

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 CORTE Y DESECHO DE RESIDUOS 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
ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

BRYAN JOEL CALVOPÍÑA QUISIRUMBAY

bryan.calvopina@epn.edu.ec

DIRECTOR: DR. GEOVANNY DANILO CHÁVEZ GARCÍA

danilo.chavez@epn.edu.ec

DMQ, abril 2024

CERTIFICACIONES

Yo, BRYAN JOEL CALVOPÍÑA QUISIRUMBAY 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.

BRYAN JOEL CALVOPÍÑA QUISIRUMBAY

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por BRYAN JOEL CALVOPÍÑA QUISIRUMBAY, bajo mi supervisión.

DR. 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.

BRYAN JOEL CALVOPIÑA QUISIRUMBAY

DR. GEOVANNY DANILO CHÁVEZ GARCÍA

DEDICATORIA

A mi padre, por ser la persona que más admiro, que me ha inculcado valores y me enseña a nunca rendirme. A mi madre, por darme la vida. A mis hermanos, que siempre me apoyan y me acompañan. A mis amigos, que me han dedicado su tiempo.

AGRADECIMIENTO

A mi familia, Carlos, Nelly, Angie, Daniel y Sammy por su amor, respeto y apoyo, durante toda mi vida. Los amo y sin ustedes nada de esto sería posible.

A mis amigos, Alexis, Fernando, Stalyn, Byron, Carlos, Cristian, Elvis, Marco, Daniel, David, Jorge y Renato por estar presentes en todo momento, hacer que la vida sea más divertida, ayudarme cuando lo necesité y colaborar en mis proyectos.

A Liss por su paciencia, cariño, apoyo y todo el tiempo que compartió conmigo.

A la Ing. Jenny por ser una gran profesora y aportarme su conocimiento en el desarrollo de este trabajo.

A la Ing. Yadira por guiarme durante toda la carrera, ser una profesora paciente y compartir su experiencia para desenvolverme académicamente.

Al Dr. Danilo Chávez por ser un tutor paciente y permitirme elaborar este Trabajo de Integración Curricular.

A todas las personas que conforman la CAPEIPI por permitirme colaborar en la empresa, aportarme los recursos para el desarrollo del proyecto e instruirme en mi desarrollo profesional.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
RESUMEN	VII
ABSTRACT	VIII
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo general	2
1.2 Objetivos específicos	2
1.3 Alcance	2
1.4 Marco teórico	3
1.4.1 Automatización de procesos industriales	3
1.4.2 Líneas de simulación de procesos industriales	4
1.4.3 CIM: Manufactura integrada por computadora.....	4
1.4.4 Sistema de control distribuido	6
1.4.5 Sistema SCADA.....	7
1.4.6 Instrumentación: Sensores y Actuadores.....	8
1.4.7 Controlador lógico programable	11
1.4.8 HMI: Interfaz hombre-máquina.....	12
1.4.9 Servidor de datos OPC UA	12
1.4.10 Trazabilidad.....	13
1.4.11 Caso de estudio: Procesamiento de papas.....	13
2 METODOLOGÍA.....	14
2.1 Rehabilitación de módulos de simulación	14
2.2 Diseño.....	19
2.2.1 Diseño de proceso	19
2.2.2 Diseño de programa del PLC.....	22
2.2.3 Diseño de Interfaz Hombre-Máquina	24
2.2.4 Diseño de interfaz de trazabilidad	30
2.2.5 Diseño de comunicación del servidor.....	33

2.3	Implementación.....	33
2.3.1	Configuración de PLC.....	34
2.3.2	Configuración de HMI.....	34
2.3.3	Configuración de Microsoft Excel.....	35
2.3.4	Configuración de Servidor.....	36
2.3.5	Implementación Integral.....	40
2.3.6	Plan de capacitación.....	40
3	RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	41
3.1	Resultados.....	41
3.2	Conclusiones.....	54
3.3	Recomendaciones.....	55
4	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55
5	ANEXOS.....	58
	ANEXO I.....	59
	ANEXO II.....	61
	ANEXO III.....	62
	ANEXO IV.....	63

RESUMEN

Las líneas de simulación de proceso industriales permiten analizar y corregir un proceso antes de ser implementado, están enfocadas en la manufactura, son adaptables a cualquier ambiente y expandibles a las necesidades del proceso. El presente Trabajo de Integración Curricular tiene como fin la rehabilitación de la línea de simulación de procesos industriales de la CAPEIPI y sobre la cuál se desarrolla e implementa un proceso de corte y desecho de papas. Para alcanzar este objetivo, se abordan temas relacionados a los equipos e instrumentos, manufactura integrada por computadora, sistemas SCADA, servidor OPC UA y trazabilidad de procesos. Los conceptos permiten diseñar un sistema adecuado para el control, supervisión y registro de datos mediante la integración de PLC, HMI, servidor y computador con el objetivo de centralizar la información para la gestión de procesos. Finalmente, las pruebas de funcionamiento y los tiempos de operación serán claves para el análisis de la eficiencia al implementar procesos en líneas de simulación.

PALABRAS CLAVE: PLC, HMI, trazabilidad, interfaz, servidor, papas.

ABSTRACT

The industrial process simulation lines allow to analyze and correct a process before being implemented, they are focused on manufacturing, adaptable to any environment and expandable to the needs of the process. The purpose of this project is the rehabilitation of the industrial process simulation line of CAPEIPI, on which a potato cutting and disposal process is developed and implemented. To achieve this objective, topics related to equipment and instruments, computer integrated manufacturing, SCADA systems, OPC UA server and process traceability are addressed. The concepts allow designing an adequate system for control, supervision and data recording through the integration of PLC, HMI, server and computer with the objective of centralizing the information for process management. Finally, test runs and operation times will be key for the analysis of efficiency when implementing processes in simulation lines.

KEYWORDS: PLC, HMI, traceability, interface, server, potatoes.

1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la automatización de procesos industriales de manufactura se basa en el uso de la tecnología y diferentes campos de estudio para llevar a cabo un proceso donde haya menos intervención del ser humano, se mejore la calidad del producto, se produzca en base a tiempos establecidos y se reduzcan los costes de producción [1]. Para alcanzar estos objetivos es importante realizar análisis previos, los cuales pueden ser obtenidos al simular el proceso mediante software de simulación o sistemas especializados. Un sistema de simulación de procesos industriales es un prototipo o escenario artificial de un proceso industrial real, compuesto por hardware y software y sobre el cual se realizan pruebas de funcionamiento a fin de corregir errores y optimizar recursos[2]. Este sistema generalmente se usa para simular procesos de manufactura, pero puede ser ampliado a cualquier campo. Dentro de la Cámara de la Pequeña y Mediana Empresa de Pichincha CAPEIPI se encuentra el Centro de Diseño e Innovación Tecnológica CEDIT el cual cuenta con módulos de simulación de procesos industriales y sobre los cuales se desarrolla este trabajo.

Ecuador es un productor de distintas variedades de papas por lo que existen empresas destinadas a la producción y manufactura de este tubérculo para obtener diversos productos. De esta premisa, nace la necesidad de desarrollar e implementar una cadena de producción de papas sobre el sistema de simulación de procesos para determinar la importancia que tiene este sistema como aplicación previa a una implementación real del proceso. Debido a un largo periodo de abandono del CEDIT los módulos de simulación de procesos industriales y los diferentes equipos e instrumentos que los componen ya no se encuentran en condiciones óptimas de funcionamiento. Por lo que, se requiere rehabilitar los módulos de simulación de procesos para luego, diseñar, desarrollar e implementar un proceso de corte y desecho de residuos para la cadena de procesamiento de papas.

El presente trabajo describe la rehabilitación de los módulos de simulación de procesos industriales y además el diseño, desarrollo e implementación de los procesos de corte y desecho de una cadena de procesamiento de papas. Para alcanzar estos objetivos, se instaura un sistema destinado al control, supervisión y registro de trazabilidad del proceso mediante la integración de un sistema de Manufactura Integrado por Computadora CIM, el cual es una jerarquía que incorpora la toma de decisiones empresariales (nivel alto) con la línea de producción (nivel bajo) [3].

1.1 Objetivo general

Rehabilitar, diseñar, desarrollar e implementar el proceso de corte y desecho de residuos para la cadena de procesamiento de papas dentro del sistema de simulación de procesos industriales de la CAPEIPI.

1.2 Objetivos específicos

1. Realizar una revisión bibliográfica acerca de la importancia de una línea de simulación destinada al procesamiento de papas, abordando específicamente los aspectos relativos a los instrumentos, la maquinaria y el sistema industrial necesarios para la ejecución eficiente del control, monitoreo y trazabilidad del proceso
2. Diseñar e implementar una interfaz para el sistema de control y supervisión del proceso y una interfaz para el almacenamiento de datos.
3. Desarrollar los programas necesarios sobre el controlador, interfaz de supervisión, interfaz de almacenamiento de datos y servidor.
4. Implementar todo el sistema para llevar a cabo el control, supervisión y trazabilidad del proceso de corte y desecho de residuos.
5. Verificar la efectividad del sistema rehabilitado a través de la ejecución y operatividad del proceso de corte y desecho del procesamiento de papas.

1.3 Alcance

Identificar el estado inicial de la línea de simulación de procesos industriales de la CAPEIPI donde se recopilará las características de los equipos e instrumentos para llevar a cabo la rehabilitación.

Realizar una investigación bibliográfica del procesamiento de papas, los instrumentos, el equipamiento y el sistema industrial. Además, sobre el diseño de interfaces hombre-máquina para la supervisión de procesos industriales y el diseño de la interfaz de trazabilidad del procesamiento de papas.

Establecer una solución de operación al proceso de corte y desecho de residuos para alcanzar el control y monitoreo del proceso. También, seleccionar las distintas herramientas de software que faciliten la programación del PLC, la interfaz de supervisión, la interfaz de trazabilidad y escoger un servidor adecuado que permita la operatividad integral del sistema para cumplir los objetivos planteados.

Realizar la rehabilitación de dos módulos de la línea de procesamiento de papas para mantener en funcionamiento los equipos e implementar el control, supervisión y trazabilidad de los procesos de corte y desecho de residuos.

Diseñar y programar los PLC's Xinje y las interfaces hombre-máquina en las pantallas HMI TouchWin para ejecutar las tareas de control y supervisión. Diseñar e implementar una interfaz de trazabilidad en Microsoft Excel para visualizar y almacenar los datos del proceso. Configurar la operación del servidor KEPServerEX para integrar el control, la interfaz de supervisión y la interfaz de trazabilidad de los procesos de corte y desecho de residuos.

Realizar pruebas de operación correspondientes a la rehabilitación que demuestren el correcto funcionamiento de los instrumentos y equipos de los módulos de corte y desechos que conforman la línea de simulación procesos industriales de la CAPEIPI.

Realizar pruebas de operatividad integral del sistema mediante la activación de los procesos de corte y eliminación de residuos. Durante estas pruebas, se demostrará la capacidad de control y supervisión a través de los controladores lógicos programables (PLC) y las interfaces hombre-máquina (HMI). En este contexto, se evaluará el tiempo de operación de cada proceso.

Realizar pruebas de visualización y almacenamiento de datos mediante la interfaz de trazabilidad en Microsoft Excel, donde se considerará el tiempo de registro de los datos para cada proceso.

1.4 Marco teórico

En este capítulo se realiza una síntesis bibliográfica de los conceptos y temas relacionados con el desarrollo del presente trabajo, donde se describen los conocimientos necesarios para comprender sobre la automatización a través de sistemas CIM y el uso de las líneas de simulación de procesos industriales para evaluar y analizar el proceso previamente a su implementación real. Asimismo, se describe los conceptos relacionados a los instrumentos, equipos y software utilizados como es el caso de: PLC Xinje, HMI Touchwin, Microsoft Excel y KepServerEX.

1.4.1 Automatización de procesos industriales.

En la actualidad, la automatización de procesos industriales engloba varias disciplinas tanto teóricas como prácticas, enfocada en el área de manufactura y haciendo uso de la tecnología vigente para cumplir objetivos como: menor intervención del humano en el

proceso, mejorar la calidad de producción, flexibilidad en la producción, mejorar el control de la producción, entre otros [3].

La automatización de un proceso industrial se lleva a cabo en tres etapas principales: planificación, análisis e implementación. La planificación es la más importante y es el base para determinar un funcionamiento correcto del proceso, haciendo uso de diversas técnicas como la simulación. En el análisis, se estudia los resultados obtenidos de la etapa anterior para determinar si cumple los objetivos del proceso automatizado. Finalmente, si el análisis es positivo se lleva a cabo la implementación real del proceso industrial, de este modo se minimiza los costes y se prevén errores en la ejecución [4].

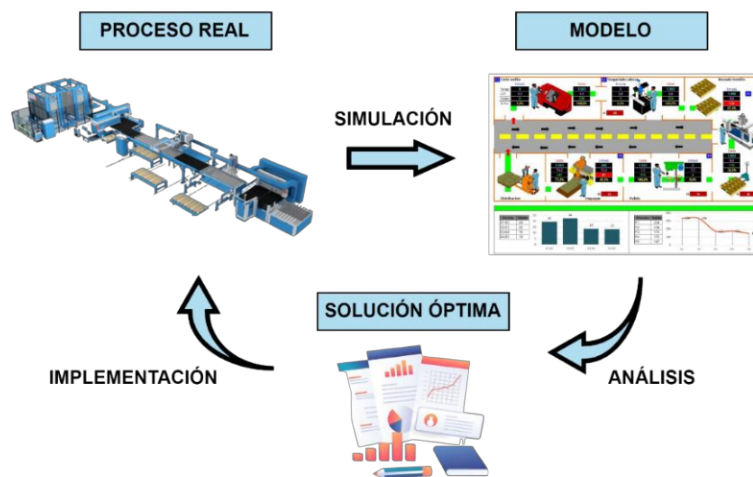


Figura 1.1 Etapas para diseñar un proceso automatizado.

1.4.2 Líneas de simulación de procesos industriales.

Una línea de producción consta de dos o más estaciones de trabajo automatizadas las cuales se encuentran conectadas y tiene como fin transferir un objeto de una estación a otra [4]. La simulación es la imitación de un proceso real que engloba la creación de un escenario artificial y el análisis de los resultados al operar sobre dicho escenario [5]. Al integrar estos dos conceptos se comprende a la línea de simulación de procesos industriales como un modelo sobre el cual se realizarán pruebas para determinar si cumple los objetivos del proceso real antes de ser implementado.

1.4.3 CIM: Manufactura Integrada por Computadora.

El modelo CIM hace referencia a la integración de equipos y sistemas informáticos a una línea de proceso de fabricación [6]. Este sistema tiene como objetivo enlazar los niveles de proceso con los niveles de gestión y que exista comunicación entre las diferentes funciones

del proceso para llevar el control de este [4]. En la **Figura 1.2** se observa los niveles que conforman la pirámide CIM.



Figura 1.2 Estructura de modelo CIM [3].

En el modelo CIM se puede diferenciar las características correspondientes a cada nivel, como se detalla en la **Tabla 1.1**.

Tabla 1.1 Descripción de los niveles del modelo CIM [7].

Nivel	Título	Descripción
0	Máquinas/ Proceso	Es el nivel más bajo, comprende todos los instrumentos que se encuentran presentes en el proceso como sensores y actuadores, maquinaria y equipos.
1	Controladores	Este nivel corresponde a los controladores lógicos programables (PLC), microcontroladores, ordenadores industriales. Además, es un medio de comunicación entre las acciones de mando de nivel 0, las acciones de control de nivel 1 y el nivel de supervisión.
2	Supervisión	Este nivel depende de las diferentes configuraciones de supervisión, ya que puede observar y recoger información de los niveles inferiores, enlazar los niveles inferiores con superiores o ejecutar acciones en niveles inferiores de acuerdo con las solicitudes de nivel superior. Además, involucra funciones de: adquisición de datos, gestión de datos y alarmas, corrección y prevención, control de calidad, seguimiento de lotes, etc.
3	Planificación	Este nivel es un vínculo entre los niveles 2 y 4 para realizar operaciones de: compras, inventarios, recursos de fabricación, calidad y mantenimiento. De acuerdo con

		las necesidades de producción se envía la información de los niveles inferiores para que el nivel 4 cumpla dichas solicitudes, además, el nivel 3 realimenta con la información de producción al nivel 4
4	Gestión	Es el nivel más alto, donde se gestiona y unifica la operación de los niveles inferiores, tiene como funciones: la toma de decisiones, planificación de estrategias, investigación, compras, ventas y mejoras sobre la producción.

A partir de esto, se puede determinar que la línea de simulación de procesos industriales integra un sistema CIM ya que se utiliza como una herramienta de análisis a fin de estudiar ámbitos de diseño y comunicación informática para enlazar los niveles de la línea de manufactura donde se tenga un seguimiento del producto y se infiera en las decisiones gerenciales [4], [8].

