

**Soporte de ingeniería a nivel de automatización en el diseño e implementación de
maquinaria para el sector lácteo de la empresa ESSI SAS**

Diego Hernando Cáceres Vega

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Mecatrónico

Director

William Razvan Castro Jaluba

Magister en Redes y Sistemas de Comunicaciones

Codirector

John Leonardo Quiroga Pineda

Magister en Ingeniería Electrónica

Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

División de Ingenierías y Arquitectura

Facultad de Ingeniería Mecatrónica

2023

Dedicatoria

Quiero dedicarle este logro primeramente a Dios, a mi madre Adriana Paola Vega Vega por su apoyo incondicional en cada parte del proceso, a mí abuela Blanca Alicia Vega por siempre confiar en mí, a Hernando Nossa Cuadros por el apoyo en el cumplimiento de este sueño, y a todas las personas que en su momento aportaron de manera directa o indirectamente en mi proceso, compañeros de clase, amigos, profesores y toda aquella persona que siempre confió en que lo podía lograr porque gracias a ellos estoy aquí logrando este sueño y creciendo en todos los aspectos humanos, sociales y laborales. Esta dedicatoria va para todas las personas que hicieron parte de este proceso, dando su apoyo moral, consejos, compartiendo conocimientos y estando en todos los momentos tanto fáciles como difíciles de este proceso.

Agradecimientos

Me gustaría agradecer a todos las personas que me apoyaron en este proceso, a mis familiares cercanos, amigos, compañeros de clase, profesores, por su apoyo incondicional, a Kelly Johanna Niño a quién le agradezco por ser la persona impulsora en mi proceso de aprendizaje y gusto por la automatización industrial, gracias a ello hoy me desempeño en un ámbito que cada día quiero más, a Deiby Andrey Rodríguez Guerrero por su amistad y apoyo en el ciclo final universitario, a Oscar Emilio Barrios Sandoval por ser un apoyo en mi proceso de prácticas empresariales, por ser la persona que me apoyo desde un inicio y confío en mi para el desarrollo de los proyectos en los que allí participe, a Sneyder Castro por ayudarme y explicarme el proceso de construcción de un tablero eléctrico, además de enseñarme que siempre se puede volver a empezar y ser mejor, a Julián Sánchez por enseñarme lo que es dedicación en el trabajo, a Oscar Patiño por enseñarme lo que es compromiso y esfuerzo en todo momento, a Elkin Araque que me enseñó que todo se puede con buena actitud, a Juan Carlos Castillo que me enseñó lo que es ser una persona noble en todo momento, a Sergio Blanco por enseñarme que siempre se puede mejorar y dar algo más, a Omar Sánchez por explicarme en todo momento los procesos y darme la confianza de trabajar en distintos equipos, a German Jaimes por enseñarme que la tranquilidad esta primero, a Edinson Navas por apoyarme desde el inicio de mis prácticas con la explicación de procesos y desarrollo de planos eléctricos, a todo el personal de final de línea, UHT y procesos. Finalmente, al Ingeniero Mauricio Briñez por la oportunidad de ingresar a su empresa y desarrollar mis prácticas empresariales, donde gracias a ello conocí a personas excelentes en todos los aspectos humanistas, a ellas y a todas las personas que me brindaron la mano en todo mi proceso de prácticas les doy una y mil veces las gracias.

Contenido

Introducción	10
1. Soporte de ingeniería a nivel de automatización en el diseño e implementación de maquinaria para el sector lácteo de la empresa ESSI SAS	11
1.1 Planteamiento del problema	11
1.2 Justificación.....	11
1.3 Objetivos	12
1.3.1 Objetivo general.....	12
1.3.2 Objetivos específicos	12
2. Reseña de la empresa	13
3. Marco conceptual.....	15
4. Plan de Trabajo	17
4.1 Desarrollo plan de trabajo.....	17
5. Resultados	18
5.1 Desarrollo de tableros de control para maquinaria tipo Bagger	18
5.1.1 Distribución de canaleta y rieles	19
5.1.2 Cableado de módulos de entradas y salidas digitales	19
5.1.3 Cableado de potencia para variadores de frecuencia y breakers de seguridad	20
5.1.4 Tablero de control energizado y totalmente terminado	21
5.2 Desarrollo de planos eléctricos para tableros de control clúster mezclas y clúster silos.....	21
5.3 Implementación de la programación PLC, HMI para la maquinaria tipo Bagger y pruebas FAT corroborando así su funcionamiento.....	22
5.3.1 Adquisición de señales de entrada.....	23

5.3.2 Ejecución de señales digitales de salida	24
5.3.3 Configuración de componentes del Servo Drive y parametrización	25
5.3.4 Adecuación en los estados y variables de HMI.....	26
5.3.5 Inclusión de mensajes de falla en HMI	27
5.3.6 Adecuación en el control PID de sellados horizontales.....	28
5.4 Programación PLC y HMI de Skip de Acopio	29
5.4.1 Bloque de funciones alarmas.....	29
5.4.2 Escala de señales análogas y visualización en HMI.....	30
5.4.3 Diseño de HMI con seguridades en modo operario y administrador.....	31
6. Conclusiones	32
Referencias.....	34

Lista de tablas

Tabla 1. *Plan de trabajo* 17

Lista de figuras

Figura 1. <i>Tablero de control</i>	19
Figura 2. <i>Módulos del PLC cableados</i>	20
Figura 3. <i>Cableado variadores de frecuencia</i>	20
Figura 4. <i>Tablero de control energizado</i>	21
Figura 5. <i>Tableros de control clúster mezclas y silos</i>	22
Figura 6. <i>Entrada de señales digitales en software studio 5000</i>	24
Figura 7. <i>Salida de señales digitales en software Studio 5000</i>	25
Figura 8. <i>Configuración servo drive</i>	26
Figura 9. <i>Asignación de variables para inicio, pausa, reinicio y parada</i>	27
Figura 10. <i>Asignación textos de alarmas en HMI</i>	28
Figura 11. <i>Control PID de temperatura</i>	29
Figura 12. <i>Asignación de alarmas</i>	30
Figura 13. <i>Bloque para escalar valores análogos</i>	31
Figura 14. <i>HMI Skip de acopio</i>	32

Resumen

ESSI SAS es una compañía especializada en el diseño y construcción de maquinaria para la industria láctea. Su catálogo de productos incluye máquinas de envasado, enfardado, esterilización, pasteurización, pick and place, entre muchas otras, diseñadas para funcionar de manera automatizada en todo momento. En el área de producción, se requiere un amplio apoyo en diversas disciplinas, como programación, diseño, sistemas SCADA y pruebas FAT. Por tanto, el objetivo específico en la compañía ha sido desarrollar diferentes actividades necesarias de programación, diseño de planos eléctricos, ensamble de sistemas mecánicos y pruebas FAT para corroborar el pleno funcionamiento de las máquinas. Este objetivo se ha cumplido a medida que se tenía una mayor claridad de los procesos que estas debían cumplir, tiempos de ejecución de cada rutina, interpretación clara de diagramas eléctricos y programación en distintas marcas de PLC. Al finalizar este proceso, se han adquirido amplios conocimientos en el diseño de planos eléctricos, ensamble de sistemas mecánicos, conexión de elementos electrónicos, programación y puesta en marcha de las diferentes máquinas.

