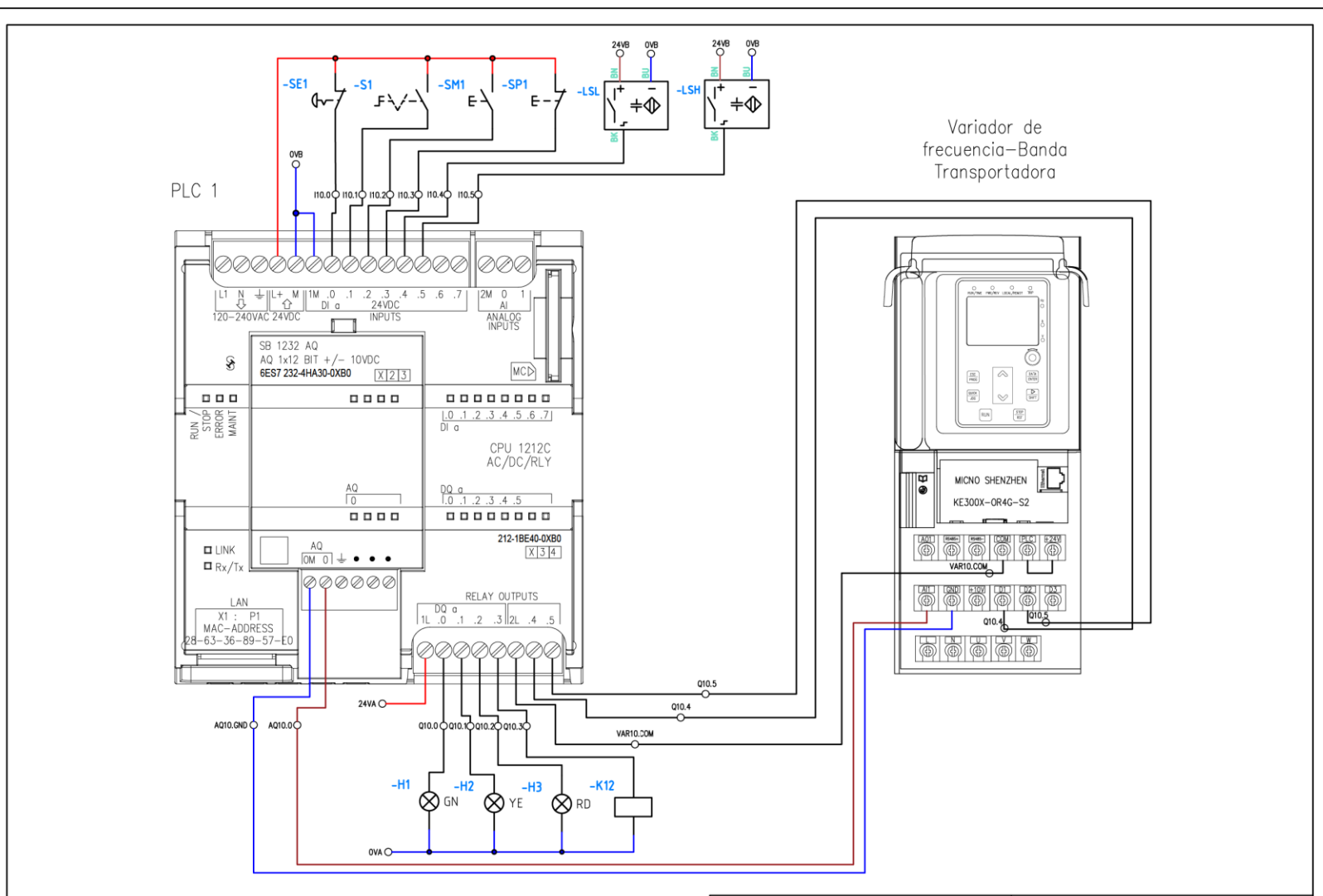


# ANEXO VII. Plano Eléctrico



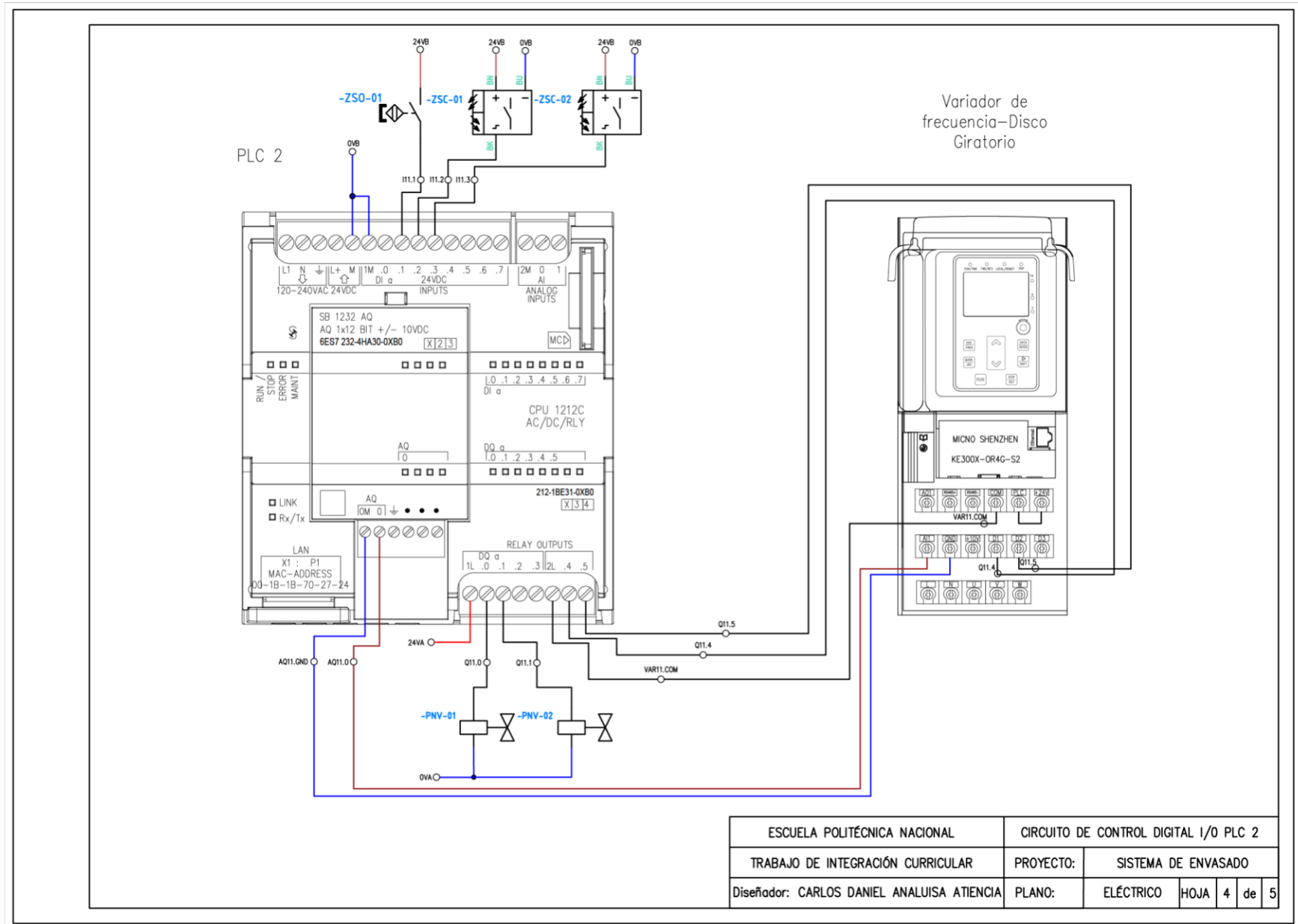


ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL		CIRCUITO DE POTENCIA PLC 2		
TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		PROYECTO:	SISTEMA DE ENVASADO	
Diseñador: CARLOS DANIEL ANALUISA ATIENZA		PLANO:	ELÉCTRICO	HOJA 2 de 5

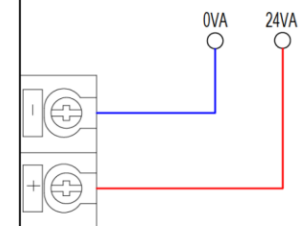


Variador de frecuencia-Banda Transportadora

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL		CIRCUITO DE CONTROL DIGITAL I/O PLC 1		
TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		PROYECTO:	SISTEMA DE ENVASADO	
Diseñador: CARLOS DANIEL ANALUISA ATIENCIA		PLANO:	ELÉCTRICO	HOJA 3 de 5

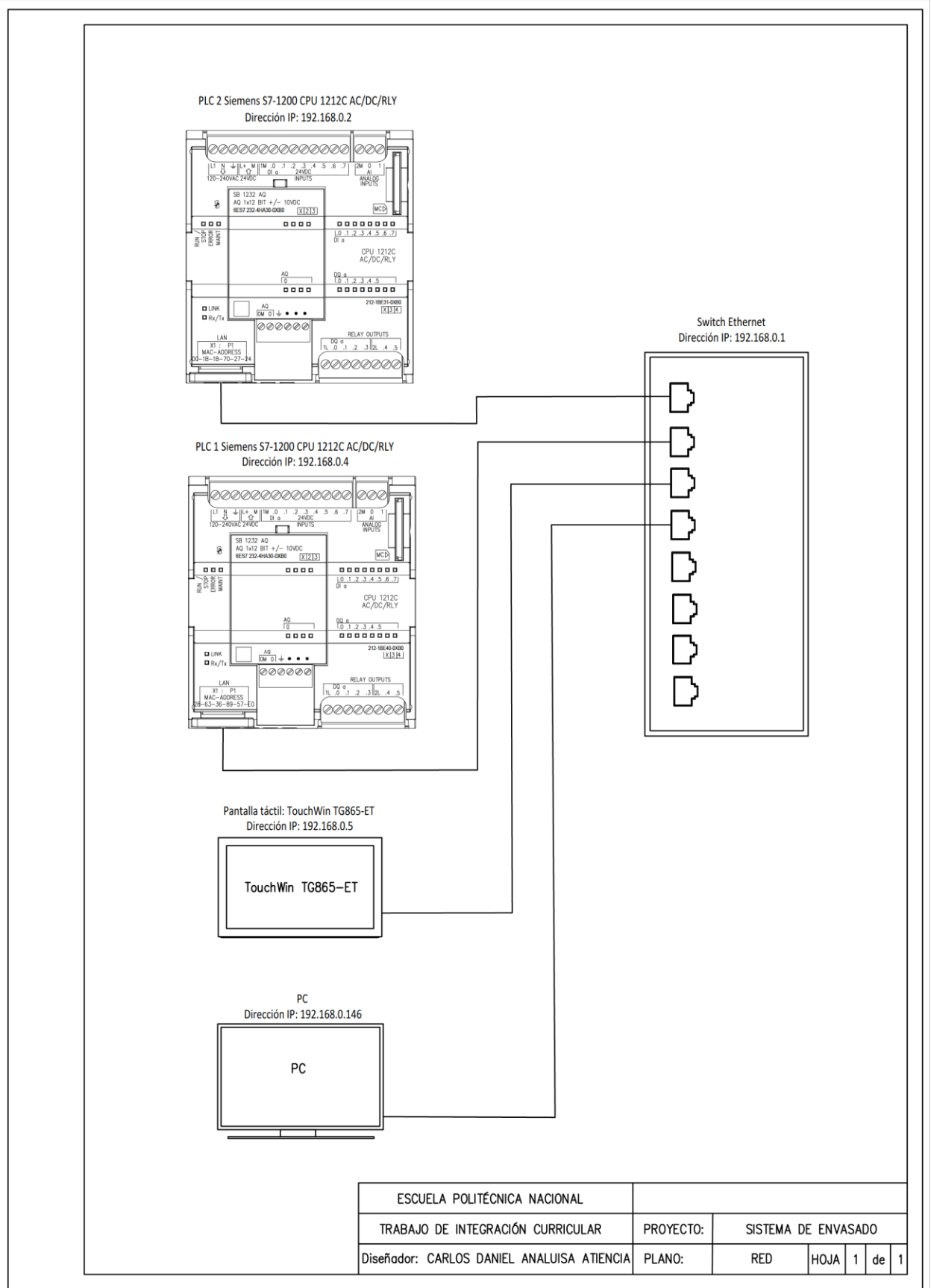


TouchWin TG865-ET



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL		PANTALLA TÁCTIL TOUCHWIN TG865-ET		
TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		PROYECTO:	SISTEMA DE ENVASADO	
Diseñador: CARLOS DANIEL ANALUISA ATIENCIA		PLANO:	ELÉCTRICO	HOJA 5 de 5

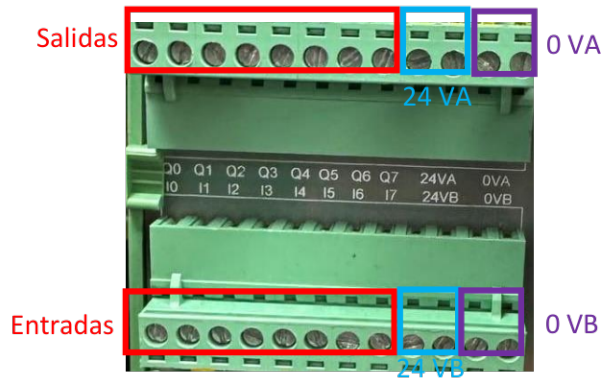
# ANEXO VIII. Plano de Red



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL			
TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		PROYECTO:	SISTEMA DE ENVASADO
Diseñador: CARLOS DANIEL ANALUISA ATIENCIA		PLANO:	RED
		HOJA	1 de 1

## ANEXO IX. Uso de la interfaz de comunicación DB25

La interfaz de comunicación DB25 cuenta con dos módulos uno situado en el panel de control y el otro situado alado del sistema de dosificación. Cada módulo posee 8 terminales de entrada y 8 terminales de salida que pueden ser asociados a las entradas y salidas de los PLCs respectivamente, además cuentan con dos fuentes de alimentación de 24 VDC (VA y VB) como se aprecia en la Figura 5.42.



