



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

Diseño y simulación de un proceso de secado de granos de arroz con regulación PID de temperatura mediante PLC y HMI.

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero en Electrónica

AUTORES: JAIR FELIPE ROMÁN AGUILAR
CARLOS ANDRÉS TINOCO SUÁREZ

TUTOR: ING. GEOVANNY XAVIER GARCÍA FLOR, MSc

Guayaquil – Ecuador
2025 – 2026

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Román Aguilar Felipe Jair con documento de identificación N° 0958813941 y Carlos Andrés Tinoco Suárez con documento de identificación N° 0924456296; manifestamos que:


Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 3 de marzo del año 2026.

Atentamente,



Carlos Andrés Tinoco Suárez
0924456296



Felipe Jair Román Aguilar
0958813941

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, con documento de identificación N° 0958813941 y con documento de identificación N° 0924456296, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: "Diseño y simulación de un proceso de secado de granos de arroz con regulación PID de temperatura mediante PLC y HMI", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Electrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 3 de marzo del año 2026.

Atentamente,



Carlos Andrés Tinoco Suárez

0924456296



Felipe Jair Román Aguilar

0958813941

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Geovanny Xavier García Flor con documento de identificación N° 0922357702, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: Diseño y simulación de un proceso de secado de granos de arroz con regulación PID de temperatura mediante PLC y HMI, realizado por con documento de identificación N° 0924456296 y con documento de identificación N° 0958813941, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 3 de marzo del año 2026.

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Geovanny García Flor', is written over a horizontal line. The signature is stylized and slanted.

Ing. Geovanny García Flor, MSc

0922357702

DEDICATORIA

*Quiero dedicar este proyecto, como símbolo del fin de una etapa a Dios.
Este logro es tanto suyo como mío. Este trabajo también está dedicado a mis
padres. Oswaldo y Marcia quienes me ayudaron tantos años de formación académica.
Dedico este logro a mis abuelas maternas y a todas las personas que llevan mi sangre.*

*Este trabajo le pertenece a cada una de las personas que de alguna manera me
demostraron paciencia, cariño, palabras de ánimo en un momento de pesar y que me
acompañaron en alguna parte
de mi formación académica.*

Carlos Andrés Tinoco Suárez

DEDICATORIA

Dedicatoria

*Quiero dedicar este título principalmente a Dios, porque sin Él esto no
hubiera sido posible, dedicárselo a mis padres quienes han sido importantes en
todo este camino, quienes me han alentado a seguir este camino y agradezco
infinitamente el apoyo brindado hacia mi persona.*

Jair Felipe Román Aguilar

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer en primer lugar a Dios, por cada vez que respondió a mis llamados personales y académicos. Sin la fortaleza, la paciencia y el amor que Él me otorgó este logro no hubiese sido posible. A mi familia, por siempre darme el amor que un hijo y un estudiante necesita para salir adelante, por cada ida a la universidad cuando ya no había buses y siempre esperarme con un plato de comida cuando llegaba cansado. A mi director de carrera por su bondad y su paciencia para conmigo y todos mis compañeros, al Ingeniero Emmanuel Torres y mi tutor Geovanny García por ser docentes con vocación para enseñar y extremadamente talentosos en su área, junto con todos los docentes que con paciencia supieron orientarme y guiarme a lo largo de mi proceso académico. Agradezco a mis amigos cercanos por siempre darme palabras de aliento y mis compañeros de salón con quienes compartí muchos momentos, conocimientos, pero sobre todo porque antes de ser colegas profesionales, muchos se volvieron mis amigos. A mi compañero de tesis, por haber compartido conmigo varias materias y su paciencia, compañerismo y respeto todos estos años. Por último, pero no menos importante, me agradezco a mí por haber sabido llevar una carrera. Soy la suma de todas las personas con las que he compartido, todas las personas que me ayudaron, de todos mis compañeros que me dieron una mano y todos los docentes que me instruyeron.

Carlos Andrés Tinoco Suárez

AGRADECIMIENTO

En primer lugar quiero agradecer a Dios, porque sin él, nada de esto hubiera sido posible, agradecer a mis padres que han sido mi guía y ayuda en todo momento, cada noche que me iban a recoger a la universidad, cada palabra de aliento y ánimo que me supieron dar, sin ellos esto no hubiera sido posible, a mi abuela Marlene que también ha sido muy importante por su ayuda brindada, también quiero agradecerle a ella, agradecer al Ingeniero Geovanny por su ayuda y paciencia en todo momento, su guía a lo largo de la carrera ha sido fundamental en esta etapa, agradezco al Ingeniero Emmanuel Torres, desde 3er semestre ha sido un guía con sus amplios conocimientos y en esta etapa final ha sido de mucha ayuda, agradezco a mi hermana por su ayuda en inglés durante los primeros semestres.

Jair Felipe Román Aguilar

RESUMEN

AÑO	ALUMNOS	DIRECTOR DEL PROYECTO	TEMA DE TRABAJO DE TITULACIÓN
2026	JAIR FELIPE ROMÁN AGUILAR CARLOS ANDRÉS TINOCO SUÁREZ	ING. GARCÍA FLOR GEOVANNY XAVIER, MSc	DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN PROCESO DE SECADO DE GRANOS DE ARROZ CON REGULACIÓN PID DE TEMPERATURA MEDIANTE PLC Y HMI.

El arroz es uno de los productos agrícolas de consumo y producción principales en el Ecuador, lo que lo convierte en un recurso valioso para la seguridad alimentaria y la economía del país. Sin embargo, el proceso de secado postcosecha continúa siendo un desafío crítico ya que la aplicación de los métodos tradicionales o un control inadecuado de la temperatura ocasionan pérdidas en la calidad del grano, fracturas y reducción de su valor comercial. Ante este problema, se plantea la necesidad de implementar un sistema de control preciso que permita garantizar condiciones favorables durante la etapa de secado.

El presente trabajo propone el diseño y simulación de un proceso de secado de granos de arroz con regulación PID de temperatura, utilizando un PLC Siemens S7-1500 y una interfaz HMI desarrollada en TIA portal. El sistema automatizado integra un lazo de control PID para mantener estable la temperatura dentro de rangos seguros y reproduce virtualmente las diferentes etapas del secado: llenado, secado activo, enfriamiento y parada. La interfaz HMI permite monitorear en tiempo real variables críticas del proceso y poder visualizar tendencias, convirtiéndose así en una herramienta de interacción directa entre operador y sistema.

ABSTRACT

YEAR	STUDENTS	PRJ. DIRECTOR	SUBJECT
2026	JAIR FELIPE ROMÁN AGUILAR CARLOS ANDRÉS TINOCO SUÁREZ	ING. GARCÍA FLOR GEOVANNY XAVIER, MSc	“DESIGN AND SIMULATION OF A RICE GRAIN DRYING PROCESS WITH PID TEMPERATURE CONTROL USING PLC AND HMI”

Rice is one of the main agricultural products consumed and produced in Ecuador, making it a valuable resource for food security and the country's economy. However, the post-harvest drying process remains a critical challenge, as the application of traditional methods or inadequate temperature control leads to grain quality losses, fractures, and a reduction in its commercial value. Given this problem, there is a need to implement a precise control system that guarantees favorable conditions during the drying stage.

This work proposes the design and simulation of a rice grain drying process with PID temperature regulation, using a Siemens S7-1500 PLC and an HMI interface developed in TIA Portal. The automated system integrates a PID control loop to maintain a stable temperature within safe ranges and virtually reproduces the different drying stages: filling, active drying, cooling, and shutdown. The HMI interface allows real-time monitoring of critical process variables and visualization of trends, thus becoming a tool for direct interaction between the operator and the system.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. PROBLEMA.....	2
2.1. IMPORTANCIA DE LA PROBLEMÁTICA.....	3
3. OBJETIVOS.....	4
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	4
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
4. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	5
4.1. PLC.....	5
4.2. PLC SIEMENS Modelo: S7-1500.....	5
4.3. HMI.....	6
4.4. Proceso de secado y conservación del arroz.....	7
4.5. Métodos tradicionales vs control automatizado.....	7
4.6. Control PID en procesos de secado.....	8
4.7. Lenguaje de programación Ladder o escalera.....	9
5. MARCO METODOLÓGICO.....	10
5.1. Descripción del proyecto.....	10
5.2. Tipo de metodología.....	11
5.2.1. Etapa 1: Recolección de datos.....	11
5.2.2. Etapa 2: Creación del proyecto.....	12
5.2.3. Etapa 3: Programación del PLC.....	18
5.2.4. Etapa 4: Diseño de la interfaz HMI.....	30
6. RESULTADOS.....	34
6.1. Programación del PLC.....	34
7. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	42

8. PRESUPUESTO	44
9. CONCLUSIONES	45
10. RECOMENDACIONES	46
11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
12. ANEXOS	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Siemens PLC SIMATIC S7-1500	5
Figura 2 Siemens SIMATIC PLC S7-1500	6
Figura 3 Diseño de Pantalla HMI.....	6
Figura 4 Gráfica de sistemas de secado	7
Figura 5 Secado tradicional.....	8
Figura 6 Control PID en procesos de secado	8
Figura 7 Ejemplo de programación tipo ladder.....	9
Figura 8 Apertura de proyecto en TIA PORTAL	12
Figura 9 Sección árbol de proyecto.....	12
Figura 10 Programación en el Main OB	13
Figura 11 Bloque de interrupción cíclica	13
Figura 12 Bloque PID	14
Figura 13 Apartado donde se agregó la librería Lsim	14
Figura 14 Ingreso de la librería al software.....	15
Figura 15 Actualización de la librería	15
Figura 16 Visualización del bloque LSim.....	16
Figura 17 Tags de variables utilizadas	16
Figura 18 Tags de variables utilizadas	17
Figura 19 Tags de variables utilizadas	17
Figura 20 Tags de variables utilizadas	18
Figura 21 Marcha paro del proceso.....	18
Figura 22 Encendido del motor.....	19
Figura 23 Detener giro del motor.....	19
Figura 24 Tanque de arroz cosechado.....	20
Figura 25 Pausado del tanque de arroz	20
Figura 26 Animación del llenado y vaciado del tanque	21
Figura 27 Detener vaciado del tanque.....	21
Figura 28 Se ingresaron valores de cosecha.....	22
Figura 29 Reset del filtrado.....	22
Figura 30 Transformación del valor de cosecha a variable.....	23
Figura 31 Pulso de 3 segundos para cálculo de humedad	23
Figura 32 Cálculo de humedad estabilizada.....	24
Figura 33 Llenado del tanque para proceso de secado.....	24
Figura 34 Stop del vaciado cuando T2 llegue a 0	25
Figura 35 Temporizador de vaciado	25
Figura 36 Reinicio del vaciado	26

Figura 37 Llenado tanque 3.....	26
Figura 38 Sensores de tanque proceso secado	27
Figura 39 Sensores de tanque almacenamiento.....	27
Figura 40 Bloque LSim.....	28
Figura 41 Bloque PID Compact.....	28
Figura 42 Entrada analógica.....	29
Figura 43 Etapa enfriamiento.....	29
Figura 44 Cálculo de enfriamiento.....	30
Figura 45 Pantalla presentación	30
Figura 46 Ingreso usuario y contraseña	31
Figura 47 Ventana principal del proceso.....	32
Figura 48 Etapa de secado.....	33
Figura 49 Tendencias del PID Setpoint vs Temperatura real.....	33
Figura 50 Librería Lsim siendo ejecutada.....	34
Figura 51 Bloque PID en ejecución	35
Figura 52 Librería de entrada analógica.....	35
Figura 53 Inicio del proceso.....	36
Figura 54 Arranque del motor en simulación.....	36
Figura 55 Paro del motor en simulación	36
Figura 56 Conteo tiempo de secado	37
Figura 57 Bloque CTUD en simulación.....	37
Figura 58 Estabilización de la humedad	38
Figura 59 Llenado tanque T2	38
Figura 60 Inicio del proceso.....	39
Figura 61 Inicio proceso de secado	40
Figura 62 Nivel alto en etapa de secado.....	41
Figura 63 Descenso del tanque de secado.....	41
Figura 64 Conexión del PLC.....	49
Figura 65 Variador de frecuencia NPN.....	50
Figura 66 Ajustes del PLC	50
Figura 67 Instalación de la memoria de reloj.....	51
Figura 68 Activación de la memoria de reloj.....	51
Figura 69 Funcionamiento de la memoria de reloj	52
Figura 70 Sensor de nivel bajo.....	52
Figura 71 Activación del sensor de nivel bajo en el network 18	53
Figura 72 Sensor de nivel medio.....	53
Figura 73 Activación del sensor de nivel medio en el network 18	54

Figura 74 Sensor de nivel alto.....	54
Figura 75 Activación del sensor de nivel alto en el network 18	55
Figura 76 Sensor de nivel bajo en el último tanque	55
Figura 77 Programación del sensor de nivel bajo del tanque de almacenamiento	56
Figura 78 Sensor de nivel medio en el último tanque	56
Figura 79 Programación del sensor de nivel medio del tanque de almacenamiento.....	57
Figura 80 Sensor de nivel alto en el último tanque	57
Figura 81 Programación del sensor de nivel alto del tanque de almacenamiento	58
Figura 82 Tanque de arroz cosecha capacidad máxima.....	59
Figura 83 Tanque de arroz cosecha en capacidad mínima.....	59
Figura 84 Tanque elevado vacío	60
Figura 85 Tanque elevado lleno.....	60
Figura 86 Llenado del tanque secado.....	61
Figura 87 Tanque de secado a la capacidad mínima	61
Figura 88 Tanque de almacenamiento vacío.....	62
Figura 89 Tanque de almacenamiento completo.....	62
Figura 90 Bloque LSim escalando valor analógico	63
Figura 91 LSim y valor analógico.....	63
Figura 92 Proceso de secado PID.....	64
Figura 93 Proceso de secado con PID.....	64
Figura 94 Etapa de enfriamiento	65
Figura 95 Etapa de enfriamiento	65
Figura 96 Cálculo para etapa de enfriamiento	66
Figura 97 Cálculo de la etapa de enfriamiento en tiempo real.....	66
Figura 98 Se agregaron pantallas en Pop-up screens	67
Figura 99 Se visualizó la pantalla emergente.....	67
Figura 100 Pantalla emergente del tanque de almacenamiento	68
Figura 101 Se añadió la opción de templates.....	68
Figura 102 Se configuró el template que se usó en el HMI	69
Figura 103 Sección donde se añadió pantallas con el template	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cronograma de actividades	42
Tabla 2. Cuadro de presupuesto	44

1. INTRODUCCIÓN

El arroz es uno de los productos de mayor relevancia para la dieta de las familias ecuatorianas y para la economía agrícola del país. Su cultivo, cosecha y procesamiento involucran una serie de etapas críticas que determinan la calidad final del grano. Entre ellas se encuentra el secado, el cual constituye una fase determinante para garantizar la conservación del producto y su valor comercial, ya que permite reducir niveles de humedad a los adecuados para su almacenamiento y consumo.

En la actualidad la automatización industrial se presenta como una alternativa indispensable para mejorar los procesos agroindustriales. La aplicación de tecnologías como controladores lógicos programables, interfaces de supervisión y la implementación de estrategias de control PID en procesos térmicos ofrece una posibilidad para mejorar la regulación de variables críticas y asegurar condiciones más estables en las etapas de producción y postcosecha.

El trabajo de titulación realizó el diseño y simulación de un sistema de secado de granos de arroz controlado mediante un lazo PID implementado en un PLC Siemens S7-1500 supervisado con una interfaz HMI. Esta propuesta integró herramientas de control y simulación en un entorno didáctico que permita comprender y reproducir de manera virtual un proceso industrial relevante.

2. PROBLEMA

El arroz es un producto alimenticio de consumo cotidiano en Ecuador y constituye un pilar relevante en la economía nacional. Su consumo anual promedio alcanza los 48 kg por persona, con una producción que supera los 1.5 millones de toneladas. Las provincias de Guayas y Los Ríos aportan alrededor del 87% de esta producción, evidenciando su impacto en el desarrollo agrícola y económico del país (Quintana, 2024).

El cultivo del arroz requiere un clima cálido y húmedo para desarrollarse en condiciones óptimas. Durante el período de siembra, la temperatura del suelo varía entre 21 °C y 37 °C, siendo perjudicial cuando se sobrepasan los límites superiores, pues pueden afectar el crecimiento de la planta. A su vez, en las noches, la temperatura no debe descender por debajo de 15 °C durante al menos tres meses para asegurar una germinación adecuada (Kogut, 2025).

Una vez cosechado, el grano de arroz presenta niveles de humedad que superan en algunos casos el 24%. Esta condición lo hace vulnerable a la proliferación de microorganismos y a la pérdida de propiedades nutricionales si no se somete a un secado oportuno. La reducción de la humedad hasta valores entre el 13% y 15% resulta indispensable para prolongar su vida útil y asegurar su calidad para el consumo. En Ecuador, se emplean métodos tradicionales como el secado al sol en “tendales”, además de métodos modernos que utilizan aire caliente generado por combustión de cascarilla de arroz (Alvarado Chiriboga & López Araujo, 2023).

La etapa de secado es crítica, ya que la aplicación de temperaturas inadecuadas puede provocar la fractura del grano y la generación de arroz quebrado, lo que reduce su valor comercial y afecta su calidad nutricional. Estudios señalan que las malas prácticas de secado inciden directamente en pérdidas económicas y disminución de la competitividad del producto (Xangsayasane, 2023).

En términos de eficiencia, el secado representa entre el 30% y el 40% del consumo energético total en la poscosecha, lo cual lo convierte en una de las etapas más demandantes y costosas del proceso (Pasuquin et al., 2020).

El diseño de sistemas de secado que optimicen la temperatura y el flujo de aire no solo contribuye a preservar la calidad del grano, sino también a reducir los costos de operación. Finalmente, tras una revisión en el repositorio institucional de la Universidad Politécnica Salesiana, se identificó la ausencia de trabajos de titulación que desarrollen una simulación integral del proceso de secado de arroz con control automático de temperatura mediante PID, programado en un PLC Siemens y supervisado a través de una interfaz HMI. Este vacío académico refuerza la pertinencia de abordar el problema desde una perspectiva tecnológica y aplicada, alineada con los retos de la industria agroindustrial en el país.

2.1. IMPORTANCIA DE LA PROBLEMÁTICA

La importancia del secado de arroz radica en que es un proceso determinante para garantizar la inocuidad y el valor comercial del grano. La humedad residual superior a los parámetros establecidos incrementa el riesgo de infestaciones por hongos e insectos, además de acelerar reacciones bioquímicas que deterioran la calidad del producto durante el almacenamiento (FAO, 2022).

La automatización de los procesos agroindustriales constituye una herramienta esencial para garantizar la calidad, la eficiencia y la competitividad en un mercado cada vez más exigente. Ante la problemática detectada en el secado del arroz en Ecuador, donde prevalecen métodos tradicionales con escaso control de las variables críticas, la incorporación de sistemas de control automático ofrece una alternativa técnica para optimizar la postcosecha y reducir pérdidas significativas.

El uso de controladores lógicos programables (PLC) permite implementar respuestas rápidas y precisas frente a variaciones en las condiciones del proceso, mientras que las interfaces HMI facilitan la visualización y el monitoreo en tiempo real. La incorporación de un lazo de control PID, ampliamente utilizado en procesos térmicos, garantiza la estabilidad de la temperatura en rangos óptimos (40 °C a 50 °C), evitando daños estructurales en el grano y preservando su calidad comercial (Li, 2024).

De manera complementaria, este proceso tiene implicaciones en la sostenibilidad productiva, dado que un control eficiente de la temperatura y la humedad reduce las pérdidas postcosecha, optimiza el uso de recursos energéticos y mejora la competitividad de los agricultores locales en mercados nacionales e internacionales.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL.

Diseñar y simular un proceso de secado de granos de arroz con regulación PID de temperatura mediante PLC y HMI.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Desarrollar la programación en el PLC para el control de temperatura del proceso.
- Diseñar la interfaz HMI para monitoreo y control.
- Implementar la programación en el PLC y HMI en un módulo del Laboratorio de Automatización Industrial.

4. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

4.1. PLC

Un controlador lógico programable (PLC) como se observa en la figura 1, tiene como función principal monitorear procesos industriales que se programaron de manera personalizada. Tienen un gran catálogo en tamaño, su funcionamiento se divide en 3 etapas principalmente, Entrada, ejecución del programa y salida (Inductive Automation, 2025).

El PLC recibe las señales de datos, se activan los sensores para el proceso de calentamiento del tanque, maneja las diferentes etapas del proceso las cuales se realizaron de forma secuencial y estas son: precalentamiento, secado activo y enfriamiento.

Figura 1

Siemens PLC SIMATIC S7-1500



Nota. Controlador Lógico Programable donde se cargó el proyecto. (Siemens, 2025).

4.2. PLC SIEMENS Modelo: S7-1500

El PLC S7-1500 de la familia SIEMENS proporciona un nivel óptimo para el rendimiento de máquinas pequeñas como grandes, con exigencias altas, comunicación confiable y funciones tecnológicas (Siemens E. , 2025).

Los controladores S7-1500 cuentan con funciones de seguridad incorporadas y capacidades avanzadas de comunicación que permiten el intercambio de datos en tiempo real. Ofrecen una integración óptima con entornos de Industria 4.0 y facilitan estrategias de mantenimiento predictivo como se observa en la figura 2 (Relepro, 2025).

Figura 2
Siemens SIMATIC PLC S7-1500



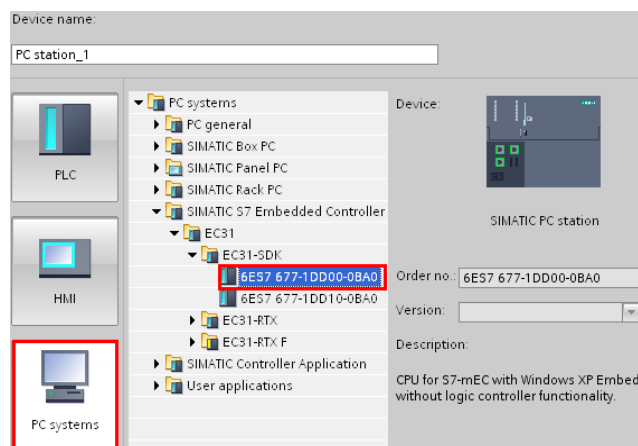
Nota. Modelo del PLC utilizado. (Relepro, 2025)

4.3. HMI

La Interfaz Hombre Máquina (HMI) es un dispositivo que permite a los usuarios interactuar con máquinas o procesos automatizados, generalmente son pantallas o paneles táctiles que demuestran en tiempo real información relevante que permite el monitoreo de cada etapa del proceso. (Punzenberger, 2025).

Su utilidad radica en poder visualizar variables como el tiempo real, la temperatura, humedad, tiempo de secado, alarmas y modificar el setpoint de temperatura. También puede iniciar, detener o reiniciar el proceso de ser necesario.

Figura 3
Diseño de Pantalla HMI



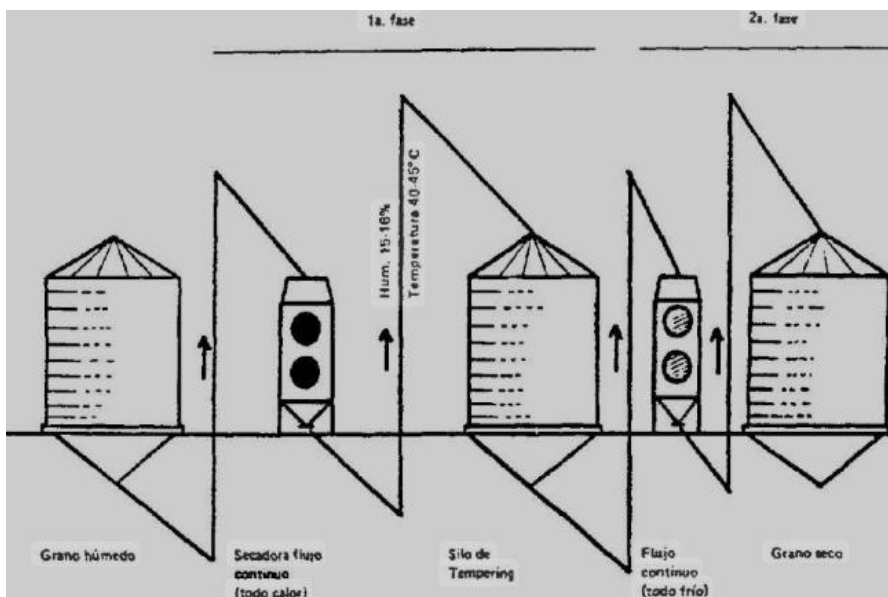
Nota. Screen 1 del Rt 1 de PC station (Siemens, 2011).

4.4. Proceso de secado y conservación del arroz

Durante la cosecha, el arroz tiene una humedad que puede variar entre 18 y 26%, lo que significa que debe ser reducido rápidamente a un rango de 12-14% de humedad para asegurar un almacenamiento seguro y evitar el crecimiento tanto de insectos como hongos. La temperatura de secado se debe situar por debajo de 50 grados Celsius y la de almacenamiento ideal es alrededor de 25 grados Celsius para prolongar la conservación hasta 17 meses, se adjunta un ejemplo en la figura 4 (Cabrera, 2022) .

Figura 4

Gráfica de sistemas de secado



Nota. Ejemplos de sistemas de secado (Secados de granos y secadoras, 2025).

4.5. Métodos tradicionales vs control automatizado

Los métodos tradicionales de secado como el tendal al sol o la aireación manual como el que se observa en la figura 5, son accesibles, pero presentan variaciones en la humedad final y riesgo de sobre secado o contaminaciones. En contraste, los secadores estacionarios con sistemas de automatización ofrecen control preciso de temperatura y flujo de aire y disminuyen el deterioro del grano. (Tin, 2024).

Figura 5
Secado tradicional

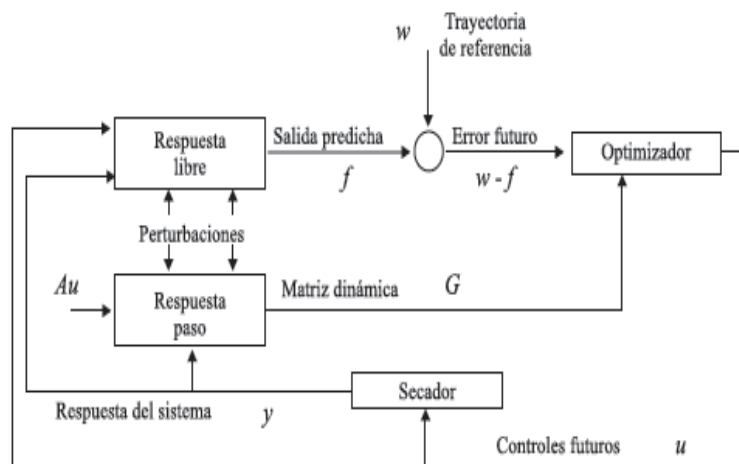


Nota. Secado tradicional (valle, 2021).

4.6. Control PID en procesos de secado

El control PID permite mantener variables críticas como la temperatura dentro de márgenes estrechados. Estudios indican que una temperatura óptima de secado gira en torno a 48-49 grados Celsius, y un control fino de PID mejora la retención de nutrientes como proteínas y almidón reduciendo errores casi por debajo del 5% en el contenido de humedad, se adjunta un ejemplo de control PID en la Figura 6 (Li, 2024).

Figura 6
Control PID en procesos de secado



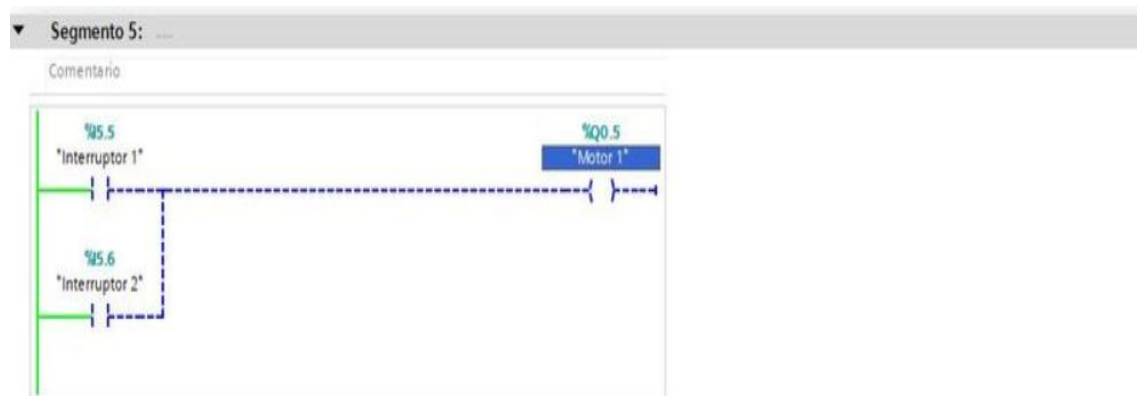
Nota. Ejemplo de control PID (Cubillos, 2010).

