

# **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 PROCESO DE RECEPCIÓN Y LAVADO PARA LA CADENA  
DE PROCESAMIENTO DE PAPAS 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  
ELÉCTRICA Y AUTOMATIZACIÓN**

**ENRIQUEZ IZA JORGE ALEXANDER**

**jorge.enriquez03@epn.edu.ec**

**DIRECTOR: GEOVANNY DANILO CHÁVEZ GARCÍA**

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

**DMQ, abril 2024**

## **CERTIFICACIONES**

Yo, JORGE ALEXANDER ENRIQUEZ IZA 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.

---

**JORGE ALEXANDER ENRÍQUEZ IZA**

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por JORGE ALEXANDER ENRIQUEZ IZA, bajo mi supervisión.

---

**GEOVANNY DANILO CHÁVEZ GARCÍA**  
**DIRECTOR**

## **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.

JORGE ALEXANDER ENRIQUEZ IZA

GEOVANNY DANILO CHÁVEZ GARCÍA

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a todos mis familiares y amigos que me han apoyado en el transcurso de mi vida académica. Sobre todo, a mis padres por apoyarme e impulsarme a cumplir mis metas.

## **AGRADECIMIENTO**

Quisiera expresar mi más profundo agradecimiento a todos los profesores que me han acompañado a lo largo de mi trayectoria académica, cuya sabiduría, paciencia y dedicación han sido pilares fundamentales en mi formación.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES .....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	II
DEDICATORIA .....	III
AGRADECIMIENTO .....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
RESUMEN .....	VII
ABSTRACT .....	VIII
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO .....	1
1.1 Objetivo general .....	2
1.2 Objetivos específicos .....	2
1.3 Alcance.....	3
1.4 Marco teórico.....	4
Industria Agroalimentaria en el Ecuador.....	4
Procesamiento de la Papa .....	5
Control de Procesos Industriales .....	7
Automatización industrial .....	7
Interfaz Hombre máquina (HMI).....	9
Pirámide de la automatización .....	11
Sistema de Supervisión, Control y Adquisición de datos (SCADA).....	13
2 METODOLOGÍA.....	15
2.1 Revisión del estado de la línea de simulación de procesos .....	15
2.2 Diseño del sistema de control industrial .....	18
Arquitectura del sistema de control Industrial.....	19
Dimensionamiento y diseño de estructuras mecánicas .....	20
Selección de sensores y actuadores .....	22
Formulación y Diseño del proceso de recepción y lavado .....	28
Diseño de la interfaz Hombre máquina.....	31
Diseño del sistema SCADA.....	35
Diseño guía de trazabilidad.....	37
2.3 Implementación .....	38
Conexión de componentes.....	38
Programación de PLCs .....	39
Programación de Pantalla táctil .....	40
Configuración OPC server .....	41

3	RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	44
3.1	Resultados.....	44
	Estado final del los módulos.....	44
	Ingreso a la interfaz HMI .....	44
	Puesta en marcha y prueba de funcionamiento .....	46
	Condiciones de Emergencia .....	54
3.2	Conclusiones.....	56
3.3	Recomendaciones .....	58
4	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	58
5	ANEXOS .....	62
5.1	Presentación y descripción de los módulos .....	75
5.2	Descripción de las partes que componen el sistema de control.....	78
5.3	Requerimientos para la puesta en marcha.....	80
5.4	Uso de la interfaz hombre máquina.....	82
5.5	Uso y operación del módulo .....	90

## RESUMEN

Dentro de la CAPEIPI se encuentra el Centro de desarrollo e innovación tecnológica CEDIT; un laboratorio en donde los socios de la CAPEIPI pueden recibir asesoría técnica en el ámbito de automatización y control industrial. Dentro de los elementos que posee el CEDIT se encuentra la línea de simulación de procesos industriales el cual es un conjunto de componentes mecánicos, eléctricos, electrónicos y neumáticos con el cual es posible simular diferentes tipos de procesos industriales.

Dado a que el CEDIT se ha mantenido inactivo desde inicios del 2020 debido a la crisis sanitaria producida por el Covid-19 parte de los equipos y herramientas; incluido el sistema de simulación de procesos; se han deteriorado por falta de uso y mantenimiento perdiendo así funcionalidad. Es por ello que en este trabajo se tratará de rehabilitar la línea de simulación de procesos, con los elementos disponibles en el laboratorio que aún se mantengan funcionales, mediante la implementación de un sistema de procesamiento de papas, específicamente el proceso de recepción y lavado.

Dentro de la rehabilitación de la línea de simulación de procesos se incluirá la implementación de un sistema SCADA que permita el monitoreo y control de los procesos asignados mediante el uso una interfaz hombre máquina HMI, así como la integración de los procesos de recepción y lavado a través de estaciones remotas que entregan sus datos a una unidad terminal maestra, la cual agrupa la información recibida, para almacenarla en una base de datos y también generar una guía de trazabilidad de los productos procesados.

**PALABRAS CLAVE:** Rehabilitación, SCADA, HMI, Trazabilidad.



## **ABSTRACT**

Within CAPEIPI, there is the Center for Development and Technology Innovation CEDIT; which is a laboratory where CAPEIPI partners could receive technical advice in the field of automation and industrial control. Among the elements that CEDIT possesses there is the industrial process simulation line, which is a set of mechanical, electrical, electronic, and pneumatic components with which it is possible to simulate different types of industrial processes.

Given the fact that CEDIT has been inactive since the beginning of 2020 due to the health crisis caused by Covid-19, part of the equipment and tools, including the process simulation line, have deteriorated due to lack of use and maintenance, thus losing functionality. For this reason, this work will try to rehabilitate the process simulation line with the elements available in the laboratory that are still functional, by implementing a potato processing system specifically for the reception and washing process.

The rehabilitation of the process simulation line will include the implementation of a SCADA system that will allow monitoring and control of the assigned processes using a Human Machine Interface HMI, as well as the integration of the reception and washing processes through remote stations that deliver their data to a master terminal unit, which groups the received data to generate a data base and a traceability guide for the processed products.

**KEYWORDS:** Rehabilitation, SCADA, HMI, Traceability.

# 1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

La Cámara de la Pequeña y Mediana Empresa de Pichincha (CAPEIPI) es una organización conformada por varios empresarios y emprendedores que tiene como fin fortalecer y promover la unidad de los empresarios. Para lograr esto la CAPEIPI ofrece servicios de asesoría en distintos ámbitos (legal, administrativo, contable, técnico, entre otros) [1].

En el 2016 el Ministerio de Industrias y Productividad MIPRO y la CAPEIPI inauguraron el Centro de Diseño Industrial e Innovación Tecnológica CEDIT como resultado de un convenio de cooperación interinstitucional establecido dentro del programa “Emprendamos Non-Project” de la cooperación japonesa. Dentro de los elementos con los que cuenta el CEDIT se encuentra la línea de simulación de procesos conformada por un sistema de tránsito y envasado de líquidos, así como una línea de transporte, clasificación y almacenamiento de objetos [2]. La línea de simulación de procesos es modular es decir que esta dividida en varias estaciones, cada una cuenta con controladores, sensores y actuadores, de esta manera la línea de simulación permite segmentar de forma sencilla un proceso industrial en varias etapas o subprocesos.

Mediante una la línea de simulación de procesos es posible realizar el modelado, diseño y planificación de procesos, lo cual permite evaluar el desempeño de diferentes modelos y diseños antes de construir la instalación industrial. Además, la línea de simulación puede ayudar a los operadores y personal de mantenimiento a familiarizarse con la ejecución y control del proceso de manera segura y controlada. [3]. Dadas estas utilidades, la línea de simulación constituye una herramienta valiosa que puede servir de ayuda a los afiliados o clientes externos de la CAPEIPI que se encuentren interesados o en la necesidad de desarrollar, evaluar e implementar proyectos de automatización y control de procesos en sus respectivas empresas.

Sin embargo, debido a la crisis sanitaria y posterior crisis económica que produjo el Covid-19, el CEDIT cesó sus operaciones a inicios del 2020. El abandono y descuido de las instalaciones ocasionaron que cierta parte de las herramientas, instrumentos y equipos disponibles en el laboratorio perdieran funcionalidad a tal grado de que la línea de simulación de procesos no pueda ser utilizada.

En 2023 las autoridades de la CAPEIPI realizaron un convenio con la Escuela Politécnica Nacional para que por medio de estudiantes y profesores se ayude a restaurar el CEDIT con el fin de que pueda reanudar con los servicios que ofrecía a los socios o clientes externos de la CAPEIPI.

Bajo este contexto, este trabajo se encargará de desarrollar la restauración de una parte de la línea de simulación de procesos para ello se plantea el propósito de realizar una inspección, ajuste y corrección de la línea de simulación para posteriormente implementar el diseño de un sistema de control industrial que permita la simulación del control y supervisión del proceso de recepción y lavado como parte de una cadena de procesamiento de papas. Para el diseño e implementación de la recepción y lavado de la papa se ocuparán dos módulos de la línea de simulación, uno por cada proceso.

El sistema de control industrial implementado incluye el desarrollo de una interfaz hombre-máquina por cada módulo que permita la visualización y control del proceso [4], así como el ingreso de datos. Adicionalmente, se añadirá un sistema SCADA que por medio de una red industrial comunicará ambos módulos de forma que la información se centralice en una estación maestra la cual mediante una interfaz [5] desarrollada en Excel permitirá que el supervisor tenga la capacidad de monitorear los datos del proceso en tiempo real, y recopilar la información de manera que se pueda generar una guía de trazabilidad orientada a mejorar la optimización de recursos así como la calidad y seguridad de los productos generados en la cadena de procesamiento de la papa [6].

## **1.1 Objetivo general**

Rehabilitar la línea de simulación de procesos de la CAPEIPI con los elementos disponibles en el CEDIT mediante el diseño e implementación de un sistema de control industrial que abarque un sistema SCADA para las estaciones de recepción y lavado dentro de la cadena de procesamiento de papas.

## **1.2 Objetivos específicos**

Los objetivos específicos de este trabajo se enumeran a continuación

1. Realizar una búsqueda bibliográfica referente a sistemas industriales, control de procesos y redes industriales.
2. Revisar el estado de la línea de simulación de procesos de la CAPEIPI e identificar los elementos no funcionales.
3. Realizar la programación de los PLCs para el control de los subprocesos diseñados, así como realizar la configuración respectiva para establecer la comunicación entre ambas estaciones.
4. Diseñar e implementar las interfaces gráficas de operador para cada módulo en base a la guía GEDIS.

5. Comunicar los módulos de trabajo mediante una red industrial con el fin de centralizar la información de cada módulo de manera que sea posible visualizar y registrar los datos del proceso en una estación de supervisión remota y generar una guía de trazabilidad del producto procesado.
6. Evaluar el sistema de control implementado para verificar si la ejecución del proceso cumple con las condiciones de operación establecidas y si la comunicación entre las estaciones de proceso y la estación remota es eficaz.

### **1.3 Alcance**

#### **A. Fase teórica**

Se realizará una investigación y revisión bibliográfica acerca de la información necesaria para el desarrollo de un sistema de control Industrial que permita también la incorporación de un sistema SCADA con el fin de desarrollar una guía de trazabilidad. También se investigará acerca de la situación actual de la industria alimentaria a nivel local y las especificaciones que se deben tomar en cuenta en el procesamiento de la papa.

Finalmente, se realizará una búsqueda y revisión sobre los manuales de usuario y hojas de datos del hardware y software que se utilizará para llevar a cabo la rehabilitación de los módulos asignados.

#### **B. Fase de diseño**

Se realizará el diseño del sistema de control industrial y sistema SCADA para la simulación del proceso de recepción y lavado. Se realizará la arquitectura del sistema de control para identificar los elementos necesarios en el desarrollo de un sistema SCADA. Se realizará la selección de sensores y actuadores, así como el dimensionamiento de infraestructura mecánica. Se Formulará las condiciones de operación para el proceso de recepción y lavado de papas, así como las actividades a desarrollarse en cada proceso.

Se realizará el diseño la interfaz hombre máquina definiendo aspectos como la arquitectura, distribución, navegación y colores conforme a la guía GEDIS.

Se definirá la interfaz, protocolo y parámetros de comunicación de la red industrial del sistema SCADA que comunicará los módulos de recepción y lavado con una estación remota de supervisión, adquisición de datos y trazabilidad. En base a la información

adquiridos por el sistema SCADA se definirá los datos que formaran parte de la guía de trazabilidad.

### **C. Fase de implementación**

Se realizará la conexión de los componentes que conforman el sistema SCADA, las conexiones realizadas se detallarán en planos eléctricos y/o neumáticos. Se realizará la programación de los PLCs conforme al planteamiento de las actividades a desarrollar durante la ejecución del proceso y condiciones de operación definidas en el diseño.

Se desarrollará las distintas pantallas del HMI acorde a las especificaciones definidas en el diseño y ejecutarlas sobre las pantallas táctiles de cada módulo.

Se realizará la configuración necesaria en los módulos y estación de supervisión de forma que se enlace los datos del proceso de recepción y lavado con un archivo Excel que se ejecuta dentro de la estación de supervisión y que servirá como interfaz de adquisición de datos.

### **D. Fase de validación**

Se realizará la puesta en marcha de los módulos rehabilitados y se ejecutará el procesamiento de un lote de papas que cumpla con el proceso de recepción y lavado y se verificará si se cumple las condiciones de operación establecidas.

Se generará la base de datos y plantillas de registro que recopila la información de todos productos procesados y registrados en los módulos de lavado y recepción.

## **1.4 Marco teórico**

### **Industria Agroalimentaria en el Ecuador**

La industria agrícola y alimentaria son dos sectores productivos que presentan gran impacto dentro de la economía ecuatoriana puesto que desde inicios de la industrialización en el Ecuador han representado una parte significativa en el PIB [7], [8]. En el 2021, el total de ventas del sector de alimentos y bebidas representó el 42.8% de los ingresos generados en el país [9]. Mientras que en el 2022 las ventas del sector agroalimentario superaron los 29 mil millones de dólares [10].

La industria de alimentos se encarga del procesamiento de productos alimenticios tomando como materia prima productos de origen vegetal o animal que se producen en explotaciones agrarias, ganadera o pesqueras [11]. El procesamiento de alimentos permite mejorar calidad de los productos alimenticios mediante la detección y eliminación de

posibles patógenos o sustancias químicas que incidan de manera negativa en la salud de los consumidores [12].

Mediante normativas como el Reglamento de Registro y Control Sanitario de Alimentos Procesados [13] o el Reglamento de Buenas Prácticas para Alimentos Procesados [14] se busca que la industria de alimentos en el Ecuador se vea en la obligación de implementar procedimientos de control en sus procesos de producción que garanticen productos alimenticios seguros y aptos para el consumo de la ciudadanía.

A pesar la normativa existente se puede encontrar casos que ponen en evidencia la falta de rigurosidad en la aplicación de los reglamentos tanto por las agencias reguladoras nacionales como por las mismas empresas alimentarias. Como ejemplo de ello, a inicios del 2024 un estudio de la FDA determino concentraciones de plomo fuera de los límites permitidos en productos de origen ecuatoriano [15]. A la luz de estos últimos acontecimientos es propicio considerar que el proceso de producción de alimentos, sean de origen animal o vegetal, trae consigo la posibilidad de contener elementos y compuestos que podrían ser considerados como contaminantes, y a ciertas concentraciones afectar a la salud de los consumidores. [15]. Frente a esta situación [15] propone que las industrias deben evaluar con mayor rigurosidad a sus proveedores y a las materias primas que utilizan.

Es así como se considera que este tipo de situaciones pueden ser evitadas si las industrias alimentarias implementan sistemas de control enfocados a la trazabilidad de los productos procesados ya que de esta manera se puede tener un registro sobre las características que va adquiriendo el producto desde su origen hasta que llega ser consumido descartando así los productos que durante el proceso presenten características fuera de las especificaciones de los reglamentos establecidos.

### **Procesamiento de la Papa**

La Papa es un producto agrícola milenario que forma parte de la dieta de la población ecuatoriana, siendo su entorno de producción las tierras altas andinas [16]. En el año 2022 la producción de papa fue de 0.3 millones de toneladas, cosechadas en una superficie total de 17.925 hectáreas dentro del territorio ecuatoriano [17]. La papa también se encuentra dentro de los productos que el país exporta, para el año 2018 registró un total de volumen exportado de 361,76 toneladas de las cuales, el 87,03% tuvo como destino Estados Unidos [16].

El consumo de la papa de forma mayoritaria se consume en fresco (sin procesar) pero a medida que pasa el tiempo cada vez se cultiva y cosecha más papa para satisfacer una demanda por parte de las industrias de los alimentos rápidos, aperitivos y alimento de fácil preparación. A nivel nacional el 80% de la producción se consumió en estado fresco mientras que el 20% restante se utiliza en la agroindustria [18].

A través del procesamiento de la papa se consigue una mejor conservación del producto, mientras que ausencia de tecnología aplicada para el tratamiento postcosecha de la papa, no se puede controlar la vida útil de este tubérculo ya que es un producto degradable que tiende a deteriorarse rápidamente de forma que puede causar pérdidas a los productores [19], con ello se evidencia que existe la necesidad del diseño e implementación de una cadena automatizada para el procesamiento de papas.

Dentro del procesamiento de papas se establecen técnicas y procedimientos aplicados al manejo postcosecha de la papa que permitan alargar la vida útil de esta materia prima [19] y/o transformarla en diferentes productos alimenticios. Las etapas del procesamiento de la papa luego de la cosecha pueden estar dadas por actividades como la selección y clasificación, limpieza, corte, almacenamiento entre otras. Todas estas etapas dependerán de que producto final se desea conseguir con la papa, las principales formas en que se consumen la papa procesada son en forma de frituras, puré, congelada o precocida [20]. Este trabajo considera que la cadena de procesamiento de papas recibirá el producto de algún proveedor y las procesará de manera que al final se tendrá como producto final papas cortadas y empaquetadas para ser consumidas en forma de bastones o chips fritos.

Dentro del procesamiento de papas se debe considerar características como: El tamaño, forma y peso de la papa que depende de la condición genética de la variedad, en la industria se busca papas relativamente grandes y uniformes [20]; la cantidad de agua o humedad que en un tubérculo fresco debe variar entre el 63% al 87% [19]; presencia de corazón hueco; la temperatura del entorno, en exposición de temperaturas altas superior a 15 °C se puede acelerar la producción de sustancias tóxicas en el tejido [20].

Dentro de los equipamientos que suelen ser utilizados en el procesamiento de papas se encuentran bandas transportadoras, aspersores, cilindros neumáticos, peladoras, rebanadoras, enfriadoras, empacadoras [19].

Respecto a la instrumentación en base a las condiciones que debe encontrarse la papa para evitar su descomposición se considera que es necesario, sensores de temperatura, higrómetros, sensores de peso. Para transporte del producto y operación de los

equipamientos también es necesario el uso de sensores de proximidad dependiendo del medio en el que se transporte las papa podrían ser ópticos, inductivos o capacitivos [21].

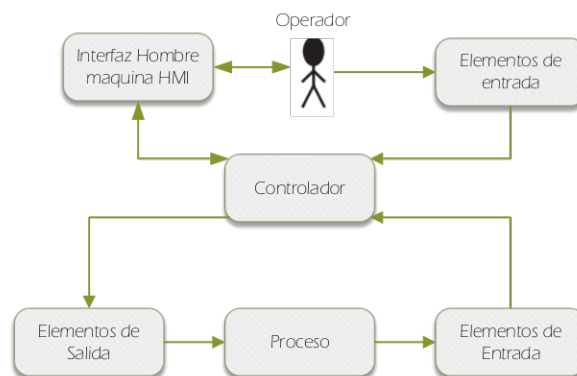
## Control de Procesos Industriales

El control de proceso industriales es un área de gran relevancia dentro de la ingeniería ya que tiene como objetivo supervisar y regular el funcionamiento de los sistemas de producción dentro de las industrias. El control de proceso involucra el diseño e implementación de sistemas de control que garanticen que los proceso operen de manera eficiente y confiable [22]. Esto se consigue mediante la medición de las variables involucradas en el proceso que se comparan con los valores que se desean obtener para así mediante acciones de control se pueda compensar la desviación. El control de proceso es de suma importancia ya que permite optimizar la producción, mejorar la calidad del producto, garantizar seguridad en la ejecución del proceso y minimizar las perdidas al aumentar la eficiencia de los recursos.

## Automatización industrial

Puede definirse como el reemplazo de la acción humana por mecanismos capaces de realizar ciclos completos de operaciones que se puedan repetir indefinidamente [23]. La automatización industrial, aprovecha la integración de componentes tecnológicos como sistemas electrónicos, eléctricos, mecánicos, neumáticos o hidráulicos en un proceso industrial para cumplir con el objetivo de sustituir el accionar humano en las tareas de producción.

Para la automatización de un proceso se requiere la incorporación de un conjunto de componentes donde cada uno de ellos realiza una función dentro del proceso [24]. A esta incorporación se le conoce como un sistema de control y se puede ver representado en la siguiente figura:



**Figura 1.1.** Sistema de Control



Si dicho conjunto elementos se encarga de realizar el control un proceso de producción industrial dicho conjunto puede denominarse “Sistema de Control Industrial “(ICS). Los ICS llevan a cabo la automatización de tareas de producción. Adicionalmente, también pueden encargarse del monitoreo, control protección y seguridad de los procesos industriales con la finalidad de optimizar la operación del mismo.

El sistema de control industrial más básico está conformado por los siguientes elementos.

### **Controlador**

Es el corazón del sistema de control ya que se encarga tanto de recibir las señales de entrada como comandos booleanos o numéricos, así como la medición de variables de proceso, dichas señales le permitirán modificar el proceso mediante los elementos de salida conforme al algoritmo de control que este tenga programado.

El controlador puede estar definido ya sea por circuitos de control electromecánicos o sistemas embebidos. En la industria es usual encontrar PLCs que se encarguen de controlar los proceso ya que debido a la robustez que tiene y a las prestaciones que puede ofrecer como entradas y salidas analógicas y/o digitales, comunicaciones, protecciones entre otras, resulta el dispositivo idóneo para el control de proceso industriales.

### **Elementos de Entrada**

Constituyen aquellas partes del sistema que proporcionan información que afecta el comportamiento del proceso.

Los elementos de entrada pueden ser: comandos de usuario que provienen de operadores humanos que interactúan con el sistema mediante paneles de control conformados por pulsadores o pantallas táctiles [24]; o sensores que son dispositivos que transforman magnitudes físicas como temperatura, presión, velocidad entre otras, en señales eléctricas para que pueda ser interpretado por el controlador. Dentro de los sensores pueden ser de tipo digital y representar un estado de 1 o 0 lógico tal como lo hacen sensores de proximidad, finales de carrera, interruptores de nivel, termostatos, presostatos entre otros, este tipo de sensor entrega como señal rangos de voltaje o corriente fijo de 110 (V) en corriente alterna o 24 (V) en corriente directa.

También los sensores pueden ser analógicos tales como los transmisores de presión o temperatura que dan como señal voltaje o corriente variable. Los rangos de variación de corriente o voltaje a nivel industrial son 0 a 10 (V), 0 a 20 (mA), -10 a 10 (V) y 4 a 20 (mA) [24].

## Elementos de Salida

Son aquellos que reciben señales del controlador y generan una acción física en el proceso.

Generalmente elementos de salida no se conectan directamente al sistema de control requiriendo el uso de elementos pre-accionadores. Por ejemplo, un motor eléctrico necesita un contactor (o un interruptor) o un variador de velocidad para poder funcionar, un cilindro neumático necesitará una válvula distribuidora; un cilindro o un motor hidráulico necesitará una válvula distribuidora o una válvula proporcional, entre otros.

## Interfaz Hombre máquina (HMI)

En términos simples la interfaz hombre maquina es el medio por el cual el humano (operador) interactúa con el sistema de control (maquina). Las HMI son componentes de hardware y software que permite que el usuario pueda observar el estado de los dispositivos industriales de forma gráfica [4]. El HMI presenta a través de una representación gráfica del proceso el estado en el que se encuentra cada uno de los elementos que conforma el proceso [25]. A parte de la visualización del estado del proceso los HMIs también elementos de entrada que permiten que el usuario pueda ejercer acciones de control mediante el uso de botones virtuales o campos de ingreso de datos.

Dentro de las funciones que tiene las HMIs están: [25]

**Monitoreo:** permite mostrar las variables de la planta en tiempo real y pueden ser mostradas en números, textos y gráficos que pueden ayudar al buen entendimiento del operador.

**Alarmas:** es la capacidad de reconocer situaciones anormales dentro del proceso y reportarlo

**Control:** es asociada la a capacidad de aplicar algoritmos que ajustan los valores del proceso a ciertos límites permisibles.

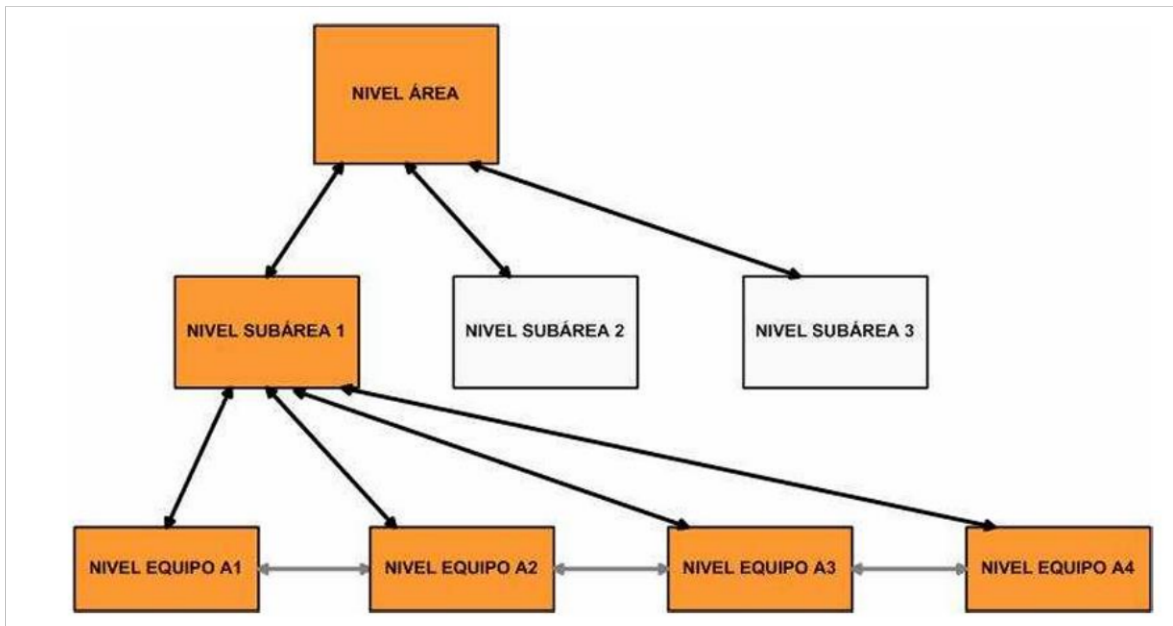
**Histórico:** Es la capacidad de muestrear y almacenar archivo, datos del proceso a una determinada frecuencia.

Para el diseño del HMI es muy importante realizarlo tomando como base las normativas y guías de diseño existentes que tiene como finalidad estandarizar el diseño de HMIs de forma que la interpretación de las interfaces por parte de diferentes operadores sea lo más similar posible. Dentro de guías se tiene GEDIS, EEUMA, ASM mientras que en estándares se encuentran ISO 11064, API 1165, ISO 9241, ISA 101, entre otros [26]

El diseño de las HMI para este trabajo se basará en la Guía GEDIS. Dentro de esta guía se encuentran ciertas especificaciones como:

### Arquitectura

Mediante la arquitectura se establece un mapa donde se define de manera general el número de pantallas con las que contará el operador para interactuar con el sistema de automatización y control. También se debe definir la jerarquía y las relaciones lógicas entre pantallas [27].