**Figura 5.42.** Módulo de comunicación DB25 8E/8S (panel de control).

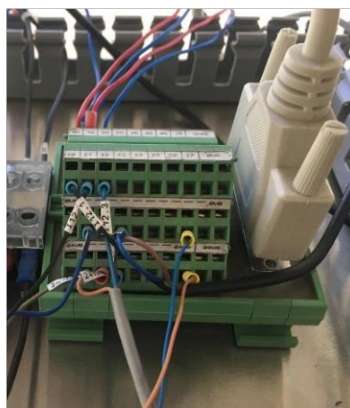
En base al plano eléctrico del ANEXO VII se realizaron las conexiones de los elementos mencionados en la sección 2.5.1 con los terminales del módulo DB25. Además, de conectar los terminales de alimentación del módulo DB25 con las fuentes de alimentación respectivas. El módulo de la Figura 5.42 situado en el panel de control se conectó con los terminales de entrada y salida de los PLCs a los cuales iban a ser conectados los elementos. En la Tabla 5.24 se detallan los terminales de los PLCs y su correspondiente terminal de conexión en el módulo DB25 del panel de control.

**Tabla 5.24.** Conexión de terminales de los PLCs al módulo DB25 del panel de control.

Elemento asociado	Terminal PLC	Terminal módulo DB25
Sensor magnético	Entrada I1 del PLC 2	I1
Sensor de proximidad capacitivo (nivel bajo)	Entrada I4 del PLC 1	I4
Sensor de proximidad capacitivo (nivel alto)	Entrada I5 del PLC 1	I5
Electroválvula llenado volumétrico	Salida Q0 del PLC 2	Q0
Electroválvula-llenado en función del tiempo	Salida Q1 del PLC 2	Q1

Relé 24V	Salida Q3 del PLC 1	Q3
----------	---------------------	----

Por otra parte, los elementos mencionados se conectaron con los terminales del módulo DB25 complementario, se realizó la conexión de cada elemento con los mismos terminales del módulo DB25 que se presentan en la Tabla 5.24. El módulo DB25 complementario que se presenta en la Figura 5.43.



**Figura 5.43.** Módulo de comunicación DB25 8E/8S complementario.

Cada terminal del módulo de comunicación DB25 de la Figura 5.42 se encuentra interconectado con su terminal correspondiente en el módulo DB25 complementario. Por lo tanto, se reduce el cableado empleado manteniendo las mismas conexiones establecidas en los planos eléctricos del ANEXO VII.



## ANEXO X. Etiquetado del cableado dentro del módulo de envasado de líquidos

Para el sistema de etiquetado del cableado dentro del módulo, se diseñó el rótulo presentado en la Figura 5.44, el cual permite identificar y diferenciar las distintas conexiones dentro del módulo de envasado. Este rótulo fue colocado en el tanque de dosificación, como se aprecia en la Figura 5.45.

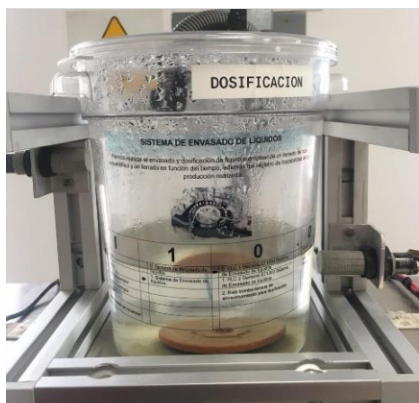
**SISTEMA DE ENVASADO DE LÍQUIDOS**

Permite realizar el envasado y dosificación de líquidos empleando un llenado de tipo volumétrico y un llenado en función del tiempo, además del registro de trazabilidad de la producción realizada.



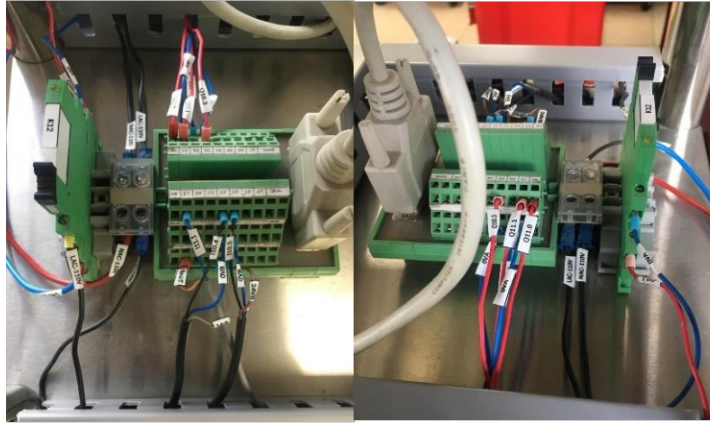
I	1	0	.	0
I: Entrada	0: Sistema de Mezclado de líquidos	0: PLC 1 Siemens S71200 Sistema de Envasado de líquidos	Número correspondiente a la Entrada o Salida.	
Q: Salida	1: Sistema de Envasado de líquidos	1: PLC 2 Siemens S71200 Sistema de Envasado de líquidos		
AI: Entrada analógica		2: Relé bomba-tanque de almacenamiento para dosificación		
AQ: Salida analógica				
K: Relé				
VAR: Variador de frecuencia				

**Figura 5.44.** Rotulo para el etiquetado de cables en el sistema de envasado de líquidos.



**Figura 5.45.** Rotulo colocado en el tanque de dosificación.

Con base en el rótulo diseñado, se procedió a etiquetar los distintos cables presentes dentro del módulo de envasado de líquidos, como se evidencia en las siguientes figuras.



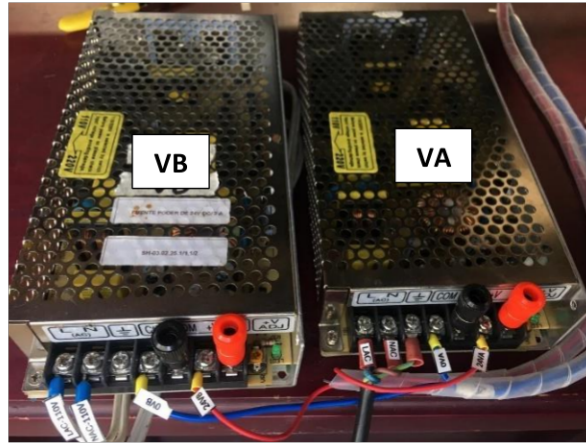
**Figura 5.46.** Etiquetas colocadas en el cableado del módulo DB25.



**Figura 5.47.** Etiquetas colocadas en el cableado del variador de frecuencia de la banda transportadora.



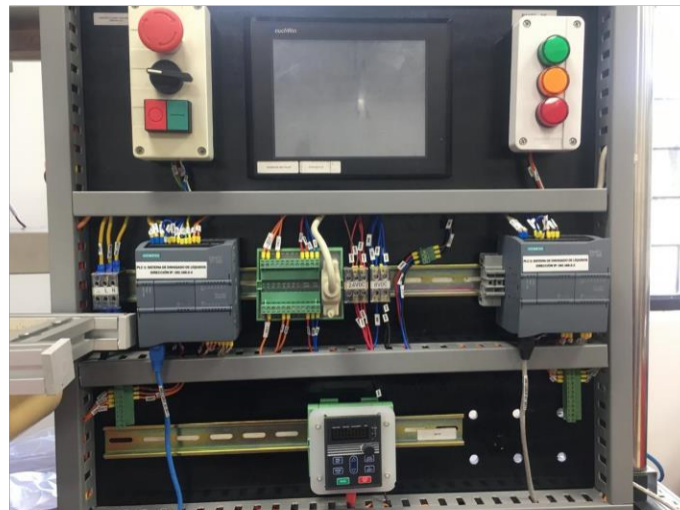
**Figura 5.48.** Etiquetas colocadas en el cableado del variador de frecuencia del disco giratorio.



**Figura 5.49.** Etiquetas colocadas en el cableado de las fuentes de alimentación.



**Figura 5.50.** Etiquetas colocadas en los cables de red.



**Figura 5.51.** Etiquetas colocadas en el cableado del panel de control.

## ANEXO XI. Programación del variador de velocidad MICNO KE300X

Para operar el variador de velocidad de manera remota se requirió configurar los distintos parámetros presentados en la Tabla 5.25. Cabe mencionar la configuración de los parámetros es aplicada tanto para el variador de velocidad de la banda transportadora como para el variador del disco giratorio.

**Tabla 5.25.** Configuración de parámetros para operar el variador de velocidad MICNO KE300X de manera remota.

Parámetro	Descripción	Opción por seleccionar	
P0-00	Inverter model	1	G model (constant torque load model)
P0-01	Control mode	0	V/F control
P0-02	Running command source	1	Terminal (LED ON)
P0-03	Main frequency source A selection	2	AI1
P0-04	Auxiliary frequency source B selection	0	The same as P0-03
P0-09	Running	0	Forward
P0-11	Frequency source upper limit	0	P0-12
P0-12	Frequency upper limit	50 Hz	
P0-27	Command source combination with frequency source	2	AI1
P4-00	D1 terminal function	1	Forward (FWD)
P4-01	D2 terminal function	10	Pause running

## ANEXO XII. Entradas y salidas para la programación del PLC 1

La Tabla 5.26 presenta la asignación de variables de entrada y salida con su respectivo direccionamiento y nomenclatura para la programación del primer PLC correspondiente al PLC S7-1200-Nº Orden: 6ES7 212-1BE40-0XB0 de la Figura 5.1.

**Tabla 5.26.** Entradas y salidas para la programación del primer PLC Siemens S7-1200

	<b>Terminal PLC</b>	<b>Elemento asignado</b>	<b>Nomenclatura en el programa</b>	<b>Dirección</b>	<b>Tipo de dato</b>
<b>ENTRADAS DIGITALES</b>	DI.0	Pulsante de emergencia	Pulsante_Emergencia_Fisico	%I0.0	Bool
	DI.1	Selector	Selector_Fisico	%I0.1	Bool
	DI.2	Pulsante de marcha	Pulsante_Marcha_Fisico	%I0.2	Bool
	DI.3	Pulsante de paro	Pulsante_Paro_Fisico	%I0.3	Bool
	DI.4	Sensor de proximidad (nivel bajo)	Sensor_Low_Level_Tanque	%I0.4	Bool
	DI.5	Sensor de proximidad (nivel alto)	Sensor_High_Level_Tanque	%I0.5	Bool
<b>SALIDAS DIGITALES</b>	DQ.0	Luz piloto verde	Luz_Indicadora_Verde	%Q0.0	Bool
	DQ.1	Luz piloto amarilla	Luz_Indicadora_Amarilla	%Q0.1	Bool
	DQ.2	Luz piloto roja	Luz_Indicadora_Roja	%Q0.2	Bool
	DQ.3	Relé 24 V	Bomba_Llenado_Tanque_Almacenamiento	%Q0.3	Bool
	DQ.4	Terminal D1 (Marcha motor banda)	Marcha_Variador_Banda	%Q0.4	Bool
	DQ.5	Terminal D2 (Paro motor banda)	Paro_Variador_Banda	%Q0.5	Bool
<b>SALIDAS ANALÓGICAS</b>	AQ0	Terminal AL1 (Variador motor banda transportador a)	Salida_Analog_Variador_Banda	%QW80	Int

## ANEXO XIII. Entradas y salidas para la programación del PLC 2

La Tabla 5.27 presenta la asignación de variables de entrada y salida con su respectivo direccionamiento y nomenclatura para la programación del segundo PLC correspondiente al PLC Siemens S7-1200 CPU: 1212C AC/DC/RLY N° Orden: 6ES7212-1BE31-0XB0 de la Figura 5.24.

**Tabla 5.27.** Entradas y salidas para la programación del segundo PLC Siemens S7-1200

	<b>Terminales PLC</b>	<b>Elemento asignado</b>	<b>Nomenclatura en el programa</b>	<b>Dirección</b>	<b>Tipo de dato</b>
<b>ENTRADAS DIGITALES</b>	DI.1	Sensor de posición magnético para el cilindro de doble efecto neumático	Sensor_Posicion_Cilindro	%I0.1	Bool
	DI.2	Segundo sensor fotoeléctrico	Sensor_Posicion-2_Cconteo_Total	%I0.2	Bool
	DI.3	Primer sensor fotoeléctrico	Sensor_Posicion_1_Envasado	%I0.3	Bool
<b>SALIDAS DIGITALES</b>	DQ.0	Electroválvula 5/2 (llenado volumétrico)	Electrovalvula_LI_Envasado_Volumetrico	%Q0.0	Bool
	DQ.1	Electroválvula 3/2 (llenado en función del tiempo)	Electrovalvula_LI_Envasado_Tiempo	%Q0.1	Bool
	DQ.4	Terminal D1 del variador del disco giratorio (Marcha motor banda)	Marcha_Variador_Disco-Posicionador	%Q0.4	Bool
	DQ.5	Terminal D2 del variador del disco giratorio (Paro motor banda)	Paro_Variador_Disco-Posicionador	%Q0.5	Bool
<b>SALIDAS ANALÓGICAS</b>	AQ0	Terminal AL1 (Variador motor disco giratorio)	Salida_Analog_Variador_Disco	%QW80	Int

## ANEXO XIV. Ventanas principales desarrolladas para el HMI

En las siguientes figuras se presentan las ventanas principales desarrolladas para la elaboración del HMI con su descripción correspondiente.