4.7. Lenguaje de programación Ladder o escalera

La programación Ladder es uno de los métodos de programación más utilizados, se basa en esquemas eléctricos de relés. Su diseño incluye “escalones” con “contactos” que suelen representar entradas o estados lógicos y bobinas que suelen representar salidas o funciones, permitiendo a técnicos e ingenieros familiarizados con la lógica de contactos crear programas de forma visual y sencilla. Es el lenguaje de programación estándar para un PLC y se utiliza para controlar maquinaria o procesos industriales. Se observa un ejemplo en la figura 7.

Figura 7

Ejemplo de programación tipo Ladder



Nota. En la siguiente figura (PLC, 2018) se visualiza el ejemplo más común de todos; el encendido de un motor.

5. MARCO METODOLÓGICO

5.1. Descripción del proyecto

Etapas

Una vez el proceso industrial fue definido, las etapas que se tomaron en consideración para la realización del proceso fueron las siguientes:

Etapa 1: Recolección de datos. Se recolectaron los datos y se realizó la respectiva investigación del proceso. Se revisaron los parámetros como humedad inicial y final del grano, rango de temperatura de secado, tiempo estimado de duración del proceso, análisis de métodos de secado y selección del método a simular.

Etapa 2: Diseño del sistema. Se recolectó información puesto que es importante saber el requisito del sistema; eso lleva a la importancia de haber elegido el PLC que se usó en el proyecto tomando en cuenta las entradas y salidas tanto analógicas como digitales y que posea capacidad de procesamiento.

Etapa 3: Programación de PLC. Se realizó la configuración del entorno y variables del TIA portal. Se creó toda la estructura de la programación, por ejemplo: Temporizadores, DB, tags, estados, etc. También se configuró el desarrollo del proceso simulado: inicio, traslación de tanques, calentamiento, secado, enfriamiento y parada.

Etapa 4: Implementación del bloque PID. Se creó la implementación del bloque de control PID. En la configuración del PID_Compact se simularon las variables de temperatura y se ajustaron los parámetros.

Etapa 5: Diseño del HMI. Por último, como parte de la programación se realizó el diseño del HMI y supervisión del proceso. En este apartado se diseñó la interfaz gráfica de los botones, se declararon las variables, alarmas, tendencias y lo relacionado a la visibilidad del proceso con el operador.

5.2. Tipo de metodología

Para el desarrollo de este proyecto se aplicó la metodología experimental, la cual consistió en realizar las pruebas del prototipo en un tablero del Laboratorio de Automatización Industrial II y ajustar los parámetros de configuración en el PLC según sea necesario. También se aplica la metodología sistemática, donde se estableció mediante un enfoque organizado, las etapas que se llevan a cabo para cumplir con los objetivos del prototipo.

5.2.1. Etapa 1: Recolección de datos

Secado en lecho fluidizado con aire caliente.

Este método utiliza el aire caliente que pasa a través del arroz sin descascarillar manteniendo los granos en suspensión. Se estudia cómo las distintas temperaturas de entrada de aire afectan el tiempo para alcanzar humedad segura para almacenamiento. (Syahrul, 2018)

Temperaturas usadas: 40 °C, 45 °C, 50 °C para el aire de entrada.

Humedad inicial: ~ 22 %.

Humedad final: ~ 13.1 %.

Secado por aire caliente variable en dos etapas

Este tipo de sistema utiliza un secado de 2 etapas, en la etapa inicial se ingresa una temperatura alta, después, cuando la humedad ha bajado considerablemente, reduce la temperatura para evitar dañar el arroz (Xingang, 2022).

Temperaturas usadas:

Primera etapa: 60 °C;

Segunda etapa: 45 °C.

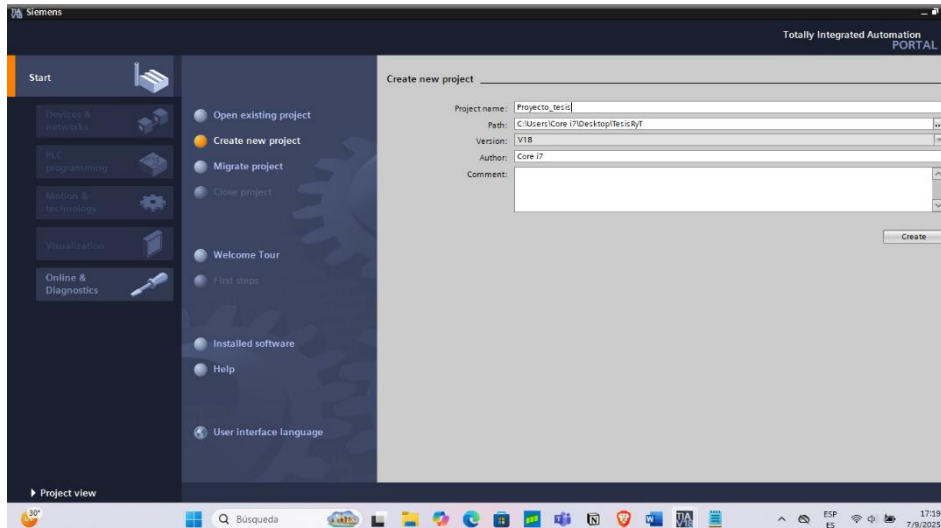
Humedad inicial: > 23 %

5.2.2. Etapa 2: Creación del proyecto

La programación del software TIA PORTAL se realizó mediante el lenguaje Ladder, el lenguaje principal que se utiliza en el TIA PORTAL como visualiza en la figura 8.

Figura 8

Apertura de proyecto en TIA PORTAL

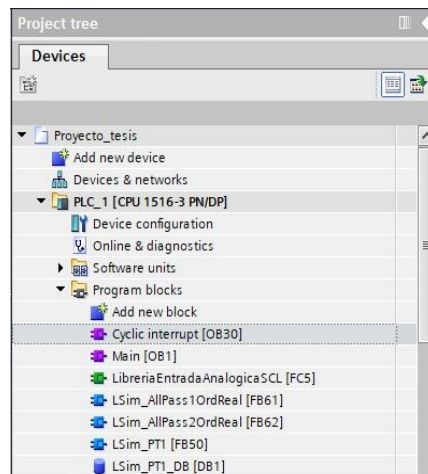


Nota. Se creó nuevo proyecto en Create new project.

Árbol de proyectos donde se realizó la programación, se observa en la figura 9.

Figura 9

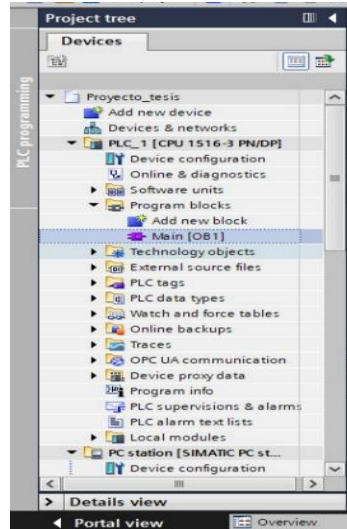
Sección árbol de proyecto



Nota. Sección de PLC, bloques cíclicos y donde se ejecutó la programación, pantallas HMI, tags y librerías agregadas.

Se realizó la programación en el bloque Main OB que se abre por defecto al ingresar a TIA PORTAL, como se observa en la figura 10.

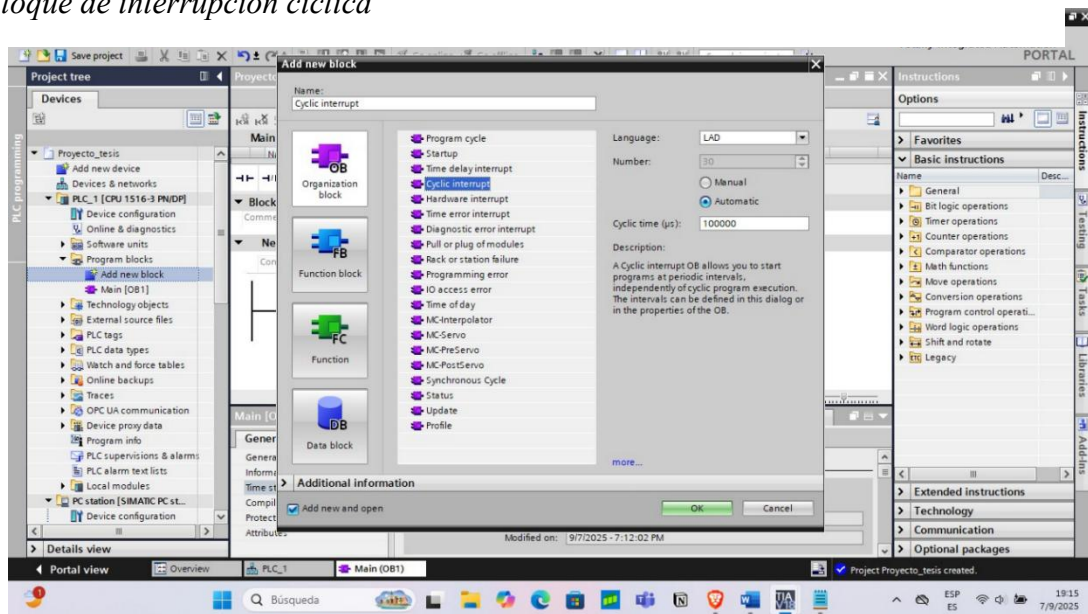
Figura 10
Programación en el Main OB



Nota. Bloque donde se realizó la programación principal.

Se agregó un bloque de interrupción cíclica para realizar la programación del bloque PID y LSim, se puede observar en la figura 11.

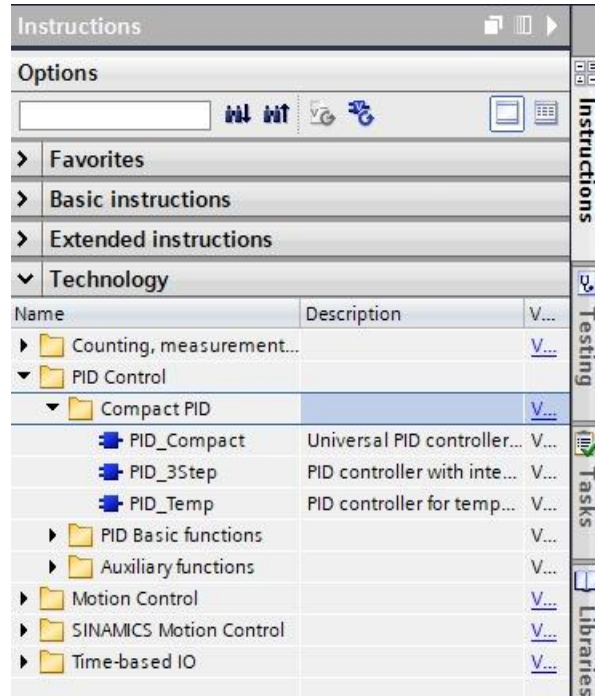
Figura 11
Bloque de interrupción cíclica



Nota. Se añadió un bloque de interrupción cíclica para el control PID.

El bloque PID se lo insertó desde el apartado de tecnologías como se observa en la figura 12.

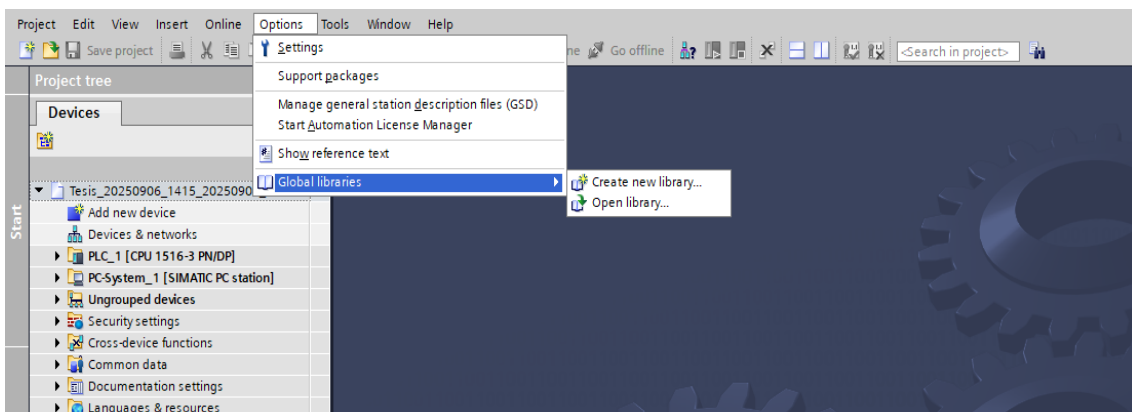
Figura 12
Bloque PID



Nota. Se ingresó el bloque PID al bloque de interrupción cíclico.

Se añadió la librería Lsim desde el apartado de opciones como se muestra en la figura 13, se presiona abrir librería para escoger la librería.

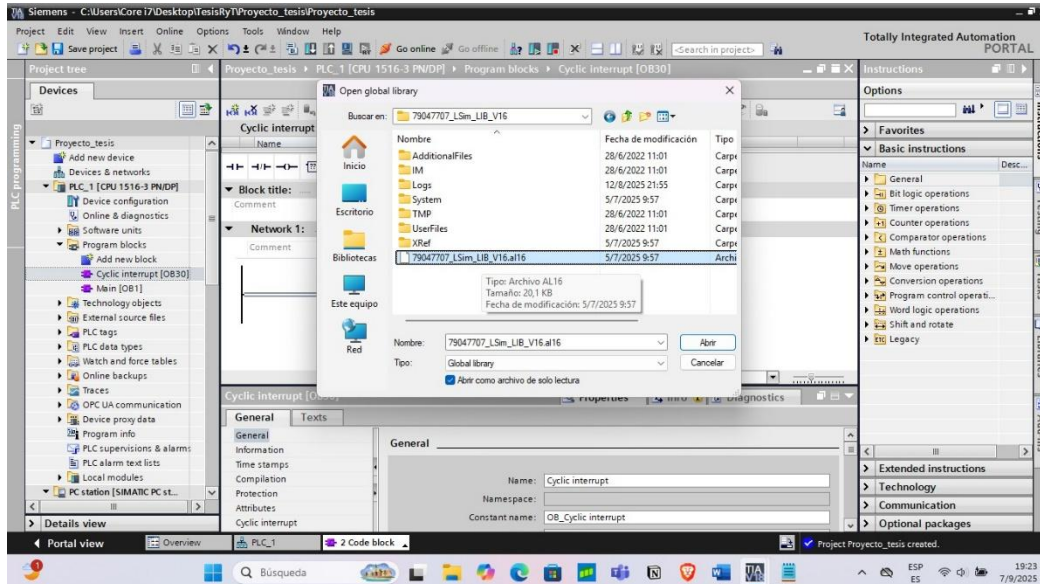
Figura 13
Apartado donde se agregó la librería Lsim



Nota. Se exportó la librería Lsim.

Se escogió la librería Lsim y se realizó la apertura en el bloque para realizar la programación como se visualiza en la figura 14.

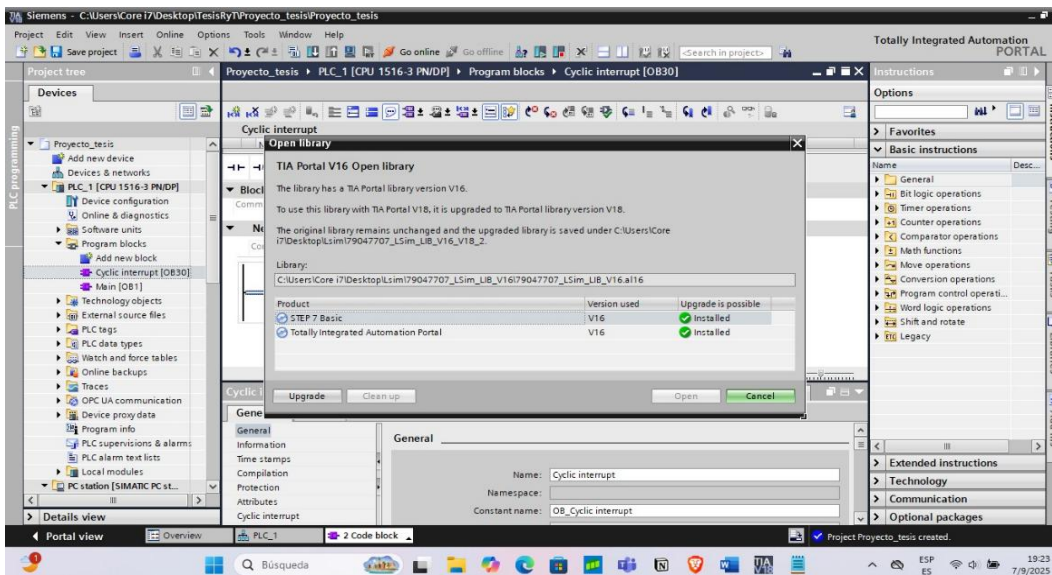
Figura 14
Ingreso de la librería al software



Nota. Se escogió la librería Lsim.

Se actualizó la librería de la versión 16 a la versión 18 ya que el software lo detecta como se observa en la figura 15.

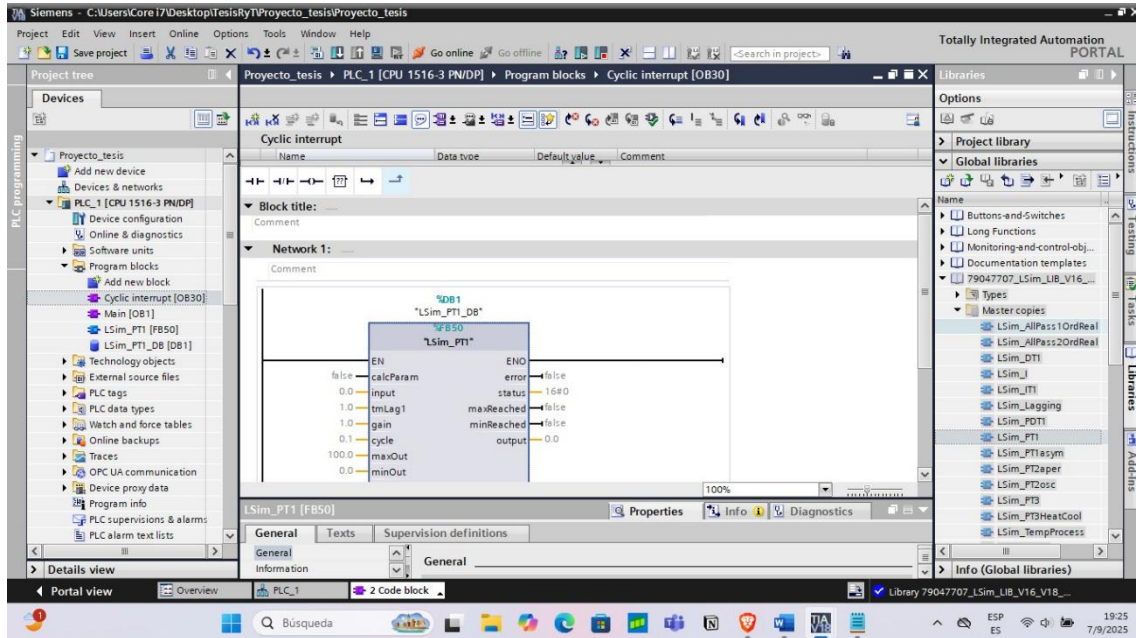
Figura 15
Actualización de la librería



Nota. Se realizó la actualización de la librería de la versión v16 a la versión v18.

El bloque que se añadió es el Lsim_PT1_DB, es el bloque que simuló la entrada de calor, se observa en la figura 16.

Figura 16
Visualización del bloque LSim



Nota. Se visualizó el bloque Lsimpt1 añadido.

Variables utilizadas en todo el proyecto como se observa en la figura 17.

Figura 17
Tags de variables utilizadas

PLC tags									
	Name	Tag table	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...	
1	Arranque del motor	Default tag table	Bool	%Q0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	Marcha	Default tag table	Bool	%M0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	Paro	Default tag table	Bool	%M0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	inicio	Default tag table	Bool	%M0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
5	on	Default tag table	Bool	%M0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
6	off	Default tag table	Bool	%M0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
7	luz_on	Default tag table	Bool	%M0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
8	luz_off	Default tag table	Bool	%M0.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
9	Humedad_Cosecha	Default tag table	Int	%MW2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
10	Humedad B	Default tag table	Int	%MW4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
11	Tiempo_Transcurrido	Default tag table	Time	%MD6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
12	Pulso	Default tag table	Bool	%M0.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
13	InputLSIM	Default tag table	Real	%MD10	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
14	Input_PID	Default tag table	Real	%MD14	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
15	Setpoint	Default tag table	Int	%MW22	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
16	Salida_PID	Default tag table	Real	%MD18	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
17	Delta_Humedad	Default tag table	Real	%MD24	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
18	Humedad variable	Default tag table	Real	%MD28	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
19	Humedad estabilizada	Default tag table	Real	%MD32	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
20	Humedad_Final	Default tag table	Real	%MD36	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
21	Valvula_cerrada	Default tag table	Bool	%M1.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
22	valvula_abierta	Default tag table	Bool	%M1.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
23	reset	Default tag table	Bool	%M1.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
24	Niveld del tanke	Default tag table	Int	%MW40	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Nota. Tabla de variables.

Todos los Tags que se utilizaron durante el proyecto como se observa en la figura 18.

Figura 18

Tags de variables utilizadas

PLC tags									
	Name	Tag table	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...	..
25	Capacidad_T1	Default tag table	Int	%MW42	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
26	Nivel1	Default tag table	Int	%MW44	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
27	Nivel_t2	Default tag table	Int	%MW50	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
28	Ingresar_capacidad	Default tag table	Real	%MD52	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
29	cargar	Default tag table	Bool	%M1.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
30	Indicador_rojo	Default tag table	Bool	%M1.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
31	Capturador	Default tag table	Bool	%M1.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
32	Inicio_Proceso	Default tag table	Bool	%M1.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
33	Flanco_Llenado	Default tag table	Bool	%M1.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
34	Ton_Llenado	Default tag table	Bool	%M56.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
35	T1_Lleno	Default tag table	Bool	%M56.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
36	Pulso Llenado	Default tag table	Bool	%M46.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
37	Pulso_T2	Default tag table	Bool	%M46.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
38	Nivel_FinalT2	Default tag table	Bool	%M46.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
39	Pulso_T1	Default tag table	Bool	%M46.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
40	Stop_Runtime	Default tag table	Bool	%M46.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
41	Ton_T1_Reset	Default tag table	Bool	%M46.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
42	Trasvase_Incremento	Default tag table	Bool	%M46.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
43	Ton_trasvase_Reset	Default tag table	Bool	%M46.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
44	Clock_Byte	Default tag table	Byte	%MB100	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
45	Clock_10Hz	Default tag table	Bool	%M100.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
46	Clock_5Hz	Default tag table	Bool	%M100.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
47	Clock_2.5Hz	Default tag table	Bool	%M100.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
48	Clock_2Hz	Default tag table	Bool	%M100.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Nota. Tabla de variables.

En esta tabla de variables se utilizaron las marcas de reloj y reset, como se visualiza en la figura 19.

Figura 19

Tags de variables utilizadas

PLC tags									
	Name	Tag table	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...	..
49	Clock_1.25Hz	Default tag table	Bool	%M100.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
50	Clock_1Hz	Default tag table	Bool	%M100.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
51	Clock_0.625Hz	Default tag table	Bool	%M100.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
52	Clock_0.5Hz	Default tag table	Bool	%M100.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
53	Tag_1	Default tag table	Bool	%M20.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
54	tag_2	Default tag table	Bool	%M47.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
55	Tag_3	Default tag table	Bool	%M47.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
56	Llenado_Tanque1	Default tag table	Int	%MW48	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
57	Id_reset	Default tag table	Bool	%M47.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
58	Vaciado_Tanque1	Default tag table	Int	%MW58	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
59	EstabilizadoT1 Suma	Default tag table	Real	%MD60	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
60	EstabilizadoT1 resta	Default tag table	Real	%MD64	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
61	Llenado_Tanque2	Default tag table	Int	%MW68	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
62	Valor_estabilizado	Default tag table	Real	%MD70	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
63	PID_Estabilizado	Default tag table	Real	%MD74	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
64	Tiempo	Default tag table	Dint	%MD78	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
65	Tag_4	Default tag table	Bool	%M47.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
66	tiempo_pantalla	Default tag table	Int	%MW82	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
67	reset2	Default tag table	Bool	%M47.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
68	uno	Default tag table	Bool	%M47.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
69	prueba3	Default tag table	Int	%MW84	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
70	pv1	Default tag table	Int	%MW86	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
71	Motor_on	Default tag table	Bool	%I0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
72	Motor_ON Hmi	Default tag table	Bool	%M47.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Nota. Tabla de variables.

Tags de variables utilizadas como se observa en la figura 20.

Figura 20

Tags de variables utilizadas

PLC tags									
	Name	Tag table	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...	...
71	Motor_on	Default tag table	Bool	%I0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
72	Motor_ON_Hmi	Default tag table	Bool	%M47.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
73	Motor_off	Default tag table	Bool	%I0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
74	Motor encendido	Default tag table	Bool	%M56.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
75	MotorQ	Default tag table	Bool	%M56.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
76	Motor_Off_HMI	Default tag table	Bool	%M56.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
77	Motor1	Default tag table	Bool	%Q0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
78	Led_Motor	Default tag table	Bool	%Q0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
79	vaciado	Default tag table	Int	%MW88	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
80	valor_minimo	Default tag table	Int	%MW90	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
81	Giro	Default tag table	Bool	%Q0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
82	Resetar motor	Default tag table	Bool	%M47.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
83	Condicion arranque motor	Default tag table	Int	%MW92	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
84	Reset_motor	Default tag table	Bool	%M56.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
85	Tag_5	Default tag table	Bool	%M56.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
86	LlemaTI	Default tag table	Bool	%M56.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
87	<Add new>				<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Nota. Tabla de variables.

5.2.3. Etapa 3: Programación del PLC

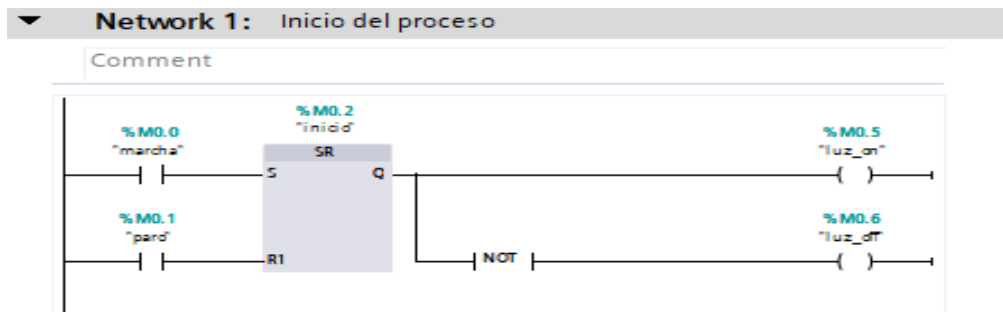
La programación fue realizada en lenguaje Ladder o escalera, en la cual se estableció la lógica de control, el tren de pulso, la validación de entradas y salidas digitales del PLC, estados de encendido y arranque/parada del motor.

5.2.3.1. Network 1: Marcha-Paro del proceso

Se agregó un bloque set-reset, mediante el uso de contactos abierto se realizó el inicio de la simulación, se asignaron los contactos a los respectivos botones del hmi, se agregaron bobinas que indicaron si el sistema está en marcha o paro, se observa en la figura 21.