Palabras clave: SCADA, PLC, pruebas FAT, envasado, enfardado

Abstract

ESSI SAS is a company specialized in the design and construction of machinery for the dairy industry. Their product catalog includes packaging, bundling, sterilization, pasteurization, pick and place machines, among many others, all designed to always operate in an automated manner. In the production area, extensive support is required in various disciplines, such as programming, design, SCADA systems, and FAT testing. Therefore, the specific objective in the company has been to develop different necessary activities of programming, design of electrical diagrams, assembly of mechanical systems, and FAT testing to corroborate the full operation of the machines. This objective has been achieved as there was a greater clarity of the processes that these machines had to fulfill, execution times of each routine, clear interpretation of electrical diagrams, and programming in different PLC brands. At the end of this process, broad knowledge has been acquired in the design of electrical diagrams, assembly of mechanical systems, connection of electronic elements, programming, and commissioning of different machines.

Keywords: SCADA, PLC, FAT testing, packaging, bundling

Introducción

La maquinaria para el sector lácteo cumple un papel importante puesto que ayuda a la producción en masa de distintos alimentos como lo son la leche, yogures entre otros, además de garantizar los procesos asépticos necesarios en estos productos haciéndolos aptos para el consumo humano; a su vez estas máquinas cumplen con todas las garantías en cada parte del proceso hasta llegar al consumidor, desde el proceso de esterilización del producto, su correcto envasado y por último, el empaque en un sixpack (paquete de seis unidades) para ser repartido a las distintas tiendas y supermercados. Entre estas maquinarias nos podemos encontrar con un CIP (Clean In Place) que está acoplado a la envasadora el cual se encarga de la limpieza de la tubería por donde va a pasar el producto, un esterilizador UHT (Ultra High Temperature), el cual se encarga de todo el proceso de esterilización del producto, pasando luego por una envasadora ESSI-A4 la cual se encarga de el envasado de este producto en su bolsa correspondiente, este proceso es automatizado y llega a producir 60 bolsas de leche por minuto proveniente de cada cabezal que posee la máquina, en este caso llegamos a 240 bolsas por minuto proveniente de todos los cabezales. Para el proceso final nos encontramos con un Bagger (Enfardadora) el cual se encarga de recibir las bolsas provenientes de la envasadora, almacenarlas en un contenedor de 6 posiciones, 4 posiciones o 3 posiciones según lo requiera el cliente; las cuales caerán por medio de un cuello luego de efectuar el sellado vertical para ser recibidos en el sistema de recibidores mientras se hace el sello horizontal y el corte de la bolsa para finalmente pasarlos por medio de bandas transportadoras a sus cajas correspondientes.

1. Soporte de ingeniería a nivel de automatización en el diseño e implementación de maquinaria para el sector lácteo de la empresa ESSI SAS

1.1 Planteamiento del problema

La empresa ESSI SAS se dedica a la construcción de maquinaria para el sector lácteo, debido a que este tipo de máquinas deben ser lo más autónomas posibles se requiere utilizar dispositivos para el monitoreo y control del proceso que realizan estas máquinas, debido a esto la empresa requiere de personal capacitado para la construcción de planos eléctricos, tablero de control, programación y realización de pruebas FAT (Factory Acceptance Test) que requieren estas máquinas.

La construcción de tableros de control para maquinaria tipo Bagger (Enfardadora) requiere la aplicación de conocimientos en áreas como electrónica, mecánica e instrumentación. Es esencial implementar la programación para verificar la adquisición de señales y la correcta actuación de los sistemas. Igualmente es necesario implementar interfaces de visualización y control rápido HMI para el funcionamiento automatizado efectivo de estas máquinas; por último, el diseño de planos eléctricos para la construcción de tableros eléctricos tipo clúster para mezclas y silos que harán parte de la línea de producción.

1.2 Justificación

Para afrontar los problemas mencionados, se requiere amplio conocimiento en diversas áreas de la ingeniería para construir y poner en marcha la maquinaria diseñada. Es necesario

conocer los elementos de protección, control y potencia que se encuentran en los tableros de control, así como los sistemas mecánicos y sus ensambles. También se deben considerar las rutinas que la máquina debe cumplir para adecuar la programación a los tiempos de ejecución y garantizar su funcionamiento óptimo en todas las condiciones. Mediante la implementación de un correcto control de temperatura se asegurará que la máquina llegue a cumplir con el sellado horizontal optimo, dando así la mayor eficiencia en el proceso y a su vez cumpliendo con los criterios de operatividad que llega a ser en un ciclaje de 15 fardos por minuto.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Apoyar al área de producción en el pre-comisionamiento, comisionamiento y pruebas FAT para la construcción de maquinaria del sector lácteo.

1.3.2 Objetivos específicos

Ensamblar tableros de control para maquinaria del sector lácteo mediante la conexión e interconexión de componentes eléctricos.

Realizar planos eléctricos correspondientes a entradas y salidas digitales para tableros de control por medio del software AutoCAD.

Realizar la programación de PLC y HMI para la automatización de la maquinaria y realización de pruebas FAT.

2. Reseña de la empresa

Corría el año de 1996 cuando las virtudes de persistencia y disciplina del ingeniero Mauricio Briñez Rodríguez, aplicadas a conceptos hasta el momento plasmados en el papel, permitieron que la empresa de soluciones, servicios e innovación, ESSI cobre vida y comience sus operaciones en Colombia.

Con el objetivo de expandir su negocio, en el año 1998, ESSI de la mano del ingeniero Mauricio Briñez visionó la unidad estratégica de negocios de procesos asépticos con el diseño, fabricación y puesta en funcionamiento de la primera envasadora flexible UHT para leche de tipo larga vida [1].

Siendo esta envasadora una solución para la industria láctea que permitía pasar la leche pasteurizada de 4 a 6 días de vida útil a una leche ultra pasteurizada de 30 a 90 días sin refrigeración. Hoy, el 86% de las ventas de esta unidad estratégica de negocios se realiza al exterior [1].

A su vez, la unión entre grandes especialistas e inversionistas, quienes comparten la visión de sumar valor a la industria láctea, de alimentos y bebidas; con un objetivo claro, ofrecer la tecnología, innovación e inocuidad alimentaria en el país.

De esta manera, la empresa ESSI se consolida en el año 2005 como referente nacional con dos importantes líneas de negocio, entre ellas, las soluciones en equipos de procesos asépticos desde el acopio hasta el final de línea y BPO (Business Process Outsourcing) de mantenimiento y energías renovables; ofreciendo para esta última paneles solares y BPO de mantenimiento inhouse [1].

En el año 2009 se origina el plan de expansión internacional de ESSI, convirtiéndose en un referente internacional en México, Centroamérica y Latinoamérica. Más adelante, en el año 2019

ingresa al mercado de India [1].

La búsqueda continua en ofrecer soluciones innovadoras que brinden acompañamiento ha permitido que hoy ESSI cuente con un portafolio de más de 40 equipos que impactan en tres áreas: equipos de procesos, envasado y final de línea; ofreciendo una solución completa a la industria láctea y alimenticia, elegidas y aplicadas con éxito por grandes empresarios que confían en esta tecnología [1].

Misión: ESSI es una organización dinámica construida por un equipo de personas integrales con criterios técnicos e identificados en una cultura que establece, de forma planificada, soluciones flexibles con tecnología innovadora, generando rentabilidad, valor a nuestros clientes, estabilidad laboral, bienestar a la comunidad y crecimiento al país [1].

Visión: En 2025, ESSI (Empresa de Soluciones Servicios e Innovación) tendrá un crecimiento sostenido del 20% anual en ventas, consolidando la marca ESSI como un aliado integral para facilitar las operaciones de los clientes de manera eficiente con calidad, confiabilidad y mejora continua. Además, con presencia en 20 países a nivel mundial (América, África, Europa y Asia) [1].