**Figura 1.2.** Ejemplo de arquitectura y navegación de pantalla [27].

Los niveles de jerarquía de las pantallas pueden definirse de la siguiente manera [27]:

- **Pantallas de Proceso:** Permite únicamente la visualización del proceso, puede segmentarse en una vista general del proceso y vistas detalladas de partes del proceso o equipos
- **Pantallas de Comandos:** con este tipo de pantalla el operado podrá contar con elementos que le permitirá realizar acciones de control en el proceso
- **Pantallas de Configuración:** Permiten al ingeniero u operado realizar ajustes del sistema, o del proceso como ajustar límites de las alarmas o consignas de valores, configuración de PIDs entre otros.
- **Pantallas de tendencias:** donde se muestran los valores de las variables más importantes del proceso en el tiempo

- **Pantallas de alarmas:** Muestra el registro de eventos anormales que han sucedido en el transcurso del proceso.

### **Distribución**

Mediante la distribución de pantallas se establece plantillas que define la ubicación dentro de la pantalla de conceptos como: hora, fecha, título de la pantalla, logo de la empresa, menú de navegación, área de proceso, cuadro de alarmas entre otros de para cada tipo de pantalla definida en la arquitectura [27].

### **Navegación**

Una vez definido la arquitectura se puede determinar fácilmente el método con el que el usuario navegara por las distintas pantallas. Para la navegación en la interfaz [27] sugiere los siguientes métodos: Menús y Submenús, Barra de botones, Barra de iconos, teclas de función, listas desplegadas.

### **Color**

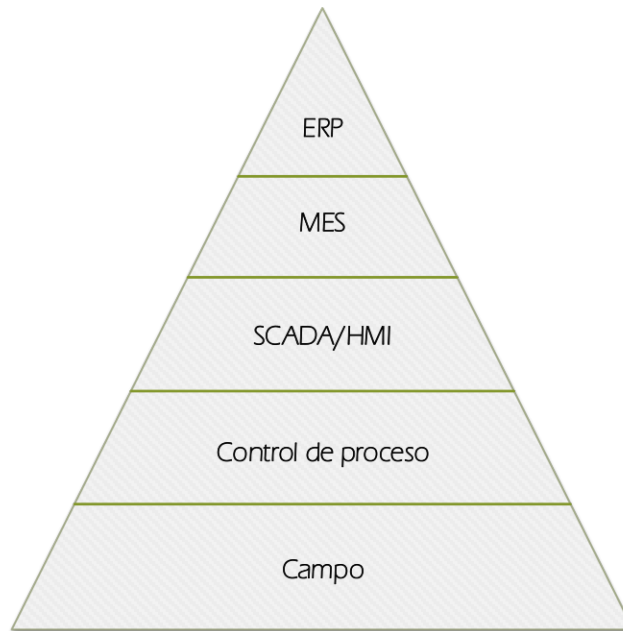
Este aspecto representa uno elementos más importantes dentro del contexto de las interfaces persona-máquina, La elección del color debe estar orientado a que el operador encuentre cómoda la visualización de la pantalla, esto se consigue evitando el uso de colores intensos en la pantalla. Los colores intensos pueden ser utilizados para alertar al operador alguna condición anormal del proceso.

En esta fase se deben definir los siguientes estándares referidos al color [27]:

- Color para representar el estatus de los equipos de la planta (marcha, paro, falla, manual, etc.)
- Color de los principales materiales y fluidos del proceso (agua, aire, gases, materias primas, productos terminados, etc.)
- Color de las alarmas (críticas, advertencias, mensajes, etc.)
- Color del texto en general (Títulos, etiquetas, etc.)
- Colores del fondo de la pantalla (general, de detalle, etc.)
- Color de valores de proceso (Temperaturas, presiones, niveles, etc.)

### **Pirámide de la automatización**

Un sistema de producción de producción industrial puede segmentarse en varios niveles que describe la organización jerárquica de los sistemas de control que abarca desde el nivel de campo hasta el nivel empresarial donde se toma las decisiones. Los niveles de la pirámide de automatización se detallan continuación [4]:



**Figura 1.3.** Pirámide de Automatización

- Nivel de Campo  
Nivel que se encuentra más cerca del proceso físico. Integra dispositivos de campo como sensores y actuadores.
- Nivel de Control  
Dentro de este nivel están presentes los elementos que contienen la lógica de control de los procesos, elementos que pueden ser Controladores lógicos programables (PLCs), Sistemas de control Distribuido, variadores de velocidad, controladores de variables específicas entre otros. [4].
- Nivel de Supervisión (SCADA/HMI)  
Se conforma por componentes tanto de software y hardware que se requieren para la implementación de un sistema de supervisión, monitoreo y control remoto del proceso que usa datos operativos en tiempo real.
- Nivel de Gestión (MES)

Sistema de Ejecución de manufactura por sus siglas en español, se encarga de coordinar y gestionar la ejecución de ordenes de producción, seguimiento de materiales y gestión de la calidad.

- Nivel de administración (ERP)

El nivel de planificación de recurso empresariales abarca sistemas de información gerenciales que integran y manejan muchos de los negocios asociados con las operaciones de producción y de los aspectos de distribución de una compañía en la producción de bienes o servicios [26].

### **Sistema de Supervisión, Control y Adquisición de datos (SCADA)**

El sistema SCADA es un sistema de control industrial que permite la supervisión, control y adquisición de datos en tiempo real y de forma remota. El sistema SCADA constituye una plataforma de supervisión y control remota que integra y centraliza toda la información de las distintas estaciones responsable de etapas del proceso o sistema de control distribuido (DSC). Esto permite a la recopilación de datos cuando existe una gran cantidad de estaciones de trabajo o que dichas estaciones abarquen grandes distancias geográficas. Al lograr recopilar la información

de todas las estaciones de un proceso, los niveles superiores como el MES o ERP pueden conocer de forma detallada y completa la información completa de todo el proceso lo permitirá tomar las decisiones empresariales de forma más rápida y en base a información actualizada.

### **Sistemas de comunicación Industrial**

De forma que los sistemas de control industrial funcionen como un sistema centralizado SCADA, es necesario que entre ellos exista un intercambio de información, el mismo que puede realizarse a través de diferentes mecanismos.

El desarrollo de la comunicación serial entre controladores lógicos programables sería la base fundamental que generaría los sistemas de comunicación industrial moderno, siendo los buses de campo el primer tipo de redes industriales

### **Protocolo de comunicación Modbus**

Modbus utiliza una arquitectura de maestro/esclavo, donde un dispositivo maestro (por ejemplo, un PLC o un SCADA) inicia y controla las comunicaciones, mientras que los

dispositivos esclavos (como sensores, actuadores o controladores de campo) responden a las solicitudes del maestro. El protocolo Modbus se basa en una arquitectura de mensajes sencillos que consisten en una dirección de dispositivo, un código de función y datos específicos del mensaje.

### **OPC server**

Permite la comunicación entre distintos dispositivos y sistemas de control en una planta de manufactura o proceso industrial. El propósito principal de un OPC server es actuar como un intermediario que recopila datos de dispositivos de campo, como, sensores, y actuadores, y los hace accesibles a aplicaciones cliente, tales como sistemas SCADA, sistemas HMI [28].

### **Trazabilidad**

Según la norma ISO 9000:2015 la trazabilidad es la capacidad para seguir, la historia, aplicación o localización de todo aquello que está bajo consideración [6]. Mediante la trazabilidad se puede realizar un control y seguimiento del producto que han sido sometidos a un procesamiento, con ello se puede encontrar características asociadas desde su origen hasta su entrega para posterior uso o consumo

Muchos estándares en industria alimentaria exigen que los productos alimenticios tengan trazabilidad con el objetivo garantizar alimentos de calidad y que sean seguros para el consumo. Dentro de empresas se genera la trazabilidad en los productos a través de códigos de barra, códigos QR, comunicación de campo NFC, asociado a información de producto [6].

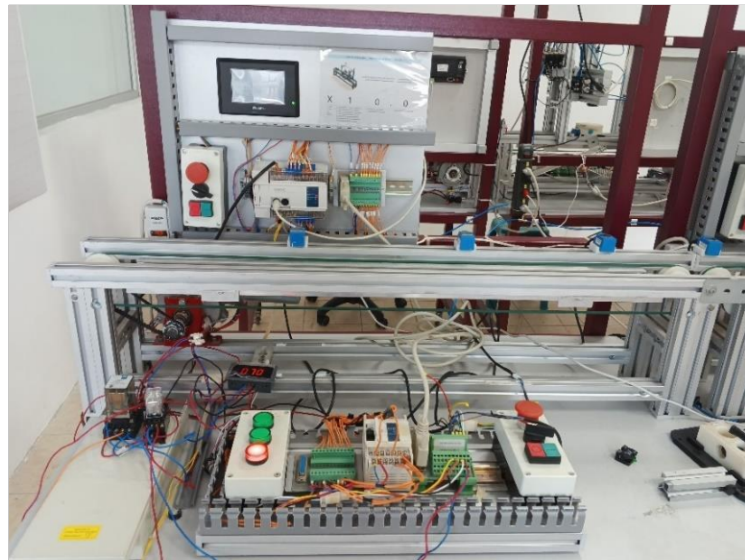
## 2 METODOLOGÍA

La rehabilitación de la línea de simulación de proceso se efectuó mediante las siguientes etapas:

### 2.1 Revisión del estado de la línea de simulación de procesos

La línea de simulación de proceso cuenta con varios módulos y cada uno de ellos contiene controladores, sensores y actuadores. Los módulos que se analizaron en este trabajo son los que se encargaron de realizar el proceso de recepción y lavado de papas.

El estado inicial del módulo de recepción se muestra en la figura 2.1 mientras que el estado inicial del módulo de lavado se muestra en la figura 2.2



**Figura 2.1.** Estado inicial del módulo de recepción.





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

En la siguiente tabla se detalla la identificación de elementos de ambos módulos.

**Tabla 2.1.** Elementos identificados de los módulos de recepción y lavado.

Item		Descripción
Modulo de Recepción	Modulo de Lavado	
M01_PLC_01	M02_PLC_01	PLC Xinje XC3-14RT, Controlador del tablero inferior
M01_PLC_02	M02_PLC_02	PLC Xinje XC3-24RT, Controlador del tablero superior
M01_MT_01	M02_MT_01	Motor DC, actuador que genera el movimiento de la banda transportadora
M01_CT_01	M02_CT_01	Contactora para activar el motor DC
M01_CT_02	M02_CT_02	Contactora para activar el motor DC
M01_BRN_01	M02_BRN_01	Bornera de conexión de las entradas y salidas al PLC tablero superior
M01_BRN_02	M02_BRN_02	Bornera de conexión de las entradas y salidas al PLC tablero inferior
M01_BRN_03	M02_BRN_03	Bornera de conexión de los sensores y actuadores
M01_CB_01	M02_CB_01	Cable DB25 que permite conectar las borneras BRN_01 y BRN_02 de forma que se pueda conectar los sensores y actuadores al PLC.
M01_FV_01	M02_FV_01	Fuente de 24 VDC para alimentación del driver del motor DC
M01_BOT_01	M02_BOT_01	Botonera tablero superior
M01_BOT_02	M02_BOT_02	Botonera tablero inferior
M01_LUZ_01	M02_LUZ_01	Panel de luces piloto
M01_SP_01	M02_SP_01	Sensor de proximidad inductivo NPN ubicado al inicio de la banda

M01_SP_02	M02_SP_02	Sensor de proximidad inductivo NPN ubicado en la mitad de la banda
M01_SP_03	M02_SP_03	Sensor de proximidad inductivo NPN ubicado al final de la banda
M01_SC_01	M02_SC_01	Controlador de velocidad para el motor DC
M01_PT_01	M02_PT_01	Pantalla táctil TouchWin TH-465

Luego de la identificación de los elementos de cada módulo se realizó pruebas para verificar su funcionamiento, en la tabla 2.2 se resume los resultados de la revisión de los elementos del módulo de lavado

**Tabla 2.2.** Resultados de pruebas de verificación de los elementos del módulo de recepción.

Item	Estado	Problemas encontrados
M01_PLC_01	Funcional	Ninguno
M01_PLC_02	Funcional	Ninguno
M01_MT_01	Funcional	Ninguno
M01_CT_01	Funcional	Ninguno
M01_CT_02	Funcional	Ninguno
M01_BRN_01	Funcional	Ninguno
M01_BRN_02	Parcialmente funcional	El punto correspondiente a la salida Q0 se encuentra dañado
M01_BRN_03	Funcional	Ninguno
M01_CB_01	Funcional	Ninguno
M01_FV_01	Funcional	Ninguno
M01_BOT_01	Funcional	Ninguno
M01_BOT_02	Funcional	Ninguno
M01_LUZ_01	Funcional	Ninguno
M01_SP_01	Funcional	Ninguno
M01_SP_02	Funcional	Ninguno
M01_SP_03	Funcional	Ninguno
M01_SC_01	No funcional	El controlador enciende, pero no permite variar la velocidad del motor
M01_PT_01	Funcional	Ninguno

La revisión de los elementos del módulo de lavado se detalla en la siguiente tabla:

**Tabla 2.3.** Resultados de pruebas de verificación de los elementos del módulo de lavado

Item	Estado	Problemas encontrados
M02_PLC_01	Funcional	Ninguno
M02_PLC_02	Funcional	Ninguno
M02_MT_01	Funcional	Ninguno
M02_CT_01	Funcional	Ninguno
M02_CT_02	Funcional	Ninguno
M02_BRN_01	Funcional	Ninguno

M02_BRN_02	Parcialmente funcional	El punto correspondiente a la salida Q0 se encuentra dañado
M02_BRN_03	Funcional	Ninguno
M02_CB_01	Funcional	Ninguno
M02_FV_01	Funcional	Ninguno
M02_BOT_01	Funcional	Ninguno
M02_BOT_02	Funcional	Ninguno
M02_LUZ_01	Funcional	Ninguno
M02_SP_01	No funcional	El sensor no realizaba el cambio de estado al detectar metales
M02_SP_02	Funcional	Ninguno
M02_SP_03	Funcional	Ninguno
M02_SC_01	Funcional	Ninguno
M01_PT_01	Funcional	Ninguno

A partir de la revisión realizada se logró identificar que solo dos elementos no estaban en condiciones operativas: el controlador de velocidad del motor del módulo de recepción y un sensor de proximidad inductivo del módulo de lavado.



**Figura 2.3.** Elementos no funcionales no identificados.

Mediante la revisión de los módulos asignados de la línea de simulación de proceso se logró determinar que es posible implementar el diseño de un sistema de control tanto para la recepción y lavado dado a que la gran mayoría de los módulos se encuentra en estado funcional.

## **2.2 Diseño del sistema de control industrial**

El sistema de control industrial permitirá realizar el control de la ejecución del proceso de lavado y recepción mediante el accionamiento automático de los elementos de salida (banda transportadora y actuadores neumáticos), condicionados por elementos de entrada (sensores de proximidad y comandos de operador) de forma que se cumplan las actividades que requiera el proceso.

Además, mediante el sistema de control será posible realizar el monitoreo del proceso mediante la visualización del estado de sensores y actuadores mediante luces piloto y una interfaz de visualización.

Adicionalmente, el sistema de control cumplirá con funciones de supervisión y adquisición de datos mediante una estación remota que centralice la información de todos los procesos para recopilarlos en una base de datos. La información almacenada podrá ser supervisada mediante tablas y plantillas de registro en una interfaz de adquisición de datos.

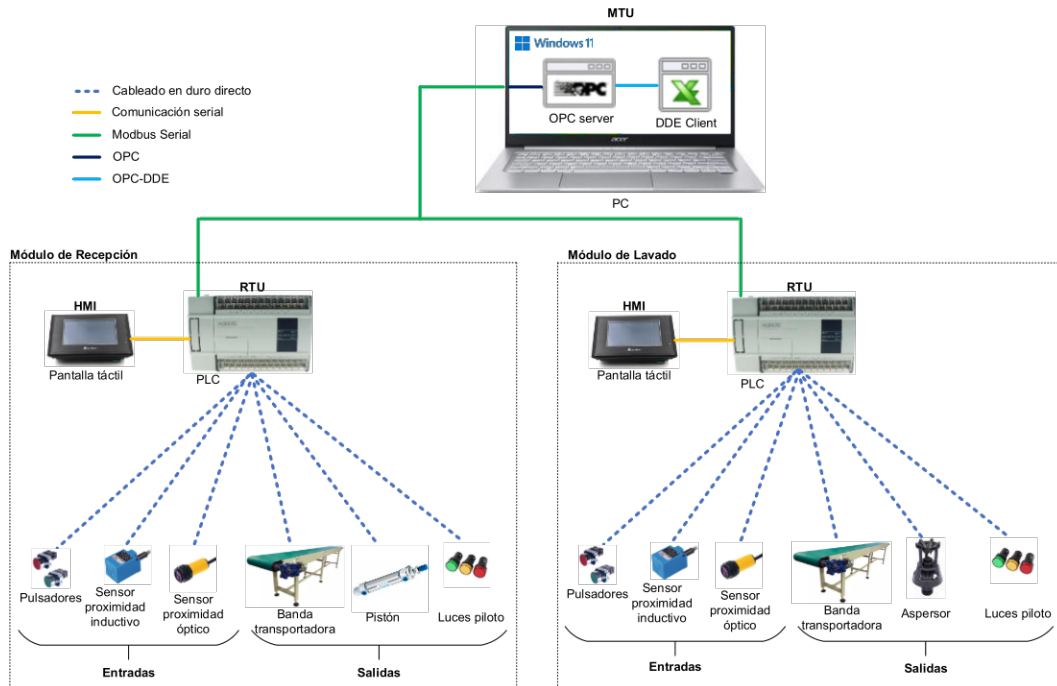
Para lograr realizar todo lo anterior el diseño del sistema de control se divide en las siguientes partes:

### **Arquitectura del sistema de control Industrial**

Cada módulo de la línea de simulación se encargará un solo proceso, es así que el diseño del sistema de control contempla el uso de tan solo dos PLCs, uno que se encargue del proceso de Recepción (Módulo de Recepción) mientras que el otro se encargará del proceso de lavado (Modulo de Lavado). Cada módulo dispondrá de elementos como actuadores, sensores y pantalla táctil que en conjunto con el PLC permitirán el control y monitoreo del proceso correspondiente. Los PLCs de ambos módulos estarán comunicados mediante una red Modbus; implementada sobre una interfaz RS-485. Dentro de la red Modbus también estará conectada una estación remota (Computador PC) en la cual mediante un servidor OPC permitirá recopilar la información de los dos módulos y presentarlo en una aplicación que servirá como interfaz de supervisión ya adquisición de datos.

La arquitectura descrita se muestra de forma gráfica en la figura 2.4.

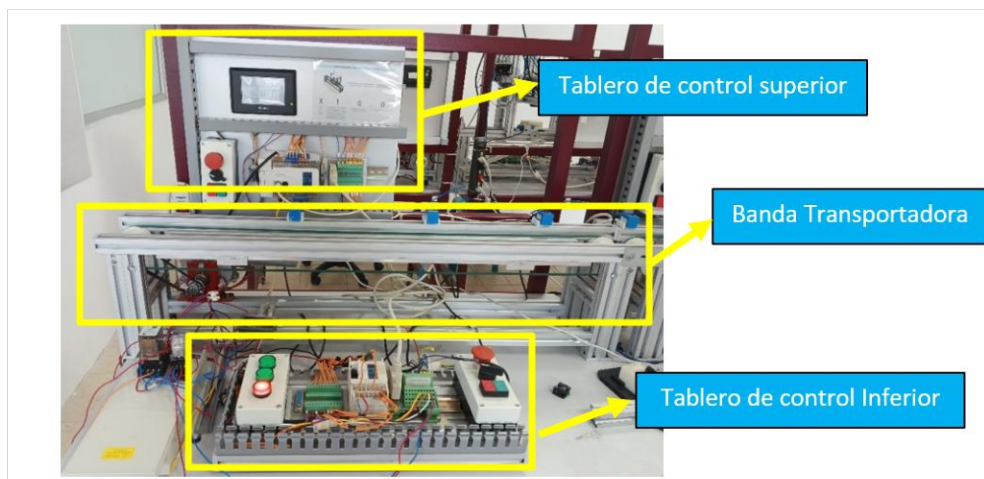
Desde el punto de vista de redes industriales los PLCs de cada módulo representaría una unidad terminal remota (RTU) mientras que el computador de la estación de supervisión representaría la unidad terminal maestra (MTU) del sistema SCADA.



**Figura 2.4.** Arquitectura del sistema de control.

### Dimensionamiento y diseño de estructuras mecánicas

Cada módulo cuenta con estructura mecánica que conforma el tablero de control superior, el tablero de control inferior, la banda transportadora y estructura adicional para la representación de algún proceso determinado.



**Figura 2.5.** Estructura mecánica de cada módulo.

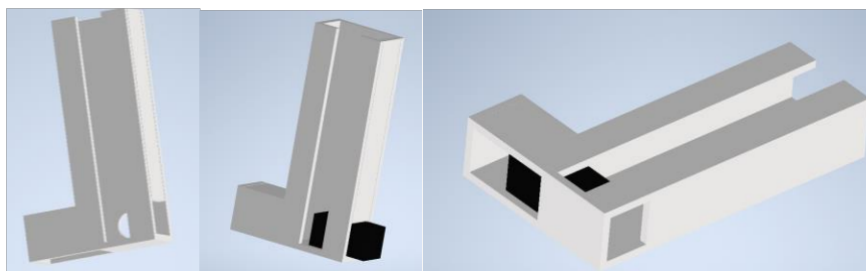
Adicionalmente, se cuenta con bandejas que encajan dentro de la banda y permiten el transporte de bloques didácticos que representaría objetos referentes al proceso que se esté implementando. Para el caso de este trabajo las bandejas representarían pallets de transporte mientras que los bloques representarían empaques de papas.



**Figura 2.6.** Bandejas y bloques usados para representación de productos dentro de la línea de simulación de procesos.

Mediante la revisión de los módulos asignados se verificó que la estructura mecánica se encontraba en buen estado por lo que fue innecesario realizar algún dimensionamiento o diseño adicional respecto a la banda transportadora y tableros de control. Sin embargo, en las pruebas de revisión de los módulos, al utilizar las bandejas y bloques didácticos estos no circulaban de forma completamente libre a través de la banda por lo que se realizó un ajuste en las estructuras de las bandas transportadoras de forma que se aumentó el espacio en donde se colocan las bandejas para que así puedan circular libremente.

Para el módulo de recepción se encontraba disponible una estructura de aluminio que podía servir para albergar un contenedor donde ingresarán los empaques de papas representados por los bloques didácticos para posteriormente ser procesados por el módulo de recepción y lavado. El contenedor se diseñó en función de las dimensiones de los bloques didáctico tomando en cuenta las aberturas necesarias para el ingreso y salida de los empaques de papa (bloque didáctico) así como un espacio correspondiente para detectar si el contenedor está vacío. En la figura 2.7 se muestran algunas vistas del contenedor diseñado en Inventor.



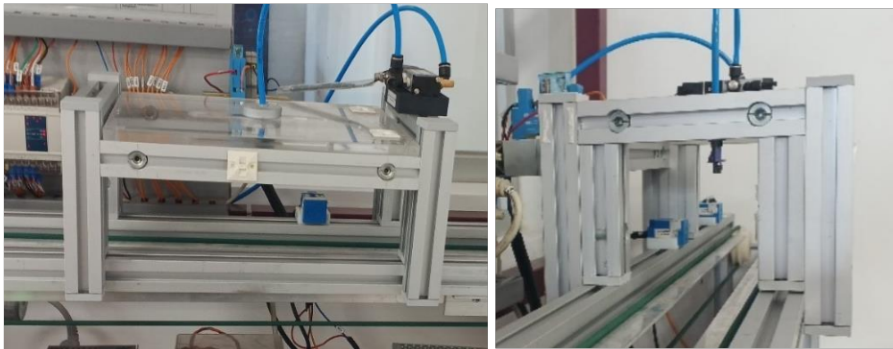
**Figura 2.7.** Diseño del contenedor de empaque de papas realizado en Inventor.

Una vez realizado el diseño se elaboró el contenedor usando MDF de 9 mm y se colocó sobre sobre la estructura de aluminio disponible tal como se muestra en la figura 2.8. Al realizar pruebas de funcionamiento la estructura funcionaba acorde lo requerido.



**Figura 2.8.** Montaje del contenedor de empaques de papas diseñado.

Para el módulo de lavado en cambio se utilizó otra estructura de aluminio disponible a la cual se añadió un aspersor para que de esta manera represente un túnel de lavado el cual realizara la limpieza de los empaques de papas.



**Figura 2.9.** Túnel de lavado.

### **Selección de sensores y actuadores**

A continuación, se realizará la selección de sensores y actuadores utilizados para la rehabilitación y se detallará mediante tablas las características de los elementos encontrados.

Tanto para la recepción como para el lavado se requerirá conocer la posición del pallet de transporte y el empaque en ciertos puntos de la banda de manera que se pueda detener o activar cuando el pallet se encuentre en ciertas zonas donde se requiera hacer una actividad como registro, posicionamiento de empaque o lavado. Es por ello que será necesario sensores de proximidad que permitan detectar si el pallet con el empaque pasa por determinados puntos. Dado a la mayor disponibilidad que existe en el laboratorio se selección al sensor inductivo para esta tarea. Sin embargo, el sensor inductivo detecta metales mientras que las bandejas y bloques didácticos son de plástico, debido a ello es

que se acoplara tornillos metálicos en los bordes de las bandejas de manera que los sensores inductivos puedan detectar su presencia.

**Tabla 2.4.** Características Sensor inductivo [28].

<b>Imagen referencial</b>	
<b>Fabricante</b>	SASSIN
<b>Modelo</b>	LMF6-3010NA
<b>Tipo de sensor</b>	Sensor de proximidad inductivo
<b>Alimentación</b>	6-36 VDC
<b>Distancia de detección</b>	10 mm
<b>Tipo de salida</b>	NPN
<b>Estado de salida</b>	Normalmente abierta (NO)

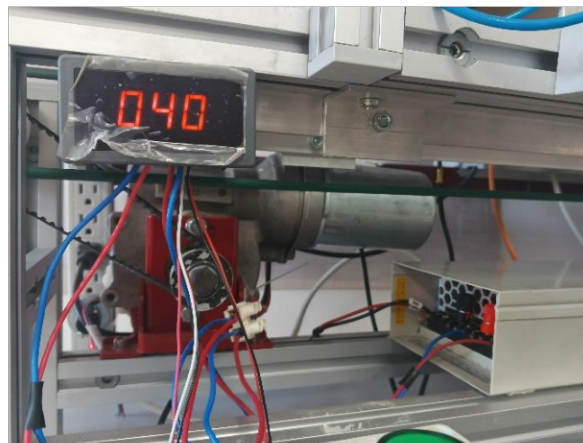
Adicionalmente se considera necesario también el uso de un sensor óptico que permita detectar la presencia de los bloques didáctico en el contenedor ya que los bloques al ser de plástico los sensores inductivos no funcionarán además si se coloca alguna pieza metálica en los bloques estos ya no encajarían de forma adecuada tanto en el contenedor como en las bandejas. Un sensor óptico también será ubicado al final de la banda de lavado por razones de seguridad ya que si en transcurso del recorrido los sensores inductivos fallan debido a desajustes del tornillo metálico colocado en la bandeja el sensor óptico si lograra detectar la bandeja y el empaque debido a que tiene mayor alcance y así se podría evitar que la bandeja y el empaque se desborden al final de la banda.