Figura 21

Marcha paro del proceso

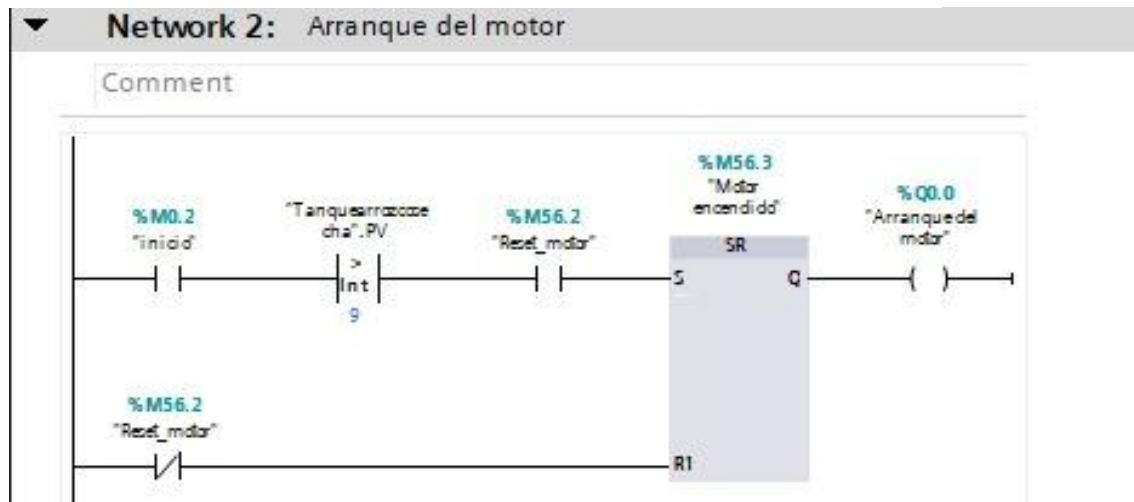


Nota. Contactos abiertos conectados a los botones marcha y paro del HMI.

5.2.3.2. Network 2: Arranque del motor

Mediante un bloque SR, se agregaron 2 contactos, el motor giro mientras se está vaciando el tanque de arroz cosechado y la salida es una bobina con salida Q.0.0, se observa en la figura 22.

Figura 22
Encendido del motor

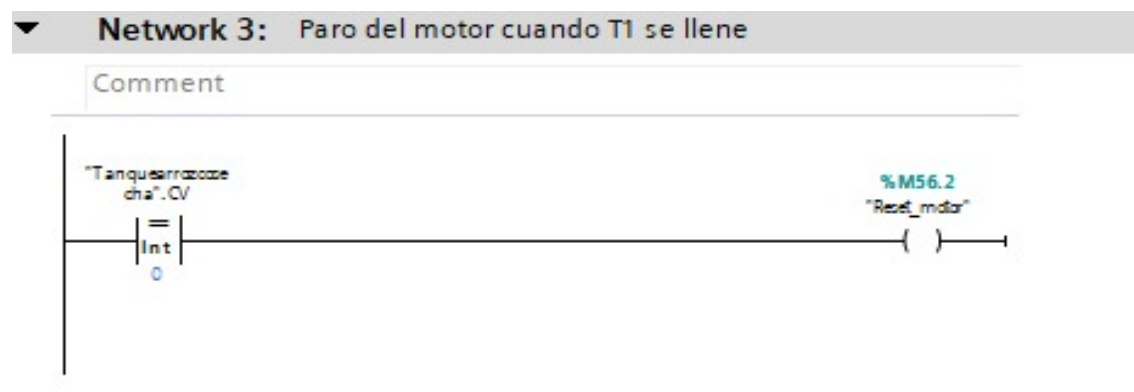


Nota. La condición del comparador habilitó y deshabilitó el motor.

5.2.3.3. Network 3: Reset del motor

El reset del motor se realizó en otro network, se utilizó un comparador y una bobina de reset, el comparador indica que cuando el nivel del tanque de arroz cosecha llegue a 0, se activó la bobina y envió una señal al contacto abierto en el network anterior, deteniendo el giro del motor, se visualiza en la figura 23.

Figura 23
Detener giro del motor

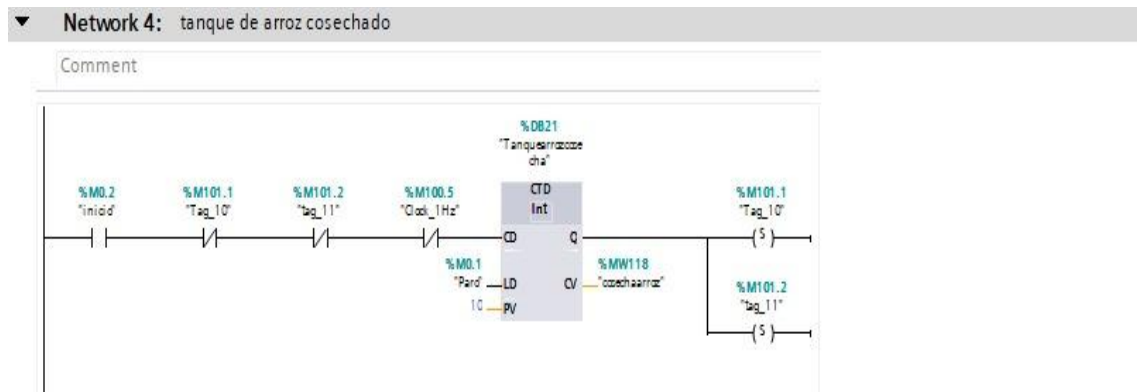


Nota. Se ingresó un comparador que realizó el paro del motor.

5.2.3.4. Network4: Tanque de arroz cosechado

En el network 4 es del tanque del arroz cosechado, este es un contador descendente y es donde se encuentra el grano de arroz antes del proceso de secado y almacenamiento, se visualiza en la figura 24.

Figura 24
Tanque de arroz cosechado

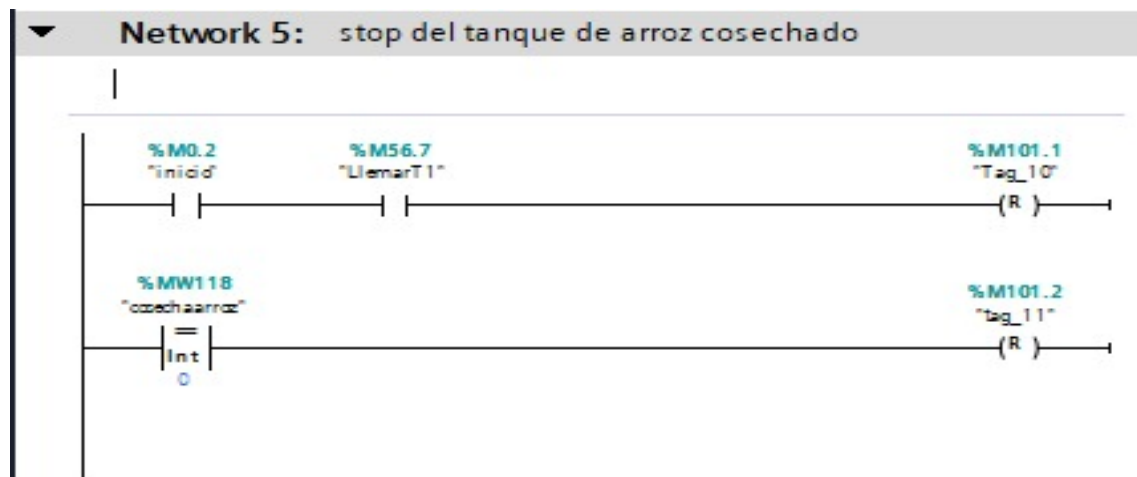


Nota. Es el primer tanque que se vació iniciando las siguientes etapas.

5.2.3.5. Network 5: Stop del vaciado del tanque

En el network se agregaron 2 líneas, el vaciado ocurre cuando se activa el contacto de llenarT1, el vaciado se detiene cuando el nivel del tanque llega a 0, se observa en la figura 25.

Figura 25
Pausado del tanque de arroz



Nota. El comparador detuvo el proceso del vaciado.

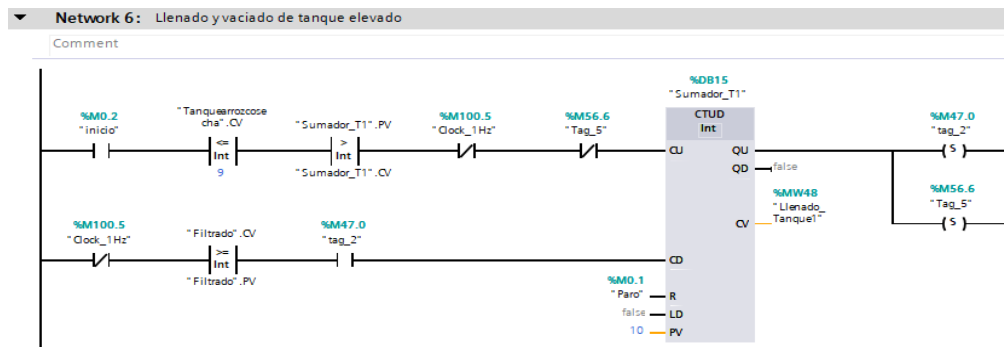
5.2.3.6. Network 6: Llenado y vaciado del tanque elevado

El llenado del tanque elevado se realizó cuando el nivel del tanque 1 empezó a bajar y gradualmente el nivel del tanque elevado subió, es un proceso que ocurre al mismo tiempo.

Se agregaron 2 bobinas de tag_2 y tag_5, fueron usadas para abrirse y cerrarse simultáneamente, el vaciado del tanque ocurrió cuando el tiempo de filtrado se haya completado, se visualiza en la figura 26.

Figura 26

Animación del llenado y vaciado del tanque



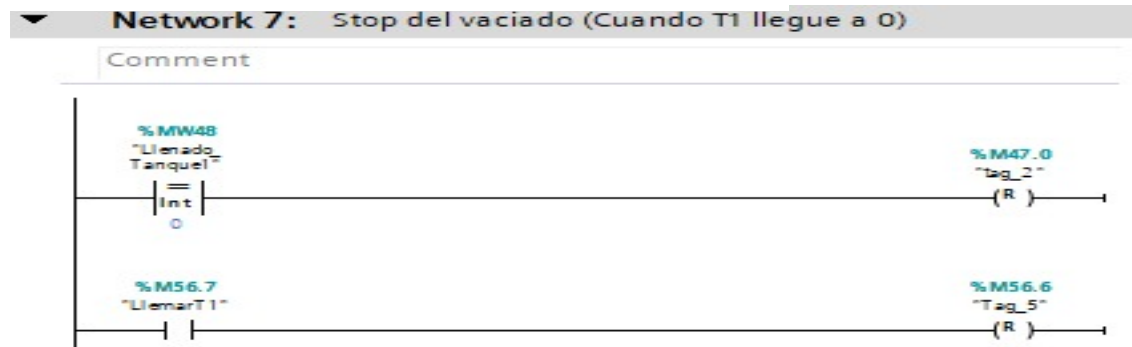
Nota. Con un bloque CTUD se realizó el llenado y vaciado del tanque elevado.

5.2.3.7. Network 7: Stop del vaciado

El contacto llamado llenart1 es el encargado de realizar el llenado del tanque, una vez se llenó, envió una señal al contacto normalmente cerrado del network anterior, lo que abrió el contacto y detuvo el llenado del tanque. Para detener el vaciado se utilizó un comparador conectado a la bobina tag_2, cuando el nivel del tanque sea igual a 0, envía una señal que detendrá el vaciado, se observa en la figura 27.

Figura 27

Detener vaciado del tanque



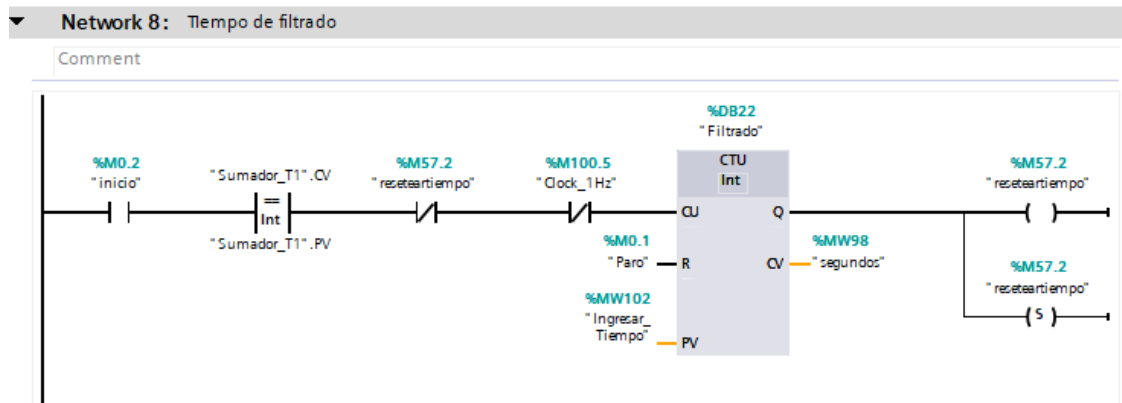
Nota. Los tags_5 y tag_2 están conectados a los contactos abiertos y cerrados del network anterior.

5.2.3.8. Network 8: Tiempo de filtrado del grano de arroz

En este network se realiza el tiempo de filtrado que permitió el vaciado del tanque elevado, cuando el tiempo se cumplió el tanque empezó a vaciarse y se llenó el tanque que realizó el secado del grano de arroz, se observa en la figura 28.

Figura 28

Se ingresaron valores de cosecha



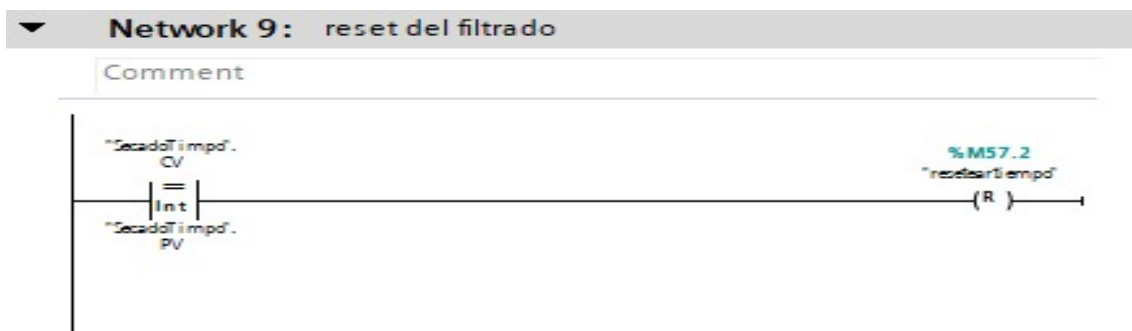
Nota. Es el proceso de filtrado que ocurrió en el tanque elevado.

5.2.3.9. Network 9: Stop del filtrado

Se agregó un comparador, una vez el tiempo se cumplió, es decir la entrada PV sea igual a la salida CV, detuvo el conteo que se realizó en el tiempo de filtrado, se observa en la figura 29.

Figura 29

Reset del filtrado



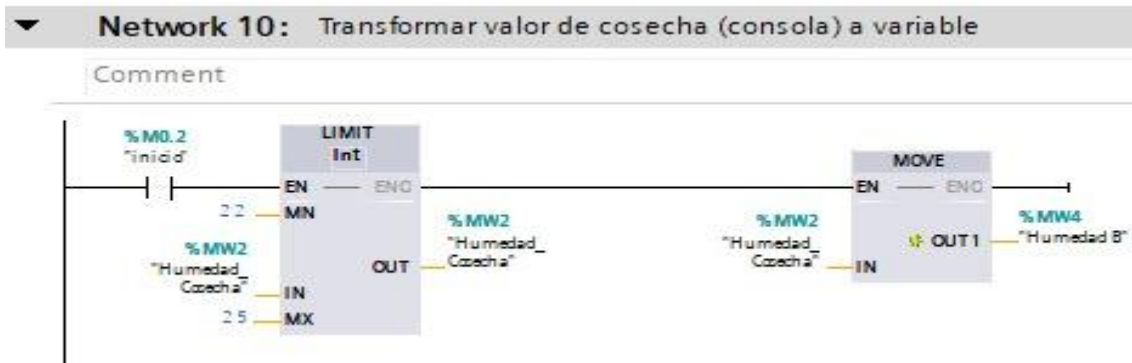
Nota. Se detiene el conteo al cumplirse la condición

5.2.3.10. Network 10: Transformar valor de cosecha a variable

En el bloque limit se agregó el valor máximo y mínimo de humedad que se obtiene en una cosecha de arroz, posteriormente la salida es ingresada a un bloque move que guardó los valores en una nueva variable, se observa en la figura 30.

Figura 30

Transformación del valor de cosecha a variable



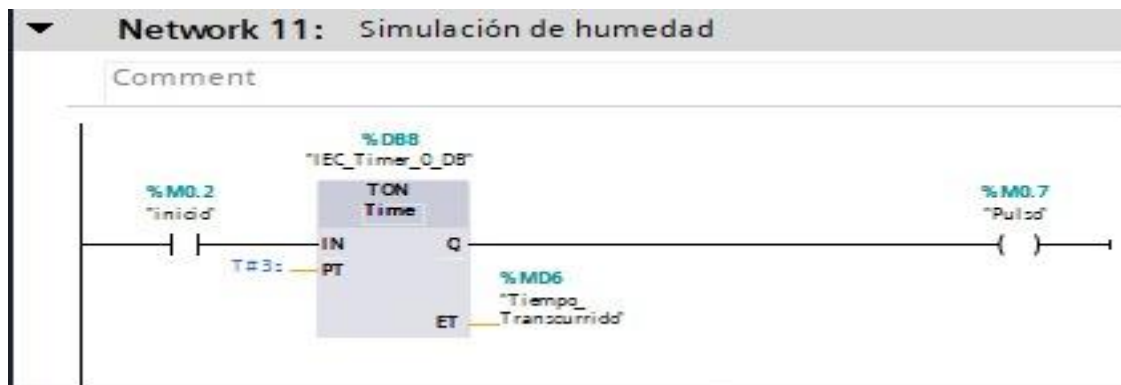
Nota. Se utilizaron bloques Limit y Move para este network

5.2.3.11. Network 11: Inicio de la simulación de humedad

Se agregó un temporizador, se ingresa una bobina llamada pulso, este network es sustancial para que la simulación de humedad vaya progresando cada 3 segundos y no se haga de forma inmediata como se visualiza en la figura 31.

Figura 31

Pulso de 3 segundos para cálculo de humedad

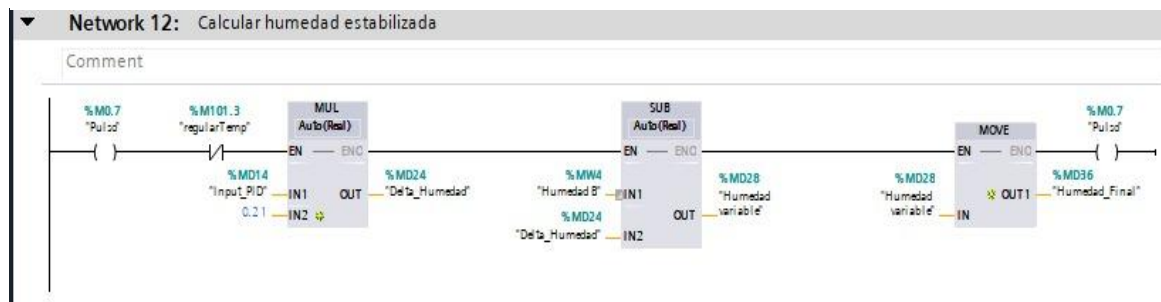


Nota. Temporizador que realiza la simulación de humedad.

5.2.3.12. Network12: Calcular humedad estabilizada

En el siguiente network se realizó el cálculo de la humedad realizando primero una multiplicación de la salida real del PID con un factor K que permite la conversión a porcentaje de humedad. Posteriormente, se realizó la resta con la humedad que se obtuvo en el network anterior obteniendo el final un valor de humedad que debe rondar entre el 10% y 15%, se observa en la figura 32.

Figura 32
Cálculo de humedad estabilizada

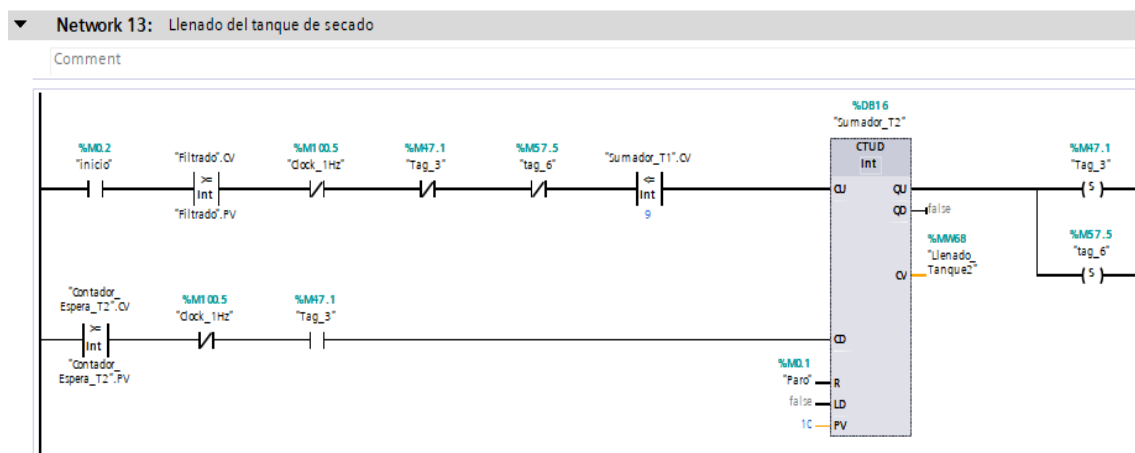


Nota. Se utilizaron bloques de multiplicación y substracción.

5.2.3.13. Network13: Llenado del tanque de secado

En este tanque es donde se realizó el secado de grano de arroz, una vez el tanque alcanzó su capacidad máxima, se inició el calentamiento y se vació cuando se cumpla el tiempo de enfriamiento, se observa en la figura 33.

Figura 33
Llenado del tanque para proceso de secado



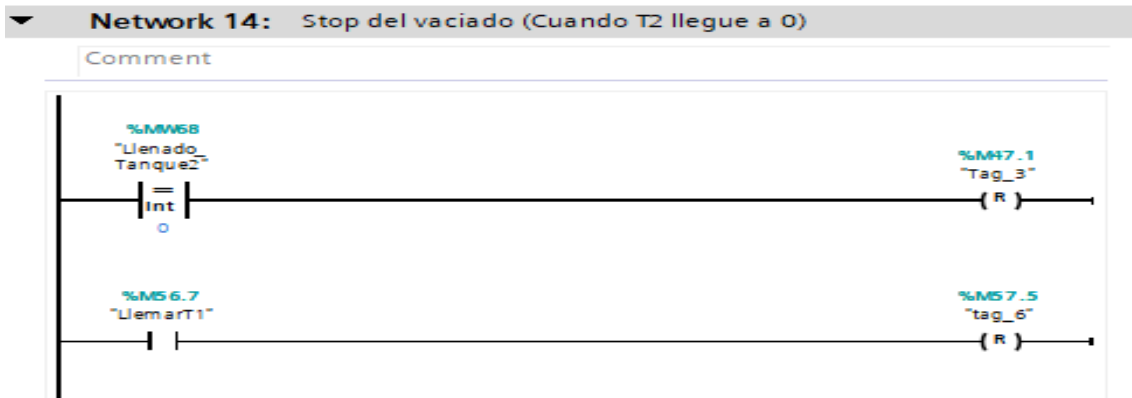
Nota. Llenado del tanque y vaciado del tanque del secado. Se utilizaron comparadores y pulsos

5.2.3.14. Network 14: Stop del vaciado del Tanque 2

En este network se realizó el stop tanto del llenado y vaciado del tanque de secado, primero se llenó el tanque con el tag_6, luego al vaciarse cuando el llenado del tanque sea igual a 0 se activa el tag_5 deteniendo el vaciado, se observa en la figura 34.

Figura 34

Stop del vaciado cuando T2 llegue a 0



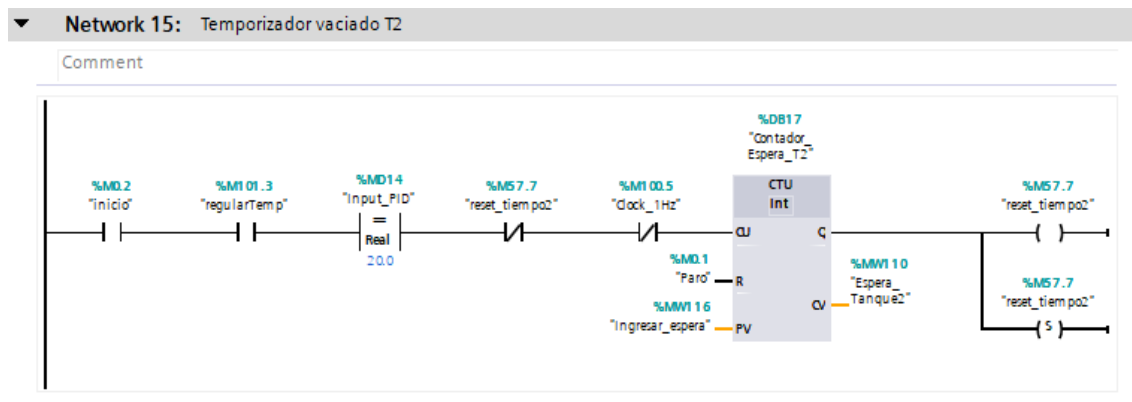
Nota. Código del stop del vaciado.

5.2.3.15. Network 15: Temporizador de vaciado tanque 2

En este network está el contador espera, cuando el PID sea igual a 20 se realizó el conteo, se observa en la figura 35.

Figura 35

Temporizador de vaciado

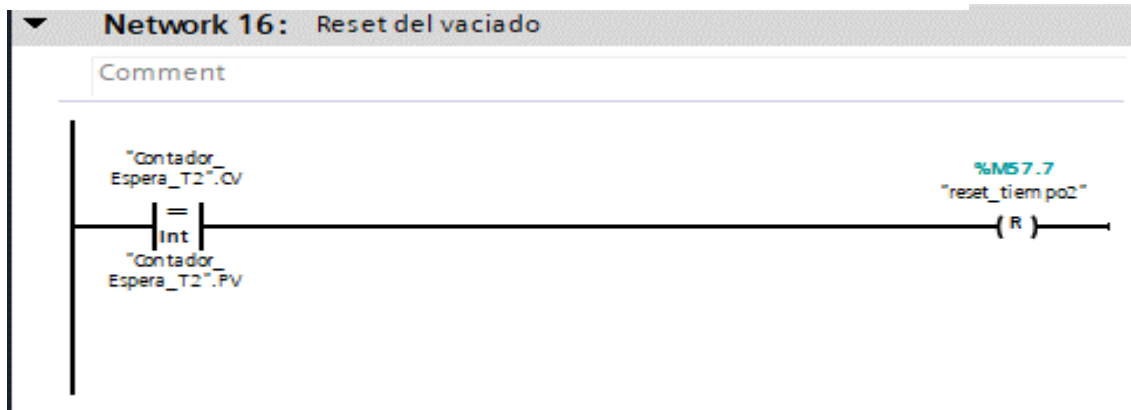


Nota. Código del temporizador para vaciar el tanque.

5.2.3.16. Network 16: Reset del vaciado

Una vez la entrada y salida del contador fue igual, se envió una señal al reset_tiem po2, deteniendo el conteo, se observa en la figura 36.