### Pantalla de Ingreso

Pantalla principal que permite al usuario ingresar hacia la ventana general del proceso. La asignada para el ingreso es: **270199**.



Figura 5.52. Pantalla de ingreso.

### Pantalla de proceso general

Pantalla que permite monitorear de manera general todo el proceso, además de poder visualizar el tipo de mando (local/remoto) y el estado del proceso. Cuenta con dos opciones a seleccionar correspondientes al tanque de almacenamiento y a la dosificación y envasado.

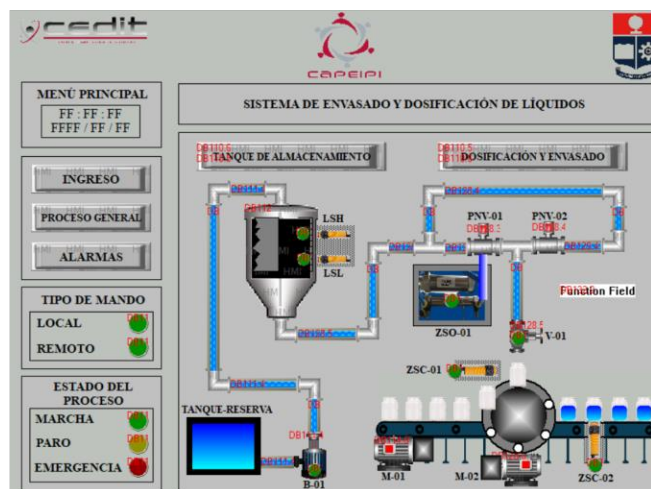


Figura 5.53. Pantalla general del proceso.

## Pantalla Tanque de almacenamiento

Pantalla que permite monitorear y controlar la etapa del llenado del tanque de almacenamiento de manera local y remota. Incluye el monitoreo de las variables presentes en el llenado del tanque y los mandos remotos correspondientes a la marcha, paro y emergencia.

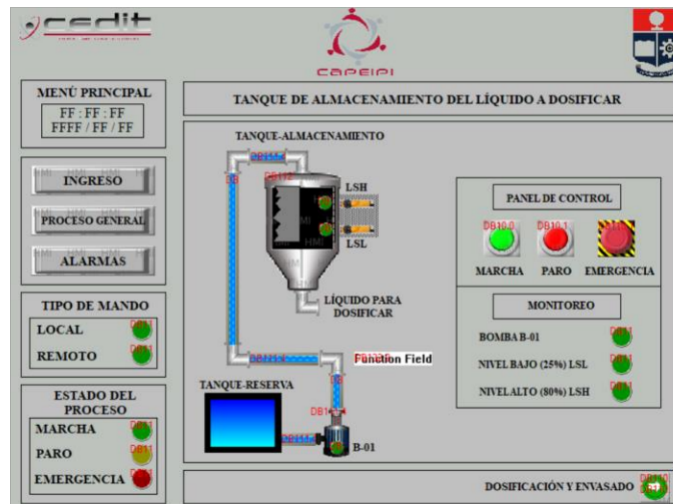


Figura 5.54. Pantalla Tanque de almacenamiento.

## Pantalla Producción nuevo lote

Pantalla que permite iniciar la producción de un nuevo lote. A su vez asigna el número de lote para el registro de trazabilidad. Además, permite visualizar el tipo de mando seleccionado (local/remoto) y el estado del proceso.

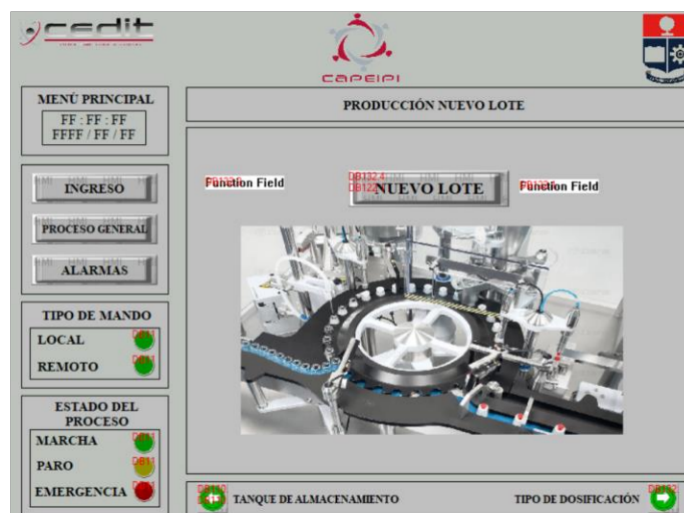


Figura 5.55. Pantalla Producción Nuevo lote.



## Pantalla Selección Tipo de dosificación

Pantalla que permite seleccionar el tipo de dosificación que se va a emplear teniendo como opciones la dosificación volumétrica y la dosificación en función del tiempo. Además, permite visualizar el tipo de mando seleccionado (local/remoto) y el estado del proceso.

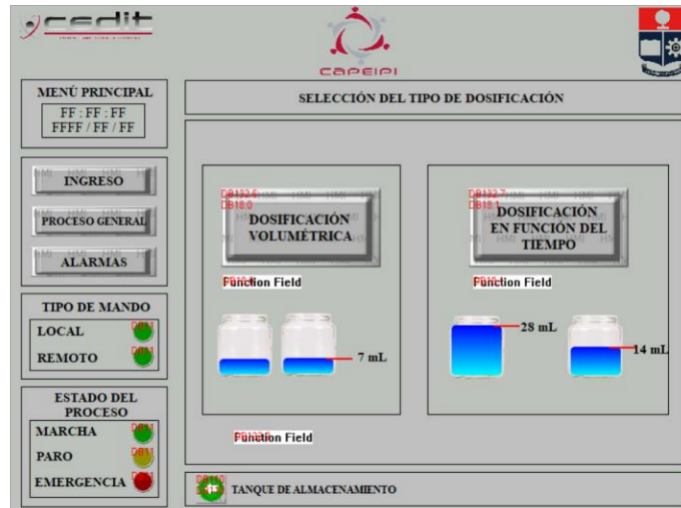


Figura 5.56. Pantalla selección del tipo de dosificación.

## Pantalla dosificación volumétrica

Pantalla que permite efectuar el llenado volumétrico (volumen constante de 7 mL), dentro de la pantalla se puede configurar la frecuencia del motor de la banda transportadora (por defecto el valor asignado es de 45 Hz) y el ingreso del número de envases destinados para este tipo de dosificación. Además, permite monitorear el estado de los sensores, actuadores y el conteo en tiempo real de los envases.

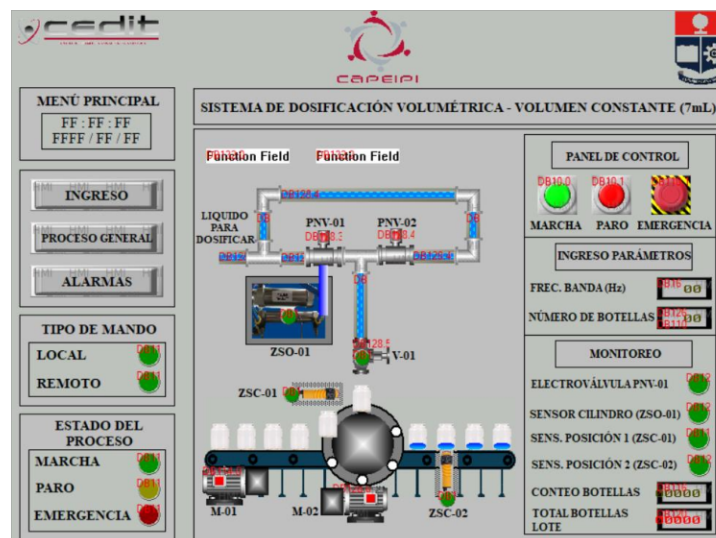


Figura 5.57. Pantalla dosificación volumétrica.

## Pantalla dosificación en función del tiempo

Pantalla que permite efectuar el llenado en función del tiempo, teniendo como opciones a seleccionar el llenado de 28 y 14 mL. Dentro de la pantalla se puede configurar la frecuencia del motor del disco giratorio (por defecto el valor asignado es de 5 Hz) y el ingreso del número de envases destinados para este tipo de dosificación. Además, permite monitorear el estado de los sensores, actuadores, el tiempo de operación de la electroválvula y el conteo en tiempo real de los envases.

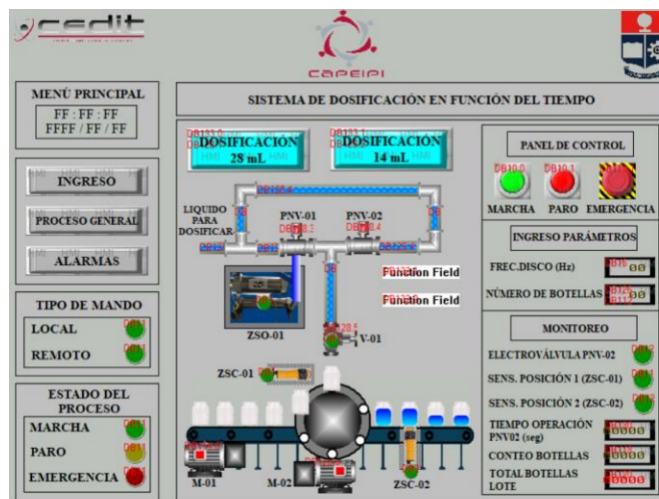


Figura 5.58. Pantalla dosificación en función del tiempo.

## Pantalla de Alarmas

La pantalla permite realizar el monitoreo de las alarmas, las cuales serán registradas en el momento en que ocurran. Además, se tiene la opción de validar la alarma una vez que haya sido solucionada, registrando el momento de la validación.

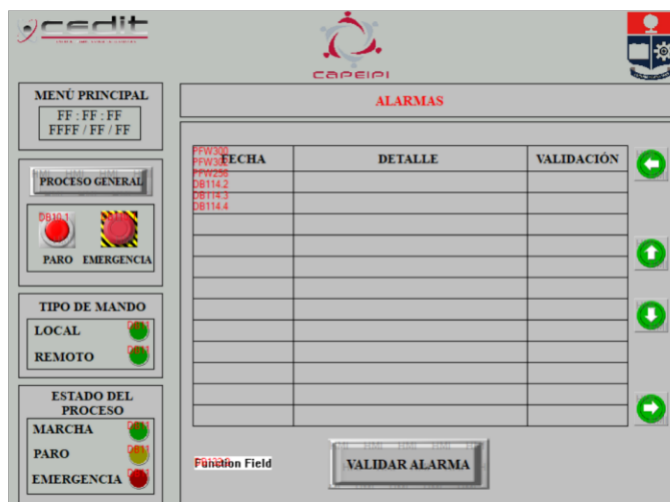


Figura 5.59. Pantalla de alarmas.

## ANEXO XV. Ventanas secundarias desarrolladas para el HMI

En las siguientes figuras se presentan las ventanas secundarias desarrolladas para complementar la ejecución del HMI con su descripción correspondiente.

### Ventana de ingreso del número total de botellas del lote

Ventana emergente que aparece al pulsar la opción de nuevo lote y permite el ingreso del número de envases totales que conformarán el lote de producción. El número de ingreso se encuentra limitado entre 10 y 15 envases, debido a la estructura física de la banda transportadora.



Figura 5.60. Ventana para el ingreso del número total de botellas del lote.

### Ventana continuación producción del lote

Ventana emergente que aparece siempre y cuando se haya completado el llenado con el tipo de dosificación seleccionado y el número de envases llenados sea inferior al número total de botellas asignadas para el lote. Es decir, si el número de envases asignados para el tipo de dosificación es menor al número total de envases del lote. Al seleccionar la opción continuación de producción permite dirigirse nuevamente a la selección del tipo de dosificación, para continuar la producción.

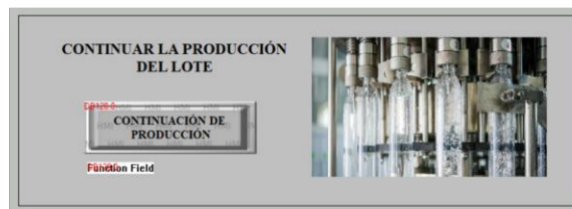


Figura 5.61. Ventana continuación producción del lote.

### Ventana de detalle del lote producido

Ventana emergente que aparece siempre y cuando se haya en su totalidad el llenado de los envases asignados para el lote. Dentro de esta ventana se encuentra el detalle del número total de envases del lote y el número de envases llenados para cada tipo de

dosificación. Además, permite visualizar si el lote producido es homogéneo (se ha empleado un solo tipo de dosificación para todos los envases) o mixto (se han empleado distintos tipos de dosificación para los envases).

LA PRODUCCIÓN DEL LOTE SE HA COMPLETADO DE MANERA CORRECTA

**DETALLE DEL LOTE PRODUCIDO:**

# TOTAL DE BOTELLAS-DOSIFICACIÓN VOLUMÉTRICA (7 mL): 00000

# TOTAL DE BOTELLAS-DOSIFICACIÓN POR TIEMPO (27 mL): 00000

# TOTAL DE BOTELLAS-DOSIFICACIÓN POR TIEMPO (14 mL): 00000

# TOTAL DE BOTELLAS DEL LOTE PRODUCIDO: 00000

**TIPO DE LOTE PRODUCIDO**

LOTE HOMOGÉNEO

LOTE MIXTO

REGISTRO-TRAZABILIDAD

FF : FF : FF  
FFFF / FF / FF

Figura 5.62. Ventana de detalle del lote producido.

