



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

FACSISTEL

CARRERA DE ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**COMPONENTE PRÁCTICO DEL EXAMEN COMPLEXIVO
DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO PARA
LAS ETAPAS DE TOSTADO, DESCASCARILLADO Y MOLIDO
DEL CACAO MEDIANTE UN PLC EN EL PROCESO DE
ELABORACIÓN DEL CHOCOLATE.**

AUTOR

CRISTHIAN FERNANDO VASCONEZ JIMENEZ

Dirigido por

Ing. Carlos Saldaña Enderica, MSc.

La Libertad – 202

DEDICATORIA

Este trabajo es un logro compartido y va dedicado con todo mi agradecimiento a dos personas clave en mi vida académica: mi madre y mi abuelo. Su apoyo constante y sus consejos han sido las fuerzas impulsoras detrás de este éxito. A mi familia en general, quiero expresar mi profunda gratitud por ser mi red de apoyo, mi inspiración y mi motivación.

AGRADECIMIENTO

Quiero comenzar expresando mi profundo agradecimiento a mi madre, Mónica Jiménez, por ser mi principal fuente de apoyo durante todo el proceso de este proyecto de titulación. A pesar de la distancia, su constante atención y aliento han sido mi mayor motivación.

A mi abuelo, Dugal Jiménez, le dedico otro sincero agradecimiento. Él ha sido el pilar fundamental de mi familia y una fuente constante de orientación a lo largo de este viaje académico. Sus sabios consejos han sido guías valiosas, y su paciencia y dedicación para enseñarme a llevar mis estudios con responsabilidad han sido invaluable. Siempre ha estado ahí para apoyarme, motivarme y celebrar mis logros.

A mis amigos, cuya amistad ha hecho que estos años de estudio sean inolvidables, les agradezco por su compañía y aliento. Con su humor, comprensión y ánimo constante, han contribuido de manera invaluable a este viaje académico.

FIRMAS DE RESPONSABILIDAD

Firma de responsabilidad del estudiante.

Nombre: Cristhian Fernando Vasconez Jiménez

Cédula: 0202494704



Firma

Firma de Responsabilidad del Profesor o Tutor Propuesto.

Nombre: Ing. Carlos Alberto Saldaña Enderica, MSc.

Cédula: 0914840947



Firmado electrónicamente por:
CARLOS ALBERTO
SALDANA ENDERICA

Firma

Firma de Responsabilidad del Docente de Unidad de Integración Curricular II

Nombre: Ing. Luis Enrique Chuquimarca Jiménez, MSc.

Cédula: 1104610132



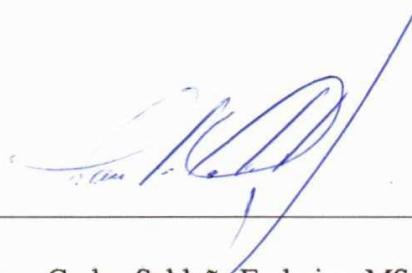
Firmado electrónicamente por:
LUIS ENRIQUE
CHUQUIMARCA JIMENEZ

Firma

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del trabajo examen complejo denominado: " DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO PARA LAS ETAPAS DE TOSTADO, DESCASCARILLADO Y MOLIDO DEL CACAO MEDIANTE UN PLC EN EL PROCESO DE ELABORACIÓN DEL CHOCOLATE", elaborada por el estudiante Cristhian Fernando Vasconez Jiménez, de la cartera de Electrónica y Automatización de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, la apruebo en todas sus partes y autorizo al estudiante que inicie los trámites legales correspondientes.

La libertad, 8 de diciembre del 2023

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'C. Saldaña', is written over a horizontal line. The signature is stylized and cursive.

Ing. Carlos Saldaña Enderica, MSc

RESUMEN

En este proyecto, se diseñó un sistema automatizado destinado a las fases de tostado, descascarillado y molido en el proceso de elaboración del chocolate. En relación con esto se realiza un análisis sobre los equipos y maquinarias que se usan en estas etapas, se habla a cerca de algunos de ellos. Además, se realiza un diagrama topológico de como serian sus conexiones en PLC.

También con la ayuda de un PLC virtual se hace la simulación del proceso automático y manual de cada etapa, donde se logró un control preciso de variables críticas, tales como la temperatura durante el tostado, la velocidad de los motores de las bandas, así como también de los motores de las máquinas de descascarillado y molino. Además, junto a una Interfaz Hombre-Máquina (HMI) se logra la visualización clara de los dispositivos usados para estas etapas y controles intuitivos, facilitando la supervisión y gestión eficiente del sistema.

Palabras claves: Automatización, PLC, Control, HMI.

ABSTRAC

In this project, an automated system was designed for the roasting, shelling and grinding phases in the chocolate making process. In relation to this, an analysis is carried out on the equipment and machinery used in these stages, and some of them are discussed. In addition, a topological diagram is made of what its connections would be like in PLC.

Also, with the help of a virtual PLC, the simulation of the automatic and manual process of each stage is carried out, where precise control of critical variables was achieved, such as the temperature during roasting, the speed of the belt motors, as well as also of the motors of the hulling and milling machines. Furthermore, together with a Human-Machine Interface (HMI), a clear visualization of the devices used for these stages and intuitive controls is achieved, facilitating efficient supervision and management of the system.

Keywords: Automation, PLC, Control, HMI.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS.....	2
Objetivo general	2
Objetivos específicos.....	2
CAPÍTULO 1: FUNDAMENTOS TEÓRICOS	3
1.1. Marco conceptual	3
1.1.1. Automatización industrial.....	3
1.1.2. Controlador lógico programable.....	3
1.1.3. Sistemas automáticos.....	4
1.1.4. Proceso de elaboración del chocolate.....	4
1.1.5. Maquinas usadas en las primas etapas de la fabricación del chocolate....	5
1.1.6. Sensores	7
1.1.7. Motores trifásicos	8
1.1.8. Lenguaje Ladder	9
1.1.9. Redes de comunicación industriales.....	9
1.1.10. Interfaz hombre maquina.....	10
1.1.11. Norma ISA 101	10
1.2. Antecedente	11
1.3. Importancia y beneficios de la propuesta en la aplicación práctica	12
CAPÍTULO 2: DESARROLLO EXPERIMENTAL	13
2.1. Plan de implementación.....	13
2.1.1. Metodología del proyecto.....	13
2.1.2. Resultados esperados.....	13
2.1.3. Estudio de factibilidad.....	14
2.2. Descripción de la solución propuesta	16
2.2.1. Componentes de la propuesta.....	17
2.2.2. Diseño de la propuesta.....	20
2.3. Pruebas y puesta en marcha de la solución.....	32
2.4. Resultados.....	48
2.5. Conclusiones.....	49
2.6. Recomendaciones	49
BIBLIOGRAFÍA.....	50
ANEXOS.....	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Uso de PLC para el control de nivel de un tanque [3].	3
Figura 2. Etapas de elaboración del chocolate.	4
Figura 3 Maquina tostadora de correa continua [7].	5
Figura 4. Descascarilladora de granos de cacao [8].	6
Figura 5. Molino de cacao [9].	7
Figura 6. PLC S7 -1200.	17
Figura 7. Panta Simatic KTP 900	18
Figura 8. Termocupla tipo K [23].	18
Figura 9. Sensor de proximidad capacitivo [24].	19
Figura 10. Sensor de peso [25].	20
Figura 11. Diagrama de conexión de los dispositivos al PLC.	21
Figura 12. Diagrama de flujo del proyecto.	23
Figura 13. Ingreso de alarmas al sistema.	27
Figura 14. Creación de variable para la activación de las alarmas.	28
Figura 15. Creación de alarmas para los actuadores.	28
Figura 16. Pantalla de ingreso.	29
Figura 17. Pantalla de la planta del proceso.	30
Figura 18. Pantalla de alarmas.	30
Figura 19. Pantalla para el ingreso de parámetros.	31
Figura 20. Pantalla de Históricos.	31
Figura 21. Carga del programa al PLC y conexión online.	32
Figura 22. Ingreso de usuario y contraseña.	42
Figura 23. Estado de operación manual.	43
Figura 24. Estado de operación automático.	44
Figura 25. Modo de operación remoto.	44
Figura 26. Ventana de ingreso de parámetro.	45
Figura 27. Verificación de parámetros ingresados.	45
Figura 28. Alarmas del sistema	46
Figura 29. Histórico de la temperatura y el peso.	46
Figura 30. Ingreso de credenciales en caso de que realizar alguna modificación en los estados de los actuadores.	47
Figura 31. Verificación de las alarmas e históricos con las credenciales del operador.	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características técnicas la maquina tostadora.....	6
Tabla 2. Características de la descarriladura de cacao.....	6
Tabla 3. Características técnicas del molino de cacao.....	7
Tabla 4. Protocolos de comunicación usados en la industria.	9
Tabla 5. Costos de equipos a implementar.	15
Tabla 6. Costos de los materiales a usar para la instalación.....	15
Tabla 7. Costo a cobrar por la implementación.....	16
Tabla 8. Características técnicas del PLC S7-1200.....	17
Tabla 9. Características técnicas de la pantalla SIMATIC KTP900.....	18
Tabla 10. Características técnicas de la Termocupla tipo K.....	19
Tabla 11. Características técnicas de sensor de proximidad capacitivo.	19
Tabla 12. Características técnicas de la célula de carga.....	20
Tabla 13. Prueba 1 modo de operación local.....	32
Tabla 14. Prueba 2 modo de operación remoto.....	33
Tabla 15. Prueba 3 modo de operación automático.....	34
Tabla 16. Prueba 4 puesta en marcha del sistema en modo automático.....	35
Tabla 17. Prueba 5 activación del sensor de peso.	35
Tabla 18. Prueba 6 sensor de peso capta el valor del peso establecido en la tolva..	36
Tabla 19. Prueba 7 activación de banda tres.....	37
Tabla 20. Prueba 8 activación de la maquina descascarilladora.....	38
Tabla 21. Prueba 9 activación de la máquina de molienda y desactivación de la banda dos.	38
Tabla 22. Prueba 10 apagar banda tres.	39
Tabla 23. Prueba 11 apagar maquina descascarilladora.	40
Tabla 24. Prueba 12 apagar banda cuatro.	40
Tabla 25. Prueba 13 apagar máquina de molienda.	41

INTRODUCCIÓN

La industria chocolatera ha experimentado un constante avance tecnológico en busca de la mejora continua en la calidad de sus productos. En este contexto, el diseño y la simulación de un sistema automático para las etapas de tostado, descascarillado y molido del cacao emergen como un área de investigación clave, donde la automatización puede desencadenar mejoras sustanciales en la consistencia, eficiencia y personalización del producto.

La aplicación de la tecnología de PLC en el procesamiento del cacao no solo representa un salto hacia la automatización integral, sino también una respuesta a la demanda creciente de estándares de calidad más rigurosos en la industria alimentaria. La versatilidad y capacidad de programación del PLC permiten una gestión eficaz de las variables críticas del proceso, asegurando la consistencia y reproducibilidad del producto. Este enfoque innovador no solo optimiza la producción, sino que también ofrece un mayor control sobre la calidad del chocolate, aspecto cada vez más importante en el mercado global.

La elección específica de abordar las etapas de tostado, descascarillado y molido destaca la importancia de estas fases iniciales en la calidad y sabor del chocolate. La capacidad de controlar con precisión estos procesos promete no solo eficiencia operativa, sino también la posibilidad de experimentar y personalizar perfiles de tostado y molido para crear productos de chocolate únicos y diferenciados en el mercado.

En este sentido, el uso de un controlador lógico programable se presenta como una solución eficiente y confiable para el control y monitoreo de estas etapas del proceso de elaboración del chocolate, permitiendo la programación de secuencias y lógicas de control, así como la comunicación con otros dispositivos, lo que facilita la integración de todo el sistema y garantiza un funcionamiento preciso y seguro.

OBJETIVOS

Objetivo general

Diseñar y simular un sistema automático para las etapas de tostado, descascarillado y molido del cacao mediante un PLC en el proceso de elaboración del chocolate.

Objetivos específicos

- Desarrollar el código de programación necesario en el PLC usando lenguaje ladder para las etapas de tostado, descascarillado y molido del cacao.
- Diseñar una interfaz visual para verificar el accionamiento y registro de los parámetros de los componentes que se usaran en las etapas de tostado, descascarillado y molido del cacao.

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1. Marco conceptual

1.1.1. Automatización industrial

La automatización industrial es un campo de la ingeniería que se centra en el diseño, implementación y control de sistemas y procesos en entornos industriales mediante el uso de tecnologías avanzadas. Su objetivo principal es mejorar la eficiencia, productividad y calidad de la producción industrial al reemplazar o mejorar las tareas humanas con la aplicación de sistemas automáticos y controladores programables. La automatización industrial abarca una amplia gama de tecnologías, como sensores, actuadores, controladores lógicos programables (PLC), sistemas de control distribuido (DCS) y sistemas de supervisión, adquisición y control (SCADA), con el fin de crear sistemas integrados que operen de manera autónoma [1].

1.1.2. Controlador lógico programable

Es un dispositivo electrónico utilizado en la automatización industrial para controlar y monitorear procesos en tiempo real (Figura 1). Está diseñado para recibir señales de entrada, procesarlas según un programa preestablecido y generar señales de salida para controlar diferentes dispositivos y actuadores en un sistema [2]. Puede realizar la ejecución de un programa de forma cíclica, además de detenerlo temporalmente para llevar a cabo otras actividades consideradas de mayor prioridad. Sin embargo, lo más crucial radica en asegurar la finalización integral del programa principal [3].

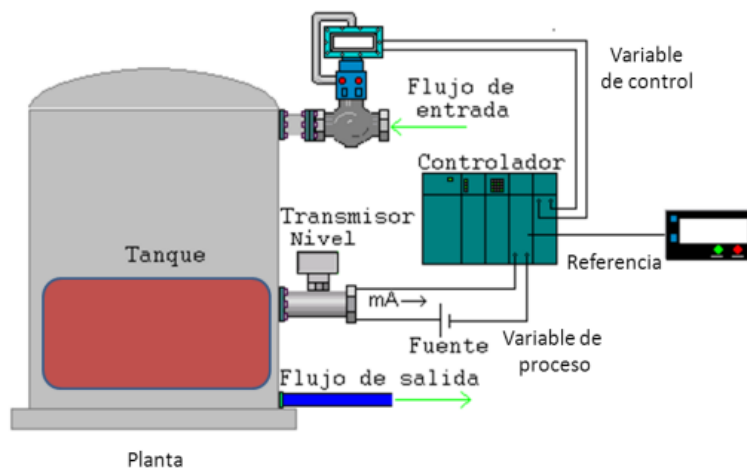


Figura 1. Uso de PLC para el control de nivel de un tanque [3].

1.1.3. Sistemas automáticos

Son aquellos que realizan tareas o proceso de manera automática, sin la intervención directa de una persona, además tienen la capacidad de ajustarse dinámicamente a diferentes condiciones y demandas del entorno, haciendo que estos sistemas sean esencialmente valiosos en la industria manufacturera y en procesos de producción [4]. En el ámbito industrial se utilizan dispositivos como los PLC y otras tecnologías para realizar acciones de manera autónoma, lo que mejora la eficiencia y la precisión en los procesos de fabricación.

1.1.4. Proceso de elaboración del chocolate

La elaboración del chocolate es un proceso riguroso que pasa por algunas etapas para así lograr conseguir un producto final de calidad para la comercialización, en la Figura 2 se muestra el ciclo de este proceso.

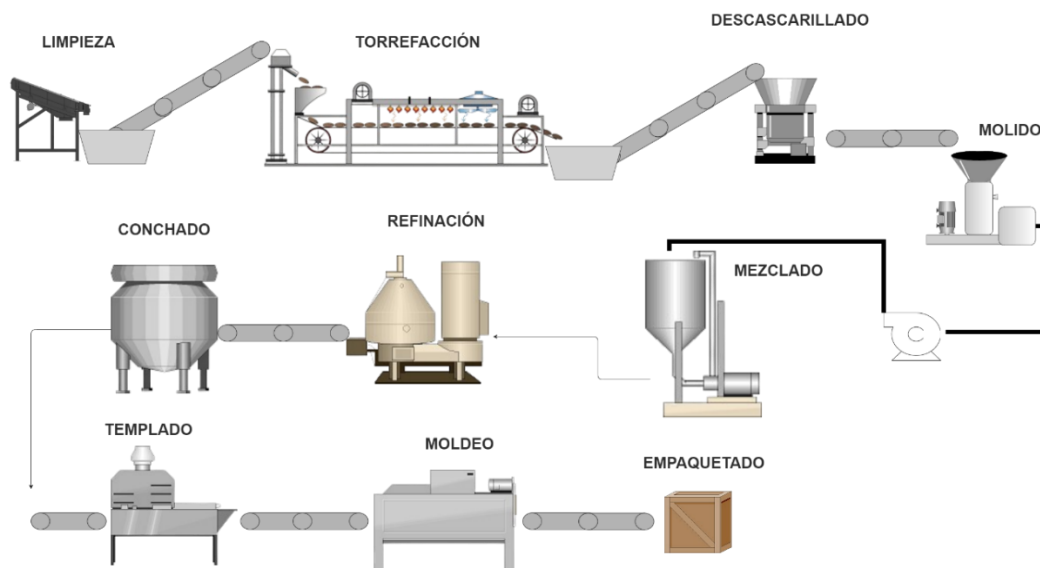


Figura 2. Etapas de elaboración del chocolate.

Cada una de estas etapas cumple una función importante, la cual se describe a continuación [5] [6]:

- **Limpieza:** Consiste en separar cualquier residuo como piedras, ramas u otros contaminantes que podrían haberse adherido durante la cosecha y el transporte.
- **Torrefacción:** Ayuda a desarrollar su sabor y aroma, al someterse a temperaturas de entre 130 y 140 °C.
- **Descascarillado:** Separa la cascara de los nibs de cacao.

- **Molido:** Convierte las habas de cacao en una pasta o licor de cacao.
- **Mezclado:** Mezcla la pasta de cacao junto con leche líquida y azúcar para tener una pasta granulosa.
- **Refinación:** Permite obtener un polvo fino al pasar la pasta granulosa por una máquina con rodillos.
- **Conchado:** Elimina los sabores no deseados, intensifica el sabor y mantiene la consistencia de la masa de chocolate mediante la aplicación de un equilibrio preciso de temperatura, agitación y aireación.
- **Templado:** El chocolate líquido se enfría y se agita para estabilizar la cristalización de la manteca de cacao.
- **Moldeado:** El chocolate templado se vierte en moldes para darle forma a barras, tabletas u otras formas específicas.
- **Empaquetado:** Una vez que el chocolate se ha enfriado y solidificado, se empaqueta para su distribución y venta.

1.1.5. Maquinas usadas en las primas etapas de la fabricación del chocolate

Las primeras etapas son las más cruciales para que el chocolate logre un obtener un sabor y apariencia óptimos. Para ello se usan máquinas que desempeñan un papel esencial en estos procesos.

1.1.5.1. Maquina tostadora de correa continua

Su diseño eficiente permite un control preciso de la temperatura y del tiempo de tostado, aspectos cruciales para desarrollar perfiles de sabor específicos (Figura 3). La correa continua asegura una distribución homogénea del calor, logrando tostados consistentes y de alta calidad [7]. Algunas características de esta máquina se muestran en la Tabla 1.



Figura 3 Maquina tostadora de correa continua [7].

Tabla 1. Características técnicas la máquina tostadora.

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Tipo de maquina	Tostadora de correa continua
Industria de aplicación	Alimentaria
Modelo	LG-LHE8500A
Capacidad	100-700 kg/h
Potencia de tubo de calentamiento	115 kW
Distribución de calor	Homogénea

1.1.5.2. Descascarilladora

Como se muestra en la Figura 4, es una maquina diseñada para la separación eficiente de las cascara de los granos de cacao, estos los procesa de manera continúa manteniendo la integridad de los nibs. La tecnología empleada permite un ajuste preciso de la intensidad del descascarillado, adaptándose a diversas variedades de cacao y condiciones específicas de procesamiento [8]. En la Tabla 2 se muestran algunas características de esta máquina.



Figura 4. Descascarilladora de granos de cacao [8].

Tabla 2. Características de la descarriladura de cacao.

CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN
Modelo	Windcraker 50
Capacidad	50-100 kg/h
Potencia	3 kW
Dimensiones	1570x670x1530 mm

1.1.5.3. Molino de cacao

Como se muestra en la Figura 5, esta máquina cuenta con dos discos que transforman los nibs de cacao en una pasta que usada en posteriores etapas para la producción del chocolate. Su diseño técnico incorpora características como ajustes de velocidad y

capacidad de procesamiento, permitiendo una adaptación óptima a diferentes variedades de cacao [9]. Algunas características como la capacidad de producción, la potencia y el voltaje se muestra en la Tabla 3.



Figura 5. Molino de cacao [9].

Tabla 3. Características técnicas del molino de cacao.

CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN
Modelo	Minirex
Capacidad	50 kg/h
Potencia	1.5 kW
Alimentación	220-380 V

1.1.6. Sensores

Los sensores son elementos que pueden transformar un fenómeno físico en una señal eléctrica, su importancia en la industria radica en la información que proporciona para poder controlar de manera automática un proceso [10]. En el proceso de elaboración del chocolate estos elementos desempeñan un papel crucial al permitir el control preciso de la temperatura, el flujo, el nivel y la calidad de los ingredientes, garantizando así la seguridad alimentaria y la consistencia del producto final.

1.1.6.1. Sensores de temperatura

Los sensores de temperatura son dispositivos utilizados para medir la temperatura de un objeto o ambiente, se los encuentran de diferentes tipos como termopares, termistores y resistivos. Estos pueden ser utilizados en diversas aplicaciones, como control de temperatura en sistemas de calefacción y refrigeración, monitoreo de procesos industriales, control de temperatura en dispositivos electrónicos, entre otros [11].

1.1.6.2. Sensores de peso

Los sensores de peso, también conocidos como células de carga o transductores de fuerza, son dispositivos diseñados para medir la fuerza ejercida sobre ellos cuando se aplica una carga. Estos sensores son ampliamente utilizados en diversas aplicaciones, desde balanzas y básculas industriales hasta equipos médicos y sistemas de control de procesos [12].