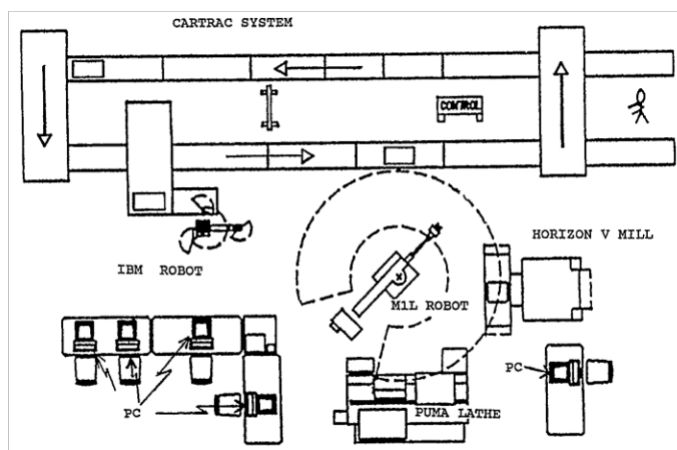


Figura 1.3 Ejemplo de línea de simulación CIM [8].

1.4.4 Sistemas de control distribuido.

Un sistema de control distribuido es aquel que está conformado por varios equipos de control destinados a una parte específica del proceso, donde los sensores y actuadores están conectados al controlador correspondiente. Para que este sistema funcione debe existir comunicación entre los diferentes equipos, por lo que se emplean redes industriales de comunicación para transmitir la información necesaria entre ellos. Al igual que el modelo CIM, un sistema de control distribuido está estructurado por 4 niveles análogos: campo, controladores, producción y empresa. La estructura del sistema de control distribuido permite identificar y organizar la ubicación de los equipos y las redes de comunicación, sin

embargo, dependiendo del proceso esta estructura puede verse modificada y agrupar niveles en uno solo o ampliar esta estructura de acuerdo a las necesidades [1].

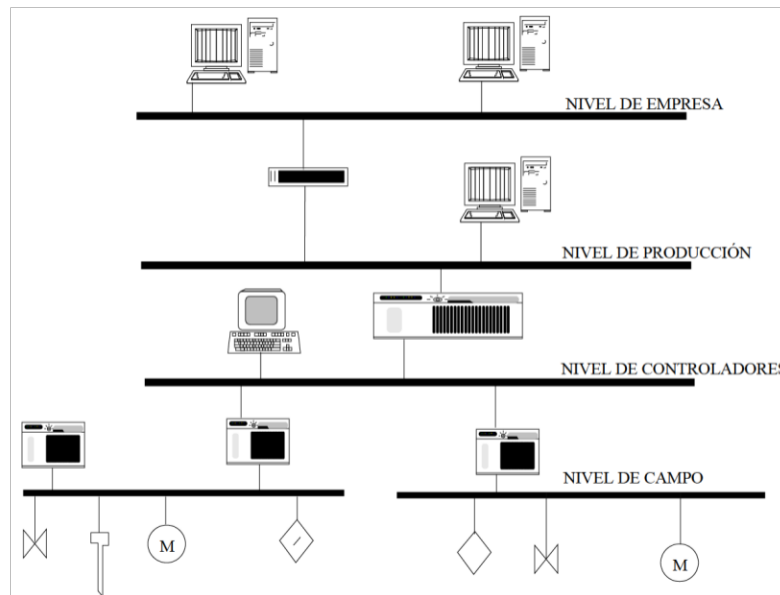


Figura 1.4 Ejemplo de niveles de un sistema de control distribuido

1.4.5 Sistema SCADA.

Un sistema SCADA o Control de Supervisión y Adquisición de Datos se define como un elemento de software y hardware capaz de permitir la comunicación entre los ordenadores y los equipos de control para adquirir datos y supervisar todo el proceso [1].

A través de las redes de comunicación industrial, el sistema SCADA crea una unidad terminal maestra (MTU) para monitorear los niveles inferiores denominadas terminales remotas (RTU) las cuales operan a altas velocidades para realizar acciones de control e informar sobre el proceso a la terminal maestra [9].

Actualmente, el hardware de comunicación más usada es de tipo Ethernet, pero existen otros medios como: RS-232, RS-485 o convertidores a USB tipo A [1]. Por otra parte, el software de un sistema SCADA debe ser escogido de acuerdo con las necesidades de comunicación de los dispositivos, por lo que existen varios protocolos como: Modbus, DNP3, Ethernet, redes inalámbricas, entre otras [10]. Por otro lado, el medio de comunicación por el cual los dispositivos de campo envían la información con el resto de la empresa es mediante tecnología OPC (OLE para Control de Procesos) que tiene la función de transportar los datos entre aplicaciones basadas en Microsoft Windows [1].

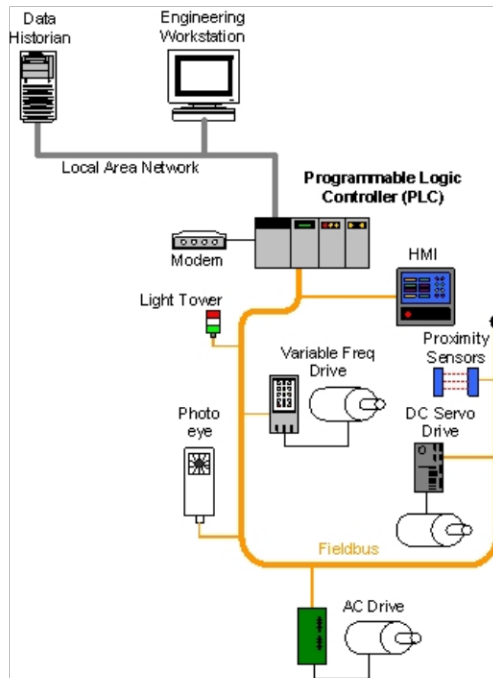


Figura 1.5 Ejemplo de arquitectura de sistema SCADA [10].

1.4.6 Instrumentación: Sensores y Actuadores.

Dentro de un proceso industrial el cual se requiere controlar, se define a la instrumentación como el conjunto de instrumentos o componentes de hardware con diferentes funciones, características y parámetros para realizar mediciones o registrar variables, así también, para ejecutar acciones de transmisión, evaluación, ejecución y control [11]. Dentro de la instrumentación existen diferentes clasificaciones, pero para los fines pertinentes se consideran los sensores y actuadores.

1.4.6.1 Sensores

Un sensor es un instrumento con la capacidad de convertir un fenómeno físico en una señal eléctrica, dicho de otra forma el sensor es un medio para enlazar el mundo físico con los dispositivos electrónicos [11].

Existen varias formas de clasificar a los sensores, pero en este caso se agrupan las características más importantes y se definen tres grupos: por principio de transducción, según la variable física a medir y por su salida [12]. Esta clasificación se resume en la

Tabla 1.2

Tabla 1.2 Clasificación de los Sensores [12]

Clasificación por principio de transducción	Clasificación según la variable física a medir	Por su salida
Piezoresistivo	Posición, velocidad y aceleración	Binaria
Capacitivo	Nivel y proximidad	Análoga
Piezoeléctrico	Humedad y deformación	
Ultrasónico	Fuerza y presión	
Magnético	Color, luz y visión	
Termoeléctrico	Gas y pH	
Fotoeléctrico	Biométricos	
Químico	De corriente	

Sensores de nivel y proximidad.

Estos sensores son muy usados en aplicaciones de envase, llenado, monitoreo, detección y hasta en sistemas táctiles. Su principal característica es la medición de la proximidad o cercanía de un objeto con respecto al sensor sin importar su orientación [12]. La clasificación de este tipo de sensores se muestra en la **Figura 1.6**

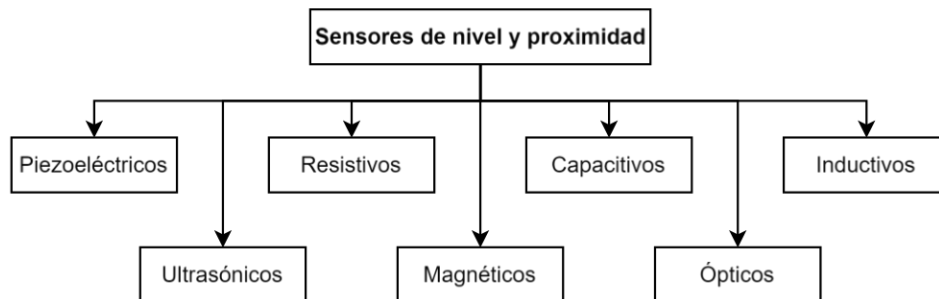


Figura 1.6 Clasificación de sensores de nivel y proximidad [12].

- **Sensores Inductivos:** Su principio de funcionamiento es el cambio en la inductancia de su bobina interna en presencia de un material conductor [12]. Una característica importante de estos sensores es que no se ve afectado por materiales intrusos entre el sensor y el objeto por lo que son ideales para entornos hostiles como: aceite, refrigerantes u otro líquido [11]. Debido a su principio de funcionamiento solo responden a materiales conductores y la distancia de detección dependerá del tipo de conductor [12].
- **Sensores ópticos:** Existen de diferente configuraciones: barrera, reflexión o difuso, para este último, su principio de funcionamiento se basa en el rebote de luz

infrarroja lanzada por un elemento emisor de luz infrarroja sobre el objeto a detectar y atrapada por un receptor fotosensible [12]. Su característica principal es que puede detectar todo tipo de material sobre el cual pueda reflejarse la luz emitida y tiene un mayor rango de detección. Por otra parte, depende de la luz en el ambiente, el tamaño, material y color del objeto para obtener una detección efectiva [1].

Sensores de salida binaria o análoga.

Esta clasificación es inherente a todos los sensores y se refiere más a una característica de estos. Es por el contexto del trabajo desarrollado, que se utiliza esta especificación para determinar una clase de sensor y hace referencia a la señal eléctrica que proporciona en su salida: binaria o análoga.

- Sensor de salida análoga: Una señal análoga es una medida de alguna magnitud física que ha sido transformada a una señal continua y que transmite la información de manera proporcional [13]. Como señal eléctrica y de acuerdo con las estandarizaciones, la señal análoga puede ser de dos tipos: voltaje o corriente.

Estándar de Voltaje: 0-5 V generalmente usado en microcontroladores, 0-10 V generalmente usado en PLC y 0-12 V [14].

Estándar de Corriente: 4 a 20 mA y 10 a 50 mA [14].

- Sensores de salida binaria: Una señal binaria hace referencia a una salida de dos estados: estado alto y estado bajo [15]. Depende física y eléctricamente del tipo de dispositivo que posea (transistor, triac, relé, etc.) para la conmutación o el tipo de tensión que maneje [1]. Generalmente la señal eléctrica es voltaje VCC o VCA y el medio de transmisión es de dos o tres hilos, también, se pueden evidenciar dos tipos de sensores de salida binaria: on-off y conmutación.

Salida binaria tipo on-off: El medio de transmisión es de dos hilos, depende de la tensión de alimentación y puede manejar corriente continua o alterna, generalmente: 0-3.3VCC, 0-5VCC, 0-12VCC, 0-24VCC, 0-110VCA, 0-220VCA [1].

Salida binaria tipo conmutación: El medio de transmisión es de tres hilos y depende del dispositivo integrado para hacer conmutar los estados alto o bajo. Se identifican dos tipos: NPN o PNP y maneja los voltajes del tipo on-off [1].

1.4.6.2 Actuadores

Un actuador es un dispositivo que convierte las señales eléctricas emitidas por el controlador en acciones físicas como: fuerza, posición, aceleración o velocidad [1].

Además, existe el concepto de preactuador el cuál es un elemento de acción sobre el actuador, es decir funciona como interfaz al recibir la señal y enviarla al actuador para ejecutar una acción [1]. Los actuadores pueden ser clasificados de acuerdo al tipo de señal que maneja: eléctricos, neumáticos e hidráulicos o una combinación de estos: electro-mecánicos, electro-neumáticos y electro-hidráulicos [12]. Generalmente, los actuadores más usados de la industria son: válvulas, bombas, ventiladores, cilindros hidráulicos y neumáticos y motores eléctricos [1].

Actuadores neumáticos.

Los actuadores más usados de este tipo son los cilindros, su funcionamiento depende de aire comprimido para ejercer movimiento o fuerza en el proceso [1]. Los preactuadores usados para accionar los cilindros son las válvulas las cuales pueden ser: neumáticas o electroneumáticas [16].

Actuadores Eléctricos.

Los actuadores más usados de este tipo son los motores de inducción, motores de imanes permanentes, motorreductores, motores a paso, motores de corriente continua y bombas [1]. Su funcionamiento se basa en la transformación de energía eléctrica en energía mecánica [12]. Los preactuadores usados para accionar los motores o bombas son: electromecánicos como relés y contactores o electrónicos como PLC o Variadores de velocidad [3].

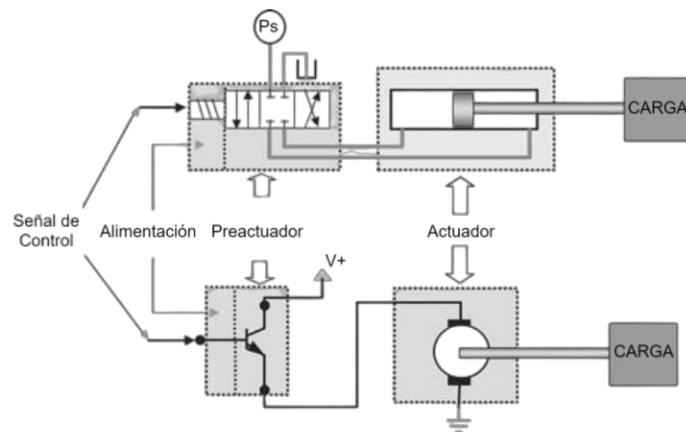


Figura 1.7 Ejemplo de actuadores eléctricos y neumáticos [17].

1.4.7 Controlador Lógico Programable

Un controlador lógico programable o PLC, es un computador digital equipado para trabajar en un ambiente industrial y sobre el cual se programa un proceso para controlar y supervisar sus variables, generalmente son procesos secuenciales y en tiempo real [7]. La

diferencia de los PLC's con computadoras industriales es su configuración de entradas y salidas ya sean análogas o digitales, y protección contra ruido eléctrico y resistencia a vibraciones e impactos [18].

1.4.7.1 Características del PLC XINJE

Las estaciones de simulación cuentan con PLC's de marca Xinje y modelo XC3-24-RT-E. La codificación del modelo hace referencia a las siguientes características: modelo de tipo estándar, con 24 entradas-salidas digitales, tipo de salida mixta (transistor y relé), alimentación 110 VCA [19]. Otras características que integran los PLC Xinje son: alta velocidad de operación entre 0,2~0,5 us. para operaciones básicas, soporta hasta 7 módulos de expansión, incluye múltiples puertos de comunicación (RS232, RS485, CAN y otros periféricos), programable en lenguaje Ladder y lista de instrucciones [19].

1.4.8 HMI: Interfaz Hombre Máquina.

Una interfaz hombre máquina es el la integración de software y hardware destinado a la interacción y monitoreo con un sistema de control o el proceso a través de un operador [20]. Una pantalla táctil, es una pantalla electrónica que puede detectar la presencia y ubicación del tacto humano dentro de un área de visualización [18].

1.4.8.1 Características del HMI TouchWin.

Los HMI TouchWin son una línea de pantallas táctiles desarrolladas por Xinje. En las estaciones de simulación se cuenta con el modelo TH465-UT, donde esta codificación hace referencia a las siguientes características: serie TH, tamaño de LCD 465 o 4.3 pulgadas, puerto tipo USB-B para descarga y puerto para disco flash tipo USB-A [21]. Otras características son: resolución de 480*272 pixeles, memoria de 8MB, puerto 1 compatible con RS-232 y puerto 2 compatible con RS-232, RS-485 y RS-422 [21].

1.4.9 Servidor de datos OPC UA.

Un servidor de datos es un intermediario en la trasmisión de datos. Se establece una conexión cliente-servidor donde los dispositivos acceden al servidor para obtener información y el servidor determina si el cliente tiene credenciales válidas para acceder a dicha información. El servidor cuenta con criterios integrados para escribir y leer datos que envían o solicitan los clientes [22]. OPC UA es un software que integra la arquitectura clásica OLE para procesos de control y una arquitectura unificada, lo que sugiere una compatibilidad entre todos los protocolos de comunicación [23]. De este modo se crea un

enlace de comunicación entre los dispositivos de control, el servidor y los clientes o interfaces.

1.4.9.1 KEPServerEX.

Es un software diseñado para mantener una comunicación precisa, un intercambio de datos seguro y ser configurado rápidamente. Además, integra complementos, controladores de dispositivos y componentes para que se pueda adaptar a la mayoría de las necesidades, también, proporciona un acceso para aplicaciones basadas en estándares y con interfaces nativas. Es compatible con plataformas como: OPC DA, OPC UA, MQTT, REST, SNMP, etc. También integra drivers para la gran mayoría de dispositivos como: DDE Client, Modbus Serial, Modbus Ethernet, Siemens TCP/IP Ethernet, entre otros [24].

1.4.10 Trazabilidad.

Es un elemento que brinda la posibilidad de seguimiento y localización de un bien, ya sea antes, durante, después de un proceso o el conjunto de estos [25]. Se puede definir tres tipos principales de trazabilidad [26]:

- Trazabilidad de proveedor o hacia atrás: Se trata del seguimiento de un producto que ingresa a la empresa y mantener información de los proveedores [26].
- Trazabilidad de proceso o interna: Se trata del seguimiento de un producto dentro de la empresa durante su procesamiento o estadía en esta [26].
- Trazabilidad de cliente o hacia delante: Se trata del seguimiento de un producto que abandona la empresa y mantener información de los clientes [26].