3. Marco conceptual

Automatización industrial: es la tecnología basada en la aplicación de complejos sistemas mecánicos, electrónicos y computacionales a la operación y control de la producción. Esta tecnología incluye entre otras cosas máquinas, herramientas automáticas para producir partes, sistemas automáticos de manejo de materiales, sistemas de control y retroalimentación de información para la calidad y producción de sistemas computarizados de control de procesos [2].

SCADA: es una aplicación o conjunto de aplicaciones de software especialmente diseñadas para funcionar sobre ordenadores de control de producción, con acceso a la planta mediante la comunicación digital con instrumentos y actuadores, e interfaz gráfica de alto nivel para el operador (pantallas táctiles, ratones o cursores, lápices ópticos, etc.) [3].

PLC: un PLC (Programmable Logic Controller), también conocido como autómatas, es un dispositivo que se utiliza sobre todo en el ámbito industrial. Su finalidad, tal y como su nombre indica, es procesar de forma automática los datos en procesos industriales y controlar otros elementos periféricos como pueden ser motores, bombas, válvulas, etc. [4].

Sensores: son dispositivos electrónicos que están diseñados para detectar y responder ante cualquier tipo de entrada en un ambiente físico, las señales que manda una sonda las convierte en salidas y las redirige a una pantalla para su análisis [5].

Actuadores neumáticos: es el tipo de actuador más común, cuya fuente de energía es el aire comprimido y que se mueve mediante un pistón cuando el aire se descomprime. Es una de las opciones más extendidas gracias a su facilidad de uso y su bajo precio de instalación, así como por ser resistente a las temperaturas, transporta y almacena fácilmente la potencia mecánica [6].

Servo Drive: son considerados el sistema central de los servomotores ya que en ellos residen las principales funcionalidades de los servos: perfil de movimiento, la aceleración, la

velocidad y la deceleración. Es decir, estos controladores son los encargados de alimentar a los servomotores y al mismo tiempo interpretar y ejecutar las órdenes de movimiento que se mandan de forma directa o programada [7].

HMI: se trata de una Interfaz Humano-Máquina, la abreviación se debe por su nombre en inglés: Human-Machine Interface. Es decir, es la interfaz entre el proceso y los operarios de una fábrica, una línea de producción, una empresa o cualquier sistema donde sea necesaria la operación por parte de un humano. En sí, es un panel de instrumentos que el operario puede manipular para controlar un proceso [8].

Es la principal herramienta que utilizan los operarios y los supervisores de línea para coordinar y controlar procesos industriales y de fabricación. El HMI traduce variables de un proceso complejo en información útil y procesable [8].

Variador de frecuencia: regula la velocidad de motores eléctricos para que la electricidad que llega al motor se ajuste a la demanda real de la aplicación, reduciendo el consumo energético del motor entre un 20 y un 70% [9].

Un variador de frecuencia por definición es un regulador industrial que se encuentra entre la alimentación energética y el motor. La energía de la red pasa por el variador y regula la energía antes de que ésta llegue al motor para luego ajustar la frecuencia y la tensión en función de los requisitos del procedimiento [9].

Relé de estado sólido (en inglés “Solid State Relays” o *SSR*): realiza la misma función que los relés mecánicos, pero se diferencian de estos porque no tienen partes móviles. Los relés de estado sólido son dispositivos semiconductores con una velocidad de conmutación muy superior a la de los relés electromecánicos, del orden de los 50 a 100 milisegundos [10].

4. Plan de Trabajo

4.1 Desarrollo plan de trabajo

El Ingeniero Mecatrónico en la empresa ESSI (Empresa de Soluciones Servicios e Innovación) SAS, puede aplicar distintos conocimientos en las áreas de automatización, control, mecánica, diseño, instrumentación, mantenimiento industrial, investigación e innovación mediante proyectos orientados a la mejora de sistemas mecánicos, neumáticos y eléctricos para distintas máquinas usadas en el sector lácteo. Desarrollando habilidades para comunicar ideas y aplicando los conocimientos de ingeniería adquiridos en la facultad de Ingeniería Mecatrónica durante la carrera.

Por parte de la empresa se adquirió recursos de información, orientación y explicación por parte del director de la práctica y de los demás líderes de proyectos en los que participó. El desarrollo de los proyectos se basó en la revisión de planos eléctricos para el entendimiento de los sistemas de control de la maquinaria, ensambles mecánicos y rutinas en los procesos que debían cumplir las máquinas para la entrega del producto final.

Tabla 1. *Plan de trabajo*

Objetivos	Actividades	Entregables
Ensamblar tableros de control para maquinaria del sector lácteo mediante la conexión e interconexión de componentes eléctricos	Realizar la conexión de distintos elementos de potencia, control y protecciones de acuerdo con planos eléctricos.	Identificar los elementos y su distribución, para conectar todos los módulos según lo requerido y estipulado por planos eléctricos, asegurando las protecciones de los elementos y su respectiva marquilla de identificación.

Objetivos	Actividades	Entregables
Realizar planos eléctricos correspondientes a entradas y salidas digitales para tableros de control por medio del software AutoCAD	Realizar planos eléctricos correspondiente a las señales de I/O para tableros eléctricos mezclas.	Recopilar información de los distintos elementos y sus conexiones para su asignación correspondiente a borneras y relés.
	Realizar planos eléctricos correspondiente a las señales de I/O para tablero eléctrico silos.	Recopilar información de los distintos elementos y sus conexiones para su asignación correspondiente a borneras y relés.
Realizar la programación de PLC y HMI para la automatización de la maquinaria y realización de pruebas FAT.	Realizar pruebas de adquisición de señales y a su vez programación del controlador.	Establecer la conexión entre la máquina y el ordenador que ejecuta el programa para adquirir las diferentes señales y verificar los diversos procesos que la máquina debe realizar en función de estas señales adquiridas.
	Realizar pruebas FAT para verificación final del funcionamiento de la máquina.	Implementar el programa de control en su totalidad, asegurándose de que cada una de las fases de la máquina funcione correctamente.

5. Resultados

5.1 Desarrollo de tableros de control para maquinaria tipo Bagger

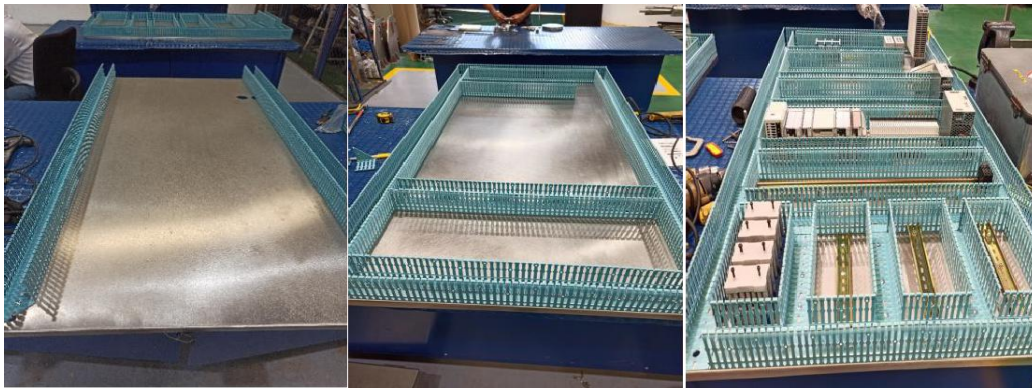
La primera parte del proyecto consiste en construir tres tableros de control para maquinaria tipo Bagger (Enfardadora), a través de la interpretación de planos eléctricos, revisión de conexiones y verificación del funcionamiento de elementos eléctricos de potencia, protección y

control necesarios para el correcto funcionamiento del tablero. Los elementos usados fueron previamente seleccionados y comprados por personal capacitado, incluyendo variadores de frecuencia, relés de estado sólido, servo drive, transformadores para control y potencia, PLC, módulos de entradas y salidas digitales, módulos de entradas analógicas RTD y borneras de conexión, consumibles, etc.