1.1.6.3. Sensores de proximidad

Son dispositivos electrónicos diseñados para detectar la presencia o la cercanía de objetos sin necesidad de contacto físico directo. Estos pueden clasificarse como inductivos, capacitivos ópticos y ultrasónicos [13].

1.1.6.4. Sensor de flujo

Están diseñados para medir la cantidad de flujo de un fluido, ya sea líquido o gas a través de una tubería. Estos se basan en diferentes principios de medición como el electromagnético, el ultrasónico, el térmico y el de presión diferencial, son fundamentales en aplicaciones industriales ya que permiten tomar decisiones para optimizar la eficiencia y mantener la integridad de los procesos [14].

1.1.7. Motores trifásicos

Los motores trifásicos son ampliamente utilizados en la industria debido a su eficiencia y rendimiento. Estos aprovechan la alimentación eléctrica de tres fases que se conectan en sus bornes para generar un campo magnético giratorio en el estator, lo que resulta en un movimiento suave y eficiente del rotor [15].

Debido a su diseño y funcionamiento, los motores trifásicos ofrecen una mayor potencia y un mayor par de giro en comparación con los motores monofásicos. Además, su capacidad para generar un campo magnético giratorio permite un arranque suave y un funcionamiento estable, lo que los hace ideales para una amplia gama de aplicaciones industriales, como maquinaria, bombas, compresores, ventiladores y sistemas de transporte [15]. Su eficiencia energética también los convierte en una opción atractiva para reducir los costos de operación y minimizar el impacto ambiental.

1.1.8. Lenguaje Ladder

El lenguaje ladder, también conocido como Ladder Diagram o Diagrama de Escalera, es un lenguaje de programación gráfico ampliamente utilizado en la industria de la automatización. Este lenguaje es uno de los que se usan comúnmente en los controladores PLC y se basa en la representación visual de contactos y bobinas, utilizando símbolos y líneas para crear programas de control lógico [16].

1.1.9. Redes de comunicación industriales

Las redes industriales desempeñan un papel esencial como canales de comunicación, permitiendo la interacción eficaz entre computadoras y controladores para facilitar la implementación de sistemas de automatización con un enfoque distribuido. Estas redes posibilitan la transmisión ágil y segura de datos críticos entre diversos componentes, como sensores, actuadores y controladores, favoreciendo así la coordinación eficiente y el control óptimo de los procesos industriales [17].

La elección y la implementación de protocolos de comunicación adecuados también son factores fundamentales, ya que influyen en la interoperabilidad y la velocidad de transferencia de datos dentro de estas redes, garantizando un flujo de información coherente y confiable en el entorno industrial. En la Tabla 4 se muestran algunos de los protocolos que se usan para la comunicación, así como también su medio de comunicación.

Tabla 4. Protocolos de comunicación usados en la industria.

PROTOCOLO	DESCRIPCIÓN	MEDIOS DE COMUNICACIÓN
Ethernet Industrial	Protocolo de comunicación estándar para redes locales, ofrece alta velocidad y confiabilidad.	Cableado estructurado, fibra óptica
Profinet	Basado en Ethernet, se utiliza principalmente en sistemas de control y automatización.	Cable Ethernet, fibra óptica
Modbus	Protocolo de comunicación serie ampliamente utilizado para la conexión de dispositivos.	RS-232, RS-485
DeviceNet	Red de comunicación abierta utilizada para la conexión de dispositivos industriales.	Cable coaxial, conectores DeviceNet

Profibus	Protocolo utilizado en sistemas de automatización y control de procesos industriales.	Cableado de par trenzado, fibra óptica
Modbus TCP	Extensión del protocolo Modbus sobre TCP/IP, utilizado en redes Ethernet.	Cable Ethernet, fibra óptica
EtherCat	Protocolo de comunicación en tiempo real basado en Ethernet.	Cable Ethernet, conectores EtherCAT

1.1.10. Interfaz hombre maquina

Los HMI son elementos cruciales en la interacción entre humanos y sistemas tecnológicos, facilitando la comunicación efectiva y el control de dispositivos y procesos. Estas interfaces actúan como puntos de conexión entre el usuario y la maquinaria, permitiendo el monitoreo y la manipulación de sistemas complejos. Las HMI abarcan una variedad de formas, desde pantallas táctiles y paneles de control hasta software interactivo, y se utilizan en una amplia gama de sectores, desde la automatización industrial hasta la electrónica de consumo[18].

Al proporcionar a los operadores información clara y detallada sobre el estado de los procesos, las pantallas HMI ayudan a prevenir errores humanos y a minimizar el tiempo de inactividad. Además, la retroalimentación instantánea a través de estas interfaces permite una respuesta rápida ante posibles problemas, mejorando la capacidad de los operadores para gestionar situaciones de emergencia de manera efectiva [18].

1.1.11. Norma ISA 101

La norma aborda principios de diseño para la creación de interfaces hombre-maquina, tales como la organización lógica de la información, la presentación de datos clave, la respuesta a eventos anómalos y la gestión de alarmas, con el propósito de crear entornos visuales que permitan a los operadores tomar decisiones informadas de manera rápida y precisa. Al seguir estos puntos, se espera mejorar la eficacia de la supervisión y el control de procesos industriales, reduciendo los errores humanos y optimizando la respuesta ante situaciones críticas [19].

1.2. Antecedente

El chocolate tiene sus raíces en la antigua bebida azteca "tchocolatl" elaborada a partir de semillas de cacao trituradas. Con la llegada de los conquistadores, esta bebida fue llevada a Europa, donde inicialmente era exclusiva para la élite española, hasta que se popularizó en todos los estratos sociales y cambió de pronunciación a "chocolate" [20].

A lo largo de los siglos, el chocolate experimentó cambios históricos, desde su prohibición en la iglesia hasta su producción mecánica en el siglo XVIII. Eventos significativos incluyen la invención del chocolate con leche en 1875 y la comercialización de barras asequibles en 1894 [20].

El proceso de elaboración del chocolate ha experimentado una evolución significativa a lo largo de la historia, desde métodos tradicionales hasta tecnologías más avanzadas. En este contexto, el tostado, descascarillado y molido del cacao representan etapas cruciales que influyen directamente en la calidad final del producto.

Inicialmente, las operaciones de tostado, descascarillado y molido del cacao dependían en gran medida de la destreza manual y la experiencia del operador. A medida que la demanda de productos de chocolate aumentó, surgió la necesidad de sistemas más eficientes y consistentes. En este sentido, las primeras soluciones mecánicas automáticas comenzaron a emerger, buscando mejorar la productividad y la uniformidad en el procesamiento del cacao [21].

Con el advenimiento de la era digital, la aplicación de la tecnología PLC revolucionó la automatización industrial. Los PLC ofrecen flexibilidad, programabilidad y monitoreo en tiempo real, lo que ha permitido una mayor precisión en los procesos [22]. En el ámbito específico del procesamiento del cacao, la integración de PLC ha llevado a mejoras sustanciales en la calidad del producto final al garantizar un control más preciso de las variables clave, como temperatura y tiempo de tostado.

La búsqueda constante de eficiencia y calidad ha impulsado la investigación en el diseño y simulación de sistemas automáticos para las etapas de tostado, descascarillado y molido del cacao. Se han explorado diversas configuraciones de PLC, algoritmos de control y sistemas de monitoreo para optimizar cada fase del proceso. La simulación computacional se ha convertido en una herramienta valiosa para prever y analizar el comportamiento del sistema, permitiendo ajustes y mejoras antes de su implementación práctica.

1.3. Importancia y beneficios de la propuesta en la aplicación práctica

La automatización de estas etapas críticas permite una gestión más precisa de los factores de producción, reduciendo los tiempos de procesamiento y minimizando las variaciones asociadas a la intervención manual. Esta mejora en la eficiencia no solo acelera la producción, sino que también contribuye a una utilización más eficaz de los recursos, lo que se traduce en una reducción de costos operativos a largo plazo.

Además, la propuesta proporciona una mejora sustancial en la calidad del producto final. La capacidad de un PLC para controlar con precisión parámetros cruciales, como la temperatura de tostado y el tiempo de molido, garantiza una consistencia sin precedentes en el sabor, textura y aroma del chocolate. Esta uniformidad en la calidad del producto no solo satisface las expectativas del consumidor, sino que también fortalece la reputación de la marca en el mercado.

La flexibilidad y adaptabilidad que ofrece un sistema automático son también factores esenciales. La capacidad para ajustarse dinámicamente a diferentes tipos y calidades de granos de cacao permite a la planta de producción responder ágilmente a las variaciones en la materia prima, asegurando así una producción continua y consistente, independientemente de las fluctuaciones en la oferta de cacao.

La implementación del sistema automático no solo cumple con los estándares de calidad, sino que también facilita el cumplimiento de normativas y regulaciones en la industria alimentaria. La trazabilidad y documentación precisa de los procesos automatizados son elementos fundamentales para garantizar la conformidad con los requisitos legales y estándares de seguridad alimentaria.

CAPÍTULO 2: DESARROLLO EXPERIMENTAL

2.1. Plan de implementación.

Uno de los puntos importantes para el desarrollo del proyecto es el plan de implementación, donde se detalla la metodología a seguir para conseguir los resultados esperados, además de un estudio de factibilidad que permita saber la viabilidad de realizar la automatización de las etapas tostado, descascarillado y molienda de los granos de cacao para la elaboración de chocolate.

2.1.1. Metodología del proyecto

La metodología del proyecto practico emplea investigaciones de fuentes bibliográficas especializadas en automatización industrial, sistemas de control PLC y procesos específicos de tostado, descascarillado y molido en la industrial del chocolate, todo proveniente de tesis, revistas científicas y repositorios que permitan obtener la información necesaria para realizar la automatización de estas primeras etapas del proceso de chocolate.

Mediante el análisis de la información se verificará las tecnologías más apropiadas para la implementación del sistema automático. Evaluando diferentes controladores, sensores, actuadores y software de simulación. Basados en criterios como la compatibilidad, la eficiencia, la precisión en el control de variables críticas y adaptabilidad en los procesos especificados del proyecto.

El diseño y simulación es una fase que se empleara cuando se escojan las tecnologías que se usaran en el proyecto, para así desarrollar un sistema automático mediante el uso de un software de simulación que permita realizar pruebas virtuales, garantizando un resultado satisfactorio y preciso del proyecto.

2.1.2. Resultados esperados

La propuesta a desarrollar mediante el análisis de los procesos a automatizar y las tecnologías a usar, busca obtener los siguientes resultados:

- Diseñar un programa que se logre subir a un PLC, garantizando un control sobre las etapas de tostado, descascarillado y molido de los granos de cacao para la fabricación de chocolate.

- La implementación de un HMI fácil de usar y que proporcione información en tiempo real sobre el estado de las etapas del proceso, además que permita realizar la activación y verificación de registros del sistema automático.
- La comunicación entre PLC y HMI, para establecer un intercambio de datos claros y en tiempo real que permitan la sincronización precisa de las operaciones automatizadas.

2.1.3. Estudio de factibilidad

2.1.3.1. Factibilidad técnica

La factibilidad técnica de este proyecto se basa en la evaluación de la viabilidad de implementar la tecnología necesaria para automatizar las primeras etapas del proceso del chocolate. Se implemento un HMI para poder controlar el proceso de manera automática en un entorno local y a su vez verificar el estado de sistema en las etapas de tostado, descascarillado y molido. Esto con el fin de disminuir el tiempo de producción, garantizando una mejor productividad y competitividad en el mercado.

La demanda global del chocolate ha buscado que países con grandes parcelas de cacao mejoren su sistema de transformación de este grano a un producto más manejable y rentable, pero sin el conocimiento de la tecnología necesaria no son competidores para este mercado. Sin embargo, la implementación del sistema automático propuesto para las etapas de tostado, descascarillado y molido del cacao mediante un PLC ofrece una oportunidad única para que estos puedan competir de manera efectiva en el mercado global del chocolate.

Para llevar a cabo la propuesta, se realizó un análisis detallado de los equipos, materiales, normas de diseño y protocolos de comunicación, asegurando de cumplir con los requisitos esenciales y relevantes para diseñar e implementar con éxito un sistema HMI en las etapas de tostado, descascarillado y molido de los granos de cacao. Esto para posibilitar el control de activación y la visualización de registros mediante el uso adecuado de herramientas tecnológicas.

Se opta por el controlador lógico programable PLC Siemens S7-1200, ya que sobresale como una tecnología destacada en la industria. Su elección se fundamenta en su versatilidad y capacidad para supervisar una amplia gama de dispositivos. Este PLC

presenta aplicaciones versátiles y se adapta a diferentes contextos, lo que facilita a los usuarios abordar eficazmente las tareas asignadas.

2.1.3.2. Factibilidad Económica

Llevar a cabo un análisis exhaustivo de la viabilidad financiera es esencial para determinar con precisión la inversión necesaria en la implementación y ejecución de un sistema HMI para el proceso de tostado, descascarillado y molido de granos de cacao. Este estudio abarca tanto los recursos tangibles como los intangibles, y a continuación, se presentan detalladamente los costos asociados a equipos, materiales y mano de obra involucrados en la realización de este proyecto.

Costos de los equipos

En la Tabla 5 se visualizan los costos de los equipos que se usaran para la implementación.

Tabla 5. Costos de equipos a implementar.

Cantidad	Descripción	P. Unitario	P. Total
1	CPU 1212C AC/DC/ RELAY	\$ 473.00	946.00
1	SIMATIC HMI, KTP900	\$1.494,60	\$1.494,60
1	Sensor de peso	\$833.00	\$833.00
4	Sensores de presencia	\$235.00	\$235.00
1	Licencias Siemens TCP/IP Ethernet	\$ 1.2000,00	\$1.2000,00
1	Computador	\$1500,00	600,00
1	Termocupla tipo K	\$133.06	\$133.06
TOTAL, DE COSTO DE EQUIPOS			\$14.094,60

Costos de los materiales

Tabla 6. Costos de los materiales a usar para la instalación.

Cantidad	Descripción	P. Unitario	P. Total
1	Borneras	3,74	3,74
1	Gabinetes	\$150,00	\$150,00
1	Canaletas	\$5,30	\$5,30
1	Pulsador rojo	\$1,30	\$1,30

1	Pulsador verde	\$1,30	\$1,30
1	Luz piloto verde	\$1,25	\$1,25
1	Luz piloto rojo	\$1,25	\$1,25
1	Contactador NC	\$0,90	\$0,90
1	Contactador NA	\$0,90	\$0,90
TOTAL, DE COSTO DE EQUIPOS			\$165,94

Costos de la mano de obra

Tabla 7. Costo a cobrar por la implementación.

Cantidad	Descripción	P. Unitario	P. Total
1	Diseño y desarrollo de software del sistema	\$5.000,00	\$5.000,00
1	Implementación	\$4.000,00	\$4.000,00
1	Gastos varios	\$500,00	\$500,00
TOTAL, DE COSTO DE EQUIPOS			\$9.500,00

2.2. Descripción de la solución propuesta

El desarrollo de la propuesta se enfoca en la creación y simulación de una interfaz hombre-máquina (HMI) como parte integral para la simulación de las etapas del proyecto. Siguiendo la elección del controlador PLC Siemens S7-1200 y la configuración de redes de comunicación industriales, se desarrolla el diseño de la interfaz que permite la supervisión y control eficiente de las etapas cruciales del proceso de elaboración del chocolate. A través de la selección y configuración de la pantalla HMI, además de la creación de bloques de programa asociados con la lógica Ladder se busca proporcionar una interfaz intuitiva y funcional, respaldada por un usuario y contraseña para establecer niveles de seguridad al intentar realizar cambios en parámetros o estados de los actuadores.

La programación realizada en cada bloque permite que la activación de cada elemento se haga correctamente y que esto no intervengan cuando se realice el cambio de modo de operación permitiendo que no haya un problema al llamar variables en otro proceso.

2.2.1. Componentes de la propuesta

2.2.1.1. Controlador PLC S7-1200

Tal como se muestra en la Figura 6, el PLC S7-1200 es el controlador comúnmente más usado en la industria por su fácil adquisición y uso, además su diseño y características lo hace esencial para la simulación del proyecto permitiendo que en se logre subir el programa para la automatización de las etapas de tostado, descascarillado y molido en la fabricación de chocolate. Algunas características técnicas de este dispositivo se muestran en la Tabla 8.

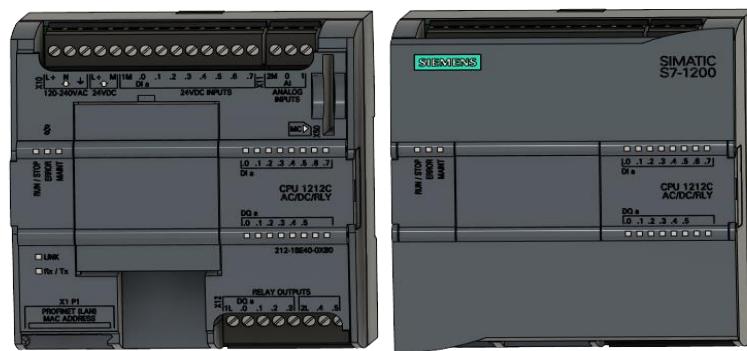


Figura 6. PLC S7 -1200.

Tabla 8. Características técnicas del PLC S7-1200.

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Serie del PLC	S7-1200
Tipo de CPU	CPU 1212C AC/DC/Rly
Tensión de alimentación	110/220 AC y 24 VDC
Memoria de programa	75 KB
Digitales E/S	Entradas 8 y salidas 6
Analógicos E/S	Entradas 2 y salidas 2
Compatibilidad con redes	Profibus DP (mediante CM DP), Modbus RTU, Profinet (mediante CM PN), OPC UA

2.2.1.2. Simatic KTP900

Es una pantalla HMI de la marca siemens (Figura 7), la cual por su tamaño y características es útil para realizar la interfaz gráfica de las tres etapas del proceso, además de que actúa como un puente tecnológico que proporciona a los operadores un acceso eficiente y visualización en tiempo real de las operaciones críticas del proceso. En la Tabla 9 se presentan algunas características técnicas de esta pantalla.

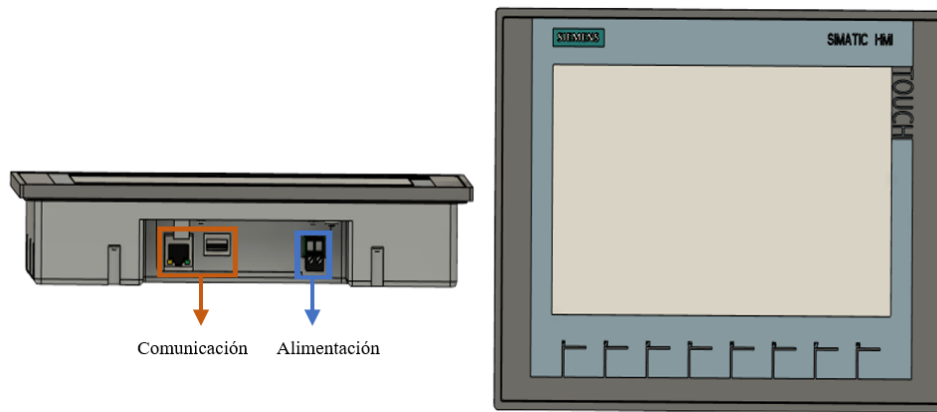


Figura 7. Pantalla Simatic KTP 900

Tabla 9. Características técnicas de la pantalla SIMATIC KTP900.

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Tamaño de la pantalla	9 pulgadas
Tipo de Pantalla	TFT-LCD a color
Voltaje de Alimentación	24V DC
Resolución de Pantalla	800 x 480 píxeles
Interfaz de Comunicación	Ethernet, PROFINET, RS232, RS485

2.2.1.3. Termocupla tipo K

Es un sensor de temperatura utilizado en variada de aplicaciones industriales (Figura 8), opera según el principio de efecto Seebeck, que se basa en la generación de una diferencia de voltaje cuando hay una diferencia de temperatura entre dos metales diferentes unidos en un extremo. Las características de este sensor (Tabla 10), permite saber la temperatura a la que se encuentra el horno cuando se está en la etapa de tostado mostrando ese dato en nuestra pantalla HMI.



Figura 8. Termocupla tipo K [23].

Tabla 10. Características técnicas de la Termocupla tipo K.

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Tipo de Termocupla	Tipo K
Rango de Temperatura	0°C a 450°C
Material de los Cables	Aleaciones níquel-cromo y níquel-aluminio
Tiempo de Respuesta	Rápido, típicamente en segundos
Resistencia Interna	Baja resistencia interna

2.2.1.4. Sensor de proximidad capacitivo

Son dispositivos que detectan la presencia o ausencia de un objeto basándose en cambios en la capacitancia eléctrica (Figura 9). El uso de este sensor es conveniente gracias a sus características (Tabla 11), como la de operar sin contacto y detectar objetos no metálicos. Además, que opera sin contacto directo con los objetos, es resistente a la suciedad y la humedad, lo que es beneficioso en entornos de procesamiento de alimentos como es la producción de chocolate.



Figura 9. Sensor de proximidad capacitivo [24].

Tabla 11. Características técnicas de sensor de proximidad capacitivo.

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Alimentación	10-30 V DC
Corriente de consumo	15 mA
Corriente máxima de cambio	400 Ma
Nivel de resguardo	IP65
Diámetro de cable	2 metros

2.2.1.5. Célula de carga

Para lograr medir la cantidad de granos que van hacia una tolva y posterior mente descargar, se deben usar sensores de peso. Con la utilización de una célula de carga (Figura 10), se puede configurar el peso en un controlador mientras esta manda señales eléctricas proporcional al peso, cuando llegue al valor deseado permitirá mandar una señal para abrir una compuerta y descargar lo que se encuentra en la tolva. Algunas de sus características se muestran en la Tabla 12.



Figura 10. Sensor de peso [25].

Tabla 12. Características técnicas de la célula de carga.