Figura 36
Reinicio del vaciado

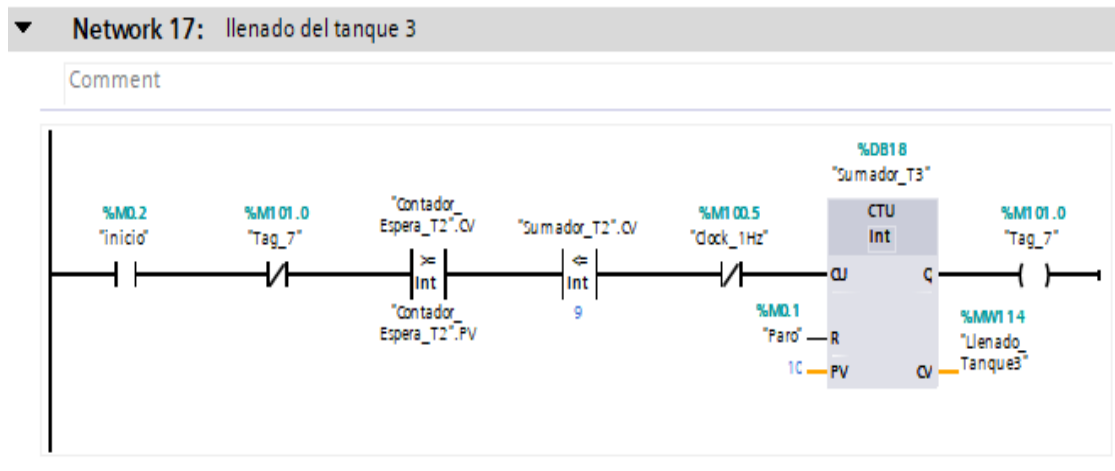


Nota. Stop del contador. Realiza el reinicio del vaciado.

5.2.3.17. Network 17: Llenado del tanque 3

El llenado del tanque de almacenamiento se realizó cuando pasó el tiempo del contador espera y cuando el nivel del tanque de secado comenzó a bajar, se observa en la figura 37.

Figura 37
Llenado tanque 3



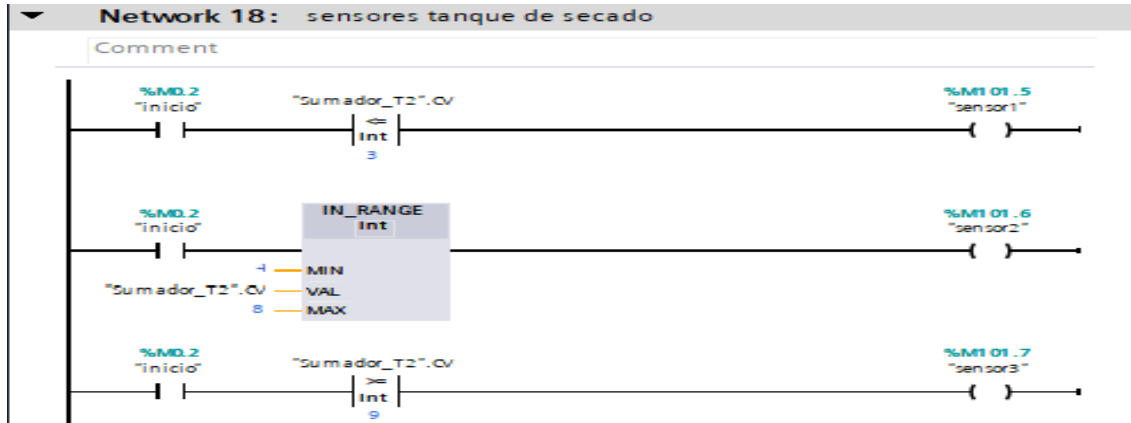
Nota. Llenado del tanque 3. Se realizó mediante un contador ascendente.

5.2.3.18. Network 18: Sensores tanque secado

En este network están los sensores de nivel del tanque de secado, se observa en la figura 38.

Figura 38

Sensores de tanque proceso secado



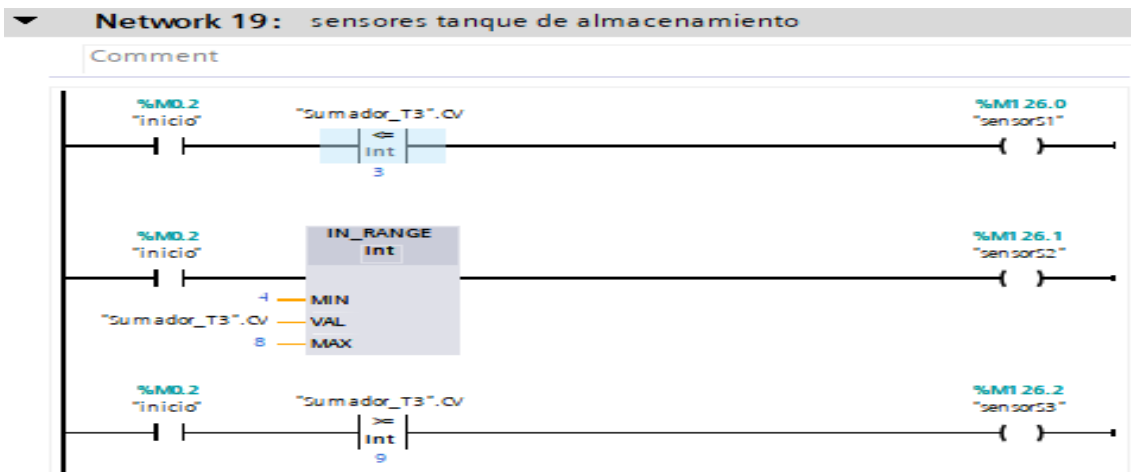
Nota. Sensores del tanque de secado. Estos indicaron el nivel al que se encuentra el tanque.

5.2.3.19. Network 19: Sensores de tanque almacenamiento

En la figura 39 se encuentra los sensores del tanque de almacenamiento.

Figura 39

Sensores de tanque almacenamiento

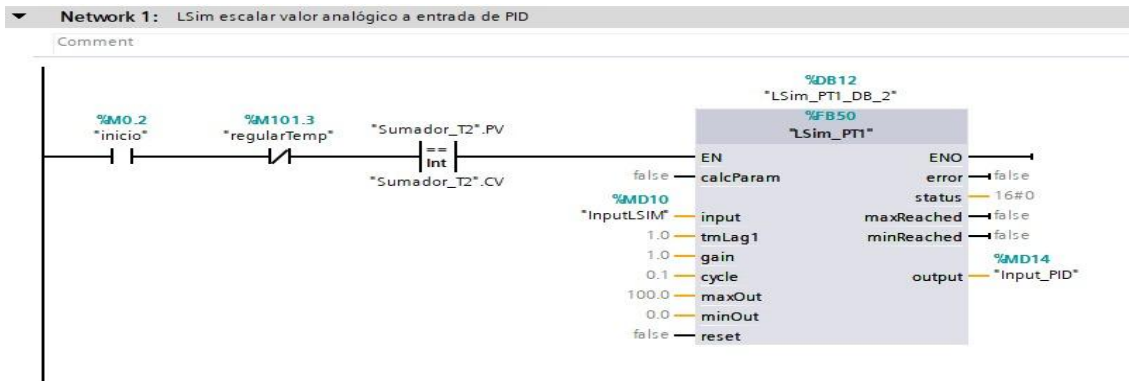


Nota. Sensores del tanque de almacenamiento que indican el nivel.

5.2.3.20. Network 1 Interrupción cíclica: Implementación del Bloque PID y Lsim

Se colocó un contacto de inicio, es un contacto cerrado que se activó cuando se realizó el proceso de enfriamiento del grano de arroz, el proceso del secado no inició hasta que el tanque 3 esté lleno, se observa en la figura 40.

Figura 40
Bloque LSim

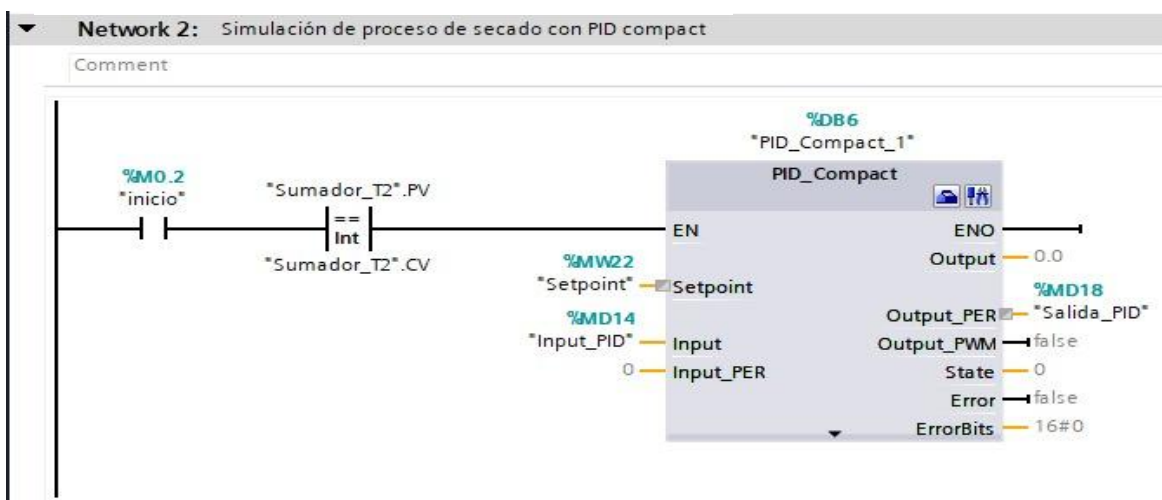


Nota. Bloque exportado Lsim. No permite el inicio si no se cumple la igualdad.

5.2.3.21. Network 2 Interrupción Cíclica: BLOQUE PID

En el network 2 se observa que la entrada “input” del bloque PID es la salida del bloque Lsim anterior, y la salida del bloque PID se usó en el siguiente network, se observa en la figura 41.

Figura 41
Bloque PID Compact

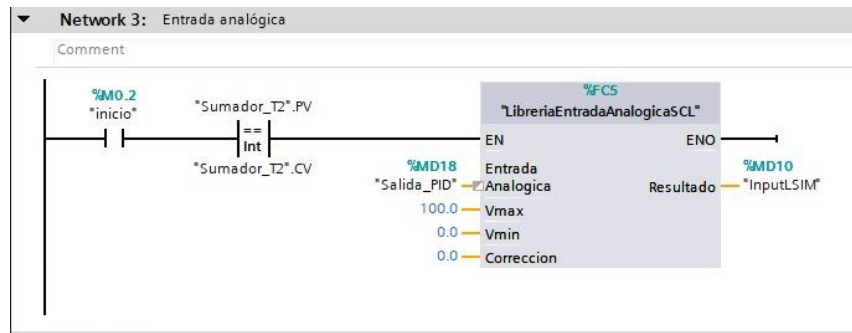


Nota. Estabilización del control. No permite el inicio si no se cumple la condición.

5.2.3.22. Network 3 Interrupción Cíclica: Entrada analógica

La librería entrada analógica simula pulsos y perturbaciones, para que la señal no fuera consistente al setpoint, la entrada del bloque fue conectada a la salida del bloque PID y la salida fue conectada a la entrada de la librería Lsim, es decir todos estos bloques están conectados en una retroalimentación, se observa en la figura 42.

Figura 42
Entrada analógica

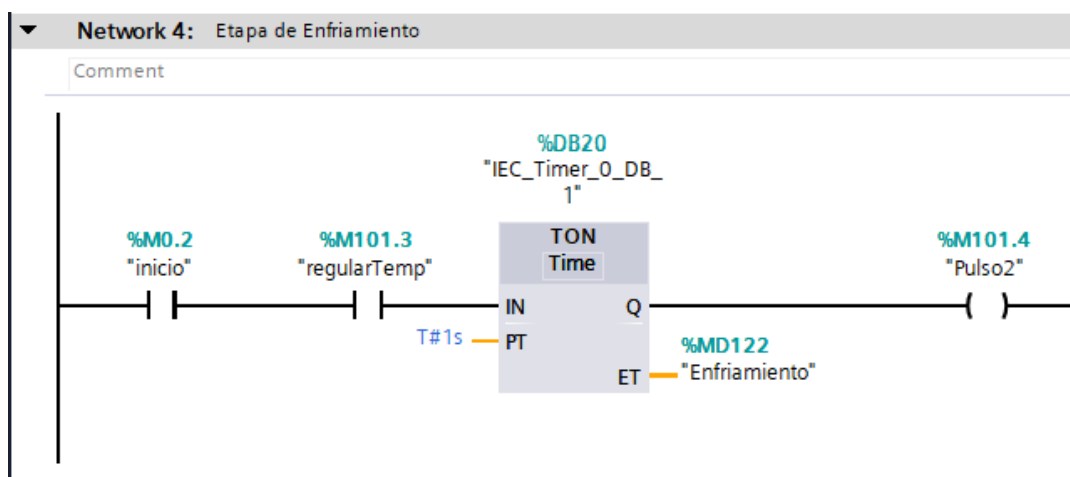


Nota. Entrada librería analógica para simulación.

5.2.3.23. Network 4 Interrupción Cíclica: Etapa de enfriamiento

En esta etapa se realizó el proceso de enfriamiento, cuando el contacto una vez el contacto se cerró, empezó a bajar la temperatura para que posteriormente el grano de arroz sea almacenado como se observa en la figura 43.

Figura 43
Etapa enfriamiento

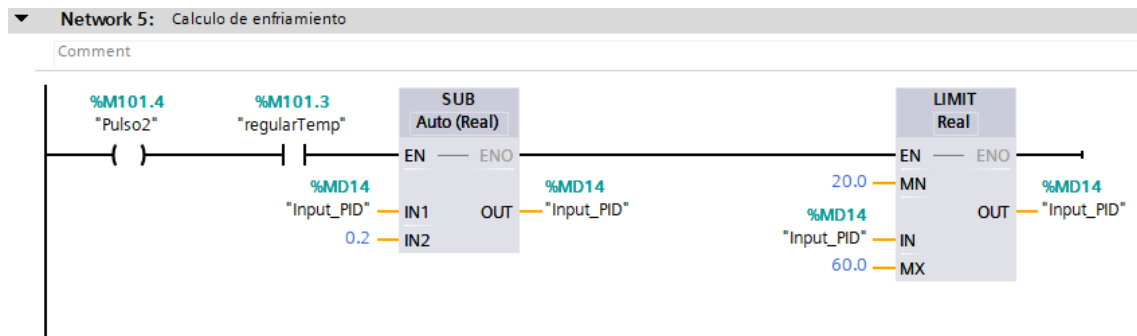


Nota. Se visualiza que mediante pulsos y temporizadores se realizó el enfriamiento.

5.2.3.24. Network 5 Interrupción Cíclica: Proceso enfriamiento

En esta etapa se realizó el cálculo del enfriamiento del grano de arroz, cuando se realiza el secado, posteriormente el grano debe enfriarse para que pueda almacenarse de forma segura, se realiza con un bloque SUB y un bloque LIMIT, se observa en la figura 44.

Figura 44
Cálculo de enfriamiento



Nota. Cálculo del enfriamiento mediante una resta al tanque que previamente era de secado.

5.2.4. Etapa 4: Diseño de la interfaz HMI

En la interfaz gráfica del HMI lo primero que se muestra en la presentación, título del tema de sustentación, integrantes y tutor académico, se observa en la figura 45.

Figura 45
Pantalla presentación



Nota. Presentación del tema en el HMI.

En la pantalla se encuentra un botón de proceso general, se ingresa el usuario y la contraseña la cual nos direcciona a la pantalla general del proceso como se observa en la figura 46.

Figura 46
Ingreso usuario y contraseña



Nota. Se puede ingresar tanto como operador como administrador

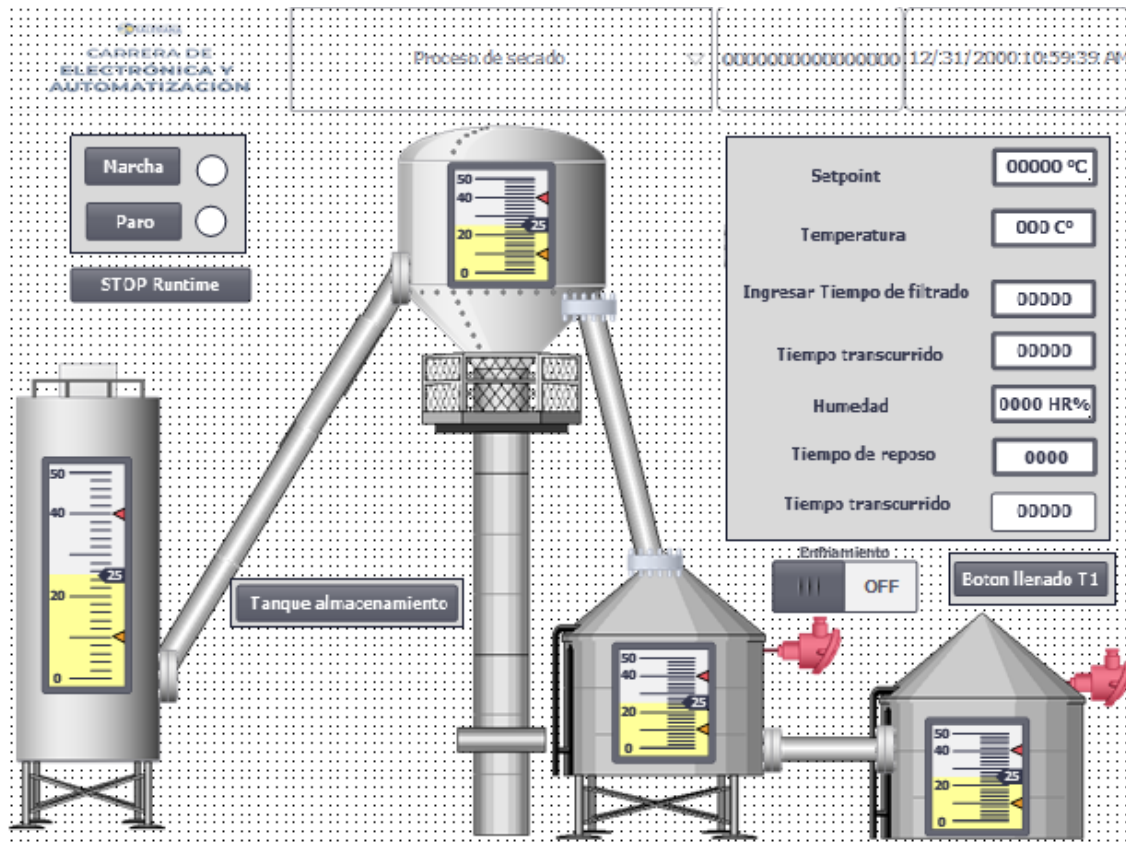
En la ventana general se observan las diferentes etapas del proceso, el tanque de arroz cosecha se vació llenando el tanque elevado, después que transcurrió el tiempo ingresado por consola, procedió a vaciarse llenando el tanque de secado.

Cuando se llenó el tanque de secado, inició el proceso de calentamiento, cuando se estabilizó el proceso del PID, se procedió a activar el switch de enfriamiento cuando la temperatura llegó a 20 °C.

Cuando se enfrió la temperatura, se activó un conteo que es el tiempo de reposo del arroz, cuando se cumplió ese tiempo se vació el tanque de secado y se llenó el tanque de almacenamiento como se observa en la figura 47.

Figura 47

Ventana principal del proceso



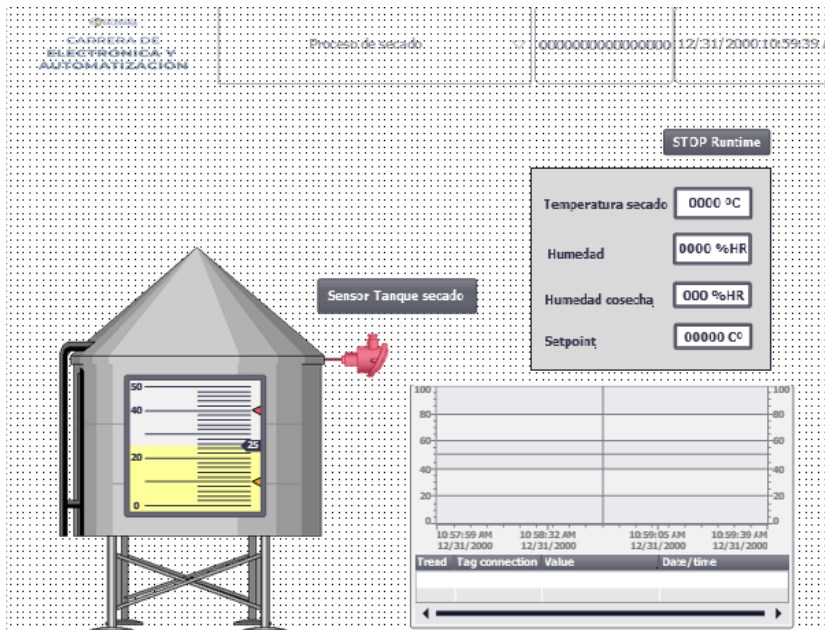
Nota. Pantalla general del proceso. Se visualizan todos los tanques.

En la figura 48 se observa la pantalla del secado, la temperatura del secado, la humedad final, la humedad del arroz cosechado y el setpoint al que llegó la temperatura junto a un sensor en el tanque.

El sensor indicó los niveles del tanque, bajo, medio y por último alto, cuando se completó el proceso, volvió a vaciarse el nivel del tanque.

Por último, se encuentra una gráfica donde se mostró la temperatura actual, la humedad del arroz cosechado y la humedad que se alcanzó cuando se completó el proceso.

Figura 48
Etapa de secado



Nota. Pantalla donde se realizó el proceso del llenado y vaciado del tanque 1.

En la figura 49, se realizó la estabilización de temperatura, se compararon las gráficas del PID, el Setpoint y la salida del bloque Lsim.

Figura 49
 Tendencias del PID Setpoint vs Temperatura real



Nota. Se puede observar las tendencias del bloque PID como son valor real y setpoint.

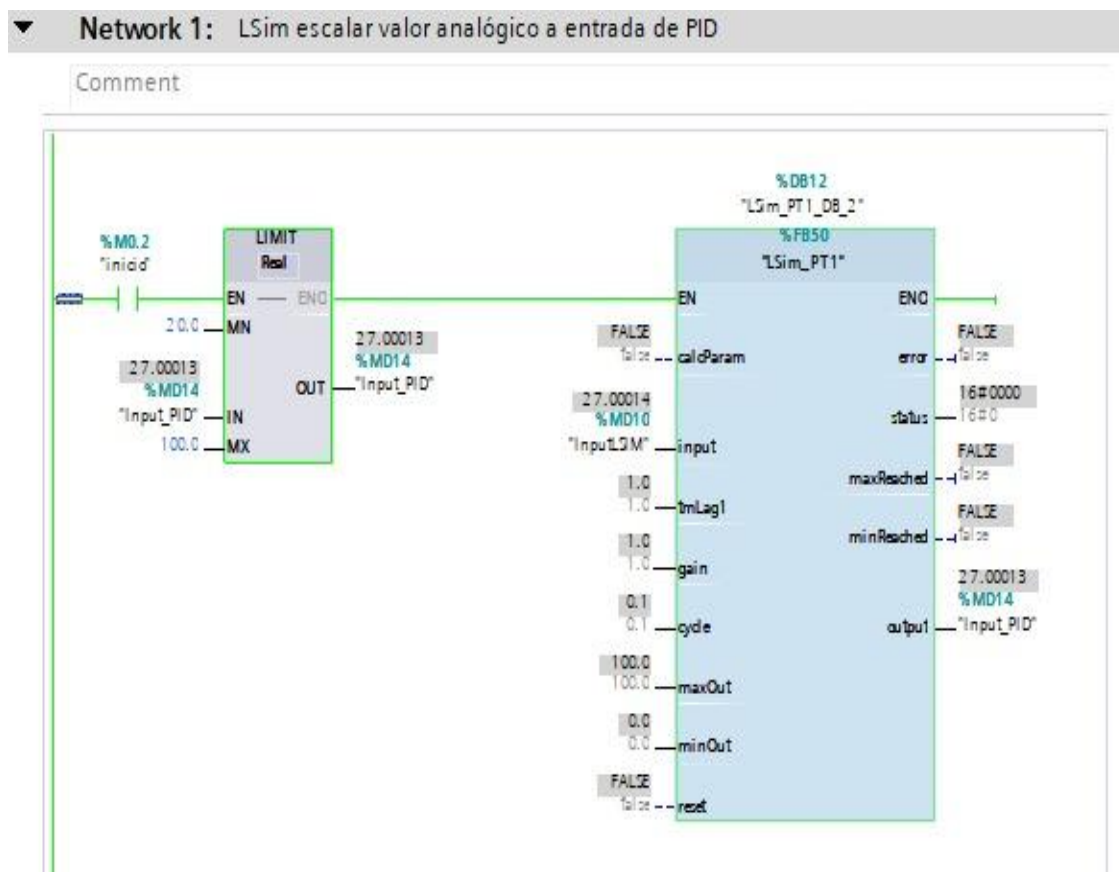
6. RESULTADOS

En este apartado se observaron los diferentes resultados que se obtuvieron al probar la programación en el laboratorio de Automatización 2, se cargó la programación al PLC, se realizó la conexión del motor, variador de frecuencia y se probó el correcto funcionamiento.

6.1. Programación del PLC

Como se puede observar en la figura 50, la librería Lsim fue simulada mientras el programa fue ejecutado. Los valores en tiempo real en las casillas color gris como la entrada del PID y los demás parámetros del bloque.

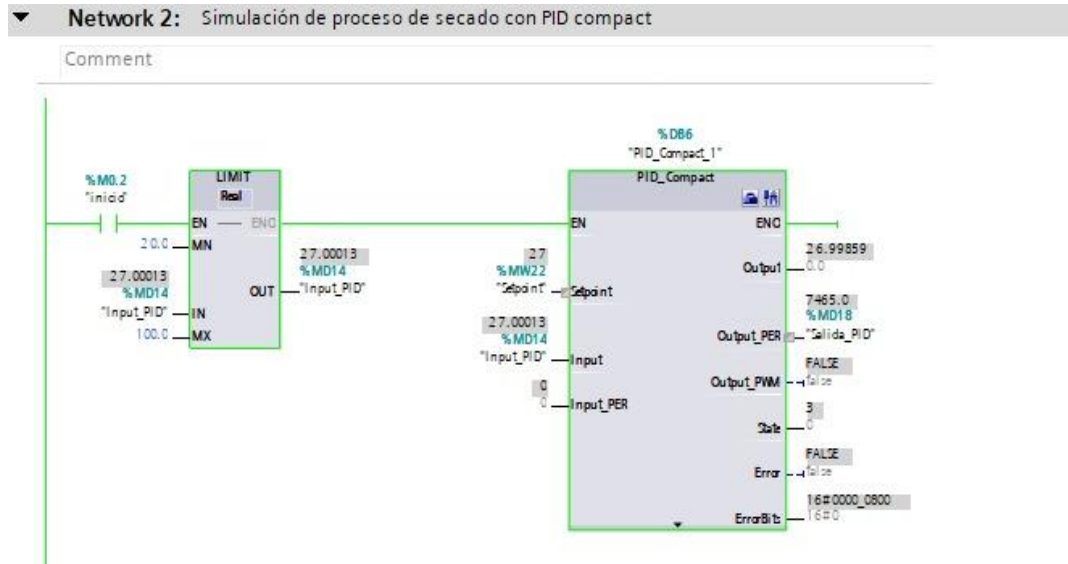
Figura 50
Librería Lsim siendo ejecutada



Nota. Librería Lsim en simulación.

Como se puede observar en la figura 51, el bloque PID trabajó correctamente, muestra los valores tanto en la entrada como salida y se visualiza una variación mínima.

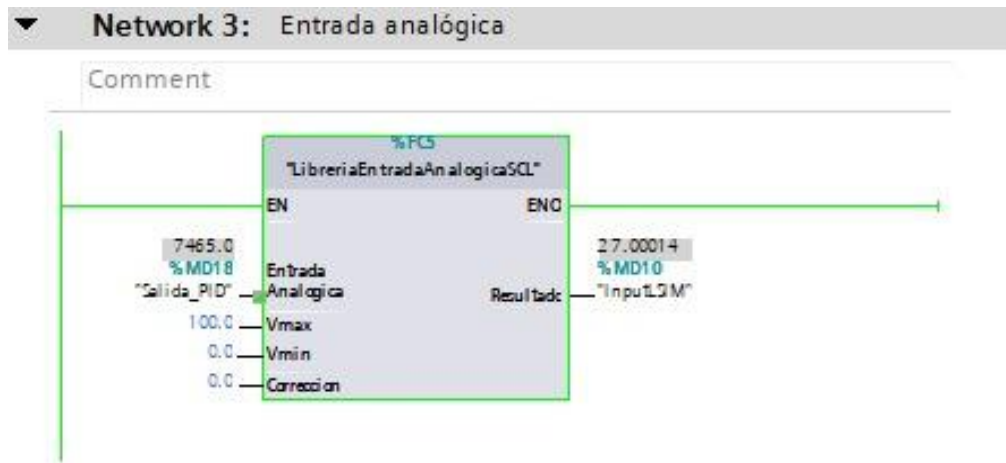
Figura 51
Bloque PID en ejecución



Nota. Correcto funcionamiento del bloque PID.