1.4.10.1 Microsoft Excel.

Es un software de hoja de cálculo desarrollado por Microsoft Office, el cual integra múltiples herramientas que permite ejecutar varias funciones adicionales al cálculo numérico. De este modo, se listan algunos de usos: creación de gráficos, diagramas y tablas, organización de listas, acceso a datos externos y automatizar tareas mediante macros [27].

1.4.11 Caso de estudio: Procesamiento de Papas.

En Ecuador, la papa emerge como el segundo cultivo de mayor relevancia en términos de producción, se registra una producción anual de aproximadamente 300 mil toneladas de este tubérculo, distribuidas en diversas variedades [28]. Se estima que, en promedio, cada individuo consume alrededor de 30 kilogramos de papa anualmente [28]. La cadena de

producción de la papa en Ecuador involucra la participación de aproximadamente 80,000 agricultores especializados en su cultivo y comercialización [28]. Este dato demuestra la significativa importancia socioeconómica y alimentaria que ostenta la papa dentro del panorama agrícola nacional. De este modo, es necesario dar visibilidad a productos derivados de la papa e industrializarlo mediante una línea automatizada que aporta beneficios como [29]:

- Aumentar la velocidad de producción y disminuir los costos de elaboración.
- Disminuir el desperdicio del producto con maquinaria especializada en el proceso.
- Mejorar la calidad, ya que al estar automatizado se evita errores humanos que afectan el producto.
- Mejorar la seguridad laboral ya que se evitan riesgos laborales.

2 METODOLOGÍA

El presente Trabajo de Integración Curricular tiene como objetivo la implementación de los procesos de corte y desecho de una línea de producción de papas. En este sentido se emplea un estudio de caso, donde, a partir de la información presentada en el capítulo 1 se diseñan los procesos hasta conseguir la implementación total. Finalmente, a través de un enfoque mixto se analizan los resultados por medio de pruebas de operación del proceso y los datos recolectados concernientes a tiempos de ejecución.

2.1 Rehabilitación de módulos de simulación

La CAPEIPI cuenta con una línea de simulación de procesos industriales del cual se emplean dos módulos para la implementación de este trabajo. Por motivos de abandono, las líneas de simulación se encontraban sin operación y fue necesario una acción inicial de limpieza y mantenimiento como se muestra en la **Figura 2.1**.


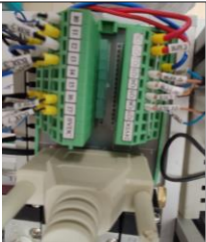



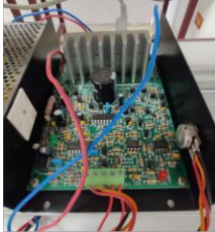

Figura 2.1 Limpieza y mantenimiento de las líneas de simulación.

Mediante observación y pruebas de funcionamiento de las estructuras mecánicas se determina que no existe ningún daño en las barras de aluminio, también se observa que las bandas de silicona y las poleas por donde estas se deslizan se encuentran en perfecto estado. Por lo que, se concluye que la estructura mecánica está en óptimas condiciones para su operación.

Se realizaron pruebas de funcionamiento de los elementos que conforman los módulos de corte y desecho para determinar los daños. La **Tabla 2.1** contiene un resumen de los elementos que fueron reemplazados durante la rehabilitación.

Tabla 2.1 Resumen de elementos reemplazados

Módulo	Elemento	Foto de elemento reemplazado	Descripción de daño
Corte	Fuente de alimentación 24 VCC		El nivel de voltaje de salida era menor a 12V.
	Interfaz de conexión de entradas y salidas		Daño en el PCB, por lo que las señales ya no se transferían

	Sensor inductivo		Sensor dañado, no hay señal de salida
Desecho	Variador de velocidad para motor de corriente continua		Daño en el PCB. El variador no logra arrancar el motor.
	Interfaz de conexión de entradas y salidas		Daño en el PCB,

En la **Tabla 2.2** se enlistan la cantidad de elementos reemplazados y sus características.

Tabla 2.2 Lista de elementos reemplazados.

Cantidad	Elemento	Características
1	Fuente de alimentación 24 VDC	-Voltaje de entrada: 110-220 VAC -Voltaje de salida: 24 VDC. -Corriente de salida: 5 A.
2	Interfaz de conexión de entradas y salidas	-Entradas digitales tipo NPN: 8. -Salidas digitales: 8. -Voltaje: 0 – 30 VDC.
1	Variador de velocidad de motor DC	-Voltaje de entrada: 0-30 VDC. -Voltaje de salida: 0-30 VDC. -Inversión de giro.
3	Sensor inductivo	-Voltaje de entrada: 0-30VDC. -Salida digital tipo NPN. -Distancia de detección: 0-5mm
1	Sensor fotoeléctrico	-Voltaje de entrada: 0-30VDC. -Salida digital tipo NPN. -Distancia de detección: 0-10cm.

Luego de reemplazar los elementos, se acondicionó y reubicó los módulos de corte y desecho para llevar a cabo el diseño e implementación de los procesos. En la **Figura 2.2** se muestra la disposición de los módulos.

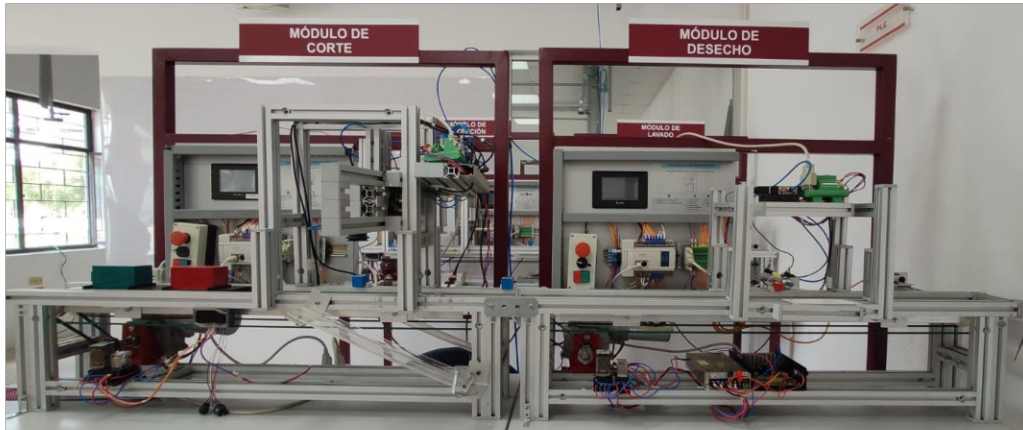


Figura 2.2 Disposición física de los módulos de desecho.

En la **Figura 2.3** se toma como ejemplo el módulo de desecho, donde se definen las partes que lo conforman y esta misma configuración se aplica al módulo de corte.

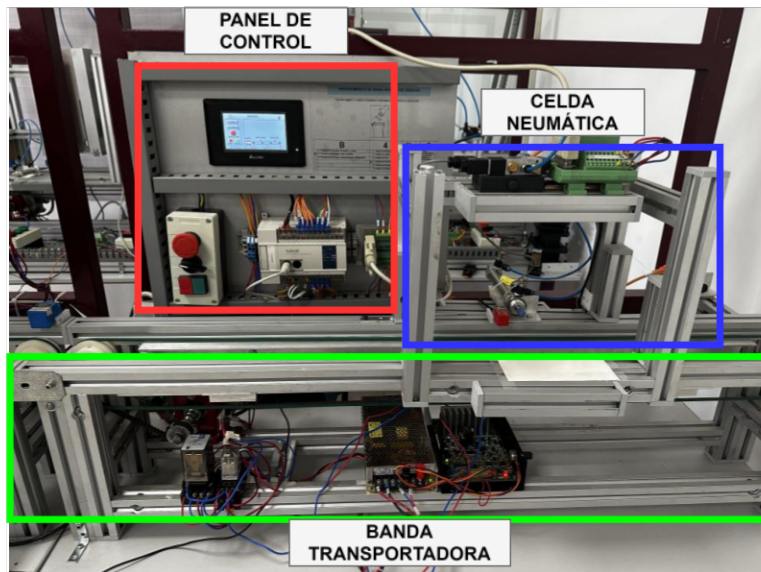


Figura 2.3 Partes del módulo.

Los módulos se encuentran divididos en tres partes principales y cada una tiene funciones definidas.

Panel de control:

Se encarga del control de proceso y su operación, está conformado por un PLC Xinje, HMI TouchWin y una botonera.

Banda Transportadora

Se encarga del desplazamiento de los pallets a través de la línea de proceso. Su estructura se conforma por barras de aluminio y bandas de silicón, el movimiento es producido por un motor de corriente continua que es controlado a partir de un arranque electromecánico y un variador de velocidad.

Celda Neumática

Se encarga de ejecutar una acción neumática según sea el caso: clasificación en el módulo de corte y separación en el módulo de desecho. Está conformado por una estructura en aluminio y cilindros neumáticos los cuales son controlados por válvulas electroneumáticas y sensores.

En la **Tabla 2.3** y **2.4** se enlista los elementos que conforman el módulo de corte y desecho respectivamente.

Tabla 2.3 Elementos del módulo de corte

Parte	Cantidad	Elemento
Panel de control	1	HMI Touchwin TH 465-UT
	1	PLC Xinje XC3-24-RT-E
	1	Botonera: Botones de marcha, paro, emergencia y selector
Banda transportadora	1	Estructura de aluminio y bandas de silicón
	1	Motor corriente continua de 24V
	2	Relés de 24 VCC
	1	Variador de velocidad
	1	Fuente de 24 VCC
	4	Sensores inductivos
Celda neumática	1	Estructura de aluminio
	3	Cilindros neumáticos simple efecto
	1	Generador de vacío neumático
	1	Ventosa de succión.
	2	Sensores para cilindro neumático
	4	Válvulas electroneumáticas

Tabla 2.4 Elementos del módulo de desecho

Parte	Cantidad	Elemento
Panel de control	1	HMI Touchwin TH 465-UT
	1	PLC Xinje XC3-24-RT-E
	1	Botonera: Botones de marcha, paro, emergencia y selector
Banda transportadora	1	Estructura de aluminio y bandas de silicón
	1	Motor corriente continua de 24V
	2	Relés de 24 VCC
	1	Variador de velocidad
	1	Fuente de 24 VCC
	1	Sensor inductivo
	1	Sensor fotoeléctrico
Celda neumática	1	Estructura de aluminio
	1	Cilindro neumáticos simple efecto
	1	Válvula electroneumática
	1	Sensor para cilindro neumático

2.2 Diseño

2.2.1 Diseño de proceso

Para llevar a cabo el diseño de operación del proceso, se parte del análisis de los recursos de hardware y software estudiados en el capítulo y sección anteriores que permitan alcanzar el objetivo de implementación. En el ANEXO I se encuentra el diagrama P&ID de los procesos de corte y desecho que muestra en detalle los elementos que los componen. De este modo, se determina que el enfoque será orientado al control de calidad y manejo de datos, con esto, se satisfacen los objetivos de simulación, ejecución y trazabilidad del proceso.

2.2.1.1 Fundamentación para el diseño de operación del proceso.

En esta sección se abarcan los conceptos y condiciones que justifican el diseño de proceso basado en el control de calidad mediante la trazabilidad.

Control de calidad.

El control de calidad tiene como objetivo garantizar un producto con las mejores características que beneficien al consumidor y faciliten la producción a la empresa [30]. En este sentido, se establece que las variables que determinan las características de la papa,

del producto derivado y de los módulos de simulación se ajustan al control de calidad. A continuación, se presentan estas variables.

- **Peso de pallet:** Esta variable depende de las características físicas de la banda transportadora, para fines de simulación del proceso se establece un peso límite de 60 Kg en referencia a que, en el proceso anterior al corte, la papa se almacena en un peso de 50 kg.
- **Humedad relativa:** Esta variable hace referencia a la humedad presente en las papas y se expresa en porcentaje de masa de agua sobre masa de producto $\%(m/m)$ [31]. Se comprende un rango de 0%-100% y es importante este parámetro ya que garantiza la conservación de las papas.
- **Tamaño de papa:** Se establece tres tamaños: pequeño, mediano y grande, de manera análoga a la norma de consumo de papa donde establece el tamaño del tubérculo mediante clases [32]. Por lo que se define los tamaños según el diámetro y en milímetros como: pequeño (10 a 44), mediano (45 a 64) y grande (superior a 65) [32].
- **Tipo de corte:** En Ecuador el tipo de corte para uso industrial de la papa es del tipo lámina o chip ya que se emplea en la producción de snacks y el tipo bastón para fritura y congelado. En este sentido, se incluye estos dos tipos de corte con la diferencia que el producto final será un empaquetado de la materia en crudo y al vacío y con tamaños de corte acorde a la norma de papas fritas congeladas [31].
- **Peso de producción:** Luego de ejecutarse el corte, el producto será distribuido en bolsas de peso estándar de 500 g. y 1000 g. Esta distribución hace referencia al peso de cada bolsa que se producirá.
- **Cantidad producida:** Es el número de bolsas resultantes, una vez se haya distribuido las papas cortadas en las bolsas de acuerdo con el peso.
- **Peso de desecho:** Es el peso del contenido en Kg considerado como desecho, luego del proceso de corte.
- **Contenido de desecho:** Se establecen tres tipos de contenido de desecho: cascaras, trozos de papas y sobrantes de corte.
- **Reprocesamiento:** Se considera reprocesamiento al incumplimiento de las características del producto. En este sentido, la condición de reprocesamiento será definida en el proceso de corte, donde se evaluará si el pallet está dentro de los

parámetros de peso y humedad. En el módulo de desecho, se verificará si los parámetros fueron correctos.

Condiciones del proceso

El proceso de corte y desecho forman parte de la cadena de producción de papas, esto implica que existen procesos anteriores y posteriores a los que se desarrollan en este trabajo. De este modo, se definen condiciones anteriores y posteriores a la ejecución del proceso:

- El peso del pallet al inicio del proceso de corte debe situarse entre 45 kg y 60 kg; de lo contrario, se requerirá su reprocesamiento.
- La humedad de las papas en el pallet al comienzo del proceso de corte debe estar dentro del rango establecido. Según los criterios de producción, se determinará si es necesario reprocesarlas o no.
- El proceso culmina con la obtención de un lote de producto final, el cual se divide en dos etapas distintas. En la primera etapa se determina la cantidad de bolsas de papas con un corte específico y un peso determinado. En la segunda etapa, se cuantifica el desecho, considerando tanto su peso como su contenido específico.

2.2.1.2 Diagrama de flujo del proceso

En general, el proceso opera de manera secuencial, iniciando en el módulo de corte y finalizando en el módulo de desecho. Existen dos modos principales de operación del proceso: corte-desecho y reprocesamiento.

Corte-Desecho

Este modo de operación se considera de operación completa ya que se ejecuta el objetivo principal de los módulos de corte y desecho. El diagrama de flujo que explica este modo se muestra en la **Figura 2.4**

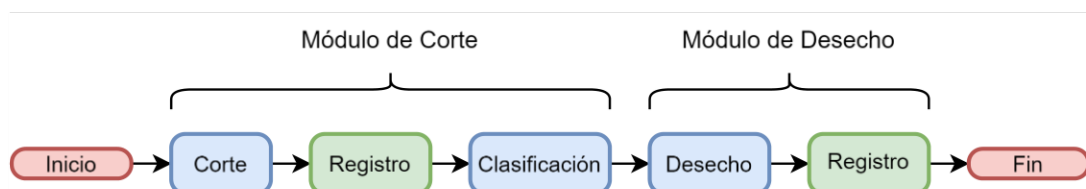


Figura 2.4 Diagrama de flujo de modo corte-desecho.

Reprocesamiento

Este modo de operación se basa en el incumplimiento de las condiciones de proceso. El diagrama de flujo que explica este modo se muestra en la **Figura 2.5**

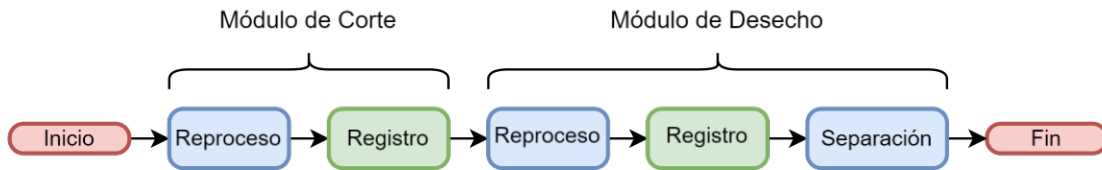


Figura 2.5 Diagrama de flujo de modo reprocesamiento.

2.2.2 Diseño de programa del PLC

La programación de los PLC's de corte y desecho se realizó en el software XC Series Program Tool v3.3q mediante lenguaje de programación Ladder para controlar las acciones de las bandas transportadoras y las celdas neumáticas.



Figura 2.6 Software y programación en Ladder del PLC.

