

**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD TÉCNICA DE EDUCACIÓN PARA EL DESARROLLO
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

TEMA:

**Diseño de un Sistema de Control de Producción y Envasado de
Humus de Lombrices usando Sistemas SCADA**

AUTOR:

Morales García, Julio Emanuel

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

TUTOR:

Ing. Palau de la Rosa, Luis Ezequiel, MsC.

Guayaquil, Ecuador

02 de septiembre del 2025



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD TÉCNICA DE EDUCACIÓN PARA EL DESARROLLO
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Morales García, Julio Emanuel**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero en Electrónica y Automatización**.

TUTOR (A)

Ing. Palau de la Rosa, Luis Ezequiel, MsC.

DIRECTOR DE LA CARRERA

Ing. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo, PhD.

Guayaquil, a los 02 del mes de septiembre del año 2025



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD TÉCNICA DE EDUCACIÓN PARA EL DESARROLLO
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Morales García, Julio Emanuel**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, **Diseño de un Sistema de Control de Producción y Envasado de Humus de Lombrices usando Sistemas SCADA** previo a la obtención del título de **Ingeniero en Electrónica y Automatización**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 02 del mes de septiembre del año 2025

EL AUTOR

Morales García, Julio Emanuel



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD TÉCNICA DE EDUCACIÓN PARA EL DESARROLLO
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

AUTORIZACIÓN

Yo, **Morales García, Julio Emanuel**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Diseño de un Sistema de Control de Producción y Envasado de Humus de Lombrices usando Sistemas SCADA**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 02 del mes de septiembre del año 2025

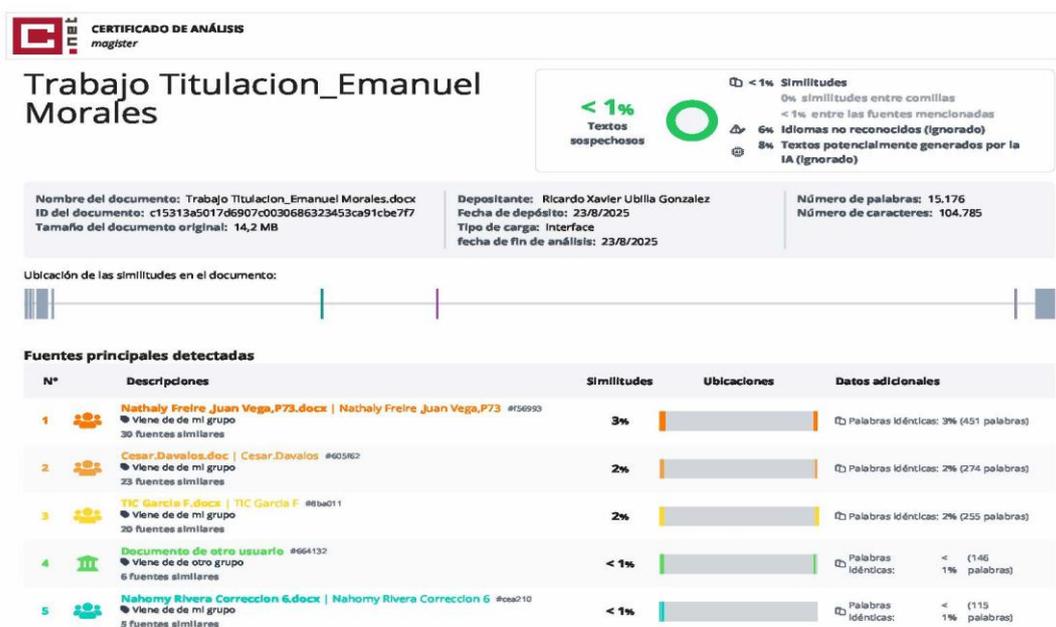
EL AUTOR:

Morales García, Julio Emanuel



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD TÉCNICA DE EDUCACIÓN PARA EL DESARROLLO



Se revisó el Trabajo de Titulación, Diseño de un Sistema de Control de Producción y Envasado de Humus de Lombrices usando Sistemas SCADA presentado por el estudiante Morales García, Julio Emanuel de la carrera de Ingeniería en Electrónica y automatización, donde obtuvo del programa COMPILATIO, el valor de <math>< 1\%</math> de coincidencias, considerando ser aprobada por esta dirección.

Certifica,

TUTOR:

Ing. Palau de la Rosa, Luis Ezequiel, MSc.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a la memoria de mis abuelos, Julio Enrique Morales Carrasco y Regina Emperatriz Jiménez Mosquera, quienes partieron cuando comencé este trayecto, dejando un legado imborrable de amor y fortaleza. Su guía espiritual y sus enseñanzas han sido el faro que ha iluminado mi camino en los momentos más oscuros de este proceso. Esta tesis es un homenaje a su vida, un testimonio de que su influencia perdura en cada uno de mis logros. Sé que, desde algún lugar de paz, hoy celebran este triunfo conmigo.

AGRADECIMIENTO

A mi abuela, Marcela Tagle Zambrano, cuyo apoyo fue fundamental para la culminación de mis estudios y este proyecto; su confianza en mi futuro es un regalo que atesoraré por siempre.

A mi madre, Susana Marisol García Tagle, gracias por tu fe inquebrantable en mí, incluso cuando yo dudaba de mis propias capacidades; tus oraciones y palabras de aliento fueron el motor que me impulsó a no rendirme.

A mis hermanos, Valeria, Marcelo, Camila y Valentina, por su paciencia, su compañía y por recordarme siempre que no estaba solo en este viaje.

A mis amigos, quienes me brindaron su apoyo y me ofrecieron valiosos momentos que fueron cruciales para mantener el ánimo.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD TÉCNICA DE EDUCACIÓN PARA EL DESARROLLO
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Ing. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo, PhD.
DIRECTOR DE CARRERA

Ing. Ubilla González, Ricardo Xavier, MsC.
COORDINADOR DEL ÁREA

Ing. Mero Vallas, Alexander Ronald, MsC.
OPONENTE

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	XV
ABSTRACT	XVI
CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN GENERAL	2
1.1. Introducción	2
1.2. Definición del problema	3
1.3. Justificación del problema	4
1.4. Objetivos.....	5
1.4.1. Objetivo General.....	5
1.4.2. Objetivos Específicos	5
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	6
2.1. Fundamentos Biológicos y Químicos de la Vermicultura.....	6
2.1.1. Biología de las Lombrices Comúnmente Usadas (<i>Eisenia foetida</i>)	6
2.1.2. Ciclo de Vida y Factores que Afectan la Reproducción de las Lombrices	7
2.1.3. Proceso Bioquímico de Descomposición de la Materia Orgánica	7
2.2. Parámetros Críticos y su Influencia en la Producción de Humus	8
2.2.1. Temperatura del Lecho y su Control	8
2.2.2. Humedad del Sustrato y su Regulación	8
2.2.3. Densidad de Población de Lombrices	9
2.2.4. Reproducción de la especie <i>Eisenia foetida</i>	9
2.2.5. Tiempo de Producción de 1 kg de Humus.....	9
2.3. Composición y Atributos del Humus de Lombriz	10
2.3.1. Composición Químico-Nutricional	10
2.3.2. Caracterización Microbiológica.....	11
2.3.3. Propiedades Físicas y Químicas del Humus	11
2.3.4. Ácidos Húmicos y Fúlvicos.....	11
2.3.5. Rendimiento de Mejora de Suelo por Kilogramo de Humus...	12
2.4. Principios Fundamentales de la Automatización Industrial.....	12
2.4.1. Arquitecturas Típicas de Automatización	12
2.4.2. Ventajas Competitivas de la Automatización en Agroindustria	13
2.5. Instrumentación Industrial para Monitoreo de Procesos.....	14
2.5.1. Tipos de Sensores y Transductores (Temperatura, Humedad, Nivel, Peso)	14
2.5.2. Celdas de Carga para Sistemas de Pesaje.....	15
2.5.3. Acondicionamiento de Señal	15
2.6. Actuadores Industriales para Control y Manipulación.....	16

2.6.1.	Motores Eléctricos y Variadores de Frecuencia (VFD).....	16
2.6.2.	Bombas	17
2.6.3.	Válvulas de Control (Solenoide, Motorizadas).....	17
2.6.4.	Sistemas Neumáticos e Hidráulicos	18
2.7.	Controladores Lógicos Programables (PLC)	18
2.7.1.	Arquitectura de PLC	18
2.7.2.	Lenguajes de Programación Estándar IEC 61131-3	19
2.7.3.	Módulos de Entrada/Salida (E/S)	20
2.7.4.	Diseño de Lógica de Control y Secuenciación	20
2.8.	Sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)	21
2.8.1.	Arquitectura de un Sistema SCADA	21
2.8.2.	Funcionalidades Clave del SCADA	22
2.8.3.	Diseño de Interfaces Hombre-Máquina (HMI)	22
2.8.4.	Software SCADA Siemens WinCC.....	23
2.8.5.	Software SCADA Ignition by Inductive Automation	24
2.9.	Fundamentos de Redes Industriales	24
2.9.1.	Topologías de Red Comunes (Estrella, Anillo, Bus).....	24
2.9.2.	Estándares de Cableado Industrial (Ethernet, RS-485).....	25
2.9.3.	Latencia, Ancho de Banda y Confiabilidad	26
2.10.	Protocolos de Comunicación Industrial Específicos	26
2.10.1.	Modbus TCP/IP	26
2.10.2.	PROFINET	27
2.10.3.	EtherNet/IP	28
2.10.4.	OPC Unified Architecture (OPC UA)	28
2.11.	Ciberseguridad en Sistemas de Control Industrial (ICS/SCADA) ..	29
2.11.1.	Identificación de Vulnerabilidades y Amenazas en Redes OT	29
2.11.2.	Estrategias de Defensa (Firewalls, VPNs, Segmentación de Red)	29
2.11.3.	Normativas y Estándares de Ciberseguridad para ICS (ISA/IEC 62443)	30
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN		31
3.1.	Características de la investigación	31
3.1.1.	Investigación mixta	32
3.1.2.	Técnicas de investigación utilizadas.....	32
3.2.	Metodología de desarrollo	34
3.2.1.	Etapas del desarrollo.....	34
3.2.2.	Ventajas de la metodología aplicada.....	35
3.3.	Relación de la metodología con los objetivos del proyecto	35
CAPÍTULO 4: DEFINICIÓN Y DESARROLLO DEL PROYECTO		36
4.1.	Fase de Investigación y Análisis Preliminar.....	36
4.1.1.	Análisis de Requerimientos del Proceso	36
4.2.	Fase de Diseño Conceptual y Detallado del Sistema	37