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
Alimentación	12-24 VDC
Tipo	Resistivo
Carga nominal	10-500 kg
Corriente nominal	40-20 mA
Nivel de resguardo	IP65

2.2.1.6. Totally Integrated Automation Portal (TIA Portal)

Es un software de automatización industrial desarrollado por Siemens. Esta plataforma integral permite la programación, configuración y visualización de sistemas de control y automatización. Con la versión de TIA Portal V16, se desarrollará el trabajo de automatización de las etapas del proyecto, haciendo uso de bloques y esquemas de contacto que permiten desarrollar una lógica clara y eficiente.

2.2.2. Diseño de la propuesta

En el diseño de la propuesta se detalla las conexiones realizadas para la comunicación entre el PLC y los dispositivos a usar, además de la lógica de programación usada para

simular el proceso de las etapas de tostado, descascarillado y molido en la producción de chocolate. Finalmente se explicará en detalla las pantallas realizadas para el HMI y las configuraciones que se realizaron en su desarrollo.

2.2.2.1. Diagrama de conexión

El diagrama de conexión proporciona una representación visual de cómo se interconectan estos componentes en el sistema de control. Además, en la programación del PLC, se desarrollarán los algoritmos y la lógica necesarios para coordinar y controlar la operación de los dispositivos conectados, basándose en la información proporcionada por los sensores.

Como se muestra en la Figura 11, se usan cuatro sensores de presencia que se conectan en las entradas digitales del PLC, a su vez están conectado en las entradas analógicas la termocupla para darnos el valor de temperatura que se encuentra en la etapa de tostado, en la segunda entrada analógica también se conecta la célula de carga que mide el peso de los granos de cacao que abra en una tolva. La comunicación aplicada para este trabajo es profinet la cual usa un medio de transmisión ethernet que se conecta a un switch, para poder interconectar a una red local otros dispositivos y facilitar la comunicación entre ellos como es el caso del HMI que se conecta a la misma red en la que se encuentra el PLC.

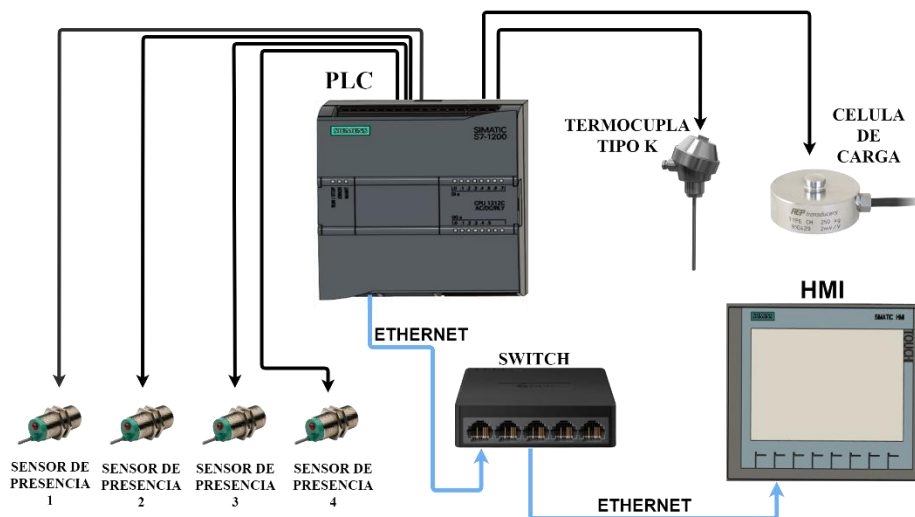


Figura 11. Diagrama de conexión de los dispositivos al PLC.

2.2.2.2. Lógica de programación del proceso automatizado para las etapas de tostado, descascarillado y molido de los granos de cacao

Como se muestra en la Figura 12, la secuencia de trabajo que sigue este proceso es que cuando se ponga en marcha se comenzara a llenar una tolva, en esta estará ubicada el sensor de peso que manda continuamente el valor del peso que abra mientras que el PLC estará recibiendo esta dato para que una vez llegue al valor establecido dejara de llenar y abra una compuerta para descargar los granos de cacao para llevarlos a la etapa de tostado, aquí el horno se enciende una vez se descarga, el tiempo que demora en realizar el tostado es de 20 minutos por lo que mientras no pase este tiempo no se pasara a la siguiente etapa.

Cuando termine de tostar los granos de cacao se encenderá la maquina descascarilladora, donde se separa la cascara de los granos de cacao, el tiempo de que demora en realizar este trabajo la maquina depende de la velocidad del motor. Finalmente, cuando esta etapa convierte los granos en nibs de cacao se enciende la máquina de molienda donde ingresan para convertirlos una pasta que se la conoce como licor de cacao con la que se trabaja para realizar el chocolate. El tiempo de molienda al igual que el del anterior proceso depende de la velocidad del motor. Cabe recalcar que para cada activación se encuentra un sensor de presencia al final de cada etapa, lo que permite que el proceso funcione de manera automática.

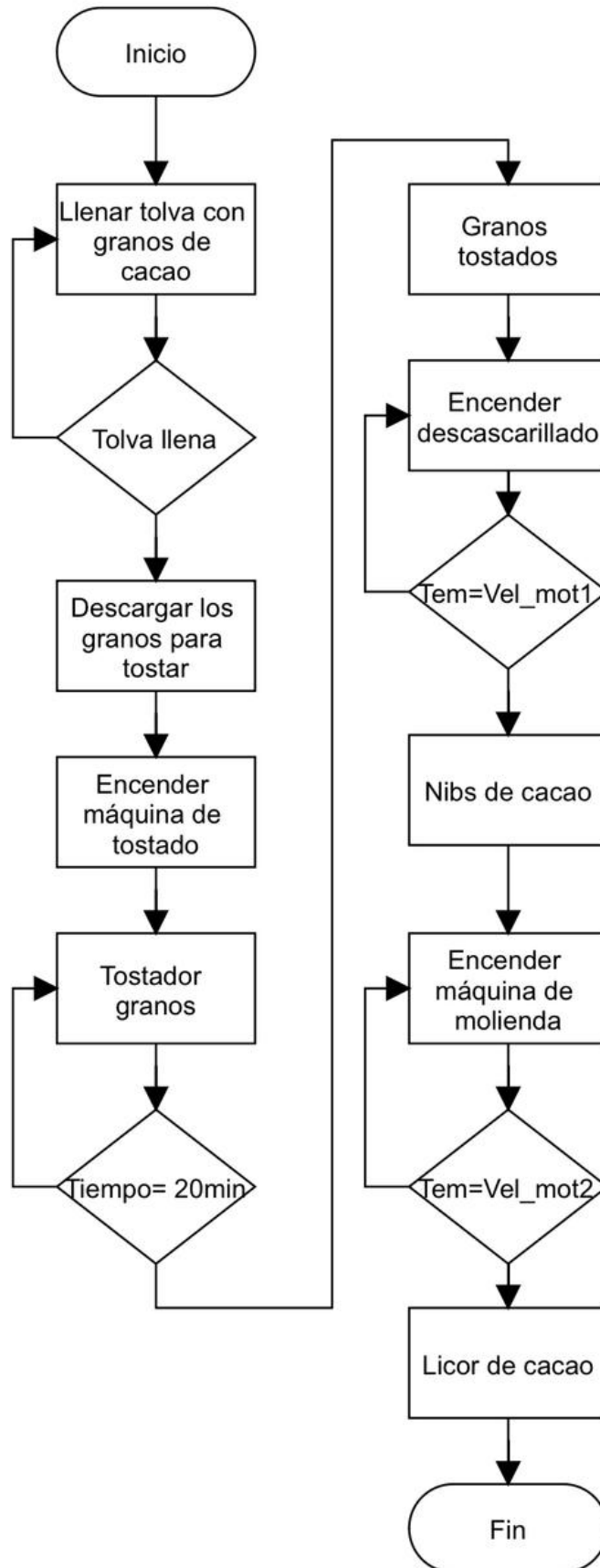


Figura 12. Diagrama de flujo del proyecto

2.2.2.3. Segmentos de programación del bloque principal del PLC

Segmento 1: Modo de operación local-remoto

En esta parte del programa se selecciona el estado local- remoto del sistema, su programación consiste en un enclavamiento cuando se presione el STAR LOC, haciendo posible que así la bobina que está en la misma línea se energice, además junto al enclavamiento se encuentra un contacto normalmente cerrado del otro modo de operación para que al seleccionarlo este desactive el enclavamiento del otro (Anexo1).

Segmento 2: Modo de operación manual-automático

El modo de manual-automático, consisten en dos bobinas en set y reset, que hacen que el estado de la memoria A_ON o M_ON sufra un cambio en su bit de 0 o 1, siempre y cuando se active alguno de sus contactos. Además, esto permite que los bloques de programa creados se activen dependiendo del modo de trabajo que escojamos y así lleven a cabo la ejecución del programa que contienen (Anexo 1).

Segmento 3: Activación de bloque del proceso en modo automático

En este segmento se encuentra un contacto normalmente abierto de la memoria A_ON, cuando se escoge el modo automático en el segmento dos, este energiza esta bobina para que el contacto se active dando paso a que la programación del bloque que está enfrente ejecute su programación (Anexo 1).

Segmento 4: Bloque de parámetros de motores

En este segmento se encuentra el bloque que contiene la programación creada para el ingreso de parámetros de los motores (Anexo 1).

Segmento 5: Activación de bloque del proceso en modo manual

Al igual que el segmento tres en este hay un contacto normalmente abierto de la memoria M_ON, cuando se escoge el modo manual en el segmento dos, este energiza esta bobina para que el contacto se active dando paso a que la programación del bloque que está enfrente ejecute su programación (Anexo 1).

Segmento 7: Alarmas

Aquí se encuentra el bloque de las alarmas que se activan cuando algún actuador sufre un cambio en su estado ya sea encendido o apagado.

2.2.2.4. Segmentos de la programación realizada en el bloque del modo automático

Segmento 1: Arranque del modo automático

En este segmento se encuentra la programación para dar marcha al proceso en modo automático. Una vez se presiones START_AUT se energiza una memoria con la etiqueta ON, que hace que sistema se energice por completo para el funcionamiento de las etapas que se encuentran en los demás segmentos (Anexo 2).

Segmento 2: Activación de los actuadores del sistema

Estos actuadores se activan cuando los sensores mandan una señal o se cumple una condición permitiendo así energizar lo que son estas salidas. La programación se hizo pensando que al final de cada etapa se encuentra un sensor que permite continuar con la activación del siguiente proceso (Anexo 2).

Segmento 3: Activación de los sensores de presencia

Para la simulación de este segmento se usó el bloque TON, que permite simular el tiempo que se tardarían las bandas en llegar hasta los sensores, permitiendo así que cada vez que algún sensor se active mande activar y desactivar un motor (Anexo 2).

Segmento 4: Tren de pulso para simular el sensor de peso

Como estamos trabajando bajo simulación para el dato del sensor de peso, se desarrolló un tren de pulso que genera cada 0.1 segundo una señal que junto a la programación del segmento 5 hacen posible simular el valor que el sensor detectaría dentro de la tolva (Anexo 2).

Segmento 5: Sensor de peso

Se usa un contador ascendente-descendente para el sensor de peso, aquí se configuro una entrada de 80 que no es más que la cantidad en kilogramos. Cuando se llega al valor establecido este apaga el motor de la banda uno y abre una compuerta permitiendo que los granos de cacao caigan hacia la banda dos para que vayan al proceso de tostado (Anexo 2).

Segmento 6: Tren de pulso para simular el sensor de temperatura

La programación realizada aquí es igual al segmento cuatro con la diferencia que se usó otra memoria para activar al segmento 7 (Anexo 2).

Segmento 7: Sensor de temperatura

También se usó un contador como en el segmento cinco, se configuro su entrada con un valor de 300, que representa el valor máximo de temperatura que alcanza la maquina tostadora, además se agregaron comparadores para realizar la desactivación y activación de la resistencia eléctrica, para así mantener la temperatura del horno y no sobrepasar el valor ingresado (Anexo 2).

Segmento 8: Paro del sistema

En este apartado se para el sistema cuando se presiona STOP_AUT, haciendo que todo el proceso se detenga (Anexo 2).

2.2.2.5. Segmentos de la programación realizada en el bloque del modo manual

Segmento 1: Activación de los actuadores

Para el modo manual las activaciones se realizan independientemente, así que cada uno de los actuadores cuenta con un contacto normalmente abierto que permite energizar una bobina que está en set (Anexo 3).

Segmento 2: Desactivación de los actuadores

Contrario a lo del segmento uno aquí se encuentra un contacto normalmente abierto que energiza la bobina del actuador que se encuentra en estado reset para así cambiar su estado de 1 a 0 (Anexo 3).

Segmento 3: Activación de los sensores

Al igual que el modo automático se usó bloques TON para simular el recorrido de las bandas hacia los sensores, lo cual indican que los granos de cacao llegaron al final de algunas de las etapas (Anexo 3).

Segmento 4,6: Tren de pulso para el modo manual

Al igual que en los segmentos mencionados anteriormente aquí se creó la programación para un tren de pulso que genera señales continuamente cada 0.1 segundos para activar un contador ascendente-descendente que usa en los segmentos de los sensores de peso y temperatura (Anexo 3).

Segmento 5: Sensor de peso en el modo manual

Aquí para que el proceso la tolva comience a llenarse y el sensor de peso detecte ese dato se debe activar el motor uno el cual tiene un contacto normalmente abierto a lado la entrada del contador de formo ascendente. En cambio, para descargar se debe activar el MOT2 y MOT7 que son de la banda transportadora y el de la compuerta, se realizó una validación con un comparador para que el contador no decrezca después de llegar a cero (Anexo3).

Segmento 7: Sensor de temperatura en el modo manual

El sistema es similar al del modo automático, con la diferencia que en este caso si podemos apagar la resistencia eléctrica, haciendo que la temperatura del horno baje totalmente (Anexo 3).

2.2.2.6. Configuración de las alarmas

Las alarmas desempeñan un papel fundamental en nuestro sistema al proporcionar alertas cruciales sobre la activación de actuadores y ofrecer información detallada sobre los niveles de temperatura en el horno. Para gestionar estas alertas de manera efectiva, resulta esencial dirigirse a la sección de avisos en nuestro panel HMI (Figura 13). En esta sección, tenemos la capacidad de ingresar las alertas específicas que deseamos visualizar en la pantalla, asegurando así una supervisión eficaz y una respuesta oportuna ante eventos importantes.

ID	Nombre	Texto de aviso	Categoría	Variable de di..	Bit de ..	Dirección de ...	Variable de ac...
1	Aviso de bit_1	MOTOR DE BANDA 1 ENCENDIDO	Errors	Alarmas	8	%DB1.DBX0.0	<Ninguna var...
2	Aviso de bit_2	MOTOR DE BANDA 1 APAGADO	Errors	Alarmas	9	%DB1.DBX0.1	<Ninguna var...
3	Aviso de bit_3	MOTOR DE BANDA 2 ENCENDIDO	Errors	Alarmas	10	%DB1.DBX0.2	<Ninguna var...
4	Aviso de bit_4	MOTOR DE BANDA 2 APAGADO	Errors	Alarmas	11	%DB1.DBX0.3	<Ninguna var...
5	Aviso de bit_5	MOTOR DE BANDA 3 ENCENDIDO	Errors	Alarmas	12	%DB1.DBX0.4	<Ninguna var...
6	Aviso de bit_6	MOTOR DE BANDA 3 APAGADO	Errors	Alarmas	13	%DB1.DBX0.5	<Ninguna var...
7	Aviso de bit_7	MOTOR DE DESCASCARILLADORA ENC	Errors	Alarmas	14	%DB1.DBX0.6	<Ninguna var...
8	Aviso de bit_8	MOTOR DE DESCASCARILLADO APAGA	Errors	Alarmas	15	%DB1.DBX0.7	<Ninguna var...
9	Aviso de bit_9	MOTOR DE BANDA 5 ENCENDIDO	Errors	Alarmas	0	%DB1.DBX1.0	<Ninguna var...
10	Aviso de bit_10	MOTOR DE BANDA 5 APAGADO	Errors	Alarmas	1	%DB1.DBX1.1	<Ninguna var...
11	Aviso de bit_11	MOTOR DE MOLINO ENCENDIDO	Errors	Alarmas	2	%DB1.DBX1.2	<Ninguna var...
12	Aviso de bit_12	MOTOR DE MOLINO APAGADO	Errors	Alarmas	3	%DB1.DBX1.3	<Ninguna var...
13	Aviso de bit_13	MOTOR DE TOLVA ENCENDIDO	Errors	Alarmas	4	%DB1.DBX1.4	<Ninguna var...
14	Aviso de bit_14	MOTOR DE TOLVA APAGADO	Errors	Alarmas	5	%DB1.DBX1.5	<Ninguna var...

Figura 13. Ingreso de alarmas al sistema.

Aunque en este apartado se pueda ingresar las alarmas, esto no garantiza su visualización acorde al funcionamiento del sistema Para lograr esto, es crucial crear una variable en la columna de variables de disparo. Al hacer clic en dicho apartado, se abrirá una ventana

con las variables del HMI, pero como tenemos ninguna variable para las alarmas tenemos que seleccionar la opción agregar donde se abre otra ventana que nos permite crear una nueva variable. Como se muestra en la Figura 14, en esa ventana se debe agregar el nombre de nuestra variable a usar, establecer la conexión que tiene el HMI con el PLC y definir el modo de acceso para que se genere una dirección que se comunice con un bloque de datos que contiene la información de las alarmas en el PLC.

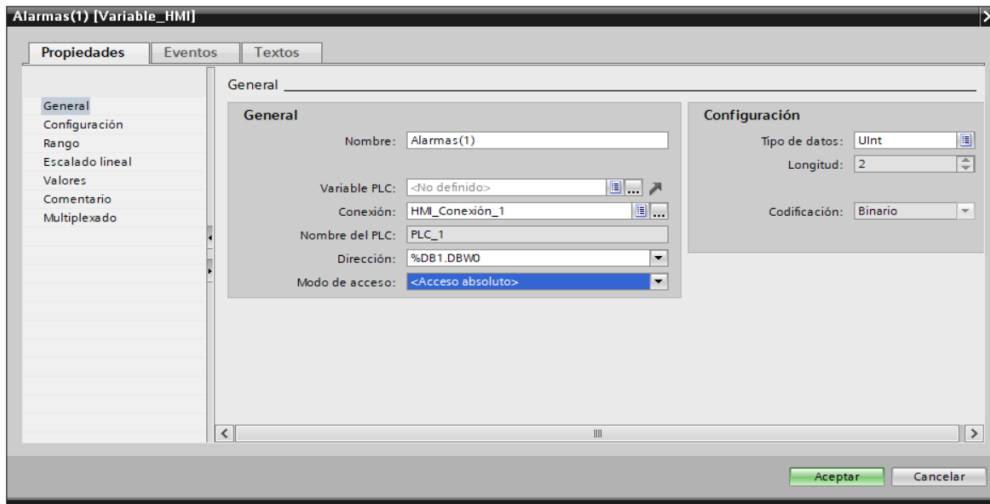


Figura 14. Creación de variable para la activación de las alarmas.

El bloque de datos creado se comunica con la configuración ya establecida en el HMI, dentro de este bloque se crearon variables con el estado de los actuadores ya sea encendido o apagado tal como se muestra en la Figura 15.

	Nombre	Tipo de datos	Offset	Valor de arranq...	Remanen...	Accesible d...	Escrib...	Visible en ..	Valor de a...	Co...
1	Static									
2	MOTOR1_ON	Bool	0.0	false		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
3	MOTOR1_OFF	Bool	0.1	false		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
4	MOTOR2_ON	Bool	0.2	false		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
5	MOTOR2_OFF	Bool	0.3	false		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
6	MOTOR3_ON	Bool	0.4	false		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
7	MOTOR3_OFF	Bool	0.5	false		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
8	MOTOR4_ON	Bool	0.6	false		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
9	MOTOR4_OFF	Bool	0.7	false		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
10	MOTOR5_ON	Bool	1.0	false		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
11	MOTOR5_OFF	Bool	1.1	false		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
12	MOTOR6_ON	Bool	1.2	false		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
13	MOTOR6_OFF	Bool	1.3	false		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
14	MOTOR7_ON	Bool	1.4	false		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
15	MOTOR7_OFF	Bool	1.5	false		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		

Figura 15. Creación de alarmas para los actuadores.

Estos estados se activan en la programación realizada en un bloque con el estado de los actuadores, aquí cada vez que se energice un actuador cierra su contacto para activar una alarma esta programación se la puede observar en el Anexo 4.

2.2.2.7. Pantallas de la interfaz grafica

Las pantallas del sistema son parte esencial de la interfaz ya que cada uno representa una sección para mostrar información del estado que lleva el proceso.

Dentro de las pantallas creadas para el HMI tenemos como principal la del ingreso (Figura 16), donde al presionar en icono de color azul, se pedirá ingresar las credenciales con las que operará el sistema ya sea operador o administrador.

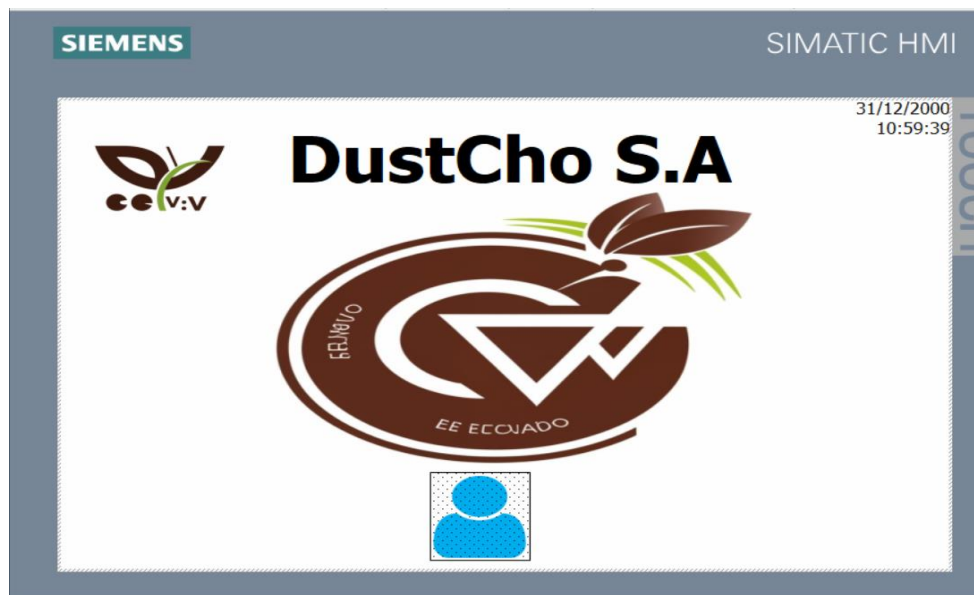


Figura 16. Pantalla de ingreso.