Programa de PLC de la estación de corte

Dentro del programa del PLC de corte se ejecutan los dos modos de operación del proceso: corte-desecho y reprocesamiento. El control del modo corte-desecho tiene como objetivo trasladar al pallet hacia las diferentes zonas de la banda transportadora, cuando se realice el corte la celda neumática debe clasificar el pallet de acuerdo con el tipo de corte. El control del modo reprocesamiento traslada el pallet por medio de la banda hacia el módulo de desecho. La **Figura 2.7** es un diagrama de flujo resumido de la operación del módulo de corte.

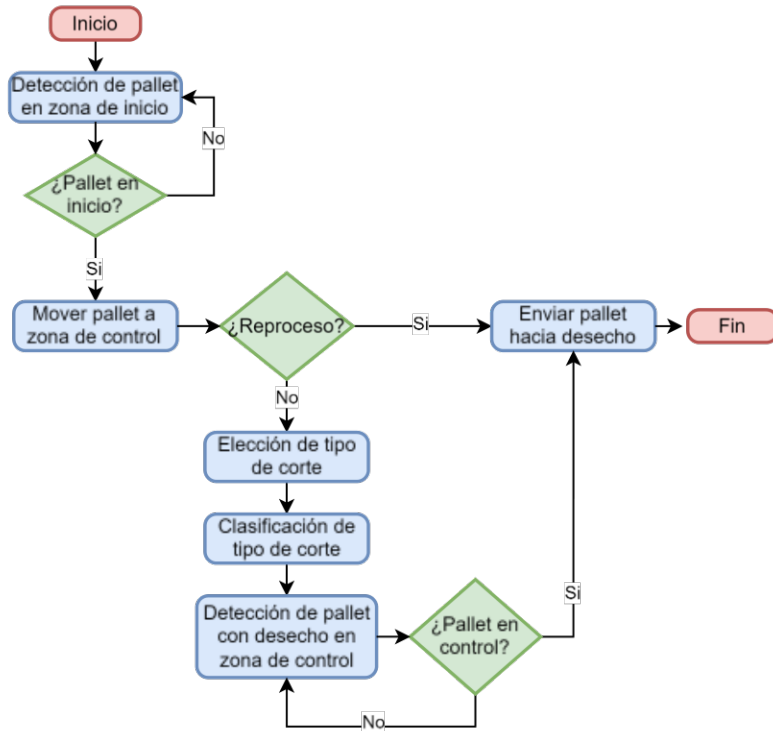


Figura 2.7 Diagrama de flujo del programa de PLC de corte.

Programa de PLC de la estación de desecho

Dentro del programa del PLC de desecho se ejecutan los dos modos de operación del proceso: corte-desecho y reprocesamiento. El control del modo corte-desecho tiene como objetivo trasladar al pallet hacia las diferentes zonas de la banda transportadora hasta terminar el proceso. El control del modo reprocesamiento tiene como objetivo que la celda neumática separe el pallet de la línea de proceso. La **Figura 2.8** es un diagrama de flujo resumido de la operación del módulo de desecho.

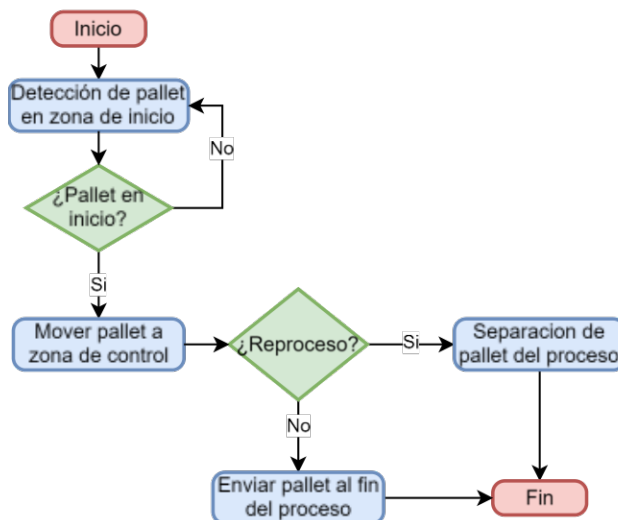


Figura 2.8 Diagrama de flujo del programa de PLC de desecho.

2.2.3 Diseño de Interfaz Hombre-Máquina

La interfaz HMI forma parte del sistema SCADA, de este modo, se define la arquitectura de los HMI en 2 niveles: superior e inferior. En el nivel superior se encuentra la pantalla de proceso y alarmas y en el nivel inferior se encuentra la ventana de registro de datos y alarma emergente. Pese a que la ventana de registro de datos se muestre dentro de la pantalla de proceso se considera que esta, es un nivel inferior. La pantalla de acceso no se considera parte de la jerarquía ya que es un nivel superior de ingreso. La arquitectura de las interfaces hombre-máquina se muestra en la **Figura 2.9**.

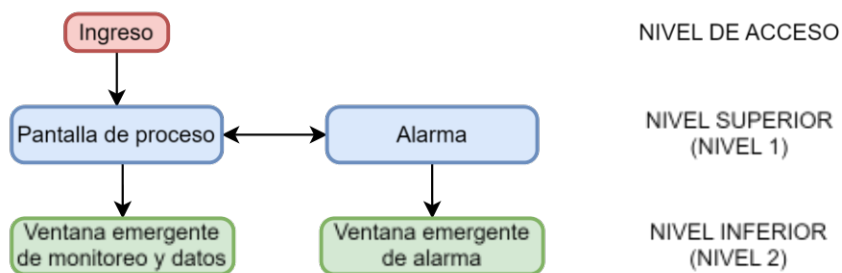


Figura 2.9 Arquitectura de HMI.

La arquitectura se establece de acuerdo con las características de hardware de las pantallas HMI las cuales tiene un tamaño de 480*272 pixeles lo que significa un espacio reducido para incorporar más niveles. La norma ANSI/ISA de diseño de HMI para sistemas de procesos automatizados considera los siguientes principios de diseño [20]:

- La HMI debe ayudar al usuario a detectar con antelación un problema, diagnosticar y dar solución a una situación anormal.
- La interfaz hombre-maquina es una herramienta que garantiza una supervisión y control seguro del proceso.
- La HMI debe de estar diseñada para que el usuario pueda priorizar rápidamente una respuesta a un problema.
- En caso de existir una falla, estas deben ser evidentes para el usuario.

También, se presenta los siguientes conceptos de ergonomía de las HMI [20]:

- La HMI y la información que se muestra debe ser intuitiva para el usuario.
- La HMI debe estar diseñada para ejecutar todos los modos de operación incluyendo una operación anormal, como las alarmas.
- La HMI debe brindar la información necesaria para realizar una tarea.

- La información presentada en la interfaz debe de tener un formato y forma apropiada, como las unidades de medición.
- La HMI debe contener el procedimiento para que el usuario ejecute las acciones del proceso.
- La HMI debe manejar una terminología coherente y que sea de uso común para el usuario.

Color y texto

La norma recomienda que el uso de colores no debe de ser excesivo, y debe usarse colores que sean diferenciables de acuerdo al estado de acción de los elementos, así también para el caso de alarmas [20]. En la **Tabla 2.5** se resume los colores utilizados en el diseño de las interfaces.

Tabla 2.5 Resumen de colores en el diseño de HMI.

Grupo	Tipo	Color	Nombre	R	G	B
Pantalla	Fondo		Plata	192	192	192
	Alarma		Rojo	255	0	0
	Texto normal		Negro	0	0	0
	Texto de precaución		Rojo	255	0	0
Estado de equipos	Encendido		Lima	50	205	50
	Apagado		Rojo	255	0	0
Estado de mando	Marcha		Lima	50	205	50
	Paro		Rojo	255	0	0

La norma ANSI/ISA recomienda utilizar una fuente de letra que sea legible, no emplear más de tres tipos de tamaño distinto y respetar el código de color que ya se ha establecido en la **Tabla 2.5**. En este sentido, se emplea el tipo de letra Times New Roman y dos tamaños de letra: nro. 9 para texto y nro. 12 para títulos.

Ventanas emergentes (pop-up)

Se define a una pop-up como una ventana que ocupa una sección de una pantalla y muestra información importante al usuario ya sea de monitoreo, un bucle de control o secuencia de acciones [20]. Se debe aplicar las siguientes consideraciones de diseño:

- El usuario debe tener control para cerrar las ventanas emergentes.

- Las ventanas no deben cubrir ni oscurecer las partes importantes del resto de la pantalla.
- Al usar varias ventanas emergentes el usuario debe aún tener acceso a la pantalla principal e interactuar con esta.
- El diseño de las pop-ups debe de tener armonía con el diseño de la pantalla principal, respetando el color y texto ya definidos.

Distribución y plantilla

El diseño y programación de las pantallas HMI se desarrolla en el software TouchWin Edit Tool v2.D3n proporcionado por el fabricante. El diseño cumple con las condiciones y recomendaciones dadas por las normas para ofrecer ergonomía y fácil acceso al usuario con una interfaz limpia y entendible.

Las pantallas se dividen en 2 niveles: superior e inferior. El nivel superior comprende las pantallas de proceso y alarmas, mientras que el nivel inferior las ventanas emergentes de monitoreo, registro de datos y alarma emergente. También se considera fuera de los niveles a la ventana de acceso. A continuación, se presenta las plantillas que se emplearan en la programación de las pantallas.

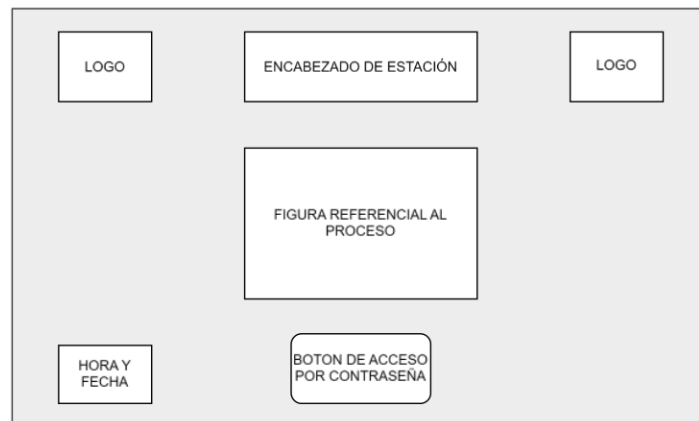


Figura 2.10 Plantilla para pantalla de acceso.

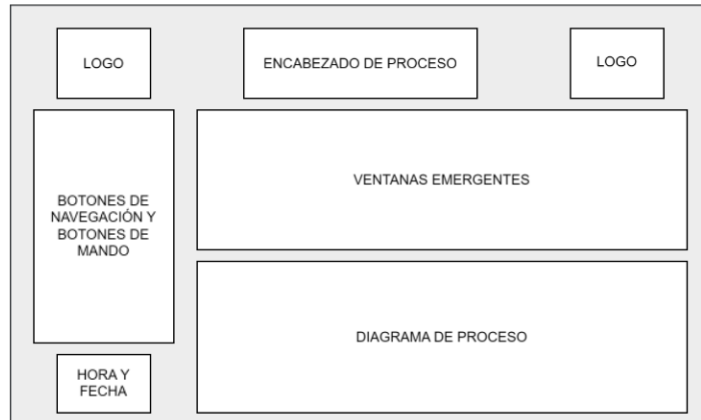


Figura 2.11 Plantilla para pantalla de proceso.

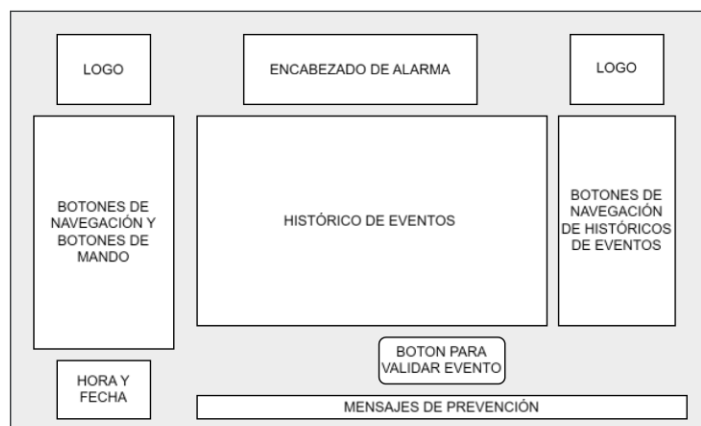


Figura 2.12 Plantilla para pantalla de alarmas.

En La **Figura 2.13** se muestra la plantilla diseñada para las ventanas emergentes. a) ventana de monitoreo, muestra información de acción del proceso. b) ventana de registro de datos, donde se registran los datos de proceso. c) ventana de alarma emergente, se muestra cuando se acciona un paro de emergencia.

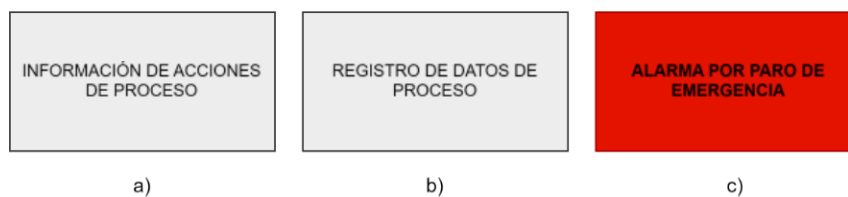


Figura 2.13 Plantilla para ventanas emergentes

Navegación y operatividad

Las pantallas implementadas tienen como objetivo que el usuario pueda navegar y ejecutar las acciones de control y monitoreo. Si bien la interfaz está diseñada de manera simple e intuitiva para el usuario, la **Figura 2.14** muestra un diagrama que facilita comprender la navegación por la interfaz.

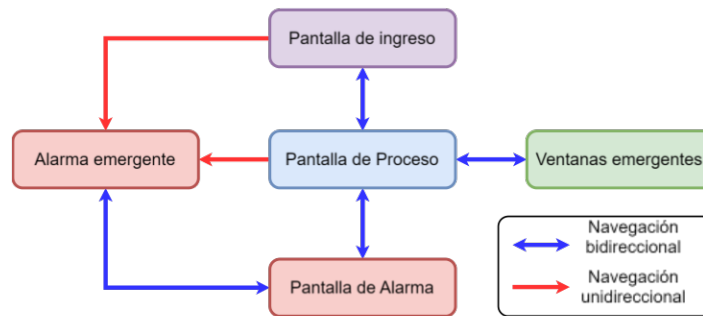


Figura 2.14 Diagrama de navegación simplificado.

En las **Figuras 2.15, 2.16 y 2.17** se presentan los diagramas de flujo de operación y manejo de las pantallas para los modos de: funcionamiento en condiciones normales de proceso, parada y reanudación del proceso y condiciones de alarma, respectivamente.

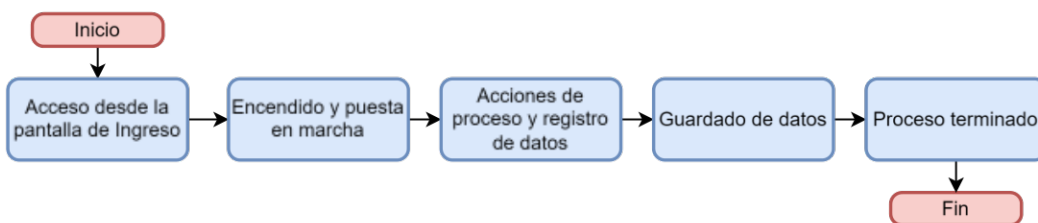


Figura 2.15 Diagrama de flujo para operación de HMI en condiciones normales de proceso.

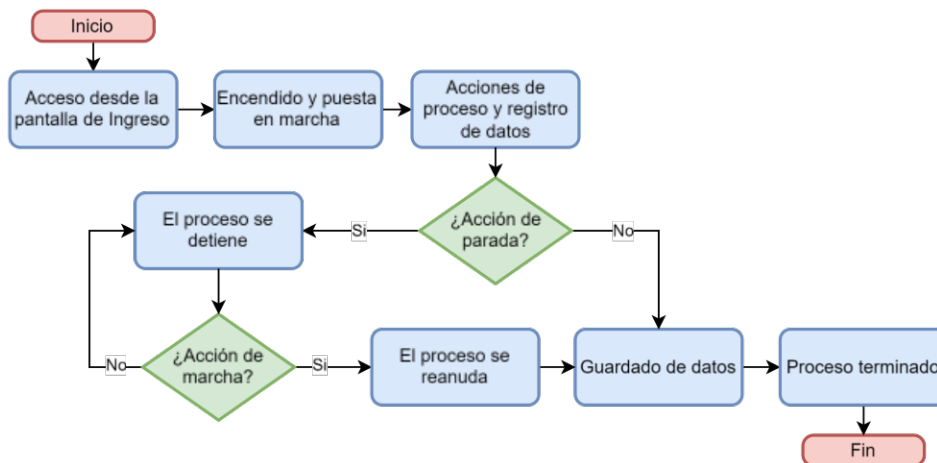


Figura 2.16 Diagrama de flujo para operación de HMI parada y reanudación de proceso.