**Tabla 2.5.** Características Sensor óptico [28].

<b>Imagen referencial</b>	
<b>Fabricante</b>	SASSIN
<b>Modelo</b>	DF6-3010NA
<b>Tipo de sensor</b>	Sensor óptico
<b>Alimentación</b>	6-36 VDC
<b>Distancia de detección</b>	80 mm
<b>Tipo de salida</b>	NPN
<b>Estado de salida</b>	Normalmente abierta (NO)


En lo que corresponde a actuadores se tiene un motor DC para el movimiento de la banda transportadora el cual es accionado mediante un controlador que permite variar la velocidad del motor con un potenciómetro. Para cambiar el control del sentido de giro, se alternará la polaridad del motor mediante el uso de relés que se detalla en el diagrama de conexión dentro del Anexo V.




**Figura 2.10.** Motor DC de la banda y controlador de velocidad.

Las características del controlador se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 2.6.** Características del controlador de motor DC [29].

<b>Imagen referencial</b>	
<b>Fabricante</b>	Uniquegoods
<b>Modelo</b>	CCM5D
<b>Alimentación</b>	6-30 VDC
<b>Frecuencia PWM</b>	16kHz
<b>Ciclo de trabajo ajustable</b>	0-100%
<b>Máxima potencia de salida</b>	240 W
<b>Máxima corriente de salida</b>	8 A

**Tabla 2.7.** Características Relés.


<b>Imagen referencial</b>	
<b>Voltaje de alimentación bobina</b>	24VDC
<b>Numero de contactos</b>	4
<b>Voltaje máximo salida</b>	250 V
<b>Corriente máxima de salida</b>	10 A

Para el posicionamiento del pallet y del empaque de papas en el módulo de recepción se utilizarán dos pistones neumáticos, un pistón permitirá el paso del pallet y lo posicionará justo debajo de la salida del contenedor de empaques mientras que el otro pistón empujará el empaque de papas de forma que caiga por la salida del contenedor y se ubique encima del pallet. Las características de los pistones disponibles en el laboratorio que fueron se detallan a continuación:

**Tabla 2.8.** Características Pistón de posicionamiento de pallet [30].

<b>Imagen referencial</b>	
<b>Fabricante</b>	Guoyiqidong
<b>Modelo</b>	MA-25X60-CA
<b>Diámetro pistón</b>	25 mm
<b>Diámetro vástago</b>	10 mm
<b>Longitud de carrera</b>	60 mm
<b>Tipo de acción</b>	Doble efecto
<b>Presión operativa</b>	1-10 bar
<b>Rosca de entrada de aire</b>	G 1/8"
<b>Rosca de pistón</b>	M22
<b>Rosca de vástago</b>	M10

**Tabla 2.9.** Características Pistón de posicionamiento de empaque [30].

<b>Imagen referencial</b>	
<b>Fabricante</b>	Guoyiqidong
<b>Modelo</b>	MA-32X80-CA
<b>Diámetro pistón</b>	32 mm
<b>Diámetro vástago</b>	10 mm
<b>Longitud de carrera</b>	80 mm
<b>Tipo de acción</b>	Doble efecto
<b>Presión operativa</b>	1-10 bar
<b>Rosca de entrada de aire</b>	G 1/8"
<b>Rosca de pistón</b>	M22
<b>Rosca de vástago</b>	M10

Para el lavado en cambio se utilizó un aspersor de riego que conectado a la línea neumática representará un aspersor hidráulico de alta presión que efectuará la limpieza de la papa cuando pase por debajo del túnel de lavado.


Para la activación de los pistones y el aspersor es necesario el uso de unas electroválvulas neumáticas. Las electroválvulas disponibles en el laboratorio que fueron utilizadas tienen las siguientes características:

**Tabla 2.10.** Características electroválvulas neumáticas [30].

<b>Imagen referencial</b>	
<b>Fabricante</b>	CHELIC
<b>Modelo</b>	SV-6102
<b>Tipo de bobina</b>	Simple (retornado por resorte)
<b>Tipo de actuación</b>	5 puertos 2 posiciones
<b>Longitud de carrera</b>	80 mm
<b>Presión operativa</b>	1.5-7 bar
<b>Rosca de entrada de aire</b>	1/4"
<b>Alimentación bobina</b>	12VDC

El controlador utilizado para cada módulo es un PLC del fabricante Xinje. En la siguiente tabla se presenta las características más importantes del PLC:

**Tabla 2.11.** Características electroválvulas neumáticas [31].

<b>Imagen referencial</b>	
<b>Fabricante</b>	Xinje
<b>Modelo</b>	XC3-24RT-E
<b>Alimentación</b>	110-220 VAC 60Hz
<b>Voltaje de salida</b>	24 VDC

<b>Número de entradas digitales</b>	14 (X0-X7, X10-X15)
<b>Tipo de entrada</b>	NPN
<b>Numero de salidas analógicos</b>	10 (Y0-Y7, Y10-Y11)
<b>Tipo de salidas</b>	Y0 -Y1 tipo transistor Y2-Y7, Y10-Y11 tipo relé
<b>Numero de puertos de comunicación serial</b>	2 (COM1, COM2)
<b>Interfaces de comunicación</b>	COM1: RS232 COM2: RS232 ó RS485
<b>Voltaje máximo de señal de entrada</b>	24 VDC±10%
<b>Corriente máxima señal de la entrada</b>	7 mA / 24VDC

En el Anexo II se detalla las entradas y salidas utilizadas tanto de PLC del módulo de recepción así el del módulo de lavado

### **Formulación y Diseño del proceso de recepción y lavado**

El inicio de la cadena de procesamiento de papas empieza con el proceso de recepción y de lavado.

Se considera que los tanto los módulos de recepción realizarán el procesamiento de la papa mediante lotes. Se plantea que en una jornada de procesamiento se ingresará (módulo de recepción) y se realizará la limpieza (módulo de lavado) de 3 lotes de papas de diferentes proveedores. Cada lote puede contener un número determinado de empaques de papas (representado por los bloques didácticos); para la implementación del proceso se contempla que cada lote contiene dos empaques de papas.

Adicionalmente se asume que el lote de papas que entrega el proveedor tiene adjunto una plantilla de registro digital (Excel) con datos referentes a la fecha de cosecha, tamaño y peso de cada empaque perteneciente a lote. De forma que para iniciar un proceso de recepción y posterior lavado es necesario cargar los datos el proveedor en la estación de supervisión y luego colocar en el contenedor de empaques el lote correspondiente a los datos cargados.

La estación de recepción es la que se encarga de recibir los empaques de papas que entrega el proveedor; realizar la verificación de los datos proporcionados por el proveedor correspondientes, y de ser el caso la corrección y actualización de los datos. En ese sentido, una vez que ingresa el empaque y se ubica en la zona de verificación y registro, se asume que el operador se encargará de realizar las mediciones de peso y humedad relativa de forma manual e ingresará dichos valores en el sistema a través del HMI del módulo de recepción. Luego de la verificación el empaque se registrará y se guardará los datos ingresados junto con la fecha de recepción del empaque en la estación de supervisión.

Después de esto el módulo de recepción envía el empaque hacia el módulo del lavado siempre y cuando dicho módulo no se encuentre con el proceso de lavado activo caso contrario espera hasta que el módulo este libre. Cuando el empaque actual ya llega al módulo de lavado, automáticamente se realiza el procedimiento necesario para el registro del siguiente; sin embargo, no se podrá ejecutar esta acción hasta que el módulo de lavado termine de procesar el empaque actual, esto se repetirá hasta que se finalicen ingreso y registro de todos los empaques del lote actual en proceso.

Cuando el empaque es detectado por el primer sensor de proximidad del módulo de lavado inicia el proceso de lavado. Primero se activa la banda para llevar el empaque hacia la zona de lavado en donde se realiza la limpieza del empaque llevado a cabo por el aspersor neumático. Luego de lavarse el empaque se activa la banda para que el empaque vaya a la zona de verificación. En la zona de verificación la banda se detendrá y el operador podrá validar si las papas del empaque están limpias. Para ello se considera que se mide la cantidad de sólidos en suspensión del agua residual de lavado. En la limpieza de papas el agua residual utilizado en el lavado, tiene una cantidad de sólidos en suspensión totales (SST) que oscila entre 1000 y 3000 mg/l [32]. Mientras mayor sea la cantidad de SST significa que el grado de suciedad del agua es mayor. Es así que para evaluar la limpieza de la papa se asume que si el agua residual de lavado tiene una cantidad de SST mayor a lo habitual se considera que el lavado de la papa es insatisfactorio. Para que el grado de limpieza de la papa se ajuste a requerimientos más estrictos, se establecerá un umbral de SST menor al rango habitual, en la implementación se usó un umbral de 870 mg/l. De esta manera si el operador al ingresar el SST del agua residual en el HMI y cumple con la condición de limpieza, los datos del empaque podrán ser registrados caso contrario el empaque regresará al túnel de lavado para que se repita la limpieza. Adicionalmente el operador podrá actualizar nuevamente el peso y la humedad del empaque. Una vez que la limpieza del empaque es validada y registrada el empaque avanza hasta el final de la banda

para que sea detectado por el último sensor que representaría en sensor correspondiente al módulo de corte cuando llega a este punto el empaque se detiene y para finalizar el proceso se debe retirar el empaque de forma que el último sensor ya no lo detecte, esto representaría que el módulo de lavado se encuentra disponible y listo para recibir el siguiente empaque.

### **Condiciones de inicio y operación**

Para que pueda iniciar el proceso de recepción: debe estar ubicado el lote de papas en el contenedor de empaques, debe estar colocado al menos un pallet en el depósito de pallets ubicado al inicio de la banda transportadora y se debe haber cargado hoja de registro del proveedor correspondiente al lote que se va a procesar. Una vez cumplidas estas condiciones se podrá iniciar el proceso de recepción mediante el pulsante de marcha.

Para el inicio del proceso de lavado basta con que el pallet de transporte con el empaque sea detectado por el sensor de proximidad (A2X.5) ubicado al inicio de la banda transportadora del módulo de lavado.

Para la operación de proceso en ambos módulos se tiene las siguientes consideraciones: Mediante el pulsante de paro se podrá detener el proceso en cualquier instante y mediante el pulsante de marcha se podrá reanudar el proceso justo en el instante donde se había detenido. Si se presiona el pulsante de emergencia, el proceso se detendrá y se activará la condición, no se podrá reanudar el proceso hasta que se desactive el pulsante de emergencia y la condición de emergencia.

### **Condición de emergencia**

La condición de emergencia se activa cuando se presiona algún pulsante de emergencia ya sea del tablero inferior, superior o HMI. También se activa esta condición si existe fallas en determinados sensores. Al activarse la condición de emergencia se detendrá el proceso y se notificará en la pantalla de alarmas del HMI. Para desactivar la condición de emergencia se debe presionar un botón de reactivar la estación ubicado en la pantalla de alarmas o mediante un pulso dado por el selector en la posición 2 del tablero superior. Al desactivar la condición de emergencia se podrá reanudar con el proceso justo en el instante donde se quedó mediante el pulsante de marcha.

### **Visualización del estado del proceso**

Para que el operado pueda identificar el estado en el que se encuentra el proceso de recepción o lavado se definieron las siguientes condiciones:

**Proceso iniciado:** Una vez que ha iniciado el proceso se activará este estado y no se anulará hasta que se realice las actividades programadas para que se finalice el proceso o mediante un pulso la entrada del selector de reinicio de proceso. Si la primera luz piloto de color verde esta encendida o si en la barra de estado del HMI el indicador correspondiente este encendido significa que el estado de proceso iniciado esta activo.

**Proceso Activo:** Este estado se activa cuando se inicia el proceso y se está ejecutando, es decir que si se detiene mediante el pulsante de paro se desactiva este estado. El proceso puede encontrarse como proceso iniciado y activado al mismo tiempo. Sin embargo, si se detiene el proceso solo se encontrará como proceso activo. Si la segunda luz piloto de color verde esta encendida al igual que su correspondiente indicador en el HMI significa que el proceso este activo es decir en ejecución.

**Proceso Detenido:** Si el proceso a un no inicia o si es detenido mediante el pulsante de paro o condición de emergencia se el proceso se encuentra en este estado. Si el indicador correspondiente en el HMI se encuentra encendido o si la segunda luz piloto de color verde esta apagada, significa que el proceso este detenido.

**Emergencia:** Este estado se presenta cuando se activa la condición de emergencia ya sea por presionar el pulsante de emergencia o la falla de algún sensor. Este estado puede ser identificado si la luz piloto de color rojo esta encendida al igual que el indicador de emergencia en el HMI.

En el Anexo III se muestra los diagramas de flujo del proceso de recepción y lavado.

### **Diseño de la interfaz Hombre máquina**

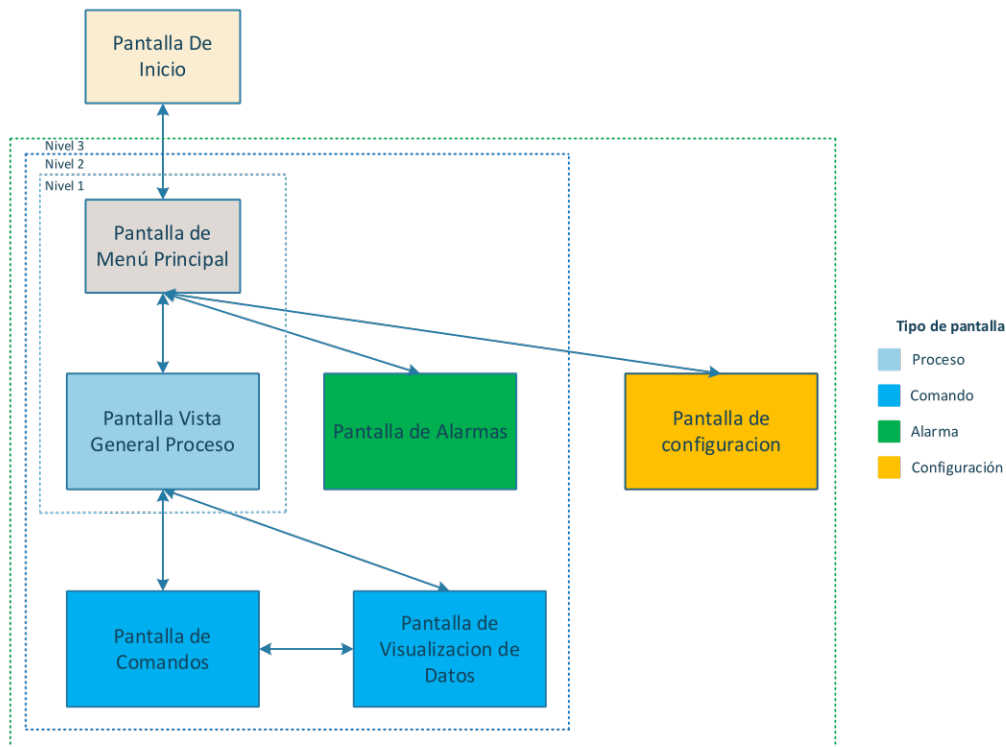
Cada módulo cuenta una pantalla táctil en la cual se puede implementar una interfaz hombre máquina que permitirá al operador realizar el control y visualización del proceso, así como el ingreso de valores a registrarse en la base de datos de la estación de supervisión remota. Cada pantalla táctil se comunicará con su respectivo PLC mediante el primer puerto de comunicación serial.

A continuación, se presentará el diseño del HMI considerando los apartados de diseño que recomienda la guía GEDIS descritos en el marco teórico.

### **Arquitectura**

La arquitectura del HMI para ambos módulos se muestra en la figura 2.11





**Figura 2.11.** Arquitectura del HMI.

## Navegación

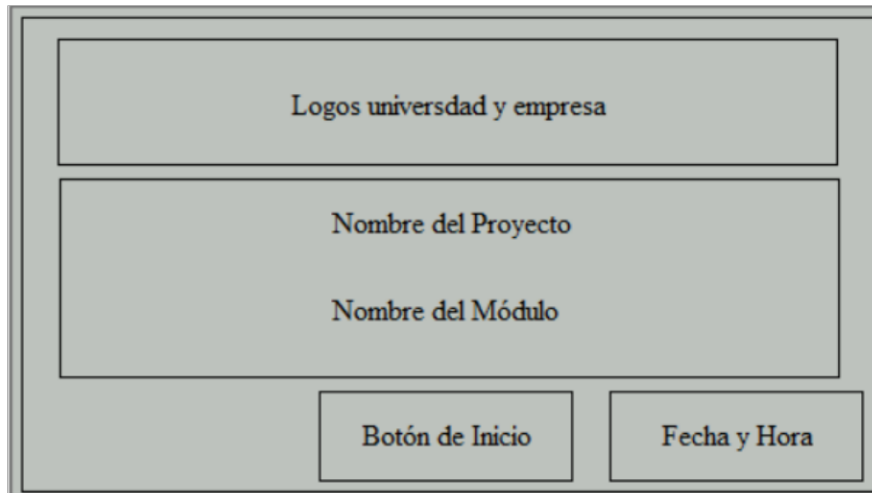
La Navegación en la interfaz se realizará mediante barra de botones (barra de navegación) que permitirá el acceso a otra pantalla acorde a la arquitectura del HMI.

Se debe mencionar que el usuario que acceda a la pantalla podrá navegar por las distintas pantallas en función del nivel de acceso que le proporcione la contraseña que ingresa en la pantalla de Inicio para acceder a la interfaz. Los niveles de acceso son los siguientes:

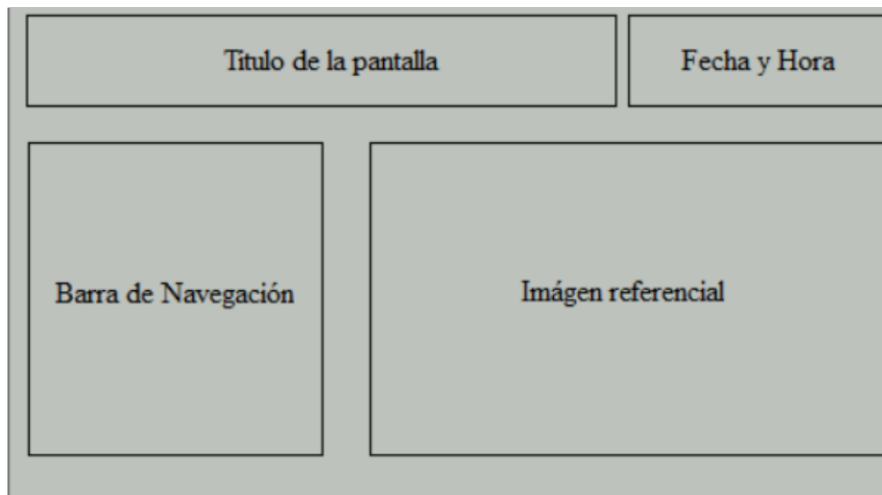
- Nivel 1: Corresponde al nivel de invitado, el usuario solamente podrá ingresar a la pantalla de visualización de proceso.
- Nivel 2: Corresponde al nivel de operado, el usuario podrá tener acceso a la pantalla de visualización, así como la ventana de comandos, visualización de datos, y alarmas
- Nivel 3: Corresponde al nivel de ingeniera, el usuario tiene acceso a las pantallas del nivel 1 y 2 así como a la pantalla de configuración.

## Distribución

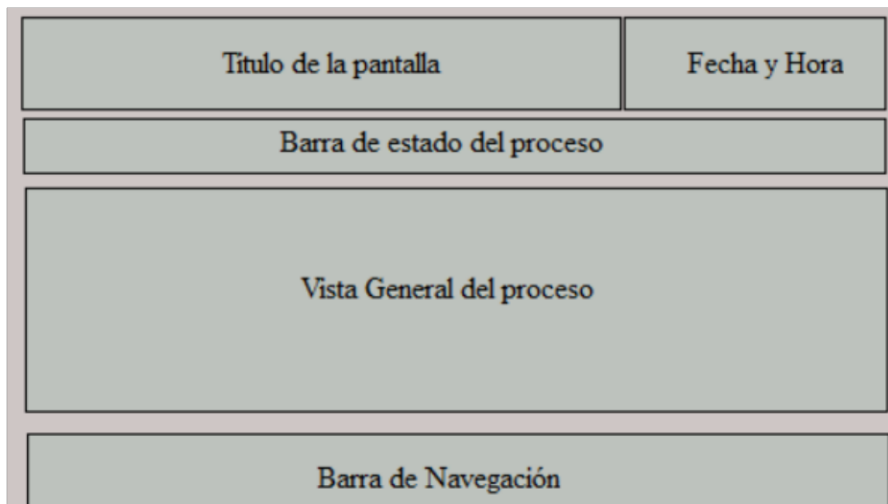
En las siguientes figuras se muestra la distribución de los diferentes tipos de pantalla utilizados en la interfaz.



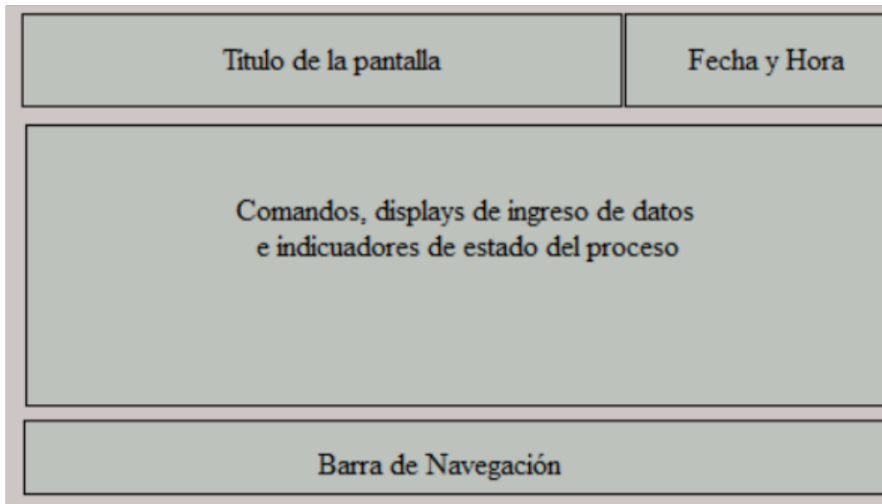
**Figura 2.12.** Distribución pantalla de inicio.



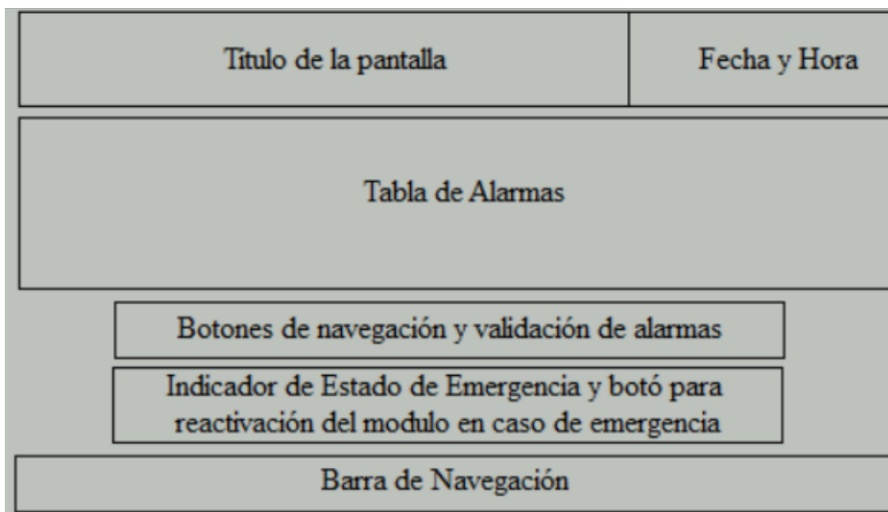
**Figura 2.13.** Distribución pantalla de menú.



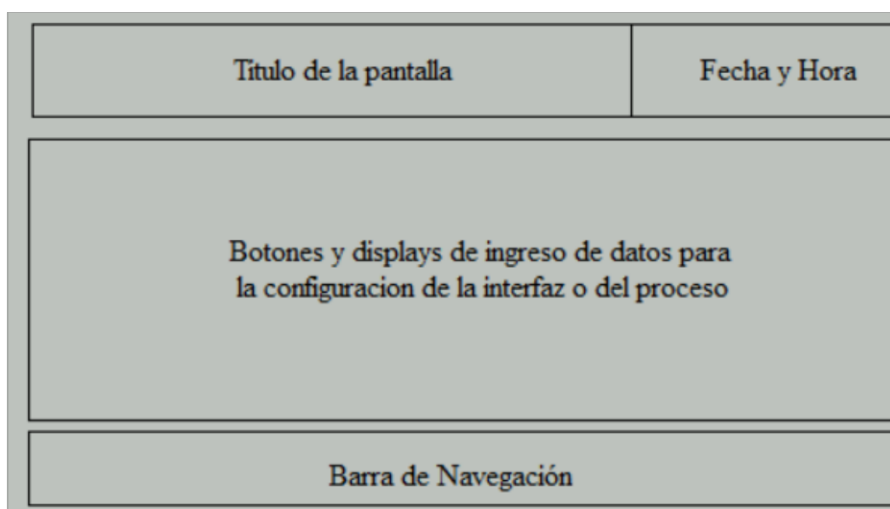
**Figura 2.14.** Distribución pantalla de proceso.



**Figura 2.15.** Distribución pantalla de comando.



**Figura 2.16.** Distribución pantalla de Alarmas.





**Figura 2.17.** Distribución pantalla de configuración.




## Colores

La asignación de colores realizada permite definir los fondos de pantallas, ventanas emergentes títulos. También se realizó la asignación de colores para los diferentes indicadores utilizados en el HMI que permitirán identificar el estado de las entradas, salidas y condiciones de proceso adicionales.

**Tabla 2.12.** Colores asignados para fondos de pantalla, ventanas emergentes y títulos.

Ítem	Color	Rojo/Verde/Gris	Código HTML
Pantalla Inicio		194/203/173	C2CBAD
Pantalla menú		148/180/190	94B4BE
Pantalla Proceso		205/199/197	CDC7C5
Pantalla Alarmas		184/209/196	B8D1C4
Pantalla Configuración		95/111/120	
Ventana emergente de emergencia		255/72/72	FF4848
Ventana emergente de Advertencia		82/252/141	52FC8D
Ventana emergencia de Aprobación		152/209/155	98D19B
Fondo titulo		172/183/191	ACB7BF
Fondo barra de navegación		130/162/158	82A29E
Fondo Hora/Fecha		221/213/240	DDD5F0

**Tabla 2.13.** Colores asignados para visualización de estado.

Ítem	Color	Rojo/Verde/Azul	Código HTML
Elemento o condición activa		0/168/0	00A800
Elemento o condición inactiva		236/242/246	ECF2F4
Elemento o condición en emergencia		255/72/72	FF4848

## Diseño del sistema SCADA

La arquitectura del sistema de control industrial mostrada en la figura 2.4 fue diseñada de forma que se pueda implementar un sistema SCADA dentro del sistema de control industrial propuesto.

El sistema SCADA integra los módulos de recepción y lavado con una estación remota de supervisión.

Desde el punto de vista del sistema SCADA los PLCs de cada estación se comportan común una Unidad Terminal Remota RTU, ya que permiten la adquisición de los datos de señales y variables pertenecientes a proceso para enviarlos a una estación remota. Mientras que el computador que representa la estación de supervisión cumple con la función de una Unidad Maestra Remota debido a que es capaz de enviar y recibir información a las Unidades terminales remotas de forma sea posible realizar el control, supervisión y adquisición de datos de los procesos correspondientes.

Los módulos de trabajo y la estación de supervisión están conectado mediante una red industrial. La red industrial utilizada en la rehabilitación del sistema de simulación comunica los diferentes componentes de a la red mediante el protocolo industrial Modbus TCP implementado sobre una interfaz RS485.

Se usa el protocolo Modbus TCP y la interfaz RS485 debido a que el segundo puerto de comunicación disponible de los PLCs es compatible con dicho protocolo e interfaz de comunicación.