4.2.1.	Diseño de la Arquitectura del Sistema de Control	37
4.2.2.	Diseño del Subsistema de Cultivo Automatizado	39
4.2.3.	Diseño del Subsistema de Separación del Humus.....	42
4.2.4.	Diseño del Subsistema de Envasado Automatizado	44
4.2.5.	Diseño de la Interfaz de Sistema de control por botones físicos y sistema de alarmas.....	47
4.2.6.	Vista general del PLC con sus módulos adicionales y sus variables de E/S correctamente direccionadas.....	48
4.2.7.	Diseño de la Interfaz SCADA	50
4.3.	Fase de Diseño y Simulación	51
4.3.1.	Programación de PLC	51
4.3.2.	Desarrollo de la Aplicación SCADA.....	58
4.4.	Análisis de Viabilidad.....	67
4.4.1.	Análisis de Impacto Ambiental	67
4.4.2.	Análisis de Costos	69
4.4.3.	Identificación de Riesgos y Limitaciones	70
	CONCLUSIONES	72
	RECOMENDACIONES.....	73
	REFERENCIAS	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Imagen 1 <i>Eisenia foetida</i>	6
Imagen 2 <i>Ciclo de vida de la lombriz roja californiana</i>	7
Imagen 3 <i>Humus de Lombriz Procesada</i>	10
Imagen 4 <i>Arquitectura de un sistema de control típico</i>	13
Imagen 5 <i>Sensores y Transductores para medida de parámetros físicos</i> ..	14
Imagen 6 <i>Acondicionamiento de señales</i>	15
Imagen 7 <i>Motor eléctrico conectado a un VFD</i>	16
Imagen 8 <i>Bomba centrífuga radial</i>	17
Imagen 9 <i>Diferentes tipos de válvulas de control</i>	18
Imagen 10 <i>Arquitectura de un PLC</i>	19
Imagen 11 <i>Tipos de Lenguajes de Programación para PLCs con sus ejemplos</i>	20
Imagen 12 <i>Estructura del circuito secuencial retroalimentado (modelo de Mealy)</i>	21
Imagen 13 <i>Diseño de un sistema SCADA para el control de reactores</i>	22
Imagen 14 <i>HMIs con diseños en fondo oscuro y claro</i>	23
Imagen 15 <i>Diseño de un sistema SCADA usando WinCC Professional</i>	23
Imagen 17 <i>Diferentes tipos de topologías de red</i>	25
Imagen 18 <i>Tipos de cableado industrial Ethernet</i>	25
Imagen 19 <i>Representación gráfica de la latencia</i>	26
Imagen 20 <i>Protocolo Modbus TCP</i>	27
Imagen 21 <i>Estructura de comunicación PROFINET</i>	27

Imagen 22	<i>Protocolo de comunicación OPC UA</i>	28
Imagen 23	<i>Firewall de red</i>	30
Imagen 24	<i>Estructura de la normativa ISA/IEC 62443</i>	30
Imagen 25	<i>Diseño de diagrama de flujo para el desarrollo de la etapa 1 – Monitoreo de Condiciones ambientales</i>	39
Imagen 26	<i>Diseño de diagrama de flujo para el desarrollo de la etapa 1 – Disparo de recolección</i>	40
Imagen 27	<i>Diseño del Diagrama de flujo para la etapa 2</i>	42
Imagen 28	<i>Diseño del Diagrama de flujo para la etapa 2</i>	44
Imagen 29	<i>Disposición de E/S vinculadas a los puertos físicos del PLC</i>	49
Imagen 30	<i>Vista general de pantallas en el HMI</i>	50
Imagen 31	<i>Vista general de pantallas Pop-up</i>	51
Imagen 32	<i>Vista de dispositivos en la ventana de programación del TIA Portal</i>	51
Imagen 33	<i>Tabla de variables E/S principales</i>	52
Imagen 34	<i>Vista general de los bloques de programación a usar</i>	53
Imagen 35	<i>Elementos del bloque de datos Estados del Sistema</i>	55
Imagen 36	<i>Elementos del bloque de datos Estados del Sistema</i>	56
Imagen 37	<i>Elementos del bloque de datos HMI Control</i>	57
Imagen 38	<i>Elementos del bloque de datos Parámetros Globales</i>	57
Imagen 39	<i>Pantalla de carátula al iniciar el sistema SCADA</i>	58
Imagen 40	<i>Diseño final de la pantalla "Inicio del sistema"</i>	62
Imagen 41	<i>Diseño final de la pantalla "Área del proceso"</i>	65
Imagen 42	<i>Diseño final de la pantalla Pop-Up "Selección de parámetros"</i> . 66	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Diseño de la Arquitectura de Control	38
Tabla 2	<i>Relación de entradas analógicas y digitales de la etapa 1, con las direcciones físicas del PLC.....</i>	41
Tabla 3	<i>Relación de entradas analógicas y digitales de la etapa 2, con las direcciones físicas del PLC.....</i>	43
Tabla 4	<i>Relación de entradas analógicas y digitales de la etapa 3, con las direcciones físicas del PLC.....</i>	46
Tabla 5	<i>Relación de entradas digitales de la etapa de control, con las direcciones físicas del PLC.....</i>	47
Tabla 6	<i>Eventos creados para la sección de botones en la pantalla "Inicio del sistema"</i>	58
Tabla 7	<i>Animaciones creadas para la sección de indicadores en la pantalla "Inicio del sistema".....</i>	60
Tabla 8	<i>Propiedades creadas para la sección de visualizadores en la pantalla "Inicio del sistema"</i>	61
Tabla 9	<i>Eventos y animaciones configurados a los indicadores de la pantalla de Área del Proceso</i>	62
Tabla 10	<i>Ventana Pop Up "Selección de parámetros".....</i>	65
Tabla 11	<i>Producción anual de humus de lombriz, en kilogramos.....</i>	68
Tabla 12	<i>Área de suelo que podrá ser mejorado con respecto a la producción anual.....</i>	68
Tabla 13	<i>Costos de implementación totales del sistema</i>	69
Tabla 14	<i>Calculo del promedio del precio del humus de lombriz por kilogramos en Ecuador.....</i>	70
Tabla 15	<i>Cálculo de ganancias por trimestre, con proyección a un año.....</i>	70

RESUMEN

Este trabajo de titulación presenta el diseño e implementación de una planta automatizada para la producción y envasado de humus de lombriz, integrando tecnologías de automatización industrial, control ambiental y sostenibilidad agrícola. Se emplea un sistema basado en PLC Siemens S7-1215C y módulos de expansión, gestionado mediante el software TIA Portal, complementado con sensores de humedad, temperatura, peso y posición. El sistema automatiza desde la alimentación de residuos orgánicos hasta el sellado final del producto, con capacidad de escalarse a mayor volumen. Se analiza el impacto ambiental, proyectando la producción de humus y la superficie agrícola que puede beneficiarse del fertilizante orgánico. El sistema no solo funciona bien, sino que también es rentable. Se consideró el crecimiento poblacional natural de las lombrices y una tasa de mortalidad del 25%, y se observó que la inversión se recupera en menos de un año. Por supuesto, existen riesgos importantes: la automatización no está exenta de problemas, puede haber desafíos con el entorno donde criar las lombrices (como condiciones inadecuadas), y gestionar los residuos que producen también requiere planificación cuidadosa.

Palabras Claves: Automatización industrial, vermicompostaje, humus de lombriz, sostenibilidad, rentabilidad, control ambiental.

ABSTRACT

This thesis presents the design and implementation of an automated plant for the production and packaging of vermicompost. The system integrates industrial automation, environmental control, and agricultural sustainability technologies. It uses a Siemens S7-1215C PLC with expansion modules, managed via TIA Portal software, along with moisture, temperature, weight, and position sensors.

The automated system handles the entire process, from feeding organic waste to the final product sealing, and can be scaled for larger production volumes. An environmental impact analysis was conducted, projecting the volume of vermicompost production and the agricultural area that could benefit from this organic fertilizer.

The system is not only functional but also profitable. Considering the natural population growth and a 25% mortality rate for the worms, the investment is projected to be recovered in less than one year.

However, significant risks exist. Automation is not without its challenges, and issues may arise with the worm-rearing environment (such as inadequate conditions). Additionally, managing the waste they produce requires careful planning.

Keywords: Industrial automation, vermicomposting, worm humus, sustainability, profitability, environmental control.

CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN GENERAL

1.1. Introducción

La agricultura moderna enfrenta retos significativos, buscando equilibrar la eficiencia productiva con la indispensable sostenibilidad ambiental entre los cuales está la degradación del suelo, el uso masivo de agroquímicos y la creciente urgencia de prácticas más ecológicas, los cuales impulsan la búsqueda de innovaciones. En este escenario, la vermicompostaje se posiciona como una opción prometedora, permitiendo producir humus de lombriz, un abono orgánico de alto valor. Este producto es conocido por mejorar la estructura y la fertilidad del suelo. Es una alternativa natural que reduce la necesidad de productos sintéticos, lo que ayuda a crear sistemas agrícolas más fuertes.

Este proyecto busca diseñar un sistema de control para la producción y el envasado de humus de lombriz utilizando tecnología SCADA. Uno de los objetivos es usar la automatización industrial para varios aspectos: monitorear las condiciones en las que viven las lombrices, separar el humus de manera eficiente del resto del material y envasar el producto con exactitud. Con esto se busca optimizar la producción y sentar las bases para que el proceso sea más estándar y fácilmente escalable.

La implementación de esta solución promete cambiar la manera en que se maneja la producción de humus, ya que es un proceso que tradicionalmente requiere mucha mano de obra. Con un control automatizado sobre las condiciones de cultivo de las lombrices, se asegura su rendimiento óptimo y una calidad uniforme en el producto final. La etapa de envasado también se beneficiará de la automatización, asegurando pesos exactos y una presentación profesional del biofertilizante.