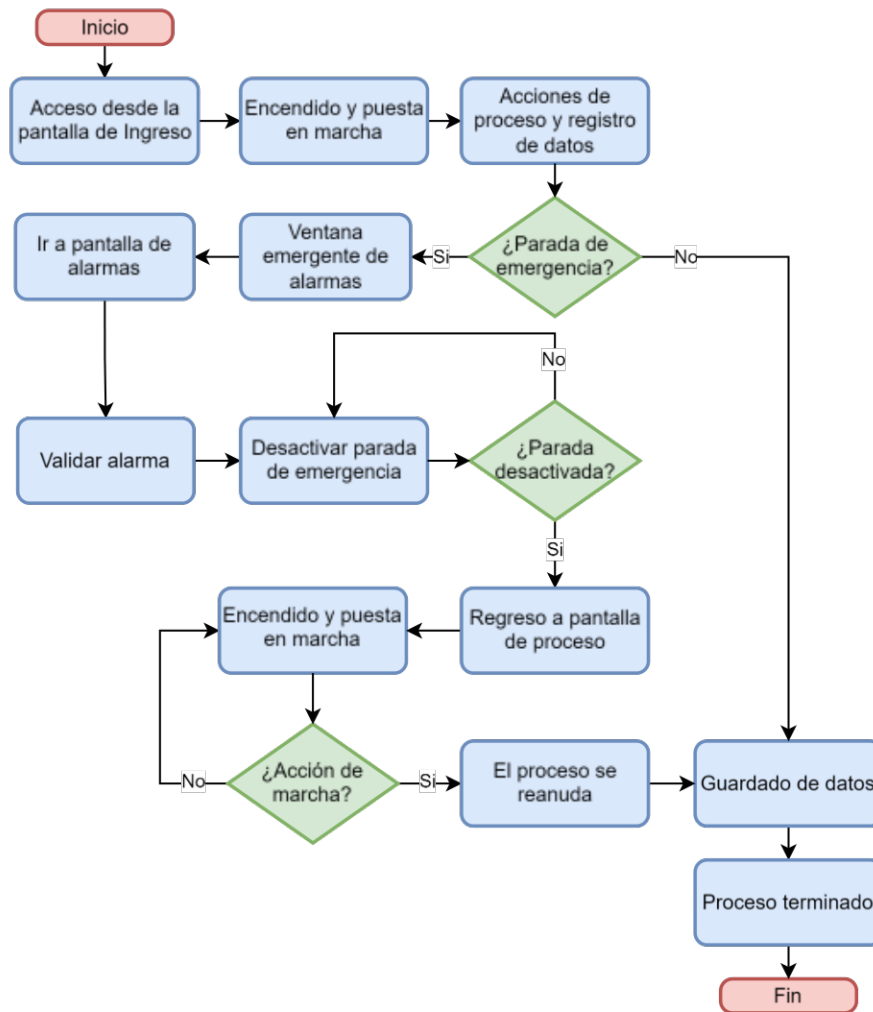
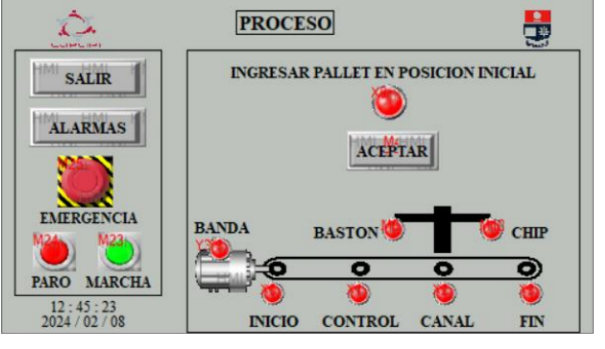
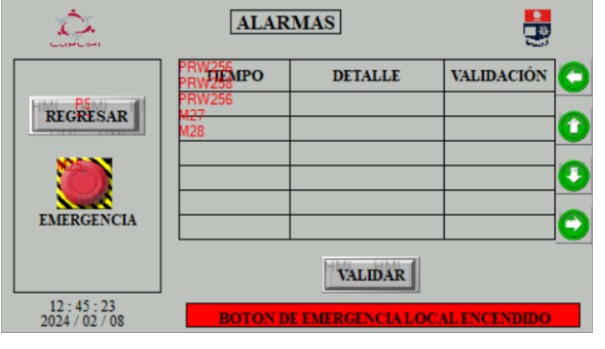





Figura 2.17 Diagrama de flujo para operación de HMI condición de alarma.

En la **Tabla 2.6** se presenta ejemplos de las pantallas implementadas para cada nivel, incluyendo la pantalla de ingreso.

Tabla 2.6 Ejemplo de pantallas implementadas.

Pantalla y descripción	Ejemplo
Pantalla de acceso: contiene una imagen referente al proceso, hora, fecha y un botón de ingreso por contraseña	

<p>Pantalla de proceso: Contiene una sección de botones para navegación y botones de mando del proceso, también una sección del proceso y una sección de ventanas emergentes</p>	
<p>Pantalla de alarmas: contiene una sección de botones de navegación y botones de mando, una sección de históricos de alarmas y botones para navegar y validar el historial.</p>	
<p>Ventana de monitoreo: presenta información sobre las acciones que se ejecutan en el proceso.</p>	
<p>Ventana de registro de datos: se registran los datos del proceso.</p>	
<p>Ventana de alarma emergente: informa que se detecta una emergencia y se debe acceder a la pantalla de alarmas.</p>	

2.2.4 Diseño de Interfaz de trazabilidad

El control de calidad del proceso se lleva a cabo mediante una trazabilidad interna, ya que, en esta se registran los datos importantes de los procesos de corte y desecho. Por medio de Microsoft Excel en su versión Office 365 se diseñó una hoja guía de trazabilidad que abarca los dos procesos como se muestra en la **Figura 2.18**.



 CAPEIPI CAMARA DE LA PEQUEÑA Y MEDIANA EMPRESA DE FICHINCHA	Rehabilitación, diseño, desarrollo e implementación del proceso de corte y desecho para la cadena de procesamiento de papas dentro del sistema de simulación de procesos industriales de la CAPEIPI	 ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL	
GUIA DE TRAZABILIDAD DE LA ESTACION DE CORTE			
Nombre de Responsable: Bryan Calvopiña Código: 201620080		Fecha: 8/2/2024	
Lote: <input type="text" value="240208001"/>	Peso Total: <input type="text"/> kg.	Humedad Total: <input type="text"/> %	
Envío a estación de desecho para reproceso: <input type="checkbox"/>		Motivo: Incumple Peso: <input type="checkbox"/> Incumple Humedad: <input type="checkbox"/>	
Tamaño de papa Grande: <input type="checkbox"/> Mediano: <input type="checkbox"/> Pequeño: <input type="checkbox"/>	Peso unitario 500 gr. <input type="checkbox"/> 1000 gr. <input type="checkbox"/>	Tipo de corte Bastones: <input type="checkbox"/> Chips: <input type="checkbox"/>	Unidades producidas <input type="text"/> unidades
GUIA DE TRAZABILIDAD DE LA ESTACION DE DESECHO			
Nombre de Responsable: Jorge Enriquez Código: 201730021		Fecha: 8/2/2024	
Lote: <input type="text" value="240208001"/>			
Reprocesamiento			
Incumplimiento: <input type="checkbox"/>	Peso: <input type="text"/> kg. Humedad: <input type="text"/> %	Validación: <input type="checkbox"/> Corrección: <input type="checkbox"/>	
Desecho			
Peso total de desecho: <input type="text"/> kg.	Tipo de corte Bastones: <input type="text"/> Chips: <input type="text"/>	Contenido de desecho Cáscaras: <input type="text"/> Trozos de papa: <input type="text"/> Sobrantes de corte: <input type="text"/>	

Figura 2.18 Hoja guía de trazabilidad.

En la **Tabla 2.7** se resume los datos que conforman la hoja guía de trazabilidad.

Tabla 2.7 Datos de la hoja guía de trazabilidad.

Estación de corte		Estación de desecho	
Lote	Código de Lote	Lote	Código de Lote
Fecha	Fecha de producción	Fecha	Fecha de producción
Datos de operador	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre • Código 	Datos de operador	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre • Código
Reprocesamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Incumplimiento de peso • Incumplimiento de humedad 	Reprocesamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Incumplimiento de peso • Incumplimiento de humedad • Peso de pallet • Humedad de papas en pallet • Validación de datos • Corrección de datos
Corte	<ul style="list-style-type: none"> • Peso de pallet • Humedad de papas en pallet • Tamaño de papa: grande, mediano, pequeño. • Peso unitario: 500 g. y 1000 g. • Tipo de corte: bastón o chip. • Cantidad de unidades producidas 	Desecho	<ul style="list-style-type: none"> • Peso total de pallet • Tipo de corte: bastón o chip. • Contenido del desecho: cáscaras, trozos de papas, sobrantes de papas.

Para garantizar una interfaz automatizada de trazabilidad se implementan hojas adicionales al archivo de Excel, estas hojas se describen en la **Tabla 2.8**.

Tabla 2.8 Datos de la hoja guía de trazabilidad.

Hoja	Descripción
Formulario	Es una interfaz de formulario para agregar los datos de los operadores. También se establece la dirección donde se guardará la guía en formato PDF.
Histórico de corte	Es una tabla dinámica donde se almacenan los datos ingresados por lote durante el proceso de corte
Histórico de desecho	Es una tabla dinámica donde se almacenan los datos ingresados por lote durante el proceso de desecho

Las interfaces diseñadas de la **Tabla 2.8.** se encuentran en el ANEXO II

2.2.5 Diseño de comunicación del servidor

La red de comunicación establecida mediante el servidor y los clientes tiene como objetivo generar un medio de transmisión de datos que sea fiable y rápido. Esto se consigue a partir de un diseño adecuado de los canales de transmisión, ya que se opera con diferentes interfaces y drivers. En la **Figura 2.19** se observa la arquitectura de comunicación.

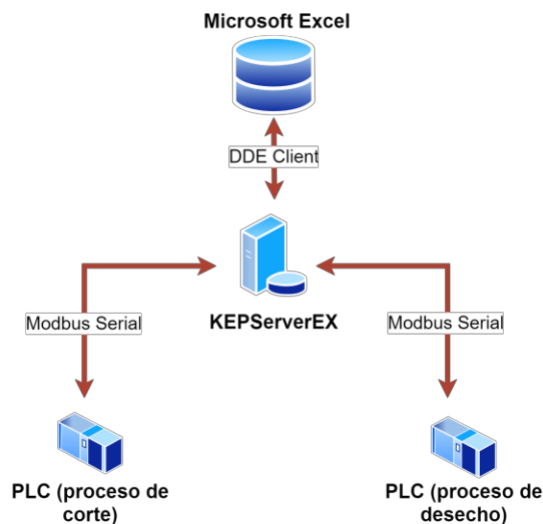


Figura 2.19 Arquitectura de comunicación.

2.3 Implementación

En esta sección se detalla la configuración de los dispositivos, las interfaces y el servidor que permitan llevar a cabo el control, supervisión y trazabilidad de los procesos de corte y desecho para que operen de manera integral.

2.3.1 Configuración de PLC

Los puertos seriales del PLC han sido configurados para establecer comunicación con las pantallas HMI mediante RS-232 y con el servidor mediante RS-485.

Los parámetros del puerto de comunicación entre el PLC y HMI se configuraron por defecto como se muestra en la **Tabla 2.9**:

Tabla 2.9 Configuración de PLC para comunicación con el HMI

Proceso de corte	Proceso de desecho
Baudrate: 19200 BPS	Baudrate: 19200 BPS
Databits: 8 bit	Databits: 8 bit
Stopbits:1 bit	Stopbits:1 bit
Parity: none	Parity: none

Los parámetros del puerto de comunicación entre los PLC's y el servidor se muestran en la **Tabla 2.10**:

Tabla 2.10 Configuración de PLC para comunicación con el servidor.

Proceso de corte	Proceso de desecho
Modbus num: 1	Modbus num: 2
Baudrate: 19200 BPS	Baudrate: 19200 BPS
Databits: 8 bit	Databits: 8 bit
Stopbits:1 bit	Stopbits:1 bit
Parity: none	Parity: none

2.3.2 Configuración de HMI

El puerto de comunicación de los HMI's para intercambiar información con cada PLC es de tipo serial RS-232 y se configuraron por defecto de acuerdo con la **Tabla 2.11**

Tabla 2.11 Configuración de HMI para comunicación con el PLC.

Proceso de corte	Proceso de desecho
Baudrate: 19200 BPS	Baudrate: 19200 BPS
Databits: 8 bit	Databits: 8 bit
Stopbits:1 bit	Stopbits:1 bit
Parity: even	Parity: even
Station No: 1	Station No: 1

2.3.3 Configuración de Microsoft Excel

Para establecer la comunicación de Excel con el servidor es necesario habilitar y permitir la ejecución de macros. Para esto, se deben acceder a las opciones de Excel y seguir estos pasos:

- Ir a opciones de Excel.
- Desplegar la opción: Centro de Confianza.
- Desplegar la opción: Configuración de macros.
- Habilitar todas las macros de VBA.
- Aceptar todos los cambios.

Para llevar a cabo la trazabilidad de forma automatizada, se incluyen macros adicionales que ejecutan las siguientes funciones: añadir nuevo operador, guardar hoja guía como archivo PDF y guardar histórico de proceso. De este modo, se deben seguir los siguientes pasos para habilitar la opción programador de macros:

- Ir a opciones de Excel.
- Desplegar la opción: Personalizar cinta de opciones.
- En la sección Pestañas Principales buscar la opción Programador.
- Habilitar la opción Programador y aceptar los cambios.

En la **Figura 2.20** se muestra como ejemplo la macro: guardar guía como PDF.

```
Sub GuardarPDF()  
    ' Lee el valor de la celda L14 en la Hoja1  
    Dim habilitarMacro As Boolean  
    habilitarMacro = Sheets("Formulario").Range("L14").Value ' Invierte el valor  
    ' Verifica si la macro debe ejecutarse según el valor de la celda L4  
    If habilitarMacro Then  
        ' Lee la dirección de la carpeta desde la celda D14 de la Hoja1  
        Dim carpetaDestino As String  
        carpetaDestino = Sheets("Formulario").Range("D14").Value  
        ' Verifica si la carpeta existe, y si no, la crea  
        If Len(Dir(carpetadestino, vbDirectory)) = 0 Then  
            Mkdir carpetaDestino  
        End If  
        ' Establece la carpeta de destino  
        ChDir carpetaDestino  
        ' Guarda la hoja como PDF en la carpeta especificada  
        ActiveSheet.ExportAsFixedFormat Type:=xlTypePDF, Filename:= _  
            carpetaDestino & "\CD" & ActiveSheet.Range("M64").Value, Quality:=xlQualityStandard, _  
            IncludeDocProperties:=True, IgnorePrintAreas:=False, OpenAfterPublish:= _  
            False  
    End If  
End Sub
```

Figura 2.20 Macro: guardar guía como PDF.

2.3.4 Configuración de Servidor

En esta sección se detalla la configuración de KEPServerEX para llevar a cabo la comunicación entre los dispositivos y la interfaz de trazabilidad. En el software KEPServerEX V6.14.263, se crea un nuevo proyecto el cual contendrá los canales para el intercambio de Información.

Canal Modbus RTU Serial.

Este canal contiene los drivers que permiten el intercambio de información entre el servidor y los PLC's Xinje por medio del protocolo Modbus RTU. La **Figura 2.21** contiene la configuración de comunicación, como se puede apreciar corresponden a la configuración física del convertor RS-485 conectado al computador y la configuración de los PLC's de la **Tabla 2.10**.

Connection Type	
Physical Medium	COM Port
Shared	No
Serial Port Settings	
COM ID	7
Baud Rate	19200
Data Bits	8
Parity	None
Stop Bits	1
Flow Control	None

Figura 2.21 Configuración de canal Modbus RTU Serial.

Una vez se ha creado el canal, se deben añadir los dispositivos referentes a los PLC's de Corte y Desecho donde se establecerá el número de dispositivo Modbus que se presenta en la **Tabla 2.10**. Finalmente, se debe agregar los Tags que son las etiquetas de comunicación entre el servidor y el PLC. El Tag debe contener la siguiente información:

- Nombre de tag.
- Dirección: Debe usarse dirección Modbus de 6 dígitos correspondiente a la dirección de la variable en el PLC y puede ser en formato digital o hexadecimal.
- Tipo de dato: Se debe especificar el tipo dato que manejará el tag.
- Acceso al cliente: Se debe especificar si el cliente tendrá acceso al tag solo de lectura o lectura/escritura.
- Scan Rate: Es la frecuencia de intercambio de información, depende de la velocidad de los dispositivos y debe estar en milisegundos.

[-] Identification	
Name	Peso_Total
Description	
[-] Data Properties	
Address	404005
Data Type	Word
Client Access	Read Only
Scan Rate (ms)	100

Figura 2.22 Ejemplo, configuración de tag para el peso total de pallet.

Canal DDE Client.