### Ventana de registro de trazabilidad del lote producido

Ventana emergente que aparece cuando se selecciona la opción Registro-Trazabilidad de la ventana anterior. Dentro de esta ventana, se realiza el ingreso de los parámetros para el registro de trazabilidad, como es el caso de la fecha de elaboración y caducidad, además de los distintos parámetros para el almacenamiento y distribución del lote producido. Al seleccionar la opción de envío de datos de trazabilidad se agregará una nueva fila dentro del registro de trazabilidad con la información del lote, de acuerdo con lo diseñado para el registro de trazabilidad.

**REGISTRO-TRAZABILIDAD LOTE PRODUCIDO**

**ASIGNACIÓN DE FECHAS DE ENVASADO Y CADUCIDAD**

ASIGNAR FECHA DE ELABORACIÓN

ASIGNAR FECHA DE CADUCIDAD

**ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN**

**INGRESO DE PARÁMETROS**

TEMPERATURA DE ALMACENAMIENTO (°C) 00

TEMPERATURA DE TRANSPORTE (°C) 00

**SELECCIÓN DE PARÁMETROS A CONSIDERAR**

AMBIENTE VENTILADO

EMBALAJE RESISTENTE

MANEJO CUIDADOSO

REGISTRO-TRAZABILIDAD

FF : FF : FF  
FFFF / FF / FF

Figura 5.63. Ventana para el registro de la trazabilidad.

### Ventana de ingreso de los meses de consumo

Ventana emergente que aparece cuando se selecciona la opción de asignar la fecha de caducidad de la ventana anterior, permite el ingreso de los meses de consumo a partir de los cual se generará la fecha de caducidad del lote.



Figura 5.64. Ventana para el ingreso de los meses de consumo del lote.

### Ventana de finalización del registro de trazabilidad

Ventana emergente que aparece después de haber seleccionado el envío de datos de trazabilidad. Al seleccionar la opción de finalización de registro se genera el documento PDF que contiene la guía de trazabilidad con la información relevante del lote producido. Además, permite dirigirse a la ventana general del proceso donde se podrá iniciar un nuevo lote de producción o a su vez revisar el estado del tanque de almacenamiento.

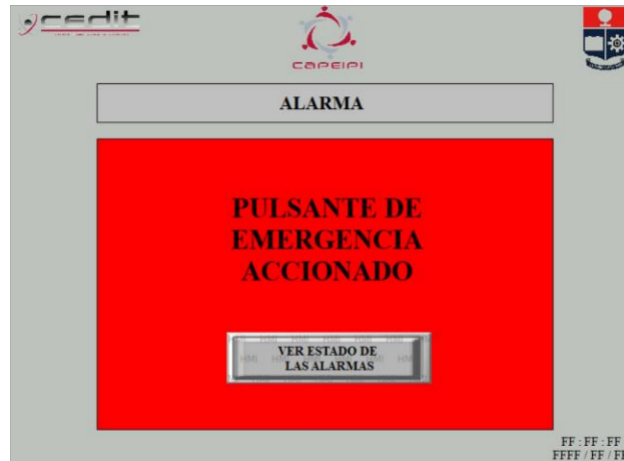


Figura 5.65. Ventana para finalizar el registro de trazabilidad.

### Ventanas emergentes de alarma

Se cuenta con dos ventanas emergentes destinadas a aparecer cuando se ha producido una condición de emergencia. Las condiciones de emergencia están dadas por la

activación del pulsante de emergencia ya sea físico o remoto y por el nivel insuficiente en el tanque de almacenamiento. Las condiciones de alarma detendrán la ejecución del proceso hasta el momento en que sean solucionadas. Para el caso de la ventana emergente del pulsante de emergencia, permitirá dirigirse hacia la ventana de alarmas para ver el estado correspondiente de estas.



**Figura 5.66.** Ventana de alarma emergente para el pulsante de emergencia.

Para el caso el caso de la ventana emergente por el nivel insuficiente en el tanque de almacenamiento permitirá dirigirse a la ventana del tanque de almacenamiento, donde se puede monitorear el nivel del tanque e iniciar el llenado correspondiente para solucionar esta alarma.



**Figura 5.67.** Ventana de alarma emergente para el nivel insuficiente del tanque de almacenamiento.

## ANEXO XVI. Lógica de funcionamiento del sistema

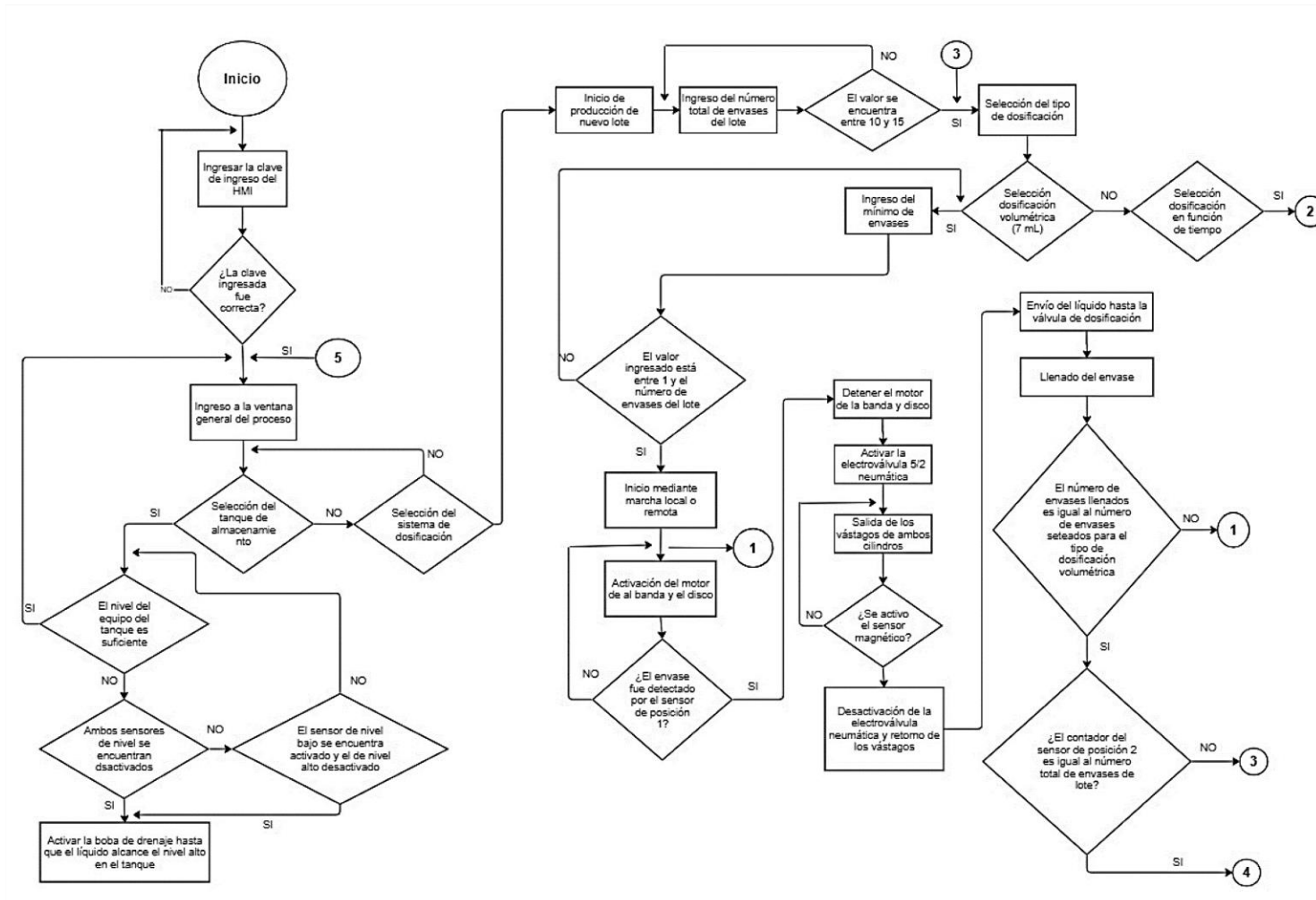


Figura 5.68. Lógica de funcionamiento del proceso.

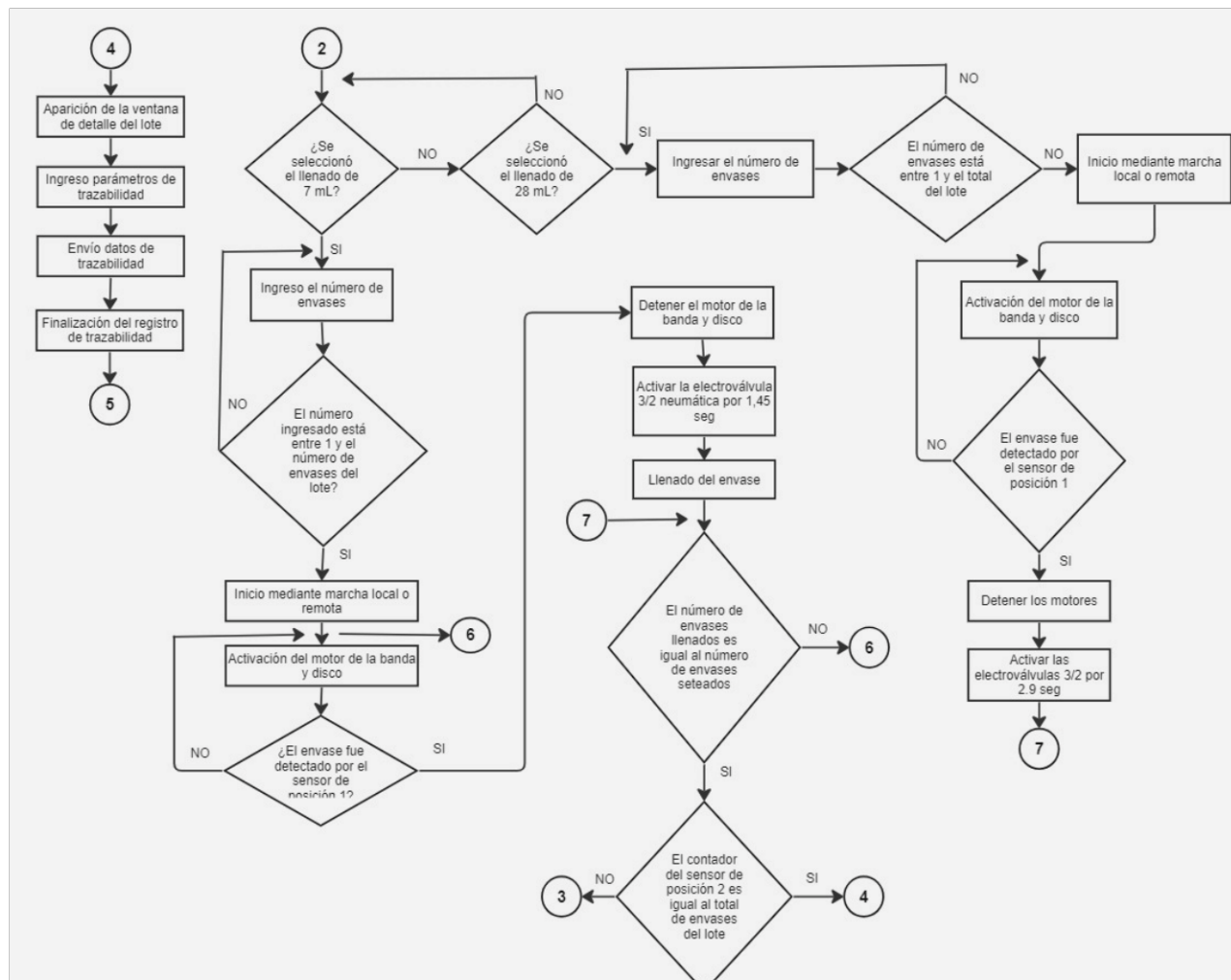


Figura 5.69. Lógica de funcionamiento del proceso.



## ANEXO XVII. Programación de las macros en Excel para la elaboración del registro de trazabilidad

Para la elaboración del registro de trazabilidad, se requirió el uso de distintas macros que permitan cumplir con los requerimientos planteados en el diseño del registro. A continuación, se detallan la lógica de funcionamiento de las macros programadas en Excel mediante el uso de diagramas de flujo

### Macro 1: Asignación del número de lote

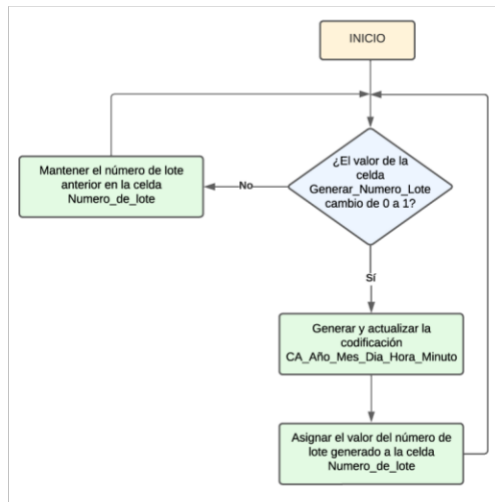


Figura 5.70. Lógica de funcionamiento de la macro 1.

### Macro 2: Asignación de la fecha de elaboración del lote

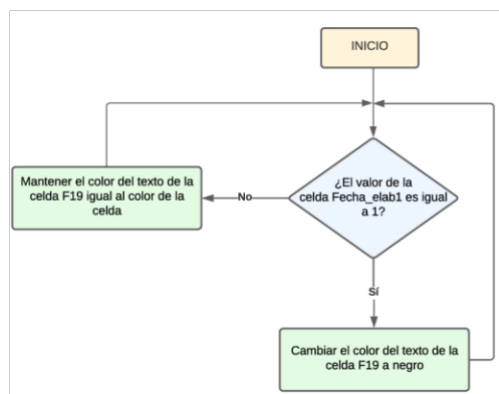


Figura 5.71. Lógica de funcionamiento de la macro 2.