Como se observa en la figura 52, la librería entrada analógica entregó los valores esperados y el resultado es la salida del bloque.

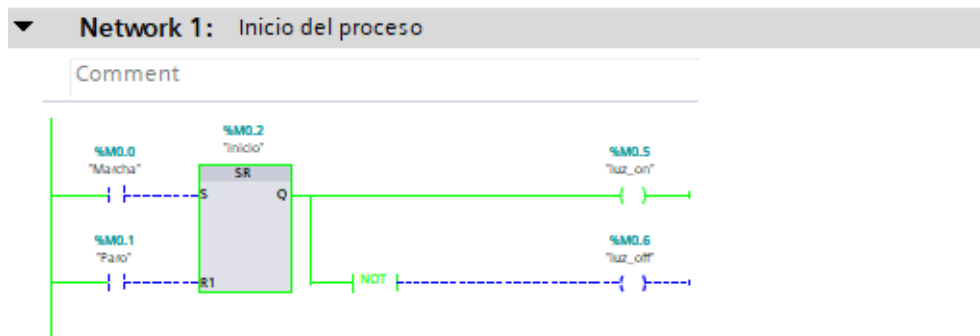
Figura 52
Librería de entrada analógica



Nota. Entrada analógica para simulación de los valores.

En la Figura 53 se observó el marcha y paro del proceso.

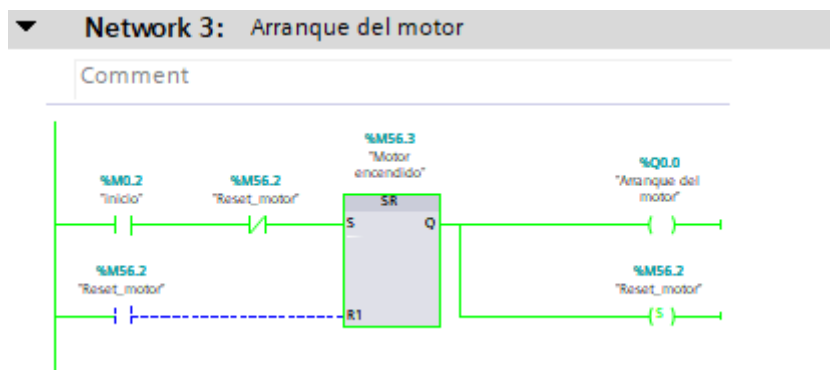
Figura 53
Inicio del proceso



Nota. Bloque SR funcional.

En la figura 54 se observa el arranque del motor.

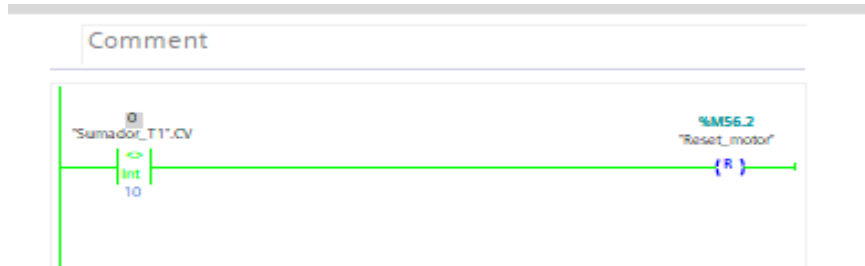
Figura 54
Arranque del motor en simulación



Nota. Bloque SR para el arranque del motor.

El paro del motor se observa en la figura 55.

Figura 55
Paro del motor en simulación

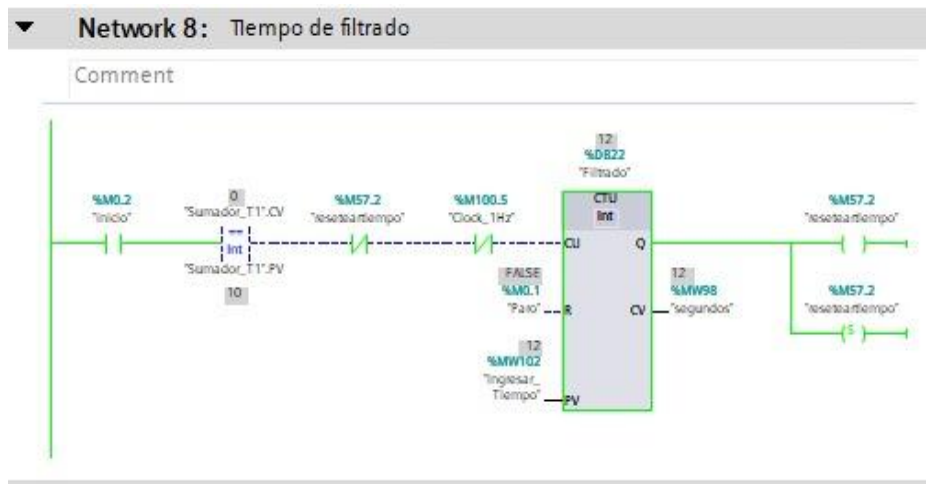


Nota. Cuando el nivel del tanque 1 llegue a 10, el motor realiza el paro.

El tiempo de filtrado se observa en la figura 56.

Figura 56

Conteo tiempo de secado

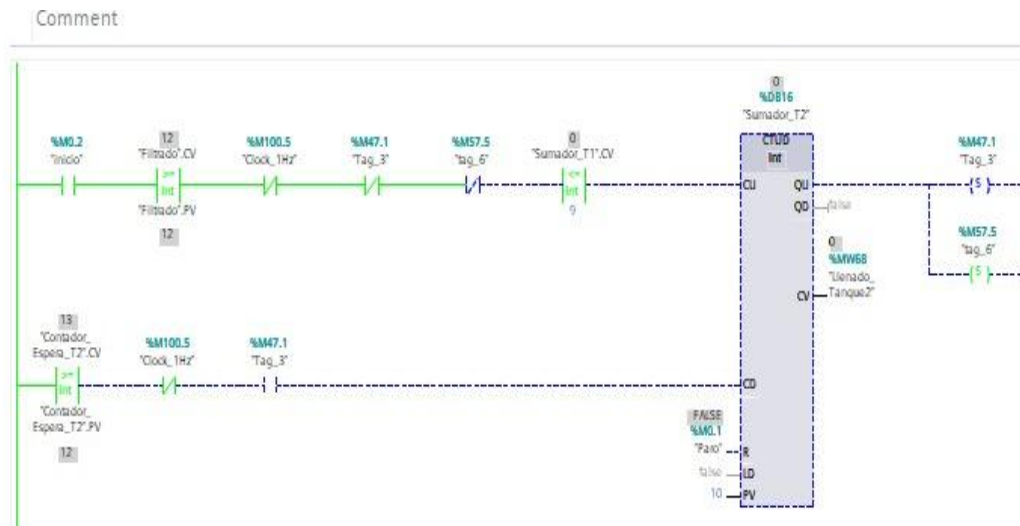


Nota. Contador CTU que realizó el conteo del proceso de secado.

Se puede observar en la figura 57 que el proceso de llenado y vaciado ocurrió de forma correcta.

Figura 57

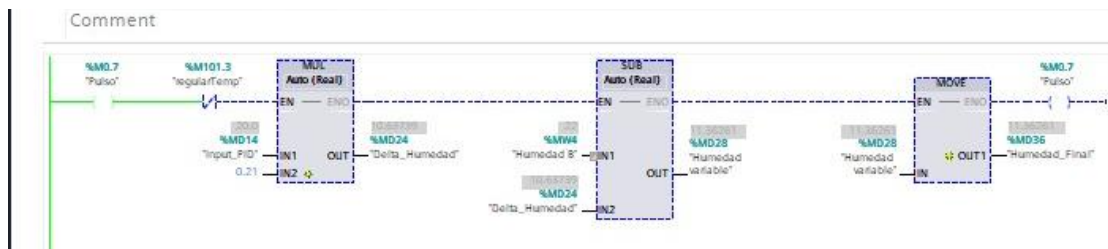
Bloque CTUD en simulación



Nota. Activación del llenado y vaciado del tanque elevador, llenado del tanque 3.

Se puede observar en la figura 58, el cálculo de la humedad.

Figura 58
Estabilización de la humedad



Nota. Se visualiza en este network como la humedad queda estabilizada dentro del rango deseado.

En este network se realizó la conversión mediante un factor K, restas y límites.

Como se observa en la figura 59, el llenado del tanque de almacenamiento, donde concluyó el proceso.

Figura 59
Llenado tanque T2

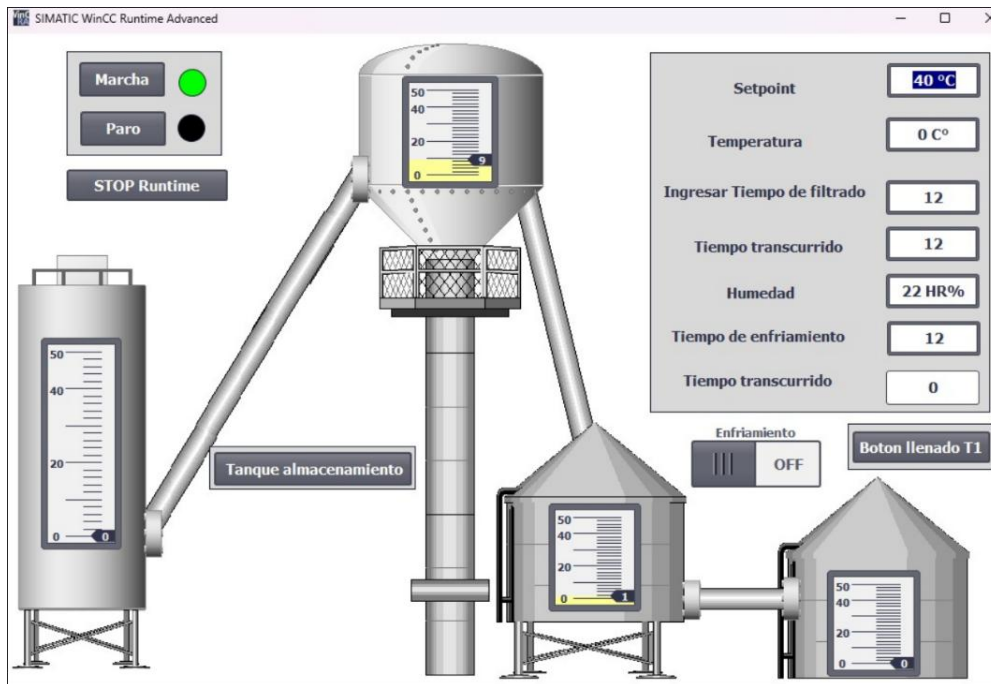


Nota. Se observa el correcto funcionamiento del llenado del tanque 2.

Se puede observar en la figura 60 que el llenado del tanque 2 se realizó sin inconvenientes una vez el PID se estabilizó y el tiempo de filtrado llegó al valor ingresado por consola.

Figura 60

Inicio del proceso



Nota. Mientras el tanque de proceso de secado se llenó, el de almacenamiento se vació.

El tanque de secado procedió a llenarse para iniciar el proceso de calentamiento del grano de arroz.

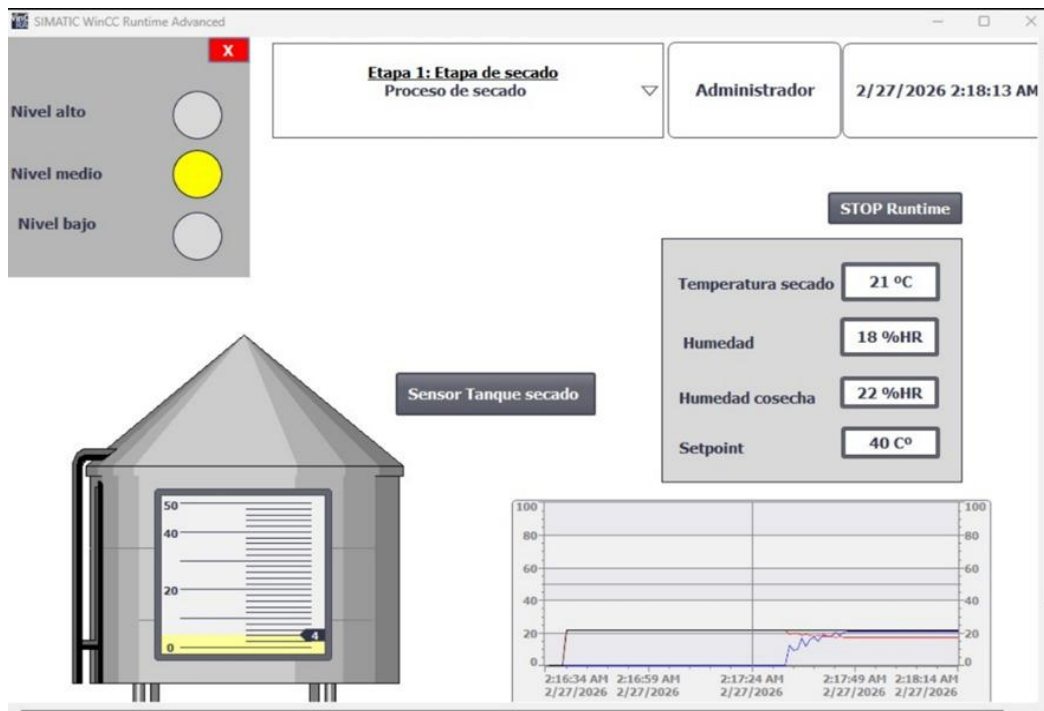
Se añadió un botón que muestra el nivel del tanque a través de sensores de color verde si está bajo, amarillo si está medio y rojo si está alto.

Se visualizaron las gráficas de los diferentes parámetros donde se estabiliza la temperatura y humedad final.

En la pantalla se observó que el proceso se realizó en el modo administrador y no en modo operador, el botón de Stop runtime detiene el HMI como se visualiza en la figura 61.

Figura 61

Inicio proceso de secado



Nota. Tanque de proceso en nivel medio y descendiendo.

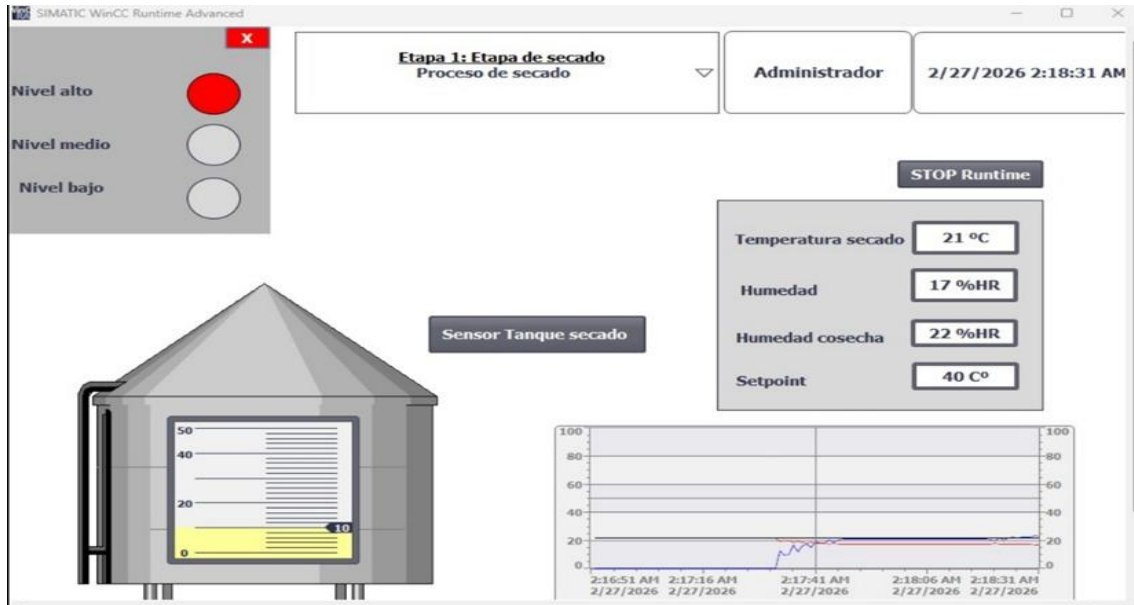
El proceso de secado se ejecutó ya que la temperatura subió y la humedad bajó progresivamente. Este proceso inició completamente cuando el nivel del tanque se alcanzó el nivel alto.

En la gráfica se observó cómo el proceso se estabilizó por lo que el tanque posteriormente se vació y el contenido pasó al tanque del almacenamiento, se observó que el sensor detectó que el nivel del tanque era alto por lo que el color de la alarma es color rojo.

Cuando el proceso se cumplió con totalidad, el nivel del tanque bajó hasta llegar a 0, el arroz pasó al tanque donde quedó listo para ser almacenado sin perder valor nutritivo, concluyó la etapa del secado y comenzó la etapa del almacenamiento del grano de arroz, se observa en la figura 62.

Figura 62

Nivel alto en etapa de secado

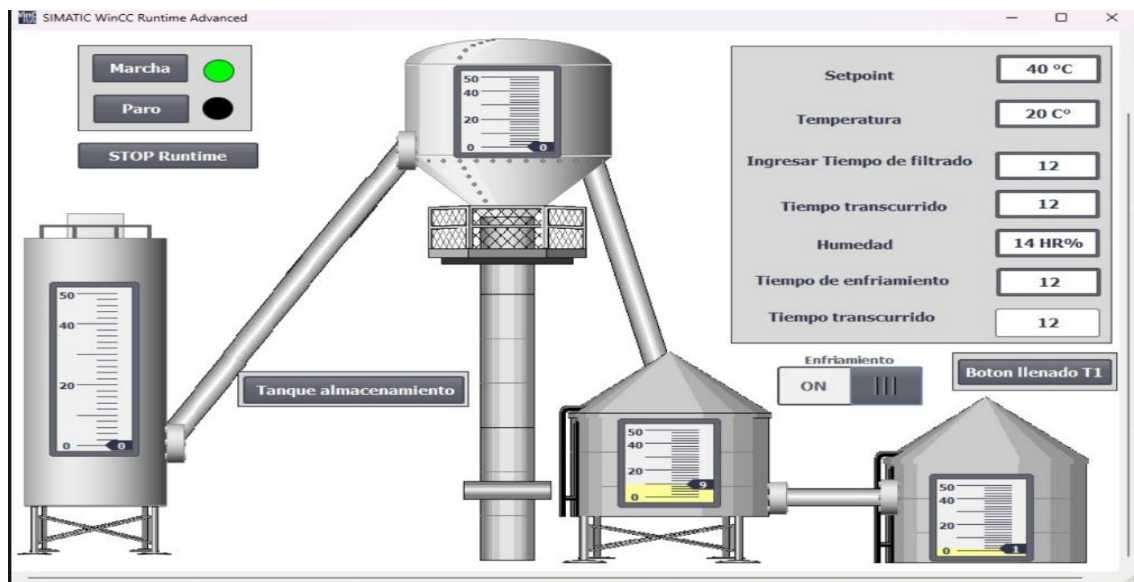


Nota. Tanque de proceso con el nivel alto

Una vez se obtuvo la humedad relativa dentro del rango deseado, pasó el tiempo de enfriamiento de la cámara de secado y el tiempo de filtrado, la temperatura bajó a 20°C y se movilizó al último tanque, se observa en la figura 63.

Figura 63

Descenso del tanque de secado



Nota. Tanque de proceso de secado descendiendo

7. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

En la Tabla 1 se muestran las actividades que se realizaron durante los meses Noviembre, diciembre y enero en un período de 4 semanas por mes. Aquí se puede visualizar cada paso que conllevó a la realización del proyecto.

Tabla 1.

Cronograma de actividades

<i>Actividades</i>	<i>Tiempo de duración</i>												
	<i>Meses</i>	<i>Noviembre</i>				<i>Diciembre</i>				<i>Enero</i>			
	<i>Semanas</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
Elección del tema del proyecto de titulación.		X											
Definición de objetivos generales y específicos.		X											
Planteamiento e identificación del problema.			X	X									
Revisión y selección de las metodologías a utilizar.				X									
Investigación sobre el arroz, su método industrial en el secado, porcentajes de humedad y condiciones de calor.					X								
Desarrollo de la programación en el PLC para las distintas etapas del secado de los granos.						X	X	X					
Desarrollo de la interfaz HMI para la visualización de cada etapa del secado.								X	X				

Pruebas en el software para comprobación de parámetros y objetivos específicos (Setpoint estable, % de humedad, etc.).	X	X
Implementación en el módulo y ajuste de los parámetros del motor usando el variador.	X	X
Pruebas finales de la programación conectado al PLC junto al motor y el variador.		X

Nota. En esta tabla se desglosa de manera semanal cada actividad que se llevó a cabo durante los tres meses mencionados.

8. PRESUPUESTO

En la Tabla 2 se da a conocer el presupuesto sobre las horas de ingeniería que se proyectó al momento de desarrollar el proyecto. Se tomó en cuenta el salario básico unificado y las horas que se le asignó al proyecto.

Tabla 2.

Cuadro de presupuesto

<i>DETALLE</i>	<i>CANTIDAD</i>	<i>COSTO</i> <i>UNITARIO</i>	<i>COSTO TOTAL</i>
<i>Horas de ingeniería</i>	<i>160h</i>	<i>\$2,93</i>	<i>\$470</i>
<i>TOTAL</i>			<i>\$470</i>

Nota. Cuadro de presupuesto.

9. CONCLUSIONES

- El diseño y simulación del proceso de secado de granos de arroz con regulación mediante un controlador PID demostró que es posible mantener la variable térmica dentro de los rangos óptimos establecidos en la simulación con un margen de error menor al 3%.
- La implementación en un entorno simulado utilizando un PLC Siemens S7-1500 y una interfaz HMI permitió reproducir de manera didáctica las fases del proceso de secado y facilitó el monitoreo en tiempo real de las variables más relevantes como lo son el porcentaje de humedad relativa y la temperatura real.
- El tiempo de estabilización luego de una perturbación causada en el setpoint por una diferencia de 10 grados como se muestra en la siguiente figura tomó un tiempo de más de 10 segundos en estabilizar. Se llegó al resultado esperado, pero en más tiempo.

10. RECOMENDACIONES

- Se sugiere ampliar el presente proyecto a una implementación física en un secador de arroz a menor escala con el fin de validar los resultados obtenidos bajo simulación y poder realizar un contraste en un entorno simulado y condiciones reales de operación.
- Evaluar otros algoritmos de control como difuso o adaptativo para comprobar el desempeño del PID referente a la regulación térmica en procesos industriales similares.
- Utilizar IoT para incorporar funciones adicionales en el HMI tales como registro de datos, generación de reportes o conectividad remota lo que incrementa la capacidad de supervisión y control en escenarios más complejos.

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Artículo I. Bibliografía

Inductive Automation. (2025). *PLC: Controlador lógico programable*. Inductive Automation:

<https://inductiveautomation.com/resources/article/what-is-a-PLC>

Wit Automatización. (2024). *Wit Automatización*. ¿Qué es TIA Portal y para qué sirve?

Adolfo, G. (2009). *Universidad Autónoma de Occidente*. Diseño de un sistema para la automatización del proceso de secado de arroz:

<https://red.uao.edu.co/entities/publication/4805e295-0f08-4107-9622-3903a2f7cbdc>

Alvarado Chiriboga, A. J., & López Araujo, S. E. (2023). *Desarrollo de un prototipo de máquina secadora de arroz con control de temperatura y humedad*. Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana.

Muller, A., & Martens, S. (2022). *Science Direct*. Rice Science :

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1672630821000998>

Chen, H. X. (2022). Effect of drying air temperature and storage on industrial and chemical quality of rice grains. *Processes*. 888.

Cruz, M. C. (2014). *Proyectos de Automatización*. Valencia: Introducción al proyecto y documentos del proyecto.

Dspace Ups. (2024). *Universidad Politécnica salesiana Dspace*.

[https://dspace.ups.edu.ec/simple-](https://dspace.ups.edu.ec/simple-search?query=presion+continua+&location=123456789%2F16568&rpp=10&sort_by=score&order=desc)

[search?query=presion+continua+&location=123456789%2F16568&rpp=10&sort_by=score&order=desc](https://dspace.ups.edu.ec/simple-search?query=presion+continua+&location=123456789%2F16568&rpp=10&sort_by=score&order=desc)

Dspace Ups. (2024). *Universidad Politecnica Salesiana Dspace*.

[https://dspace.ups.edu.ec/simple-](https://dspace.ups.edu.ec/simple-search?query=iot2040&location=123456789%2F16560&rpp=10&sort_by=score&order=desc)

[search?query=iot2040&location=123456789%2F16560&rpp=10&sort_by=score&order=desc](https://dspace.ups.edu.ec/simple-search?query=iot2040&location=123456789%2F16560&rpp=10&sort_by=score&order=desc)

Fernández, R. S. (2018). Seminario de automatización de procesos y procesos fisher technik.

Apuntes de la asignatura Laboratorio de automatización y control, (pág. 25). Valencia.

Gútiérrez, I. (2023). *Programación Siemens*. Programación Siemens:

<https://programacion-siemens.com/que-es-tia-portal/>

Herrero, J. (2017). Apuntes de la asignatura laboratorio de automatización y control. En J.

Herrero, *Apuntes de la asignatura laboratorio de automatización y control* (pág. 45).

Valencia: Identificación y control con LabVIEW.

kogut. (s.f.).

Kogut, P. (2025). <https://eos.com/es/blog/cultivo-del-arroz/>

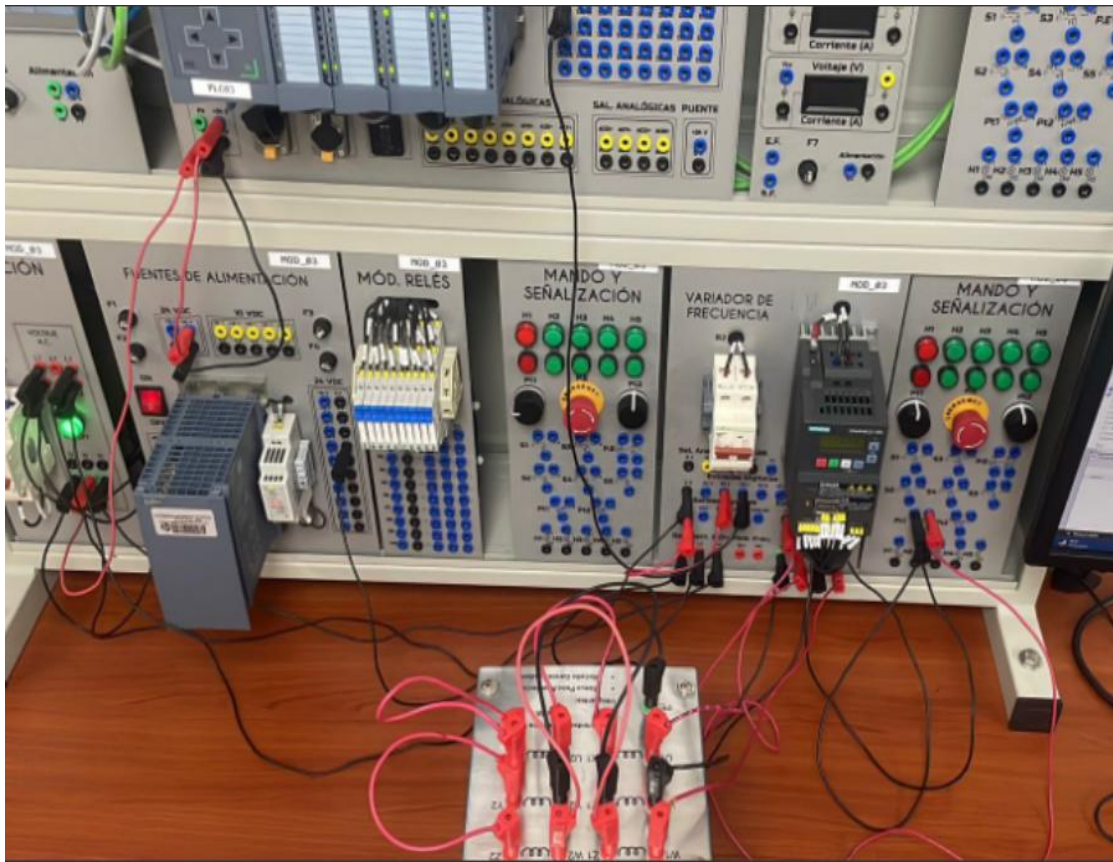
- Moreno, E. G. (2019). *Herramientas de modelado para sistemas de eventos discretos*. Valencia: GRAFCET Y GEMMA.
- Muller B, L. L. (2024). Influences of emerging drying technologies on rice quality. Food Research International.
- Orlando, C. (2018). Automatización industrial. *Manual prácticas de laboratorio*, (pág. 22). Javeriana.
- Punzenberger. (2025). *Copadata*. Copadata: <https://www.copadata.com/es/productos/zenon-software-platform/que-significa-hmi-interfaz-humano-maquina-copa-data/>
- Quintana, D. (2024). *ForbesEc*. Top provincias con mayor producción de arroz en Ecuador en 2023: https://www.forbes.com.ec/rankings/top-provincias-mayor-produccion-arroz-ecuador-2023-n59277?utm_source=chatgpt.com
- RelePro Automation . (2024). *Rele Pro*. Los Autómatas S7-1500: <https://relepro.com/blog/los-automatas-s7-1500-un-vistazo-a-sus-caracteristicas-destacadas.html>
- Sánchez, V. (2012). *Revista de ciencia y tecnología Ingenius*.
 DiagnosticoDelNivelDeAutomatizacionEnLasPequeñasYM-5972774.pdf
- Siemens. (2011). *Siemens Industry Online Support*.
[https://support.industry.siemens.com/cs/document/54418337/which-different-configurations-of-ec31-are-possible-in-step-7-\(tia-portal\)-v11-?dti=0&dl=en&lc=es-AR](https://support.industry.siemens.com/cs/document/54418337/which-different-configurations-of-ec31-are-possible-in-step-7-(tia-portal)-v11-?dti=0&dl=en&lc=es-AR)
- Siemens. (2025). Obtenido de Simatic S7-1500:
<https://www.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc/simatic-s7-1500.html>
- Svendemunckinnovesys, & S. (2024). *INNOVESYS*. SIMATIC TIA PORTAL:
<https://innovesys.com/simatic-tia-portal/>
- USDA-ARS. (2023). Rice drying, storage and processing: Effects of post-harvest operations on grain quality. *Journal of Stored Products Research*.
- Xangsayasane, P. Y. (2023). Effect of drying air conditions on the drying rate and milling quality of a long-grain rice variety. *Food Science & Technology*, 43.