5.1.1 Distribución de canaleta y rieles

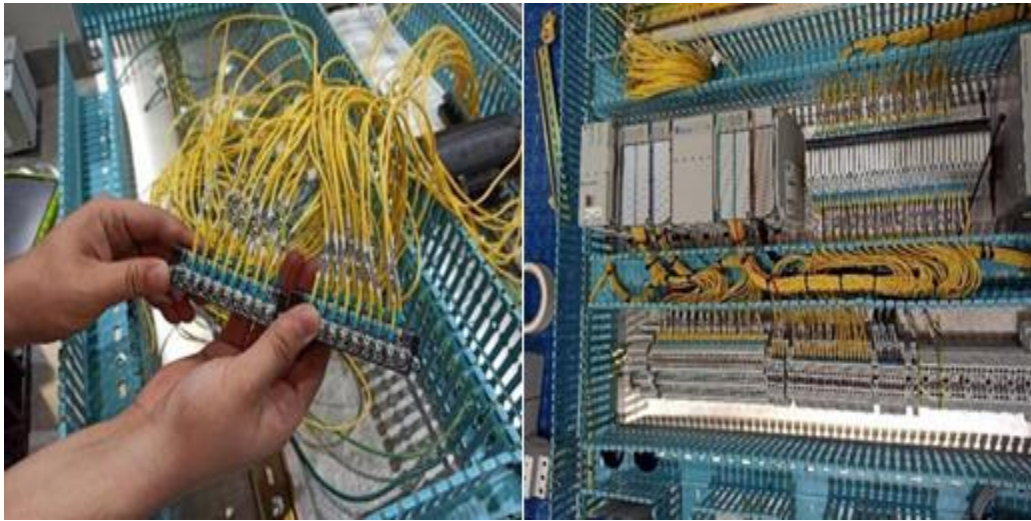
Para lograr un posicionamiento adecuado de los diferentes elementos eléctricos, es fundamental disponer de un doble fondo que se perforará y se utilizará para fijar las canaletas destinadas a la distribución del cableado y la colocación precisa de los distintos componentes.

Figura 1. *Tablero de control*



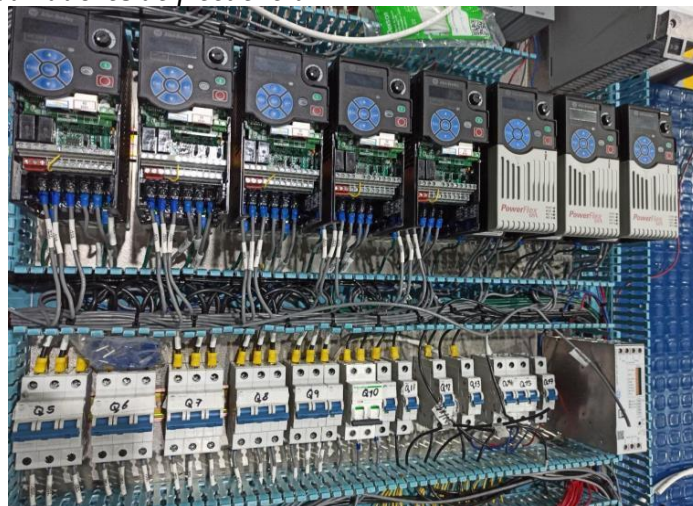
5.1.2 Cableado de módulos de entradas y salidas digitales

Para obtener señales digitales y controlar sistemas electroneumáticos, es necesario utilizar módulos que se conectan mediante cableado a cada una de sus entradas y/o salidas. Estos módulos permiten la conexión a borneras o a una salida de relé, que luego se interconecta con los sistemas presentes en la máquina tipo Bagger.

Figura 2. *Módulos del PLC cableados*

5.1.3 *Cableado de potencia para variadores de frecuencia y breakers de seguridad*

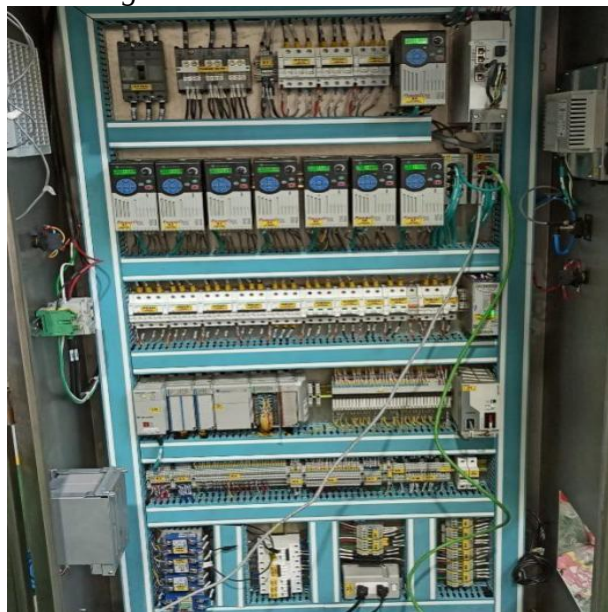
Luego de realizar la conexión de control de los módulos del PLC, es necesario realizar el cableado de potencia correspondiente a los variadores de frecuencia y borneras de motores. Para ello, se utilizan las salidas del Power Block que contiene las 3 fases de la red, a través del cual se conectan los diferentes breakers de protección para los variadores de frecuencia, la toma de corriente, la UPS (Uninterruptible Power Supply) y los sellados horizontales y verticales.

Figura 3. *Cableado variadores de frecuencia*

5.1.4 Tablero de control energizado y totalmente terminado

Después de haber realizado las conexiones de potencia y control descritas anteriormente, y de haber interconectado el tablero de control con los sistemas de la máquina, se procede a energizar el tablero y probar las diferentes señales de entrada, salida y conexión a elementos de control como el PLC, HMI y variadores de frecuencia.

Figura 4. *Tablero de control energizado*



5.2 Desarrollo de planos eléctricos para tableros de control clúster mezclas y clúster silos

La segunda fase del proyecto incluye el diseño de los planos eléctricos correspondientes a las entradas y salidas digitales para la construcción de tableros de control tipo clúster mezclas y clúster silos. Estos planos se crearon utilizando el software AutoCAD, y se asignaron las diferentes conexiones a borneras de tres pisos y salidas a relé de la válvula de cabezal inteligente. Una vez finalizados los planos, se entregaron al personal capacitado para su construcción.

Figura 5. *Tableros de control clúster mezclas y silos*

Las señales de entrada provienen de un cabezal inteligente que se encuentra en cada válvula del sistema, y que proporciona información sobre el estado de la válvula. El estado puede ser abierto, cerrado o en drenaje para válvulas tipo mixproff, mientras que para válvulas tipo mariposa las señales son abiertas o cerradas. En cuanto a las salidas, tenemos la posibilidad de controlar el estado de estas válvulas en función del proceso que se esté ejecutando, ya sea abierta, cerrada o en drenaje para válvulas tipo mixproff, o abierta/cerrada para válvulas tipo mariposa.