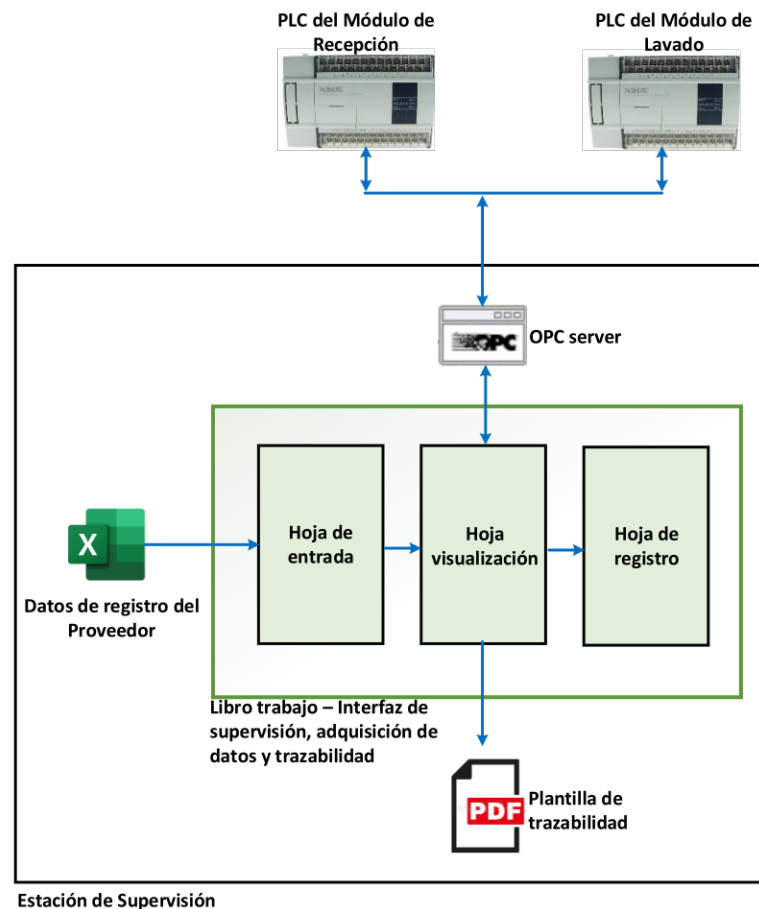
Los parámetros de comunicación de la red industrial se detallan en la siguiente tabla:

**Tabla 2.14.** Parámetros de Comunicación.

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Baud rate	19200
Bits de datos	8
Paridad	Par
Bits de parada	1
Control de flujo	Ninguno

La estación de supervisión podrá conectarse con los PLCs mediante un OPC server, el cual permitirá el acceso de escritura y lectura de los registros internos de cada PLC. El servidor también permitirá enlazar los datos de los PLCs con aplicaciones de Windows de esta manera se podrá utilizar un Libro de Registro realizado en Excel como interfaz de supervisión, adquisición y trazabilidad.

El Flujo de información de la estación se representará en la siguiente figura:



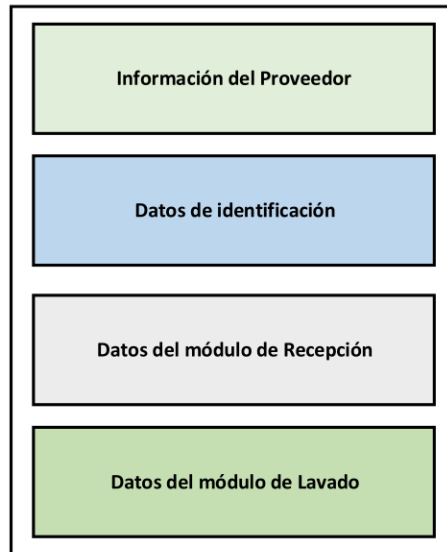
**Figura 2.18.** Flujo de datos de la estación de supervisión.

El libro de trabajo es un documento de Excel que sirve como interfaz de supervisión, adquisición de datos y trazabilidad. Este libro cuenta con tres hojas: la hoja de entrada en la cual se cargarán los datos del proveedor con la información del lote de papas a procesarse, la hoja de visualización que permite la lectura y escritura de los datos en tiempo real correspondientes al empaque de papas que se esté procesando, la hoja de registro que contiene la base de datos que recopila en una tabla todos los datos de los empaques que se hayan registrado luego de su procesamiento. Cabe mencionar que

### **Diseño guía de trazabilidad**

Cuando se finaliza la verificación y registro del empaque en la estación de lavado, además de guardar la información en la hoja de registro, también se imprime como PDF, la plantilla de registro asociado al empaque que contiene los datos de procesamiento. El conjunto de plantillas generadas conforma la guía de trazabilidad.

La estructura de la plantilla asociada aun empaque de papas se muestra en la siguiente figura:



**Figura 2.19.** Estructura de la plantilla de trazabilidad.

Dentro del campo de información del proveedor se colocará: el nombre, teléfono y dirección del proveedor. En los datos de identificación estará el código del empaque, número de lote y número de empaque. Los datos del módulo de recepción que incluirá la plantilla serán: el nombre del operador encargado, fecha de cosecha, fecha de recepción, peso, humedad y tamaño del empaque.

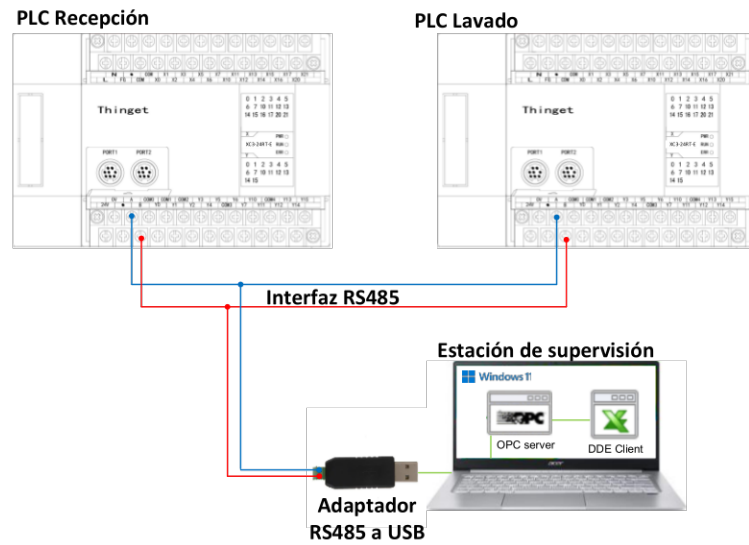
Los datos del módulo de lavado que incluirá la plantilla serán: el nombre del operador encargado, fecha de lavado, fecha de recepción, peso, humedad y la cantidad de sólidos en suspensión del agua residual usado en el lavado de dicho empaque.

## **2.3 Implementación**

### **Conexión de componentes**

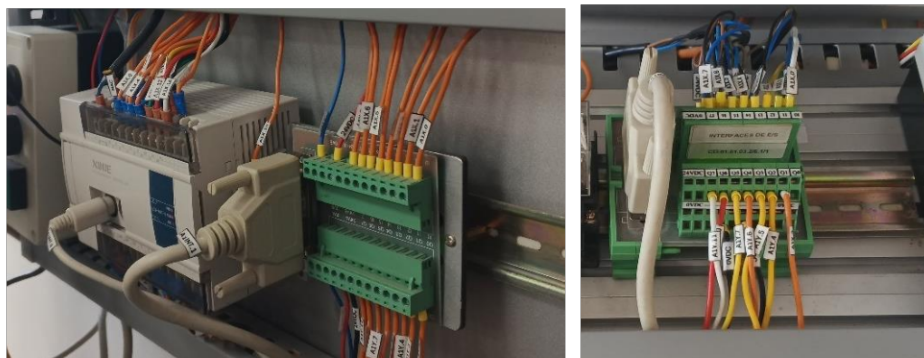
Una vez definidas las entradas y salidas a utilizar, así como la interfaz de comunicación a utilizar, se procede a conectar los módulos con la estación remota. Se procede a la conexión de los diferentes elementos. En el ANEXO V se encuentra el plano de conexión electroneumática donde se detalla la conexión de las entradas y salidas con los PLCs.

En la figura 2.20 se muestra la conexión de los PLCs de los módulos de recepción y lavado con la estación de supervisión a través de una interfaz RS485.



**Figura 2.20.** Diagrama de conexión mediante la interfaz RS485.

Adicionalmente, con objetivo de identificar de forma sencilla y rápida a que elemento corresponde cierto cable o bornera se etiqueto los cables de conexión.



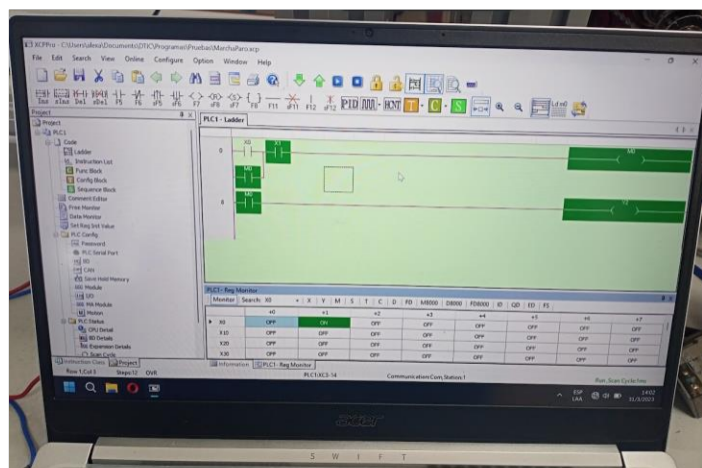
**Figura 2.21.** Uso de etiquetas en el cableado de elementos.

## Programación de PLCs

Para que los módulos ejecuten las tareas y condiciones de operación establecidas en el planteamiento y formulación del proceso es necesario realizar la programación del PLC.

Para la programación de los PLC Xinje el fabricante ofrece el software XCPPro con el cual se podrá programación y configuración del PLC, así como el monitoreo de las entradas y salidas.





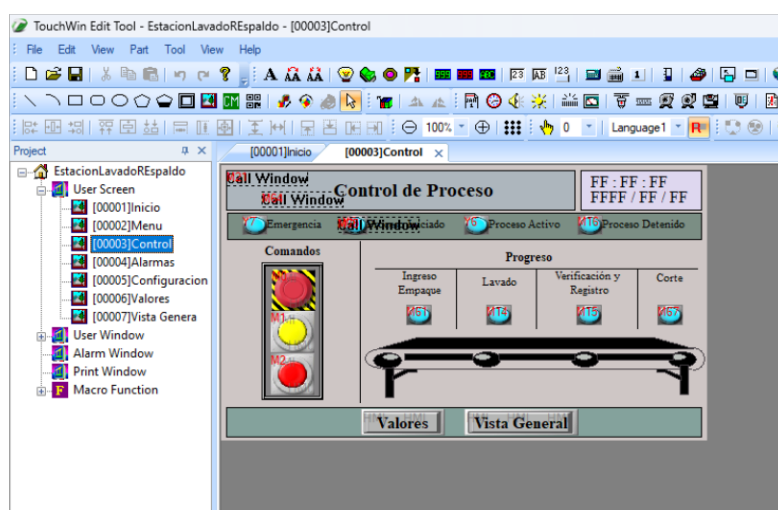
**Figura 2.22.** Uso del software XCP Pro para la programación de los PLCs.

El programa permite la programación a través del lenguaje Lader o Instruction List. La programación de los PLCs se realizó con el Lenguaje Ladder. Los programas generados se adjuntan en la carpeta de archivos del Anexo I.

### Programación de Pantalla táctil

Para realizar la programación de la interfaz HMI en las pantallas táctiles disponibles fue necesario descargar el software TouchWin Edit Tool. La versión utilizada fue la V2.D3n.

A través de este programa fue posible el diseño y la implementación de la interfaz hombre maquina en las pantallas táctiles. A través de las herramientas que posee este software fue posible cumplir con las guías de diseño GEDID para los apartados de arquitectura, navegación, distribución y color.



**Figura 2.23.** Uso del software TouchWin Edit tool para la programación de las pantallas táctiles.

## Configuración OPC server

Para este apartado se utilizó el programa KEPServer el cual es un servidor OPC que permite enlazar dispositivos de campo como PLCs con aplicaciones empresariales. Este programa cuenta con la ventaja de que es compatible con una amplia cantidad de protocolos industriales como el protocolo Modbus RTU.

Mediante KEPServer se desarrolló un proyecto en el cual se realiza las configuraciones necesarias para enlazar determinados registros de los PLCs con celdas dentro de un libro de EXCEL.

Dentro del servidor se crearon dos tipos de canales uno de tipo Modbus RTU, para vincular los PLCs con el servidor y un canal DDE client que permitirá la comunicación del servidor con aplicaciones de Windows como Excel.

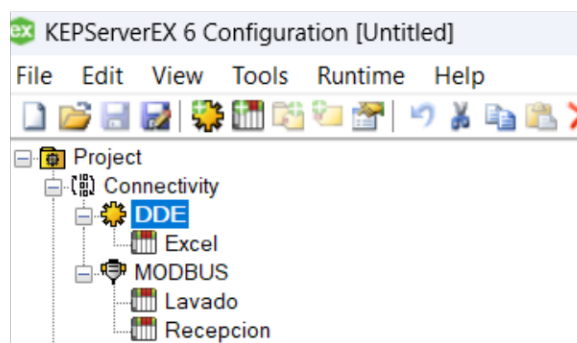


Figura 2.24. Canales de comunicación creados en el servidor.

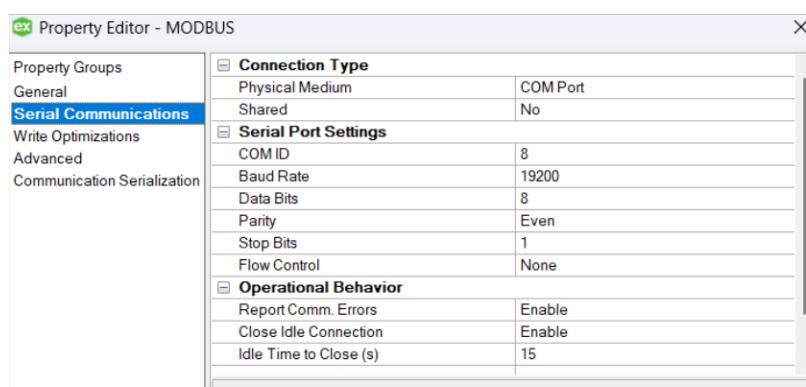
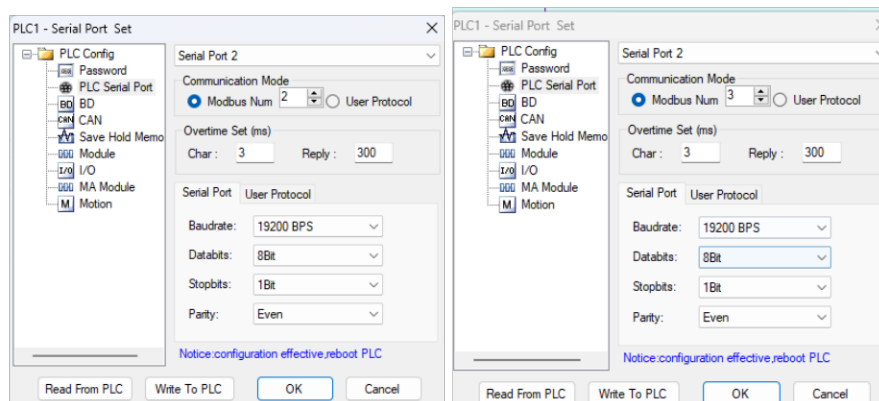


Figura 2.25. Parámetros de configuración del canal Modbus.

Los valores ajustados en la configuración del canal Modbus responden a los parámetros de comunicación establecidos en la tabla 2.16. Dichos parámetros también son ajustados en los PLCs.



**Figura 2.26.** Configuración de parámetros de comunicación en los PLC.

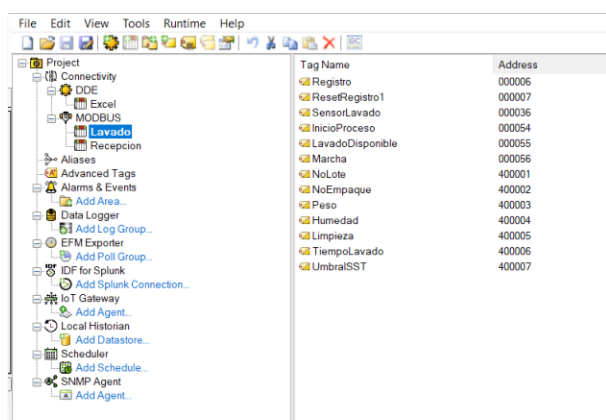
El ID del PLC de recepción es 2 mientras que para el PLC de Lavado es 3, mediante estos IDs el servidor puede conectarse con los PLCs

Device Name	Model	ID	Description
Lavado	Modbus	3	Estación De Lavado
Recepcion	Modbus	2	Estacion de recepcion

**Figura 2.27.** PLCs configurados dentro del Canal Modbus.

Finalmente, se puede acceder a los registros del PLC mediante el direccionamiento Modbus.

Dentro del canal DDE se crea un dispositivo el cual será el archivo de Excel que se desea vincular. Dentro del dispositivo Excel se puede acceder a una celda mediante el siguiente direccionamiento Excel|Hoja!C1F1, esta dirección le permite al servidor tener acceso a la fila 1 columna 1 de la hoja llamada Hoja de dentro del libro que se encuentre abierto en el instante que se esté ejecutando el servidor.



**Figura 2.28.** Registros del PLC de Lavado vinculados al servidor.

Project	Tag Name	Address
Connectivity	CargarDatos	Excel Banderas f1C2
DDE	CopiarEmpaque	Excel Banderas f2C2
Excel	VerificarRecepcio	Excel Banderas f3c2
MODBUS	RegistrarLavado	Excel Banderas f4c2
Lavado	ResetVerificarRecepcio	Excel Banderas f8c2
Recepcion	ResetRegistrarLavado	Excel Banderas f9c2
Aliases	DiaCultivoRec	Excel Banderas f14c2
Advanced Tags	MesCultivoRec	Excel Banderas f15c2
Alarms & Events	AñoCultivoRec	Excel Banderas f16c2
Add Area...	PesoRecepcion	Excel Formulario f25c8
Data Logger	HumedadRecep	Excel Formulario f27c8
Add Log Group...	GrandeRecepcion	Excel Formulario f30c8
EFM Exporter	MedianoRecepcion	Excel Formulario f30c9
Add Poll Group...	PequeñoRecepcion	Excel Formulario f30c10
IDF for Splunk	PesoLavado	Excel Formulario f39c8
Add Splunk Connection...	HumedadLavado	Excel Formulario f41c8
IoT Gateway	LimpiezaLavado	Excel Formulario f43c8
Add Agent...		
Local Historian		
Add Datastore...		
Scheduler		
Add Schedule...		
SNMP Agent		
Add Agent...		

**Figura 2.29.** Celdas vinculadas al servidor.

Para establecer vínculos entre los registros del PLC con celdas dentro del libro de registro se debe ajustar una etiqueta avanzada de enlace.

Project	Tag Name	Tag Type	Data Type
Connectivity	EtoLHumedad	Link	String
DDE	EtoLPeso	Link	String
Excel	EtoLResetRegistrar	Link	String
MODBUS	EtoRAñoCultivo	Link	String
Lavado	EtoRCargarDatos	Link	String
Recepcion	EtoRDiaCultivo	Link	String
Aliases	EtoRGrande	Link	String
Advanced Tags	EtoRMediano	Link	String
Alarms & Events	EtoRMesCultivo	Link	String
Add Area...	EtoRPequeño	Link	String
Data Logger	EtoRPeso	Link	String
Add Log Group...	EtoRResetVerificar	Link	String
EFM Exporter	LtoEHumedad	Link	String
Add Poll Group...	LtoELimpieza	Link	String
IDF for Splunk	LtoEPeso	Link	String
Add Splunk Connection...	LtoERegistrar	Link	String
IoT Gateway	LtoRLavadoDisponible	Link	String
Add Agent...	LtoRSensorLavado	Link	String
Local Historian	LtoRSensorLavadoo	Link	String
Add Datastore...	RtoECopiarEmpaque	Link	String
Scheduler	RtoEHumedad	Link	String
Add Schedule...	RtoEPeso	Link	String
SNMP Agent	RtoEVerificar	Link	String
Add Agent...			

**Figura 2.30.** Uso de etiquetas de enlace (link tag) para comunicar los registros del PLC con celdas de Excel.

### 3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 3.1 Resultados

En esta sección, se presentará los resultados de la rehabilitación de los módulos de recepción y lavado de la línea de simulación de la CAPEIPI. Por medio de evidencias fotográficas y filmográficas se expondrá el estado final de las estaciones ya rehabilitadas, así como el funcionamiento integral de los módulos para verificar si se cumple las condiciones de operación establecidas. Adicionalmente se tratará de evidenciar que la comunicación entre los módulos es adecuada y permite realizar la supervisión y la adquisición de datos para la guía de trazabilidad de forma adecuada.

##### Estado final de los módulos

En la figura 3.1 se muestra una vista general del estado final de los módulos tratados luego de la rehabilitación



**Figura 3.1.** Estructura de la plantilla de trazabilidad.

A continuación, se presentará la realización de pruebas de funcionamiento mediante la puesta en marcha y operación del sistema SCADA desarrollado dentro de una jornada de producción.

##### Ingreso a la interfaz HMI

Si bien se podría inicializar el proceso mediante los pulsantes de marcha físico, se recomienda primero ingresar a las interfaces HMI para verificar si se cumplen condiciones de inicio y para realizar el registro de datos.

La pantalla de título es la que se muestra de forma inicial en las pantallas táctiles de cada módulo.



Figura 3.2. Pantallas de inicio.

Al presionar el botón para ingresar aparecer un teclado numérico para ingresar la contraseña de usuario.

Si se ingresa mal la contraseña no se podrá ingresar al sistema



Figura 3.3. Ingreso a la interfaz con contraseña incorrecta.

Tabla 3.1. Contraseñas de los 3 niveles de acceso para el ingreso al HMI

Nivel de acceso	Contraseña
Nivel 1	1234
Nivel 2	1111
Nivel 3	4561



Figura 3.4. Ingreso a la interfaz con contraseña correcta.

Si se ingresa con la contraseña correcta se accederá al menú principal. Para poder tener acceso a todas las pantallas del HMI se ingresará con el nivel de acceso 3, y se accederá a la Pantalla de vista General.

### Puesta en marcha y prueba de funcionamiento

En la vista general del HMI de Recepción se podrá visualizar que los datos del proveedor no han sido cargados y que tampoco se han ubicado los pallets y empaques a procesar.



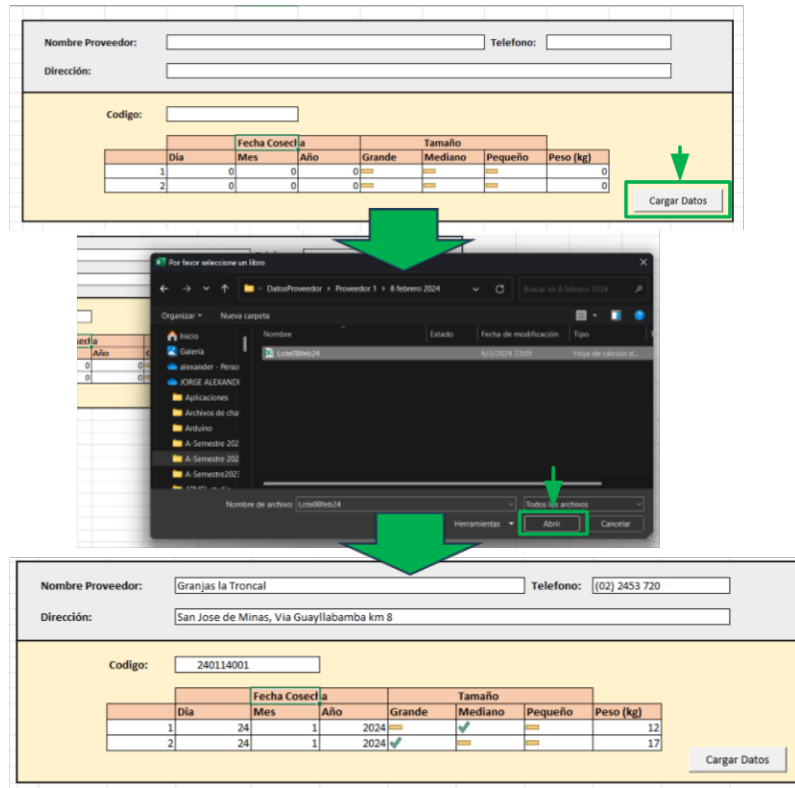
Figura 3.5. Vista General de Recepción al inicio del proceso.

Debido a ello si se presiona el cualquiera de los pulsante de marcha se notificará que no se puede iniciar el proceso indicando mediante una ventana emergente la condición que debe cumplirse.



Figura 3.6. Ventanas emergentes que notifican las condiciones faltantes para iniciar el proceso.

Los datos del proveedor deben ser cargados en la hoja de entrada del libro de registro tal como se indica en la figura 3.6.



**Figura 3.7.** Procedimiento para cargar los datos del proveedor

Luego de que se cargan los datos del proveedor se procede a colocar en el contenedor el lote de papas correspondiente y a ubicar los pallets en el depósito de pallets.



**Figura 3.7.** Ubicación de los pallets y empaques.

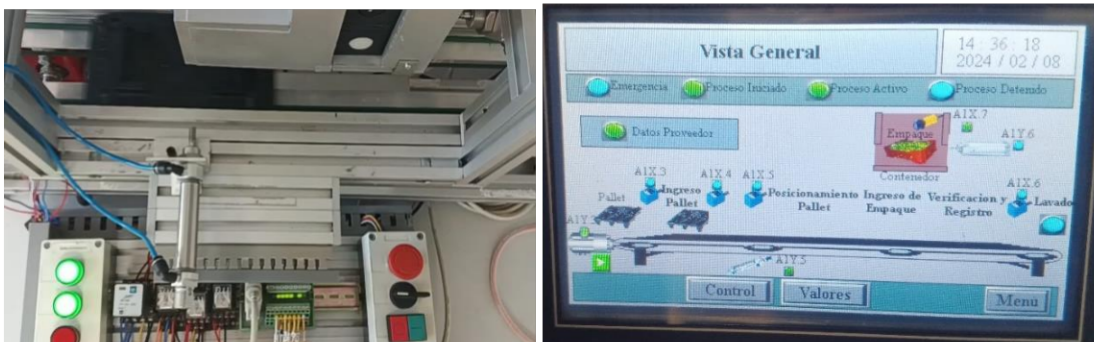
Al realizar lo anterior ahora se puede visualizar tanto en la ventana de proceso como en la ventana de control que se cumple con las condiciones de inicio.





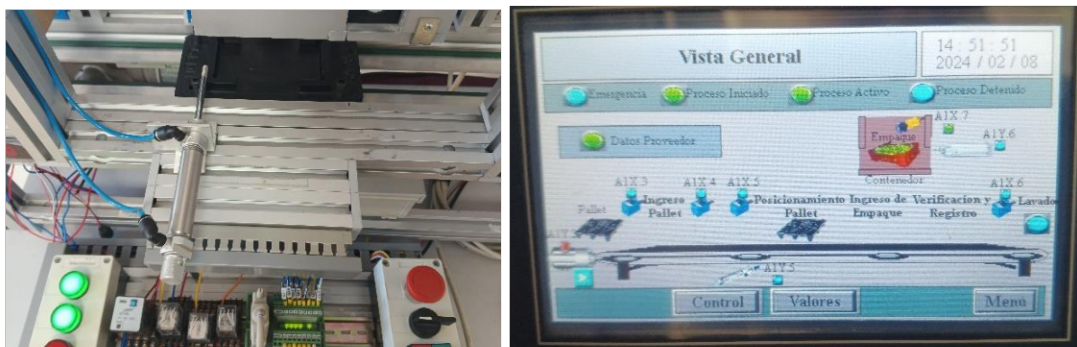
**Figura 3.8.** Visualización de cumplimiento de condiciones de inicio.