12. ANEXOS

En esta parte se incluyen los anexos que complementan en el desarrollo de la implementación del secado de granos, mostrando los elementos que fueron añadidos al módulo que se encuentra en el Laboratorio de Automatización Industrial II.

En la figura 64 se visualiza el PLC con todas las conexiones; al variador de frecuencia, al motor, potenciómetro y a la fuente de alimentación.

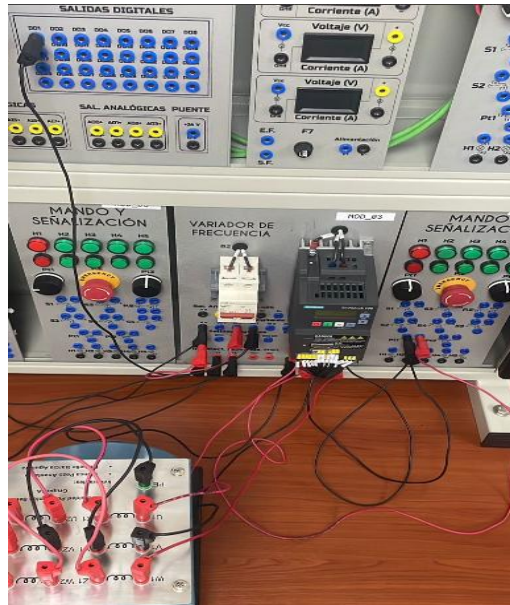
Figura 64
Conexión del PLC



Nota. Se visualiza todas las conexiones al PLC.

En la Figura 65 se colocaron y unieron el variador de frecuencia y el potenciómetro el cual se utilizó para graduar la velocidad del motor entre 0 y 60hz. Posteriormente se realizaron las respectivas pruebas.

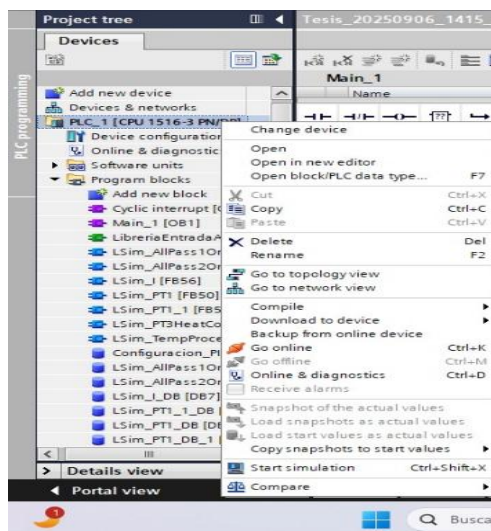
Figura 65
Variador de frecuencia NPN



Nota. El variador conectado al potenciómetro y al motor.

En la Figura 66 se presionó sobre los ajustes del PLC que posteriormente nos dieron activación de la memoria del reloj que envió los pulsos para las animaciones del llenado de los tanques.

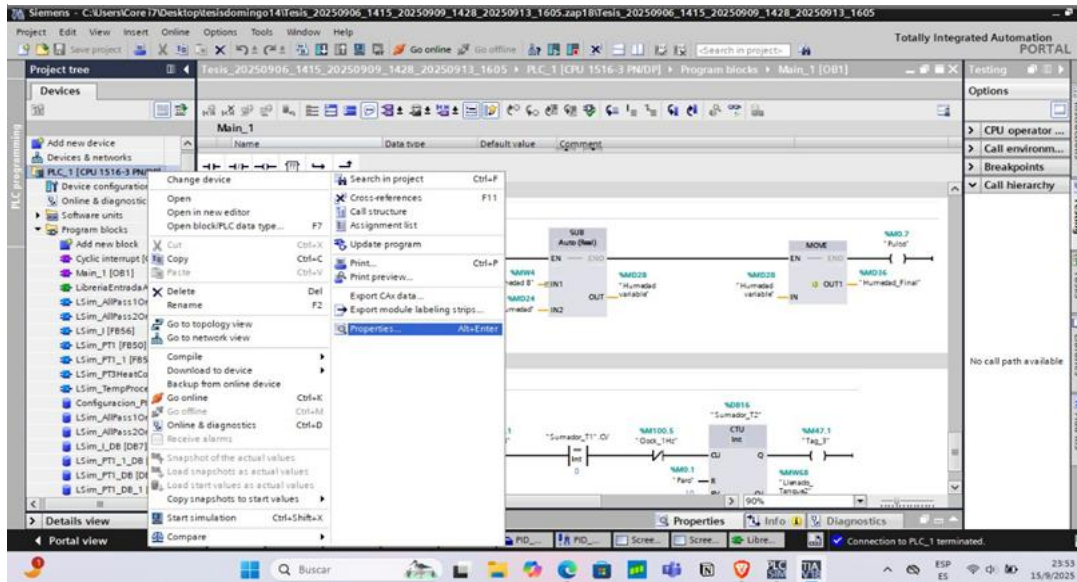
Figura 66
Ajustes del PLC



Nota. Se despliegan los ajustes del PLC.

Se presionó en propiedades para visualizar una pantalla donde se activó la memoria del reloj, se observa en la figura 67.

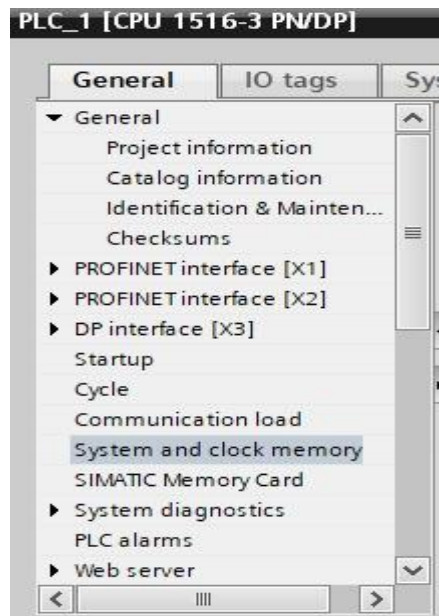
Figura 67
Instalación de la memoria de reloj



Nota. Se presionó en propiedades.

En la Figura 68 se observa la pantalla desplegada.

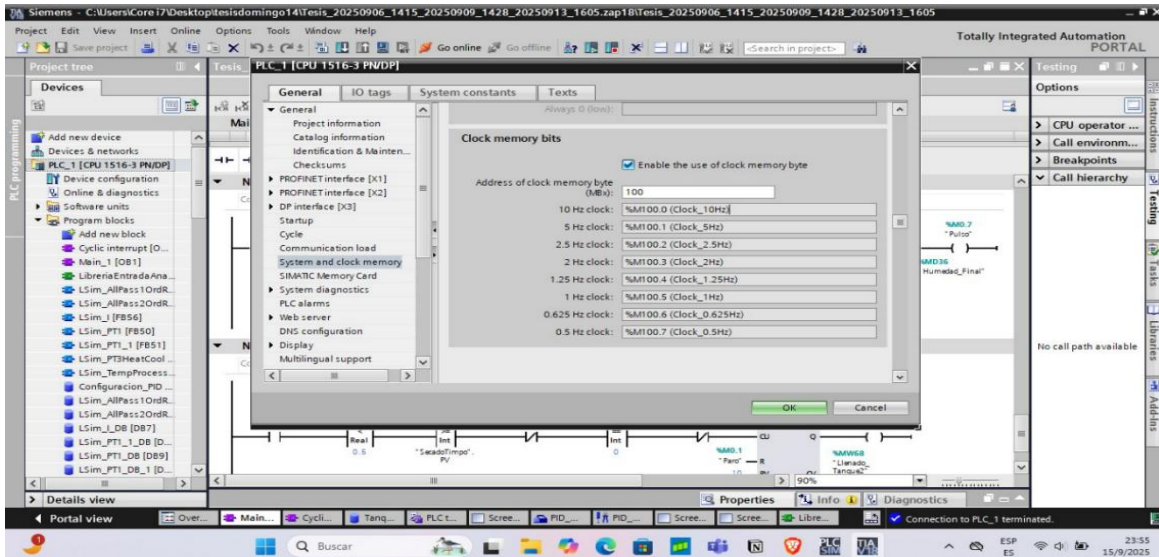
Figura 68
Activación de la memoria de reloj



Nota. Se presionó el apartado System and clock memory.

En la figura 69 se activó el uso de las memorias de reloj de 100 bytes.

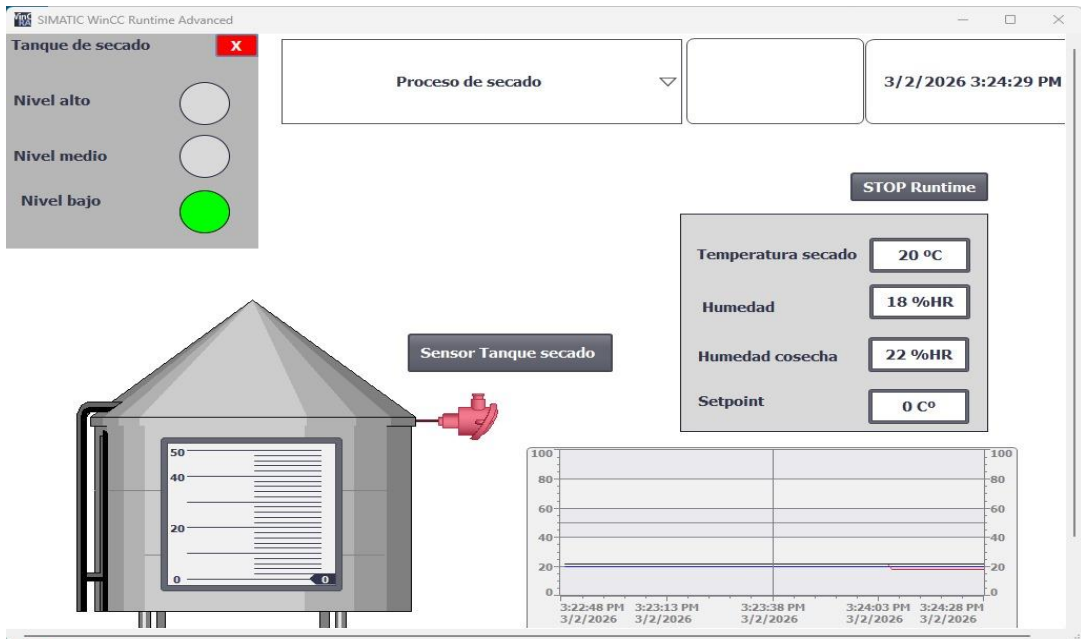
Figura 69
Funcionamiento de la memoria de reloj



Nota. Se activó el uso de clock de memorias byte que sirve como contador.

En la figura 70 se activó el sensor de nivel bajo en tanque de secado.

Figura 70
Sensor de nivel bajo

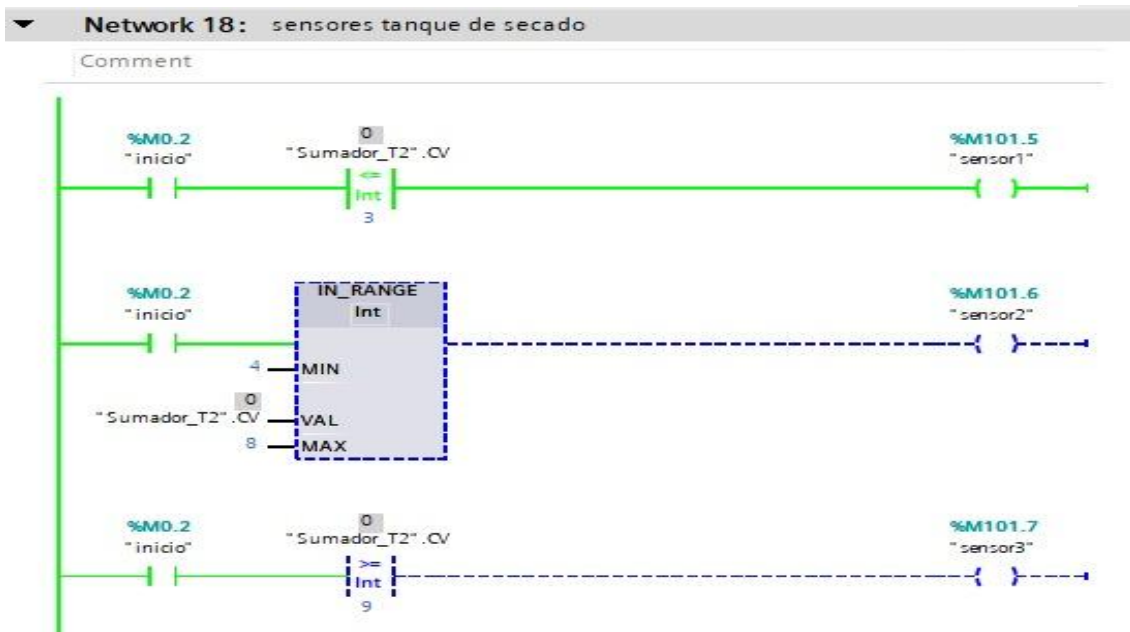


Nota. Se observó la activación del led color verde.

En la figura 71 se activó el sensor de nivel bajo en la programación.

Figura 71

Activación del sensor de nivel bajo en el network 18

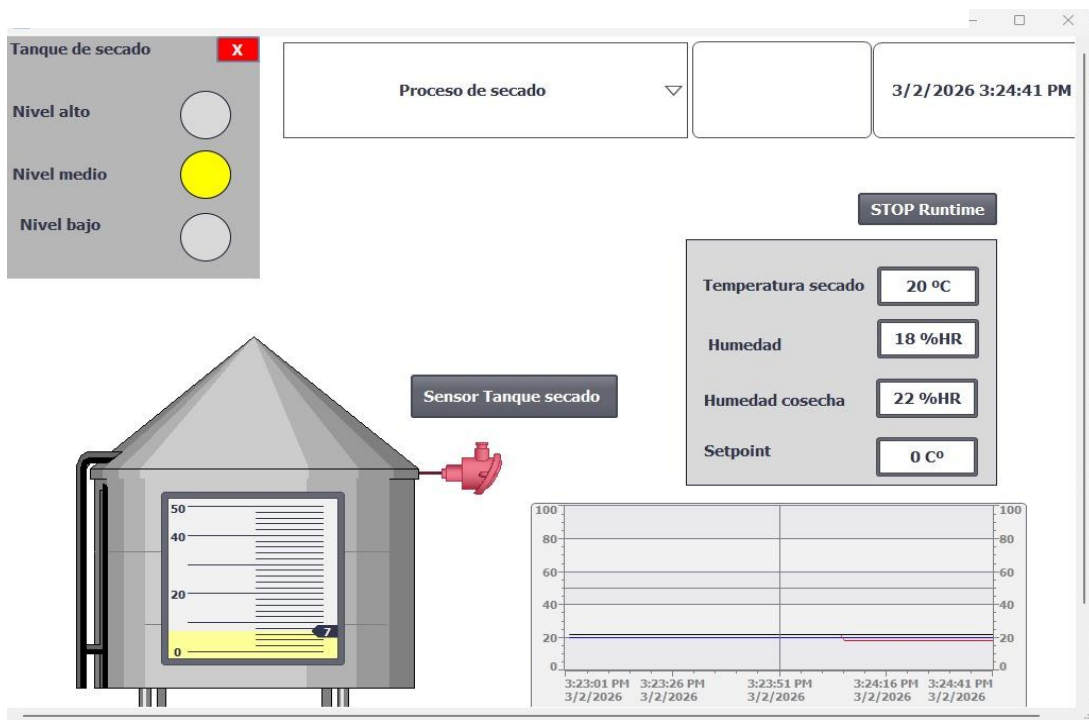


Nota. Se observó la activación de la bobina sensor1.

En la figura 72 se activó el sensor de nivel medio en el tanque de secado.

Figura 72

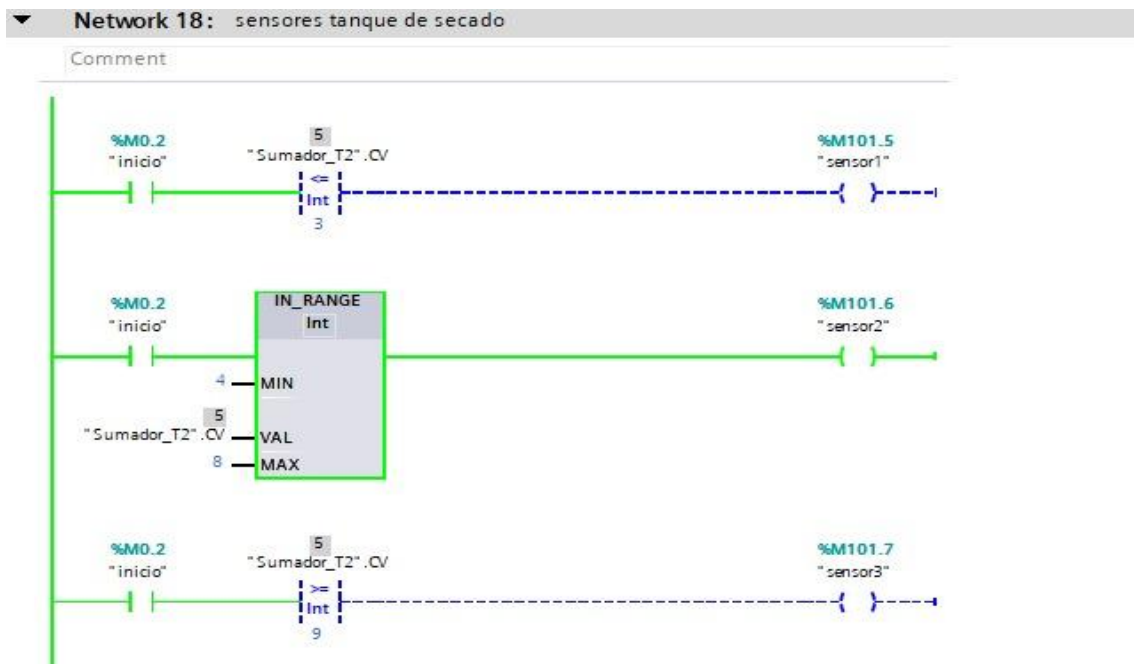
Sensor de nivel medio



Nota. Se observó la activación del led color amarillo.

En la figura 73 se activó el sensor de nivel medio en la programación.

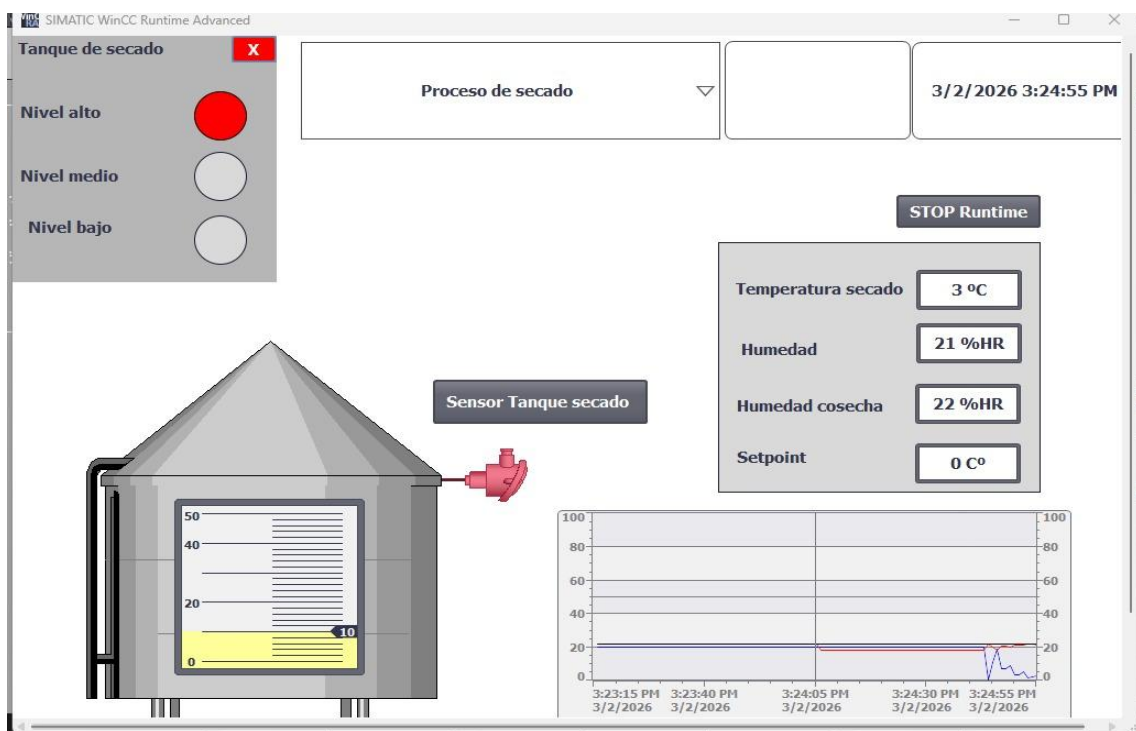
Figura 73
Activación del sensor de nivel medio en el network 18



Nota. Se observó la activación de la bobina sensor2.

En la figura 74 se activó el sensor de nivel alto en el tanque de secado.

Figura 74
Sensor de nivel alto

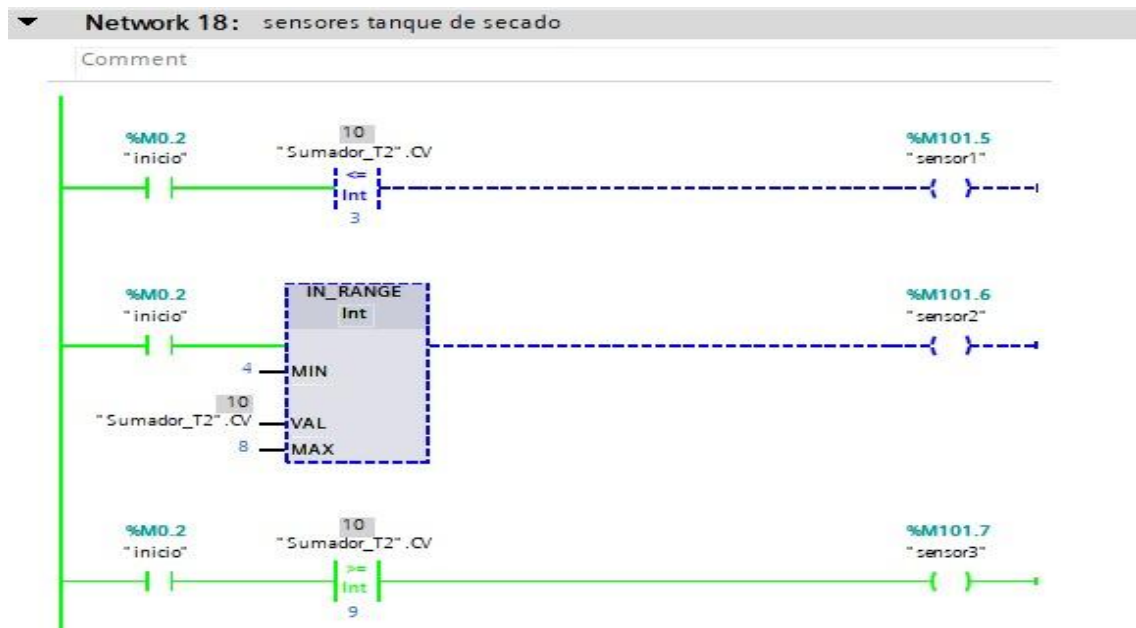


Nota. Se observó la activación del led color rojo.

En la figura 75 se activó el sensor de nivel alto en la programación.

Figura 75

Activación del sensor de nivel alto en el network 18

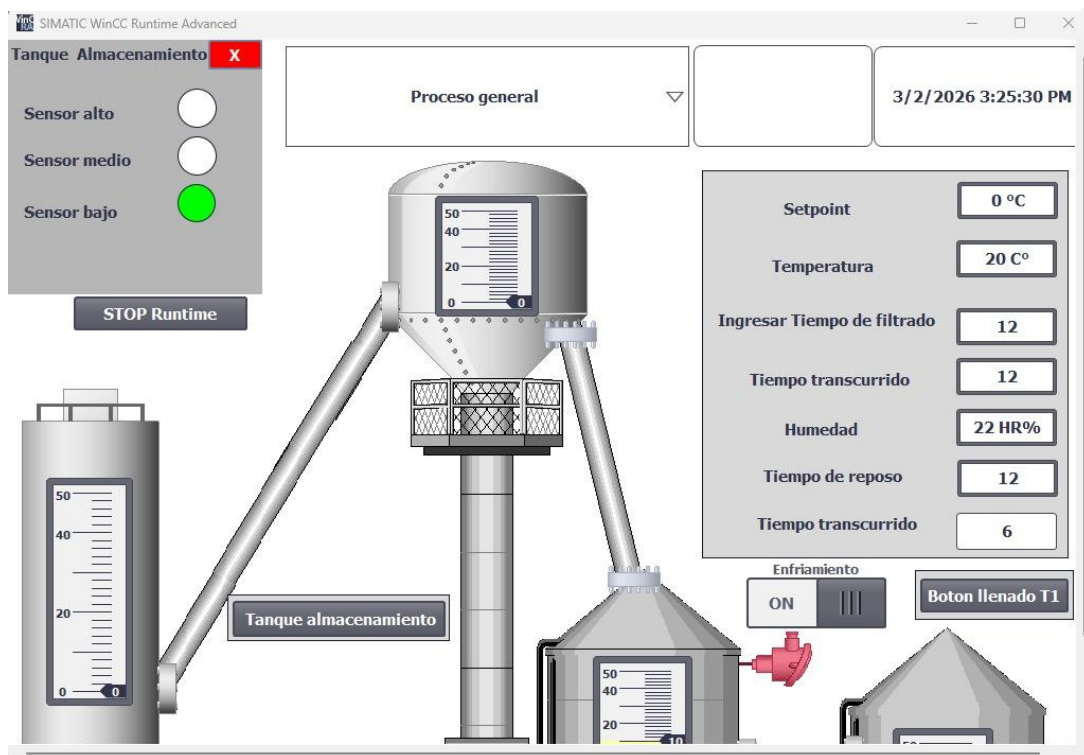


Nota. Se observó la activación de la bobina sensor3.