1.2. Definición del problema

Actualmente, la producción de humus de lombriz enfrenta desafíos considerables que merman su eficiencia y escalabilidad. El problema principal radica en la falta de monitoreo sobre factores ambientales cruciales, como la temperatura y la humedad durante la fase de cultivo de las lombrices. La falta de control impacta directamente la salud de los organismos, su capacidad para procesar materia orgánica y, por lo tanto, la cantidad y calidad del humus final, lo que resulta en una producción inestable. A esto se suma que, por lo general, la preparación y el envasado del humus se hacen a mano o de forma semiautomatizada. Esto causa ineficiencias, una gran dependencia de la mano de obra, errores frecuentes al pesar el producto y una trazabilidad muy limitada en la cadena de producción. Todas estas limitaciones impiden a los productores satisfacer la creciente demanda de biofertilizantes de alta calidad, lo que reduce su competitividad en el mercado.

La ausencia de un sistema integrado que permita monitorear y gestionar el proceso en tiempo real, y la falta de datos precisos en cada etapa, dificulta la optimización de recursos y la identificación de problemas antes de que afecten la producción, por lo que es casi imposible hacer mejoras continuas o aumentar la producción de manera eficiente y sostenible. Esta situación no solo afecta la viabilidad económica de las operaciones a gran escala, sino que también limita el potencial de las lombrices como elementos clave para mejorar los suelos y expandir el uso de fertilizantes orgánicos.

En esencia, el problema es la falta de un proceso industrial estandarizado y automatizado, lo que impide asegurar una calidad consistente, la eficiencia operativa y la escalabilidad necesarias para la producción masiva de este valioso biofertilizante, lo que frena su adopción en la agricultura regenerativa.

1.3. Justificación del problema

La carencia de eficiencia y la ausencia de normativas claras en la producción de humus de lombriz generan impactos considerables que subrayan la urgencia de implementar una solución automatizada. Primero, las variaciones en las condiciones de cultivo afectan directamente la actividad biológica de las lombrices, resultando en la producción de humus de calidad inconsistente. Un producto de baja calidad podría no cumplir las expectativas de mejora del suelo, desincentivando su uso y limitando su aceptación en el mercado agrícola que cada vez exige más estándares.

Segundo, la dependencia de procesos manuales para la separación y el envasado no solo sube los costos y el tiempo de producción, sino que también aumenta el riesgo de errores humanos. Esto puede provocar pérdidas de producto, empaques incorrectos o variaciones de peso, limitando la capacidad de los productores para cubrir la creciente demanda de abonos orgánicos, y dificultando su competencia con las alternativas químicas. Aunque estas últimas tienen un impacto ambiental diferente, suelen ofrecer mayor consistencia y volumen.

Para finalizar, la falta de un sistema de control y monitoreo en tiempo real dificulta la optimización de recursos y la detección proactiva de problemas, pues, sin datos precisos sobre el rendimiento de cada etapa, es casi imposible implementar mejoras continuas o escalar la producción de forma eficiente. Al abordar estos problemas con un sistema automatizado, no solo mejorará la calidad y efectividad del humus de lombriz, sino que también se fortalecerá la viabilidad económica y la sostenibilidad a largo plazo de este valioso fertilizante natural.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Diseñar un sistema de control y automatización para la producción de humus de lombriz basado en tecnología SCADA, con el fin de estandarizar un proceso tradicionalmente manual y generar un impacto ambiental mediante la comercialización del producto final.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Diseñar la arquitectura de instrumentación y control automatizado que integre los sistemas de medición de variables ambientales, dosificación de materiales y actuadores clave a lo largo de las fases de crianza, preparación y empaque del proceso.
- Desarrollar la lógica de control y la interfaz SCADA para la gestión centralizada, monitoreo en tiempo real y optimización de los flujos de material y condiciones operativas en todo el proceso de generación de nutrientes.
- Simular el funcionamiento del sistema automatizado, validando la interacción entre las distintas etapas y la capacidad del diseño, para garantizar la eficiencia y trazabilidad en todo el proceso.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1. Fundamentos Biológicos y Químicos de la Vermicultura

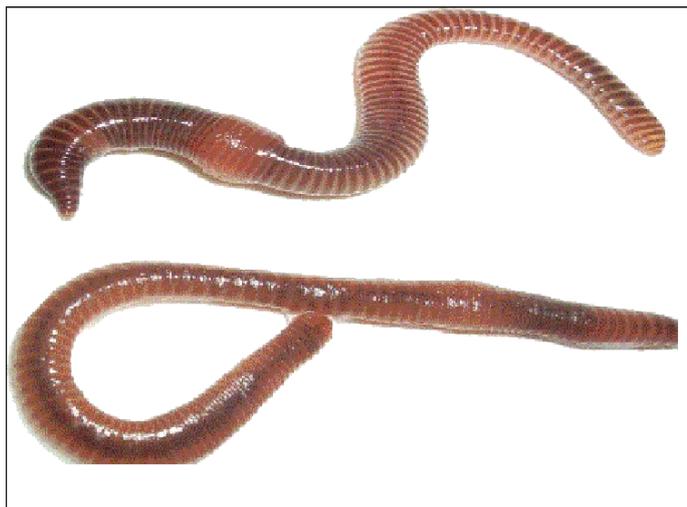
Esta sección explora el núcleo del proceso, desde las características esenciales de las lombrices que lo hacen posible hasta la intrincada transformación molecular de la materia orgánica, sentando las bases necesarias para cualquier iniciativa de automatización que aspire a optimizar la producción de humus de manera eficiente.

2.1.1. Biología de las Lombrices Comúnmente Usadas (*Eisenia foetida*)

Las lombrices más ampliamente empleadas en sistemas de vermicompostaje son las especies epigeas *Eisenia foetida* (lombriz roja californiana) y, en menor medida, *Lumbricus rubellus*, debido a su alta eficiencia en la conversión de desechos orgánicos en humus. Estas lombrices se caracterizan por habitar en la superficie del suelo, consumiendo y fragmentando activamente la materia orgánica en descomposición, lo que facilita la acción microbiana y su posterior digestión (Sharma et al., 2021).

Imagen 1

Eisenia foetida



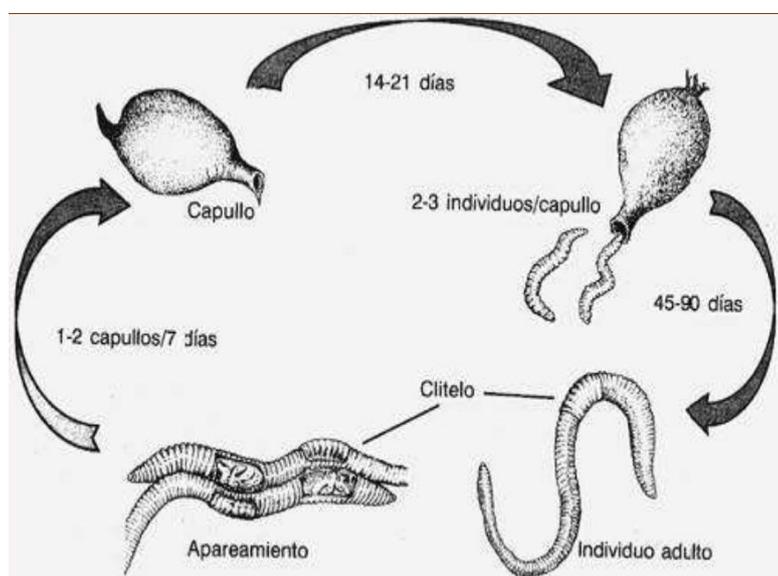
Nota: Lombriz roja Tomado de Schuld, 2004.

2.1.2. Ciclo de Vida y Factores que Afectan la Reproducción de las Lombrices

El ciclo de vida de *Eisenia foetida* es notable por su rapidez y alta tasa reproductiva, lo que las convierte en ideales para sistemas de producción a escala. Son hermafroditas con fecundación cruzada, produciendo capullos que eclosionan liberando varias crías en un periodo relativamente corto (Rai et al., 2020). La prolificidad reproductiva de las lombrices en sistemas de cautiverio está directamente influenciada por factores ambientales como la temperatura del lecho, la humedad del sustrato, el pH y la disponibilidad de alimento, siendo crucial el mantenimiento de condiciones óptimas para asegurar una expansión poblacional constante y, por ende, una alta capacidad de procesamiento de residuos.

Imagen 2

Ciclo de vida de la lombriz roja californiana



Nota: Tomado de Caballero A., Conferencia 4: Compostaje y Lombricultura, 2020.

2.1.3. Proceso Bioquímico de Descomposición de la Materia Orgánica

La transformación de residuos orgánicos en humus de lombriz es un complejo proceso bio-oxidativo que implica la acción combinada de las

lombrices y una vasta comunidad microbiana. Cuando las lombrices ingieren el material, lo fragmentan mecánicamente y lo mezclan con microorganismos de su tracto digestivo, exponiendo una mayor superficie para la actividad enzimática y microbiana (Adesanwo et al., 2023). Este tránsito intestinal promueve la descomposición de polímeros complejos, la mineralización de nutrientes y la humificación, que confiere al vermicompost sus características únicas de estabilidad y fertilidad.

2.2. Parámetros Críticos y su Influencia en la Producción de Humus

El éxito en la obtención de humus de lombriz depende directamente del manejo preciso de ciertas condiciones ambientales. Este apartado se enfoca en los factores más determinantes que impactan tanto la actividad y el bienestar de las lombrices como la calidad y cantidad del producto final, lo cual es crucial para establecer las bases de un sistema de control efectivo.

2.2.1. Temperatura del Lecho y su Control

La temperatura del lecho de vermicompostaje es un factor ambiental crítico que afecta directamente la tasa de alimentación, el crecimiento y la reproducción de las lombrices, y, por ende, la eficiencia de la descomposición de los desechos orgánicos. Para la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), la actividad óptima se sitúa en un rango de temperatura entre los 15°C y 25°C, donde su metabolismo es más eficiente y su capacidad de procesamiento de residuos es máxima (Rincones et al., 2023).

2.2.2. Humedad del Sustrato y su Regulación

El contenido de humedad del sustrato es un parámetro fundamental para la supervivencia y la función biológica de las lombrices, ya que su respiración se realiza a través de la piel, la cual debe permanecer húmeda para el intercambio gaseoso. El rango de humedad óptimo para que las lombrices descompongan eficazmente los desechos orgánicos y mantengan una alta actividad se encuentra típicamente entre el 70% y el 85% (Adhikary & Maity, 2021).