Una vez que se cumple las condiciones del proceso se inicia el proceso de recepción. Primero ingresa pallet.



**Figura 3.9.** Ingreso del pallet.

Cuando el pallet se acerca a la salida del contenedor, el pistón de posicionamiento de pallet bloquea el avance del pallet y lo posiciona justo debajo de la salida del contenedor.



**Figura 3.10.** Posicionamiento del Pallet.

Luego el pistón de posicionamiento de empaque sale y hace caer el empaque encima del pallet de transporte.



Figura 3.11. Ingreso de empaque.

Posteriormente la banda lleva al empaque hacia la zona de verificación y registro.



Figura 3.12. Empaque ubicado en zona verificación y registro.

Cuando llega allí se mostrará una ventana emergente que notifica al operador que se dirija a la pantalla de control para efectuar el registro. En la pantalla aparecerá una ventana emergente que mostrara los datos del empaque que fueron cargados de la hoja de registro del fabricante, dichos datos también se mostraran simultáneamente en la hoja de visualización del libro de registro.

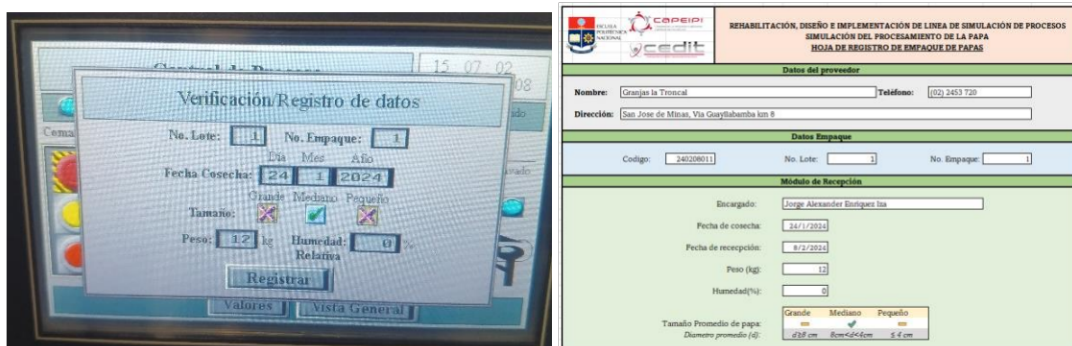


Figura 3.13. Visualización de los datos del empaque en el HMI y en la hoja de visualización del libro de registro.

En esta parte del proceso el operador debe realizar la medición de peso y humedad para posteriormente ingresarlo. Luego de que el operador ingresa y actualiza los datos del empaque puede registrarlos mediante el botón de registro. Si el registro es exitoso se añadirá una nueva columna en la tabla de la hoja de registro con los datos ingresados en el módulo de recepción del empaque actual. También aparecerá una ventana emergente que notifica que efectivamente se realizó el registro.



**Figura 3.14.** Ventana emergente que indica que los datos del empaque se han registrado.

Empaque			Módulo de recepción						
Código	No. Lote	No. Empaque	Fecha Cosecha	Fecha Recepción	Peso (kg)	Humedad Relativa (%)	Tamaño		
							Grande	Mediano	Pequeño
240208011	1	1	24/1/2024	8/2/2024	13	52	—	✓	—

**Figura 3.15.** Datos del módulo de recepción registrados en la base de datos.

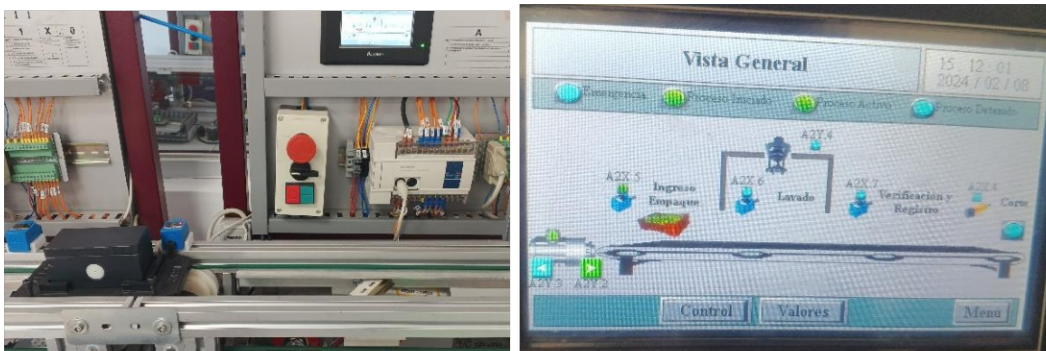
Al cerrar la ventana emergente el empaque se dirigirá al módulo de lavado. Una vez que el primer sensor del módulo de lavado detecta la presencia del empaque inicia el proceso de lavado y se detiene la banda transportadora del módulo de recepción. Luego de 15 segundos de espera el módulo automáticamente realiza la recepción del siguiente empaque del lote. Sin embargo, cuando el segundo empaque llega a la zona de registro en la pantalla de control aparecerá una ventana emergente que notifica que el proceso de lavado esta activo y que se debe esperar que finalice para registrar el segundo empaque.



**Figura 3.16.** Ventana emergente de espera

Al finalizar el proceso de lavado aparecerá la ventana emergente de la figura 3.11 para realizar el registro del segundo empaque.

Una vez que inicia el proceso de lavado el empaque se dirige hacia la zona de lavado para que se realice la limpieza del empaque.



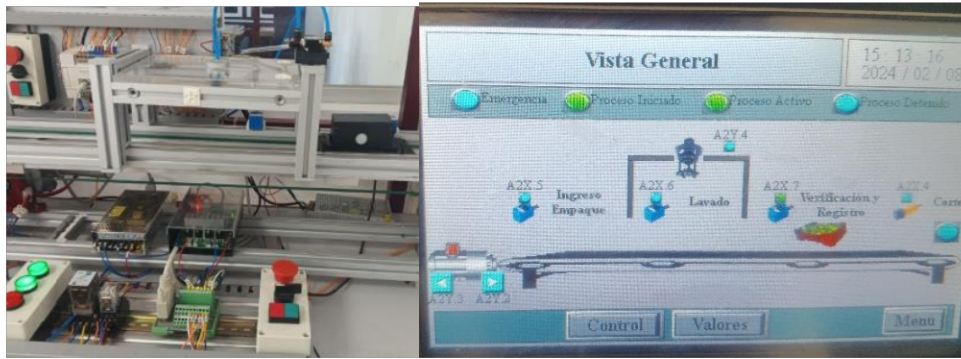
**Figura 3.17.** Ingreso del empaque al módulo de lavado.

Una vez que el empaque llega a la zona de lavado se detiene la banda y se activa el aspersor para que represente la limpieza del empaque de papas.



**Figura 3.18.** Lavado del empaque.

Al finalizar el lavado, el empaque se envía a la zona de registro para validar la limpieza del empaque y realizar el registro.



**Figura 3.19.** Empaque ubicado en zona de registro.

En la pantalla de control se mostrará la ventana emergente de validación y registro cuyos datos están asociados a la hoja de visualización del libro de registro.



Módulo de Lavado	
Encargado:	Jorge Alexander Enriquez Iza
Fecha de Lavado:	8/2/2024
Peso (kg):	13
Humedad(%):	52
Sólidos en suspensión SST (mg/l):	0
<i>Agua residual de lavado</i>	

**Figura 3.20.** Datos de lavado mostrados en el HMI y en la hoja de visualización.

Si el operador ingresa un valor de SST mayor al umbral y desea registrar, el empaque de papas volverá a la zona de lavado para volver a realizar la limpieza del empaque.



**Figura 3.21.** Ventana emergente que indica limpieza de empaque insatisfactorio.

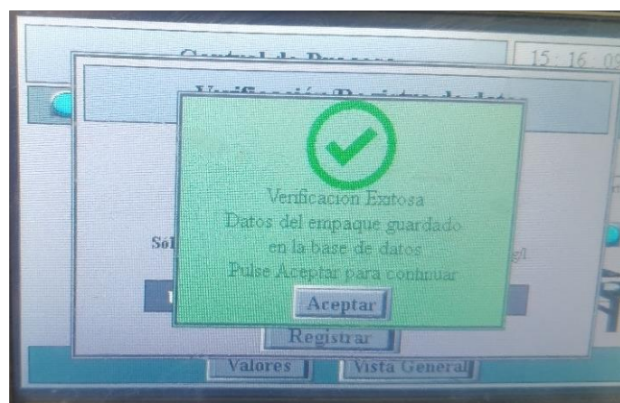
Si se cumple con los requerimientos de limpieza al registrar los datos de lavado se guardarán dicha información en la tabla de base de datos y adicionalmente se imprimirá la plantilla de registro para formar parte de la guía de trazabilidad.

Módulo de lavado			
Fecha Lavado	Peso(kg)	Humedad Relativa(%)	Sólidos en suspensión SST agua residual lavado (mg/l)
8/2/2024	13	44	750

**Figura 3.22.** Datos del módulo de lavado registrados en la base de datos.

La plantilla de registro generada se adjunta en el Anexo V.

Si los datos de lavado se registraron de forma exitosa se mostrar la siguiente ventana emergente.



**Figura 3.23.** Ventana emergente de datos registrados exitosamente.

Al cerrar la ventana emergente el empaque se envía al módulo de corte, y cuando llega allí se detiene la banda.



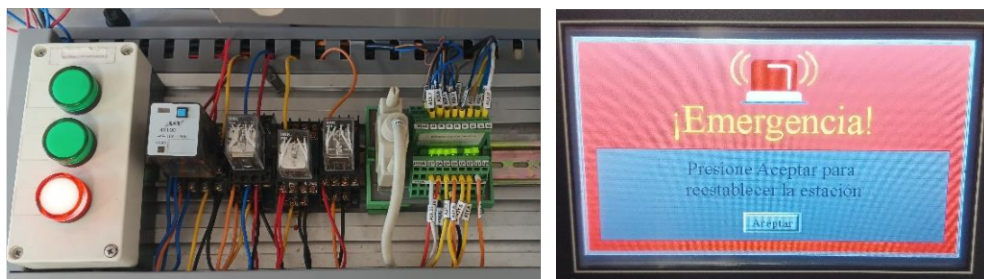
**Figura 3.24.** Empaque enviado a corte.

Al retirar el empaque de la banda el proceso de lavado finaliza y se puede realizar el registro del segundo empaque en el módulo de recepción.

Una vez que se finaliza con el registro de todos los empaques del lote nuevamente debe cumplirse las condiciones de inicio para realizar el procesamiento de otro lote de papas.

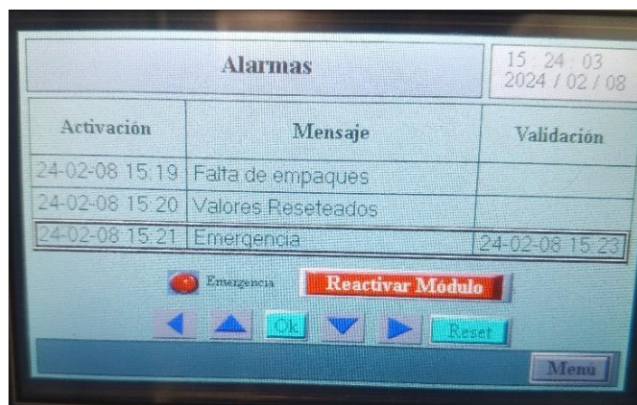
### Condiciones de Emergencia

Al presionar el pulsante de Emergencia se activa una condición de emergencia. Para visualizar la condición de emergencia, se despliega una ventana emergente de emergencia en el HMI y se enciende la luz piloto roja del tablero de control inferior.



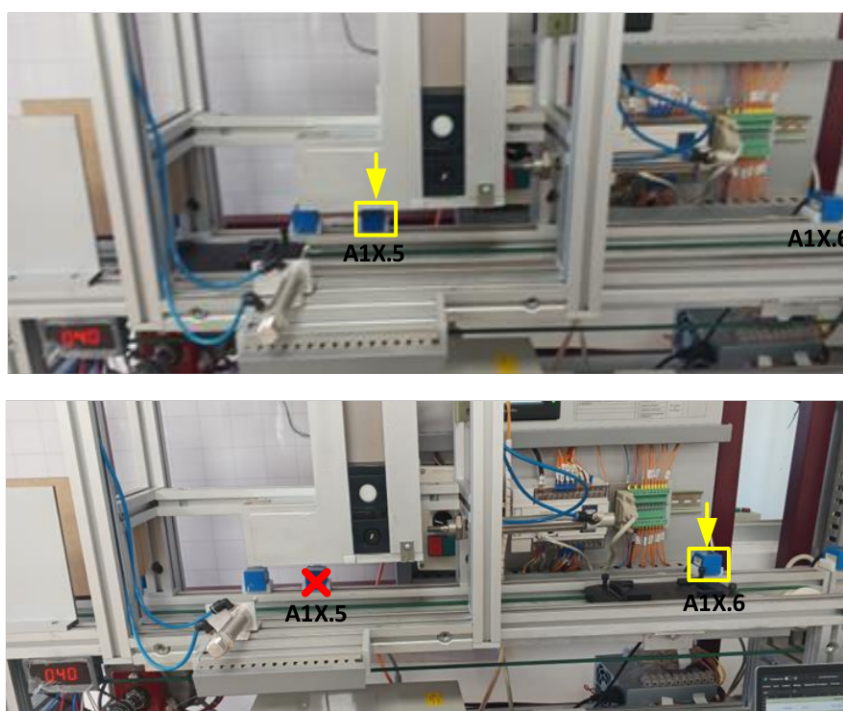
**Figura 3.25.** Condición de emergencia mostrada en el HMI y en el tablero inferior.

Para reactivar la estación se debe desenclavar el pulsante de emergencia e ir a la ventana de alarmas, en la cual se podrá visualizar el mensaje correspondiente a la alarma de emergencia. En la ventana de alarma se mostrará visible el botón de reactivar la estación, al presionarlo la condición de emergencia se desactivará y el proceso podrá reanudarse de nuevo.



**Figura 3.26.** Pantalla de Alarmas.

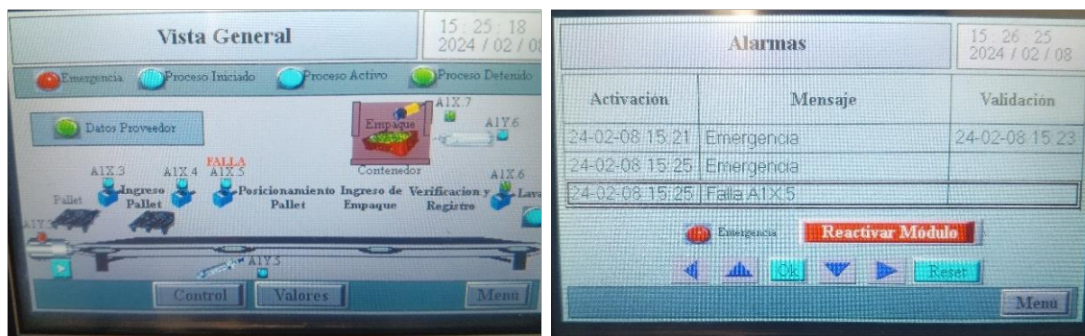
La condición de emergencia también puede activarse si existe una falla por parte de determinados sensores por ejemplo si espera que el sensor A1X.5 detecte el pallet para posicionarlo, pero por alguna razón el pallet no es detectado por el sensor y se pasa de forma que ahora el pallet es detectado por el sensor A1X.6.



**Figura 3.27.** Falla de un sensor.

En el caso de que ocurra esta situación se activara la condición de emergencia que detiene el proceso, pero adicionalmente en la pantalla de vista general se mostrar cual es el sensor que presentó la falla y de igual se mostrar el mensaje correspondiente en la ventana de alarmas.





**Figura 3.28.** Alerta e identificación de falla en el sensor A1X.5.

Durante la jornada de procesamiento se realizó el procesamiento de tres lotes de papas de diferentes proveedores. Al final de la jornada se procesaron seis empaques. Por consiguiente, se debe haber generado 6 plantillas de registro que conformara parte de la guía de trazabilidad del producto procesado. Dichas plantillas se encuentran en la carpeta de archivos del proyecto en el Anexo I. Adicionalmente, los datos cada empaque procesado son registrados en la base de datos de la hoja de registro. En la figura 3.26 se muestra cómo queda la tabla de base de datos luego de la jornada de procesamiento.

Empaque			Módulo de recepción						Módulo de lavado				
Código	No. Lote	No. Empaque	Fecha Cosech	Fecha Recepc	Peso (kg)	Humedad Relativa (%)	Tamaño			Fecha Lavado	Peso(kg)	Humedad Relativa(%)	Sólidos en suspensión SST agua residual lavado (mg/l)
							Grande	Mediano	Pequeño				
240208032		3	31/1/2024	8/2/2024	13	50	⇒	⇒	✓	8/2/2024	13	50	899
240208031		3	30/1/2024	8/2/2024	18	44	✓	⇒	⇒	8/2/2024	18	44	200
240208022		2	27/1/2024	8/2/2024	12	54	⇒	⇒	✓	8/2/2024	12	60	540
240208021		2	26/1/2024	8/2/2024	13	60	⇒	⇒	✓	8/2/2024	13	60	800
240208012		1	24/1/2024	8/2/2024	17	50	✓	⇒	⇒	8/2/2024	17	61	500
240208011		1	24/1/2024	8/2/2024	13	52	⇒	✓	⇒	8/2/2024	13	44	750

**Figura 3.29.** Base de datos generada durante la jornada de procesamiento.

Finalmente, el plan de capacitación acerca del uso y funcionamiento de los módulos rehabilitados dirigido a los socios de la CAPEIPI se basa en el seguimiento segmentado en 5 sesiones donde se abordan los capítulos correspondientes a la guía de usuario desarrollada y presentada en el Anexo VI.

## 3.2 Conclusiones

- Mediante las pruebas de funcionamiento del sistema SCADA implementado en la simulación del proceso de recepción y lavado de un cadena de procesamiento de papas, que se ejecuta en la línea de simulación de procesos de la CAPEIPI se pone en evidencia que los módulos asignados han sido restaurados de forma exitosa ya que se demuestra que todos los elementos pertenecientes funcionan debido a que permiten que el sistema SCADA diseñado logre cumplir con los objetivos de

Supervisión, Control y Adquisición de datos. Adicionalmente se logra demostrar que efectivamente es posible realizar el diseño de un sistema de control para un sistema determinado mediante el uso de los módulos de la línea de simulación.

- Gracias a la revisión bibliográfica referente a sistemas industriales, control de procesos y redes industriales se obtuvo las herramientas y consideraciones necesarias para llevar a cabo el diseño e implementación del sistema de control SCADA
- A través de la revisión inicial de los módulos asignados se logró: identificar los elementos que presentan fallos, así como las acciones de ajuste y corrección necesarias para que los módulos puedan ser utilizados nuevamente. Ya con los módulos reformados se determinó también que se cuenta con los componentes necesarios (tanto de software como hardware) para la implementación de un sistema SCADA.
- La programación del PLC es esencial en el diseño de sistemas de control ya que permite generar las acciones de control necesarias para llevar a cabo el proceso planteado.
- El diseño y desarrollo de interfaces HMI fundamentándose en guías de diseño como GEDIS, permite obtener una interfaz estructurada de mejor manera que cuenta con especificaciones definidas que facilitaran la interpretación y uso de la interfaz para los diferentes miembros que formen parte del desarrollo del proceso.
- Para establecer la comunicación entre los módulos y la estación de supervisión, el uso un OPC server fue una herramienta de gran utilidad ya que gracias a la característica de ofrecer compatibilidad con PLCs de diferentes fabricantes, fue posible determinar una manera sencilla de enlazar los registros de los PLCs asignados a datos de proceso con una aplicación de Windows como Excel que permite el manejo y registro de información mediante una interfaz fácil de utilizar.
- A través de las evidencias presentadas en los resultados se puede demostrar que el sistema de control cumple con las condiciones de operación descritas en el planteamiento y formulación del proceso, así mismo se considera que la comunicación entre los módulos y la estación de supervisión es adecuada debido a en las pruebas realizadas se puede apreciar que el intercambio de información entre los registros del PLC y las celdas de la hoja de visualización es casi instantáneo.

### 3.3 Recomendaciones

- Para el diseño e implementación de sistemas de control más complejos dentro de la línea de simulación, se recomienda que se añada módulos de expansión que permitan el manejo de entradas y salidas analógicas ya que en procesos industriales es muy común el uso de controladores PID para el control de temperatura, nivel, velocidad, etc.
- Si la comunicación falla la operación del proceso puede verse interrumpida ya para avanzar con el proceso en algunos casos es necesario leer comandos provenientes de otro módulo o de la estación de supervisión por lo que se recomienda la incorporación de un modo de operación manual de forma que el operador pueda continuar con la ejecución del proceso en el caso de que exista una falla de comunicación
- Si bien Excel es una opción adecuada para el registro y almacenamiento de información, la generación de datos dentro de un proceso industrial genera grandes cantidades de información por lo que la gestión de información en Excel puede resultar más complicada ante tal situación, por lo que se considera recomendable desarrollar la base de datos y las plantillas de registro de empaques en una aplicación como Access ya que la función principal de este programa es generar bases de datos, además cuenta con la ventaja de almacenar grandes cantidades de datos y la búsqueda de información es más fácil.

## 4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CAPEIPI, «La institución,» 2023. [En línea]. Available: <https://capeipi.org.ec/site/la-institucion/>. [Último acceso: 2024 Febrero 7].
- [2] MIPRO, «Ecuador Inaugura Centro de Diseño Industrial e Innovación Tecnológica,» 12 Febrero 2016. [En línea]. Available: <https://youtu.be/OmdQ91tSMJQ>. [Último acceso: 2024 Febrero 7].
- [3] M. Averill, Simulation Modeling and Analysis, New york: Mc Graw Hill Education, 2015.
- [4] M. Zapata, L. Topón-Visarrea y E. Tipán, Automatización y Redes Industriales, Quito: Universidad Tecnológica Indoamérica, 2021.

- [5] S. Boyer, SCADA Supervisory Control And Data Acquisition, International Society of Automation, 2004.
- [6] A. Hualpa y J. Rangel, «Trazabilidad en el sector agrícola para el periodo 2017-2022,» *Agronomía Mesoamericana*, vol. 34, nº 2, 2013.
- [7] B. René, «Es necesario volver a dar énfasis a la industrialización del Ecuador,» Banco Central del Ecuador, Quito, 1990.
- [8] D. Carrillo, «La industria de alimentos y bebidas en el Ecuador,» Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2009.
- [9] Mucho mejor en Ecuador, «El sector de alimentos y bebidas, un mercado que sigue creciendo en el Ecuador.,» 29 Junio 2022. [En línea]. Available: <https://muchomejorecuador.org.ec/elementor-26163/>. [Último acceso: 7 Febrero 2024].
- [10] Cámara de Comercio de Quito, «La Industria de Alimentos y Bebidas explora nuevas oportunidades en el mercado ecuatoriano,» 17 Febrero 2023. [En línea]. [Último acceso: 7 Febrero 2024].
- [11] D. Berkowitz, «Industria Alimentaria,» de *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo*, Madrid, Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, 1998, pp. 67.1-67.35.
- [12] P. Fellows, Food Processing Technology, Cambridge: Woodhead, 2000.
- [13] ARCSA, «Reglamento de registro y control sanitario de alimentos procesados,» 9 Junio 2014. [En línea]. Available: <https://www.aduana.gob.ec/archivos/Boletines/2016/REG%20Y%20CONTROL%20SANITARIO%20DE%20ALIMENTOS%20PROCESADOS.pdf>. [Último acceso: 9 Febrero 2024].
- [14] ARCSA, «Reglamento de Buenas practicas para alimentos procesados,» 4 Noviembre 2002. [En línea]. Available: <https://www.controlsanitario.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/11/REGLAMENTO-DE-BUENAS-PRACTICAS-PARA-ALIMENTOS-PROCESADOS.pdf>. [Último acceso: 8 Febrero 2024].
- [15] L. Ramos, «Contaminación de alimentos en Ecuador. Canela con plomo y cromo.,» 24 Enero 2024. [En línea]. Available: <https://youtopiaecuador.com/educacion-y->

conocimiento/contaminacion-alimentos-plomo-ecuador-cromo/. [Último acceso: 8 Febrero 2024].

- [16] T. Basantes, J. Aragón, L. Albuja y L. Vázquez, «Diagnóstico de producción y comercialización de papa en la Zona 1 del Ecuador, año 2019,» *e-Agronegocios*, vol. 6, nº 2, pp. 104-120, 2019.
- [17] INEC, «Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua,» INEC, Abril, 2023.
- [18] J. Ortega y H. Bolaños, «Estado de arte del cultivo de papa para procesamiento de bastones prefritos congelados en el Ecuador,» *Revista Latinoamericana de la Papa*, vol. 25, nº 2, pp. 42-57, 2021.
- [19] J. Rosero, «Diseño de la tecnología aplicada para el tratamiento pos cosecha de la papa capiro en la parroquia de Cristóbal Colón, Cantón Montúfar, provincia del Carchi,» Tesis previa a la obtencion del titulo de ingeniero agroindustrial, Facultad de ingeniería en ciencias agropecuarias y ambientales, Universidad técnica del norte, Ibarra, 2021.
- [20] H. Naranjo, N. Mastrocola y M. Pumisacho, «Poscosecha,» de *El cultivo de la papa en Ecuador*, Quito, INIAP, 2002, pp. 171-185.
- [21] A. Iglesias, M. Acosta y M. Salazar, «Control automático de producción de papas fritas,» [En línea]. Available: <https://cap.davinsony.com/2019-2/informe/papa.pdf>. [Último acceso: 9 Febrero 2024].
- [22] E. Dale, F. Thomas y A. Duncan, *Process Dynamic and Control*, New Jersey: John Wiley & Sons, 2004.
- [23] F. Cembranos, *Automatismos Eléctricos, Neumáticos e Hidraulicos*, Madrid: Interntional Thompson, 1999.
- [24] O. Boix, F. Zabaleta y M. Saigí, *Automatismo eléctricos programables*, Barcelona: Edicions UPC, 1998.
- [25] J. Rodriguez, «Buenas prácticas par diseño de HMI de alto rendimiento,» Trabajo previo a la obtencion del titulo de ingeniero electrónico. Universidad tecnológica de Bolivar. Departamento de ingeniería electrónica., Cartagena, 2012.