En la figura 76 se activó el sensor de nivel bajo del tanque de almacenamiento.

Figura 76

Sensor de nivel bajo en el último tanque

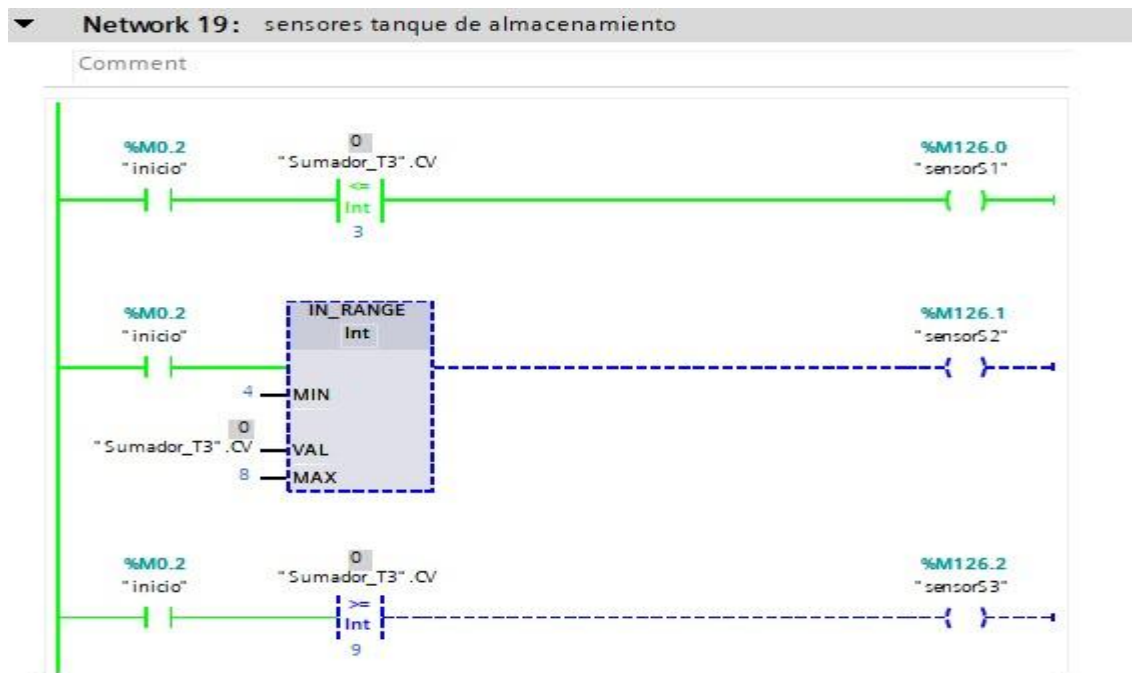


Nota. Se observó la activación del led color verde del sensor del tanque.

En la figura 77 se activó el sensor de nivel bajo del tanque de almacenamiento.

Figura 77

Programación del sensor de nivel bajo del tanque de almacenamiento

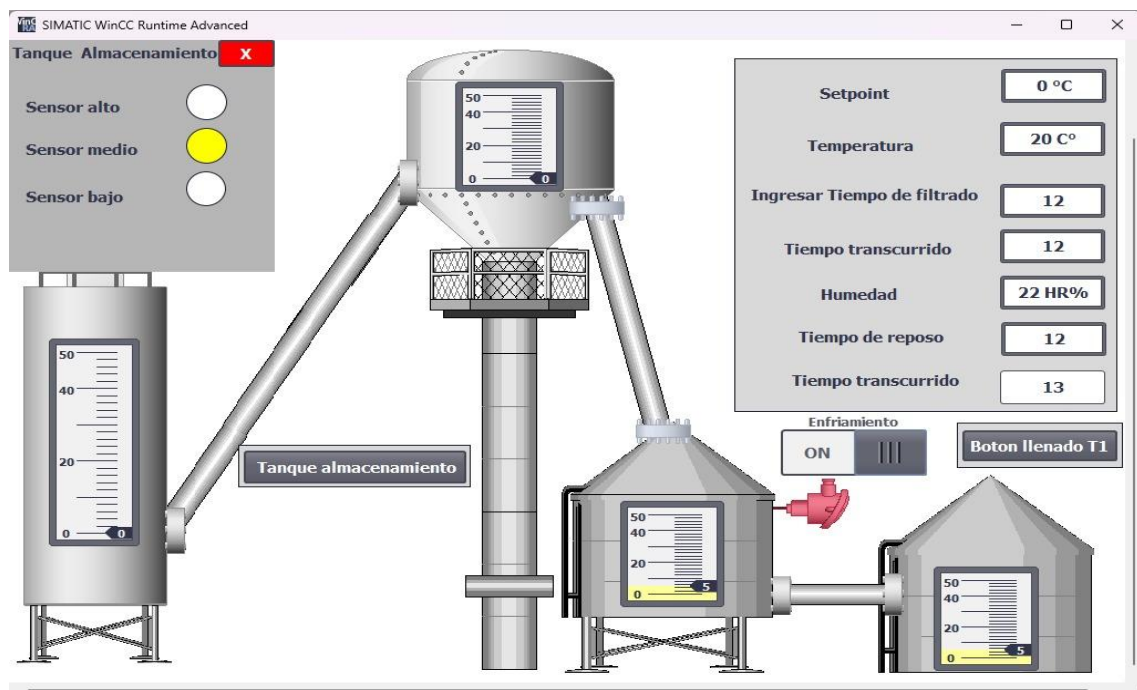


Nota. Se observó la activación de la bobina sensorS1.

En la figura 78 se activó el sensor de nivel medio del tanque de almacenamiento.

Figura 78

Sensor de nivel medio en el último tanque

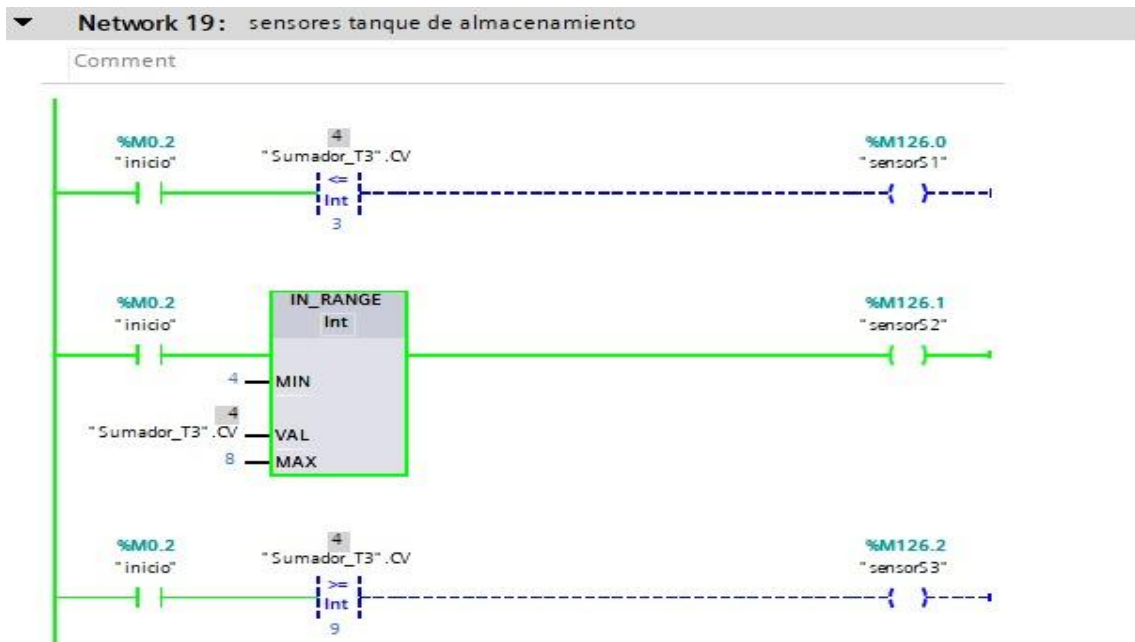


Nota. Se observó la activación del led color amarillo del sensor del tanque.

En la figura 79 se activó el sensor de nivel medio del tanque de almacenamiento.

Figura 79

Programación del sensor de nivel medio del tanque de almacenamiento

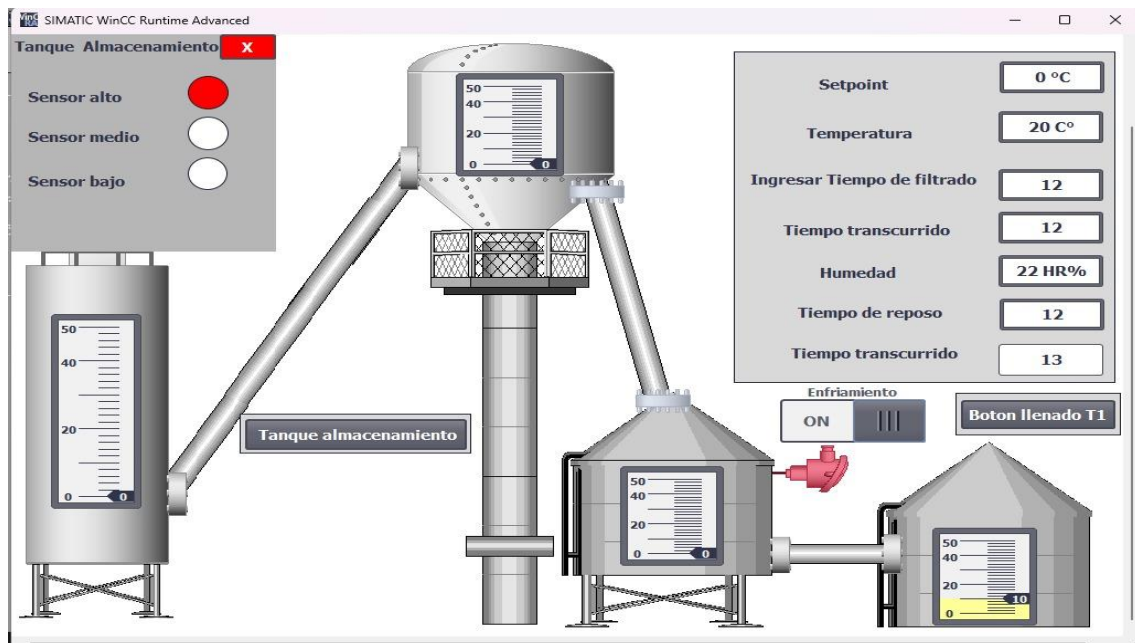


Nota. Se observó la activación de la bobina sensorS2.

En la figura 80 se activó el sensor de nivel alto del tanque de almacenamiento.

Figura 80

Sensor de nivel alto en el último tanque

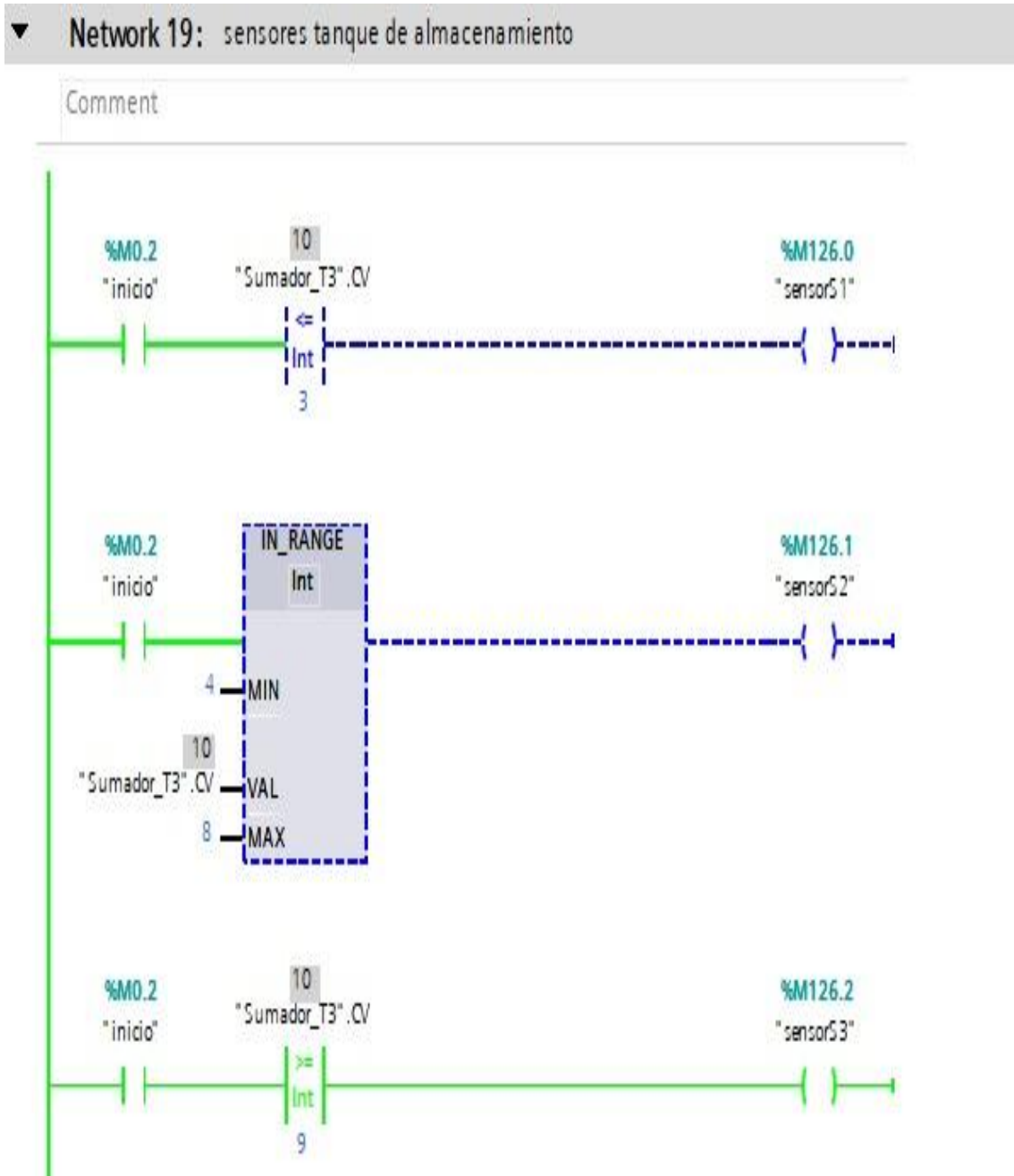


Nota. Se observó la activación del led rojo del sensor del tanque.

En la figura 81 se activó el sensor de nivel alto en tanque de almacenamiento.

Figura 81

Programación del sensor de nivel alto del tanque de almacenamiento

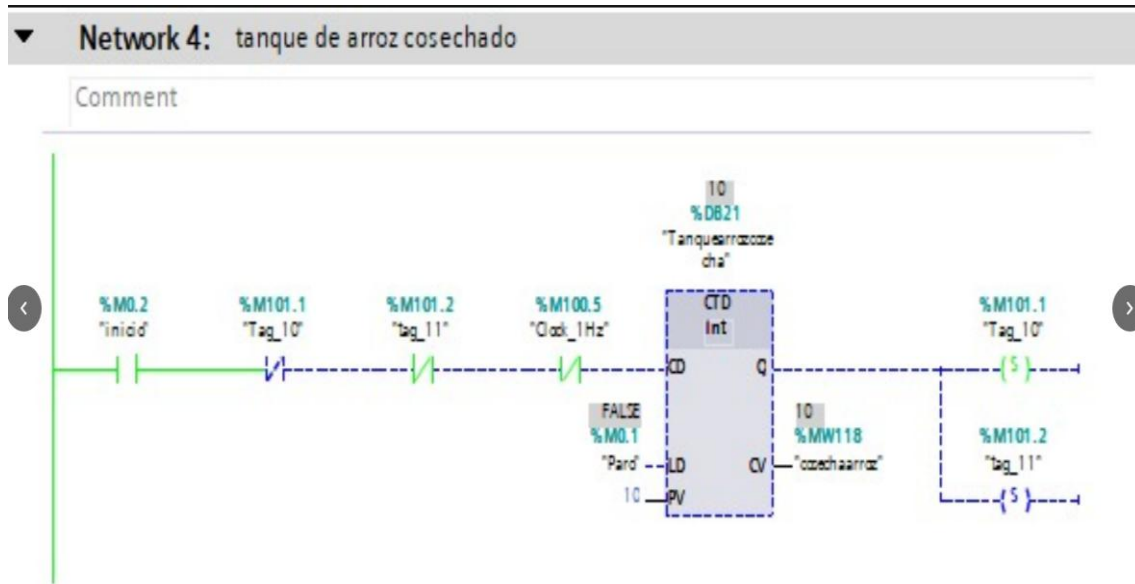


Nota. Se observó la activación de la bobina M126.2 “sensorS3”.

En la figura 82 se realizó el llenado del tanque que encendió el motor.

Figura 82

Tanque de arroz cosecha capacidad máxima

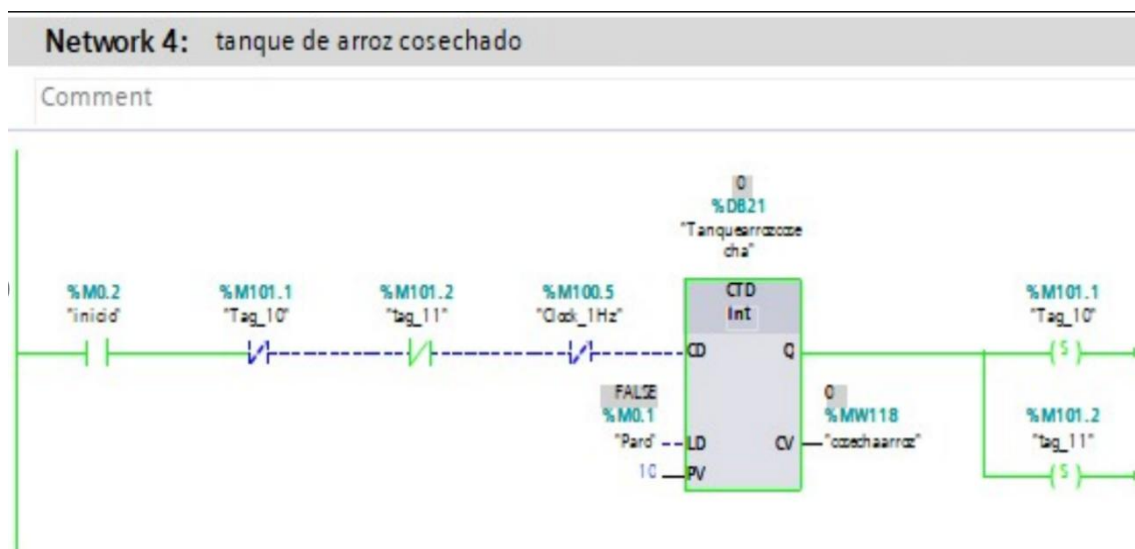


Nota. El contador descendiente no comenzó a bajar mientras no abrió el Tag 10.

En la figura 83 se realizó la programación del tanque que activó el motor descendiendo.

Figura 83

Tanque de arroz cosecha en capacidad mínima

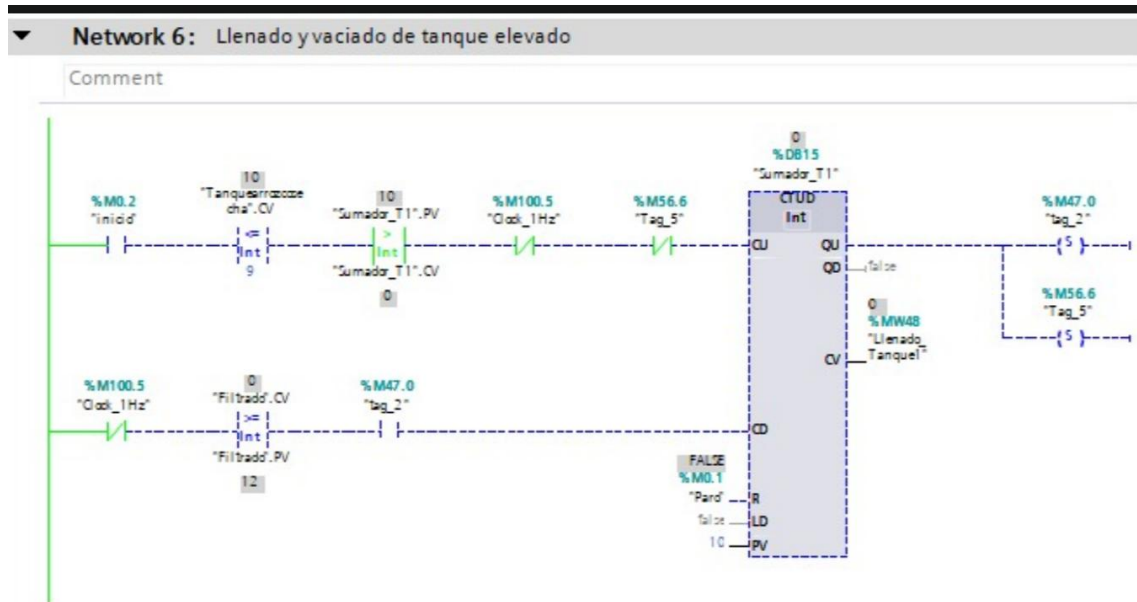


Nota. El tanque realizó el vaciado hasta llegar a 0, luego ingresó al otro tanque.

En la figura 84 se realizó el tanque elevado. Utilizado antes del secado.

Figura 84

Tanque elevado vacío

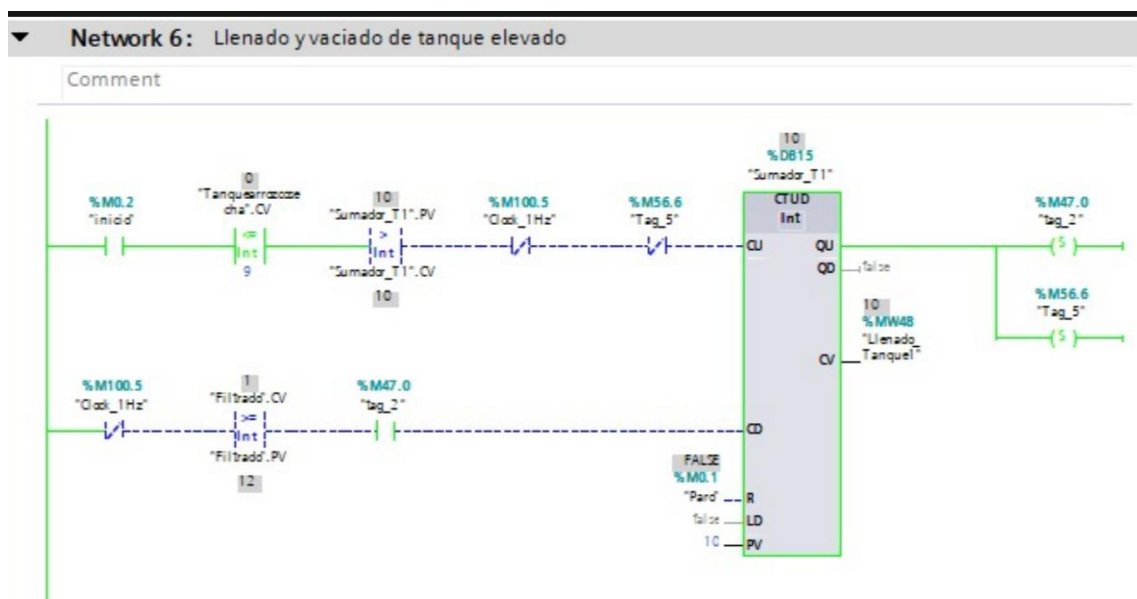


Nota. El tanque se encontraba vacío porque no recibía el contenido del primer tanque.

En la figura 85 se visualizó el tanque elevado lleno.

Figura 85

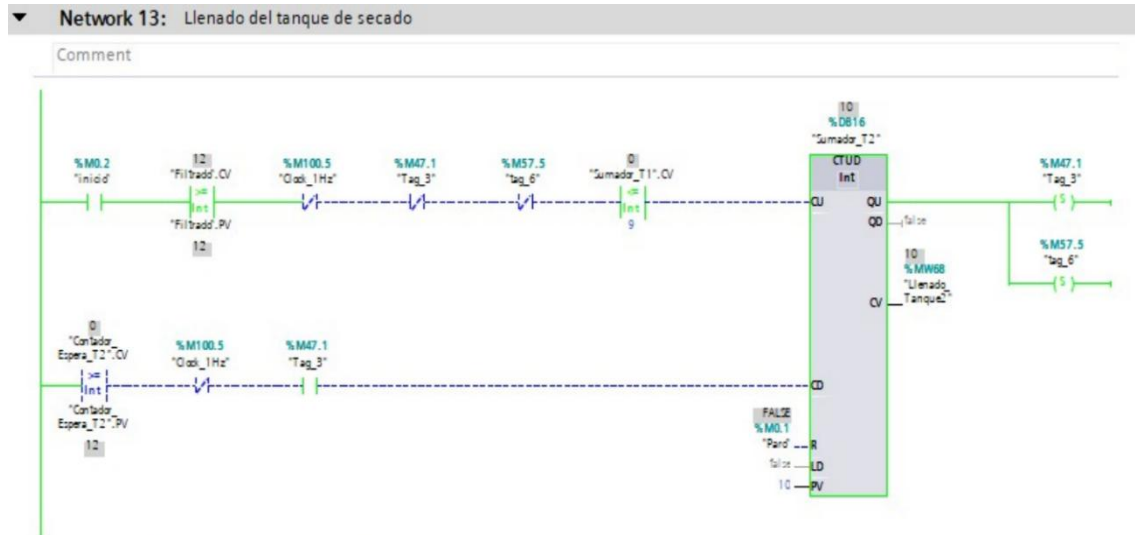
Tanque elevado lleno



Nota. El tanque elevado recibió la señal del tanque anterior quedando con contenido.

En la figura 86 se realizó el llenado donde se realizó el secado.

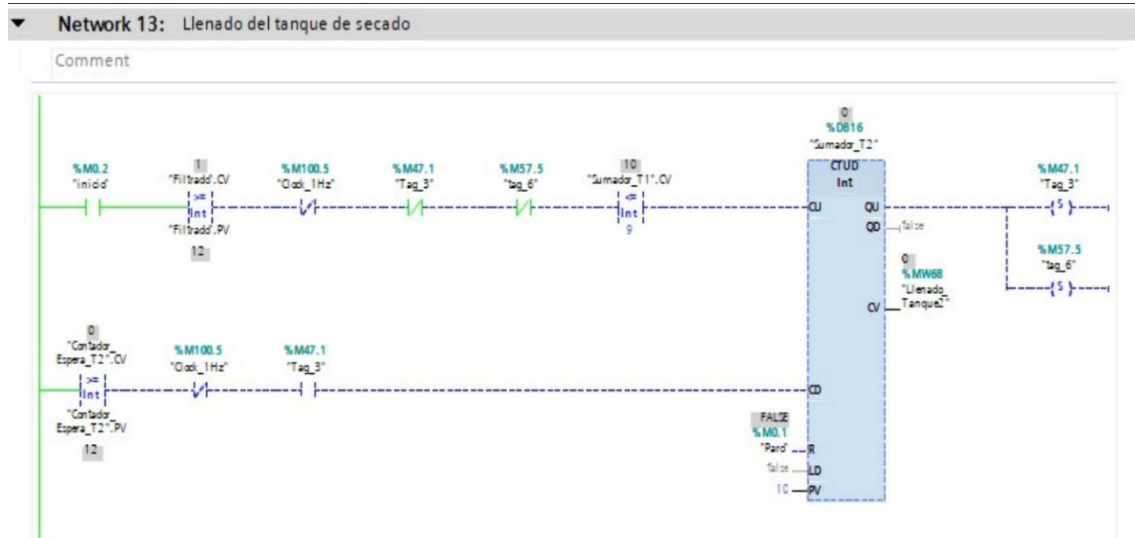
Figura 86
Llenado del tanque secado



Nota. El comparador realizó el paro y queda a la capacidad máxima.