5.3 Implementación de la programación PLC, HMI para la maquinaria tipo Bagger y pruebas FAT corroborando así su funcionamiento

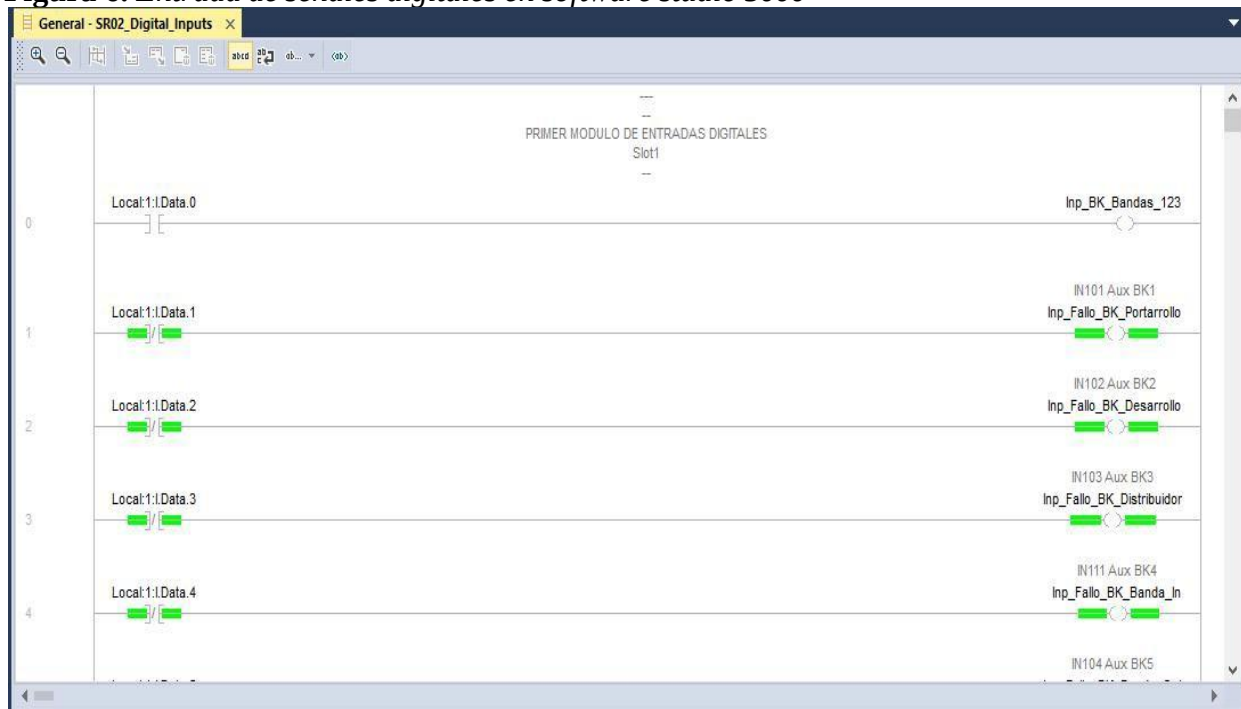
En la tercera parte del proyecto, se implementó la programación del PLC y HMI para tener un control total de la máquina. Para lograr esto, fue necesario actualizar el PLC a la versión que se iba a utilizar y cargar el programa correspondiente. En el caso del proyecto en cuestión, se utilizó un PLC Allen Bradley modelo CompactLogix L33ER, donde en la actualización del PLC se utilizó la aplicación ControlFlash y para la carga del programa se utilizó la aplicación de Studio 5000.

Una vez que se actualizó el PLC y se cargó el programa de control, se inició la revisión en la adquisición de señales de entrada y la ejecución de señales de salida. Además, se estableció la comunicación entre todos los variadores de frecuencia y el HMI para tener un control completo de la máquina.

5.3.1 Adquisición de señales de entrada

Después de energizar el tablero de control, actualizar la versión del PLC y cargar el programa correspondiente, se procedió a corroborar las distintas señales de entrada digitales. Estas señales son provenientes de diferentes dispositivos, como sensores inductivos, contactos auxiliares en los breakers, sensores reflexivos.

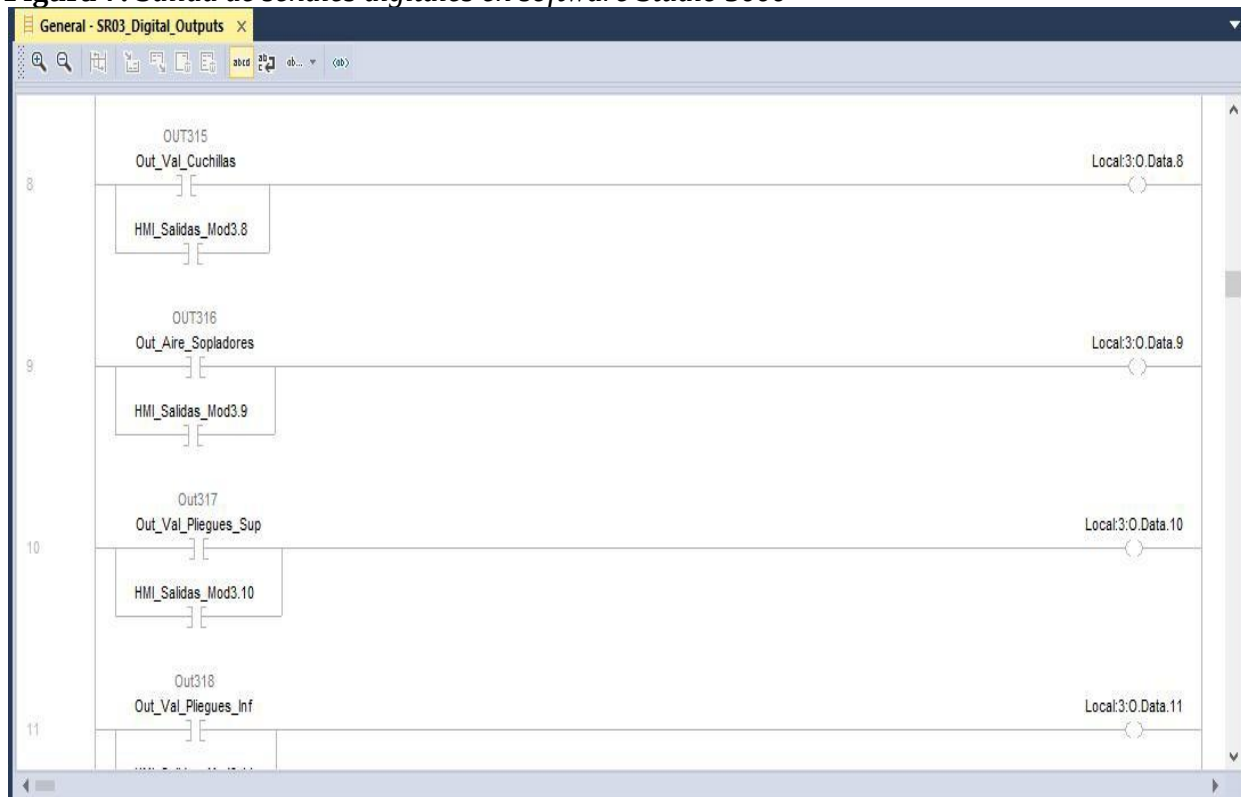
Es importante asegurarse de que todas las señales de entrada estén funcionando correctamente para que el sistema pueda operar de manera eficiente y segura. Se realizaron pruebas para verificar que las señales de entrada estuvieran siendo detectadas correctamente por el PLC y que el programa respondiera adecuadamente a ellas.

Figura 6. *Entrada de señales digitales en software studio 5000*

5.3.2 Ejecución de señales digitales de salida

Después de conectar los sistemas electroneumáticos, se procedió a corroborar su funcionamiento. Esto se logró mediante la activación de los sistemas, ya sea a través de la HMI, donde se tienen enlazadas las variables de ON/OFF, o forzando su salida desde el programa.