- [26] A. Cueva y A. Villa, «Diseño e implementación de un sistema SCADA Para la línea de simulacion de proceso Industriales de CEDIT, basado en una cadena de procesamiento de pollos,» Trabajo de Titulación, Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Universidad de las fuerzas armadas, Sangolqui, 2019.
- [27] P. Ponsa y A. Granollers, «Diseño industrial,» de *Diseño de pantalla*, Cataluña, Universidad Politénica de Cataluña, 2010.
- [28] Kepware, «Qué es OPC y qué es un OPC Server.,» 8 Mayo 2019. [En línea]. Available: <https://www.kepserverexopc.com/que-es-opc-y-que-es-un-opc-server/>. [Último acceso: 10 Febrero 2024].
- [29] SASSIN, «Proximity switch,» [En línea]. Available: <https://inselec.com.ec/wp-content/uploads/sensores.pdf>. [Último acceso: 2024 Febrero 9].
- [30] Uniquegoods, «CCM5D especification,» [En línea]. Available: [https://cdn.robotshop.com/rbm/4ffa89e3-5700-4de0-9bdb-73084eca3149/1/1e46fe49-4d1d-4082-9082-3c1a9eb14992/5faeb3ba\\_ccm5d-specification.pdf](https://cdn.robotshop.com/rbm/4ffa89e3-5700-4de0-9bdb-73084eca3149/1/1e46fe49-4d1d-4082-9082-3c1a9eb14992/5faeb3ba_ccm5d-specification.pdf). [Último acceso: 2024 Febrero 10].
- [31] Guoyiqidong, «Pistones neumáticos,» [En línea]. Available: [http://www.guoyiqidong.com/guoyiqidong\\_Product\\_2064821889.html](http://www.guoyiqidong.com/guoyiqidong_Product_2064821889.html). [Último acceso: 2024 Febrero 10].
- [32] Xinje, «XC Series PLC hardware user manual,» [En línea]. Available: <https://www.spstiger.de/downloads/Xinje%20XC%20SPS/XC%20hardware%20manual.pdf>. [Último acceso: 2024 febrero 10].
- [33] Aguas industriales, «Aguas residuales en el sector de las conservas vegetales,» 28 Mayo 2015. [En línea]. Available: <https://aguasindustriales.es/aguas-residuales-en-el-sector-de-las-conservas-vegetales/>. [Último acceso: 2024 Febrero 11].

## **5 ANEXOS**

ANEXO I. ENLACE A VIDEOS Y ARCHIVOS DEL PROYECTO

ANEXO II. LISTA DE ENTRADAS Y SALIDAS CONECTADAS A LOS PLC

ANEXO III. DIAGRAMAS DE FLUJO

ANEXO IV. NOMENCLATURA DE ELEMENTOS DE PLANO ELÉCTRICO

ANEXO V. PLANOS DE CONEXIÓN ELECTRONEUMÁTICA

ANEXO VI. PLANTILLA DE REGISTRO

ANEXO VII. MANUAL DE USUARIO DE LOS MODULOS DE RECEPCIÓN Y LAVADO

## ANEXO I

A través del siguiente el enlace se podrá acceder a la carpeta compartida que contiene todos los archivos utilizados para la elaboración de este proyecto, así como los videos en los que se ejecuta las pruebas de funcionamiento

[JORGE ALEXANDER ENRIQUEZ IZA TIC](#)



## ANEXO II

En las siguientes tablas enumeran las entradas y salidas del PLC que serán utilizadas para la recepción y lavado, así como el detalle del elemento de entrada o salida correspondiente.

**Tabla 5.1.** Entradas del módulo de recepción.

Entrada PLC	Etiqueta asignada	Elemento	Descripción
X0	A1X.0	Pulsante de Emergencia	Ubicado en el tablero inferior, permite detener el proceso y activar condición de emergencia.
X1	A1X.1	Pulsante de Marcha	Ubicado en el tablero inferior permite iniciar o reanudar la ejecución del proceso.
X2	A1X.2	Pulsante de Paro	Ubicado en el tablero inferior permite detener la ejecución del proceso.
X3	A1X.3	Sensor inductivo	Ubicado la banda, sirve para detectar la presencia de pallets.
X4	A1X.4	Sensor inductivo	Ubicado en la banda sirve para detectar el pallet se encuentra antes del contenedor de empaques.
X5	A1X.5	Sensor inductivo	Ubicado en la banda sirve para detectar si el pallet se ubica debajo de la salida del contenedor de empaques.
X6	A1X.6	Sensor inductivo	Ubicado en la banda sirve detectar si el empaque llega a la zona de registro.
X7	A1X.7	Sensor óptico	Ubica en el contenedor de empaques sirve para detectar si el contenedor se encuentra vacío.
X10	A1X.10	Pulsante de Marcha	Ubicado en el tablero superior permite iniciar o reanudar la ejecución del proceso.
X11	A1X.11	Pulsante de Paro	Ubicado en el tablero superior permite detener la ejecución del proceso.
X12	A1X.12	Selector posición 1	Ubicado en el tablero superior, permite reiniciar el proceso

X13	A1X.13	Selector posición 2	Ubicado en el tablero superior, permite reiniciar las condiciones de emergencia
X14	A1X.14	Pulsante de Emergencia	Ubicado en el tablero superior, permite detener el proceso y activar condición de emergencia.
X15	A1X.15	Entrada no utilizada	Entrada no utilizada

**Tabla 5.2.** Entradas del módulo de lavado.

<b>Entrada PLC</b>	<b>Etiqueta asignada</b>	<b>Elemento</b>	<b>Descripción</b>
X0	A2X.0	Pulsante de Emergencia	Ubicado en el tablero inferior, permite detener el proceso y activar condición de emergencia.
X1	A2X.1	Pulsante de Marcha	Ubicado en el tablero inferior permite iniciar o reanudar la ejecución del proceso.
X2	A2X.2	Pulsante de Paro	Ubicado en el tablero inferior permite detener la ejecución del proceso.
X3	A2X.3	Selector posición 1	Ubicado en el tablero inferior, permite reiniciar el proceso
X4	A2X.4	Sensor óptico	Ubicado en la banda sirve para detectar si el empaque se ubica al final del módulo de lavado.
X5	A2X.5	Sensor inductivo	Ubicado en la banda sirve para detectar si el empaque se ubica al inicio del módulo de lavado
X6	A2X.6	Sensor inductivo	Ubicado en la banda sirve detectar si el empaque llega a la zona de lavado
X7	A2X.7	Sensor inductivo	Ubica en el contenedor de empaques sirve para detectar si el empaque se llega a la zona de registro
X10	A2X.10	Pulsante de Marcha	Ubicado en el tablero superior permite iniciar o reanudar la ejecución del proceso.

X11	A2X.11	Pulsante de Paro	Ubicado en el tablero superior permite detener la ejecución del proceso.
X12	A2X.12	Selector posición 1	Ubicado en el tablero superior, permite reiniciar el proceso
X13	A2X.13	Selector posición 2	Ubicado en el tablero superior, permite reiniciar las condiciones de emergencia
X14	A2X.14	Pulsante de Emergencia	Ubicado en el tablero superior, permite detener el proceso y activar condición de emergencia.
X15	A2X.15	Entrada no utilizada	Entrada no utilizada

**Tabla 5.3.** Salidas del módulo de recepción.

Salida PLC	Etiqueta asignada	Elemento	Descripción
Y0	A1Y.0	Salida no usada	Salida no usada
Y1	A1Y.1	Salida no usada	Salida no usada
Y2	A1Y.2	Salida no usada	Salida no usada
Y3	A1Y.3	Banda transportadora	Se acciona el motor DC para que la banda gire en sentido horario (avance)
Y4	A1Y.4	Banda transportadora	Se acciona el motor DC para que la banda gire en sentido antihorario (retroceso)
Y5	A1Y.5	Pistón neumático	Acciona la electroválvula para que el vástago del pistón de posicionamiento de pallet entre
Y6	A1Y.6	Pistón neumático	Acciona la electroválvula para que el vástago del pistón de posicionamiento de empaque salga
Y7	A1Y.7	Luz indicadora	Luz de color verde ubicada en el tablero inferior que indica que el proceso ha iniciado
Y10	A1Y.10	Luz indicadora	Luz de color verde ubicada en el tablero inferior que indica que el proceso se encuentra en ejecución o detenido

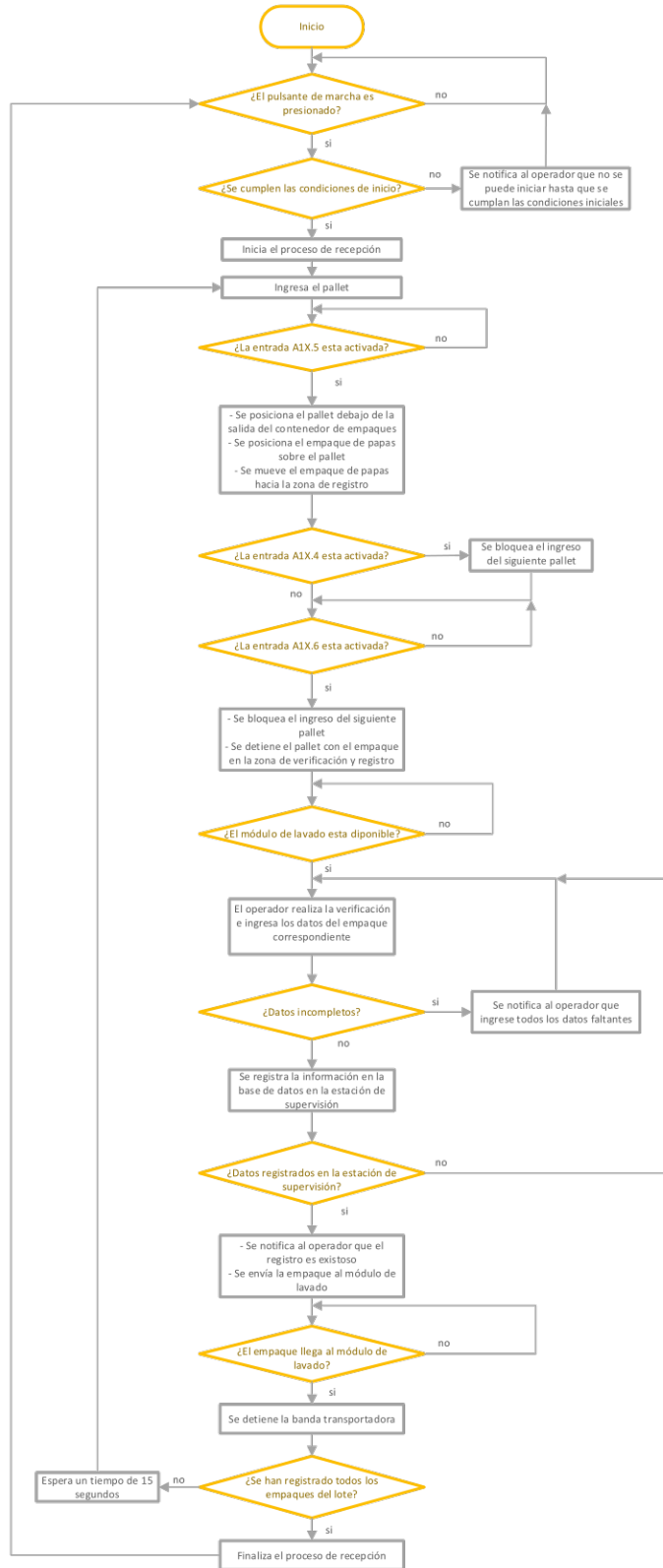
Y11	A1Y.11	Luz indicadora	Luz de color rojo ubicada en el tablero inferior que indica que una condición de emergencia está activa.
-----	--------	----------------	--

**Tabla 5.4.** Salidas del módulo de lavado.

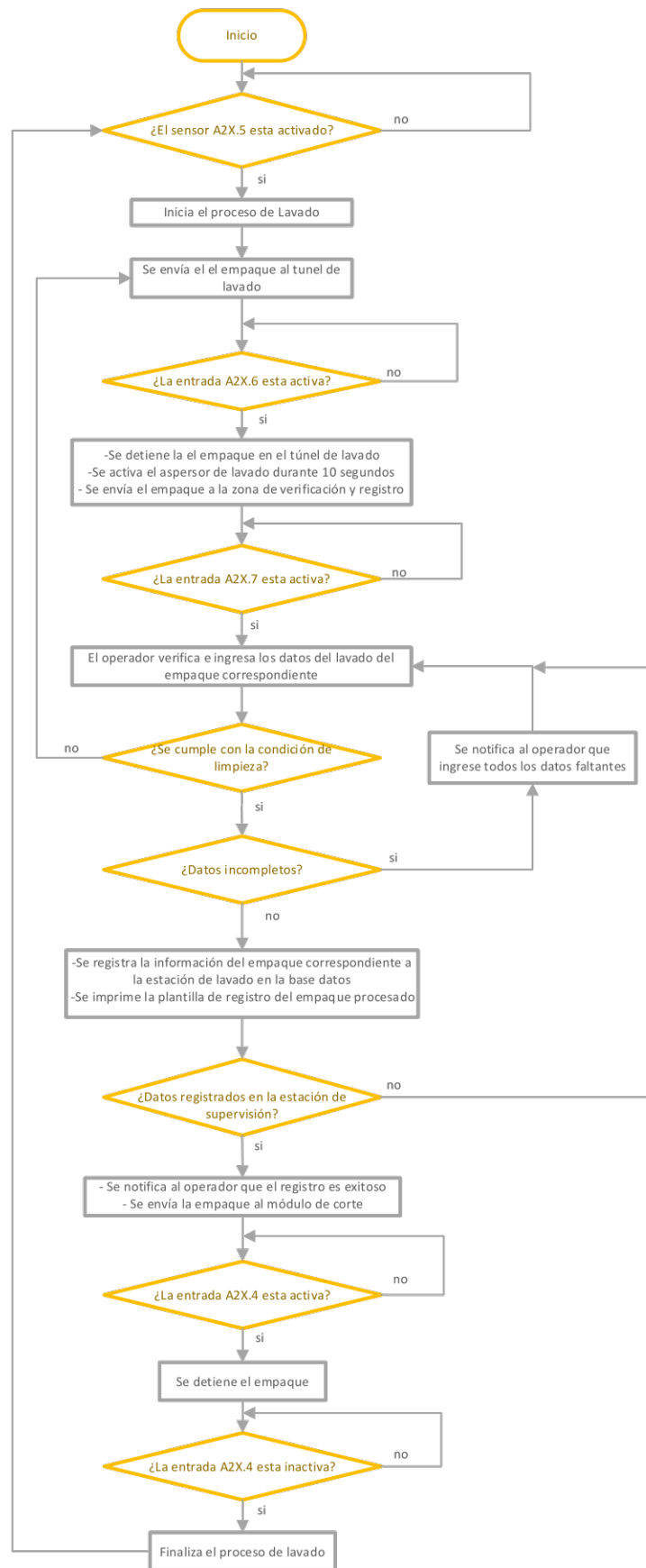
<b>Entrada PLC</b>	<b>Etiqueta asignada</b>	<b>Elemento</b>	<b>Descripción</b>
Y0	A2Y.0	Salida no usada	Salida no usada
Y1	A2Y.1	Salida no usada	Salida no usada
Y2	A2Y.2	Banda transportadora	Se acciona el motor DC para que la banda gire en sentido horario (avance)
Y3	A2Y.3	Banda transportadora	Se acciona el motor DC para que la banda gire en sentido antihorario (retroceso)
Y4	A2Y.4	Aspersor	Se acciona la electroválvula que activa el aspersor neumático
Y5	A2Y.5	Luz indicadora	Luz de color verde ubicada en el tablero inferior que indica que el proceso ha iniciado
Y6	A2Y.6	Luz indicadora	Luz de color verde ubicada en el tablero inferior que indica que el proceso se encuentra en ejecución o detenido
Y7	A2Y.7	Luz indicadora	Luz de color rojo ubicada en el tablero inferior que indica que una condición de emergencia está activa.
Y10	A2Y.10	Salida no usada	Salida no usada
Y11	A2Y.11	Salida no usada	Salida no usada

## ANEXO III

En las siguientes figuras se detalla el proceso de recepción y lavado mediante un diagrama de flujo:



**Figura 5.1.** Diagrama de flujo del módulo de Recepción.


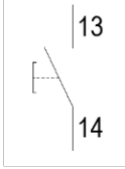
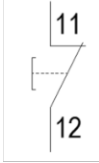
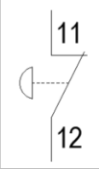
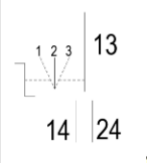
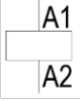
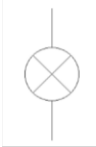
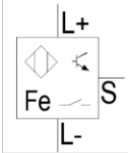


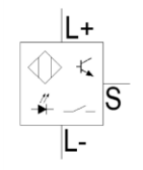

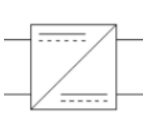
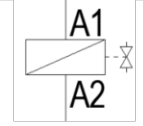

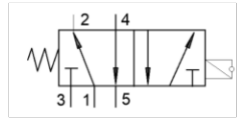
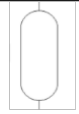

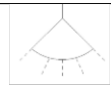
**Figura 5.2.** Diagrama de flujo del módulo de Lavado.

## ANEXO IV

Se dibujó la mayoría de los elementos que conforma el plano de conexión electropneumático en base a la norma IEC, sin embargo, algunos elementos se definieron símbolos propios. En la tabla 5. Se detalla la nomenclatura de los elementos usados en el plano de conexión

**Figura 5.5.** Diagrama de flujo del módulo de Lavado

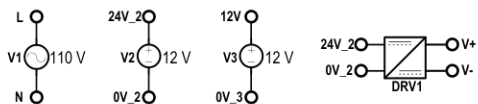
Elemento	Nomenclatura	Símbolo
Bornera/Punto de conexión	Cualquiera	
Pulsador Normalmente Abierto retorno por muelle	S1	
Pulsador Normalmente Cerrado retorno por muelle	S1	
Pulsador tipo seta normalmente cerrado sin retorno instantáneo	SE1	
Selector de tres posiciones sin retorno automático	S1	
Bobina	K1	
Luz Piloto	H1	
Sensor de proximidad inductivo NPN normalmente abierto	SP1	

Sensor de proximidad óptico NPN normalmente abierto	SP1	
Motor DC	M1	
Driver motor DC	DRV1	
Solenoid electroválvula	Y1	
Pistón Doble efecto	PT1	
Válvula 5/2, actuación por solenoide y retorno por muelle	EV1	
Depósito de Aire	DP1	
Compresor	CP1	
Aspersor	AS1	

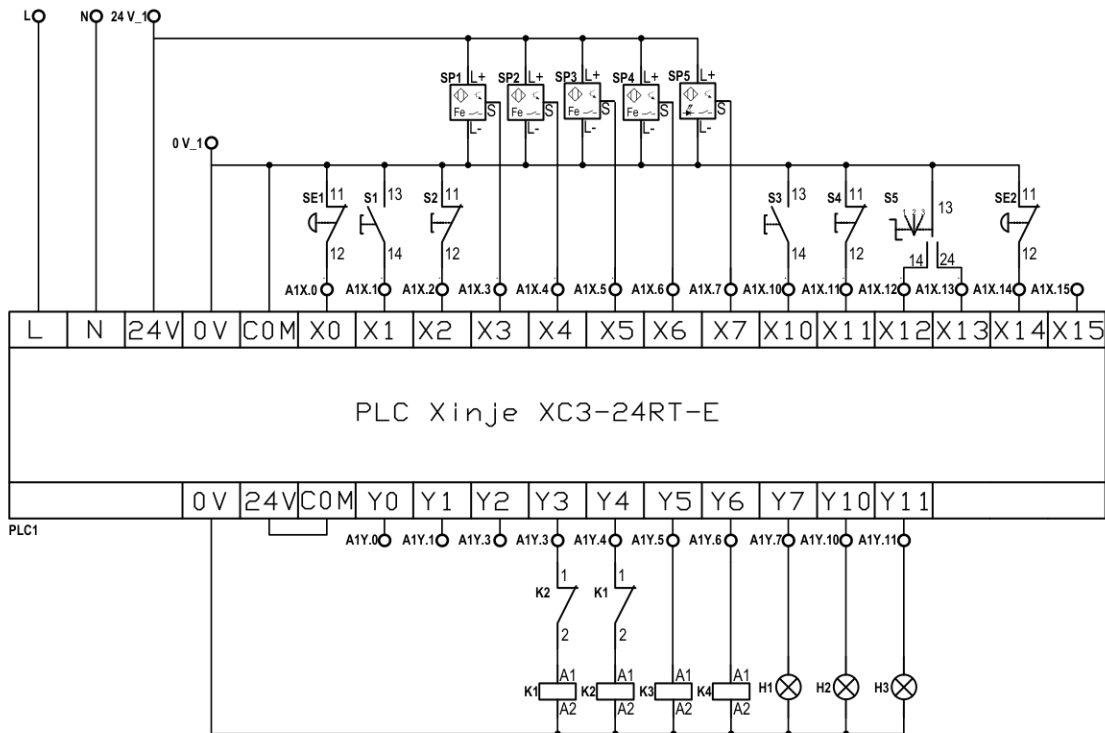


# ANEXO V

## Fuentes

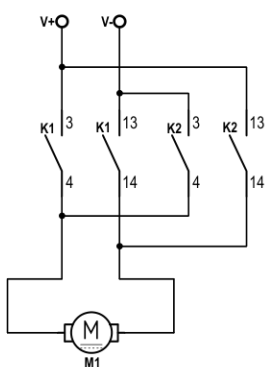


## Circuito de Control

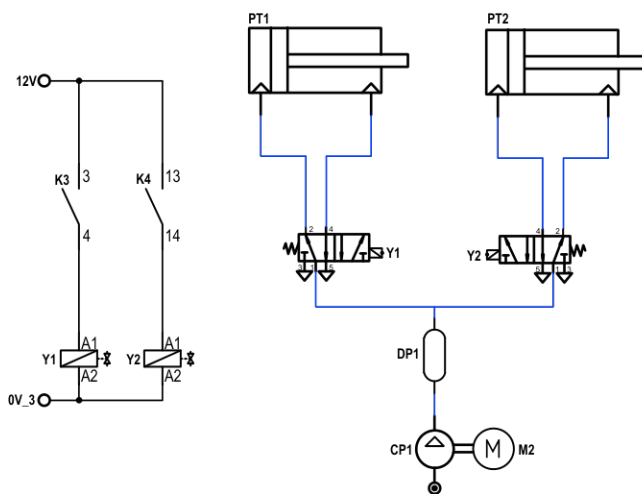


## Circuito de Potencia

### Banda transportadora



### Pistones de posicionamiento



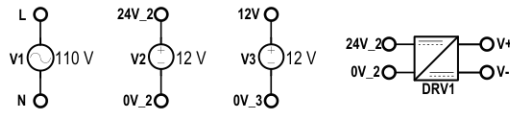
Plano de conexión electropneumático del módulo de recepción

Escuela Politécnica Nacional

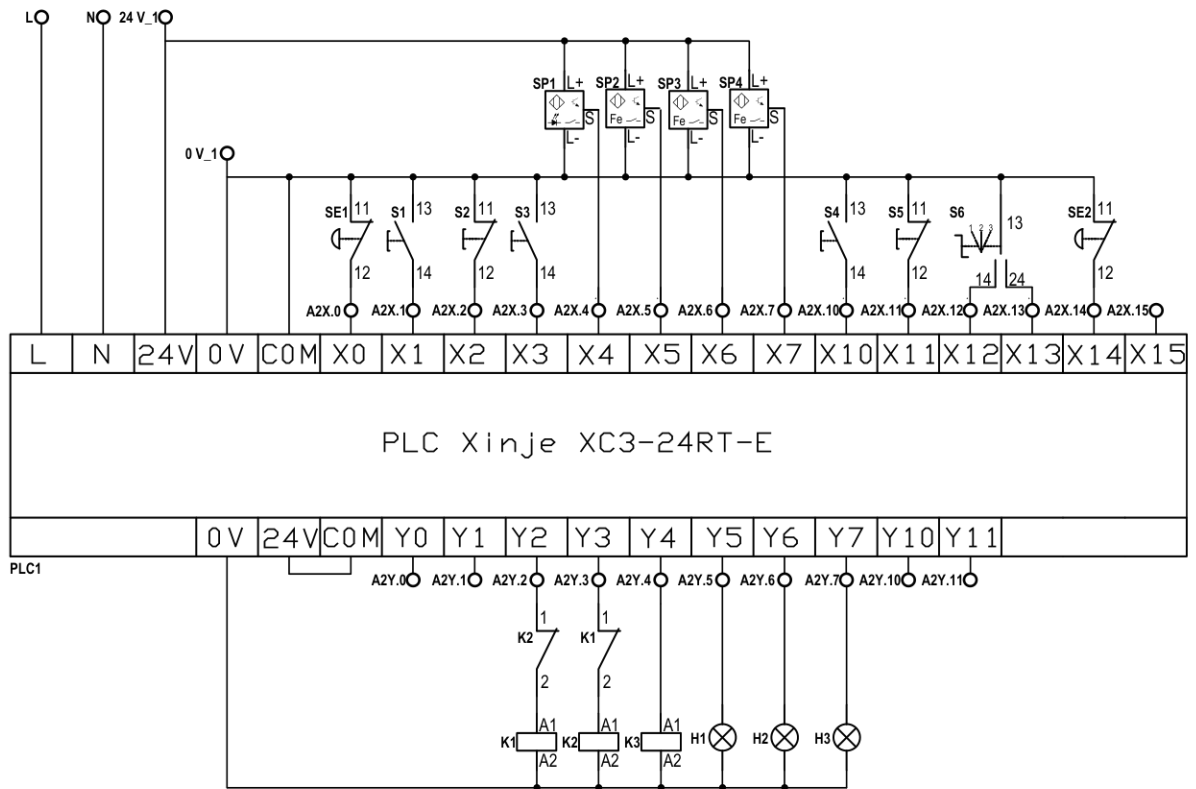
**Proyecto:** Rehabilitación, diseño e implementación de la línea de simulación de procesos industriales de la CAPEIPI

**Nombre:** Jorge Alexander Enríquez Iza **Fecha:** 01/02/2024 **Hoja:** 1 **de:** 1

## Fuentes

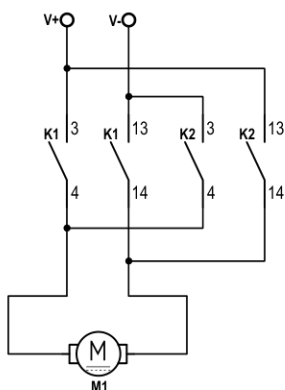


## Circuito de Control

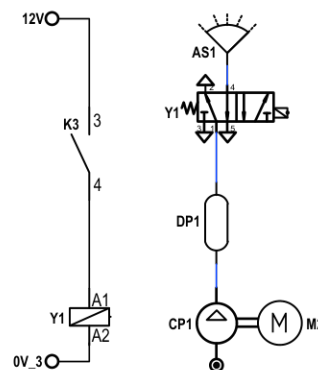


## Circuito de Potencia

### Banda transportadora



### Aspersor Lavado



Plano de conexión electroneumático del módulo de lavado

Escuela Politécnica Nacional


**Proyecto:** Rehabilitación, diseño e implementación de la línea de simulación de procesos industriales de la CAPEIPI

**Nombre:** Jorge Alexander Enríquez Iza

**Fecha:** 01/02/2024

Hoja 1 de 1

# ANEXO VI

	<b>REHABILITACIÓN, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LINEA DE SIMULACIÓN DE PROCESOS SIMULACIÓN DEL PROCESAMIENTO DE LA PAPA HOJA DE REGISTRO DE EMPAQUE DE PAPAS</b>									
<b>Datos del proveedor</b>										
<b>Nombre:</b>	Granjas la Troncal <b>Teléfono:</b> (02) 2453 720									
<b>Dirección:</b>	San Jose de Minas, Via Guayllabamba km 8									
<b>Datos Empaque</b>										
Código:	240208011 <b>No. Lote:</b> 1 <b>No. Empaque:</b> 1									
<b>Módulo de Recepción</b>										
Encargado:	Jorge Alexander Enriquez Iza									
Fecha de cosecha:	24/1/2024									
Fecha de recepción:	8/2/2024									
Peso (kg):	13									
Humedad(%):	52									
Tamaño Promedio de papa: <i>Diametro promedio (d):</i>	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td style="background-color: #fff2cc;">Grande</td> <td style="background-color: #d9ead3;">Mediano</td> <td style="background-color: #fff2cc;">Pequeño</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #fff2cc;">—</td> <td style="background-color: #d9ead3;">✓</td> <td style="background-color: #fff2cc;">—</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #fff2cc;"><math>d \geq 8 \text{ cm}</math></td> <td style="background-color: #d9ead3;"><math>8 \text{ cm} &lt; d &lt; 4 \text{ cm}</math></td> <td style="background-color: #fff2cc;"><math>\leq 4 \text{ cm}</math></td> </tr> </table>	Grande	Mediano	Pequeño	—	✓	—	$d \geq 8 \text{ cm}$	$8 \text{ cm} < d < 4 \text{ cm}$	$\leq 4 \text{ cm}$
Grande	Mediano	Pequeño								
—	✓	—								
$d \geq 8 \text{ cm}$	$8 \text{ cm} < d < 4 \text{ cm}$	$\leq 4 \text{ cm}$								
<b>Módulo de Lavado</b>										
Encargado:	Jorge Alexander Enriquez Iza									
Fecha de Lavado:	8/2/2024									
Peso (kg):	13									
Humedad(%):	44									
Sólidos en suspensión SST (mg/l): <i>Agua residual de lavado</i>	750									

## ANEXO VII

### Guía de uso de los módulos rehabilitados

A través de las diferentes secciones de estos documentos se tratarán los puntos clave que permitirán al usuario entender y conocer: el funcionamiento de los módulos, los componentes que lo conforman, los requerimientos necesarios para la puesta en marcha y las condiciones de operación para su correcto uso.