Otra de las pantallas creadas es la de planta completa del proceso, como se muestra en la Figura 17, aquí se encuentra los botones para cambiar el modo de local a remoto, cuando se acciona el modo local, se mostrará las opciones para poner el estado manual o automático, pero en caso de seleccionar el modo remoto entonces el administrador no podrá realizar ninguna acción de activación en esta pantalla

Cuando seleccionamos el modo manual aparecerán los interruptores para accionar los actuadores, pero en caso de trabajar en modo automático esos botones se ocultarán para aparecer los botones de START y STOP. Esta pantalla también cuenta con una tabla de avisos que irán mostrando el estado de activación de cada equipo. Además, cuenta con

dos indicadores, uno para verificar la temperatura del horno y el otro para ver la cantidad de granos de cacao en la tolva.

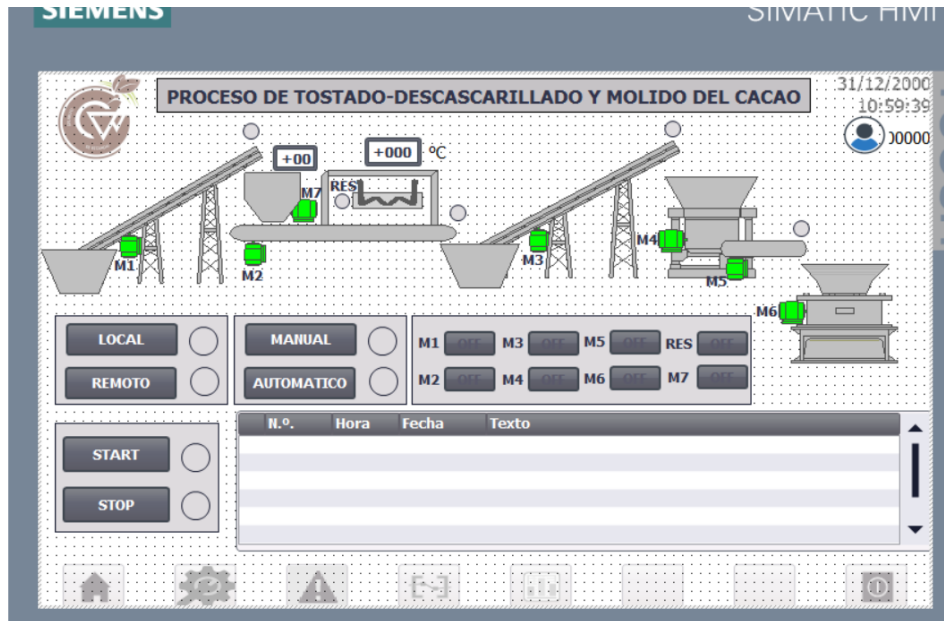


Figura 17. Pantalla de la planta del proceso.

Aunque la ventana de avisos creada en la pantalla principal nos muestra el estado de los actuadores, también se creó una pantalla únicamente para las alarmas. En esta pantalla se puede ver todas las alarmas que el sistema active (Figura 18).

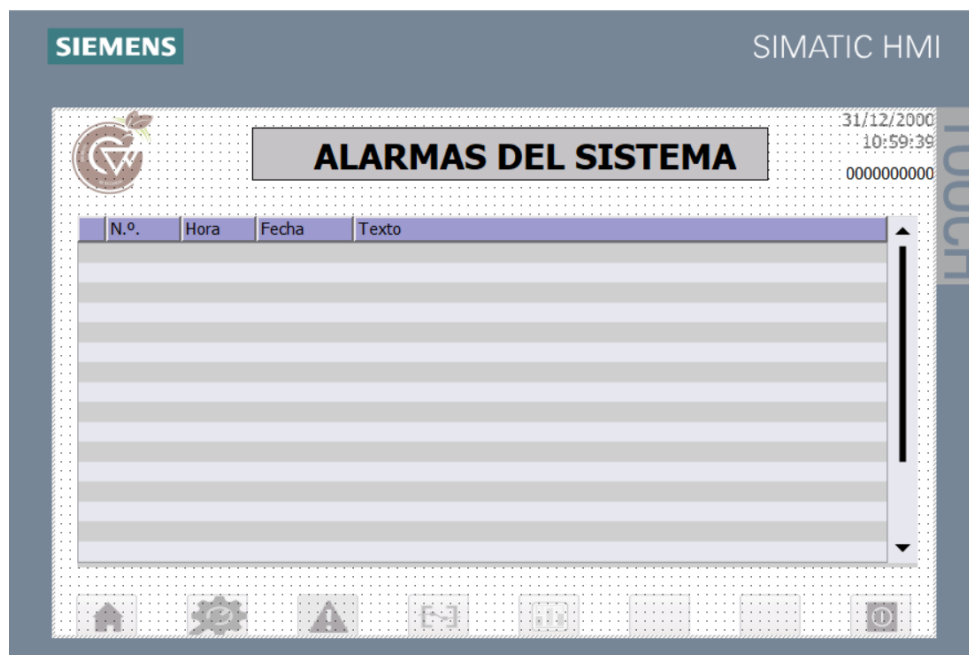


Figura 18. Pantalla de alarmas.

Una pantalla importante del sistema que permite el funcionamiento de las bandas es el ingreso de parámetros. En esta pantalla como se muestra en la Figura 19, se habilita para

el administrador el ingreso de los parámetros de temperatura del horno, así como el de la velocidad de las bandas y de los motores para las máquinas de descascarillado y molido.

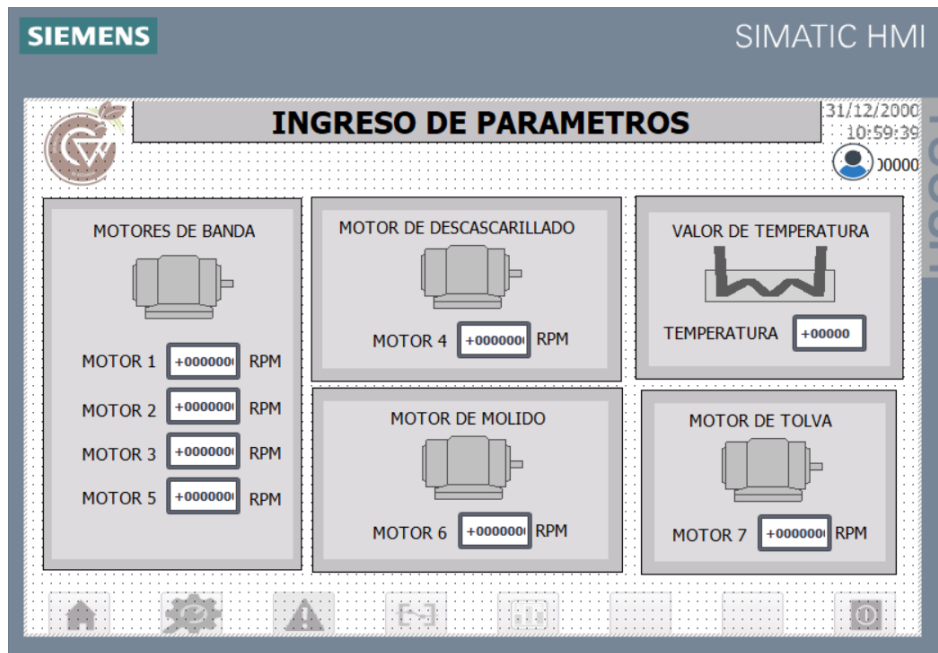


Figura 19. Pantalla para el ingreso de parámetros.

La pantalla de históricos permite examinar los datos y eventos relacionados con el proceso, aquí se logra visualizar tanto el valor de la temperatura y el ingreso de los granos cacao a la tolva (Figura 20). Esto permite saber la tendencia de cómo se comporta el sistema, ofreciendo una visión más completa y contextualizada de su desempeño.



Figura 20. Pantalla de Históricos.

2.3. Pruebas y puesta en marcha de la solución.

Para la realización de pruebas del sistema se usa el PLC virtual que tiene TIA Portal, para ello es necesario subir el programa a este dispositivo mediante la opción iniciar simulación que se encuentra en la parte superior de la barra de herramientas. Una vez subido el programa se debe establecer la conexión online entre el PLC y el programa para verificar que no existe ningún problema. Tal como se muestra en la Figura 21, una vez que el programa ha sido cargado y se ha establecido la conexión, se refleja mediante un indicador de color verde que la conexión ha sido exitosa. Este indicador verifica la integridad de la comunicación, asegurando que no existan fallos entre las variables y los bloques del programa, indicando así una correcta vinculación y funcionamiento entre los distintos elementos del sistema.

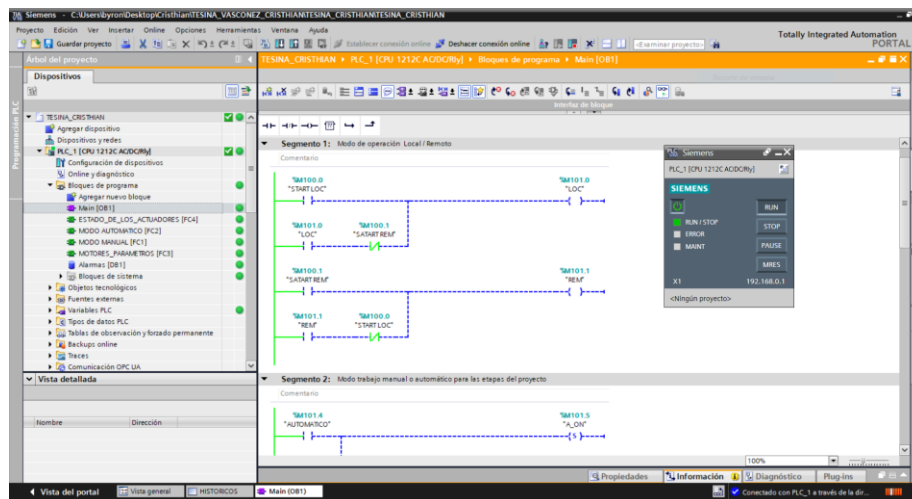


Figura 21. Carga del programa al PLC y conexión online.

Con el programa cargado y funcionando, se procede a realizar las pruebas de las entradas y salidas del sistema, para verificar el funcionamiento del programa.

Como se muestran en la Tabla 13 la primera prueba a realizar es la activación del modo local, cuando esta se activa su estado debe cambio de 0 a 1, como se está operando en este modo el modo remoto tampoco funciona por lo que su valor siguiendo el mismo, las demás variables tampoco se activan por lo que su valor sigue siendo cero.

Tabla 13. Prueba 1 modo de operación local.

Descripción	Variable	E/S	Valor
Modo local	STAR LOC	E	1
Modo remoto	STAR REM	E	0
Modo automático	AUTOMATICO	E	0

Modo manual	MANUAL	E	0
Start del modo auto	START_AUT	E	0
Stop del modo auto	STOP_AUT	E	0
Banda 1	MOT1	S	0
Banda 2	MOT2	S	0
Banda 3	MOT3	S	0
Descascarilladora	MOT4	S	0
Banda 4	MOT5	S	0
Molienda	MOT6	S	0
Compuerta de tolva	MOT7	S	0
Resistencia eléctrica del horno	RES	S	0
Sensor de presencia 1	SEN1	E	0
Sensor de presencia 2	SEN2	E	0
Sensor de presencia 3	SEN3	E	0
Sensor de presencia 4	SEN4	E	0
Sensor de temperatura	SEN_TEMP	E	0
Sensor de peso	SEN_PESO	E	0
Start banda 1	START_M1	E	0
Start banda 2	START_M2	E	0
Start compuerta de tolva	START_M7	E	0
Start banda 3	START_M3	E	0
Start banda 4	START_M5	E	0
Start descascarilladora	START_M4	E	0
Start máquina de molienda	START_M6	E	0

En la Tabla 14, en cambio se encuentran el cambio de local a remoto para lo cual los valores que toma la tabla son los siguientes.

Tabla 14. Prueba 2 modo de operación remoto.

Descripción	Variable	E/S	Valor
Modo local	STAR_LOC	E	0
Modo remoto	STAR_REM	E	1
Modo automático	AUTOMATICO	E	0
Modo manual	MANUAL	E	0
Start del modo auto	START_AUT	E	0
Stop del modo auto	STOP_AUT	E	0
Banda 1	MOT1	S	0
Banda 2	MOT2	S	0
Banda 3	MOT3	S	0
Descascarilladora	MOT4	S	0
Banda 4	MOT5	S	0
Molienda	MOT6	S	0
Compuerta de tolva	MOT7	S	0
Resistencia eléctrica del horno	RES	S	0
Sensor de presencia 1	SEN1	E	0
Sensor de presencia 2	SEN2	E	0
Sensor de presencia 3	SEN3	E	0
Sensor de presencia 4	SEN4	E	0

Sensor de temperatura	SEN_TEMP	E	0
Sensor de peso	SEN_PESO	E	0
Start banda 1	START_M1	E	0
Start banda 2	START_M2	E	0
Start compuerta de tolva	START_M7	E	0
Start banda 3	START_M3	E	0
Start banda 4	START_M5	E	0
Start descascarilladora	START_M4	E	0
Start máquina de molienda	START_M6	E	0

Para la prueba tres se tiene el modo de operación en automático, para activar AUTOMATICO, se debe tener activado el modo de operación local para así poder operar el proceso de manera automática, en la Tabla 15 se ve el funcionamiento de esta operación.

Tabla 15. Prueba 3 modo de operación automático.

Descripción	Variable	E/S	Valor
Modo local	STAR_LOC	E	1
Modo remoto	STAR_REM	E	0
Modo automático	AUTOMATICO	E	1
Modo manual	MANUAL	E	0
Start del modo auto	START_AUT	E	0
Stop del modo auto	STOP_AUT	E	0
Banda 1	MOT1	S	0
Banda 2	MOT2	S	0
Banda 3	MOT3	S	0
Descascarilladora	MOT4	S	0
Banda 4	MOT5	S	0
Molienda	MOT6	S	0
Compuerta de tolva	MOT7	S	0
Resistencia eléctrica del horno	RES	S	0
Sensor de presencia 1	SEN1	E	0
Sensor de presencia 2	SEN2	E	0
Sensor de presencia 3	SEN3	E	0
Sensor de presencia 4	SEN4	E	0
Sensor de temperatura	SEN_TEMP	E	0
Sensor de peso	SEN_PESO	E	0
Start banda 1	START_M1	E	0
Start banda 2	START_M2	E	0
Start compuerta de tolva	START_M7	E	0
Start banda 3	START_M3	E	0
Start banda 4	START_M5	E	0
Start descascarilladora	START_M4	E	0
Start máquina de molienda	START_M6	E	0

En la prueba cinco teniendo activado el modo remoto se procede a poner en marcha el sistema activando el START_AUT lo cual genera las siguientes activaciones tal como se muestra en la Tabla 16.

Tabla 16. Prueba 4 puesta en marcha del sistema en modo automático.

Descripción	Variable	E/S	Valor
Modo local	STAR LOC	E	1
Modo remoto	STAR REM	E	0
Modo automático	AUTOMATICO	E	1
Modo manual	MANUAL	E	0
Start del modo auto	START_AUT	E	1
Stop del modo auto	STOP_AUT	E	0
Banda 1	MOT1	S	1
Banda 2	MOT2	S	0
Banda 3	MOT3	S	0
Descascarilladora	MOT4	S	0
Banda 4	MOT5	S	0
Molienda	MOT6	S	0
Compuerta de tolva	MOT7	S	0
Resistencia eléctrica del horno	RES	S	0
Sensor de presencia 1	SEN1	E	1
Sensor de presencia 2	SEN2	E	0
Sensor de presencia 3	SEN3	E	0
Sensor de presencia 4	SEN4	E	0
Sensor de temperatura	SEN_TEMP	E	0
Sensor de peso	SEN_PESO	E	0
Start banda 1	START M1	E	0
Start banda 2	START M2	E	0
Start compuerta de tolva	START M7	E	0
Start banda 3	START M3	E	0
Start banda 4	START M5	E	0
Start descascarilladora	START M4	E	0
Start máquina de molienda	START M6	E	0

Cuando se presionó el START_AUT, hizo que se encendiera la banda uno, lo cual también activo al sensor de presencia uno por lo que la tolva comienza a llenarse y el sensor de peso cambia su valor como se muestra en la Tabla 17.

Tabla 17. Prueba 5 activación del sensor de peso.

Descripción	Variable	E/S	Valor
Modo local	STAR LOC	E	1
Modo remoto	STAR REM	E	0
Modo automático	AUTOMATICO	E	1
Modo manual	MANUAL	E	0
Start del modo auto	START_AUT	E	1
Stop del modo auto	STOP_AUT	E	0

Banda 1	MOT1	S	1
Banda 2	MOT2	S	0
Banda 3	MOT3	S	0
Descascarilladora	MOT4	S	0
Banda 4	MOT5	S	0
Molienda	MOT6	S	0
Compuerta de tolva	MOT7	S	0
Resistencia eléctrica del horno	RES	S	1
Sensor de presencia 1	SEN1	E	1
Sensor de presencia 2	SEN2	E	0
Sensor de presencia 3	SEN3	E	0
Sensor de presencia 4	SEN4	E	0
Sensor de temperatura	SEN_TEMP	E	0
Sensor de peso	SEN_PESO	E	70
Start banda 1	START_M1	E	0
Start banda 2	START_M2	E	0
Start compuerta de tolva	START_M7	E	0
Start banda 3	START_M3	E	0
Start banda 4	START_M5	E	0
Start descascarilladora	START_M4	E	0
Start máquina de molienda	START_M6	E	0

Como se muestra en la Tabla 18 el sensor de peso llega al valor establecido entonces este desactiva la banda uno, lo cual hace que el sensor de presencia 1 ya no detecte, pero aun que estos se desactivan activa a otros dispositivos.

Tabla 18. Prueba 6 sensor de peso capta el valor del peso establecido en la tolva.

Descripción	Variable	E/S	Valor
Modo local	STAR_LOC	E	1
Modo remoto	STAR_REM	E	0
Modo automático	AUTOMATICO	E	1
Modo manual	MANUAL	E	0
Start del modo auto	START_AUT	E	1
Stop del modo auto	STOP_AUT	E	0
Banda 1	MOT1	S	0
Banda 2	MOT2	S	1
Banda 3	MOT3	S	0
Descascarilladora	MOT4	S	0
Banda 4	MOT5	S	0
Molienda	MOT6	S	0
Compuerta de tolva	MOT7	S	1
Resistencia eléctrica del horno	RES	S	1
Sensor de presencia 1	SEN1	E	0
Sensor de presencia 2	SEN2	E	0
Sensor de presencia 3	SEN3	E	0
Sensor de presencia 4	SEN4	E	0
Sensor de temperatura	SEN_TEMP	E	120

Sensor de peso	SEN PESO	E	80
Start banda 1	START M1	E	0
Start banda 2	START M2	E	0
Start compuerta de tolva	START M7	E	0
Start banda 3	START M3	E	0
Start banda 4	START M5	E	0
Start descascarilladora	START M4	E	0
Start máquina de molienda	START M6	E	0

Al igual que el sensor de peso, el SEN_TEMP marca el valor de temperatura del horno que se estará modificando con el valor ingresado para mantenerse en la temperatura establecida. En la Tabla 19 se muestra lo que sucede cuando se descarga todos los granos de la tolva y pasa el tiempo de tostado de los granos.

Tabla 19. Prueba 7 activación de banda tres.

Descripción	Variable	E/S	Valor
Modo local	STAR LOC	E	1
Modo remoto	STAR REM	E	0
Modo automático	AUTOMATICO	E	1
Modo manual	MANUAL	E	0
Start del modo auto	START AUT	E	1
Stop del modo auto	STOP AUT	E	0
Banda 1	MOT1	S	0
Banda 2	MOT2	S	1
Banda 3	MOT3	S	1
Descascarilladora	MOT4	S	0
Banda 4	MOT5	S	0
Molienda	MOT6	S	0
Compuerta de tolva	MOT7	S	0
Resistencia eléctrica del horno	RES	S	1
Sensor de presencia 1	SEN1	E	0
Sensor de presencia 2	SEN2	E	1
Sensor de presencia 3	SEN3	E	0
Sensor de presencia 4	SEN4	E	0
Sensor de temperatura	SEN_TEMP	E	120
Sensor de peso	SEN PESO	E	0
Start banda 1	START M1	E	0
Start banda 2	START M2	E	0
Start compuerta de tolva	START M7	E	0
Start banda 3	START M3	E	0
Start banda 4	START M5	E	0
Start descascarilladora	START M4	E	0
Start máquina de molienda	START M6	E	0

Siguiendo la secuencia del programa al activarse mi banda tres, esta activara mi sensor de presencia tres que hará que se active mi maquina descascarilladora (Tabla 20).

Tabla 20. Prueba 8 activación de la maquina descascarilladora.