En la figura 87 se observa el tanque de secado antes de llenarse.

Figura 87
Tanque de secado a la capacidad mínima

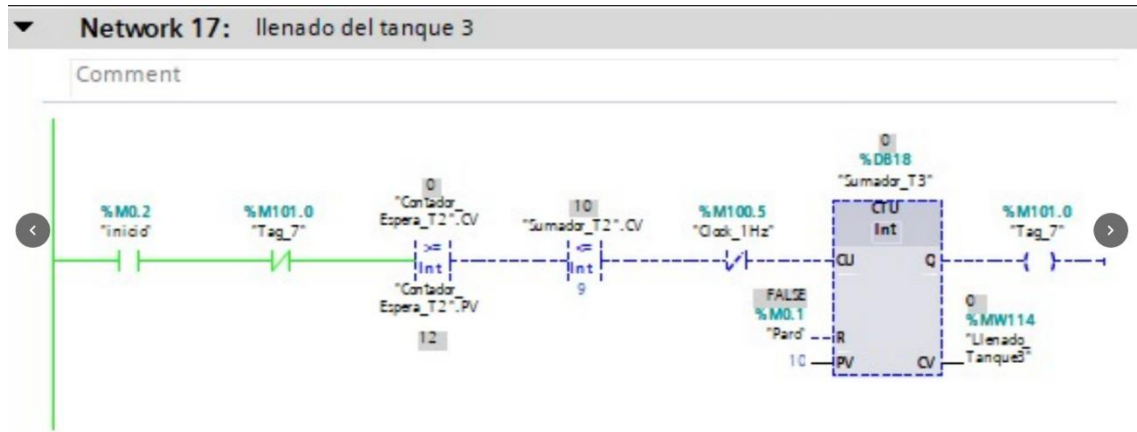


Nota. El comparador tanto en resta como en salida realizaron la simulación del llenado y vaciado.

En la figura 88 se colocaron los tanques de almacenamiento donde el arroz fue trasladado luego del secado.

Figura 88

Tanque de almacenamiento vacío

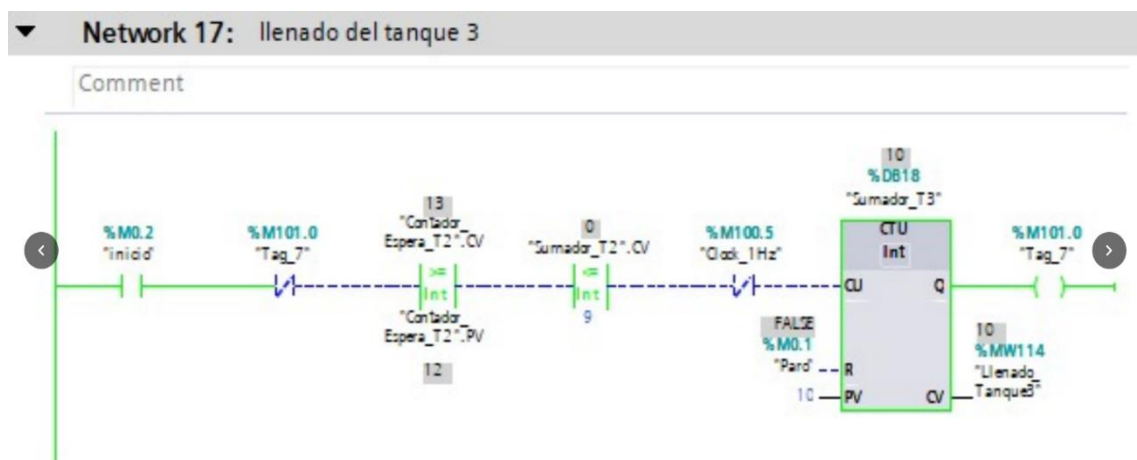


Nota. El tanque quedó vacío hasta que el secado concluyó y pasó tiempo establecido.

En la figura 89 se colocó el sensor de tanque de almacenamiento lleno.

Figura 89

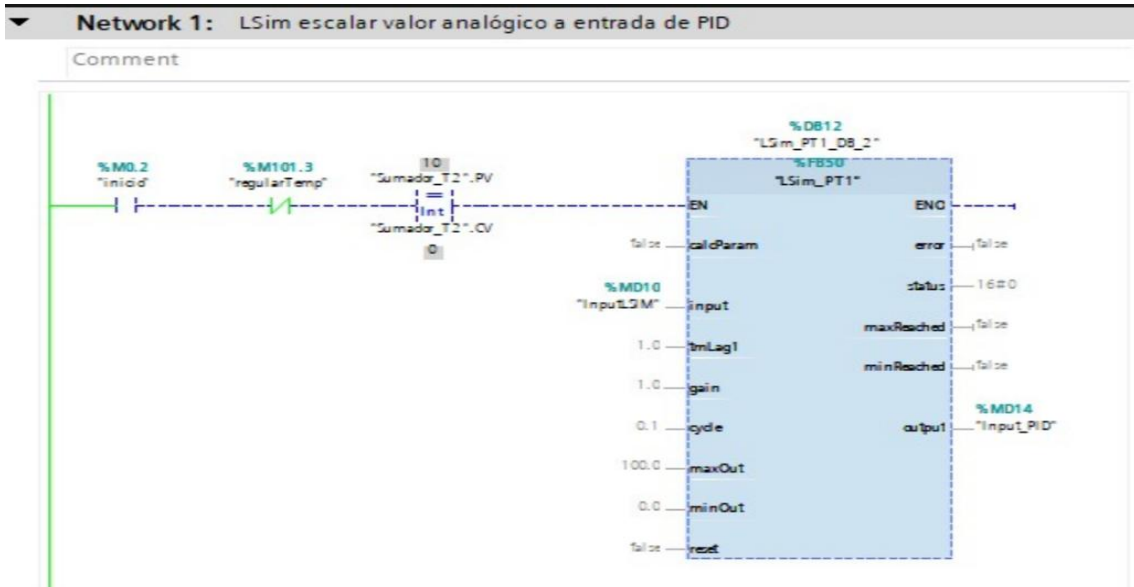
Tanque de almacenamiento completo



Notas. El tanque de almacenamiento se llenó una vez pasó el tiempo establecido en tanque de secado.

En la figura 90 se añadieron los bloques PID desactivados.

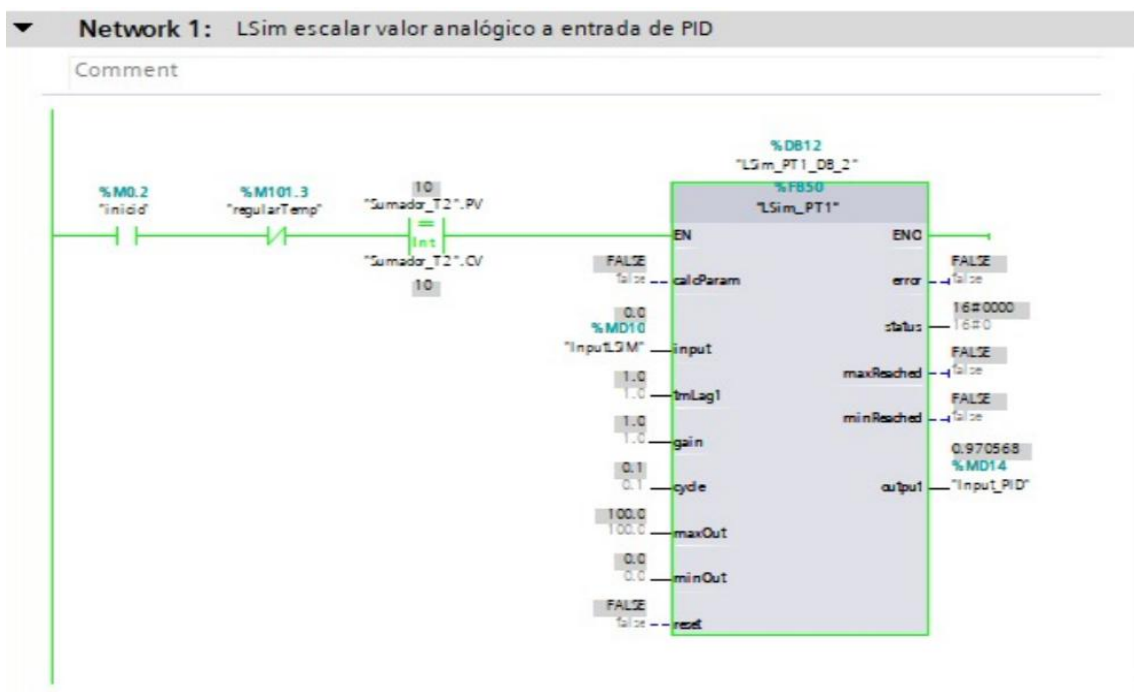
Figura 90
Bloque LSim escalando valor analógico



Nota. El bloque no se ejecutó hasta que la condición del comparador se cumplió.

En la figura 91 la librería LSim escaló el valor analógico.

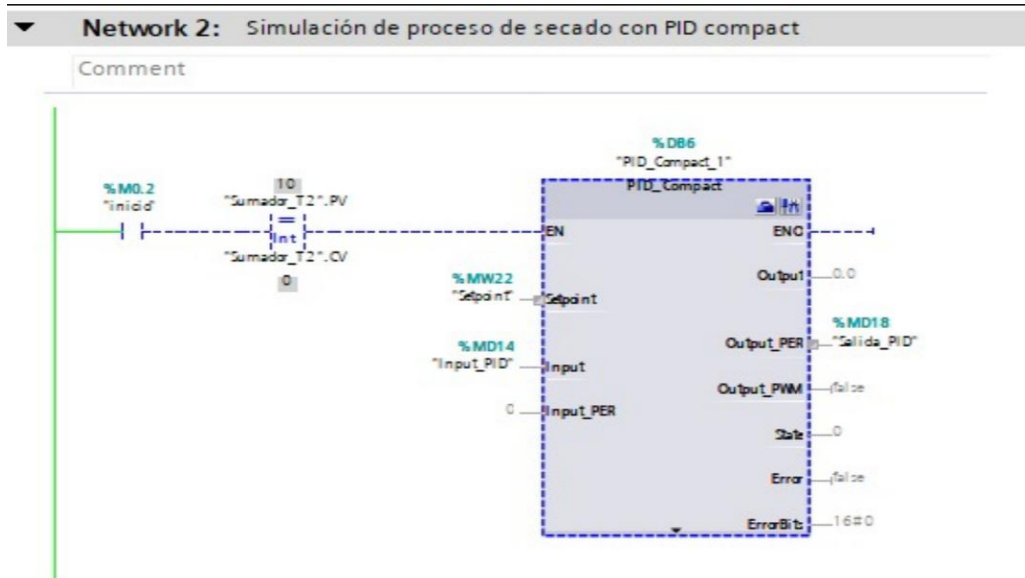
Figura 91
LSim y valor analógico



Nota. LSim pudo escalar los valores en el Input_PID. El comparador se cumplió y el PID comenzó con ese bloque.

En la figura 92 se observó el PID apagado antes de empezar el proceso de control.

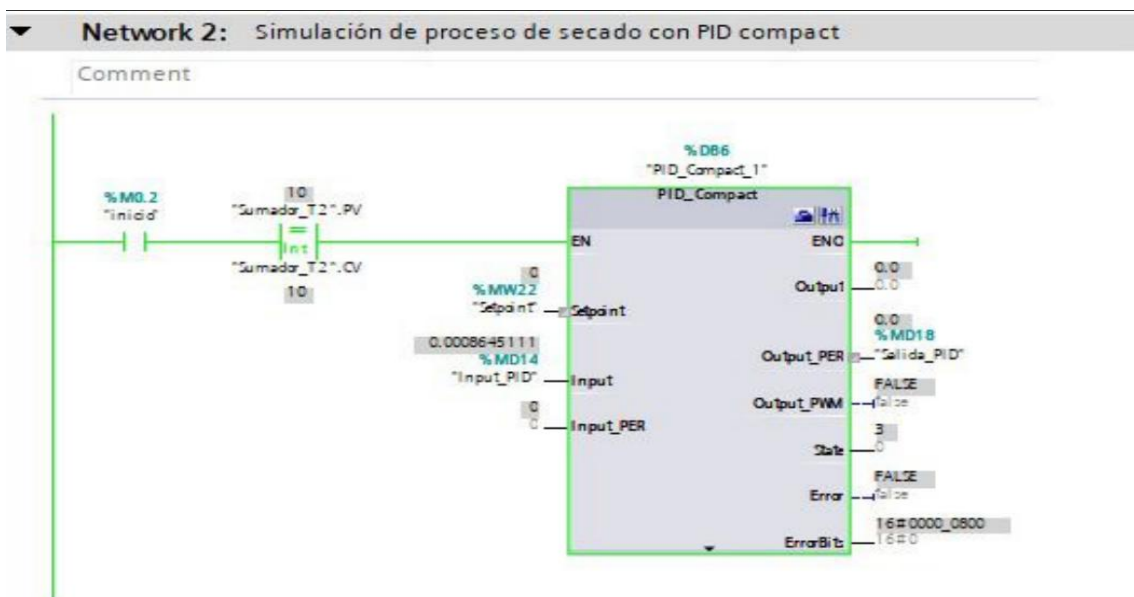
Figura 92
Proceso de secado PID



Nota. Se colocó el comparador y toda la estructura de control de calor encendió en igualdad.

En la figura 93 el control PID recibió señal donde comenzó su proceso.

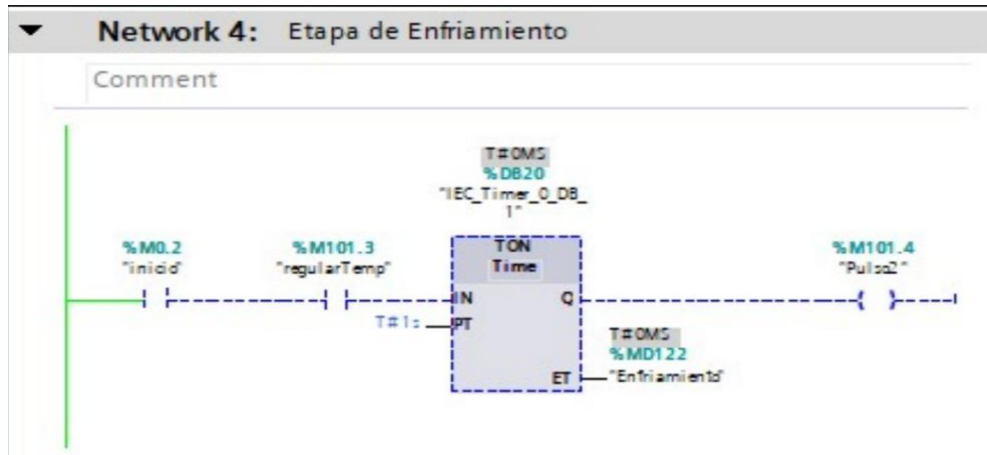
Figura 93
Proceso de secado con PID



Nota. PID compact funcionó correctamente, la salida fue agregada con nombre “Salida_PID”.

En la figura 94 se realizó etapa de enfriamiento en el mismo tanque donde sucedió el calentado del proceso.

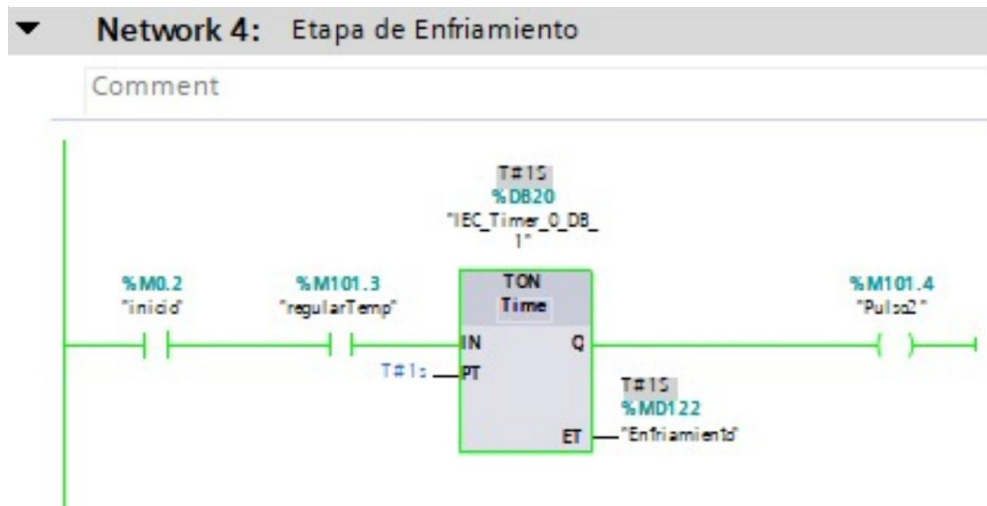
Figura 94
Etapa de enfriamiento



Nota. Se realizó la programación del enfriamiento de la cámara de secado.

En la figura 95 se visualizó la etapa de enfriamiento luego de una operación de calor.

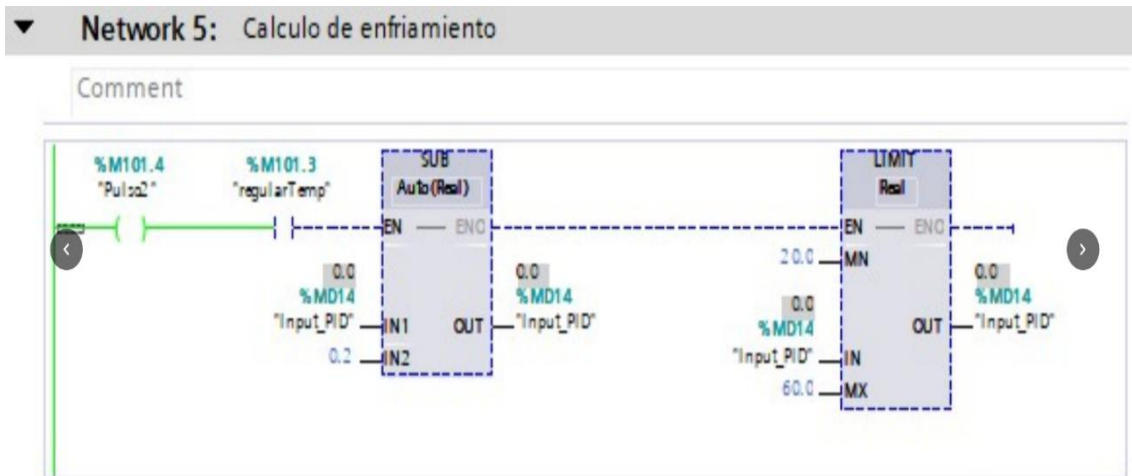
Figura 95
Etapa de enfriamiento



Nota. Se visualizó el tiempo siendo ejecutado por el bloque cuando se mueve al proceso de almacenamiento.

En la figura 96 se realizó el cálculo de la etapa de enfriamiento.

Figura 96
Cálculo para etapa de enfriamiento



Nota. Se limitó el bloque para el resultado y se utilizó una resta para representar la disminución de temperatura hasta llegar al ambiente.

En la figura 97 se realizó en vivo el cálculo de la etapa de enfriamiento.

Figura 97
Cálculo de la etapa de enfriamiento en tiempo real

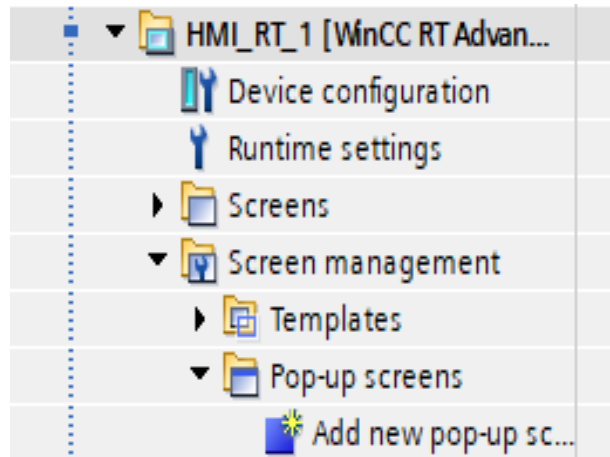


Nota. Se observó que el valor queda dentro del rango deseado.

En la figura 98 se agregó pantallas emergentes.

Figura 98

Se agregaron pantallas en Pop-up screens



Nota. Se desplegó la opción de añadir pantallas emergentes.

En la figura 99 se configuró la pantalla del tanque de secado.

Figura 99

Se visualizó la pantalla emergente



Nota. Se añadió leds de colores que representaron el nivel del tanque de secado.

En la figura 100 se configuró la pantalla del tanque de almacenamiento.

Figura 100

Pantalla emergente del tanque de almacenamiento

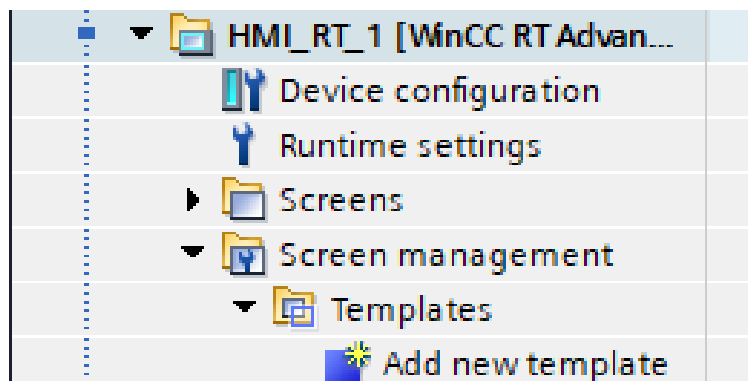


Nota. Se añadió leds de colores que representaron el nivel del tanque de almacenamiento.

En la figura 101 se agregó templates.

Figura 101

Se añadió la opción de templates

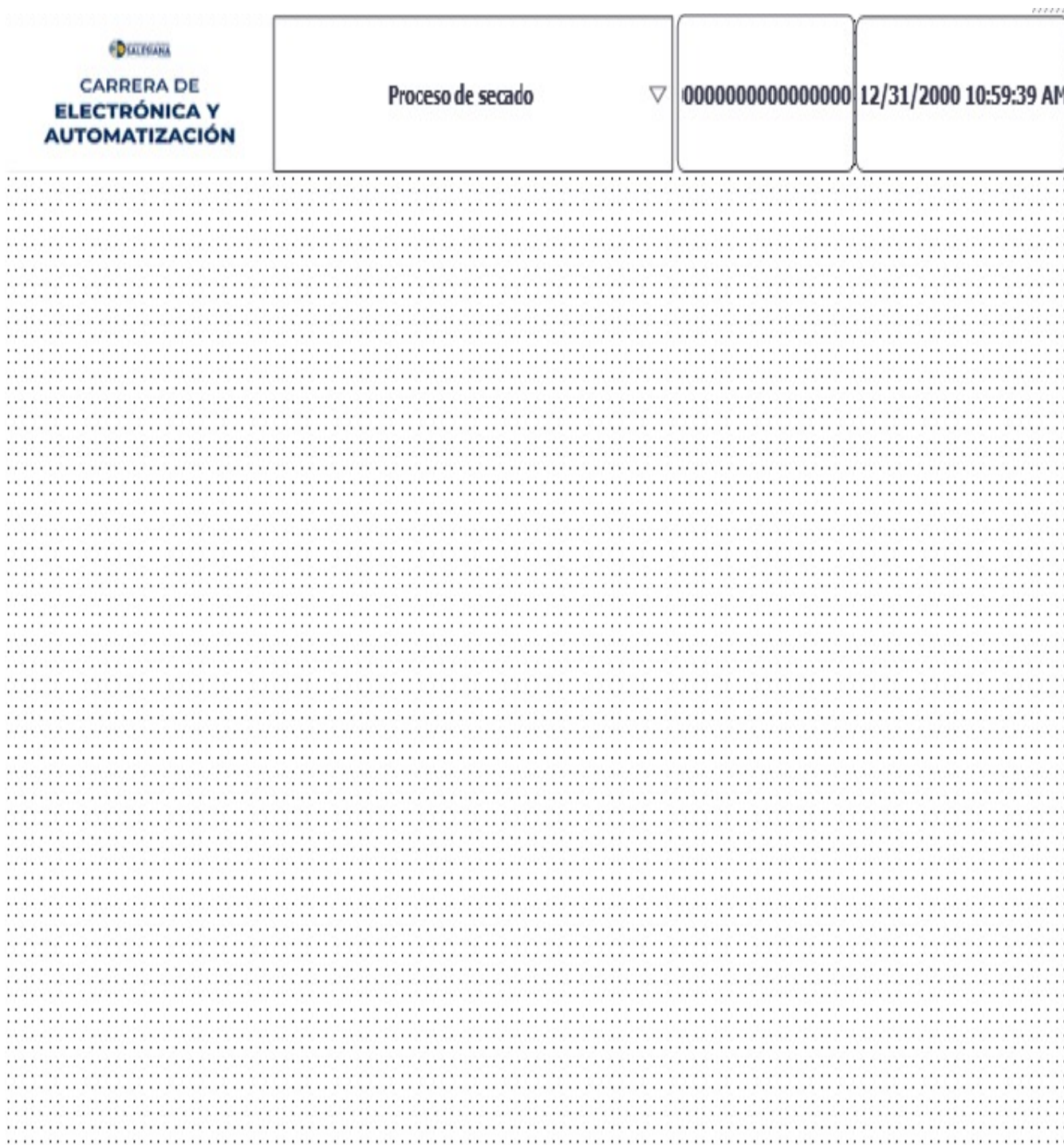


Nota. Se desplegó la opción de añadir nuevo template.

En la figura 102 se configuró el template que se usó en el proyecto.

Figura 102

Se configuró el template que se usó en el HMI

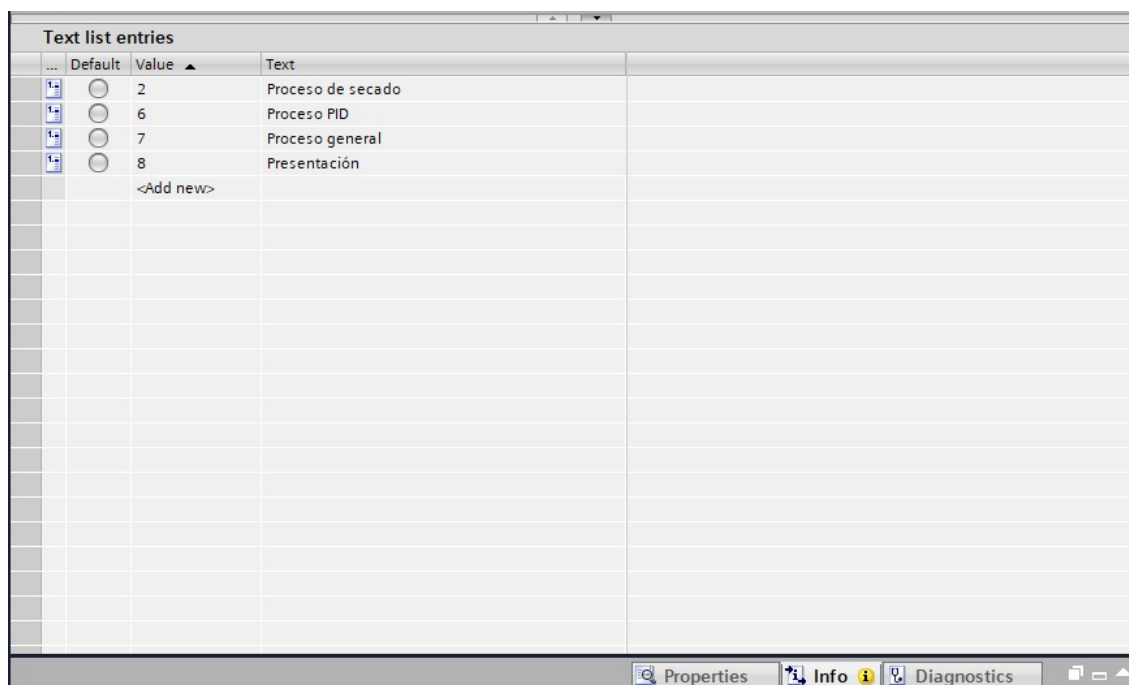


Nota. Se visualizó el template terminado.

En la figura 103 se configuró en que pantallas apareció el template.

Figura 103

Sección donde se añadió pantallas con el template



Nota. Se visualizaron las pantallas agregadas al template.