#### 5.1 Presentación y descripción de los módulos

La línea de simulación de procesos de la CAPEIPI es un conjunto de hardware, software e infraestructura mecánica que permite la implementación de procesos industriales a escala experimental, así como el diseño, desarrollo y evaluación de sistemas de control industrial.

La línea de simulación de proceso esta segmentada por medio de diferentes módulos o estaciones de trabajo, cada una cuenta elementos de automatización y control industrial como PLCs, sensores y actuadores.

En este trabajo se realizó la rehabilitación de dos módulos de la línea de simulación de en las cuales se implementó un sistema de control industrial tipo SCADA para los procesos de recepción y lavado que conlleva una cadena de procesamiento de papas.

En la siguiente figura se muestra una vista general de los módulos rehabilitados

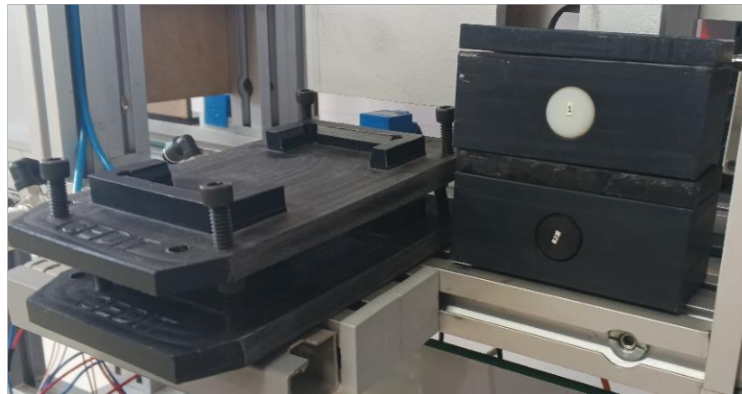


**Figura 5.3.** vista general de los módulos rehabilitados

Los productos de entrada de la cadena de procesamiento serian empaques de papas sin procesar y los productos de salida serian empaques de papas registrados y lavados que cuenta con una plantilla que recoge los datos característicos de empaque como peso,

humedad, tamaño, que va adoptando las papas del empaque a lo largo del procesamiento realizado en el módulo de recepción y lavado.

Los empaques de papas que van a ser procesados serán representados por bloques didácticos de trabajo que se encuentran en el módulo los cuales serán transportado mediante bandejas plásticas que representarán pallets de transporte.



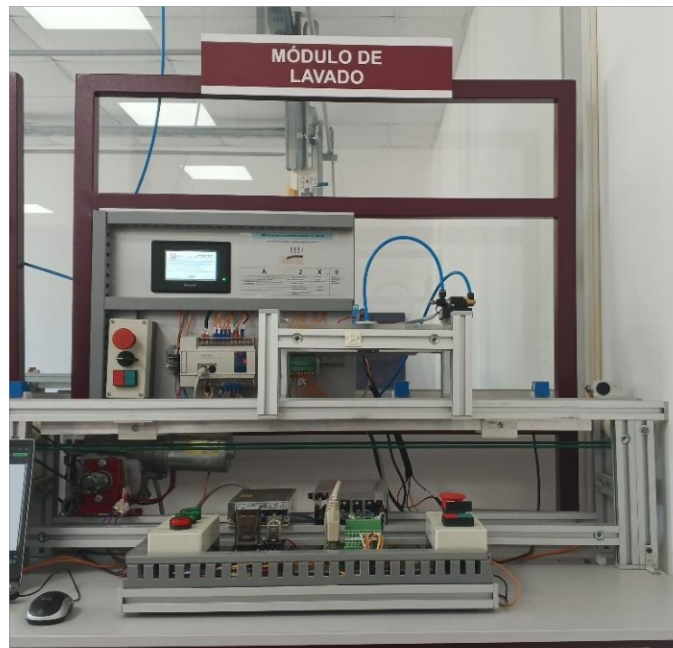
**Figura 5.4.** Bandejas y bloques usados para representación de productos dentro de la línea de simulación de procesos.

Para la operación del proceso de recepción y lavado se considera que el procesamiento de la papa será por lotes y que cada lote contiene un número determinado de empaques de papas, para el caso implementado se establece que un lote tiene dos empaques. El proveedor adicionalmente entrega una plantilla de registro en la cual se encuentran los datos del proveedor, así como características de peso, tamaño y fecha de cosecha.



**Figura 5.5.** Módulo de recepción.

El módulo de recepción se encargará de recibir el lote de papas del proveedor para posteriormente verificar los datos asociados de cada empaque que entrega el proveedor para finalmente realizar la corrección de ser el caso y la actualización con nuevos datos que pertinentes al procesamiento y conserva del producto.



**Figura 5.6.** Módulo de Lavado.

La estación de lavado se encargará de realizar la limpieza del producto y posteriormente la validación de dicha limpieza mediante el cumplimiento de una condición que permita estimar si el lavado es adecuado adicionalmente en el módulo de lavado también se registrarán los datos asociados a la limpieza del empaque.



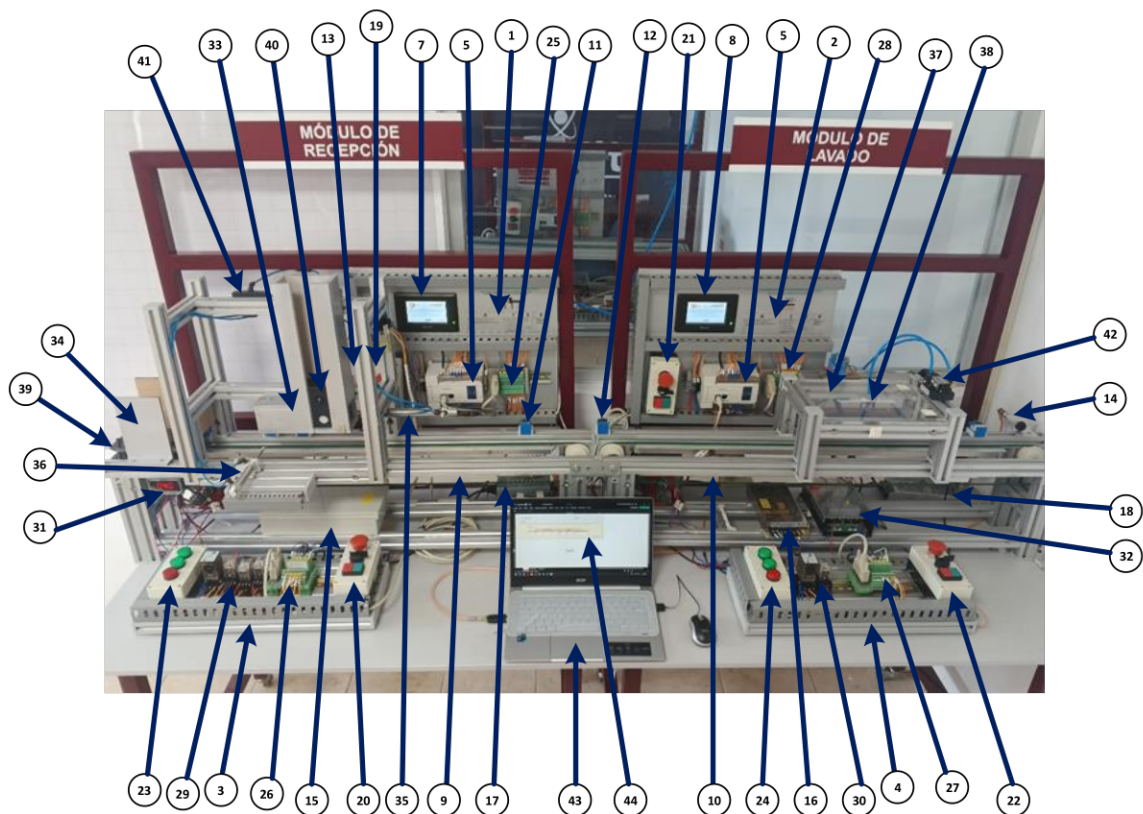
**Figura 5.7.** Estación de supervisión.

Finalmente se tiene la estación de supervisión la cual es una unidad terminal maestra que es capaz de recibir y enviar información hacia los diferentes módulos con el fin de controlar

y supervisar los procesos de lavado y recepción. También permite generar las plantillas de registro que forman parte de la trazabilidad de cada empaque de papas procesados.

## 5.2 Descripción de las partes que componen el sistema de control

En la figura 5.6 y la tabla 5.8 se identifica todos los elementos pertenecientes al sistema de control.



**Figura 5.8.** Elementos del sistema de control implementado.

**Tabla 5.6.** Elementos del sistema de control implementado.

Elemento	Numeración		
	Módulo de Recepción	Módulo de Lavado	Estación de supervisión
Tablero de control superior	1	2	
Tablero de control Inferior	3	4	
PLC	5	6	
Pantalla Táctil	7	8	

Banda transportadora	9	10	
Sensores inductivos	11	12	
Sensores ópticos	13	14	
Fuente de 24 VDC	15	16	
Fuente de 12 VDC	17	18	
Botonera	19 , 20	21 , 22	
Luces piloto	23	24	
Bornera de conexión	25 , 26	27,28	
Relés	29	30	
Driver motor DC	31	32	
Contenedor de empaques	33		
Depósito de pallets	34		
Pistones	35 , 36		
Túnel de lavado	37		
Aspersor	38		
Pallet	39		
Empaques	40		
Electroválvulas	41	42	
Computador			43
Interfaz de supervisión			44

Para mayor detalle de las entradas y salidas utilizadas en los PLCs de los módulos de Lavado y Recepción se puede revisar el anexo II.

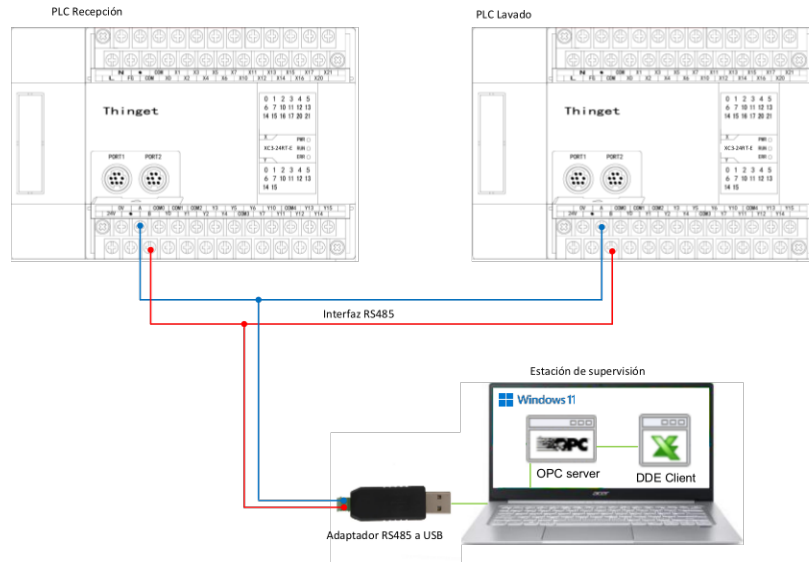
Para facilitar la identificación de los elementos de entradas y salidas se establece las etiquetas conforme a la codificación presentada en la tabla 5.

**Tabla 5.7.**Codificación Entradas y salidas.

<b>A</b>	<b>1</b>	<b>X</b>	<b>.</b>	<b>0</b>
A: Procesamiento de papas: Recepción y Lavado	1: Módulo de Recepción	X: Entrada		Número correspondiente a entrada/salida o interfaz de comunicación
B: Procesamiento de papas: Corte y Desecho	2: Modulo de Lavado	Y: Salida		
C: Procesamiento de papas: Almacenamiento y Refrigeración	3: Módulo de Corte	INT: Interfaz de comunicación		
	4: Módulo de Desecho			
	5: Módulo de Almacenamiento			
	6: Módulo de Refrigeración			

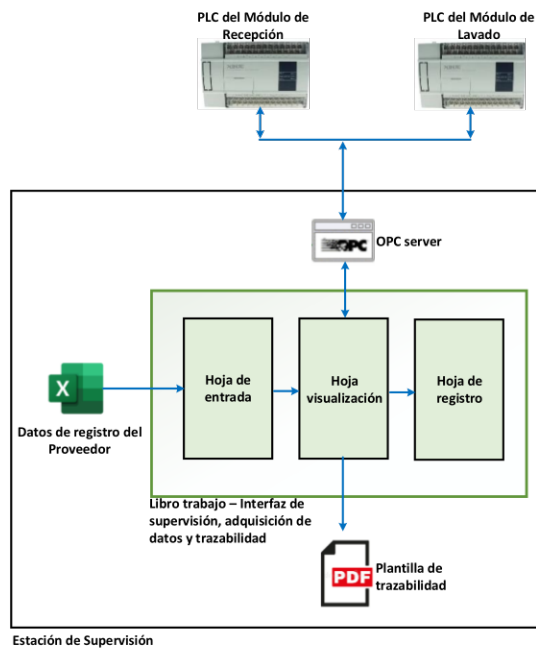


Adicionalmente se debe mencionar que módulos se comunican con la estación de trabajo mediante una red Modbus RTU implementada en un interfaz RS485 tal como se muestra en la figura:



**Figura 5.9.** Diagrama de la conexión serial de los componentes mediante interfaz RS485.

La comunicación de los datos del proceso con el libro de registro se resume en el siguiente diagrama:

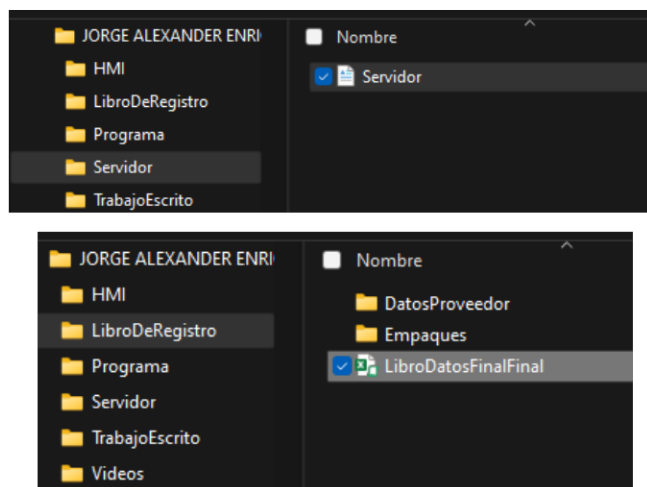


**Figura 5.10.** Flujo de datos dentro de la estación de supervisión.

### 5.3 Requerimientos para la puesta en marcha

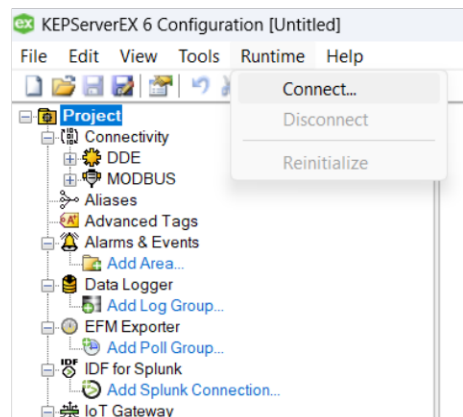
Para el iniciar la operación y funcionamiento de los módulos de recepción y lavado primero se debe energizar los módulos mediante el interruptor principal. Luego conectar el adaptador RS485-USB al computador que se utilizar como estación de supervisión el cual debe contar con el programa KEPSEVER EX 6 y Excel habilitado para el uso de macros.

En la carpeta archivos del proyecto se encuentra la carpeta Servidor en la cual se encuentra archivo .OPF que contiene la configuración necesaria para vincular mediante el OPC server (KEPSERVER EX) los datos de las estaciones con el libro de registro. En la carpeta de trabajo también se encuentra el libro de registro el cual es un archivo tipo .xlsm (Excel habilitado para macros)



**Figura 5.11.** Ubicación del libro de registro y el proyecto con la configuración del OPC servidor en la carpeta de archivos del proyecto compartida en el Anexo I.

Una vez encontrados dichos elementos se procede a abrirlos. Al abrir la configuración del servidor es importante ejecutar el servidor para ello se accede al menú 'Runtime' y se presiona la opción 'Connect'

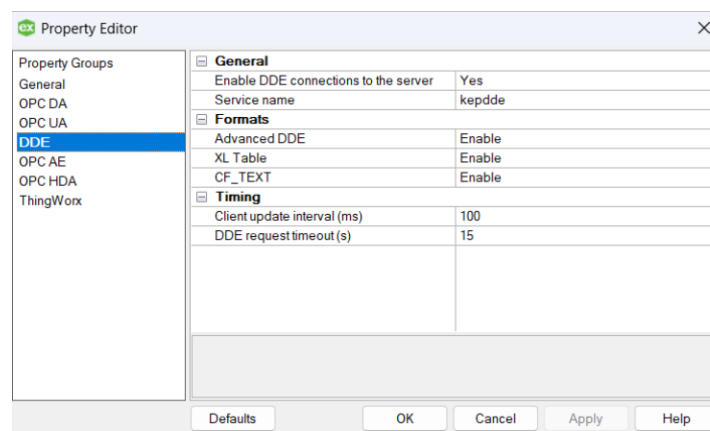


**Figura 5.12.** Establecer la conexión del servidor.

También es importante que tener habilitado la comunicación DDE para que se pueda establecer conexión con Excel

Para ello se accede a las propiedades del proyecto y en la pestaña DDE, habilitar la conexión DDE.

Finalmente, también se debe verificar que el puerto de comunicación COM del canal MODBUS sea el mismo puerto COM del adaptador RS485 mostrado en el administrador de dispositivos.



**Figura 5.13.** Habilitación de la conexión DDE con el servidor.

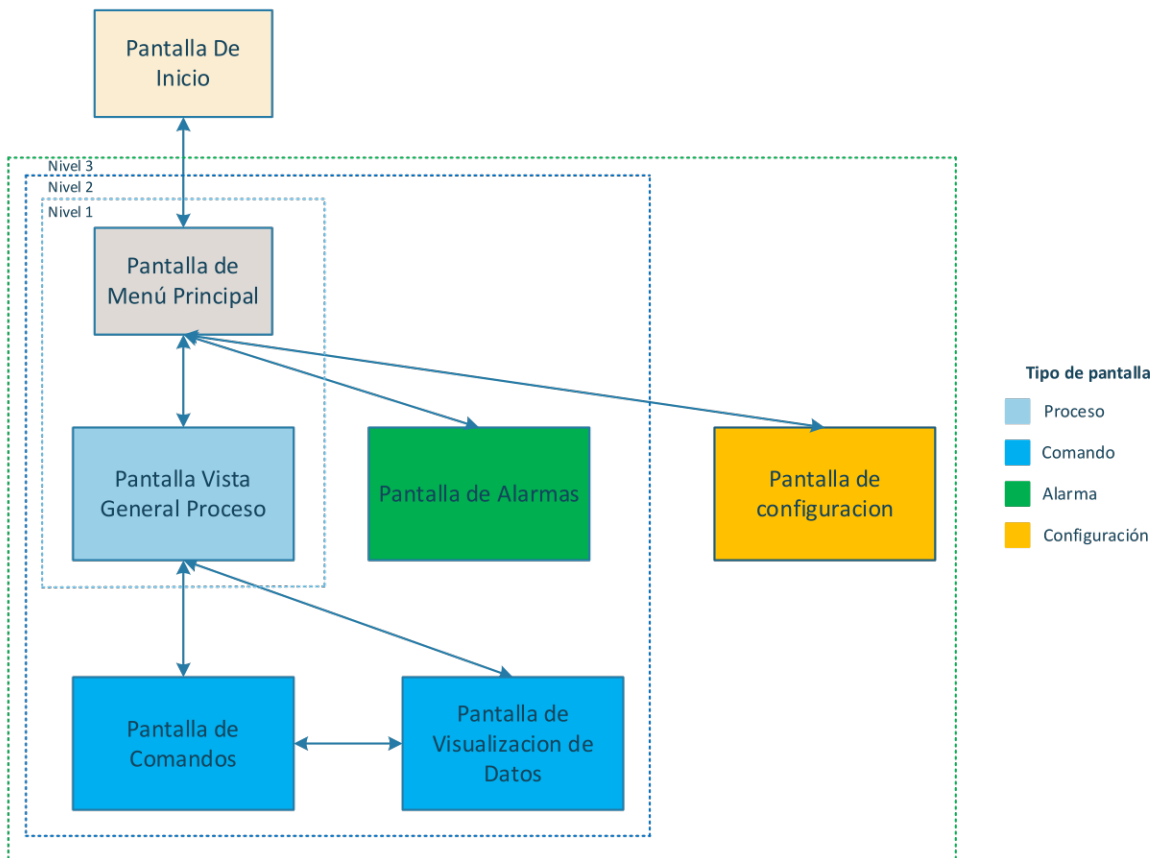
## 5.4 Uso de la interfaz hombre máquina

Cada módulo cuenta con una Pantalla táctil en la cual se implementará el HMI correspondiente. De forma inicial los HMIs muestran por defecto la pantalla de inicio en donde se podrá ingresar a la interfaz. Para ingresar se debe presionar el botón de ingreso de la pantalla de inicio con ello se mostrar un teclado numérico con él se coloca la contraseña de nivel de acceso. Se estableció 3 niveles de acceso los cuales se detallan en la siguiente tabla:

**Tabla 5.7.** Nivel de Acceso pantallas HMI.

Nivel de acceso	Usuario	Contraseña
Nivel 1	Invitado	1234
Nivel 2	Operador	1111
Nivel 3	Supervisor	4561

En el diagrama de la arquitectura del HMI se muestra las ventanas que pueden ser accedidas acorde a nivel de acceso.

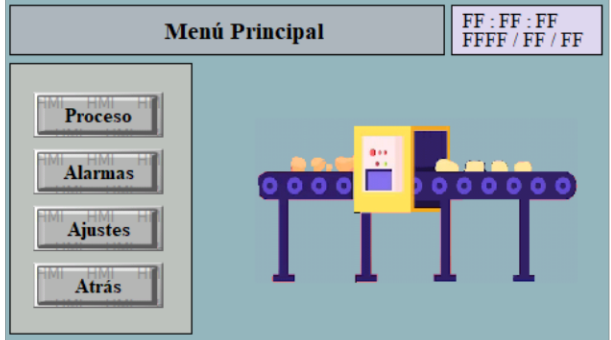
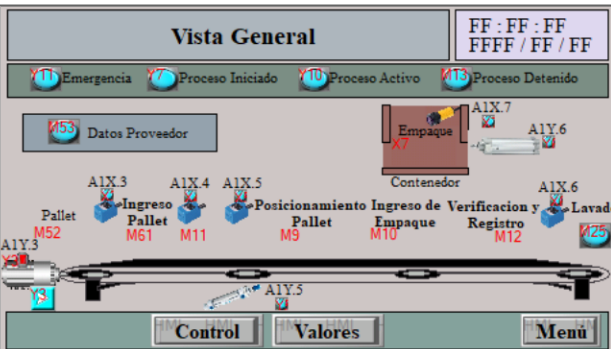




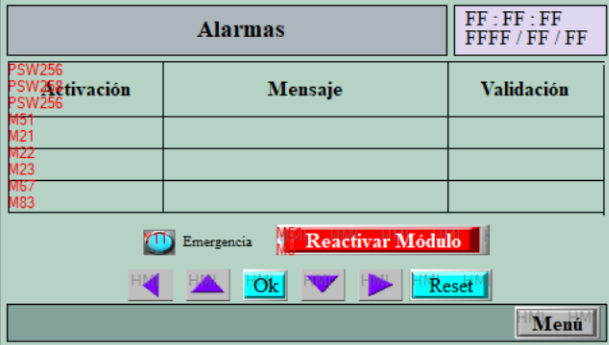




**Figura 5.14.** Arquitectura HMI.





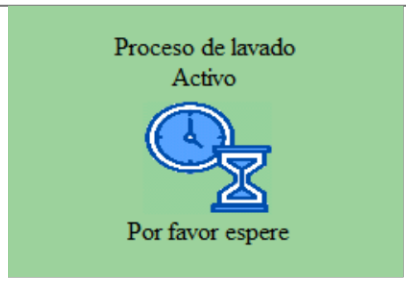
En las siguientes tablas se detallarán las diferentes pantallas del módulo de Recepción:

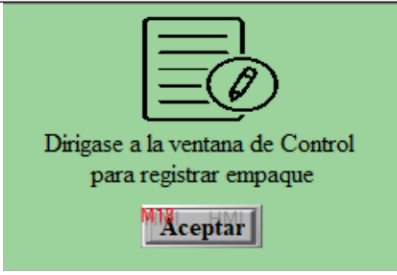
**Tabla 5.8.** Pantallas y ventanas del HMI del módulo de Recepción.