Este canal emplea el protocolo OPC DDE el cual se utiliza para intercambiar información entre el servidor y aplicaciones basadas en Windows. Para llevar a cabo esta configuración solo es necesario crear un canal en el proyecto y escoger el controlador DDE Client. Luego se añade el dispositivo correspondiente a Excel con las configuraciones por defecto. Finalmente, se agrega los Tags que son las etiquetas de comunicación entre el servidor y Excel. El Tag debe contener la siguiente información:

- Nombre de tag.
- Dirección: La dirección debe tener la estructura de la **Figura 2.23**.

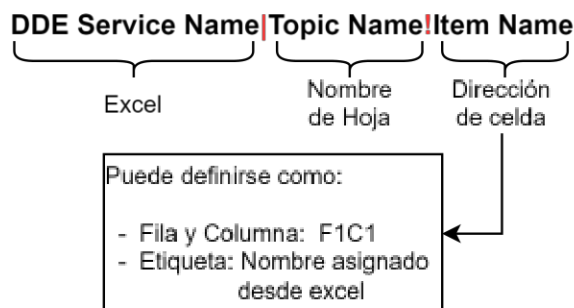


Figura 2.23 Estructura para la dirección del tag.

- Tipo de dato: Se debe especificar el tipo dato que manejará el tag.
- Acceso al cliente: Se debe especificar si el cliente tendrá acceso al tag solo de lectura o lectura/escritura.
- Scan Rate: Es la frecuencia de intercambio de información, depende de la velocidad de los dispositivos y debe estar en milisegundos.

[-] Identification	
Name	Show_Peso_Total
Description	
[-] Data Properties	
Address	Excel\Hoja1\Peso_Total
Data Type	Float
Client Access	Read/Write
Scan Rate (ms)	100

Figura 2.24 Ejemplo, configuración de tag para el peso total de pallet.

Advanced Tags.

Los tags avanzados tienen la capacidad de efectuar análisis, funciones y operaciones sobre otros tags. Existen siete tipos de tags avanzados con la capacidad de realizar análisis básicos ya sean matemáticos, lógicos u otras funciones, pero en este caso se utilizará el tag avanzado de enlace o link. Esta etiqueta se utiliza para vincular dos tags existentes en el servidor y cuando está habilitado un tag link el valor de la etiqueta de entrada se escribe en una etiqueta de salida, de este modo, se puede escribir el valor del tag de un dispositivo en el tag de otro dispositivo sin involucrar a un cliente de terceros[24].

En este contexto se aprovecha el tag link para enlazar los datos entre PLC y trazabilidad de Excel. La **Figura 2.25** muestra los enlaces que se han creado para llevar a cabo la implementación de los procesos y la trazabilidad.

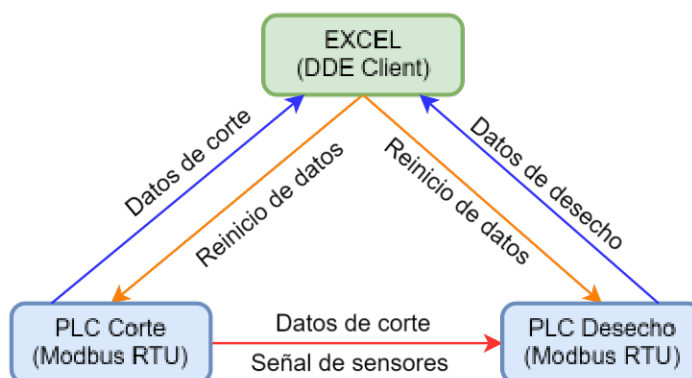


Figura 2.25 Estructura de los tag link creados.

Los tags link deben de contener la siguiente configuración.

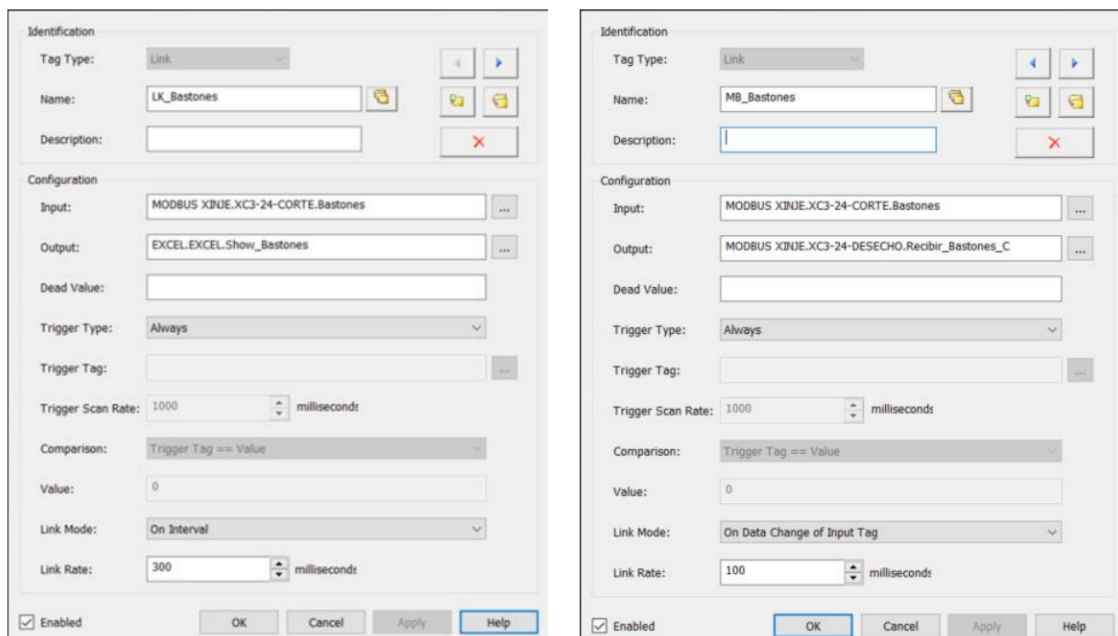
- Nombre.
- Entrada: Nombre de tag de entrada.
- Salida: Nombre de tag de salida.

- Modo de enlace: Se puede seleccionar entre tres tipos (por intervalo, por cambio de valor y por cambio de valor sin contar el primer cambio)
- Link rate: Es la frecuencia de actualización y esta ligada al modo de enlace seleccionado.

Se ha configurado los tags links dependiendo de los dispositivos con los que se enlazan sus etiquetas:

- Modo por intervalos: Se utiliza este modo para enlazar las etiquetas entre Excel y los PLC's. En este modo se ha configurado un link rate de 300 ms. ya que esta frecuencia debe ser más lenta a la de los dispositivos que fueron configurados con 100 ms. Se debe usar este modo ya que Excel no dispone de una confirmación ante un cambio de valor por lo que los valores no pueden actualizarse por si solos y deben de hacerlo constantemente.
- Modo por cambio de valor: Se utiliza este modo para enlazar las etiquetas entre los PLC's de corte y desecho, debido a que la comunicación si incluye una confirmación por cambio de valor por lo que no es necesario actualizar los valores constantemente.

La **Figura 2.26** muestra un ejemplo de tags con las configuraciones antes mencionadas.



a) Modo por intervalos

b) Modo por cambio de valor

Figura 2.26 Ejemplo de tag link creados.

2.3.5 Implementación Integral.

En esta sección se presenta la implementación completa del proceso donde se integra: el control, supervisión y trazabilidad por medio del servidor. La **Figura 2.27** es un diagrama que representa la implementación.

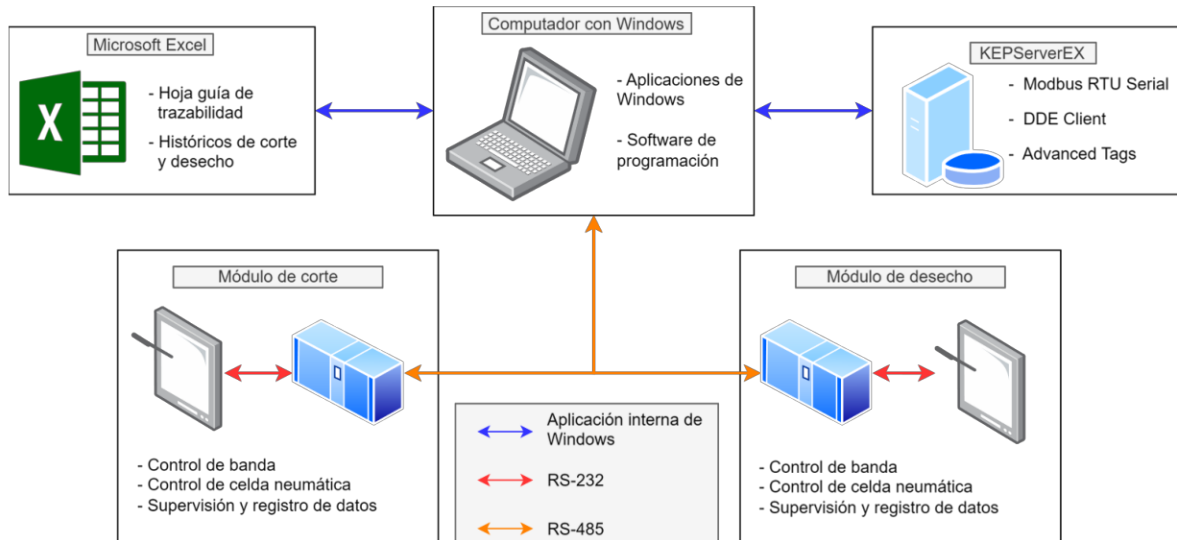


Figura 2.27 Diagrama de implementación de proceso.

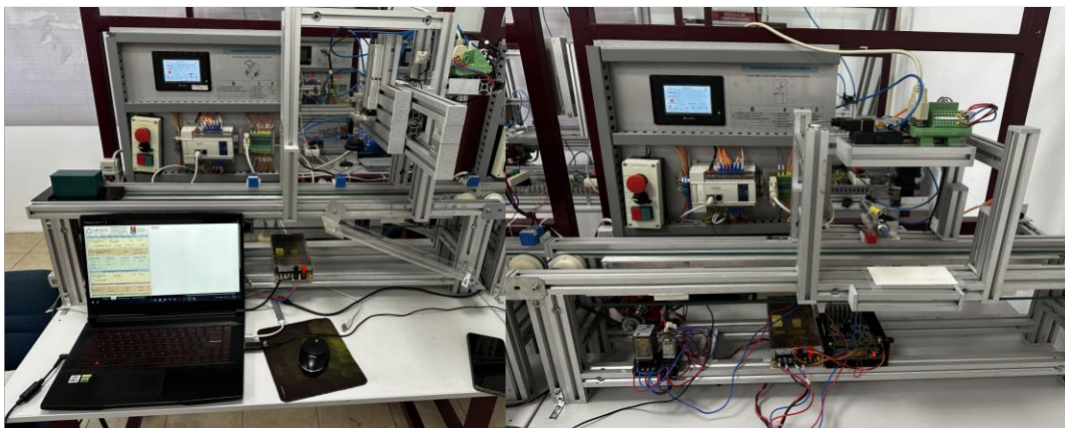


Figura 2.28 Implementación real de proceso.

2.3.6 Plan de capacitación

El plan de capacitación tiene como objetivo instruir al personal de la CAPEIPI para que adquieran los conocimientos necesarios sobre las líneas de simulación y la operación del proceso. En este sentido, la capacitación deberá ser desarrollada en dos sesiones de una hora cada una, con la finalidad de que se distribuyan los contenidos de manera idónea para que el personal comprenda el funcionamiento y pueda operar los módulos de corte y desecho. La **Tabla 2.12** muestra el diseño de plan de capacitación y las actividades que deberán ser desarrolladas.

Tabla 2.12 Plan de capacitación.

Número de sesión	Actividades
1	<ul style="list-style-type: none">-Características y descripción de sensores y actuadores.-Características y descripción de la banda transportadora-Características y descripción de la celda neumática.-Características y descripción del mando de control manual.-Introducción sobre PLC y HMI.-Conexiones eléctricas de los módulos de corte y desecho.-Conexiones de comunicación entre PLC, HMI y computador.
2	<ul style="list-style-type: none">-Operación de hoja guía de trazabilidad.-Operación de KEPServerEX.-Interfaz y navegación de pantallas HMI.-Comunicación entre los dispositivos y el servidor.-Descripción de los modos de operación de los procesos.-Ejemplos de funcionamiento de los procesos.-Pruebas de funcionamiento con alarmas de proceso.

Las actividades de la **Tabla 2.12** se llevarán a cabo con la ayuda del manual de usuario descrito en el ANEXO IV.

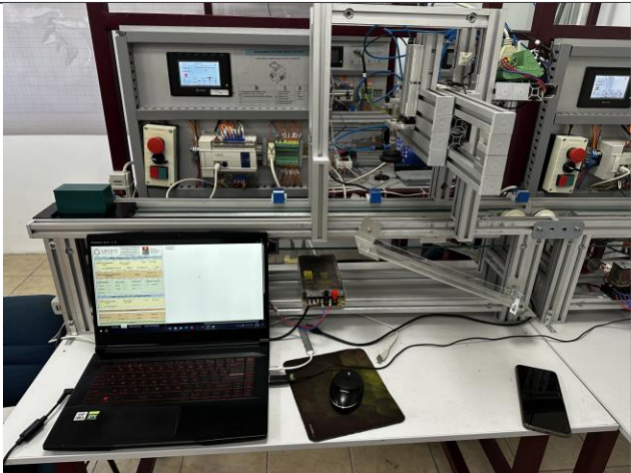

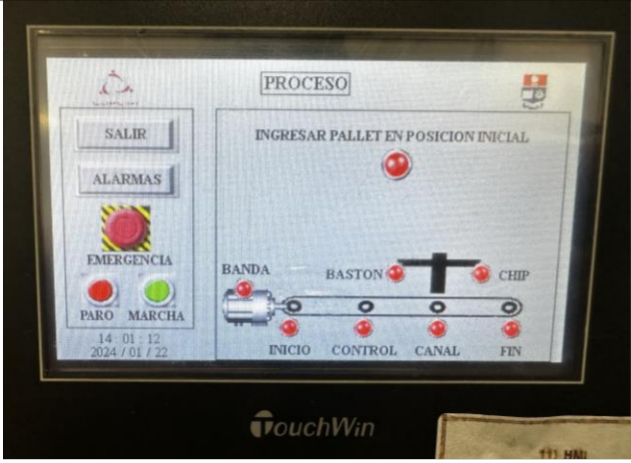
3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

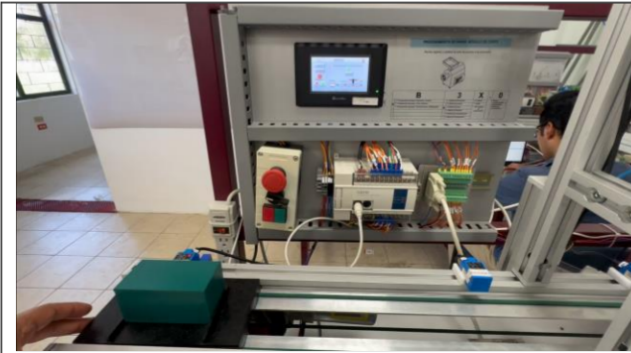
En esta sección se presenta los resultados obtenidos al implementar los procesos de corte y desecho de la cadena de procesamiento de papas en la línea de simulación de la CAPEIPI, el cual se llevo a cabo mediante el control, supervisión y registro de datos. Se presenta una prueba de funcionamiento del proceso para el modo de corte tipo chip y reprocesamiento. Además, se presentan tablas donde se resumen los tiempos de operación y de registro de datos. Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones del trabajo de integración curricular.

3.1 Resultados

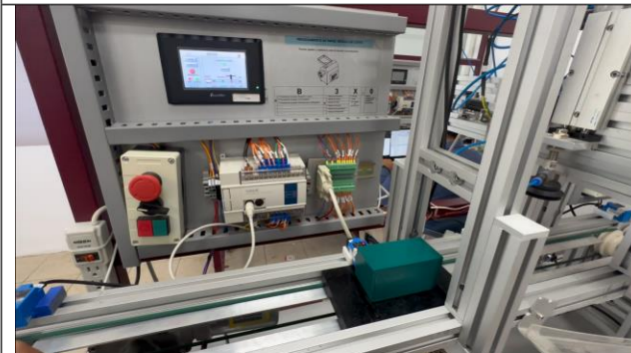
El funcionamiento y operación del proceso en modo corte tipo chip y reprocesamiento se presenta en la **Tabla 3.1** y **3.2** respectivamente. Donde, se muestra dicha evidencia mediante fotografías y una breve descripción.

Tabla 3.1 Funcionamiento del proceso en modo corte tipo chip.