2.2.3. Densidad de Población de Lombrices

La densidad de población de lombrices en el vermicompostador es un factor clave que influye directamente en la tasa de procesamiento de los residuos orgánicos y la eficiencia del sistema. Una densidad adecuada asegura que haya suficientes organismos para descomponer la materia orgánica a un ritmo óptimo sin generar estrés por superpoblación, lo que podría conducir a una competencia excesiva por el alimento y el espacio (Liu et al., 2024).

2.2.4. Reproducción de la especie *Eisenia fetida*

La especie *Eisenia fetida*, comúnmente utilizada en lombricultura para vermicompostaje, presenta una capacidad reproductiva notable bajo condiciones óptimas de humedad, temperatura y alimento. Según investigaciones especializadas, puede duplicar su población aproximadamente cada 60 a 90 días, lo que ha sido validado en ensayos controlados donde se observó un incremento exponencial del número de individuos a lo largo de ciclos de reproducción medidos experimentalmente (Qureshi & Gheisari, 2010). Este ritmo implica que, incluso partiendo de un solo individuo, la población podría alcanzar 256 individuos en aproximadamente seis meses, si se mantiene un entorno propicio.

2.2.5. Tiempo de Producción de 1 kg de Humus

La eficiencia del vermicompostaje, medida por la capacidad de producir una cantidad específica de humus en un tiempo determinado, está directamente relacionada con la biomasa de lombrices activas en el sistema. Generalmente, se estima que 1 kilogramo de lombrices rojas californianas (*Eisenia foetida*), lo que equivale aproximadamente a 1,000 a 2,000 individuos adultos, puede procesar entre 0.5 y 1.0 kg de residuos orgánicos por día bajo condiciones óptimas (Adhikary & Maity, 2021). Considerando que la conversión de materia orgánica a humus de lombriz se sitúa típicamente entre el 40% y el 60% en peso (Adhikary & Maity, 2021), esta población de lombrices podría generar 1 kilogramo de humus de lombriz seco en un período de aproximadamente 1.5 a 4 días.

2.3. Composición y Atributos del Humus de Lombriz

El valor inherente del humus de lombriz como enmienda de suelo y biofertilizante se deriva de sus propiedades únicas. Esta sección se adentra en la compleja composición del humus, analizando sus características químicas, nutricionales y microbiológicas, un conocimiento fundamental para justificar y guiar la implementación de sistemas de producción que aseguren estándares óptimos.

2.3.1. Composición Químico-Nutricional

El humus de lombriz es reconocido por su rica composición químico-nutricional, que lo convierte en un biofertilizante superior para el mejoramiento de suelos. Contiene una concentración elevada de macronutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio, así como micronutrientes vitales como hierro, manganeso, zinc y cobre, en formas fácilmente asimilables por las plantas (Li et al., 2021).

Imagen 3

Humus de Lombriz Procesada



Nota: Tomado de <https://solucionparagranulaciondecompostaje.mx/granulacion-de-humus-de-lombriz/>

2.3.2. Caracterización Microbiológica

La calidad del humus de lombriz no solo reside en su composición química, sino también en su rica y diversa comunidad microbiológica, que es significativamente mayor que la de otros compost. Este material alberga una gran variedad de bacterias, hongos, actinomicetos y protozoos que contribuyen a la ciclación de nutrientes, la supresión de patógenos del suelo y la promoción del crecimiento vegetal (Sharma et al., 2021). La presencia de estos microorganismos beneficiosos mejora la salud general del suelo y su resiliencia.

2.3.3. Propiedades Físicas y Químicas del Humus

El humus de lombriz es una enmienda del suelo con propiedades físicas y químicas excepcionales que mejoran la estructura y fertilidad del suelo. A nivel físico, aumenta la estabilidad de los agregados del suelo, mejora la aireación y la infiltración de agua, y aumenta significativamente la capacidad de retención de humedad (Zhang et al., 2023). Químicamente, su alta capacidad de intercambio catiónico (CIC) le permite retener nutrientes de forma más eficiente y liberarlos gradualmente, reduciendo la lixiviación y optimizando la disponibilidad para las plantas.

2.3.4. Ácidos Húmicos y Fúlvicos

Una de las características más valiosas del humus de lombriz es su alto contenido de ácidos húmicos y fúlvicos, que son componentes fundamentales de la materia orgánica estable del suelo. Según (Li et al., 2021), estos ácidos son moléculas complejas con gran capacidad de quelación, lo que les permite unirse a nutrientes metálicos y hacerlos más disponibles para la absorción por las plantas. Además, los ácidos húmicos y fúlvicos estimulan el desarrollo radicular, mejoran la germinación de semillas y actúan como acondicionadores del suelo, incrementando la actividad microbiana y la capacidad de amortiguamiento del pH.

2.3.5. Rendimiento de Mejora de Suelo por Kilogramo de Humus

La cantidad de suelo que puede ser efectivamente mejorada con un kilogramo de humus de lombriz varía significativamente en función del tipo de cultivo, las condiciones edafológicas preexistentes y el objetivo de la aplicación. Para huertas y cultivos intensivos, se recomienda generalmente una dosis de 0.5 a 2 kilogramos por metro cuadrado, lo que implica que 1 kg podría mejorar entre 0.5 y 2 metros cuadrados de suelo, promoviendo su fertilidad y estructura (Sirac, 2023). En aplicaciones de mantenimiento o enmienda general para céspedes, la dosis puede ser menor, evidenciando la alta concentración de nutrientes y materia orgánica en este biofertilizante.

2.4. Principios Fundamentales de la Automatización Industrial

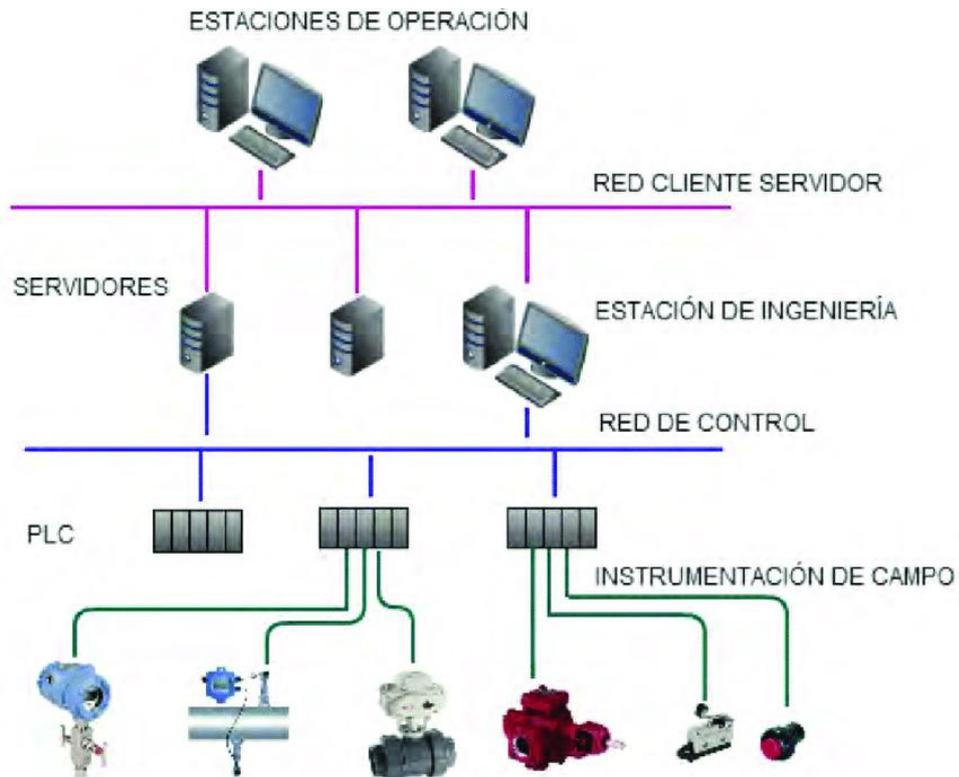
En este segmento, se establecen los conceptos esenciales de la automatización industrial, explicando las diversas arquitecturas que posibilitan la operación autónoma y eficaz de los sistemas, y cómo esta mejora la productividad y genera ventajas competitivas significativas, especialmente en ámbitos como el agroindustrial.

2.4.1. Arquitecturas Típicas de Automatización

Las arquitecturas de automatización industrial suelen estructurarse en una jerarquía de niveles que van desde el nivel de campo, donde operan sensores y actuadores, hasta el nivel de gestión empresarial. Esta estructura, a menudo descrita como la "pirámide de la automatización", incluye capas de control de dispositivos (PLC), supervisión y control (SCADA), y sistemas de ejecución de manufactura (MES), que interactúan para optimizar los procesos de producción y facilitar la toma de decisiones (Al-Hajri et al., 2023).

Imagen 4

Arquitectura de un sistema de control típico



Nota: Tomado de Camargo B., C., Duran B., L. K., & Rosas, N. F. (2013). Plataforma hardware/software abierta para aplicaciones en procesos de automatización industrial. *Ingenium*, 14(28), 76–85. <https://doi.org/10.21500/01247492.1335>

2.4.2. Ventajas Competitivas de la Automatización en Agroindustria

Al automatizar tareas repetitivas y monitorear continuamente parámetros críticos, se reduce la dependencia de la mano de obra manual, se optimiza el uso de recursos y se garantiza la consistencia del producto final, lo que permite a las empresas agroindustriales aumentar su capacidad productiva y reducir los costos operativos (Joshi et al., 2021). Además, la capacidad de recolectar y analizar datos en tiempo real facilita la identificación de oportunidades de mejora y la adaptación a las demandas del mercado.

2.5. Instrumentación Industrial para Monitoreo de Procesos

La capacidad de un sistema automatizado para operar con alta precisión depende intrínsecamente de la información que recibe del entorno del proceso. Este apartado se dedica a los variados tipos de sensores y transductores empleados en la industria, describiendo cómo transforman magnitudes físicas en señales eléctricas medibles. Se pone especial énfasis en aquellos instrumentos críticos para la supervisión de variables fundamentales como la temperatura, la humedad, el nivel y el peso, siendo elementos indispensables para el control efectivo del proceso de vermicompostaje.