### Macro 3: Asignación de la fecha de caducidad del lote

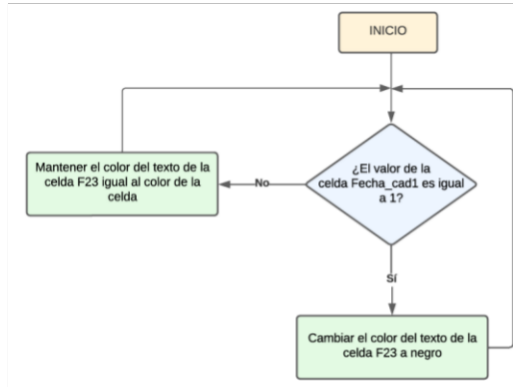


Figura 5.72. Lógica de funcionamiento de la macro 3.

#### Macro 4: Tiempos de producción del lote

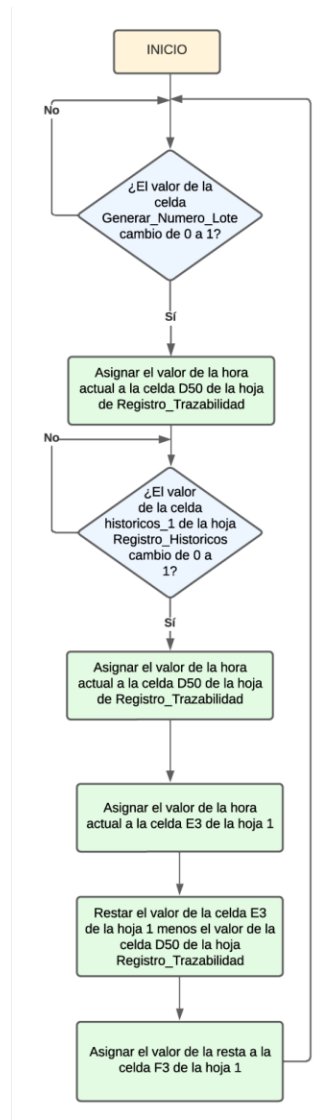


Figura 5.73. Lógica de funcionamiento de la macro 4.

### Macro 5: Generación de la tabla acumulativa del registro de trazabilidad

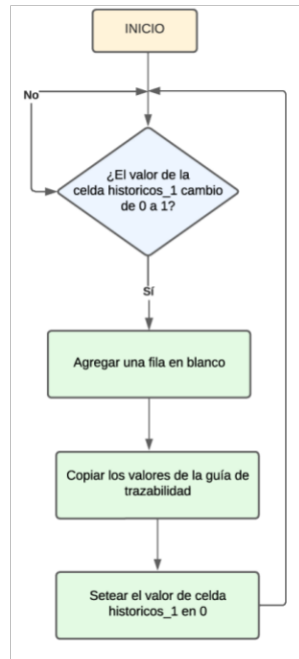


Figura 5.74. Lógica de funcionamiento de la macro 5.

### Macro 6: Generación del documento PDF de la guía de trazabilidad de cada lote

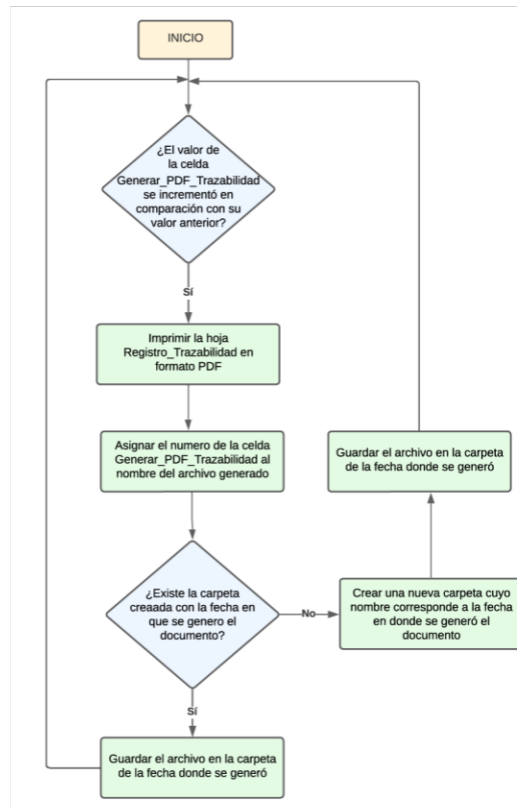


Figura 5.75. Lógica de funcionamiento de la macro 6.

## **ANEXO XVIII. Enlace a videos de funcionamiento y archivos**

A continuación, se adjunta el enlace a la carpeta compartida donde se encuentran los videos correspondientes a las pruebas de funcionamiento realizadas para la producción de distintos tipos de lote. Además, dentro de la carpeta se adjuntan los programas y archivos relevantes que validan la realización del presente Trabajo de Integración Curricular.

**[EVIDENCIAS TIC AUTOMATIZACIÓN ANALUISA-CARLOS](#)**

## ANEXO XIX. Detalle de los lotes producidos

REGISTRO HISTÓRICOS DEL SISTEMA DE ENVASADO PARA LA CADENA DE MEZCLADO DE LÍQUIDOS DENTRO DEL SISTEMA DE SIMULACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES DE LA CAPEIPI																		
Nº Registro	Nº Lote	Fecha Producción Lote	Hora Inicio Producción Lote (hh:mm:ss)	Hora Fin Producción Lote (hh:mm:ss)	Tiempo de producción Lote (hh:mm:ss)	Meses Caducidad	Fecha Caducidad	Lote Mixto	Lote Homógeno	Total botellas (7mL)	Total botellas (14mL)	Total botellas (28mL)	Total botellas lote	Temperatura Almacenamiento (°C)	Temperatura Transporte (°C)	Ambiente Ventilado	Embalaje Resistente	Manejo Cuidadoso
1	CA2401251054	25/1/2024	10:54:37	10:57:09	0:02:32	3	25/4/2024	✓	—	3	4	3	10	20	20	✓	✓	✓
2	CA2401251105	25/1/2024	11:05:39	11:07:35	0:01:56	4	25/5/2024	—	✓	10	0	0	10	15	14	—	✓	✓
3	CA2401251115	25/1/2024	11:15:59	11:18:03	0:02:04	3	25/4/2024	—	✓	0	10	0	10	21	19	—	✓	—
4	CA2401251121	25/1/2024	11:21:20	11:24:01	0:02:41	2	25/3/2024	—	✓	0	0	10	10	18	17	—	✓	✓
5	CA2401251149	25/1/2024	11:49:18	11:51:55	0:02:37	3	25/4/2024	✓	—	4	2	4	10	15	15	—	✓	✓
6	CA2401251224	25/1/2024	12:24:22	12:26:36	0:02:14	4	25/5/2024	✓	—	5	2	3	10	23	23	—	✓	—
7	CA2401261201	26/1/2024	12:01:33	12:04:02	0:02:29	3	26/4/2024	✓	—	2	4	4	10	22	23	—	✓	✓
8	CA2401261208	26/1/2024	12:08:42	12:11:20	0:02:38	4	26/5/2024	✓	—	6	2	2	10	18	14	—	✓	✓
9	CA2401261213	26/1/2024	12:13:21	12:15:19	0:01:58	2	26/3/2024	—	✓	10	0	0	10	21	19	—	✓	—
10	CA2401261224	26/1/2024	12:24:55	12:26:59	0:02:04	3	26/4/2024	—	✓	0	10	0	10	25	25	—	✓	✓
11	CA2401261332	26/1/2024	13:32:17	13:34:56	0:02:39	4	26/5/2024	✓	—	0	0	10	10	23	23	—	✓	✓
12	CA2401261337	26/1/2024	13:37:26	13:40:41	0:03:15	3	26/4/2024	✓	—	5	5	5	15	18	17	—	✓	✓
13	CA2401291224	29/1/2024	12:24:33	12:27:14	0:02:41	3	29/4/2024	✓	—	4	4	2	10	25	25	—	✓	✓
14	CA2401291239	29/1/2024	12:39:26	12:41:57	0:02:31	2	29/3/2024	✓	—	2	4	4	10	18	18	—	✓	✓
15	CA2401291244	29/1/2024	12:44:31	12:47:09	0:02:38	4	29/5/2024	—	✓	0	0	10	10	19	15	—	✓	—
16	CA2401291252	29/1/2024	12:52:15	12:54:20	0:02:05	2	29/3/2024	✓	—	0	10	0	10	23	22	—	✓	—
17	CA2401291336	29/1/2024	13:36:29	13:38:25	0:01:56	3	29/4/2024	—	✓	10	0	0	10	21	18	—	✓	✓
18	CA2401291341	29/1/2024	13:41:40	13:44:58	0:03:18	4	29/5/2024	✓	—	5	5	5	15	22	23	—	✓	✓
19	CA2401301324	30/1/2024	13:24:50	13:27:28	0:02:38	4	30/5/2024	✓	—	4	4	2	10	22	20	—	✓	—
20	CA2401301329	30/1/2024	13:29:37	13:31:34	0:01:57	4	30/5/2024	✓	—	10	0	0	10	18	17	—	✓	✓
21	CA2401301340	30/1/2024	13:40:45	13:42:51	0:02:06	2	30/3/2024	—	✓	0	10	0	10	20	17	—	✓	✓
22	CA2401301344	30/1/2024	13:44:41	13:47:18	0:02:37	3	30/4/2024	—	✓	0	0	10	10	23	22	—	✓	✓
23	CA2401301351	30/1/2024	13:51:14	13:53:45	0:02:31	2	30/3/2024	✓	—	2	4	4	10	18	18	—	✓	—
24	CA2401301356	30/1/2024	13:56:22	13:59:43	0:03:21	4	30/5/2024	✓	—	5	5	5	15	19	15	—	✓	✓
25	CA2401311305	31/1/2024	13:05:13	13:07:08	0:01:55	3	30/4/2024	—	✓	10	0	0	10	23	23	—	✓	✓
26	CA2401311310	31/1/2024	13:10:44	13:12:48	0:02:04	2	31/3/2024	—	✓	0	10	0	10	22	22	—	✓	✓
27	CA2401311407	31/1/2024	14:07:11	14:09:51	0:02:40	3	30/4/2024	—	✓	0	0	10	10	24	22	—	✓	✓
28	CA2401311411	31/1/2024	14:11:03	14:14:23	0:03:20	4	31/5/2024	✓	—	5	5	5	15	25	25	—	✓	✓
29	CA2401311415	31/1/2024	14:15:46	14:18:16	0:02:30	2	31/3/2024	✓	—	2	4	4	10	18	15	—	✓	✓
30	CA2401311419	31/1/2024	14:19:33	14:22:12	0:02:39	4	31/5/2024	✓	—	4	4	2	10	16	16	—	✓	✓
31	CA2402011727	1/2/2024	17:27:47	17:30:19	0:02:32	4	1/6/2024	✓	—	2	4	4	10	18	18	—	✓	✓
32	CA2402011731	1/2/2024	17:31:56	17:35:15	0:03:19	3	1/5/2024	✓	—	5	5	5	15	23	20	—	✓	✓
33	CA2402011736	1/2/2024	17:36:17	17:38:57	0:02:40	2	1/4/2024	✓	—	4	4	2	10	17	17	—	✓	✓
34	CA2402011744	1/2/2024	17:44:35	17:47:14	0:02:39	3	1/5/2024	—	✓	0	0	10	10	16	15	—	✓	—
35	CA2402011749	1/2/2024	17:49:09	17:51:12	0:02:03	3	1/5/2024	—	✓	0	10	0	10	19	19	—	✓	—
36	CA2402011752	1/2/2024	17:52:37	17:54:33	0:01:56	2	1/4/2024	—	✓	10	0	0	10	20	20	—	✓	—
37	CA2402021409	2/2/2024	14:09:30	14:12:10	0:02:40	3	2/5/2024	—	✓	0	0	10	10	22	22	—	✓	✓
38	CA2402021414	2/2/2024	14:14:51	14:16:55	0:02:04	3	2/5/2024	—	✓	0	10	0	10	18	17	—	✓	✓
39	CA2402021420	2/2/2024	14:20:15	14:22:12	0:01:57	2	2/4/2024	—	✓	10	0	0	10	15	15	—	✓	✓
40	CA2402021424	2/2/2024	14:24:02	14:26:33	0:02:31	3	2/5/2024	✓	—	2	4	4	10	23	22	—	✓	—
41	CA2402021427	2/2/2024	14:27:35	14:30:14	0:02:39	3	2/5/2024	✓	—	4	4	2	10	20	20	—	✓	—
42	CA2402021431	2/2/2024	14:31:05	14:34:25	0:03:20	4	2/6/2024	✓	—	5	5	5	15	25	25	—	✓	✓
43	CA2402051220	5/2/2024	12:20:51	12:23:21	0:02:30	2	5/4/2024	—	✓	3	4	3	10	23	22	—	✓	—
44	CA2402051225	5/2/2024	12:25:39	12:27:54	0:02:15	3	5/5/2024	✓	—	5	2	3	10	24	24	—	✓	✓
45	CA2402051229	5/2/2024	12:29:50	12:32:27	0:02:37	2	5/4/2024	✓	—	6	2	2	10	16	16	—	✓	✓
46	CA2402051233	5/2/2024	12:33:52	12:36:48	0:02:56	3	5/5/2024	—	✓	15	0	0	15	18	18	—	✓	✓
47	CA2402051239	5/2/2024	12:39:54	12:42:59	0:03:05	4	5/6/2024	—	✓	0	15	0	15	19	19	—	✓	✓
48	CA2402051244	5/2/2024	12:44:06	12:47:56	0:03:50	4	5/6/2024	—	✓	0	0	15	15	18	17	—	✓	✓
49	CA2402061140	6/2/2024	11:40:38	11:43:35	0:02:57	3	6/5/2024	—	✓	15	0	0	15	19	19	—	✓	—
50	CA2402061145	6/2/2024	11:45:20	11:48:24	0:03:04	4	6/6/2024	—	✓	0	15	0	15	21	21	—	✓	—
51	CA2402061150	6/2/2024	11:50:34	11:54:26	0:03:52	4	6/6/2024	—	✓	0	0	15	15	22	21	—	✓	✓
52	CA2402061155	6/2/2024	11:55:46	11:58:17	0:02:31	2	6/4/2024	✓	—	3	4	3	10	17	16	—	✓	—
53	CA2402061200	6/2/2024	12:00:23	12:02:39	0:02:16	3	6/5/2024	✓	—	5	2	3	10	16	15	—	✓	✓
54	CA2402061203	6/2/2024	12:03:43	12:06:21	0:02:38	4	6/6/2024	—	✓	6	2	2	10	15	15	—	✓	—
55	CA2402071230	7/2/2024	12:30:22	12:34:13	0:03:51	4	7/6/2024	—	✓	0	0	15	15	19	19	—	✓	✓
56	CA2402071236	7/2/2024	12:36:22	12:39:27	0:03:05	4	7/6/2024	—	✓	0	15	0	15	20	20	—	✓	✓
57	CA2402071242	7/2/2024	12:42:19	12:45:15	0:02:56	3	7/5/2024	—	✓	15	0	0	15	22	22	—	✓	—