Fotografía	Descripción																																																												
	<p>Encendido de los módulos de corte y desecho. Se comprueba que las fuentes de voltaje, PLC's y pantallas se encuentren encendidas. También, debe de estar en funcionamiento el computador con el servidor y hoja guía de trazabilidad</p>																																																												
<table border="1" data-bbox="240 824 873 1010"> <thead> <tr> <th>Date</th> <th>Time</th> <th>Source</th> <th>Event</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>22/1/2024</td> <td>12:27:56</td> <td>DDE Client</td> <td>EXCEL EXCEL Unable to write to address on device Address = 'Excel@Hoja1\Faladicion'</td> </tr> <tr> <td>22/1/2024</td> <td>12:27:57</td> <td>DDE Client</td> <td>EXCEL EXCEL Unable to write to address on device Address = 'Excel@Hoja1Bastones'</td> </tr> <tr> <td>22/1/2024</td> <td>12:27:57</td> <td>DDE Client</td> <td>EXCEL EXCEL Unable to write to address on device Address = 'Excel@Hoja1Bastones_Desecho'</td> </tr> <tr> <td>22/1/2024</td> <td>12:27:57</td> <td>DDE Client</td> <td>EXCEL EXCEL Unable to write to address on device Address = 'Excel@Hoja1Cascaras'</td> </tr> <tr> <td>22/1/2024</td> <td>12:27:57</td> <td>DDE Client</td> <td>EXCEL EXCEL Unable to write to address on device Address = 'Excel@Hoja1Chips'</td> </tr> <tr> <td>22/1/2024</td> <td>12:27:57</td> <td>DDE Client</td> <td>EXCEL EXCEL Unable to write to address on device Address = 'Excel@Hoja1Chips_Desecho'</td> </tr> <tr> <td>22/1/2024</td> <td>12:27:57</td> <td>DDE Client</td> <td>EXCEL EXCEL Unable to write to address on device Address = 'Excel@Hoja1Conexion'</td> </tr> <tr> <td>22/1/2024</td> <td>12:27:57</td> <td>DDE Client</td> <td>EXCEL EXCEL Unable to write to address on device Address = 'Excel@Hoja1F_in_Desecho'</td> </tr> <tr> <td>22/1/2024</td> <td>12:27:57</td> <td>DDE Client</td> <td>EXCEL EXCEL Unable to write to address on device Address = 'Excel@Hoja1Humedad_Talaf'</td> </tr> <tr> <td>22/1/2024</td> <td>12:27:57</td> <td>DDE Client</td> <td>EXCEL EXCEL Unable to write to address on device Address = 'Excel@Hoja1Incumple_Humedad'</td> </tr> <tr> <td>22/1/2024</td> <td>12:27:57</td> <td>DDE Client</td> <td>EXCEL EXCEL Unable to write to address on device Address = 'Excel@Hoja1Incumple_Peso'</td> </tr> <tr> <td>22/1/2024</td> <td>12:27:57</td> <td>DDE Client</td> <td>EXCEL EXCEL Unable to write to address on device Address = 'Excel@Hoja1Incumplimiento'</td> </tr> <tr> <td>22/1/2024</td> <td>12:27:57</td> <td>DDE Client</td> <td>EXCEL EXCEL Unable to write to address on device Address = 'Excel@Hoja1INC_Humedad_Desecho'</td> </tr> <tr> <td>22/1/2024</td> <td>12:27:57</td> <td>DDE Client</td> <td>EXCEL EXCEL Unable to write to address on device Address = 'Excel@Hoja1INC_Peso_Desecho'</td> </tr> </tbody> </table>	Date	Time	Source	Event	22/1/2024	12:27:56	DDE Client	EXCEL EXCEL Unable to write to address on device Address = 'Excel@Hoja1\Faladicion'	22/1/2024	12:27:57	DDE Client	EXCEL EXCEL Unable to write to address on device Address = 'Excel@Hoja1Bastones'	22/1/2024	12:27:57	DDE Client	EXCEL EXCEL Unable to write to address on device Address = 'Excel@Hoja1Bastones_Desecho'	22/1/2024	12:27:57	DDE Client	EXCEL EXCEL Unable to write to address on device Address = 'Excel@Hoja1Cascaras'	22/1/2024	12:27:57	DDE Client	EXCEL EXCEL Unable to write to address on device Address = 'Excel@Hoja1Chips'	22/1/2024	12:27:57	DDE Client	EXCEL EXCEL Unable to write to address on device Address = 'Excel@Hoja1Chips_Desecho'	22/1/2024	12:27:57	DDE Client	EXCEL EXCEL Unable to write to address on device Address = 'Excel@Hoja1Conexion'	22/1/2024	12:27:57	DDE Client	EXCEL EXCEL Unable to write to address on device Address = 'Excel@Hoja1F_in_Desecho'	22/1/2024	12:27:57	DDE Client	EXCEL EXCEL Unable to write to address on device Address = 'Excel@Hoja1Humedad_Talaf'	22/1/2024	12:27:57	DDE Client	EXCEL EXCEL Unable to write to address on device Address = 'Excel@Hoja1Incumple_Humedad'	22/1/2024	12:27:57	DDE Client	EXCEL EXCEL Unable to write to address on device Address = 'Excel@Hoja1Incumple_Peso'	22/1/2024	12:27:57	DDE Client	EXCEL EXCEL Unable to write to address on device Address = 'Excel@Hoja1Incumplimiento'	22/1/2024	12:27:57	DDE Client	EXCEL EXCEL Unable to write to address on device Address = 'Excel@Hoja1INC_Humedad_Desecho'	22/1/2024	12:27:57	DDE Client	EXCEL EXCEL Unable to write to address on device Address = 'Excel@Hoja1INC_Peso_Desecho'	<p>Se comprueba que los canales del servidor se encuentren en operación y no se presente ningún error de comunicación.</p>
Date	Time	Source	Event																																																										
22/1/2024	12:27:56	DDE Client	EXCEL EXCEL Unable to write to address on device Address = 'Excel@Hoja1\Faladicion'																																																										
22/1/2024	12:27:57	DDE Client	EXCEL EXCEL Unable to write to address on device Address = 'Excel@Hoja1Bastones'																																																										
22/1/2024	12:27:57	DDE Client	EXCEL EXCEL Unable to write to address on device Address = 'Excel@Hoja1Bastones_Desecho'																																																										
22/1/2024	12:27:57	DDE Client	EXCEL EXCEL Unable to write to address on device Address = 'Excel@Hoja1Cascaras'																																																										
22/1/2024	12:27:57	DDE Client	EXCEL EXCEL Unable to write to address on device Address = 'Excel@Hoja1Chips'																																																										
22/1/2024	12:27:57	DDE Client	EXCEL EXCEL Unable to write to address on device Address = 'Excel@Hoja1Chips_Desecho'																																																										
22/1/2024	12:27:57	DDE Client	EXCEL EXCEL Unable to write to address on device Address = 'Excel@Hoja1Conexion'																																																										
22/1/2024	12:27:57	DDE Client	EXCEL EXCEL Unable to write to address on device Address = 'Excel@Hoja1F_in_Desecho'																																																										
22/1/2024	12:27:57	DDE Client	EXCEL EXCEL Unable to write to address on device Address = 'Excel@Hoja1Humedad_Talaf'																																																										
22/1/2024	12:27:57	DDE Client	EXCEL EXCEL Unable to write to address on device Address = 'Excel@Hoja1Incumple_Humedad'																																																										
22/1/2024	12:27:57	DDE Client	EXCEL EXCEL Unable to write to address on device Address = 'Excel@Hoja1Incumple_Peso'																																																										
22/1/2024	12:27:57	DDE Client	EXCEL EXCEL Unable to write to address on device Address = 'Excel@Hoja1Incumplimiento'																																																										
22/1/2024	12:27:57	DDE Client	EXCEL EXCEL Unable to write to address on device Address = 'Excel@Hoja1INC_Humedad_Desecho'																																																										
22/1/2024	12:27:57	DDE Client	EXCEL EXCEL Unable to write to address on device Address = 'Excel@Hoja1INC_Peso_Desecho'																																																										
	<p>La primera pantalla que se muestra es la de ingreso, la cual permite acceder a la pantalla de proceso mediante contraseña. El ingreso debe realizarse en las dos pantallas.</p>																																																												
	<p>Desde la interfaz, se indica la secuencia de pasos que el operador debe seguir para ejecutar el proceso.</p>																																																												



Se ingresa el pallet en la zona inicial de la banda transportadora para dar inicio al proceso de corte.



El pallet se desplaza hacia la zona de control.



Se deben ingresar las variables de peso de pallet y humedad en las papas. Para este ejemplo se digita un peso de 50 Kg y humedad de 15 % y no se marca ninguna la casilla de incumplimiento por lo que se sigue el proceso normal de corte



Se debe seleccionar las características de corte, en este caso se escoge un tamaño de papa mediano



La siguiente ventana permite seleccionar el peso de la producción, en este caso las unidades tienen un peso de 1000 gr.



La siguiente ventana permite elegir el tipo de corte y la cantidad de unidad, por lo que el usuario selecciona el tipo de corte chip y una producción de 49 unidades



Esta ventana cuestiona al usuario si la información es correcta y permite corregir los datos o enviar el corte.



El pallet con el corte se moviliza hacia la zona de clasificación donde la celada neumática distribuirá el pallet por el canal para corte tipo chip.



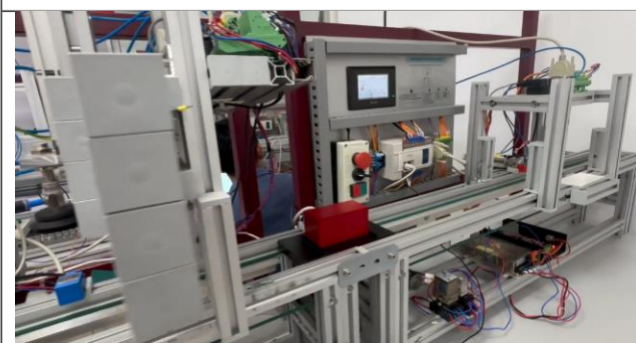
El pallet se moviliza hacia el canal de tipo chip.



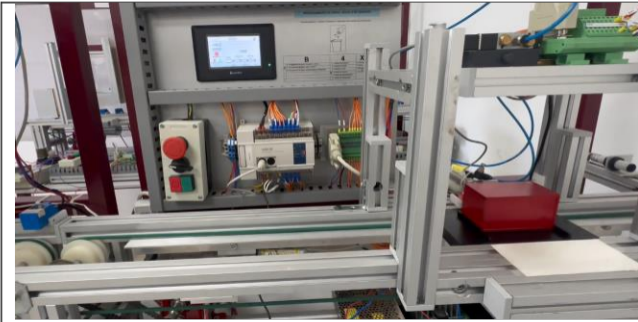
La siguiente ventana informa al operador que debe ingresar el pallet de desecho en la zona de control.



El operador ingresa el pallet con el desecho del corte.



El pallet se moviliza hacia el módulo de desecho.



El pallet ingresa hasta la zona de control para el registro de datos de desecho.



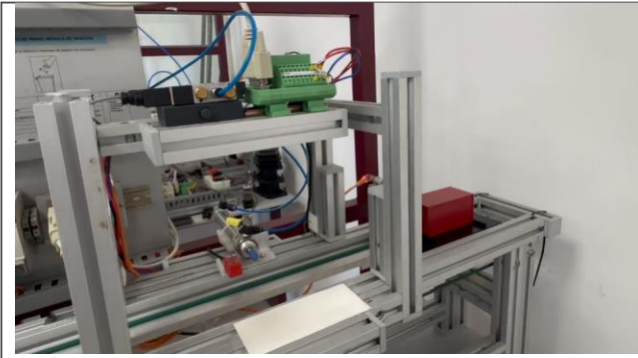
En esta ventana el usuario ingresa los datos de peso de desecho y puede observar la procedencia del corte tipo chip



En esta ventana el usuario selecciona el contenido del pallet de desecho.



Esta ventana cuestiona al usuario si la información es correcta y permite corregir los datos o enviar el pallet de desecho a la salida.



El pallet se moviliza hacia la salida del módulo de desecho



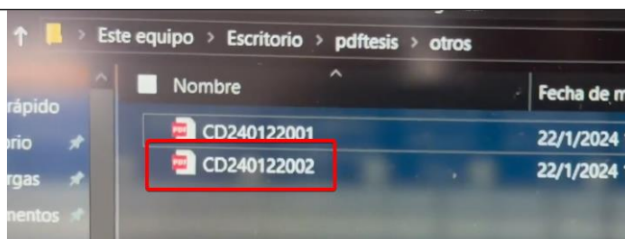
Una vez enviado el pallet hacia la salida, en la pantalla se muestra la ventana de guardado de datos. El operador debe esperar en pantalla hasta que se termine esta acción. Esta ventana también se muestra en la pantalla del módulo de corte.



La ventana informa al operador que el proceso ha terminado, esto se repite para el proceso de corte.

LOTE	CARACTERÍSTICAS INICIALES		MOTIVO DE REPROCESO		TAMAÑO DE PAPA			
	PESO TOTAL (kg)	HUMEDAD TOTAL (%)	REPROCESO	INCUMPLE PESO	INCUMPLE HUMEDAD	GRANDE	MEDIANO	PEQUEÑO
240122002	50	15						
240122001	50	10				✓		

El operador verifica en la hoja de histórico de corte y desecho que los datos se han registrado correctamente



El operador verifica que se ha generado la hoja guía de trazabilidad en formato PDF

Rehabilitación, diseño, desarrollo e implementación del proceso de corte y desecho para la cadena de procesamiento de papas dentro del sistema de simulación de procesos industriales de la CAPEI

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

GUIA DE TRAZABILIDAD DE LA ESTACION DE CORTE

Nombre de Responsable: Bryan Calvoña Fecha: 22/1/2024
 Código: 201620080

Lote: 240122002 Peso Total: 50,00 kg Humedad Total: 15,00 %

Envío a estación de desecho para reproceso: Motivo: Incumple Peso:
 Incumple Humedad:

Tamaño de papa	Peso unitario	Tipo de corte	Unidades producidas
Grande: <input type="checkbox"/>	500 gr. <input type="checkbox"/>	Bastones: <input type="checkbox"/>	49 unidades
Mediano: <input checked="" type="checkbox"/>	1000 gr. <input checked="" type="checkbox"/>	Chips: <input checked="" type="checkbox"/>	
Pequeño: <input type="checkbox"/>			

GUIA DE TRAZABILIDAD DE LA ESTACION DE DESECHO

Nombre de Responsable: Jorge Enriquez Fecha: 22/1/2024
 Código: 201730021

Lote: 240122002

Reprocesamiento

Se verifica que la información contenida en el PDF es correcta.

Rehabilitación, diseño, desarrollo e implementación del proceso de corte y desecho para la cadena de procesamiento de papas dentro del sistema de simulación de procesos industriales de la CAPEI

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

GUIA DE TRAZABILIDAD DE LA ESTACION DE CORTE

Nombre de Responsable: Bryan Calvoña Fecha: 22/1/2024
 Código: 201620080

Lote: 240122003 Peso Total: 0,00 kg. Humedad Total: 0,00 %

Envío a estación de desecho para reproceso: Motivo: Incumple Peso:
 Incumple Humedad:

Tamaño de papa	Peso unitario	Tipo de corte	Unidades producidas
Grande: <input type="checkbox"/>	500 gr. <input type="checkbox"/>	Bastones: <input type="checkbox"/>	0 unidades
Mediano: <input type="checkbox"/>	1000 gr. <input type="checkbox"/>	Chips: <input type="checkbox"/>	
Pequeño: <input type="checkbox"/>			

GUIA DE TRAZABILIDAD DE LA ESTACION DE DESECHO

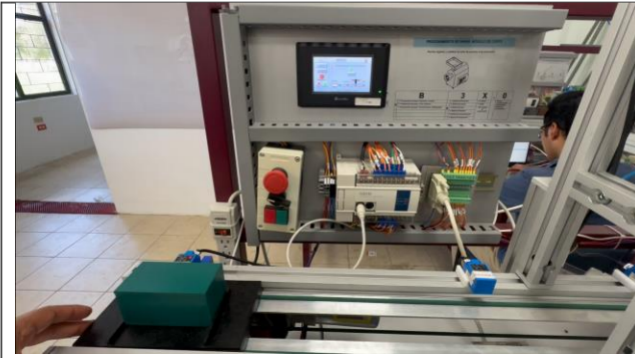
Nombre de Responsable: Jorge Enriquez Fecha: 22/1/2024
 Código: 201730021

Lote: 240122003

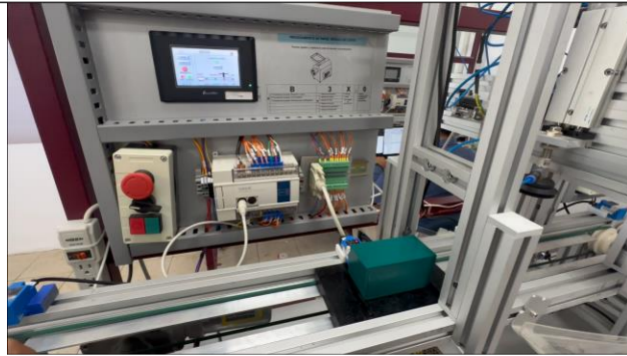
Finalmente, el operador verifica que se ha generado una nueva hoja guía de trazabilidad, con los datos de las variables restablecidas y un nuevo número de lote para empezar un nuevo proceso.

Tabla 3.2 Funcionamiento del proceso en modo reprocesamiento.