Descripción	Variable	E/S	Valor
Modo local	STAR_LOC	E	1
Modo remoto	STAR_REM	E	0
Modo automático	AUTOMATICO	E	1
Modo manual	MANUAL	E	0
Start del modo auto	START_AUT	E	1
Stop del modo auto	STOP_AUT	E	0
Banda 1	MOT1	S	0
Banda 2	MOT2	S	1
Banda 3	MOT3	S	1
Descascarilladora	MOT4	S	1
Banda 4	MOT5	S	1
Molienda	MOT6	S	0
Compuerta de tolva	MOT7	S	0
Resistencia eléctrica del horno	RES	S	1
Sensor de presencia 1	SEN1	E	0
Sensor de presencia 2	SEN2	E	1
Sensor de presencia 3	SEN3	E	1
Sensor de presencia 4	SEN4	E	0
Sensor de temperatura	SEN_TEMP	E	120
Sensor de peso	SEN_PESO	E	0
Start banda 1	START_M1	E	0
Start banda 2	START_M2	E	0
Start compuerta de tolva	START_M7	E	0
Start banda 3	START_M3	E	0
Start banda 4	START_M5	E	0
Start descascarilladora	START_M4	E	0
Start máquina de molienda	START_M6	E	0

Cuando la maquina descascarilladora se activa también lo hace la banda cuatro para llevar los nibs de cacao hacia la máquina de molienda, pero una vez esta máquina se activó después de un lazo de tiempo, desactiva mi banda dos tal como se muestra en la Tabla 21.

Tabla 21. Prueba 9 activación de la máquina de molienda y desactivación de la banda dos.

Descripción	Variable	E/S	Valor
Modo local	STAR_LOC	E	1
Modo remoto	STAR_REM	E	0
Modo automático	AUTOMATICO	E	1
Modo manual	MANUAL	E	0
Start del modo auto	START_AUT	E	1
Stop del modo auto	STOP_AUT	E	0
Banda 1	MOT1	S	0
Banda 2	MOT2	S	0
Banda 3	MOT3	S	1
Descascarilladora	MOT4	S	1

Banda 4	MOT5	S	1
Molienda	MOT6	S	1
Compuerta de tolva	MOT7	S	0
Resistencia eléctrica del horno	RES	S	1
Sensor de presencia 1	SEN1	E	0
Sensor de presencia 2	SEN2	E	0
Sensor de presencia 3	SEN3	E	1
Sensor de presencia 4	SEN4	E	1
Sensor de temperatura	SEN_TEMP	E	120
Sensor de peso	SEN_PESO	E	0
Start banda 1	START M1	E	0
Start banda 2	START M2	E	0
Start compuerta de tolva	START M7	E	0
Start banda 3	START M3	E	0
Start banda 4	START M5	E	0
Start descascarilladora	START M4	E	0
Start máquina de molienda	START M6	E	0

Cuando se desactiva la banda dos, el proceso se vuelve a reiniciar en la banda uno haciendo que se llene la tolva de nuevo, pero también se apaga la banda tres al ya no tener más granos de cacao tostado que llevar a la máquina de descascarillado (Tabla 22).

Tabla 22. Prueba 10 apagar banda tres.

Descripción	Variable	E/S	Valor
Modo local	STAR_LOC	E	1
Modo remoto	STAR_REM	E	0
Modo automático	AUTOMATICO	E	1
Modo manual	MANUAL	E	0
Start del modo auto	START_AUT	E	1
Stop del modo auto	STOP_AUT	E	0
Banda 1	MOT1	S	1
Banda 2	MOT2	S	0
Banda 3	MOT3	S	0
Descascarilladora	MOT4	S	1
Banda 4	MOT5	S	1
Molienda	MOT6	S	1
Compuerta de tolva	MOT7	S	0
Resistencia eléctrica del horno	RES	S	1
Sensor de presencia 1	SEN1	E	1
Sensor de presencia 2	SEN2	E	0
Sensor de presencia 3	SEN3	E	0
Sensor de presencia 4	SEN4	E	1
Sensor de temperatura	SEN_TEMP	E	120
Sensor de peso	SEN_PESO	E	0
Start banda 1	START M1	E	0
Start banda 2	START M2	E	0
Start compuerta de tolva	START M7	E	0

Start banda 3	START M3	E	0
Start banda 4	START M5	E	0
Start descascarilladora	START M4	E	0
Start máquina de molienda	START M6	E	0

El proceso se repite en las primeras etapas, mientras que en las últimas la máquina descascarilladora se apaga (Tabla 23).

Tabla 23. Prueba 11 apagar máquina descascarilladora.

Descripción	Variable	E/S	Valor
Modo local	STAR LOC	E	1
Modo remoto	STAR REM	E	0
Modo automático	AUTOMATICO	E	1
Modo manual	MANUAL	E	0
Start del modo auto	START AUT	E	1
Stop del modo auto	STOP AUT	E	0
Banda 1	MOT1	S	0
Banda 2	MOT2	S	1
Banda 3	MOT3	S	0
Descascarilladora	MOT4	S	0
Banda 4	MOT5	S	1
Molienda	MOT6	S	1
Compuerta de tolva	MOT7	S	1
Resistencia eléctrica del horno	RES	S	1
Sensor de presencia 1	SEN1	E	0
Sensor de presencia 2	SEN2	E	0
Sensor de presencia 3	SEN3	E	0
Sensor de presencia 4	SEN4	E	1
Sensor de temperatura	SEN TEMP	E	120
Sensor de peso	SEN PESO	E	80
Start banda 1	START M1	E	0
Start banda 2	START M2	E	0
Start compuerta de tolva	START M7	E	0
Start banda 3	START M3	E	0
Start banda 4	START M5	E	0
Start descascarilladora	START M4	E	0
Start máquina de molienda	START M6	E	0

Al apagarse la máquina descascarilladora también lo hace la banda cuatro, al ya no detectar los nibs de cacao (Tabla 24).

Tabla 24. Prueba 12 apagar banda cuatro.

Descripción	Variable	E/S	Valor
Modo local	STAR LOC	E	1
Modo remoto	STAR REM	E	0
Modo automático	AUTOMATICO	E	1
Modo manual	MANUAL	E	0

Start del modo auto	START_AUT	E	1
Stop del modo auto	STOP_AUT	E	0
Banda 1	MOT1	S	0
Banda 2	MOT2	S	1
Banda 3	MOT3	S	1
Descascarilladora	MOT4	S	0
Banda 4	MOT5	S	0
Molienda	MOT6	S	1
Compuerta de tolva	MOT7	S	0
Resistencia eléctrica del horno	RES	S	1
Sensor de presencia 1	SEN1	E	0
Sensor de presencia 2	SEN2	E	1
Sensor de presencia 3	SEN3	E	0
Sensor de presencia 4	SEN4	E	0
Sensor de temperatura	SEN_TEMP	E	120
Sensor de peso	SEN_PESO	E	0
Start banda 1	START_M1	E	0
Start banda 2	START_M2	E	0
Start compuerta de tolva	START_M7	E	0
Start banda 3	START_M3	E	0
Start banda 4	START_M5	E	0
Start descascarilladora	START_M4	E	0
Start máquina de molienda	START_M6	E	0

Finalmente, cuando se apaga la banda cuatro la máquina de molienda también se apaga, como se muestra en la Tabla 25, además el proceso aun continuo al menos que se presione el botón STOP_AUT que cambia el valor de todas las variables usadas en el modo de operación automático a cero

Tabla 25. Prueba 13 apagar máquina de molienda.

Descripción	Variable	E/S	Valor
Modo local	STAR_LOC	E	1
Modo remoto	STAR_REM	E	0
Modo automático	AUTOMATICO	E	1
Modo manual	MANUAL	E	0
Start del modo auto	START_AUT	E	1
Stop del modo auto	STOP_AUT	E	0
Banda 1	MOT1	S	0
Banda 2	MOT2	S	1
Banda 3	MOT3	S	1
Descascarilladora	MOT4	S	1
Banda 4	MOT5	S	0
Molienda	MOT6	S	0
Compuerta de tolva	MOT7	S	0
Resistencia eléctrica del horno	RES	S	1
Sensor de presencia 1	SEN1	E	0
Sensor de presencia 2	SEN2	E	1

Sensor de presencia 3	SEN3	E	1
Sensor de presencia 4	SEN4	E	0
Sensor de temperatura	SEN TEMP	E	140
Sensor de peso	SEN PESO	E	0
Start banda 1	START M1	E	0
Start banda 2	START M2	E	0
Start compuerta de tolva	START M7	E	0
Start banda 3	START M3	E	0
Start banda 4	START M5	E	0
Start descascarilladora	START M4	E	0
Start máquina de molienda	START M6	E	0

Para el modo manual el proceso es el mismo con la diferencia que los estados de cada actuador se los hace accionando sus pulsadores de manera independiente.

Habiendo analizado las activaciones se realiza las pruebas para verificar el funcionamiento de las pantallas para verificar que de acuerdo con lo realizado anteriormente estas permitan verificar y operar el sistema a través de su interfaz gráfica.

En la primera pantalla se encuentra la del usuario y contraseña, donde se ingresan las credenciales del operador o administrador para así manejar las siguientes pantallas. Como se muestra en la Figura 22, al ingresar en la primera pantalla y pulsar el icono azul, se abre una ventana para escribir las credenciales que están habilitadas para el sistema. Se escribe el usuario y contraseña del administrador para poder realizar ingreso de parámetros y las activaciones de los actuadores.

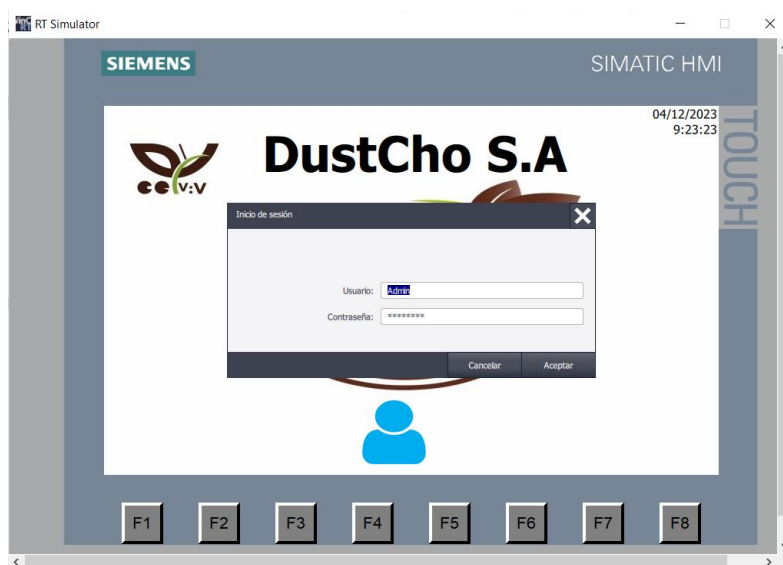


Figura 22. Ingreso de usuario y contraseña.

Al dar en aceptar este debe abrir la pantalla de la planta, donde se encuentran los accionamientos para establecer el modo de operación del sistema, cuando se ingresa, con el administrador a un costado de lado derecho aparecerá el nombre del usuario con el que está operando la pantalla.

Como se muestra en la Figura 22, la pantalla funciona de tal manera que cuando se establezca el modo de operación Local, permita trabajar tanto en modo manual como en automático, al accionar el modo automático se muestra los accionamientos de cada actuador, al presionar uno de ellos se visualiza que el color del motor que es gris cambia a verde para indicar su activación. Otra manera de verificar si están activados o desactivados, es observando la tabla de avisos que se encuentra debajo de los accionamientos, en ese apartado se puede verificar en qué momento se activó o desactivo algún actuador.

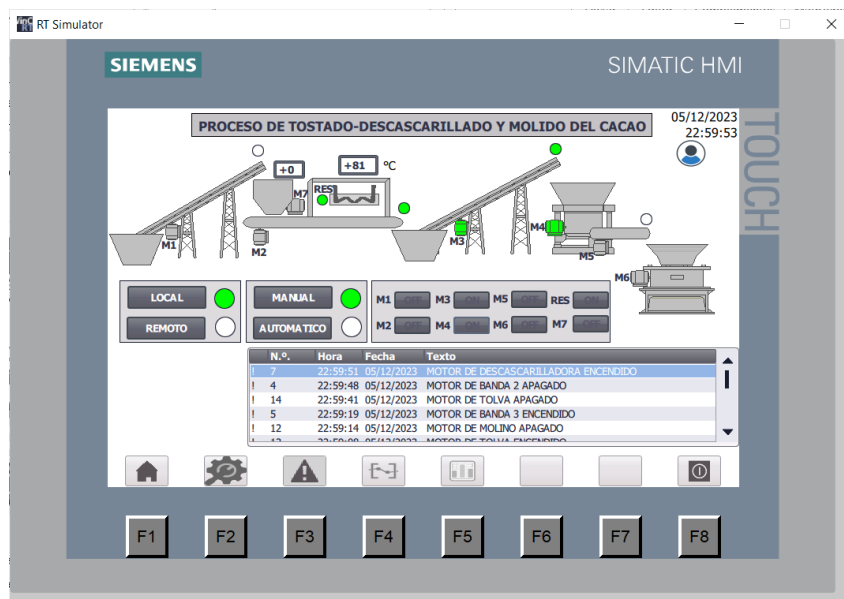


Figura 23. Estado de operación manual.

Para el caso de modo automático en cambio oculta todos los accionamientos por separado de los actuadores y muestra dos botones que son el START y STOP del sistema. Al presionar START, el sistema comienza a encender los actuadores de manera automática para cada etapa del proceso (Figura 24).

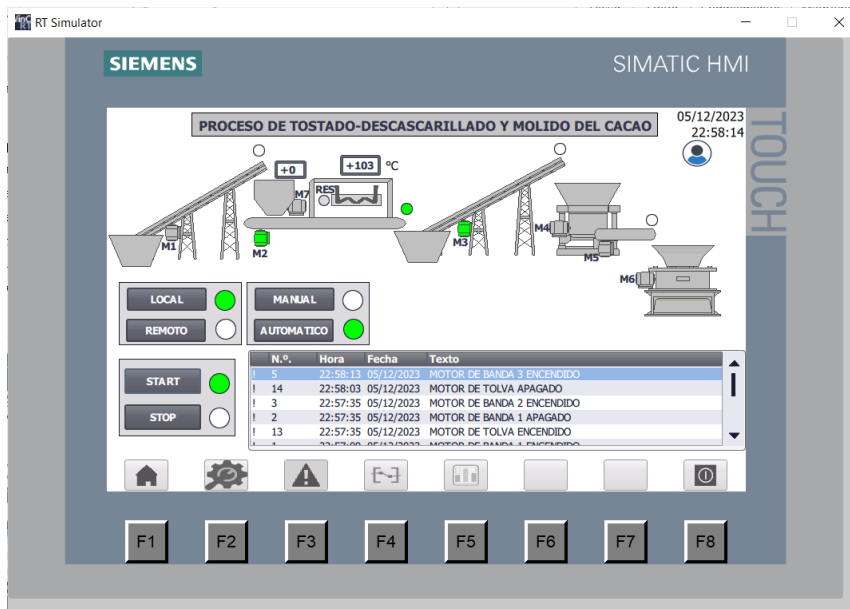


Figura 24. Estado de operación automático.

Si selecciona el modo de operación remoto, el administrador no podrá realizar ningún accionamiento, por lo que no se mostrará ningún de los estados de operación automático o manual en la pantalla (Figura 25).

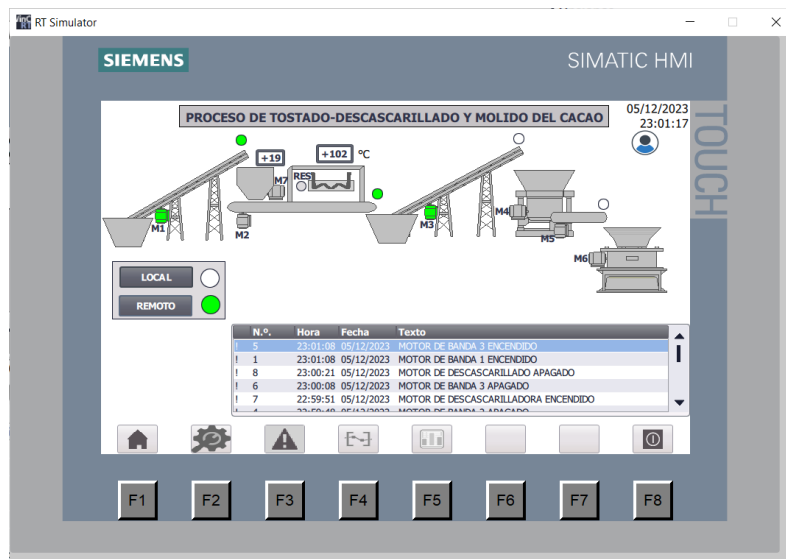


Figura 25. Modo de operación remoto.

Pero antes de realizar cualquier activación de actuadores se debe ingresar los parámetros del sistema, para ello en la pantalla de los parámetros se hace el ingreso de las velocidades de los motores y la temperatura mediante una ventana que se abre al presionar en el cuadro blanco de ingreso (Figura 26).



Figura 26. Ventana de ingreso de parámetro.

Para verificar que los parámetros ingresados sean los correctos, se debe abrir el bloque de parámetros que se encuentra en el PLC y tal como se muestra en la Figura 27, los valores ingresados son los mismo que están en el HMI.

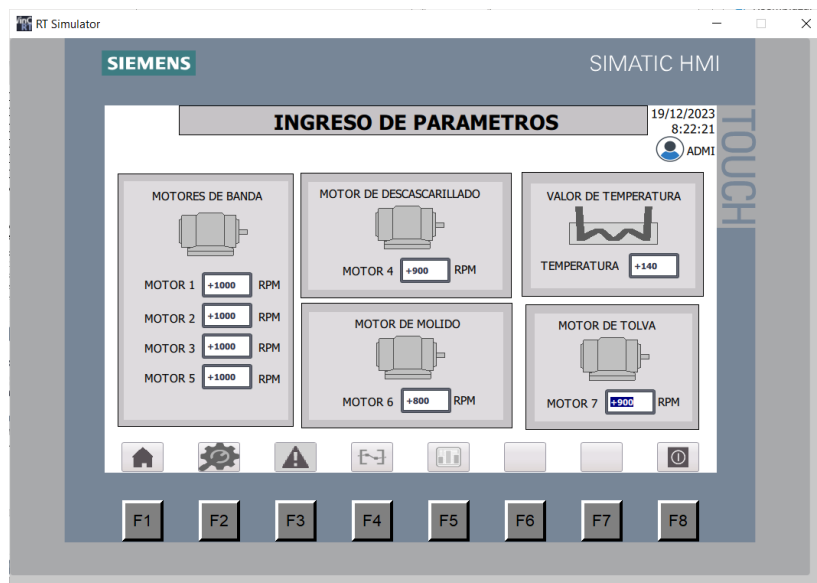


Figura 27. Verificación de parámetros ingresados.

Con el funcionamiento del sistema se hacen las activaciones de avisos que se pueden observar en la panta de alarmas (Figura 28).



Figura 28. Alarmas del sistema

En la última pantalla de históricos se observar cómo es la tendencia de los valores de temperatura, así como también los del peso de la tolva. En la tabla de la parte de abajo de la gráfica, también se muestran los valores de que se están obteniendo de la gráfica durante el arranque del proceso (Figura 29).



Figura 29. Histórico de la temperatura y el peso

En el modo de administrador la persona que tenga esta credencial puede realizar la activación de los actuadores y realizar cambios en los parámetros, pero para operador, algunas cosas como el accionamiento y los parámetros no están habilitados. Tal como se muestra en la Figura 30, el operador no puede realizar el accionamiento de ningún actuador ni tampoco ir a la ventana de parámetros si él quiere llegar a cambiar algún

parámetro o activar algún modo de operación debe ingresar las credenciales del administrador para hacerlo.

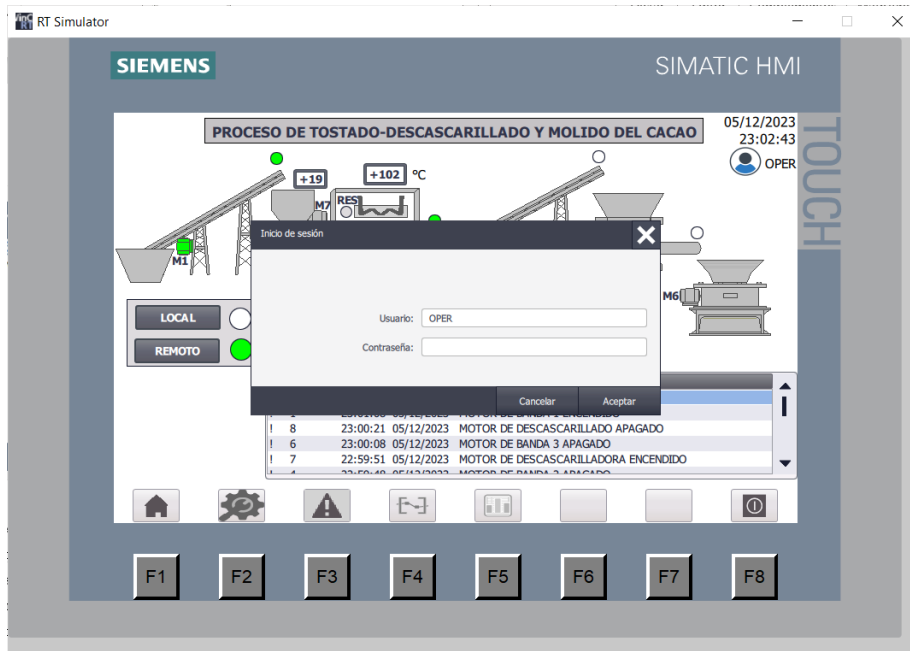


Figura 30. Ingreso de credenciales en caso de que realizar alguna modificación en los estados de los actuadores.

Lo que el operador puede realizar al ingresar a las pantallas del HMI, serán la vista de las alarmas, así como los históricos, tal como se muestra en la Figura 31, las credenciales de este usuario permiten visualizar y navegar entre estas pantallas.