58	CA2402071246	7/2/2024	12:46:44	12:49:22	0:02:38	2	7/4/2024	✓	—	6	2	2	10	21	20	—	—	✓
59	CA2402071250	7/2/2024	12:50:19	12:52:34	0:02:15	3	7/5/2024	✓	—	5	2	3	10	18	17	—	—	✓
60	CA2402071254	7/2/2024	12:54:19	12:56:49	0:02:30	2	7/4/2024	✓	—	3	4	3	10	19	17	✓	—	✓

## **ANEXO XX. Manual de usuario**

A continuación, presenta el manual de usuario para el sistema de envasado de líquidos implementado dentro de la línea de simulación de procesos industriales de la CAPEIPI. El manual presenta tres enfoques, el primero hace referencia a los requisitos previos que se deben de cumplir para poder operar el sistema, el segundo hace referencia a la etapa de manejo y operación del sistema de envasado de líquidos en conjunto con el registro para supervisar la trazabilidad. El tercer enfoque hace referencia a ciertos aspectos a considerar para el mantenimiento del módulo de envasado.

### **1. Requerimientos previos.**

Como requisitos previos se tiene la instalación y configuración del software requerido para operar el registro de trazabilidad, para esto se hace uso de dos programas correspondientes al servidor de datos KEPServerEX y a Excel, para cada programa se detalla los requerimientos a seguir.

#### **Servidor de datos KEPServerEX**

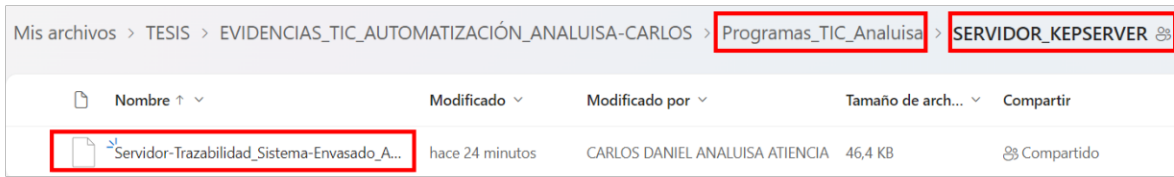
Este software es el encargado de posibilitar la transferencia de datos entre las variables del PLC y las celdas de una determinada hoja de Excel. En caso de no contar con el programa instalado en el computador, se tiene la opción de descargar el software desde la página oficial de Kepware, accediendo al siguiente enlace: <https://www.kepserverexopc.com/descarga/>

Kepware ofrece una versión demo de KEPServerEX, esta versión tiene un tiempo límite de uso, el cual es de 2 horas, una vez transcurrido este tiempo, es necesario cerrar el programa y volverlo a abrir para poder trabajar nuevamente por otras dos horas.

Una vez que el programa ha sido instalado de manera correcta, se procede a cargar el archivo correspondiente al servidor de datos generado en el desarrollo del presente Trabajo de Integración curricular, donde ya se encuentran realizadas las configuraciones pertinentes para la recepción de datos por parte del PLC. El archivo del servidor de datos se encuentra dentro de la siguiente carpeta compartida:

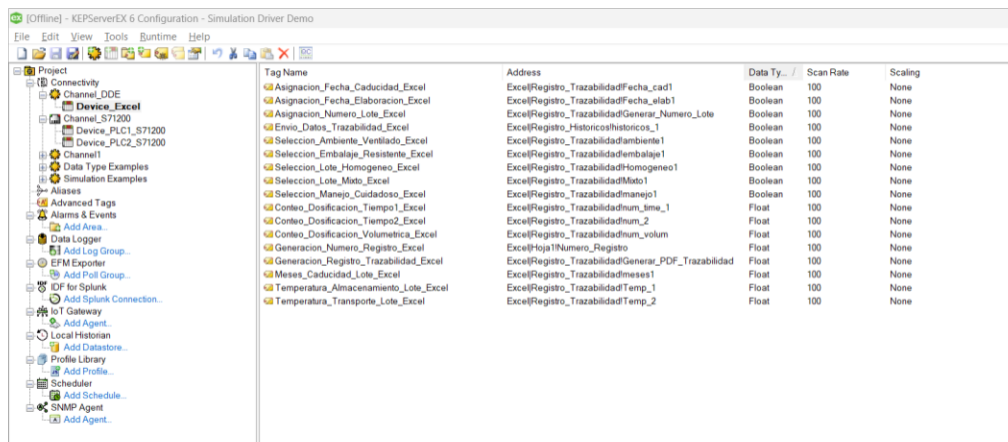
#### **[EVIDENCIAS TIC AUTOMATIZACIÓN ANALUISA-CARLOS](#)**

Dentro de la carpeta compartida se accede a la carpeta Programas\_TIC\_Analuisa, dentro de la cual se encuentra la carpeta SERVIDOR\_KEPSERVER, dentro de esta carpeta se encuentra el archivo del servidor de datos que deberá ser cargado dentro del software KEPServerEX.



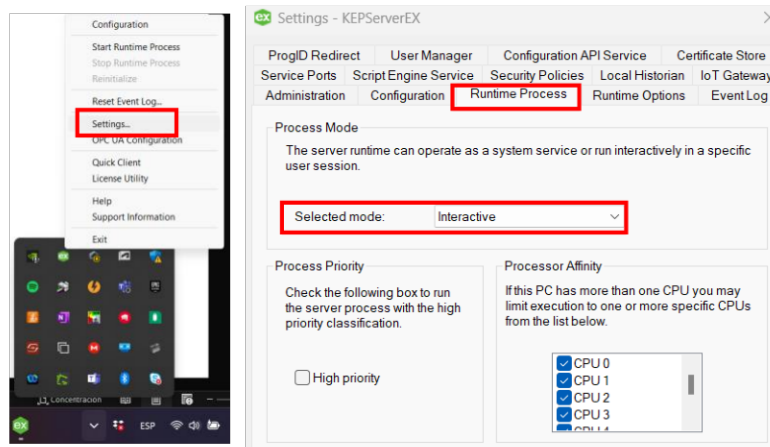
**Figura 5.76.** Localización del archivo del servidor de datos.

Una vez cargado el archivo se debe de tener la siguiente visualización dentro de KEPServerEX. Se recomienda no realizar modificaciones, puesto que podría llegar a afectar la comunicación, esto debido a que las variables ya han sido establecidas y configuradas previamente.



**Figura 5.77.** Vista general de KEPServerEX con el archivo del servidor de datos creado.

Posteriormente, dentro de la configuración de KEPServerEX se deberá de seleccionar el modo interactivo, localizado dentro del apartado Runtime Process, como se muestra a continuación.



**Figura 5.78.** Selección del modo interactivo.



Además, se deber verificar que dentro de las propiedades del proyecto se encuentre habilitada la conexión DDE con el servidor, como se muestra a continuación.

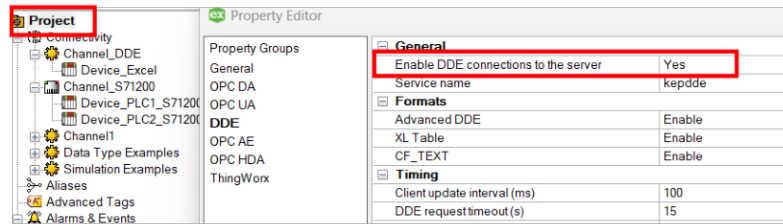


Figura 5.79. Verificación de la conexión DDE.

Una vez realizado esto, se procede a configurar el puerto Ethernet de la computadora. Dentro de la configuración de la red e internet en la opción Ethernet se debe de asignar una dirección IP que este en red con los PLCs y la pantalla táctil, para esto se puede hacer uso de la siguiente dirección IP: 192.168.0.146 con máscara de 255.255.255.0.

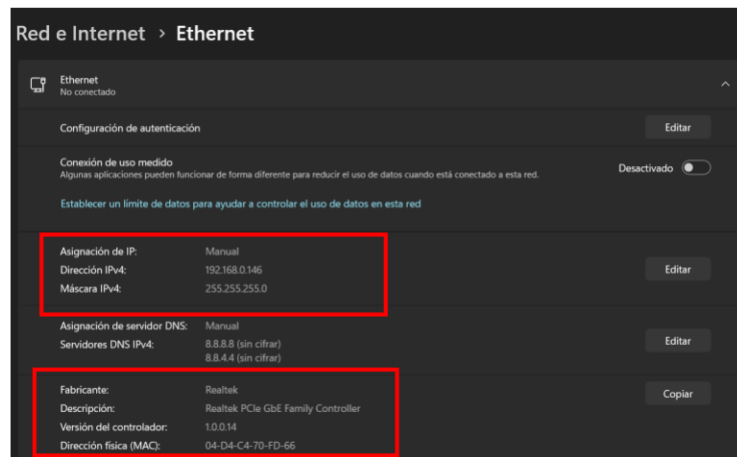


Figura 5.80. Configuración del puerto Ethernet de la computadora.

Posteriormente, dentro de las propiedades del Channel\_S71200 en el apartado de comunicación Ethernet se deberá de seleccionar el adaptador de red con la dirección IP asignada en el paso anterior.

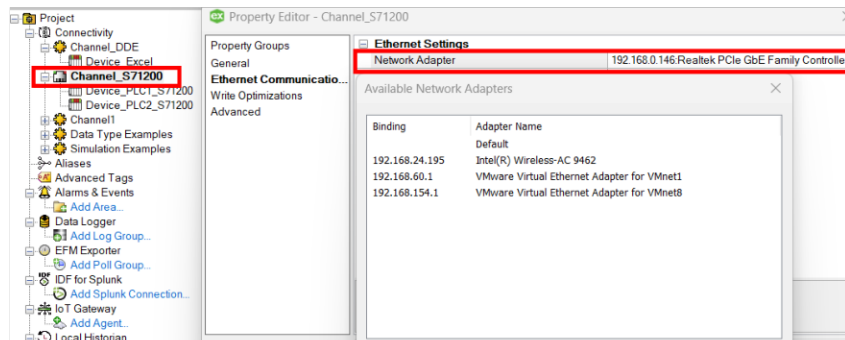
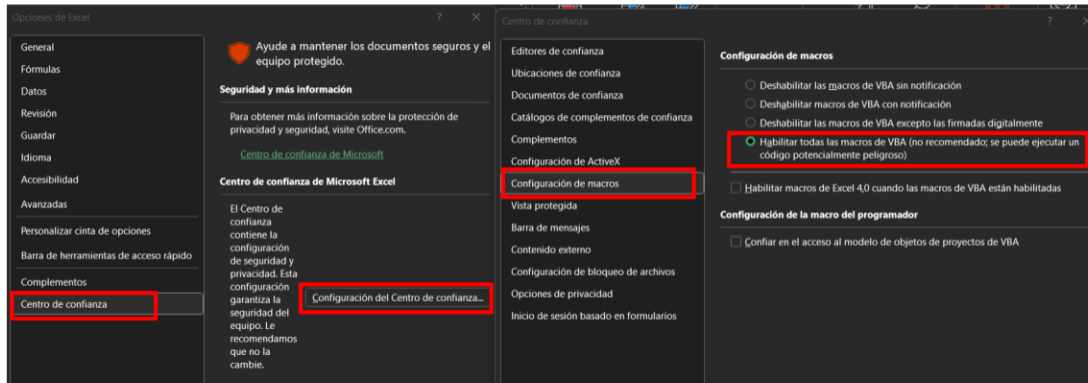


Figura 5.81. Selección del adaptador de red para el Channel\_S71200.

## Excel

Para poder emplear el registro de trazabilidad inicialmente se deberá de habilitar las macros en Excel, como se muestra a continuación.



**Figura 5.82.** Habilitación de macros en Excel.

Una vez realizado esto se procede a descargar el archivo del registro de trazabilidad de la carpeta compartida.