Es importante verificar que los sistemas y elementos estén funcionando correctamente para garantizar que la máquina pueda operar de manera segura y eficiente. Se realizaron pruebas para asegurarse de que los sistemas se activaran y desactivaran correctamente y que los elementos respondieran adecuadamente a las señales de control.

Figura 7. Salida de señales digitales en software Studio 5000

5.3.3 Configuración de componentes del Servo Drive y parametrización

El sistema distribuidor tiene la tarea fundamental de colocar cada bolsa de leche individual en su posición correspondiente dentro del contenedor de la máquina, por lo que es necesario configurar el servo drive que controla el motor encargado del movimiento del distribuidor.

Para ello, utilizamos el software Festo Automation Suite, que nos permite reconocer y agregar el servo drive, motor, eje y kit de montaje. Una vez que se han agregado los diferentes componentes, es necesario realizar una parametrización, que incluye la asignación del valor de voltaje a utilizar y la definición del recorrido del eje.

Figura 8. Configuración servo drive

Drive Configuration

Please Select the Components of Your Drive System

Component	Model	Parameters
Servo drive	CMMT-AS-C7-11A-P3-MP-S1 8143168 Licenses	Maximum Current: 21.00 A Intermediate Circuit Voltage: 560.00 V Supply Voltage: 480.00 V
Motor	EMMT-AS-60-L-HS-RM 5242217	Type: Servo motor (2) Holding Brake: No Encoder Protocol: EnDat 2.2 (5) Encoder Type: Multi turn (2) Voltage: 680.00 V
Axis	EGC-80-300-BS-10P-KF-0H-ML-GK 3013534	Axis Size: 80 Feed Constant: 10.00 mm/rev Working Stroke: 300.00 mm
Mounting Kit	EAMM-A-S48-60P-G2 3637964	Type: Axial Gear Ratio: 1:1

Further Information

CMMT-AS-C7-11A-P3-MP-S1

Overview

Device Details

Support

5.3.4 Adecuación en los estados y variables de HMI

Al momento de poner en funcionamiento la máquina, es importante tener en cuenta los posibles estados de accionamiento y las variables que pueden detener el proceso y hacer que vuelva a un estado inicial en caso de que haya una falla en la rutina.

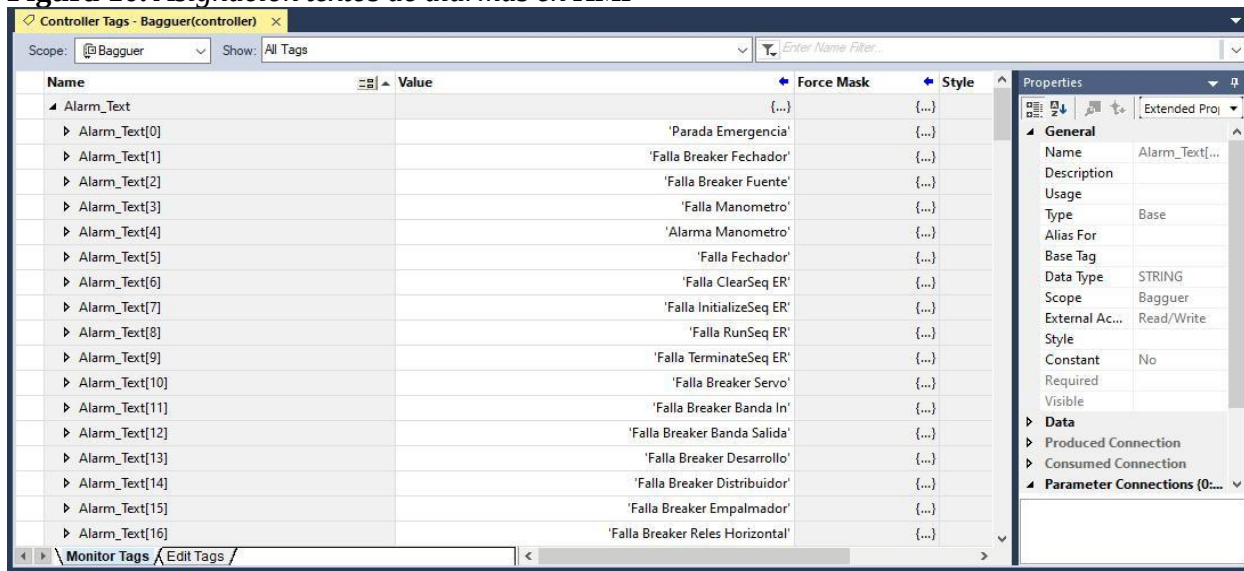
Para resolver lo anteriormente mencionado, se revisaron las variables asociadas a los estados de Reinicio, Pausa, Inicio y Detención, garantizando así que se cumplan las diferentes condiciones de seguridad en caso de que haya algún problema en las distintas rutinas o atascamiento del producto.

Figura 9. Asignación de variables para inicio, pausa, reinicio y parada

5.3.5 Inclusión de mensajes de falla en HMI

Una parte esencial del proceso es tener conocimiento de los errores actuales de la máquina para proporcionar una solución rápida y continuar con el proceso. Por lo tanto, es necesario agregar todas las posibles fallas que pueda presentar la máquina a la HMI, lo que proporciona una visualización rápida y en tiempo real del estado de la máquina.

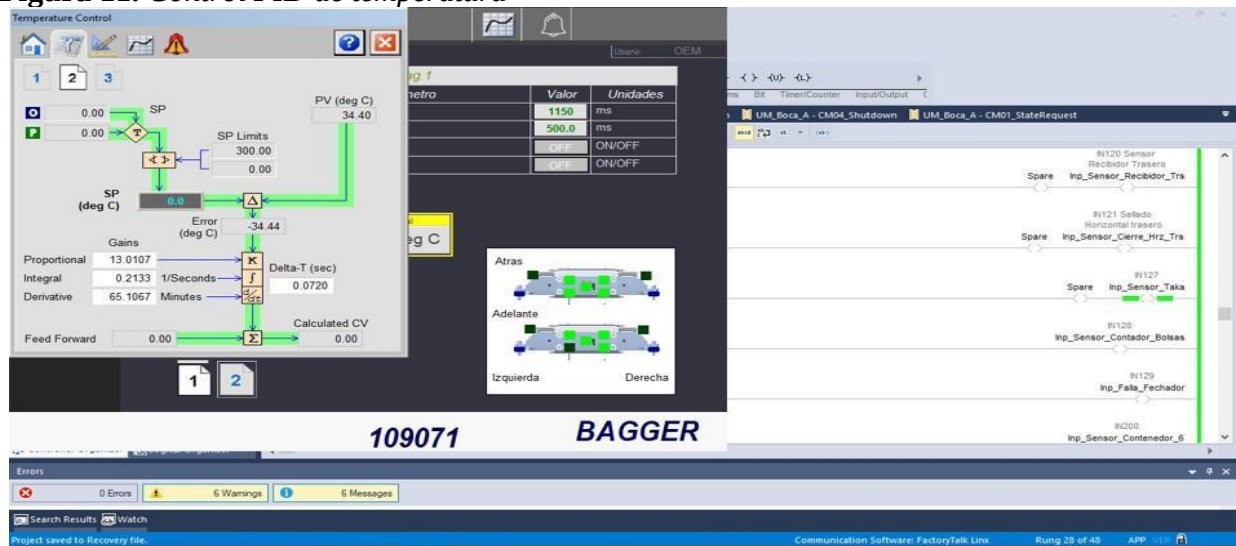
Es por eso que la asignación correcta de las variables de falla es una parte fundamental de la automatización de las máquinas.