2.5.1. Tipos de Sensores y Transductores (Temperatura, Humedad, Nivel, Peso)

Para el control de procesos, se emplean comúnmente sensores de temperatura (termopares, RTD), sensores de humedad (capacitivos, resistivos), electrodos de pH, sensores de nivel (ultrasónicos, capacitivos) y celdas de carga para el pesaje, cada uno diseñado para convertir una magnitud física en una señal eléctrica interpretable por los sistemas de control (Liu & Ma, 2022). La correcta selección y calibración de estos dispositivos son fundamentales para la fiabilidad de los datos y la precisión del control.

Imagen 5

Sensores y Transductores para medida de parámetros físicos



Nota: Tomado de <https://qbm.com.es/sensores-y-transductores-para-medida-de-parametros-fisicos/>

2.5.2. Celdas de Carga para Sistemas de Pesaje

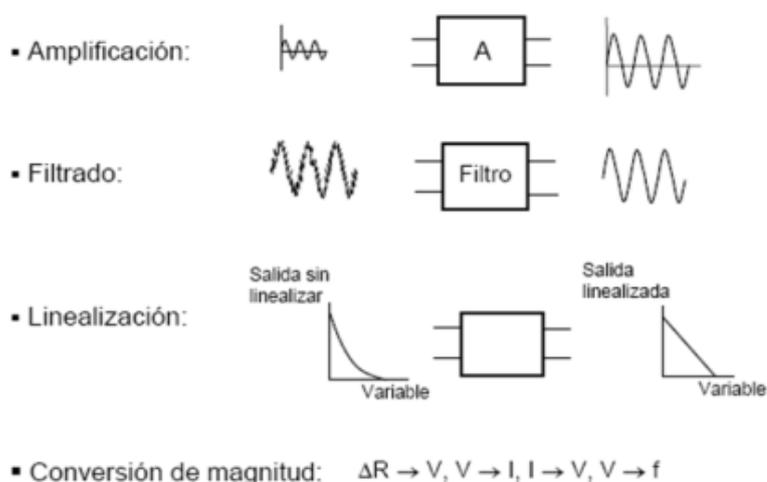
Estos dispositivos transducen una fuerza o peso en una señal eléctrica, típicamente utilizando galgas extensométricas que varían su resistencia al ser deformadas bajo carga (Kumar et al., 2023). La implementación de celdas de carga de alta precisión y su integración con módulos de adquisición de datos garantizan la exactitud del pesaje, optimizando el proceso de envasado y asegurando la consistencia del producto final.

2.5.3. Acondicionamiento de Señal

El acondicionamiento de señal es un paso crítico en la cadena de instrumentación, ya que transforma las señales crudas de los sensores en formatos adecuados para la entrada a controladores y sistemas de adquisición de datos. Este proceso puede incluir la amplificación de señales débiles, el filtrado para eliminar ruido eléctrico, la linealización de respuestas no lineales y la conversión de señales analógicas a digitales (ADC) (Zhao et al., 2020). Un adecuado acondicionamiento de señal asegura que los datos transmitidos a los PLC y SCADA sean precisos y estables, minimizando errores y mejorando la fiabilidad del sistema de control.

Imagen 6

Acondicionamiento de señales



Nota: Tomado de <https://qbm.com.es/sensores-y-transductores-para-medida-de-parametros-fisicos/>

2.6. Actuadores Industriales para Control y Manipulación

Mientras los sensores se encargan de recopilar información, los actuadores son los dispositivos que ejecutan las acciones físicas mandadas por el sistema de control. En esta sección, se exploran los diversos equipos utilizados para manipular y gestionar los procesos industriales, desde motores y válvulas hasta componentes neumáticos, una comprensión vital para diseñar un sistema capaz de intervenir de forma eficaz en el ciclo productivo del humus.

2.6.1. Motores Eléctricos y Variadores de Frecuencia (VFD)

Los motores eléctricos, tanto de corriente alterna (AC) como de corriente continua (DC), son actuadores fundamentales en la automatización industrial, encargados de convertir energía eléctrica en energía mecánica para accionar diversos componentes. En el contexto del proyecto, los motores eléctricos se emplean para el movimiento de bandas transportadoras, sinfines de dosificación y sistemas de cribado vibratorio (Ma et al., 2023). La integración de variadores de frecuencia (VFD) permite controlar con precisión la velocidad y el torque de los motores.

Imagen 7

Motor eléctrico conectado a un VFD



Nota: Tomado de <https://www.seguas.com/motores-instalaciones-electricas/>

2.6.2. Bombas

Las bombas son actuadores esenciales para el manejo de fluidos en sistemas automatizados, particularmente en la dosificación precisa de humedad o aditivos líquidos en la etapa de cultivo de lombrices. Las bombas peristálticas son ideales para la dosificación de volúmenes pequeños y precisos, ya que el fluido no entra en contacto con las partes móviles de la bomba, lo que evita la contaminación y facilita la limpieza (Kumar et al., 2021). Las bombas centrífugas, por otro lado, son adecuadas para el movimiento de mayores volúmenes de líquido, siendo la selección de la bomba dependiente de los requerimientos específicos de caudal y precisión.

Imagen 8

Bomba centrífuga radial



Nota: Tomado de <https://www.seguas.com/bombas-centrifugas-instalaciones-hidraulicas/>

2.6.3. Válvulas de Control (Solenoides, Motorizadas)

Son actuadores que regulan el flujo de líquidos o gases en un proceso automatizado, permitiendo la apertura, cierre o modulación de líneas. Las válvulas de solenoide, accionadas eléctricamente, son comúnmente utilizadas para control ON/OFF en aplicaciones de dosificación o paro de emergencia, ofreciendo respuestas rápidas y confiables (Zhang et al., 2020). Las válvulas motorizadas, por su parte, permiten un control más preciso y proporcional del flujo, al ser accionadas por un motor eléctrico que las posiciona gradualmente.

Imagen 9

Diferentes tipos de válvulas de control



Nota: Tomado de <https://www.seguas.com/bombas-centrifugas-instalaciones-hidraulicas/>

2.6.4. Sistemas Neumáticos e Hidráulicos

Los sistemas neumáticos e hidráulicos son ampliamente utilizados en la automatización industrial para generar movimientos lineales o rotativos de alta fuerza y velocidad, a menudo en tareas de manipulación y posicionamiento. En un sistema de envasado, los actuadores neumáticos pueden ser empleados para la apertura y cierre de compuertas, el empuje de sacos o el sellado, ofreciendo una respuesta rápida y limpia (Sinha & Singh, 2022).

2.7. Controladores Lógicos Programables (PLC)

El corazón de la automatización industrial moderna reside en los Controladores Lógicos Programables, dispositivos robustos diseñados para coordinar las operaciones de maquinaria y procesos. Este apartado desglosa la arquitectura interna de los PLCs, sus lenguajes de programación estandarizados y la forma en que gestionan sus módulos de entrada y salida, siendo su comprensión esencial para implementar la lógica de control que gobernará el sistema propuesto.

2.7.1. Arquitectura de PLC

Los Controladores Lógicos Programables (PLC) constituyen el cerebro de la automatización industrial, orquestando las operaciones y secuencias de un proceso. Su arquitectura modular típicamente incluye una

Unidad Central de Procesamiento (CPU) que ejecuta el programa de control, módulos de entrada (DI/AI) para recibir señales de sensores, y módulos de salida (DO/AO) para activar actuadores (Li et al., 2021).

Imagen 10

Arquitectura de un PLC



Nota: Tomado de <https://davidrojasticsplc.wordpress.com/2009/01/14/arquitectura-y-apariencia-externa/>

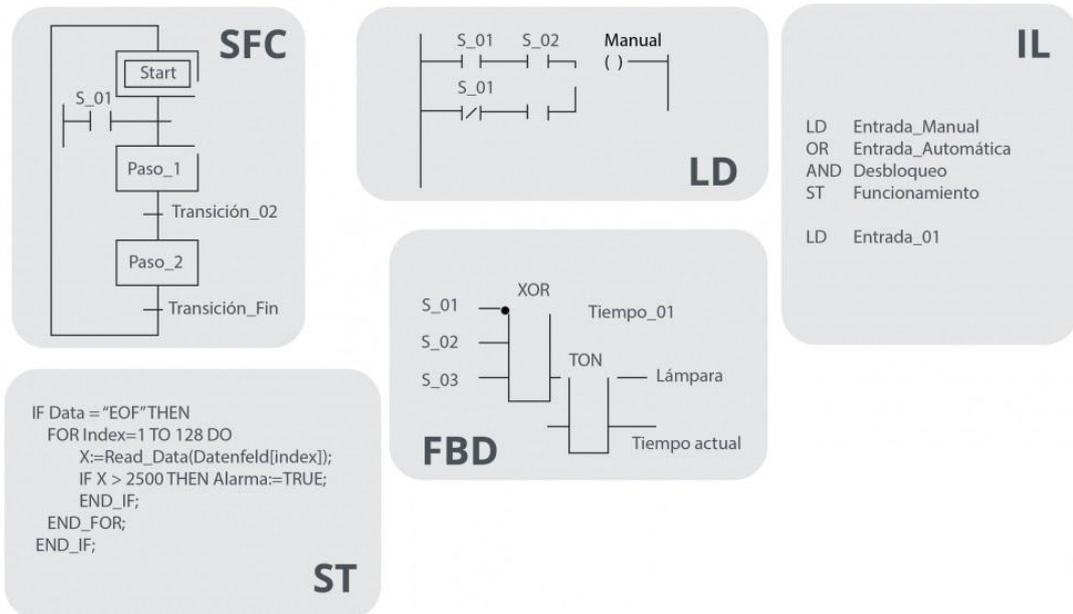
Además, cuentan con una fuente de alimentación y un backplane o bus para la comunicación interna entre los módulos, ofreciendo robustez, fiabilidad y capacidad de expansión para aplicaciones industriales.