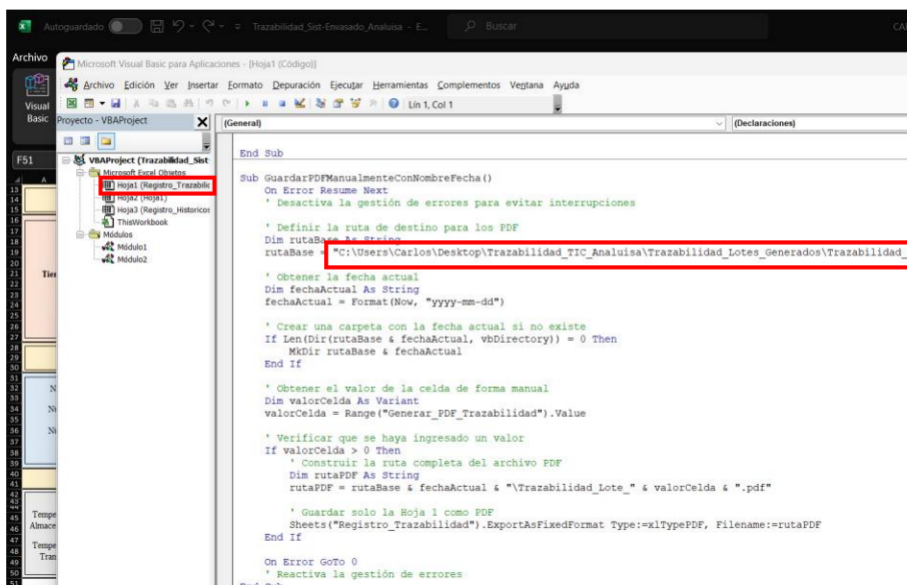


**Figura 5.83.** Archivo para el registro de trazabilidad.

Posteriormente se debe de modificar la ruta en cual se irán almacenando las guías de trazabilidad para cada lote producido. Para esto, dentro de Excel se debe de ir al apartado Programador, dentro del cual se debe de seleccionar la opción Visual Basic, esto permitirá acceder al código de programación de las macros.

Posteriormente se debe de seleccionar la opción de Hoja1(Registro\_Trazabilidad), dentro de la cual se debe de buscar la línea de código que se muestra en la siguiente figura, esa línea de código deberá de ser remplazada por la nueva ruta en la cual se irán almacenando las guías de trazabilidad. Una vez realizado esto, se debe de guardar la macro y cerrar la ventana de Visual Basic.

Se recomienda no realizar modificaciones adicionales dentro del código programación de las macros, puesto que esto podría ocasionar que el archivo presente fallas o incluso se vuelva obsoleto.

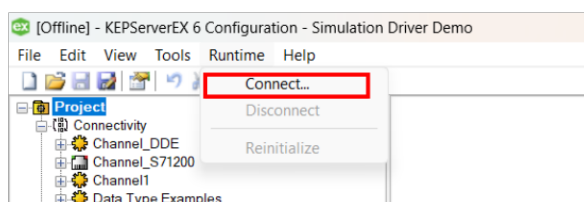


**Figura 5.84.** Cambio de ruta de destino para los PDF de las guías de trazabilidad.

## 2. Manejo y operación del sistema de envasado de líquidos.

Una vez realizadas las configuraciones previas, se debe de conectar el computador mediante cable Ethernet al puerto 4 del switch. Posteriormente se enciende el compresor de aire y se procede a conectar los cables de alimentación de los variadores de velocidad, además de encender la regleta para energizar el módulo de envasado.

El archivo de Excel se deberá de encontrar abierto, para posteriormente conectar el servidor de datos como se muestra a continuación.



**Figura 5.85.** Conexión del servidor de datos.

Una vez que el servidor ha sido conectado se podrá monitorear el estado de conexión tanto del canal S71200 como del canal DDE, como se muestra a continuación.

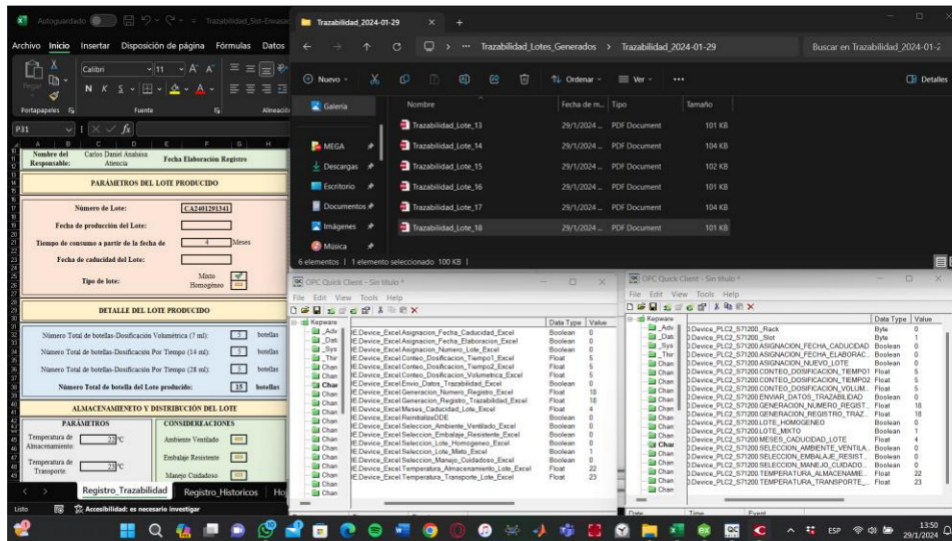


Figura 5.86. Conexión establecida entre Excel y las variables del PLC.

Item ID	Data Type	Value	Timestamp	Quality	Update Count
Channel_DDE Device_Excel Asignacion_Fecha_Caducidad_Excel	Boolean	0	13:47:08.237	Good	5
Channel_DDE Device_Excel Asignacion_Fecha_Elaboracion_Excel	Boolean	0	13:47:08.237	Good	5
Channel_DDE Device_Excel Asignacion_Numero_Lote_Excel	Boolean	0	13:47:08.237	Good	4
Channel_DDE Device_Excel Contorno_Dosificacion_Tiempo1_Excel	Float	5	13:45:40.235	Good	2
Channel_DDE Device_Excel Contorno_Dosificacion_Tiempo2_Excel	Float	5	13:45:40.235	Good	2
Channel_DDE Device_Excel Contorno_Dosificacion_Volumetrica_Excel	Float	5	13:45:40.235	Good	4
Channel_DDE Device_Excel Envio_Datos_Trazabilidad_Excel	Boolean	0	13:36:46.207	Good	1
Channel_DDE Device_Excel Generacion_Registro_Trazabilidad_Excel	Float	18	13:46:24.246	Good	3
Channel_DDE Device_Excel Mensaje_Caducidad_Lote_Excel	Float	4	13:45:52.250	Good	4
Channel_DDE Device_Excel Homogeneidad	Boolean	0	13:36:46.218	Good	1
Channel_DDE Device_Excel Selección_Ambiente_Ventilado_Excel	Boolean	0	13:36:46.218	Good	1
Channel_DDE Device_Excel Selección_Emballaje_Resistente_Excel	Boolean	0	13:47:08.248	Good	5
Channel_DDE Device_Excel Selección_Lote_Homogeneo_Excel	Boolean	1	13:41:42.228	Good	3
Channel_DDE Device_Excel Selección_Lote_Mixto_Excel	Boolean	1	13:41:42.228	Good	3
Channel_DDE Device_Excel Selección_Manejo_Cuidadoso_Excel	Boolean	0	13:47:08.248	Good	5
Channel_DDE Device_Excel Temperatura_Almacenamiento_Lote_Excel	Float	22	13:45:53.243	Good	4
Channel_DDE Device_Excel Temperatura_Transporte_Lote_Excel	Float	23	13:45:57.233	Good	4

Figura 5.87. Estado de conexión del dispositivo asociado a Excel.

Item ID	Data Type	Value	Timestamp	Quality	Update Count
Channel_S71200 Device_PLC2_S71200_CurrentPDUSize	Word	240	13:36:59.663	Good	1
Channel_S71200 Device_PLC2_S71200_Rack	Byte	0	13:36:59.663	Good	1
Channel_S71200 Device_PLC2_S71200_Slot	Byte	1	13:36:59.663	Good	1
Channel_S71200 Device_PLC2_S71200 ASIGNACION_FECHA_CADUCIDAD	Boolean	0	13:46:24.243	Good	5
Channel_S71200 Device_PLC2_S71200 ASIGNACION_FECHA_ELABORAC.	Boolean	0	13:46:24.243	Good	5
Channel_S71200 Device_PLC2_S71200 ASIGNACION_NUEVO_LOTE	Boolean	0	13:46:24.243	Good	4
Channel_S71200 Device_PLC2_S71200 CONTEO_DOSIFICACION_TIEMPO1	Float	5	13:45:38.249	Good	2
Channel_S71200 Device_PLC2_S71200 CONTEO_DOSIFICACION_VOLUM.	Float	5	13:45:38.249	Good	4
Channel_S71200 Device_PLC2_S71200 ENVIAR_DATOS_TRAZABILIDAD	Boolean	0	13:46:10.243	Good	5
Channel_S71200 Device_PLC2_S71200 GENERACION_NUMERO_REGIST.	Float	18	13:46:09.244	Good	3
Channel_S71200 Device_PLC2_S71200 GENERACION_REGISTRO_TRAZ.	Float	18	13:46:24.243	Good	3
Channel_S71200 Device_PLC2_S71200 LOTE_HOMOGENEO	Boolean	0	13:41:40.249	Good	3
Channel_S71200 Device_PLC2_S71200 LOTE_MIXTO	Boolean	1	13:41:40.249	Good	3
Channel_S71200 Device_PLC2_S71200 MESES_CADUCIDAD_LOTE	Float	4	13:45:50.245	Good	4
Channel_S71200 Device_PLC2_S71200 SELECCION_AMBIENTE_VENTILA.	Boolean	0	13:36:59.663	Good	1
Channel_S71200 Device_PLC2_S71200 SELECCION_EMBALAJE_RESIST.	Boolean	0	13:46:24.243	Good	5
Channel_S71200 Device_PLC2_S71200 SELECCION_MANEJO_CUIDADO.	Boolean	0	13:46:24.243	Good	5
Channel_S71200 Device_PLC2_S71200 TEMPERATURA_ALMACENAM.	Float	22	13:45:53.246	Good	4
Channel_S71200 Device_PLC2_S71200 TEMPERATURA_TRANSPORTE.	Float	23	13:45:56.245	Good	4

Figura 5.88. Estado de conexión del dispositivo asociado al PLC 2.

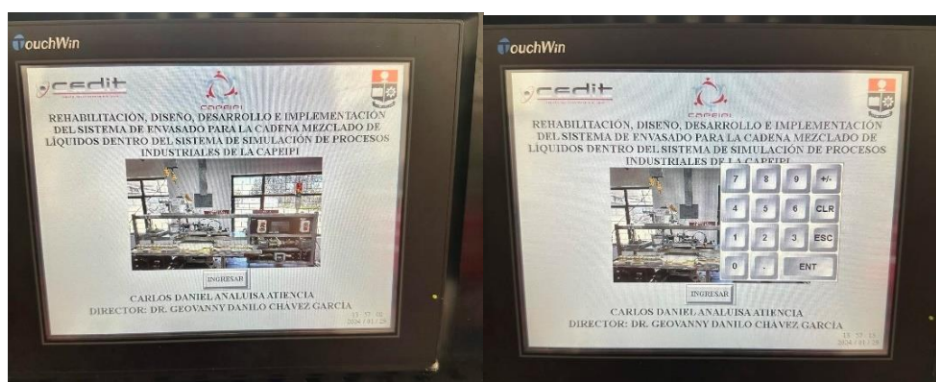
Una vez que se ha verificado la correcta conexión entre los tags de Excel y los tags del PLC 2 se procede a iniciar con el proceso de producción de un nuevo lote.

Inicialmente se deberán de posicionar los envases vacíos en la banda transportadora como se muestra a continuación.



**Figura 5.89.** Posicionamiento de los envases vacíos en la banda transportadora.

Posteriormente, se debe de ingresar a la interfaz HMI la clave de ingreso es: **270199**.



**Figura 5.90.** Venta de ingreso al proceso.

Una vez que la clave ha sido ingresada de manera correcta aparecerá la venta general de proceso donde se tiene la opción de visualizar el estado del tanque de almacenamiento a su vez ingresar a la dosificación y envasado. A su vez, mediante el uso del selector físico se podrá seleccionar el tipo de mando a emplear para comandar la ejecución del proceso, donde se tiene el mando local (pulsante de marcha y paro físicos) y el mando remoto (pulsante de marcha y paro del HMI).



**Figura 5.91.** Venta general del proceso.

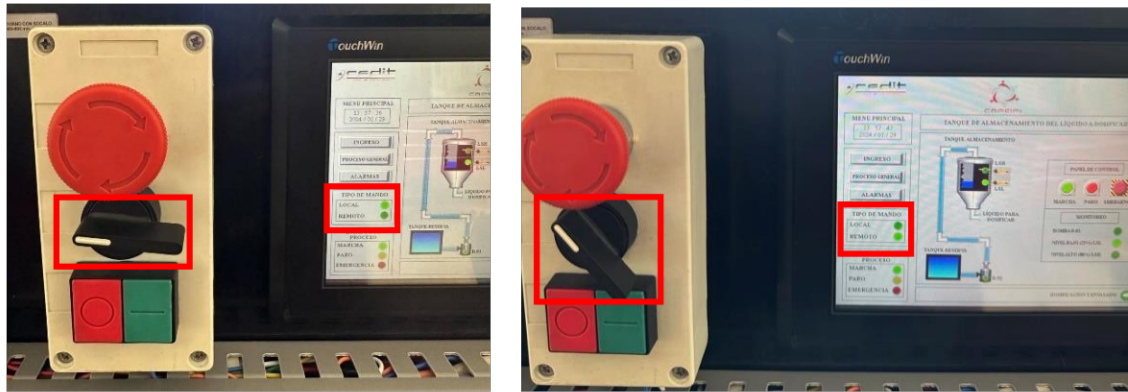


Figura 5.92. Selección del mando local/remoto.