Fotografía	Descripción
	<p>Desde la interfaz, se indica la secuencia de pasos que el operador debe seguir para ejecutar el proceso.</p>



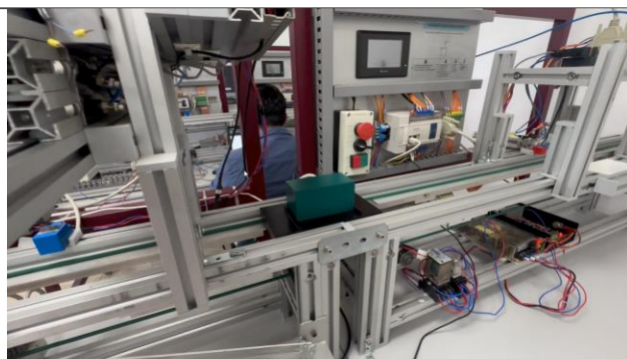
Se ingresa el pallet en la zona inicial de la banda transportadora para dar inicio al proceso de corte.



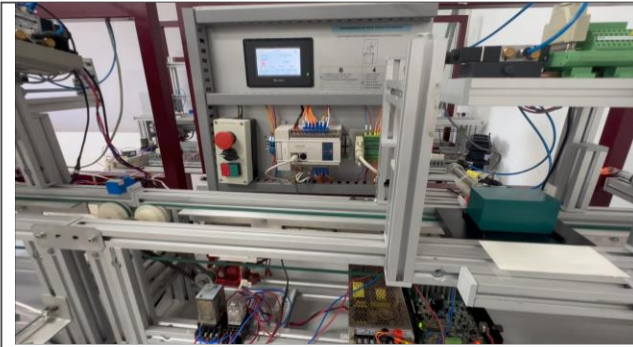
El pallet se desliza hacia la zona de control.



Se deben ingresar las variables de peso de pallet y humedad en las papas. Para este ejemplo se digita un peso de 50 Kg y humedad de 25 % y se marca la casilla de incumplimiento de humedad por lo que el pallet será reprocesado.



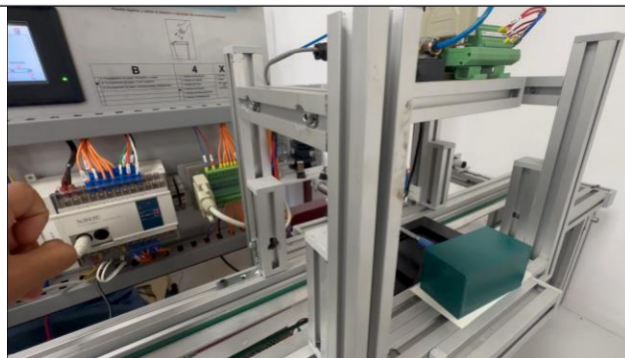
Al ejecutarse el modo de reprocesamiento el pallet, se dirige directamente hacia el módulo de desecho.



El pallet ingresa en el módulo de desecho hasta ubicarse en la zona de control.



En la pantalla se muestra las variables que fueron ingresadas en el módulo de corte y el operador debe juzgar dichas variables con una segunda medición. El operador puede validar los datos o corregir si es necesario.



Una vez se han validado los datos de reprocesamiento, la celda neumática se ejecuta y el cilindro separa el pallet del proceso.



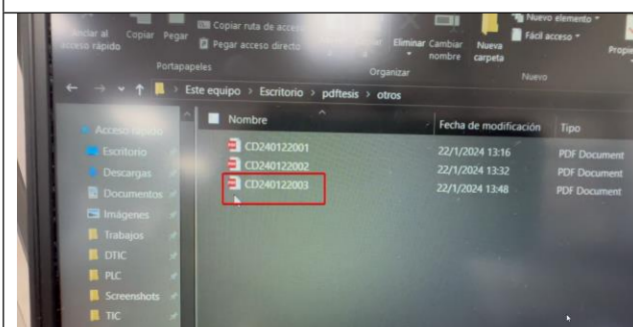
Inmediatamente se ejecuta la acción de guardado, el operador debe esperar a que se termine esta acción.



Una vez se ha terminado de guardar los datos, la pantalla indica al operador que el proceso de desecho ha terminado. Estas mismas acciones se muestra en la estación de corte.

LOTE	CARACTERÍSTICAS INICIALES		MOTIVO DE REPROCESO			TAMAÑO DE PAPA			PESO POR UNIDADES	
	PESO TOTAL (Kg)	HUMEDAD TOTAL (%)	REPROCESO	INCUMPLE PESO	INCUMPLE HUMEDAD	GRANDE	MEDIANO	PEQUEÑO	1000 gr.	500 gr.
CD240122001	50	25	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
CD240122002	50	15	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CD240122003	50	30	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

El operador debe comprobar que los datos se han registrado correctamente en la hoja de históricos de corte y desecho.



El operador comprueba que se ha generado en la hoja guía de trazabilidad en formato PDF.

Se comprueba que los datos de la hoja guía de trazabilidad son correctos.

Finalmente, el operador verifica que se ha generado una nueva hoja guía de trazabilidad, con los datos de las variables restablecidas y un nuevo número de lote.

Las **Tablas 3.1 y 3.2** documentan el funcionamiento para dos modos de operación ya que debido a la extensión por medio de fotografías no es posible incluir en el presente trabajo todos los modos de operación. Sin embargo, en el ANEXO III se tiene un enlace a los videos donde se ejecutan varias pruebas de operación para los diferentes modos: corte tipo bastón, pruebas con paro de emergencia y alarmas.

A continuación, se presentan los tiempos de operación del proceso y comunicación del servidor con los dispositivos.

Tabla 3.3 Resumen de tiempos de operación en modo corte.

Tipo	Tiempo	Descripción
Proceso de corte	110 segundos	Tiempo tomado desde el ingreso del pallet de corte hasta la salida del pallet de desecho
Proceso de desecho	45 segundos	Tiempo tomado desde el ingreso de pallet de desecho hasta la salida.
Intercambio de datos con servidor	0.5 segundos	Tiempo que tarda en mostrarse los datos en Excel luego del envío desde las pantallas
Guardado de datos	10 segundos	Tiempo que tarda en ejecutar todas las macros de guardado en Excel.
Proceso completo	2 minutos y 45 segundos	Tiempo total que tarda en ejecutar el proceso en modo corte.

Tabla 3.4 Resumen de tiempos de operación en modo reprocesamiento.

Tipo	Tiempo	Descripción
Proceso de corte	50 segundos	Tiempo tomado desde el ingreso del pallet de corte hasta la salida del módulo
Proceso de desecho	30 segundos	Tiempo tomado desde el ingreso de pallet de desecho hasta la salida.
Intercambio de datos con servidor	0.5 segundos	Tiempo que tarda en mostrarse los datos en Excel luego del envío desde las pantallas
Guardado de datos	10 segundos	Tiempo que tarda en ejecutar todas las macros de guardado en Excel.
Proceso completo	1 minuto y 30 segundos	Tiempo total que tarda en ejecutar el proceso en modo corte.

Tabla 3.5 Resumen de tiempos de ejecución de alarmas.

Tipo	Tiempo	Descripción
Parada de proceso	1 segundo	Tiempo tomado desde que el proceso se detiene por un evento de alarma hasta que se reanuda
Ejecución de alarmas	20 segundos	Tiempo tomado desde el ingreso a la pantalla de alarmas y validación del evento.
Reanudación	5 segundos	Tiempo tomado en restablecer el proceso, poner en marcha el mismo.
Proceso completo	26 segundos	Tiempo total de ejecución de alarmas

Las **Tablas 3.3, 3.4 y 3.5** muestran los tiempos de ejecución de determinadas partes y condiciones del proceso, cabe mencionar que estos tiempos fueron medidos para varias pruebas y diferentes modos de operación del proceso. En este sentido, se obtuvo un promedio en los tiempos de ejecución, tomando en cuenta las siguientes condiciones:

- Los tiempos de operación en los que se ejecutan acciones físicas del proceso están ligadas a la configuración de velocidad del variador y tiempo de acción de los cilindros neumáticos.
- No se considera el tiempo que el operador realiza las maniobra con el pallet ni el tiempo que tarda en ingresar los datos.

3.2 Conclusiones

Las líneas de simulación de procesos industriales permiten analizar un proceso antes de su implementación real, es por esto, que es importante diseñar y desarrollar un proyecto que se ajuste a las necesidades reales para evaluar su funcionamiento mediante el uso de controladores, dispositivos de supervisión e instrumentos.

Los sistemas CIM tienen como objetivo enlazar el nivel de proceso con el nivel de gestión mediante la centralización de la información adquirida por los controladores y presentarla de manera efectiva para tomar decisiones que mejoren el proceso. En este sentido, se evidencia la importancia de llevar un registro de datos mediante una hoja guía de trazabilidad y emplear aplicaciones basadas en Windows que beneficien el intercambio de información entre los niveles de la industria.

La utilización de un sistema SCADA permite dinamizar una mejor estructura de los dispositivos y emplear redes de comunicación que sean efectivas para cada uno de estos. Si bien el medio físico de comunicación tipo serial ya no es muy utilizado es posible integrar una comunicación robusta utilizando una configuración adecuada de los dispositivos y el servidor. Como es el caso del intercambio de datos entre los PLC's y el Excel, donde los retardos son imperceptibles para el usuario y se puede llevar a cabo un registro de datos en tiempo real.

El control del proceso mediante el PLC Xinje cumple con los objetivos de operación, donde se tiene control de la banda transportadora y la celda neumática. Mediante la HMI es posible supervisar y controlar de manera adecuada todas las partes del proceso al tener una interfaz fácil e intuitiva de manipular por el usuario. Finalmente, la trazabilidad desarrollada en Excel alcanza el objetivo de registro y centralización de datos, con una

interfaz fácil de entender y sobre la cual se pueda analizar y tomar decisiones para mejorar el proceso.

A partir de las pruebas de operación del proceso integral, se puede concluir que se alcanza los objetivos de control, supervisión y trazabilidad del proceso de manera efectiva, ya que se logra intercambiar los datos entre los PLC's, HMI's y Excel para adquirir la información en tiempo real. Además, estos datos se almacenan en una interfaz diseñada para guardar toda la información de manufactura como históricos, lo que representa un beneficio a la industria al momento de gestionar su producción.

La implementación de los procesos de corte y desecho de una cadena de producción de papas ha sido exitosa, esto se atribuye a la correcta ejecución de la rehabilitación de los módulos correspondientes. Este éxito indica que las líneas de simulación disponibles en la CAPEIPI tienen la capacidad de ser extrapoladas a una variedad de procesos adicionales, satisfaciendo así las demandas de la industria ecuatoriana en términos de optimización y mejora de las cadenas de producción.

3.3 Recomendaciones

El diseño es el primer paso para llevar a cabo un proyecto, en este sentido se recomienda que el diseño del control, supervisión y trazabilidad del proceso sea desarrollado con el fin de brindar una interfaz de operación sencilla al usuario, ya que esto evita que se comenten errores, se ejecute más rápido un proceso, y se solucionen fallas de manera efectiva.

Se recomienda seguir las normas de diseño de las interfaces hombre-máquina ya que esto permite desarrollar una HMI ergonómica y adaptada para cumplir los objetivos del proceso, sin importar las dificultades de hardware de los dispositivos presenten.

En trabajos futuros, se recomienda adicionar una trazabilidad completa en el sentido de que se tenga toda la información posible: antes y después de producir un bien manufacturado.

4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] R. Sanchis Llopis, *Automatización industrial*. Castelló de la Plana: Publicacions de la Universitat Jaume I, Servei de Comunicació i Publicacions, 2010.
- [2] «La simulación de procesos industriales: clave en la toma de decisiones para procesos de reingeniería de planta y diseño de nuevas instalaciones de fabricación».

- [3] E. García, *Automatización de procesos industriales*.
- [4] M. Groover, *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing*.
- [5] J. Banks, *Handbook of Simulation: Principles, methodology, advances, applications and practice*. Wiley, 1998.
- [6] P. M. Swamidass, Ed., *Encyclopedia of Production and Manufacturing Management*. Boston, MA: Springer US, 2000. doi: 10.1007/1-4020-0612-8.
- [7] *Sistemas de producción automatizados*. Madrid: Dextra Sección de Publicaciones de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales Universidad Politécnica de Madrid, 2015.
- [8] C. M. Harmonosky y D. C. Barrick, «Simulation in a CIM environment: Structure for analysis and real-time control», en *1988 Winter Simulation Conference Proceedings*, dic. 1988, pp. 704-711. doi: 10.1109/WSC.1988.716244.
- [9] J. F. Holmes, G. Russell, y J. K. Allen, «6 - Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) and related systems for automated process control in the food industry: an introduction», en *Robotics and Automation in the Food Industry*, D. G. Caldwell, Ed., Woodhead Publishing, 2013, pp. 130-142. doi: 10.1533/9780857095763.1.130.
- [10] K. Stouffer, «Guide to Operational Technology (OT) Security», National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, NIST SP 800-82r3, 2023. doi: 10.6028/NIST.SP.800-82r3.
- [11] J. S. Wilson, Ed., *Sensor technology handbook*. Amsterdam ; Boston: Elsevier, 2005.
- [12] L. Germán Corona Ramírez, G. S. Abarca Jiménez, y Jesús. Mares Carreño, *Sensores y actuadores*. Distrito Federal: Larousse - Grupo Editorial Patria, 2014.
- [13] RAE, «analógico, analógica | Diccionario panhispánico de dudas», «Diccionario panhispánico de dudas». Accedido: 31 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.rae.es/dpd/analógico>

- [14] W. C. Dunn, *Fundamentals of industrial instrumentation and process control*, Second edition. New York, NY: McGraw Hill Education, 2019.
- [15] Charles. Platt y F. Jansson, *Encyclopedia of Electronic Components Volume 3: Sensors for Location, Presence, Proximity, Orientation, Oscillation, Force, Load, Human Input, Liquid and Gas Properties, Light, Heat, Sound, and Electricity*, First edition, First release., vol. 3, 3 vols. en *Encyclopedia of electronic components / Charles Platt*, no. Volume 3, vol. 3. San Francisco, CA: Make Community, LLC, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=ZfXnCwAAQBAJ>
- [16] B. Nesbitt, Ed., *Handbook of valves and acutators*. en *Valves manual international*. Amsterdam: Elsevier, BH Butterworth-Heinemann, 2007.
- [17] R. H. Bishop, *Mechatronic Systems, Sensors, and Actuators: Fundamentals and Modeling*. en *Electrical engineering handbook series*. Taylor & Francis, 2008. [En línea]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=7q9CngEACAAJ>
- [18] F. Lamb, *Industrial automation: hands-on*. New York: McGraw-Hill Education, 2013.
- [19] Xinje, «XC series PLC hardware: user manual». Wuxi Xinje Electric CO., LTD. [En línea]. Disponible en: www.xinje.com
- [20] International Society of Automation y American National Standards Institute, Eds., *Human machine interfaces for process automation systems: American national standard: ANSI/ISA-101.01-2015*. Research Triangle Park, North Carolina: ISA, 2015.
- [21] Xinje, «TP/TH/TG/TE series HMI: manual hardware». Wuxi Xinje Electric CO., LTD. [En línea]. Disponible en: www.xinje.com
- [22] «Introduction to Servers for Industrial Applications - Technical Articles». Accedido: 2 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://control.com/technical-articles/introduction-to-servers-for-industrial-applications/>
- [23] «Unified Architecture», OPC Foundation. Accedido: 2 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://opcfoundation.org/about/opc-technologies/opc-ua/>

- [24] «Características KepserverEx», KEPServerEx. Accedido: 2 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.kepserverexopc.com/kepware-kepserverex-features/>
- [25] AESAN, «Guía para la aplicación del sistema de trazabilidad en la empresa agroalimentaria». Artes Gráficas Palermo. [En línea]. Disponible en: www.aesan.msps.es
- [26] G. A. F. Muñoz y M. B. P. Cuasquen, «TRAZABILIDAD COMO MECANISMO DE SEGURIDAD ALIMENTARIA EN UNA CADENA DE ABASTECIMIENTO FRUTÍCOLA DEL VALLE DEL CAUCA», 2018.
- [27] M. Alexander, D. Kusleika, y J. Walkenbach, *Excel 2019 bible*. Indianapolis, IN: Wiley, 2019.
- [28] «Ecuador se proyecta a ser exportador de papa – Ministerio de Agricultura y Ganadería». Accedido: 4 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.agricultura.gob.ec/ecuador-se-proyecta-a-ser-exportador-de-papa/>
- [29] «When Should a Potato Chip Manufacturer Move from Manual to Automated Processing?», Vanmark. Accedido: 4 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://vanmark.com/en-us/resource/Article/263/When-Should-a-Potato-Chip-Manufacturer-Move-from-Manual-to-Automated-Processing>
- [30] M. A. Reyna, «Automated Quality Control in Manufacturing Production Lines: A Robust Technique to Perform Product Quality Inspection».
- [31] INEN, «NTE INEN 2724: NORMA PARA LAS PATATAS (PAPAS) FRITAS CONGELADAS RAPIDAMENTE (CODEX STAN 114-1981, MOD)». INEN, 2014.
- [32] INEN, «NTE INEN 1 516: Hortalizas frescas. Papa. Requisitos.» INEN, 1987

5 ANEXOS

ANEXO I. Diagrama P&ID de proceso

ANEXO II. Hojas adicionales de trazabilidad

ANEXO III. Enlace a videos y archivos

ANEXO IV. Manual de usuario