2.7.2. Lenguajes de Programación Estándar IEC 61131-3

La programación de PLCs se rige por el estándar internacional IEC 61131-3, que define cinco lenguajes de programación principales: Ladder Diagram (LD), Function Block Diagram (FBD), Structured Text (ST), Instruction List (IL) y Sequential Function Chart (SFC) (Bansal et al., 2021). Cada lenguaje ofrece un enfoque diferente para la lógica de control; LD es intuitivo para electricistas, FBD es gráfico y funcional, mientras que ST es textual y similar a lenguajes de alto nivel, permitiendo a los ingenieros seleccionar el más adecuado para la complejidad y naturaleza de las tareas de control en cada etapa del proceso.

Imagen 11

Tipos de Lenguajes de Programación para PLCs con sus ejemplos



Nota: Tomado de <https://www.incibe.es/incibe-cert/blog/tecnicas-de-programacion-segura-en-los-plc>

2.7.3. Módulos de Entrada/Salida (E/S)

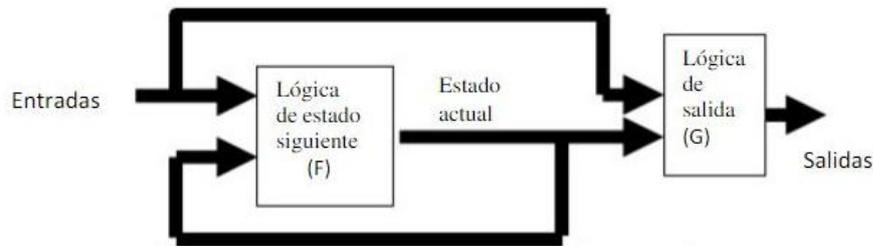
Los módulos de entrada/salida (E/S) son la interfaz entre el PLC y el mundo físico, permitiendo al controlador leer el estado de los sensores (entradas) y enviar comandos a los actuadores (salidas). Estos módulos se clasifican en digitales (para señales ON/OFF) y analógicos (para señales variables como temperatura o presión), y pueden ser de tipo discreto o distribuidos a través de redes industriales (Wang et al., 2022).

2.7.4. Diseño de Lógica de Control y Secuenciación

El diseño de la lógica de control y secuenciación en un PLC es fundamental para la operación automatizada y segura de un proceso industrial. Esto implica definir las condiciones bajo las cuales cada actuador debe operar, las secuencias de eventos para cada etapa (por ejemplo, llenado, pesaje, sellado) y la implementación de lógica de interbloqueo y seguridad para prevenir fallos (Saha & Singh, 2020).

Imagen 12

Estructura del circuito secuencial retroalimentado (modelo de Mealy)



Nota: Tomado de <https://electronicadigital-circuitos.blogspot.com/2016/12/tipos-de-circuitos-secuenciales.html>

2.8. Sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)

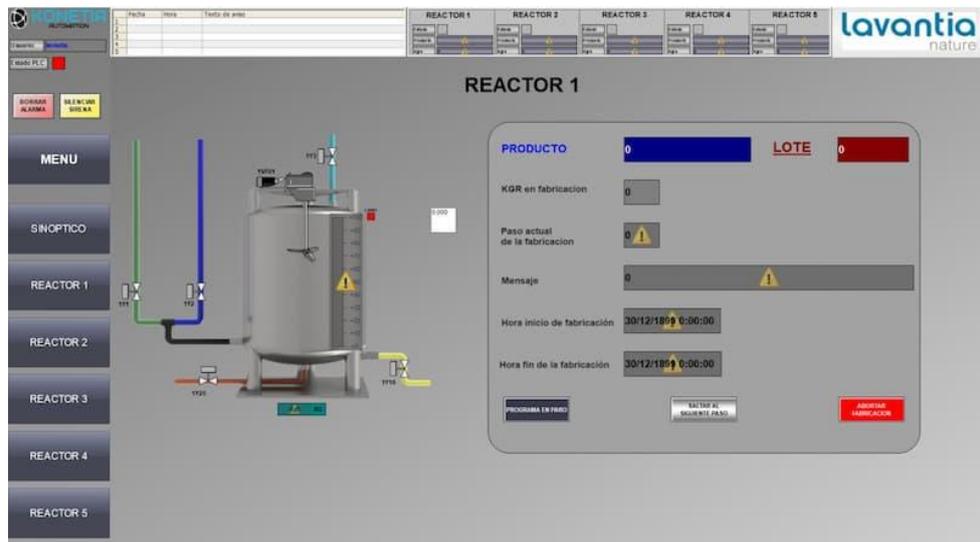
Los Sistemas SCADA representan la capa superior de control y supervisión en entornos industriales, ofreciendo una visión integral y en tiempo real de las operaciones. Este segmento se adentra en la arquitectura de estos sistemas, sus funcionalidades principales y las metodologías para diseñar interfaces hombre-máquina (HMI) intuitivas. Asimismo, explora ejemplos de software SCADA relevantes, como Siemens WinCC e Ignition, contextualizando su aplicación directa en este proyecto.

2.8.1. Arquitectura de un Sistema SCADA

Un Sistema SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) se basa en una arquitectura distribuida que permite el monitoreo y control centralizado de procesos industriales a gran escala. Esta arquitectura típicamente incluye unidades de terminal remoto (RTU) o controladores lógicos programables (PLC) en el nivel de campo, que adquieren datos y ejecutan el control local; servidores SCADA que gestionan los datos y la comunicación; estaciones de operador (HMI) para la visualización y control humano; y bases de datos para el almacenamiento de datos históricos (Singh et al., 2023). La interconexión de estos componentes a través de redes industriales permite una supervisión integral y la optimización de las operaciones.

Imagen 13

Diseño de un sistema SCADA para el control de reactores



Nota: Tomado de <https://www.konetia-automatizacion.com/que-es-un-sistema-scada/>

2.8.2. Funcionalidades Clave del SCADA

Las funcionalidades clave de un sistema SCADA abarcan la adquisición de datos en tiempo real de todos los sensores y dispositivos de campo, la visualización gráfica del proceso a través de interfaces HMI intuitivas, y la capacidad de control remoto sobre los actuadores y las variables del proceso (Al-Hajri et al., 2023). Además, los sistemas SCADA proporcionan gestión de alarmas para notificar condiciones anormales, registro de eventos y tendencias para el análisis histórico del rendimiento, y generación de reportes personalizables, lo que facilita la toma de decisiones informada y la mejora continua del proceso.

2.8.3. Diseño de Interfaces Hombre-Máquina (HMI)

El diseño de las Interfaces Hombre-Máquina (HMI) es crucial para la interacción efectiva entre los operadores y el sistema SCADA, proporcionando una representación visual clara y funcional del proceso. Un diseño HMI efectivo debe priorizar la usabilidad y la ergonomía, presentando la información de manera concisa y utilizando gráficos intuitivos, indicadores

de estado, botones de control y pantallas de alarmas de fácil comprensión (Saha & Singh, 2020).

Imagen 14

HMI con diseños en fondo oscuro y claro



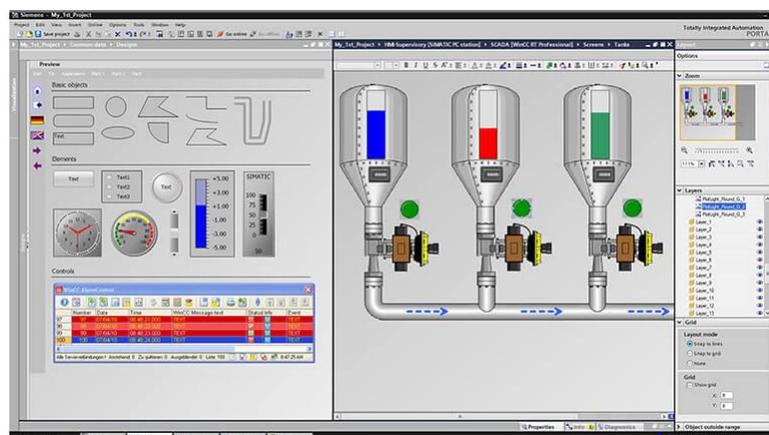
Nota: Tomado de <https://www.konetia-automatizacion.com/que-es-un-sistema-scada/>

2.8.4. Software SCADA Siemens WinCC

Siemens WinCC es una de las soluciones de software SCADA más robustas y ampliamente utilizadas en la industria, ofreciendo una plataforma integral para la visualización, operación y archivado de procesos. WinCC permite el diseño flexible de interfaces gráficas mediante su Graphics Designer, la gestión de variables (Tags) para la adquisición de datos de PLCs Siemens y otros dispositivos, y la configuración de alarmas, tendencias y reportes (Siemens, 2021)

Imagen 15

Diseño de un sistema SCADA usando WinCC Professional



Nota: Tomado de <https://mesidas.com/wincc-runtime-professional/>

2.8.5. Software SCADA Ignition by Inductive Automation

Ignition de Inductive Automation es una plataforma SCADA innovadora y altamente flexible, conocida por su arquitectura modular y su enfoque en la conectividad de bases de datos y la capacidad de desarrollo web/móvil. Ignition permite a los usuarios construir rápidamente aplicaciones SCADA, HMI, MES y IoT utilizando sus módulos integrados, como Vision (para interfaces de escritorio) y Perspective (para interfaces web y móviles), facilitando el acceso remoto a la información del proceso (Inductive Automation, 2022).

2.9. Fundamentos de Redes Industriales

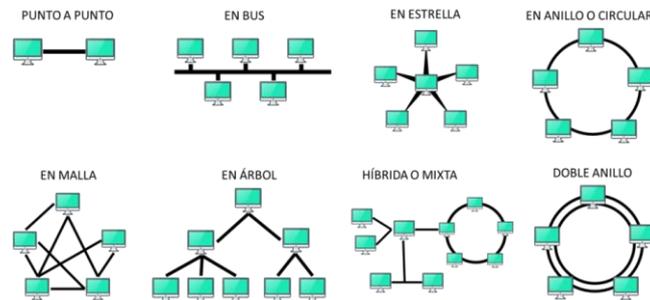
La comunicación fluida entre los distintos componentes de un sistema automatizado es un requisito fundamental, logrado gracias a las redes industriales. Este apartado introduce los principios básicos que rigen estas redes, incluyendo sus topologías comunes, los estándares de cableado y métricas esenciales como la latencia y la confiabilidad, siendo crucial para comprender cómo los datos viajan desde el nivel de campo hasta el de supervisión en el sistema.