Figura 10. *Asignación textos de alarmas en HMI*

5.3.6 Adecuación en el control PID de sellados horizontales

En el proceso de enfarado de las unidades de leche, el sellado del plástico es un factor importante ya que es el encargado de mantener el producto en su sixpack correspondiente. Durante las pruebas FAT, se detectó que el sellado horizontal presentaba problemas, lo que ocasionaba que los fardos se abrieran en el proceso, lo que no es aceptable en la producción. Luego de revisar el control PID que manejaba los diferentes sellos en cada una de las máquinas, se observó que éstos funcionaban correctamente en las demás máquinas. Así, se decidió cambiar la resistencia de calentamiento como una posible solución, lo cual no resultó. Posteriormente, se intervino directamente en el control PID y se observó que la respuesta que tenía la variable de control para esta resistencia en particular era lenta, afectando directamente la caída de la temperatura en producción.

La solución más rápida, confiable y con bases de ingeniería fue aumentar el valor derivativo del control PID, garantizando que la temperatura recupere su valor óptimo de sellado en un menor tiempo y, por ende, dando solución al problema de temperatura.

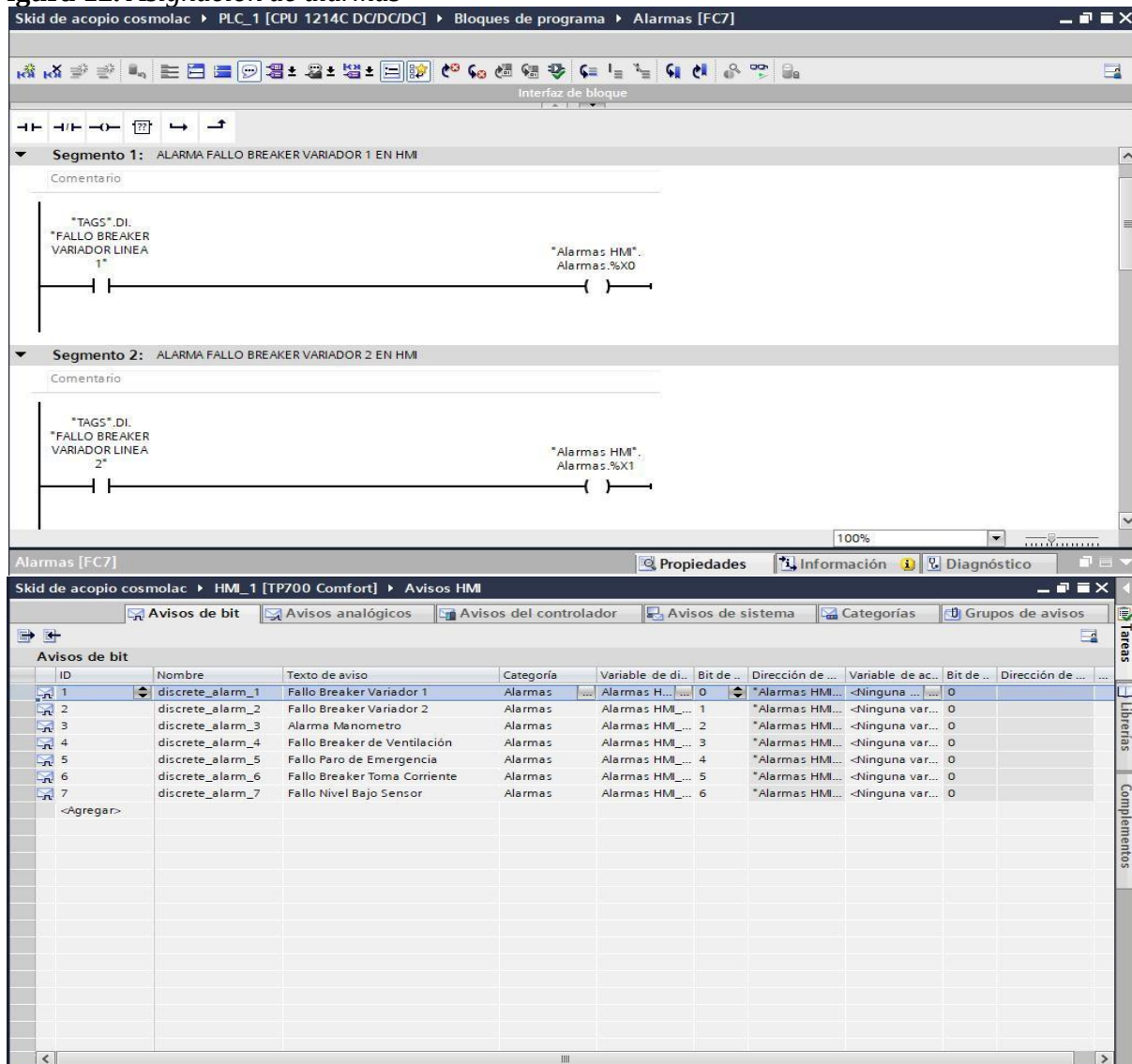
Figura 11. Control PID de temperatura

5.4 Programación PLC y HMI de Skip de Acopio

En la línea de producción de ESSI SAS, se encontró un Skip de acopio o Skip de recibo de producto que se acopla a los carros tanques cargados de materia prima (leche). Una vez acoplado, se activa una bomba que hace fluir el producto por tuberías, pasando por un par de filtros que eliminan pequeños residuos e impurezas. Luego, la leche sube a un tanque de almacenamiento donde, a través de otra bomba, pasa por un intercambiador que la enfriará desde temperatura ambiente hasta 4°C mediante un intercambio con agua fría a 2°C. Este proceso se realiza en un caudal constante de 20.000 litros por hora.

5.4.1 Bloque de funciones alarmas

Para enlazar las alarmas de los breakers auxiliares y las señales del manómetro, se utiliza una estrategia que implica el uso de una variable de tipo Word que contiene 16 bits, asignando una falla a cada bit. De esta forma, cada vez que se active uno de estos bits, se generará un mensaje correspondiente al tipo de falla, el cual se visualizará en la pantalla HMI junto con una descripción de la falla y su estado.

Figura 12. Asignación de alarmas

5.4.2 Escala de señales análogas y visualización en HMI

En la programación, es crucial la presentación de valores en un lenguaje que sea fácilmente comprensible. Para lograr esto, es necesario crear un bloque de función (FB) que tenga diferentes parámetros de entrada, tales como los rangos de señales de entrada provenientes del sensor transmisor y los rangos en los cuales queremos visualizar estos datos. De esta manera, podemos convertir los valores analógicos que envía el sensor en valores enteros fáciles de entender y visualizar en poco tiempo.

Figura 13. Bloque para escalar valores análogos

The screenshot displays the Siemens SIMATIC Manager interface for the 'Escala' (Scale) block. The top window shows the 'Escala' block configuration table, and the bottom window shows the corresponding ladder logic diagram.