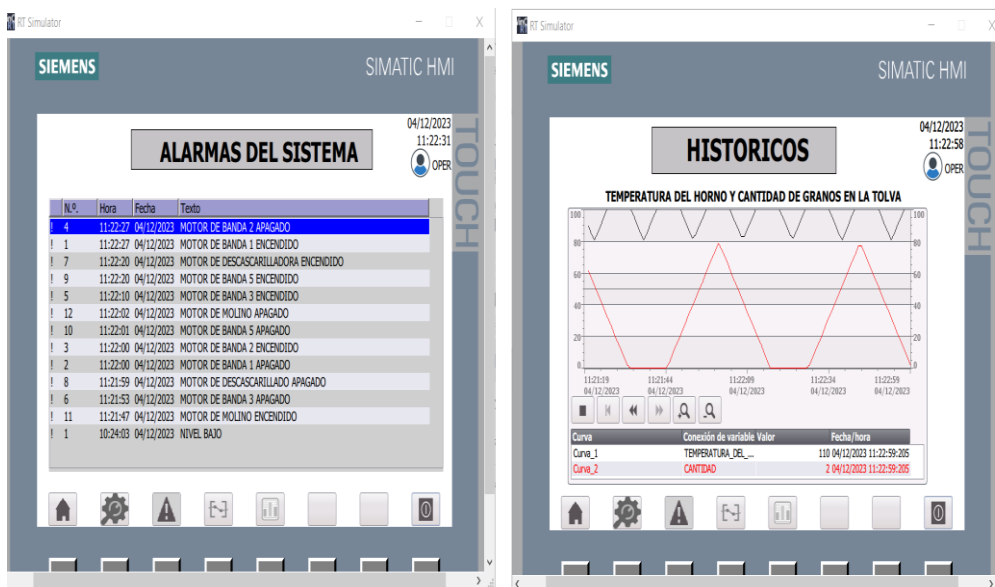


Figura 31. Verificación de las alarmas e históricos con las credenciales del operador.

2.4. Resultados

El programa desarrollado cumple con las expectativas al realizar automáticamente las operaciones de cada proceso. La implementación de memorias para llevar a cabo estos procesos fue fundamental en el desarrollo del programa. Al tratarse de variables booleanas, el cambio de 0 a 1 facilita la activación de actuadores que continúan en las siguientes etapas. Además, la consideración del tamaño de las memorias en función de la cantidad de datos que se necesitaba almacenar fue esencial ya que para datos ingresados como la velocidad se usaron memorias de tipo real que ocupan cuatro espacios de byte, de la misma manera para los datos tipo entero como la temperatura y el peso que ocuparan dos espacios de byte.

La integración de la pantalla HMI permitió visualizar la activación de cada etapa del proceso. Esto es de mucha ayuda para la verificación del estado de los dispositivos, además de que permite observar en tiempo real como va operando la planta en cada etapa. El uso de credenciales para el ingreso fue también una de las cosas que ayuda a que el HMI tenga un nivel de seguridad esencial para que así ninguna persona particular pueda realizar alguna acción sobre los procesos que se estén ejecutando.

Los avisos o alarmas en la interfaz gráfica proporcionaron información valiosa sobre el cambio de operación de algún actuador o alerta que haya sucedido en el proceso, su registro que marca la fecha y hora de estos cambios son esencialmente valiosos ya que así el operador o administrador puede reaccionar de manera oportuna sobre algún cambio que suceda durante el proceso. Los históricos también fueron otro punto esencial de información, marcaron las tendencias de como la temperatura en el horno fluctúa para mantenerse en el estado establecido, además de cuantas veces la tolva de alimentación ha ido llenándose y descargando los granos de cacao para llevarlos a la etapa de tostado lo que permite así saber la cantidad de producción que se genera en ese día de trabajo.

La comunicación entre el PLC y el HMI, funciono correctamente permitiendo que la transmisión de datos entre ellos no se vea afectado. Haciendo posible la simulación del proceso de tostado, descascarillado y molido para la elaboración de chocolate funcione sin experimentar ningún tipo de error.

2.5. Conclusiones

El diseño y la implementación del código de programación para el PLC permitió un control preciso y optimizado de cada etapa del proceso.

El uso de bloques agilizo la programación para el controlador, permitiendo que así no existan errores por el llamamiento de variables cuando se realiza el cambio de operación.

La pantalla realizas en el HMI fueron una excelente referencia visual para verificar los estados de operación del sistema. Además de que proporcionan información relevante que sirve para mejorar el rendimiento de los procesos.

Se logro cumplir con los objetivos establecidos en el proyecto, incluyendo el desarrollo del código de programación, la implementación exitosa en el PLC virtual y la creación de una interfaz visual efectiva. Estos resultados respaldan la viabilidad y eficacia del sistema automático propuesto para las etapas de tostado, descascarillado y molido del cacao en la elaboración del chocolate.

2.6. Recomendaciones

Al usar memorias en el programa es necesario que se creen espacios entre ellas para que no exista problemas al ejecutar el programa, por lo que es necesario saber el tipo de dato con el que se está trabajando para realizar estas asignaciones.

Es necesario programar las alarmas en función de su gravedad y relevancia para permitir una respuesta más rápida y eficiente por parte del personal, además de que estas hacen posible verificar el estado de los actuadores durante el proceso de tostado, descascarillado y molido del cacao en la elaboración del chocolate.

Ante posibles cambios en los requisitos del proceso o la introducción de nuevas funcionalidades es necesario realizar actualizaciones en el código para asegurar la adaptabilidad continua del sistema a las dinámicas cambiantes del entorno.

BIBLIOGRAFÍA

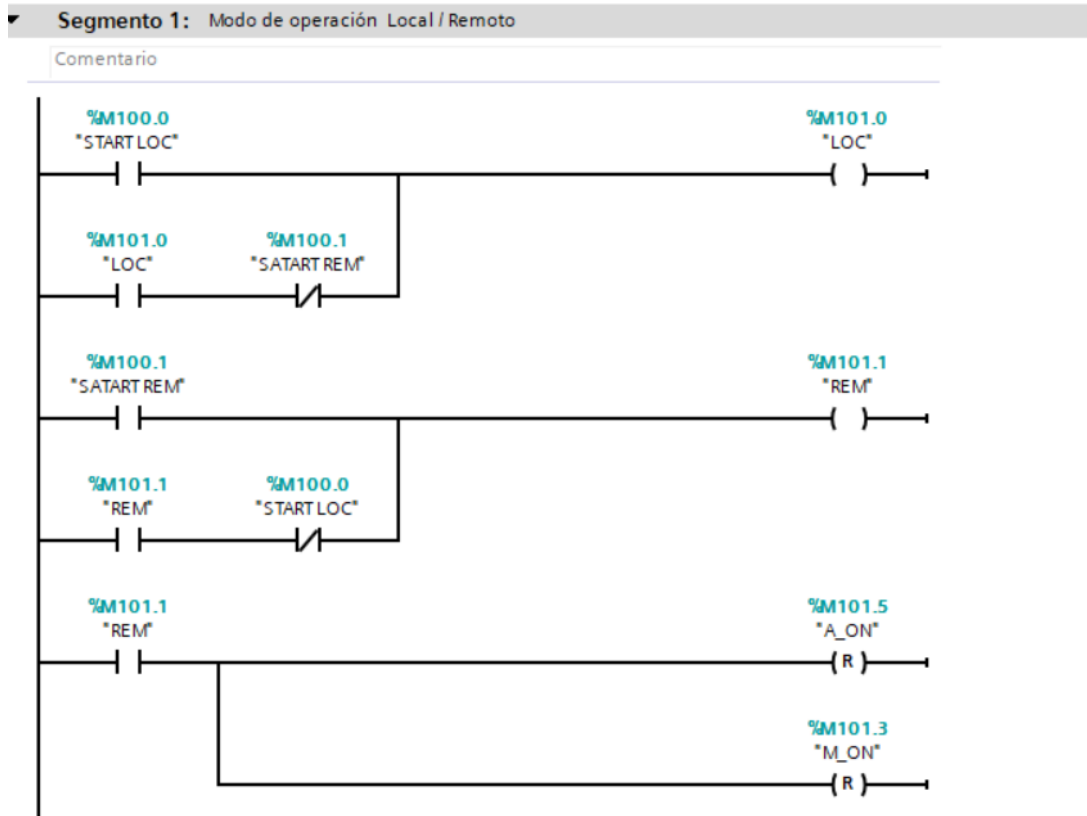
- [1] Roberto Sanchis Llopis, Julio Ariel Romero Pérez, y Carlos Vicente Ariño Latorre, *Automatización industrial*. Universitat Jaume I, 2010. Accedido: 20 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://archive.org/details/2010AutomatizacionIndustrial>
- [2] Francisco Javier García González, «Control Lógico Programable», 2004.
- [3] N. Cotrina Rodríguez y Y. A. Chozo Valdera, «Diseño de un sistema de control de humedad para un secador rotatorio de sal en el distrito de Mórrope», mar. 2019, Accedido: 20 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/3865>
- [4] «Automatismos y robots». 17 de febrero de 2022. Accedido: 4 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.edebe.com/educacion/documentos/830552-5-529-103947_UD07_Tecno%204%20Bessemer.pdf
- [5] I. Y. Muñoz Moreno, «Elaboración de chocolate de cobertura, utilizando licor de cacao nacional. La Maná. Ecuador 2013», 2013, Accedido: 21 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/238>
- [6] A. Sosa, D. Perez, J. C. Avendano, y A. F. Castano, «Control Automático de la Fabricación de Chocolate».
- [7] «Tostadora de granos de cacao|Tostadora continua con transportador». Accedido: 3 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.longerinc.com/nuts/roast/cocoa-beans-roasting-machine.html>
- [8] «Descascarilladora de cacao WINDCRAKER», DELANI. Accedido: 3 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://delanitrading.com/producto/descascarilladora-de-cacao-windcraker/>
- [9] «Molino primario de cacao MINIREX», DELANI. Accedido: 3 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://delanitrading.com/producto/molino-primario-de-cacao/>
- [10] J. L. Bucheli Naranjo y L. M. Velásquez Garrido, «Diseño e implementación de un módulo didáctico con sistema HMI para el análisis y estudio de sensores y transductores de proximidad analógicos por medio de la tarjeta de adquisición de datos DAQ NI y controlada por el software Labview.», bachelorThesis, 2014. Accedido: 26 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6334>
- [11] E. J. A. Rodríguez, J. W. M. Ocampo, y C. A. S. Ortega, «Medición de temperatura: sensores termoelectrónicos», *Scientia Et Technica*, vol. XIII, n.º 34, pp. 1-6, 2007.
- [12] «Celdas de carga». Accedido: 5 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://mx.omega.com/prodinfo/celdas-de-carga.html>
- [13] F. Torres y C. Fernández, «Clase 2. Sensores y detectores.».

- [14] «Medidores de flujo: ¿qué son y cómo funcionan? | Badger Meter». Accedido: 27 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.badgermeter.com/es-es/blog-informacion-privilegiada/medidores-de-flujo-que-son-y-como-funcionan/>
- [15] «Motor trifásico: ¿Qué es y para qué sirve? - Polaridad.es». Accedido: 21 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://polaridad.es/motor-trifasico-para-que-sirve/>
- [16] A. B. Herrero Pablo San Segundo y Rebeca, *4.1 Diagrama de escalera | Introducción a la Automatización Industrial*. Accedido: 21 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: https://bookdown.org/alberto_brunete/intro_automatica/diagrama-de-escalera.html
- [17] O. A. Fata, «Redes de sensores», Tesis, Universidad Nacional de La Plata, 2011. Accedido: 3 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/4196>
- [18] «HMI | ¿Qué son, para qué sirven, ¿cómo funcionan? | SDI». Accedido: 21 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://sdindustrial.com.mx/blog/hmi/>
- [19] E. D. Bohórquez y E. A. Prado, «Implementación de la norma ISA 101, sobre las HMI, pertenecientes a los módulos de instrumentación de la Universidad ECCI», 2019.
- [20] «HISTORIA DEL CHOCOLATE | Viva el Cacao». Accedido: 4 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://vivaelcacao.com/historia-del-chocolate/>
- [21] V. R. Heredia, «Cambios fisicoquímicos y organolépticos en el tostado del cacao», *Revista Ingeniería*, vol. 5, n.º 11, Art. n.º 11, ene. 2021, doi: 10.33996/revistaingenieria.v5i11.73.
- [22] «La Evolución Del PLC: De La Mecánica A La Electrónica En La Historia. - Electropreguntas». Accedido: 4 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://electropreguntas.com/la-fascinante-historia-del-plc-de-la-mecanica-a-la-electronica/>
- [23] «Termopar Tipo K Bulbo 0°C~450°C TIPOK», Suconel | Tienda electrónica | Colombia. Accedido: 7 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://suconel.com/product/termopar-tipo-k-bulbo-0c450c-tipok/>
- [24] «Sensores de proximidad capacitivos | Sensores de proximidad capacitivos | Sensores Industriales | Seguridad de Máquinas, Sensores Industriales y Fuentes de Alimentación | WEG - Productos», WEG. Accedido: 7 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.weg.net/catalog/weg/AR/es/Seguridad-de-M%C3%A1quinas%2C-Sensores-Industriales-y-Fuentes-de-Alimentaci%C3%B3n/Sensores-Industriales/Sensores-de-proximidad-capacitivos/Sensores-de-proximidad-capacitivos/p/MKT_WDC_GLOBAL_CAPACITIVE_SENSORS
- [25] «TS-AMP», AEP transducers. Accedido: 7 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.aep.it/es/producto/celulas-de-carga/ts-amp/>

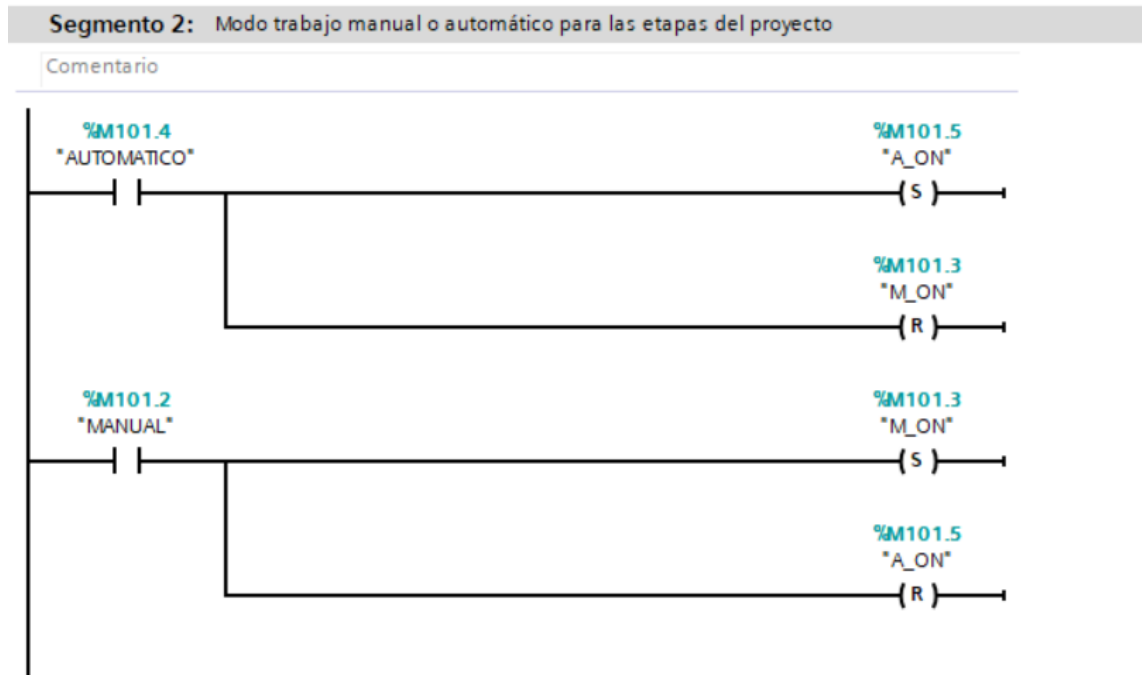
ANEXOS

Anexos 1

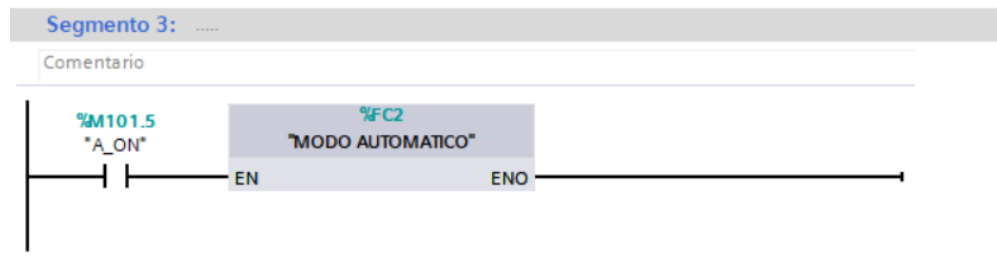
Segmento 1: Modo de operación local-remoto



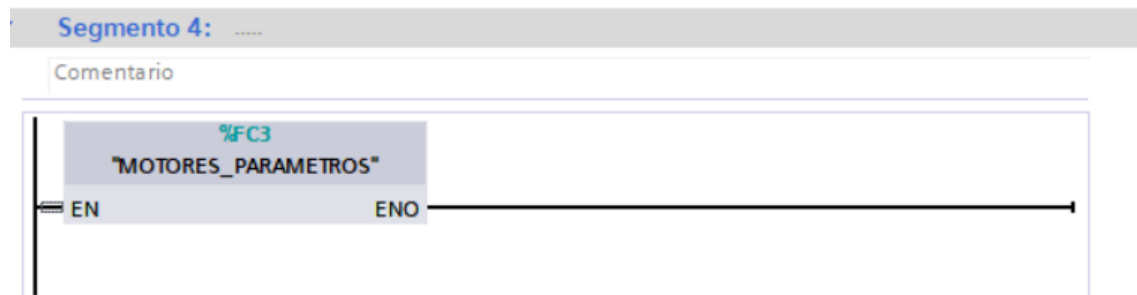
Segmento 2: Modo de operación manual-automático



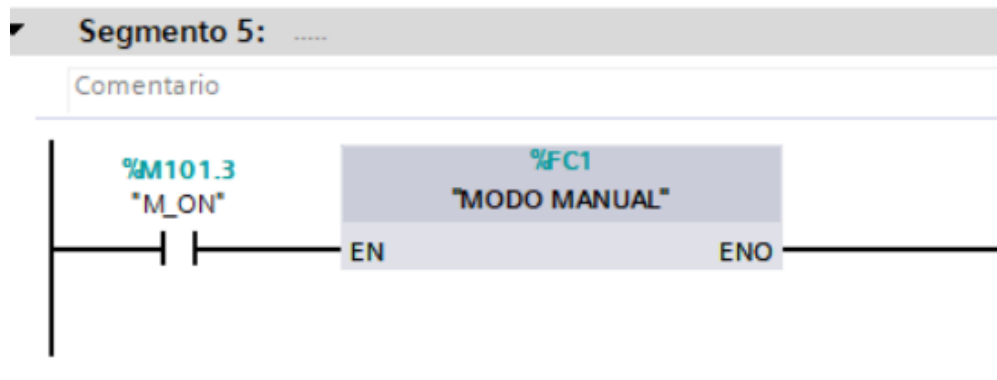
Segmento 3: Activación de bloque del proceso en modo automático



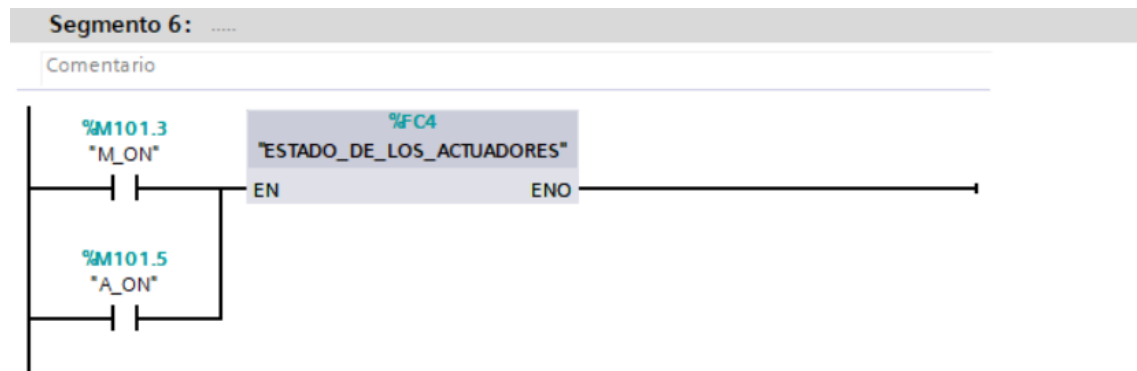
Segmento 4: Bloque de parámetros de motores