2.9.1. Topologías de Red Comunes (Estrella, Anillo, Bus)

Las topologías de red definen la disposición física y lógica de los nodos de comunicación en un sistema industrial, siendo las más comunes la estrella, el anillo y el bus. En la topología en estrella, todos los dispositivos se conectan a un concentrador central, ofreciendo facilidad de gestión y diagnóstico, aunque un fallo en el concentrador puede inhabilitar toda la red; la topología en anillo proporciona redundancia, donde un fallo en un nodo no interrumpe completamente la comunicación; mientras que la topología en bus, más simple, comparte un único medio de comunicación entre todos los dispositivos (Sinha & Singh, 2022).

Imagen 16

Diferentes tipos de topologías de red



Nota: Tomado de <https://fernandoarciniaga.com/que-son-las-topologias-de-red/>

2.9.2. Estándares de Cableado Industrial (Ethernet, RS-485)

El cableado industrial se rige por estándares específicos que garantizan la robustez y la inmunidad al ruido en entornos industriales, siendo Ethernet y RS-485 dos de los más prevalentes. Ethernet industrial, basado en el estándar IEEE 802.3, ofrece altas velocidades y la capacidad de soportar arquitecturas de red complejas, ideal para la integración de PLCs, SCADA y dispositivos de campo que requieren gran ancho de banda (Al-Hajri et al., 2023). Por otro lado, RS-485 es un estándar de comunicación serial ampliamente utilizado por su simplicidad, bajo costo y capacidad para transmisiones de larga distancia en entornos ruidosos, adecuado para la interconexión de sensores y actuadores a un PLC en segmentos específicos del proceso.

Imagen 17

Tipos de cableado industrial Ethernet



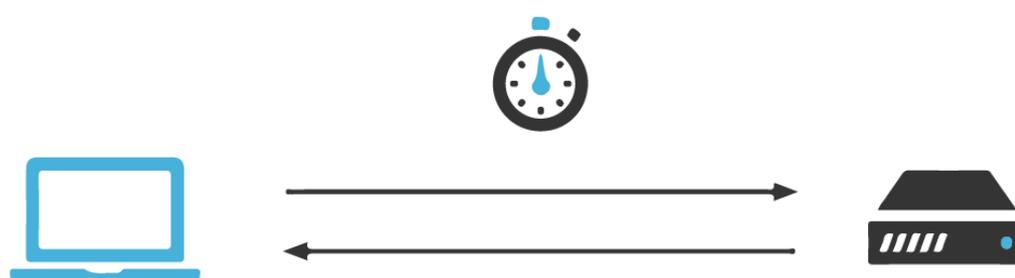
Nota: Tomado de ¿Qué es Ethernet Industrial?, <https://profibus.com.ar/ethernet-industrial/>

2.9.3. Latencia, Ancho de Banda y Confiabilidad

La latencia se refiere al tiempo que tarda un paquete de datos en viajar de un punto a otro de la red, siendo crítica en aplicaciones de control en tiempo real; el ancho de banda indica la cantidad máxima de datos que puede transmitirse en un período determinado, lo que afecta la capacidad de datos y la velocidad de operación (Ma et al., 2023).

Imagen 18

Representación gráfica de la latencia



Nota: Tomado de ¿Qué es la latencia?, <https://linube.com/blog/latencia-ping-que-es/>

2.10. Protocolos de Comunicación Industrial Específicos

Para que los dispositivos dentro de una red industrial puedan comunicarse eficazmente, es indispensable que sigan un conjunto de reglas preestablecidas, conocidas como protocolos de comunicación. Este apartado profundiza en algunos de los protocolos más relevantes y extendidos en el ámbito industrial, tales como Modbus TCP/IP, PROFINET, EtherNet/IP y OPC UA.

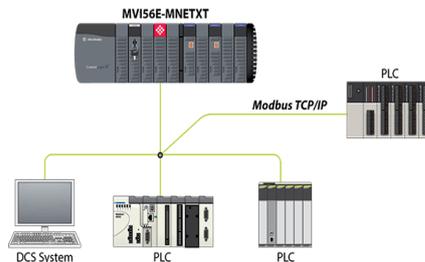
2.10.1. Modbus TCP/IP

Modbus TCP/IP es un protocolo de comunicación ampliamente utilizado en la automatización industrial, especialmente para la interacción entre dispositivos como PLCs, HMIs y sistemas SCADA, gracias a su simplicidad y adopción generalizada. Este protocolo, que opera sobre la capa de transporte TCP/IP de Ethernet, permite el intercambio de datos en

un modelo cliente-servidor, facilitando la lectura y escritura de registros y bobinas en los dispositivos de campo (Singh et al., 2023).

Imagen 19

Protocolo Modbus TCP



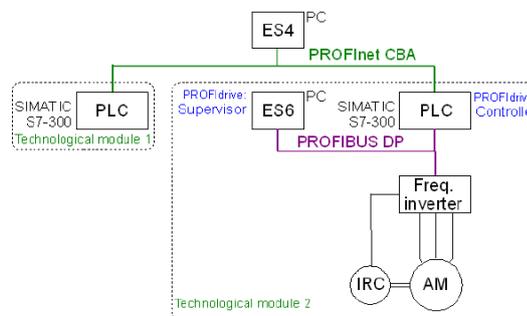
Nota: Tomado de Modbus TCP Protocols, <https://www.throughput.co.za/protocols/modbus-tcp-protocols>

2.10.2. PROFINET

PROFINET es un protocolo de comunicación basado en Ethernet industrial, desarrollado por Siemens y ampliamente utilizado en entornos de automatización para la comunicación en tiempo real entre controladores y dispositivos de campo. Este protocolo ofrece alta velocidad y determinismo, permitiendo el intercambio de datos críticos para el control de movimiento y la sincronización de procesos, lo que lo hace adecuado para aplicaciones exigentes donde la precisión temporal es crucial (Bansal et al., 2021).

Imagen 20

Estructura de comunicación PROFINET



Nota: Tomado de https://www.researchgate.net/figure/The-communication-structure-of-the-PROFINet-CBA-system_fig4_229018407

2.10.3. EtherNet/IP

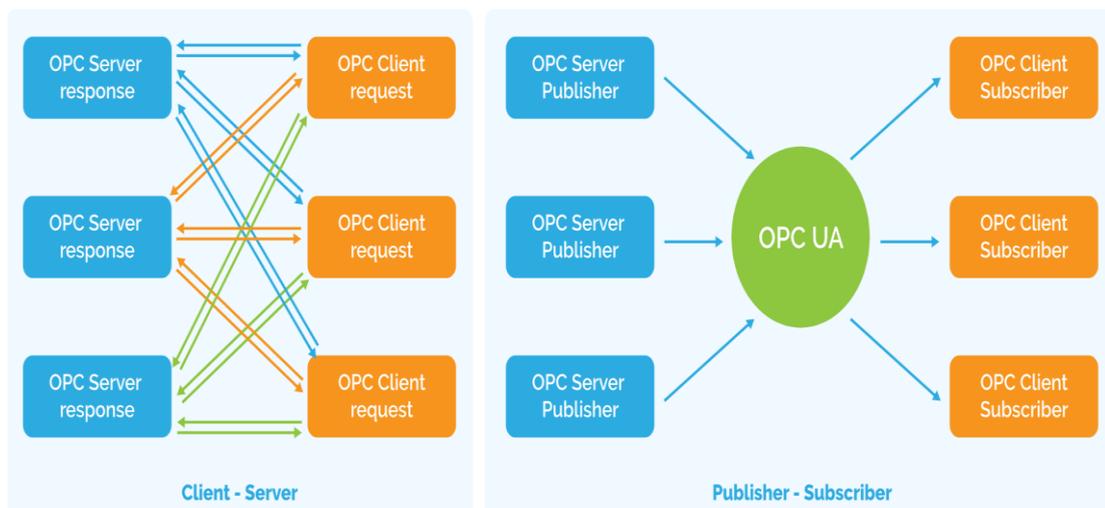
EtherNet/IP (Ethernet Industrial Protocol) es otro protocolo de comunicación industrial prominente que utiliza la infraestructura de Ethernet estándar para la comunicación entre dispositivos y sistemas de control. Desarrollado por Rockwell Automation (ODVA), se basa en el Protocolo Común Industrial (CIP) para la organización de los datos, lo que le permite manejar tanto datos de E/S discretos como analógicos y datos de configuración (Wang et al., 2022).

2.10.4. OPC Unified Architecture (OPC UA)

OPC Unified Architecture (OPC UA) es un estándar de comunicación interoperable y seguro diseñado para la industria 4.0, que permite el intercambio de datos entre diferentes plataformas y dispositivos industriales, independientemente del fabricante. A diferencia de las versiones anteriores de OPC (clásico), OPC UA es independiente del sistema operativo y ofrece un modelo de información robusto y capacidades de seguridad integradas (Al-Hajri et al., 2023). Su capacidad para describir datos en un formato semánticamente rico lo posiciona como un habilitador clave para la integración de sistemas de control con aplicaciones MES, ERP y la nube.

Imagen 21

Protocolo de comunicación OPC UA



Nota: Tomado de <https://tektelic.com/what-it-is/opc-ua/>

2.11. Ciberseguridad en Sistemas de Control Industrial (ICS/SCADA)

Esta sección examina la importancia crítica de la ciberseguridad en entornos ICS/SCADA, identificando las amenazas comunes y las estrategias de defensa para proteger la infraestructura. Se revisan también normativas y estándares internacionales diseñados para salvaguardar la integridad y disponibilidad de estos sistemas esenciales.

2.11.1. Identificación de Vulnerabilidades y Amenazas en Redes OT

La creciente interconexión de los sistemas de tecnología operativa (OT), incluidos los SCADA, con las redes de tecnología de la información (TI) ha expuesto a los procesos industriales a nuevas y sofisticadas vulnerabilidades y amenazas cibernéticas. Estas amenazas pueden incluir ataques de programa maligno, denegación de servicio (DoS), ransomware, y el acceso no autorizado que podría comprometer la operación del proceso, la seguridad del personal e incluso el medio ambiente (Kou et al., 2022).