Pantalla/Ventana	Descripción	Imagen
Pantalla Inicio	Pantalla de inicio con el título del proyecto y el nombre de la estación, permite el ingreso al HMI	


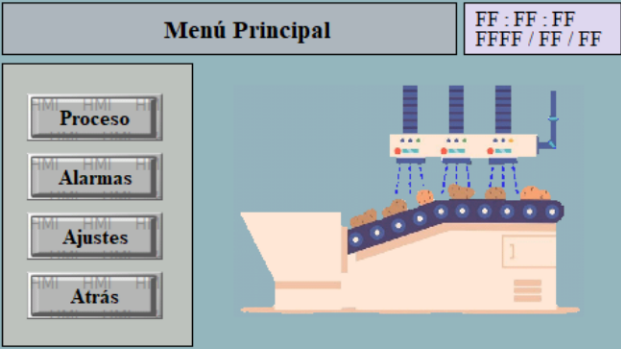
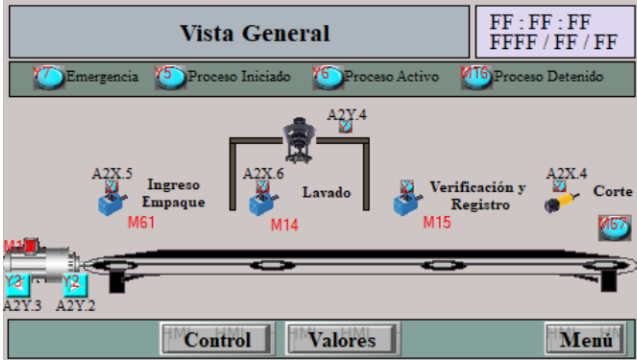
<p>Pantalla de Menú principal</p>	<p>Pantalla que dirige al usuario a las diferentes pantallas principales</p>	
<p>Pantalla de Vista General</p>	<p>Permite una visualización detallada del proceso sin embargo no se puede ejercer acciones de control</p>	
<p>Pantalla de Control de Proceso</p>	<p>Permite ejecutar comandos de inicio, paro o emergencia además en esta pantalla se realizará la verificación de los empaques</p>	
<p>Pantalla de Valores</p>	<p>Esta pantalla permite visualizar los datos del empaque que se esté procesando</p>	

<p>Pantalla de Alarmas</p>	<p>Pantalla que con tabla de alarmas que indican eventos anormales en el proceso, se puede reactivar la estación desde esta pantalla.</p>	
<p>Pantalla de Ajustes</p>	<p>Permite realizar ciertas configuraciones referentes a HMI o al proceso</p>	
<p>Ventana emergente de Falta de pallets</p>	<p>Se muestra en la vista general o control si pretende iniciar el proceso sin colocar los Pallets</p>	
<p>Ventana emergente de Falta datos proveedor</p>	<p>Se muestra en la vista general o control si pretende iniciar el proceso sin cargar datos de proveedor</p>	
<p>Ventana emergente de Falta de empaques</p>	<p>Se muestra en la vista general o control si pretende iniciar el proceso sin colocar los empaques</p>	


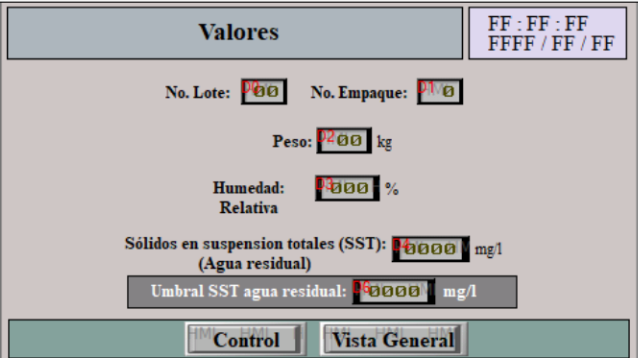
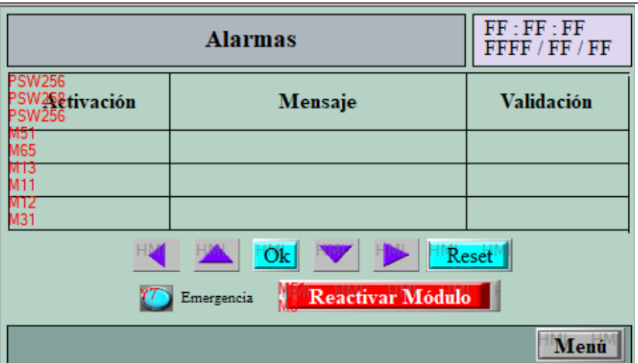
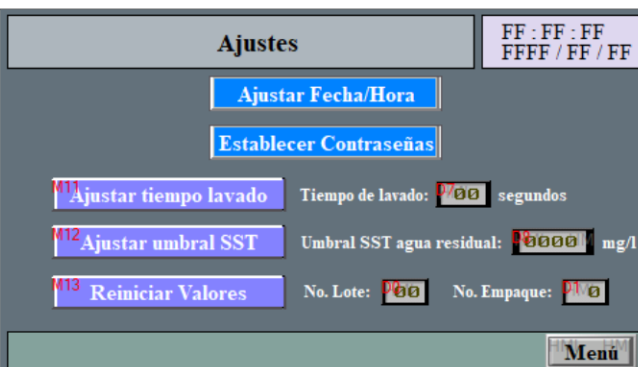

<p>Ventana emergente de emergencia</p>	<p>Se muestra en la vista general o control si se produce una condición de emergencia</p>	
<p>Ventana emergente de registro</p>	<p>Aparece cuando el empaque está en la zona de registro y la banda de lavado esta libre permite el registro de datos</p>	
<p>Ventana emergente Verificación Exitosa</p>	<p>Se muestra en la Pantalla de control cuando los datos fueron registrados</p>	
<p>Ventana emergente de Datos incompletos</p>	<p>Aparece cada vez que el operado trata de registrar sin haber colocado un valor en el peso o humedad</p>	
<p>Ventana emergente de espera</p>	<p>Aparece cuando el empaque está en la zona de registro, pero el proceso de lavado sigue activo</p>	





<p>Ventana emergente de notificación de cambio de pantalla</p>	<p>Aparece en la vista general cuando el empaque se posiciona en la zona de registro.</p>	
--	---	--

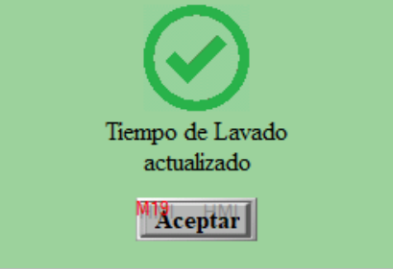
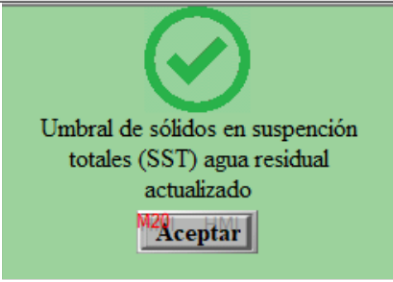
**Tabla 5.9.** Pantallas y ventanas del HMI del módulo de Recepción.

Pantalla/Ventana	Descripción	Imagen
<p>Pantalla Inicio</p>	<p>Pantalla de inicio con el título del proyecto y el nombre de la estación, permite el ingreso al HMI</p>	
<p>Pantalla de Menú principal</p>	<p>Pantalla que dirige al usuario a las diferentes pantallas principales</p>	
<p>Pantalla de Vista General</p>	<p>Permite una visualización detallada del proceso sin embargo no se puede ejercer acciones de control</p>	



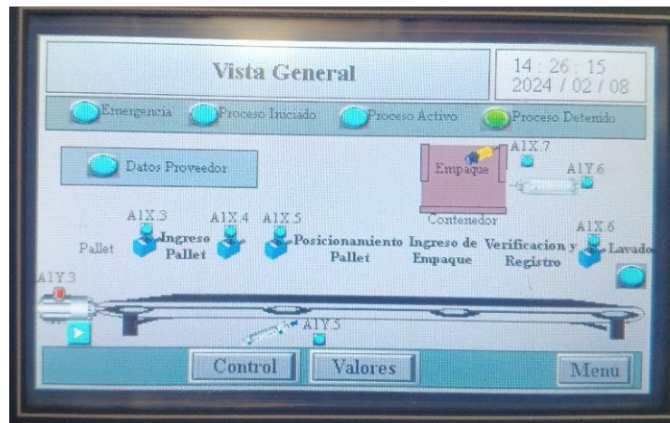
<p>Pantalla de Control de Proceso</p>	<p>Permite ejecutar comandos de inicio, paro o emergencia además en esta pantalla se realizará la verificación de los empaques</p>	
<p>Pantalla de Valores</p>	<p>Esta pantalla permite visualizar los datos del empaque que se esté procesando</p>	
<p>Pantalla de Alarmas</p>	<p>Pantalla que con tabla de alarmas que indican eventos anormales en el proceso, se puede reactivar la estación desde esta pantalla.</p>	
<p>Pantalla de Ajustes</p>	<p>Permite realizar ciertas configuraciones referentes a HMI o al proceso</p>	
<p>Ventana emergente de lavado insatisfactorio</p>	<p>Se muestra cuando se desea registrar un empaque que no cumple con la</p>	

	condición de limpieza	
Ventana emergente de Datos incompletos	Aparece cada vez que el operado trata de registrar sin haber colocado un valor en el peso o humedad	 <p>Por Favor Ingrese el peso y la humedad para registrar</p> <p><b>M9</b> Aceptar</p>
Ventana emergente Verificación Exitosa	Se muestra en la Pantalla de control cuando los datos fueron registrados	 <p>Verificación Exitosa Datos del empaque guardado en la base de datos Pulse Aceptar para continuar</p> <p><b>M7</b> Aceptar</p>
Ventana emergente de emergencia	Se muestra en la pantalla de vista general o control si se produce una condición de emergencia	 <p><b>¡Emergencia!</b></p> <p>Presione Aceptar para reestablecer la estación</p> <p><b>M15</b> Aceptar</p>
Ventana emergente de registro	Aparece cuando el empaque está en la zona de registro y la banda de lavado esta libre permite el registro de datos	<p><b>Verificación/Registro de datos</b></p> <p>No. Lote: <b>0600</b> No. Empaque: <b>0100</b></p> <p>Peso: <b>0200</b> kg</p> <p>Humedad: <b>03000</b> % Relativa</p> <p>Sólidos en suspensión totales (SST): <b>040000</b> mg/l (Agua residual)</p> <p>Umbral SST agua residual: <b>050000</b> mg/l</p> <p><b>M4</b> Registrar</p>
Ventana emergente de notificación de cambio de pantalla	Aparece en la vista general cuando el empaque se posiciona en la zona de registro.	 <p>Dirigase a la ventana de Control para registrar empaque</p> <p><b>M24</b> Aceptar</p>

Ventana emergente de Actualización de tiempo de lavado	Esta ventana se muestra en pantalla de configuración cuando se actualiza el tiempo de lavado			
Ventana emergente de Actualización de SST	Esta ventana se muestra en pantalla de configuración cuando se actualiza la cantidad de SST			

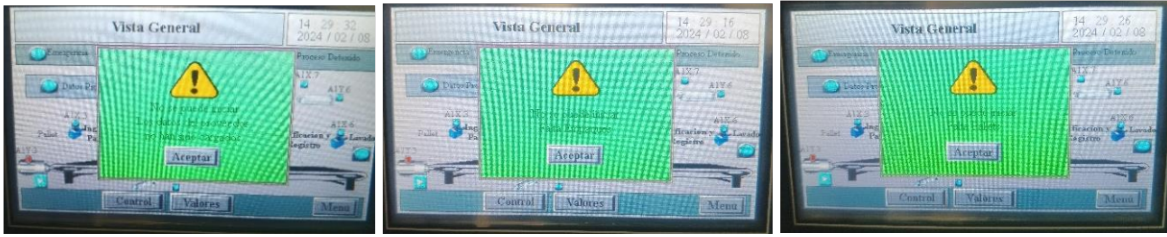
## 5.5 Uso y operación del módulo

Para iniciar con la operación del módulo como primer paso se ingresará en las pantallas usando la contraseña del nivel 3 de acceso para poder acceder a todas las pantallas del HMI, al ingresar nos ubicamos en la vista general. El HMI mostrado en la siguiente figura nos permite visualizar que los datos del proveedor no han sido cargados y que no se encuentra pallets y empaques en su respectiva ubicación.



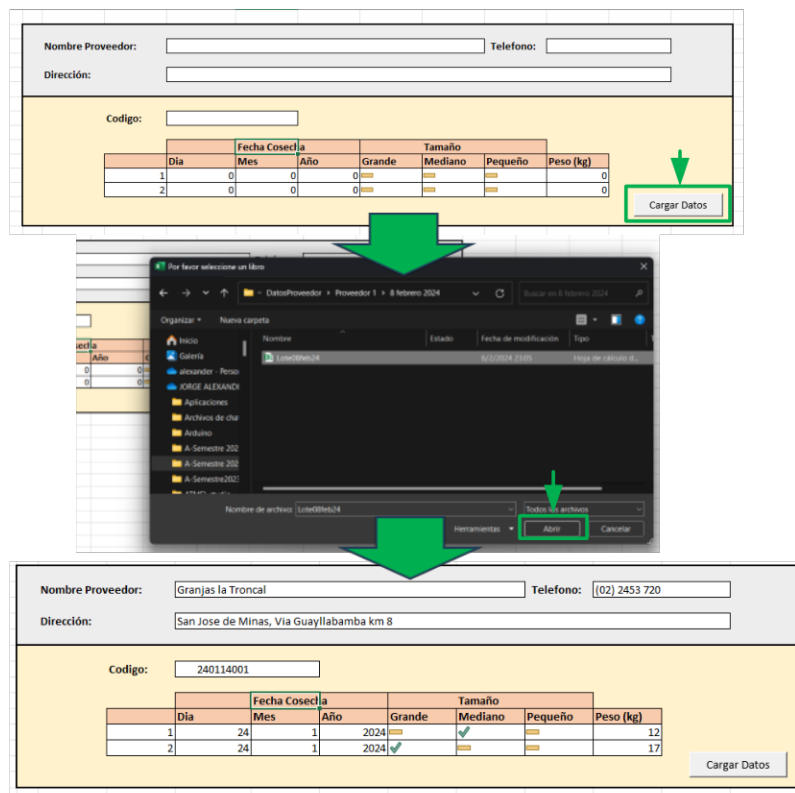
**Figura 5.15.** Vista General de Recepción al inicio del proceso

Debido a que no se cumplen las condiciones de inicio, si se presiona cualquiera de los pulsante de marcha se mostraran ventanas emergentes que advierten que no se puede iniciar el proceso indicando mediante una ventana emergente la condicion que debe cumplirse.



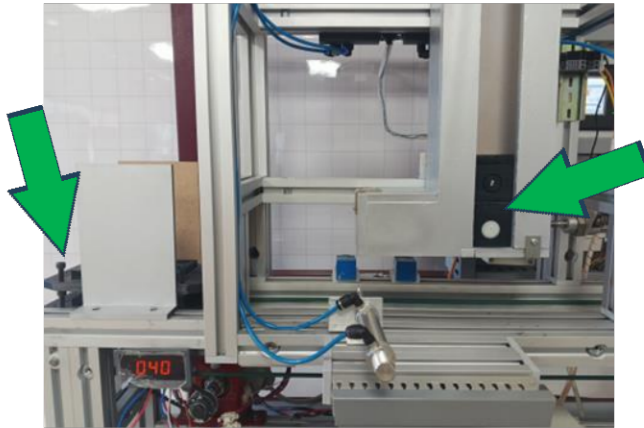
**Figura 5.16.** Ventanas emergentes que notifican las condiciones faltantes para iniciar el proceso

Los datos del proveedor deben ser cargados en la hoja de entrada del libro de registro tal como se indica en la figura 3.6.



**Figura 5.17.** Procedimiento para cargar los datos del proveedor

Luego de que se cargan los datos del proveedor se procede a colocar en el contenedor el lote de papas correspondiente y a ubicar los pallets en el depósito de pallets.



**Figura 5.18.** Ubicación de los pallets y empaques.

Al realizar lo anterior ahora se puede visualizar tanto en la ventana de proceso como en la ventana de control que se cumple con las condiciones de inicio.



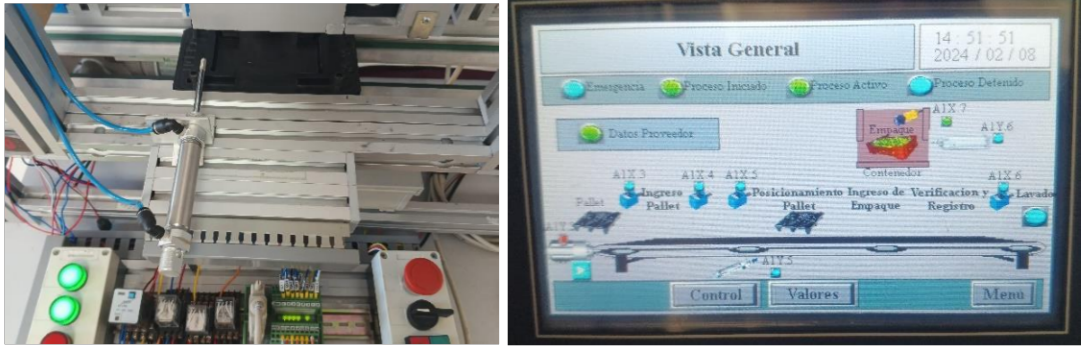
**Figura 5.19.** Visualización de cumplimiento de condiciones de inicio.

Una vez que se cumple las condiciones del proceso se inicia el proceso de recepción. Primero ingresa pallet.



**Figura 5.20.** Ingreso del pallet.

Cuando el pallet se acerca a la salida del contenedor, el pistón de posicionamiento de pallet bloquea el avance del pallet y lo posiciona justo debajo de la salida del contenedor.



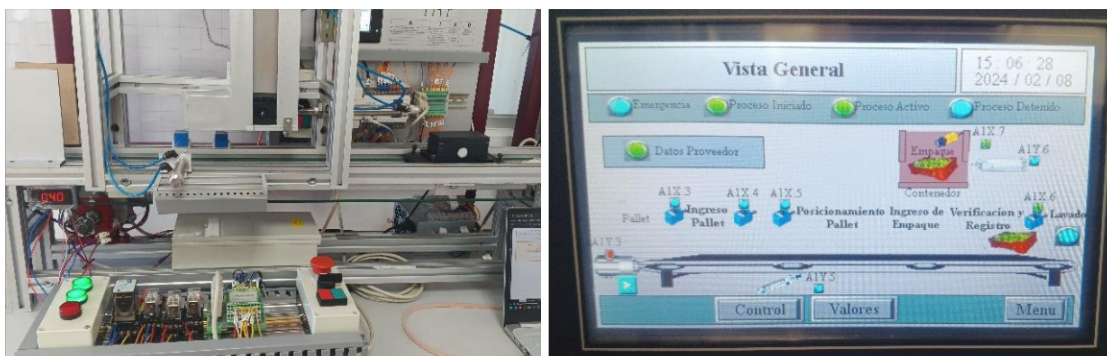
**Figura 5.21.** Posicionamiento del Pallet.

Luego el pistón de posicionamiento de empaque sale y hace caer el empaque encima del pallet de transporte.



**Figura 5.22.** Ingreso de empaque.

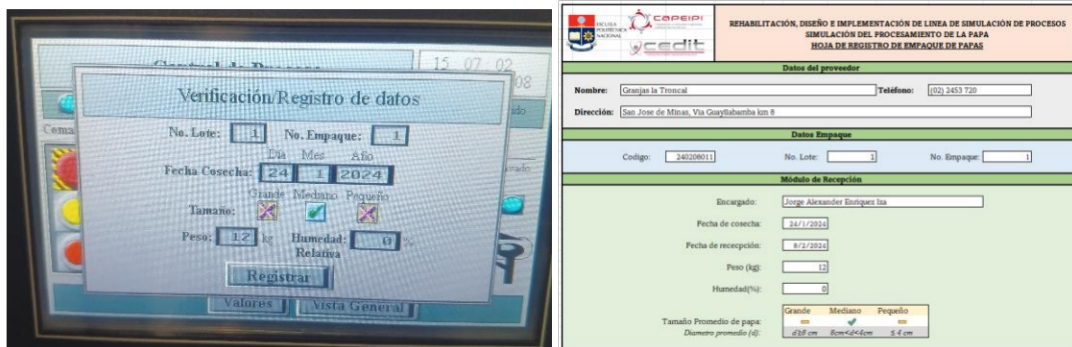
Posteriormente la banda lleva al empaque hacia la zona de verificación y registro.



**Figura 5.23.** Empaque ubicado en zona verificación y registro.

Cuando llega allí se mostrará una ventana emergente que notifica al operador que se dirija a la pantalla de control para efectuar el registro. En la pantalla aparecerá una ventana emergente que mostrara los datos del empaque que fueron cargados de la hoja de registro

del fabricante, dichos datos también se mostraran simultáneamente en la hoja de visualización del libro de registro.



**Figura 5.24.** Visualización de los datos del empaque en el HMI y en la hoja de visualización del libro de registro.

En esta parte del proceso el operador debe realizar la medición de peso y humedad para posteriormente ingresarlo. Luego de que el operador ingresa y actualiza los datos del empaque puede registrarlos mediante el botón de registro. Si el registro es exitoso se añadirá una nueva columna en la tabla de la hoja de registro con los datos ingresados en el módulo de recepción del empaque actual. También aparecerá una ventana emergente que notifica que efectivamente se realizó el registro.



**Figura 5.25.** Ventana emergente que indica que los datos del empaque se han registrado.

Empaque			Módulo de recepción						
Código	No. Lote	No. Empaque	Fecha Cosecha	Fecha Recepción	Peso (kg)	Humedad Relativa (%)	Tamaño		
							Grande	Mediano	Pequeño
240208011	1	1	24/1/2024	8/2/2024	13	52	—	✓	—

**Figura 5.26.** Datos del módulo de recepción registrados en la base de datos.

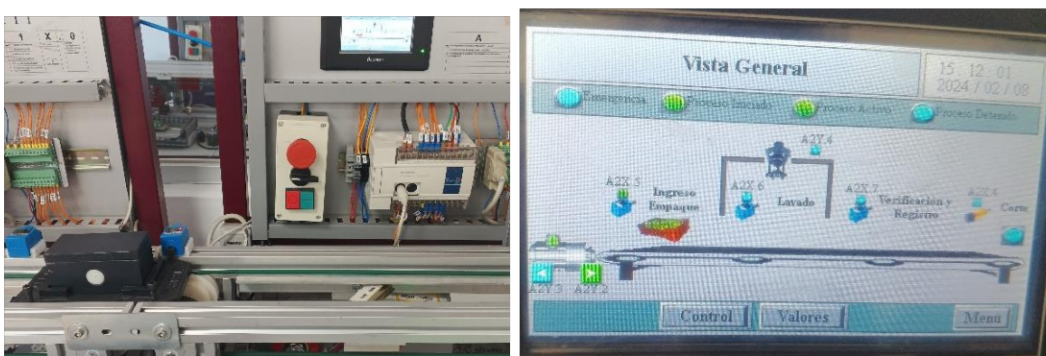
Al cerrar la ventana emergente el empaque se dirigirá al módulo de lavado. Una vez que el primer sensor del módulo de lavado detecta la presencia del empaque inicia el proceso de lavado y se detiene la banda transportadora del módulo de recepción. Luego de 15 segundos de espera el módulo automáticamente realiza la recepción del siguiente empaque del lote. Sin embargo, cuando el segundo empaque llega a la zona de registro en la pantalla de control aparecerá una ventana emergente que notifica que el proceso de lavado esta activo y que se debe esperar que finalice para registrar el segundo empaque.



**Figura 5.27.** Ventana emergente de espera

Al finalizar el proceso de lavado aparecerá la ventana emergente de la figura 3.11 para realizar el registro del segundo empaque.

Una vez que inicia el proceso de lavado el empaque se dirige hacia la zona de lavado para que se realice la limpieza del empaque.



**Figura 5.28.** Ingreso del empaque al módulo de lavado.

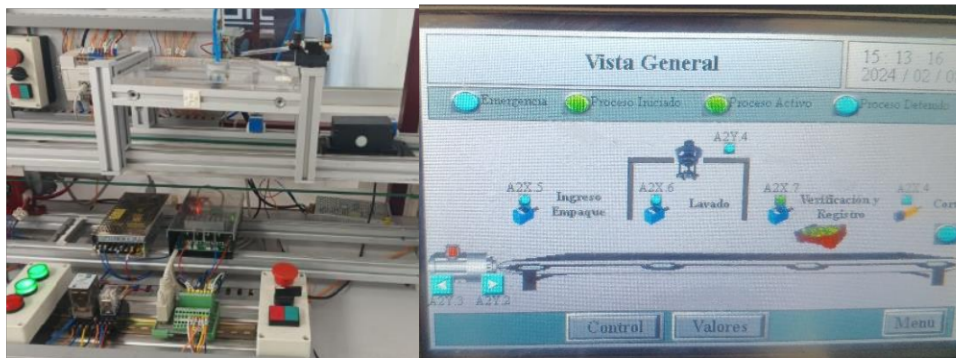
Una vez que el empaque llega a la zona de lavado se detiene la banda y se activa el aspersor para que represente la limpieza del empaque de papas.





**Figura 5.29.** Lavado del empaque.

Al finalizar el lavado, el empaque se envía a la zona de registro para validar la limpieza del empaque y realizar el registro.



**Figura 5.30.** Empaque ubicado en zona de registro.

En la pantalla de control se mostrará la ventana emergente de validación y registro cuyos datos están asociados a la hoja de visualización del libro de registro.



Módulo de Lavado	
Encargado:	Jorge Alexander Enriquez Iza
Fecha de Lavado:	8/2/2024
Peso (kg):	13
Humedad(%):	52
Sólidos en suspensión SST (mg/l): <i>Agua residual de lavado</i>	0

**Figura 5.31.** Datos de lavado mostrados en el HMI y en la hoja de visualización.

Si el operador ingresa un valor de SST mayor al umbral y desea registrar, el empaque de papas volverá a la zona de lavado para volver a realizar la limpieza del empaque.



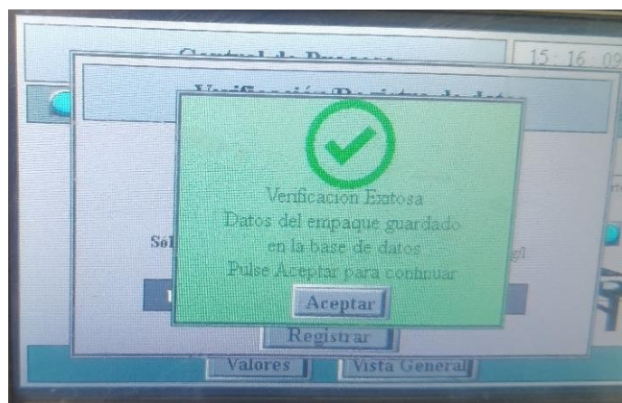
**Figura 5.32.** Ventana emergente que indica limpieza de empaque insatisfactorio.

Si se cumple con los requerimientos de limpieza al registrar los datos de lavado se guardarán dicha información en la tabla de base de datos y adicionalmente se imprimirá la plantilla de registro para formar parte de la guía de trazabilidad.

Módulo de lavado				
Fecha Lavado	Peso(kg)	Humedad Relativa(%)	Sólidos en suspensión SST agua residual lavado (mg/l)	
8/2/2024	13	44		750

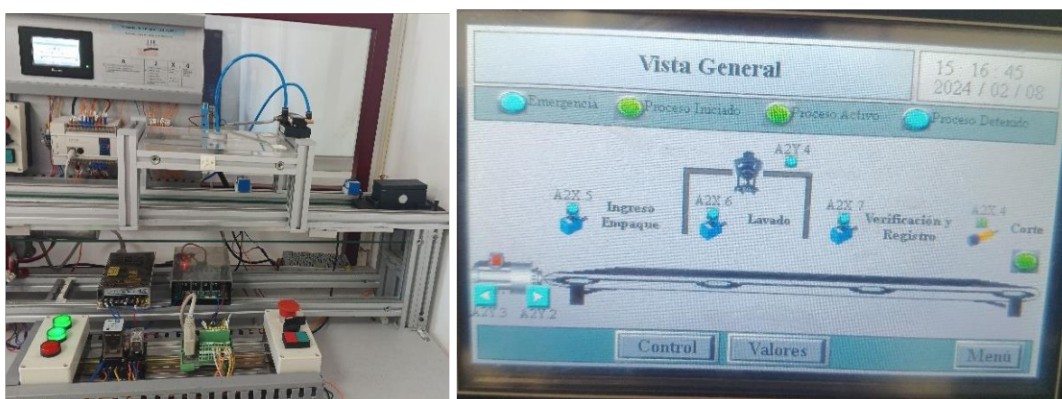
**Figura 5.33.** Datos del módulo de lavado registrados en la base de datos.

Si los datos de lavado se registraron de forma exitosa se mostrar la siguiente ventana emergente.



**Figura 5.34.** Ventana emergente de datos registrados exitosamente.

Al cerrar la ventana emergente el empaque se envía al módulo de corte, y cuando llega allí se detiene la banda.



**Figura 5.35.** Empaque enviado a corte.

Al retirar el empaque de la banda el proceso de lavado finaliza y se puede realizar el registro del segundo empaque en el módulo de recepción.

Una vez que se finaliza con el registro de todos los empaques del lote nuevamente debe cumplirse las condiciones de inicio para realizar el procesamiento de otro lote de papas.