Segmento 5: Activación de bloque del proceso en modo manual

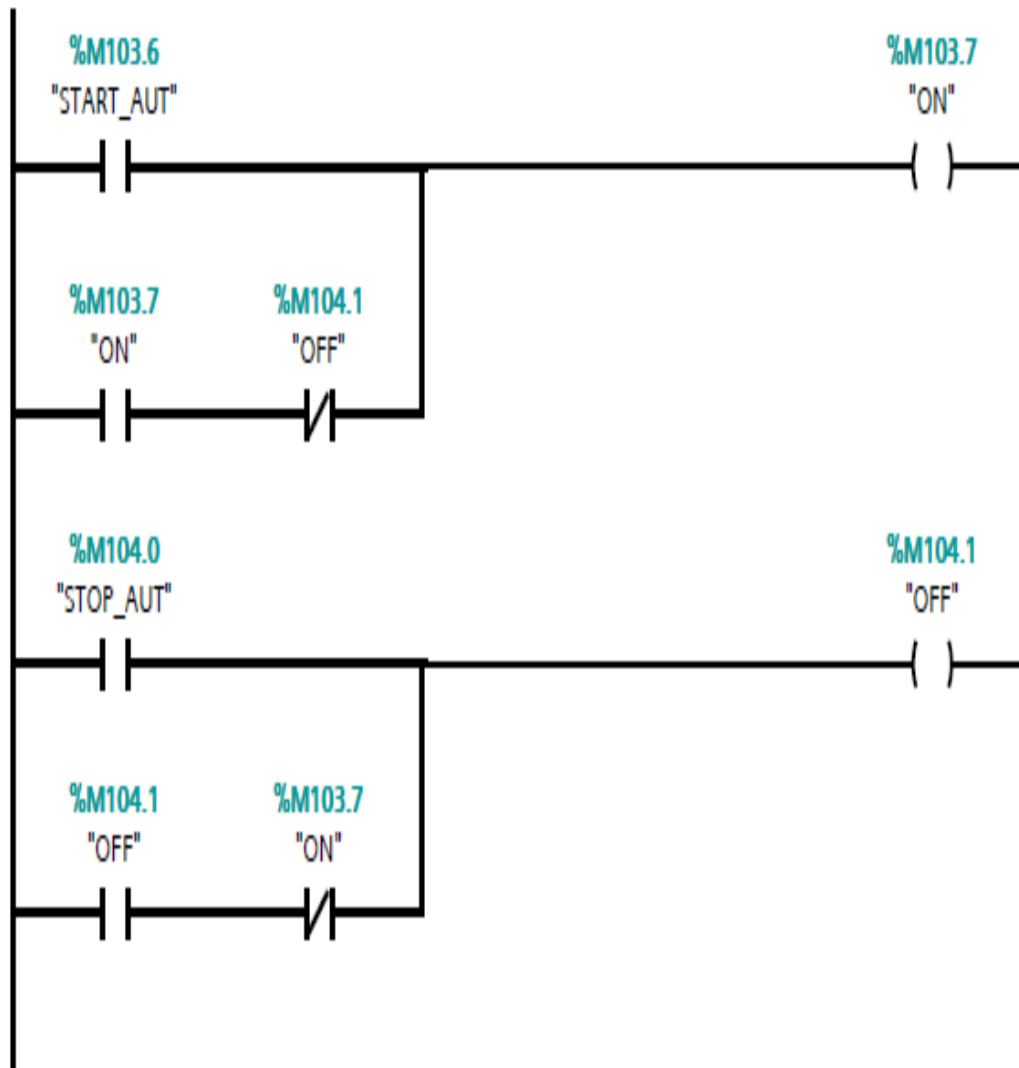


Segmento 7: Alarmas

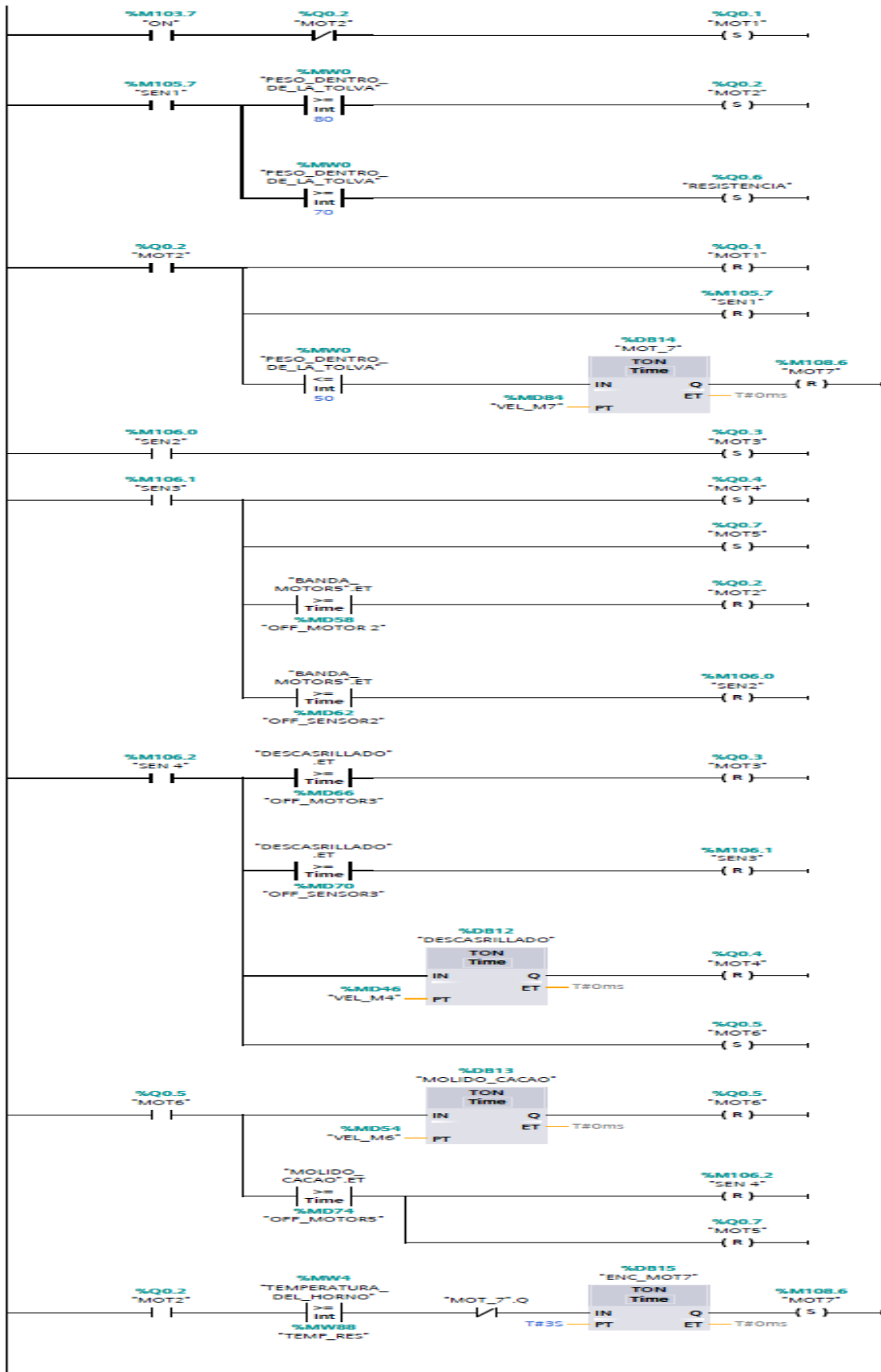


Anexos 2

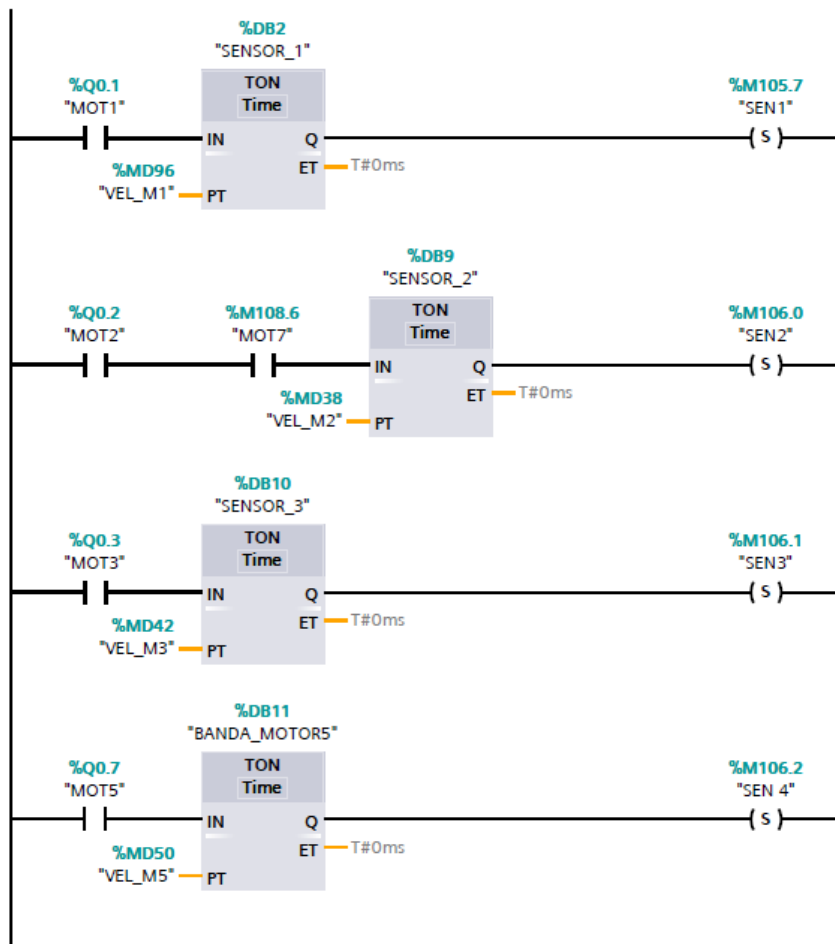
Segmento 1: Arranque del modo automático



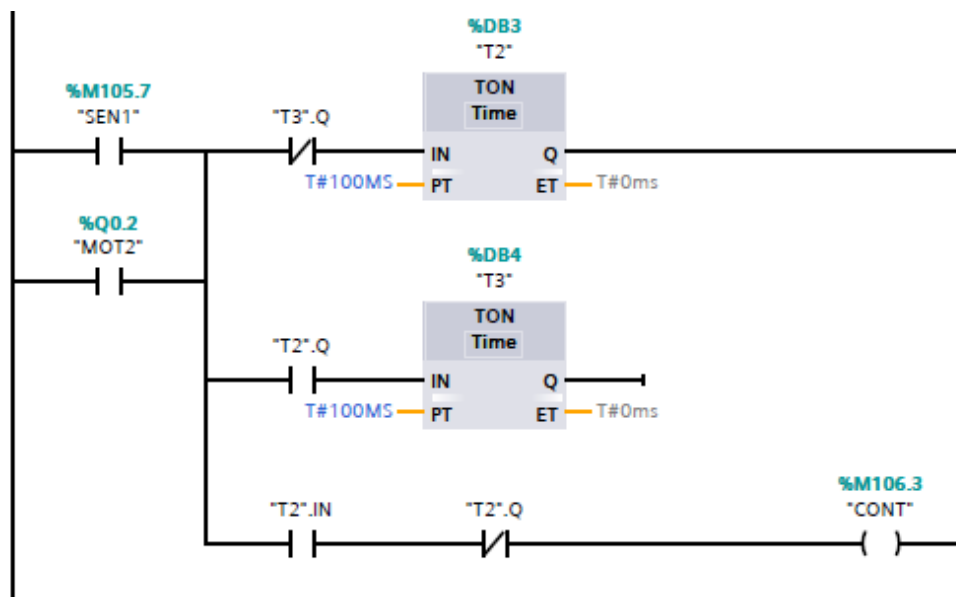
Segmento 2: Activación de los actuadores del sistema



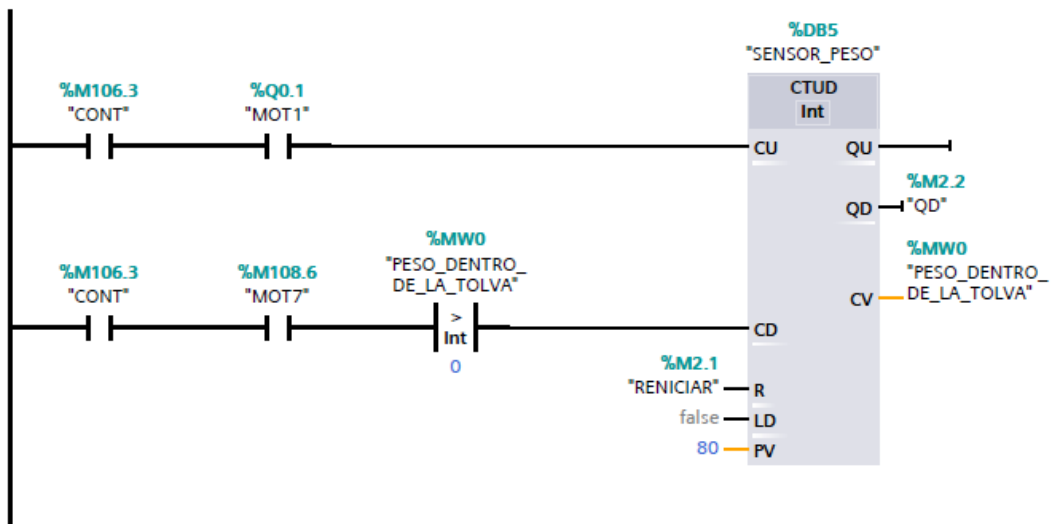
Segmento 3: Activación de los sensores de presencia



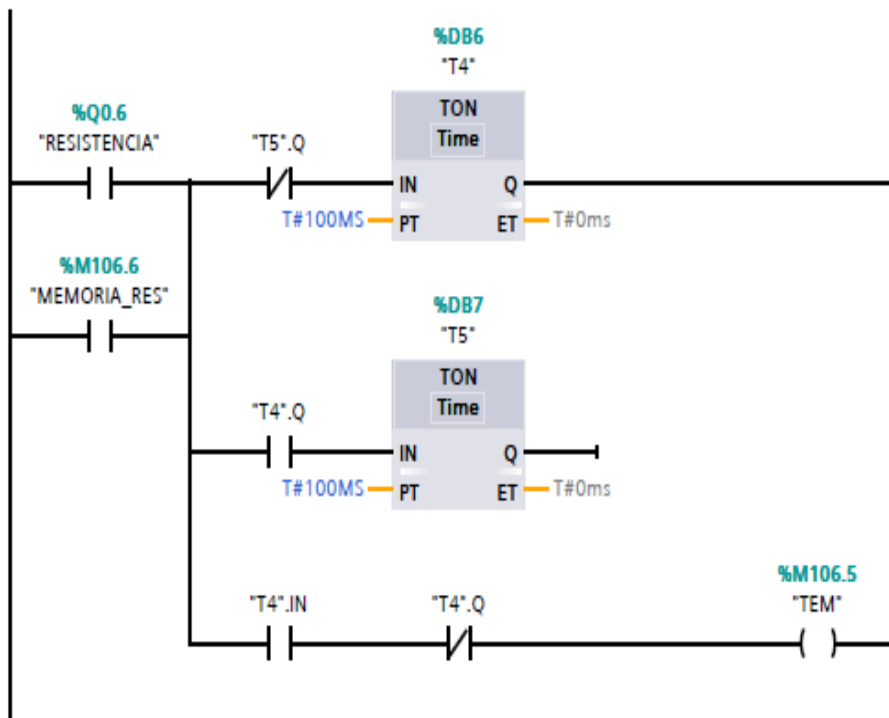
Segmento 4: Tren de pulso para simular el sensor de peso



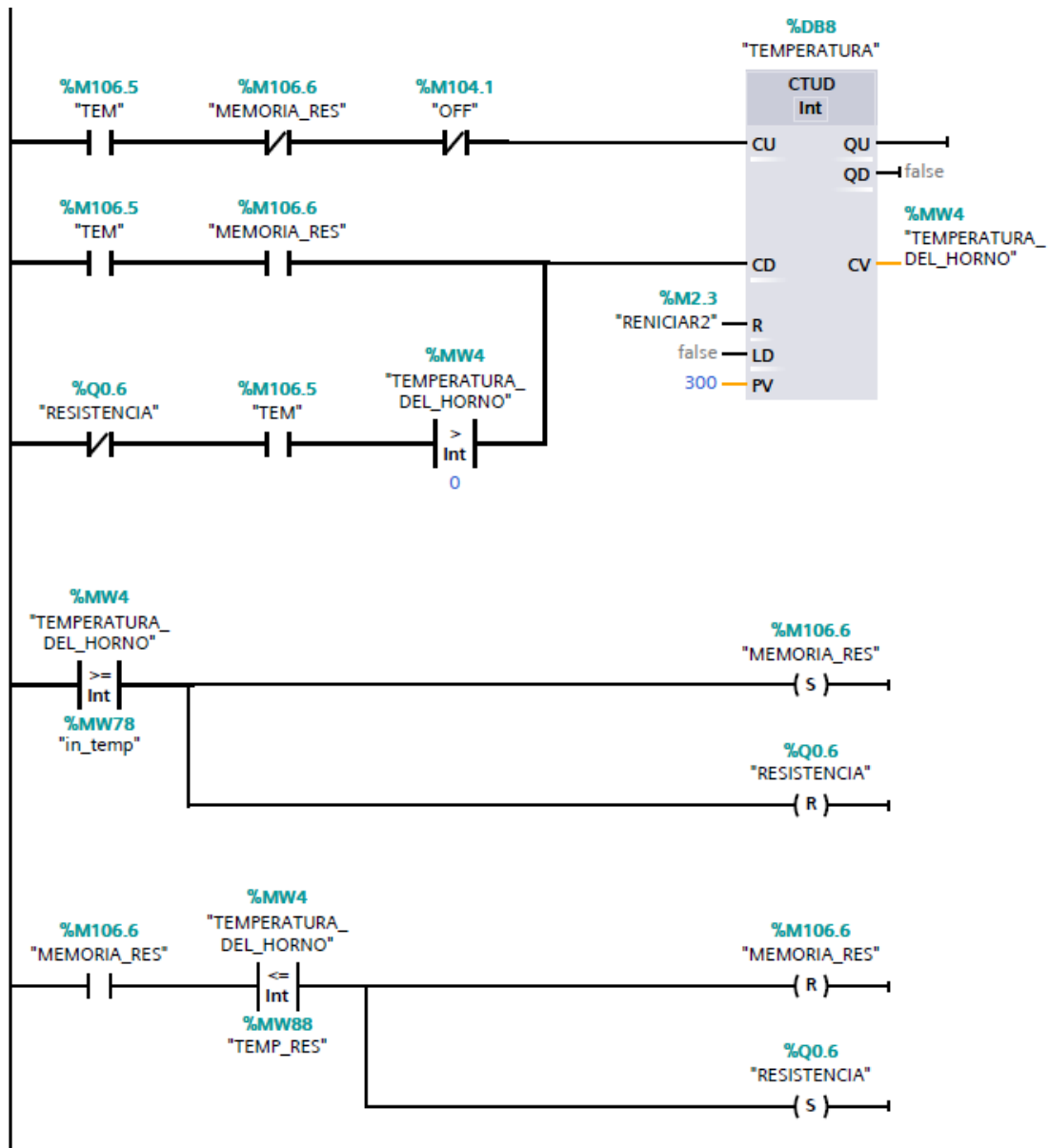
Segmento 5: Sensor de peso



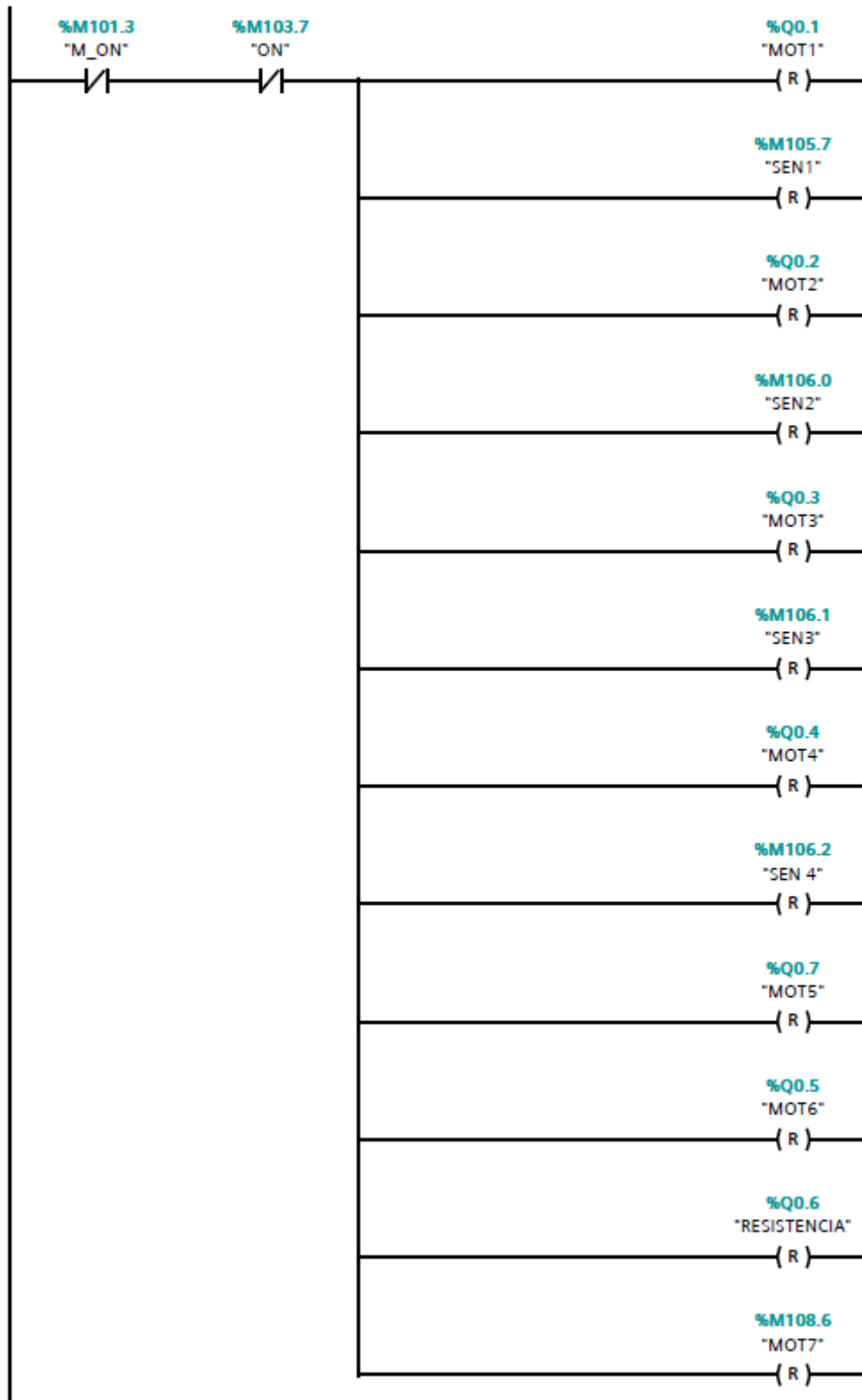
Segmento 6: Tren de pulso para simular el sensor de temperatura