Nombre	Tipo de datos	Valor predet.	Remanencia	Accesible d...	Escrib...	Visible en ..	Valor de a...	Comentario
Input								
Xin(Real)	Real	0.0	No remane...	☒	☒	☒		
X1	Real	0.0	No remane...	☒	☒	☒		
X2	Real	0.0	No remane...	☒	☒	☒		
Y1	Real	0.0	No remane...	☒	☒	☒		
Y2	Real	0.0	No remane...	☒	☒	☒		
Offset	Real	0.0	No remane...	☒	☒	☒		
Output								
Yout(Real)	Real	0.0	No remane...	☒	☒	☒		
Yout(Int)	Int	0	No remane...	☒	☒	☒		
InOut								
Static								
Temp								
m	Real							
Y2-Y1	Real							
X2-X1	Real							

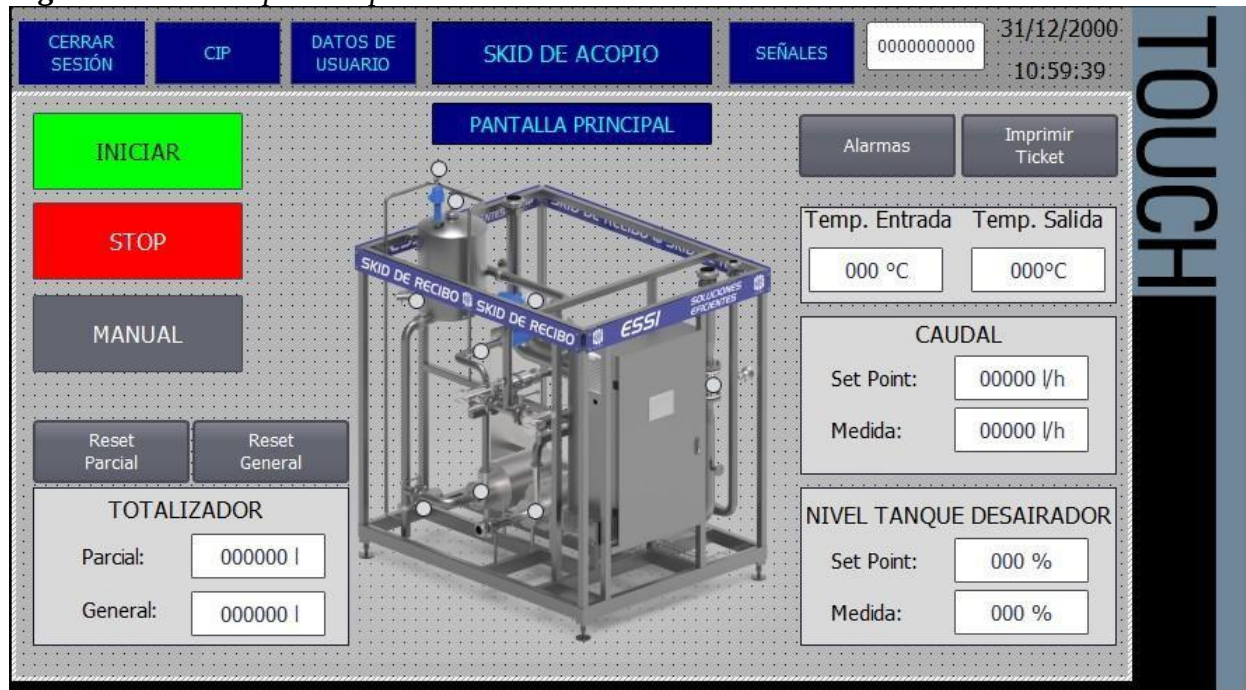
The ladder logic diagram shows the 'Escala' block (FB1) with the following connections:

- EN (Enable):** Connected to %M114, labeled '*SENSOR DE NIVEL ANALOGO DEL TANQUE (FM-1)*'.
- Yout(Real):** Output to 0.0.
- Yout(Int):** Output to 0.0.
- Inputs:**
 - Xin(Real) connected to 0.0 (X1).
 - X2 connected to 27648.0.
 - Y1 connected to 0.0.
 - Y2 connected to 100.0.
 - Offset connected to 0.0.

Comments in the diagram include: '*TAGS* AI.' and '*SENSOR DE NIVEL ANALOGO DEL TANQUE (FM-1)*'.

5.4.3 Diseño de HMI con seguridades en modo operario y administrador

El diseño de la HMI para el control del proceso del Skip de acopio es una parte esencial del proceso, ya que permite estar al tanto del estado actual de la máquina. A través de la visualización, podemos monitorear el nivel del tanque, el caudal, la temperatura de entrada y salida del intercambiador, la frecuencia de las bombas, el totalizador de litros parcial y general, y manipular variables como el nivel del tanque y el caudal deseado. Sin embargo, el totalizador de litros solo puede ser reiniciado por un usuario en modo administrador para evitar pérdidas en el conteo exacto de la materia prima que ingresa a la máquina ya que esta debe ser pagada al proveedor.

Figura 14. HMI Skip de acopio

6. Conclusiones

La maquinaria para el sector lácteo tiene muchas aplicaciones, por lo que su diseño, construcción, programación y puesta en marcha requiere de diversos conocimientos. Por lo tanto, un ingeniero mecatrónico puede desarrollarse en todas las áreas que abarcan el proceso de producción de esta maquinaria, realizando diferentes actividades de programación, diseño de planos eléctricos y puesta en marcha de las máquinas, lo que representa la mejor forma de consolidar todos los conocimientos adquiridos durante su carrera, aportando ideas y soluciones con bases de ingeniería. Realizar ajustes en la programación de maquinaria y ver que estos resuelven un problema conlleva a diferentes sensaciones de satisfacción, además de aumentar la confiabilidad en los procesos automatizados. Las prácticas empresariales son, con gran diferencia, una de las mejores experiencias que un estudiante de ingeniería puede tener, ya que puede aplicar los conocimientos afines a su carrera y su pasión por nuevos conocimientos, fortaleciendo los vínculos sociales y laborales. Con el paso del tiempo, se logró alcanzar los

objetivos propuestos. Se evidenció un progreso notable en la integración y conexión de diversos componentes eléctricos en un tablero de control, así como en la elaboración de planos eléctricos y su ejecución en los tableros de control correspondientes. Finalmente, se logró programar y poner en marcha un equipo enfardador que está listo para ser utilizado en la línea de producción para la que fue diseñado.

Referencias

- [1] ESSI. “Inicio.” Accedido: Mar. 30, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://essi.com.co/>.
- [2] J. Acuña, “Automatización Industrial: Definición y Conceptos.” 1990. Dialnet.com. Accedido: Mar. 30, 2023 [En línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5678813>.
- [3] E. Pérez-López, “Los Sistemas scada en la automatización industrial.” 2015. Dialnet.com. Accedido: Mar. 30, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5280242.pdf>
- [4] General Electric. “¿Qué es un PLC?.” GE.com. 2019. Accedido: Mar. 30, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.opertek.com/blog/que-es-un-plc>.
- [5] SD Industrial. “Tipos de sensores industriales.” SDI.com. 2023. Accedido: Mar. 30, 2023 [En línea]. Disponible en: <https://sdindustrial.com.mx/blog/tipos-de-sensores-industriales/>
- [6] Meinsa. “Tipos de actuadores industriales.” Meinsa.com. Oct. 13, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://meinsa.com/2022/10/tipos-actuadores-industriales/>
- [7] Person, “Principales diferencias entre servo drivers y servomotores.” Egasen.com. 2021. Accedido: Mar. 30, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.egasen.com/es/blog/noticias/principales-diferencias-entre-servo-drivers-y-servomotores>.
- [8] Autycom, “¿Qué es un sistema HMI?” Autycom.com. 2019. Accedido: Mar. 30, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.autycom.com/que-es-un-sistema-hmi/>.

- [9] ABB. “Qué es un variador de Frecuencia.” New.abb.com. Accedido: Mar. 30, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://new.abb.com/drives/es/que-es-un-variador>.
- [10] Revista Electroindustria. “¿Qué es un relé de Estado Sólido?.” 2020. EMB.com. Accedido: Mar. 30, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=3691&ni=que-es-un-rele-de-estado-solido>.