### Tanque de almacenamiento

Dentro del tanque de almacenamiento se tiene la siguiente ventana dentro de la cual se puede monitorear el estado del nivel del tanque y en función de este realizar su llenado. Para llenar el tanque únicamente se requiere accionar el pulsante de marcha dentro de esta ventana.



Figura 5.93. Llenado del tanque de almacenamiento.



Figura 5.94. Tanque de almacenamiento lleno.

## Dosificación y envasado

Al ingresar a la opción de dosificación y envasado, inicialmente se tiene la opción de iniciar un nuevo lote de producción, donde se especifica el número de envases totales para el lote que se va a producir. Posteriormente se tiene la opción de seleccionar el tipo de dosificación, ya sea volumétrica (7 mL) o en función del tiempo (14 mL y 28 mL). Dentro de cada tipo de dosificación se puede especificar el número de envases que se llenarán, pudiendo estos ser igual al total de envases del lote o a su vez menor. En caso de que el número sea menor aparecerá la opción de continuar la producción de lote hasta completar el total de envases establecidos para el lote.



Figura 5.95. Inicio de producción de un nuevo lote.

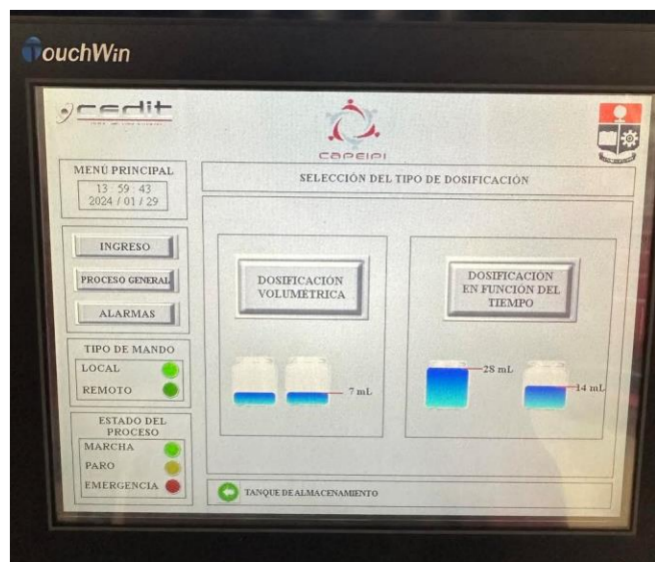
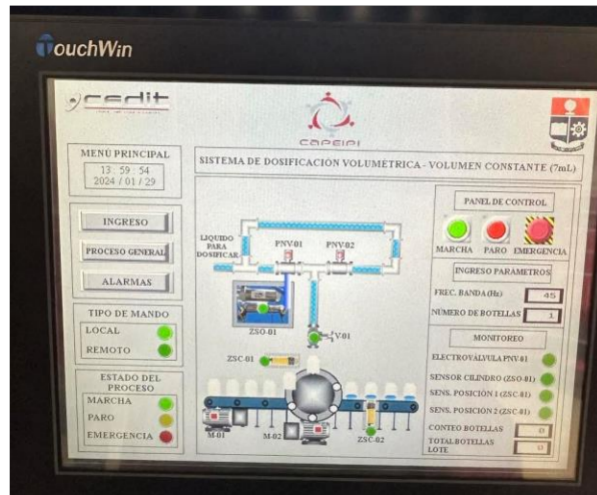


Figura 5.96. Selección del tipo de dosificación.



**Figura 5.97.** Dosificación volumétrica (7 mL).



**Figura 5.98.** Dosificación en función del tiempo (14 y 28 mL).

Los tipos de dosificación se ilustran en la siguiente figura donde se aprecia de izquierda a derecha los envases dosificados con 28, 14 y 7 mL respectivamente.



**Figura 5.99.** Dosificación de líquido en envases (28, 14 y 7 mL).



Una vez finalizada la producción del lote se tiene la ventana de resumen del lote de producción donde se especifica el número de envases llenados para cada tipo de dosificación, en función de esto se determina si se trata de un lote homogéneo o mixto. Posteriormente se realiza el ingreso de los parámetros relacionados con la trazabilidad los cuales se irán almacenando en el registro de Excel. Posteriormente se tiene la opción de realizar el envío de los datos y mediante la finalización del registro de trazabilidad se genera el documento PDF de la guía de trazabilidad correspondiente al lote que ha sido producido.

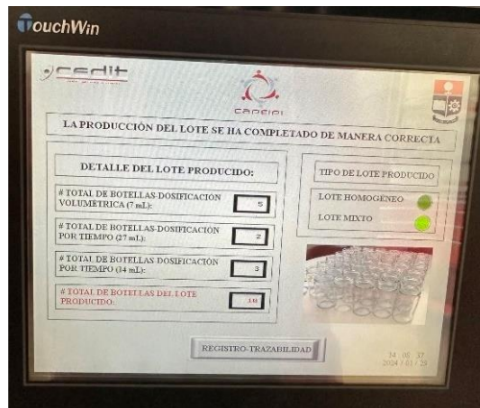


Figura 5.100. Detalle del lote producido.

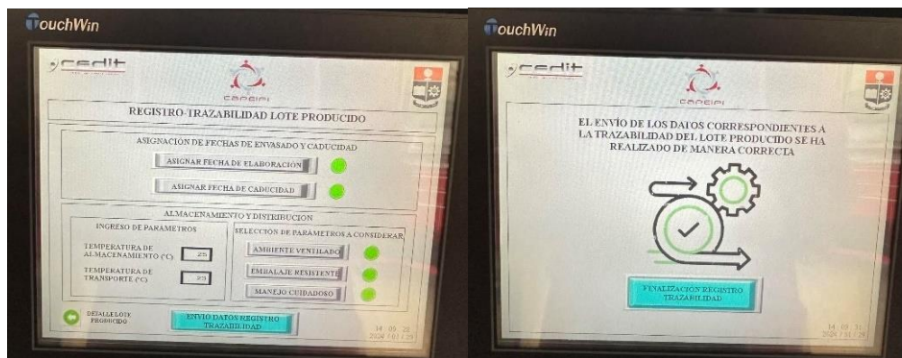


Figura 5.101. Registro y envío de los datos para el registro de trazabilidad.

Una vez finalizado se genera el archivo PDF, el cual se almacena dentro de la carpeta establecida como ruta de almacenamiento en la programación de la macro de la hoja1.

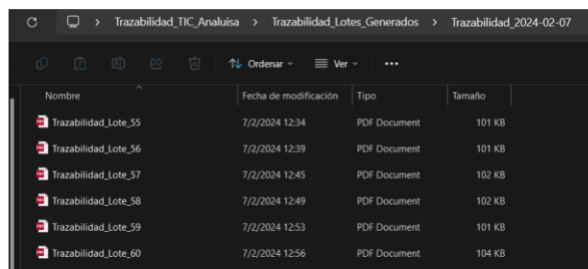


Figura 5.102. Almacenamiento del archivo PDF generado

Se presenta un ejemplo de una guía de trazabilidad generada.




  	
<b>REGISTRO PARA SUPERVISAR LA TRAZABILIDAD DEL SISTEMA DE ENVASADO PARA LA CADENA DE MEZCLADO DE LÍQUIDOS DENTRO DEL SISTEMA DE SIMULACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES DE LA CAPEIPI</b>	
<b>Nombre del Responsable:</b> Carlos Daniel Analuisa Atiencia	<b>Fecha Elaboración Registro:</b> 7/2/2024
<b>PARÁMETROS DEL LOTE PRODUCIDO</b>	
<b>Número de Lote:</b>	<input type="text" value="CA2402071254"/>
<b>Fecha de producción del Lote:</b>	<input type="text" value="7/2/2024"/>
<b>Tiempo de consumo a partir de la fecha de producción:</b>	<input type="text" value="2"/> Meses
<b>Fecha de caducidad del Lote:</b>	<input type="text" value="7/4/2024"/>
<b>Tipo de lote:</b>	Mixto <input checked="" type="checkbox"/> Homogéneo <input type="checkbox"/>
<b>DETALLE DEL LOTE PRODUCIDO</b>	
<b>Número Total de botellas-Dosificación Volumétrica (7 ml):</b>	<input type="text" value="3"/> botellas
<b>Número Total de botellas-Dosificación Por Tiempo (14 ml):</b>	<input type="text" value="4"/> botellas
<b>Número Total de botellas-Dosificación Por Tiempo (28 ml):</b>	<input type="text" value="3"/> botellas
<b>Número Total de botella del Lote producido:</b>	<input type="text" value="10"/> botellas
<b>ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DEL LOTE</b>	
<b>PARÁMETROS</b>	<b>CONSIDERACIONES</b>
Temperatura de Almacenamiento: <input type="text" value="19"/> °C	Ambiente Ventilado <input checked="" type="checkbox"/>
Temperatura de Transporte: <input type="text" value="17"/> °C	Embalaje Resistente <input type="checkbox"/>
	Manejo Cuidadoso <input checked="" type="checkbox"/>

Figura 5.103. Guía de trazabilidad generada.

### **3. Mantenimiento del módulo.**

Para realizar el mantenimiento del módulo de envasado de líquidos se debe de considerar los siguientes aspectos:

- Realizar inspecciones periódicas de todos los componentes del módulo, incluyendo la banda transportadora, disco giratorio, sensores de proximidad, PLCs, sistemas neumático e hidráulico, para detectar cualquier desgaste, daño o mal funcionamiento.
- Aplicar lubricantes adecuados según sea necesario a las partes móviles de la banda transportadora, sistemas neumático e hidráulico, para prolongar su vida útil.
- Verificar y calibrar regularmente los sensores de proximidad, tanto los fotoeléctricos como los capacitivos en el tanque de dosificación.
- Revisar las conexiones eléctricas de en los PLCs y otros componentes electrónicos para evitar problemas de conexión.
- Pruebas de funcionamiento: Realizar pruebas de funcionamiento periódicas para asegurarse de que todos los componentes del módulo estén operando de manera correcta.
- Realizar una limpieza periódica de los distintos equipos que componen el módulo de envasado.

## **ANEXO XXI. Plan de capacitación para el personal de la CAPEIPI**

### **1. Objetivo general**

- Instruir al personal de forma teórica y práctica para el correcto uso y mantenimiento del sistema de envasado de líquidos, implementado en la línea de simulación de procesos industriales de la CAPEIPI.

### **2. Objetivos específicos**

- Asegurar el cumplimiento de las normas de calidad de los productos mediante un adecuado manejo del sistema de envasado de líquidos.
- Mejorar la eficiencia en la operación del sistema a partir del desarrollo de habilidades prácticas por parte del personal asignado.
- Adquirir conocimientos específicos para realizar mantenimientos periódicos al sistema de envasado de líquido con la finalidad de evitar su deterioro y posibles afecciones al producto.

### **3. Alcance**

- El personal adquirirá un fundamento teórico acerca de los componentes y equipos que conforman la línea de simulación del proceso de envasado de líquido. De esta manera, tendrán la capacidad necesaria para comprender su modo de operación y se familiarizarán con el mismo.
- El personal recibirá charlas periódicas acerca del funcionamiento del sistema de envaso de líquido, adquiriendo así, las habilidades suficientes para operar de forma adecuada el sistema y evitar desperfectos que supongan un riesgo en la calidad del producto.
- El personal además de conocer el funcionamiento práctico del sistema tendrá el conocimiento teórico que le permitirá realizar cambios y/o mejoras en el mismo, de acuerdo a las necesidades que se presenten en un futuro.

### **4. Materiales y métodos**

- La capacitación comenzará con charlas explicativas acerca del funcionamiento del sistema de envasado y su respectivo componente teórico, mismo que abarcará temas como los componentes que conforman el sistema, sus características principales y sus funciones.
- Una vez que el personal cuente con el conocimiento teórico, se procederá a dar explicaciones prácticas, en donde el instructor mostrará los pasos a seguir junto

con las recomendaciones necesarias. En este punto, el instructor explicará cómo usar el sistema.

- Después de las explicaciones, el personal realizará prácticas bajo supervisión, donde podrá demostrar sus habilidades y conocimientos en la operación del sistema de envasado de líquido. De esta forma, el instructor puede verificar que el personal se encuentra totalmente capacitado y apto para operarlo.

## 5. Cronograma de actividades

**Tabla 5.28.** Cronograma de actividades

<b>Actividades</b>	<b>Sesión 1</b>	<b>Sesión 2</b>	<b>Sesión 3</b>	<b>Sesión 4</b>
Charlas informativas acerca del funcionamiento del sistema de envasado				
Conferencias sobre el fundamento teórico del sistema				
Exposición práctica por parte del instructor sobre el uso manual y remoto del sistema				
Prácticas experimentales por parte del personal capacitado				
Evaluación al personal acerca de los beneficios del curso de capacitación recomendaciones para su mejora continua				

## **6. Evaluación de resultados**

Se utilizarán diferentes métodos de evaluación hacia el personal capacitado, así como, encuestas de satisfacción acerca del curso impartido. De esta manera, se busca la mejora continua en ambas partes.

Las evaluaciones serán las siguientes:

- Evaluaciones teóricas
- Evaluaciones prácticas
- Formularios
- Encuestas de satisfacción