Segmento 7: Sensor de temperatura

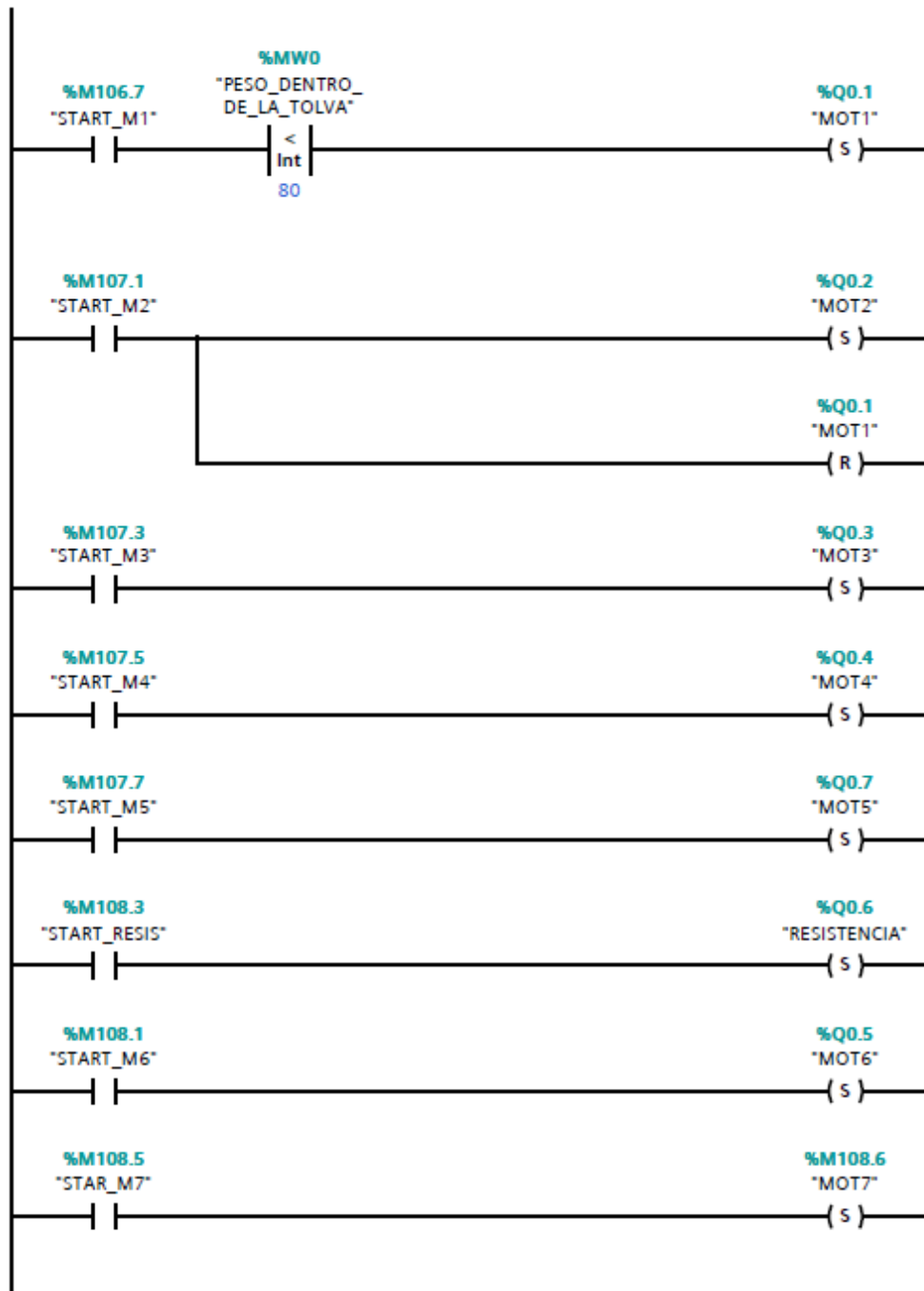


Segmento 8: Paro del sistema

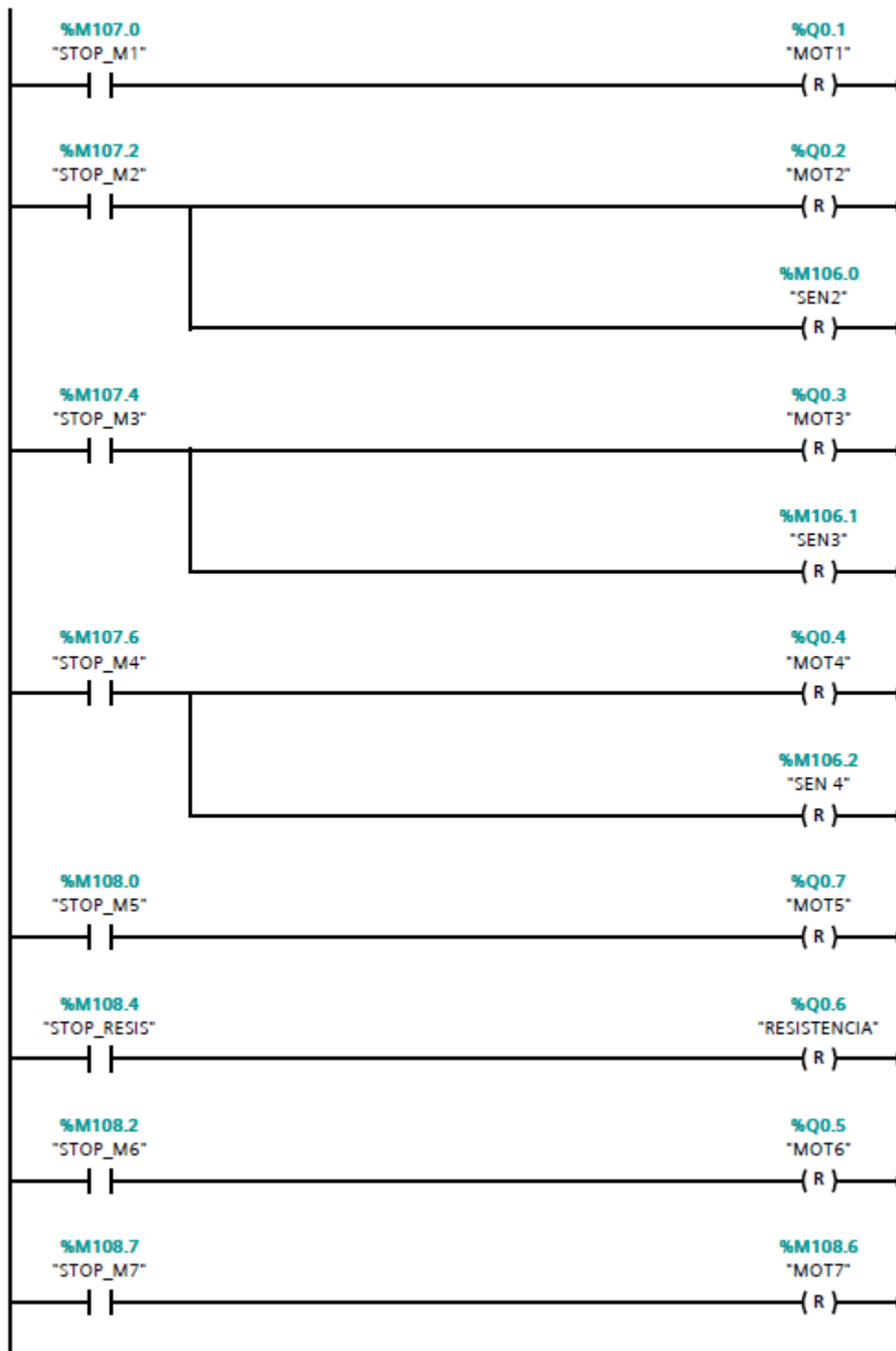


Anexo 3

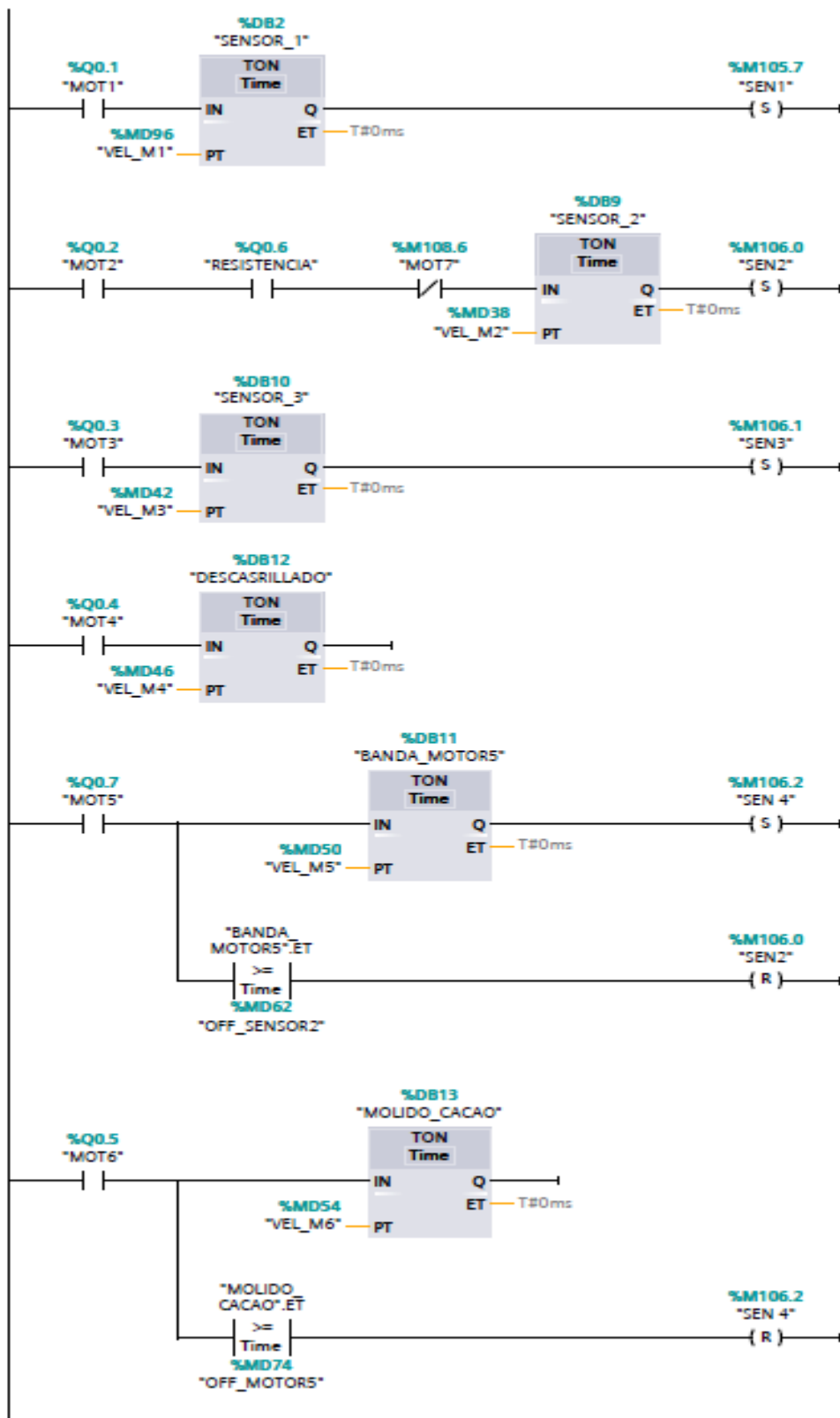
Segmento 1: Activación de los actuadores



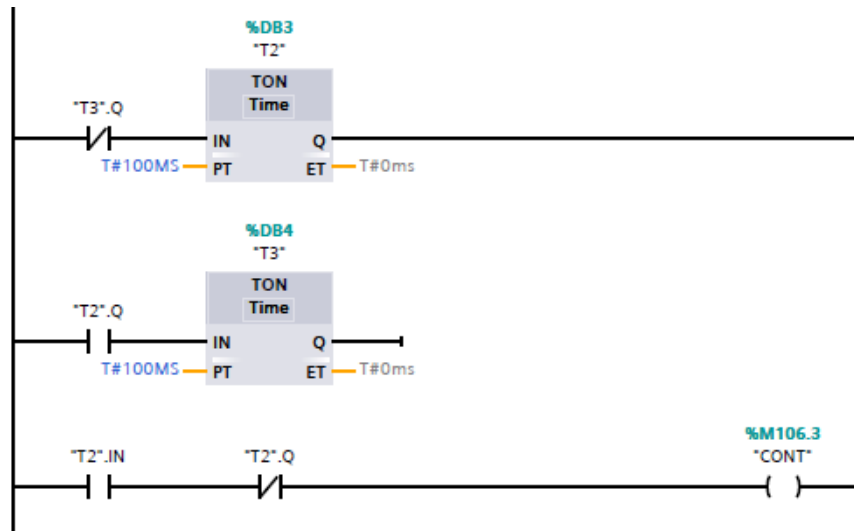
Segmento 2: Desactivación de los actuadores



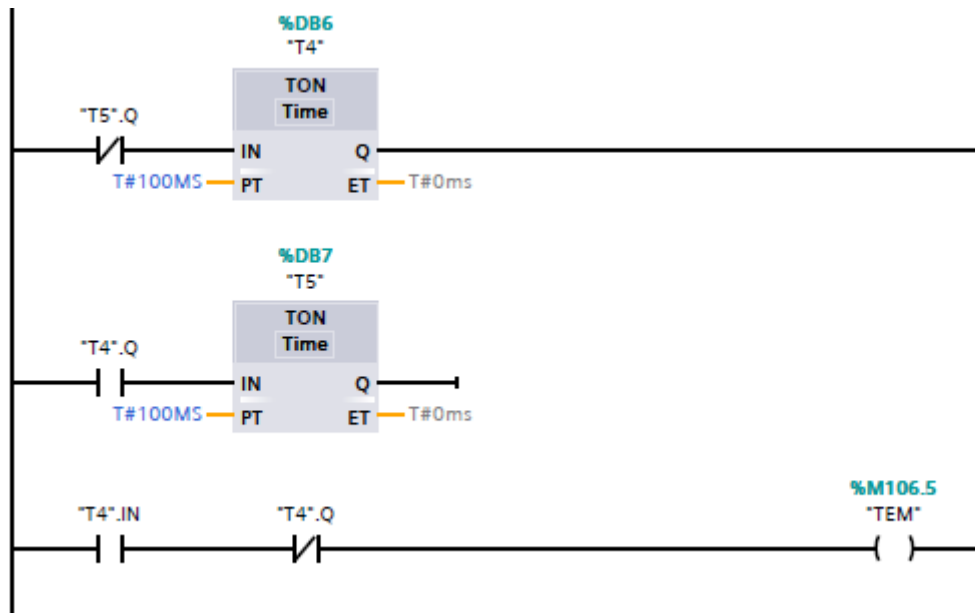
Segmento 3: Activación de los sensores



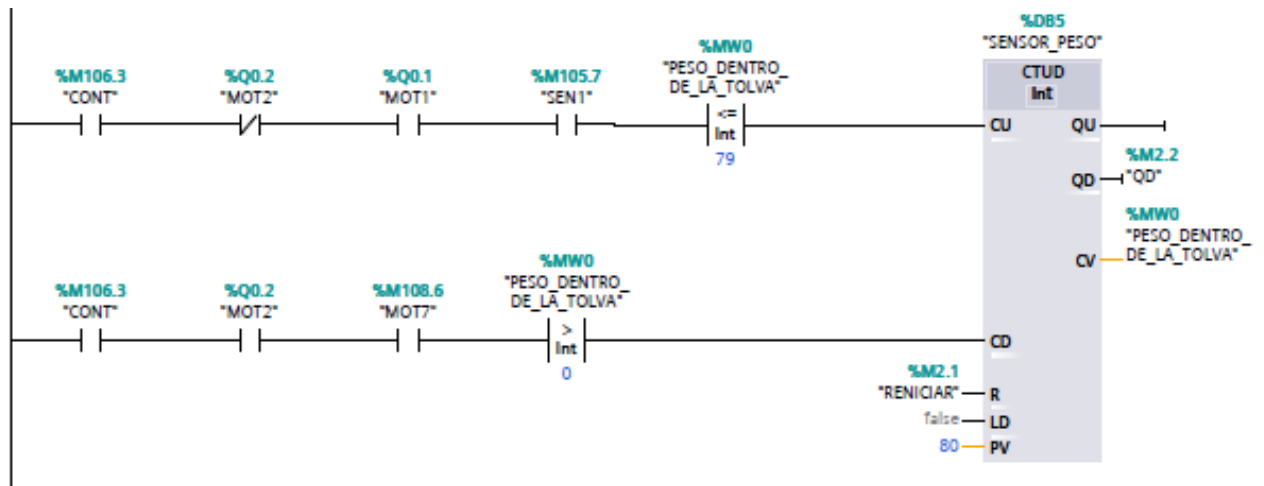
Segmento 4: Tren de pulso para el modo manual



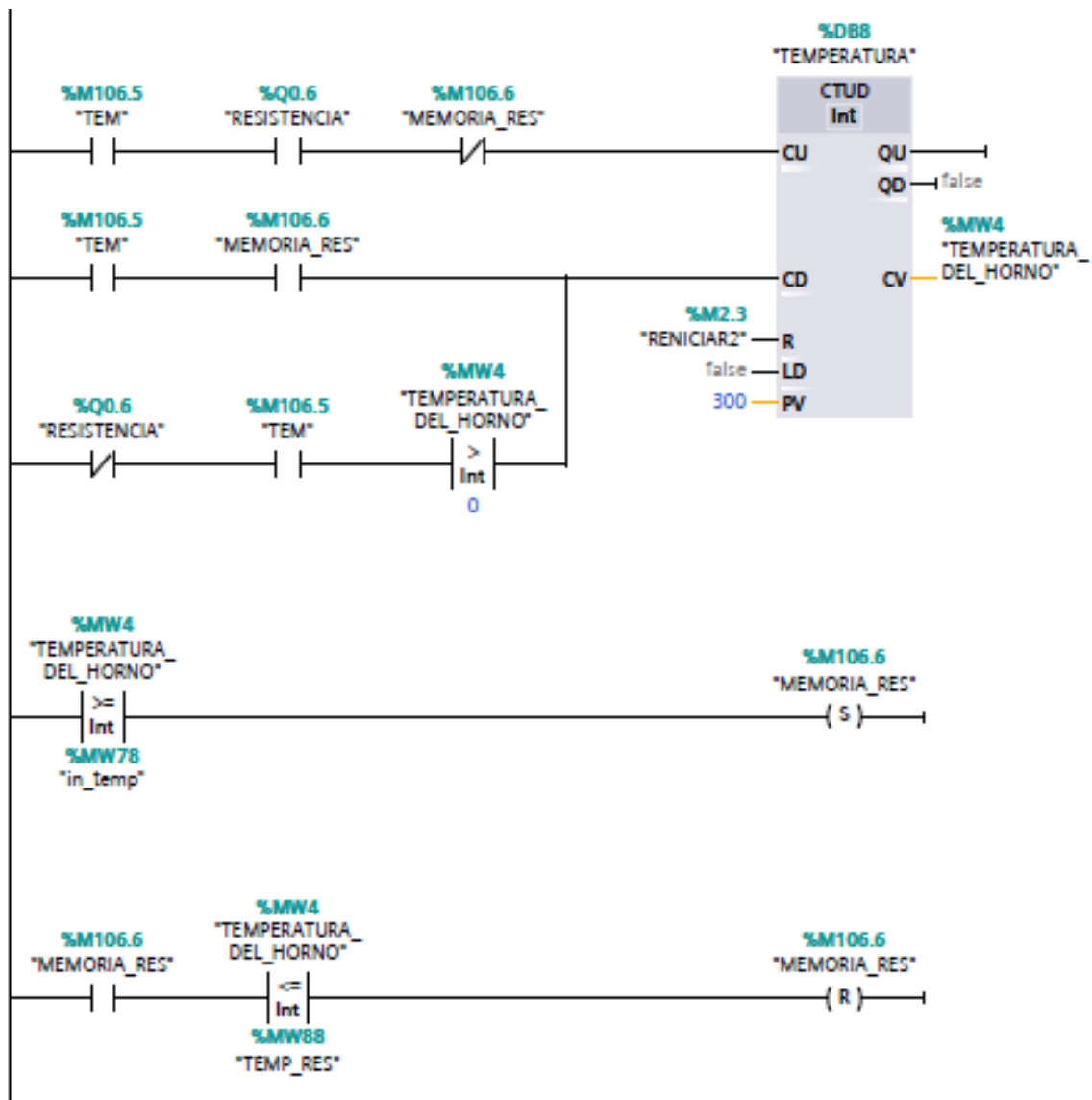
Segmento 6: Tren de pulso para el modo manual

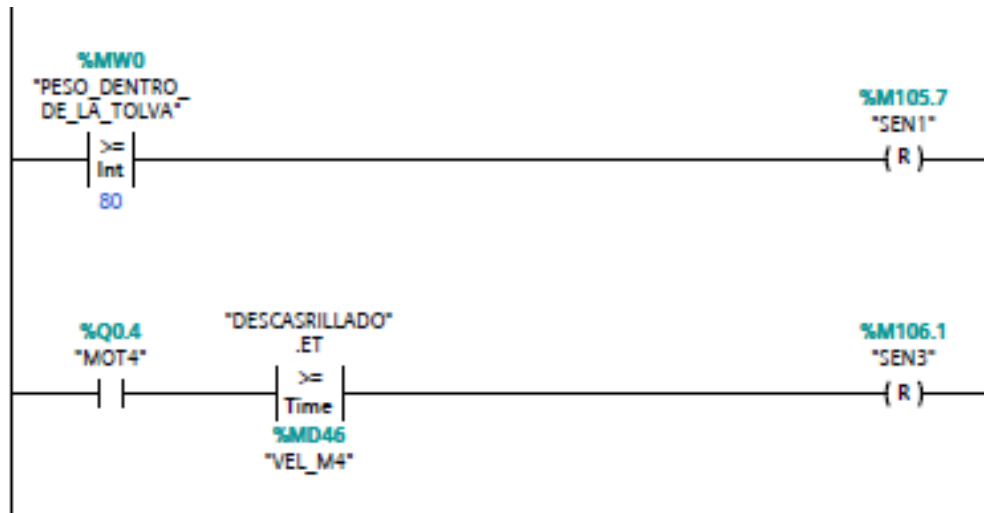


Segmento 5: Sensor de peso en el modo manual



Segmento 7: Sensor de temperatura en el modo manual





Anexo 4

Alarmas activación