2.11.2. Estrategias de Defensa (Firewalls, VPNs, Segmentación de Red)

Para mitigar los riesgos cibernéticos en entornos ICS/SCADA, se implementan diversas estrategias de defensa que buscan proteger la integridad y disponibilidad de los sistemas de control. La segmentación de red aísla los sistemas OT de las redes de TI, reduciendo la superficie de ataque; los firewalls industriales filtran el tráfico no autorizado entre segmentos; y las redes privadas virtuales (VPNs) aseguran las comunicaciones remotas (Al-Hajri et al., 2023).

Imagen 22

Firewall de red



Nota: Tomado de <https://www.servnet.mx/blog/firewall-de-red-y-waf>

2.11.3. Normativas y Estándares de Ciberseguridad para ICS (ISA/IEC 62443)

La ciberseguridad en los Sistemas de Control Industrial (ICS) y SCADA se rige por normativas y estándares internacionales que proporcionan un marco para la gestión de riesgos y la implementación de medidas de protección. La serie de estándares ISA/IEC 62443, por ejemplo, ofrece un enfoque integral para la seguridad cibernética de sistemas de automatización y control, cubriendo aspectos desde la gestión de riesgos hasta los requisitos técnicos para los componentes del sistema (Kou et al., 2022).

Imagen 23

Estructura de la normativa ISA/IEC 62443

General	IEC 62443-1-1 Terminología, conceptos y modelos	IEC 62443-1-2 Glosario maestro de términos y abreviaturas	IEC 62443-1-3 Métricas de conformidad de seguridad del sistema	IEC 62443-1-3 Ciclo de vida de seguridad de IACS y casos de uso	
Políticas y procedimientos	IEC 62443-2-1 Establecimiento de un programa de seguridad para sistemas de control y automatización industrial	IEC 62443-2-2 Niveles de protección del IACS	IEC 62443-2-3 Gestión de parches en el entorno IACS	IEC 62443-2-4 Requisitos para proveedores de servicios IACS	IEC 62443-2-5 Guía de implementación para propietarios de activos del IACS
Sistema	IEC 62443-3-1 Tecnologías de seguridad para IACS	IEC 62443-3-2 Evaluación de riesgos de seguridad y diseño de sistemas	IEC 62443-3-3 Requisitos de seguridad del sistema y niveles de seguridad		
Componente	IEC 62443-4-1 Requisitos de desarrollo de productos	IEC 62443-4-2 Requisitos técnicos de seguridad para los componentes del IACS			

Nota: Tomado de <https://lab.wallarm.com/what/la-serie-de-normas-isa-iec-62443-guia-completa/?lang=es>

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Características de la investigación

El presente trabajo se enmarca en una investigación de carácter mixto, entendida como la combinación estructurada de enfoques cualitativos y cuantitativos para abordar un mismo objeto de estudio. Debido a la naturaleza del proyecto, no basta solo con conocer las características biológicas de la producción de humus de lombriz ni con manejar fórmulas de cálculo para dimensionar equipos; es necesario integrar ambos planos para dar forma a un diseño de sistema automatizado que sea técnicamente viable y operativo en condiciones reales.

Se realizó un análisis descriptivo del proceso de producción de manera cualitativa. Esto implicó reflexionar sobre todos los elementos en un ciclo, identificar las variables más críticas y la descripción del producto final. Además, se estudiaron intentos previos de automatización en el sector agroalimentario, especialmente para procesos que involucran materiales orgánicos como el humus.

Mientras tanto, el método cuantitativo fue fundamental para determinar valores absolutos y la zona de trabajo, permitiendo confiar en estos al introducir soluciones técnicas. Se calcularon estimaciones de la capacidad de procesamiento, los tiempos de retención de material y las cargas de trabajo para motores y bombas. Además, se proyectó la producción basándose en la densidad de lombrices y la capacidad de las líneas de separación y envasado.

Ambos enfoques no se usaron por separado, sino que se combinaron en un proceso de retroalimentación continua para complementarse. La información descriptiva fue afinando los criterios de cálculo y, a su vez, las proyecciones numéricas ayudaron a confirmar la relevancia de determinadas variables o a descartar otras de menor impacto.

3.1.1. Investigación mixta

El uso de investigación mixta respondió a la necesidad de equilibrar la comprensión detallada del proceso con la verificación numérica de su factibilidad. El componente cualitativo permitió describir con precisión cómo se desarrolla la producción de humus de lombriz, qué condiciones ambientales influyen en el rendimiento de la *Eisenia foetida*, y cuáles son las secuencias lógicas que deben seguirse para garantizar un producto uniforme. Esta información fue obtenida principalmente a través de revisiones documentales y del análisis de material audiovisual técnico procedente de experiencias internacionales.

Por otra parte, el componente cuantitativo tradujo esas observaciones en datos concretos: caudales de material, intervalos de activación de actuadores, potencias necesarias para la operación continua, consumo energético y estimaciones de coste por kilogramo producido. Para esta parte, no solo se aplicaron las fórmulas de siempre, sino que también se interpretaron datos de las fichas técnicas de los equipos y de estudios experimentales anteriores.

Una de las ventajas de este enfoque fue que pudimos validar las hipótesis de dos maneras: primero, observando cómo funcionaban sistemas similares en otras situaciones; y segundo, comprobando si los cálculos coincidían con las especificaciones técnicas de los componentes elegidos. Sin embargo, integrar datos tan diferentes requirió mucho cuidado para organizarlos y compararlos, evitando así sacar conclusiones equivocadas al mezclar escenarios con condiciones iniciales muy distintas.

3.1.2. Técnicas de investigación utilizadas

- Búsqueda bibliográfica

La búsqueda bibliográfica fue el primer paso y también un recurso permanente a lo largo del desarrollo del proyecto. Se consultaron artículos científicos sobre vermicultura, publicaciones técnicas sobre control y automatización industrial, manuales de operación de sistemas SCADA y

catálogos de fabricantes de instrumentación. Para la elección de fuentes, nos basamos en documentos recientes, con antecedentes académicos o técnicos, que proporcionaron datos justificados.

En biología, se consultó sobre el ciclo de vida del gusano *Eisenia foetida*, la tolerancia a la humedad y la temperatura, y la conversión de material orgánico a humus.

En cuanto a cuestiones de automatización, se estudiaron publicaciones como guías y estándares respecto a la elección y calibración de sensores de humedad y temperatura, el tipo de actuadores para mover sólidos y las necesidades de comunicación en redes industriales.

Esta búsqueda no se limitó a la recolección de información técnica; también se prestó atención a las condiciones de implementación reportadas en distintos países, con el fin de anticipar posibles adaptaciones necesarias para un entorno productivo en Ecuador.

- Observación indirecta a través de material audiovisual

Dado que el sistema propuesto no cuenta aún con referentes implementados localmente, la observación directa en campo no fue posible. En su lugar, se recurrió al análisis minucioso de material audiovisual, principalmente videos técnicos disponibles en plataformas como YouTube, que documentan el funcionamiento de sistemas similares en países con procesos de producción y envasado de humus más industrializados.

Esta técnica permitió identificar aspectos prácticos que complementaron la información bibliográfica. Por ejemplo, se pudieron observar configuraciones reales de bandas transportadoras para la alimentación de materia prima, mecanismos de separación del humus y sistemas de pesaje y envasado integrados a líneas automatizadas. También se pudo analizar la disposición de los equipos, las secuencias de operación y cómo interactúan los diferentes subsistemas.

El análisis de estos videos no se limitó a una simple observación. Se hicieron pausas para identificar el tipo de sensores, estimar las dimensiones

de los equipos y cronometrar los tiempos de ciclo. En algunos casos, la información visual se comparó con datos técnicos de catálogos y fichas de fabricantes, lo que ayudó a confirmar o ajustar los parámetros que se usaron en el diseño.

Esta observación indirecta ofreció una perspectiva práctica del funcionamiento de sistemas ya operativos, aportando detalles que no siempre aparecen en la literatura técnica y que, sin embargo, son determinantes para la eficiencia de la línea de producción.

3.2. Metodología de desarrollo

3.2.1. Etapas del desarrollo

Inicio: Se identificó el problema central, se delimitó el alcance del proyecto y se establecieron los objetivos. En esta fase se reunieron los antecedentes, se definieron los criterios de evaluación del sistema y se estableció la base documental y audiovisual que serviría de referencia.

Planificación: En esta fase se definió la arquitectura del sistema y se hizo un inventario de las variables que se iban a monitorear y controlar. También se eligieron los componentes preliminares, se creó un cronograma de trabajo y se establecieron los formatos para registrar la información técnica.

Ejecución: Aquí se diseñaron los diagramas eléctricos, se configuraron las entradas y salidas del PLC y se programó la lógica de control. Además, se crearon las pantallas HMI en el entorno SCADA, donde se integraron elementos de supervisión, alarmas y visualización de datos históricos.

Monitorización y control: En esta etapa se hicieron simulaciones para verificar el comportamiento del sistema en distintas situaciones. Se ajustaron los tiempos de activación, las secuencias de operación y los parámetros de seguridad.

Cierre: Finalmente, se documentaron los resultados, se preparó un análisis de viabilidad y se redactaron recomendaciones para la implementación física, tomando en cuenta tanto los aspectos técnicos como los económicos.

3.2.2. Ventajas de la metodología aplicada

La aplicación de una metodología en cascada permitió mantener un orden claro y documentado, asegurando que cada fase se completara con el nivel de detalle necesario antes de avanzar. También redujo el riesgo de incompatibilidades técnicas en fases posteriores y facilitó la trazabilidad de decisiones de diseño.

3.3. Relación de la metodología con los objetivos del proyecto

La metodología empleada aseguró que el diseño del sistema de control para la producción y envasado de humus de lombriz estuviera sustentado en información técnica confiable y en observaciones prácticas de sistemas existentes. El análisis de bibliografía específica y video nos permitió elegir qué equipo usar, cómo ubicar el dispositivo y cuál era el esquema operativo para llevar a cabo.

A través de la combinación de análisis cualitativo y cuantitativo, no solo pudimos determinar cómo creíamos que el sistema debería comportarse, sino también predecir el rendimiento bajo parámetros específicos.

La última simulación validó que el diseño estaba en el camino deseado para la precisión, eficiencia y escalabilidad desde el principio, tal como se estableció en los objetivos.

CAPÍTULO 4: DEFINICIÓN Y DESARROLLO DEL PROYECTO

4.1. Fase de Investigación y Análisis Preliminar

4.1.1. Análisis de Requerimientos del Proceso

En el presente proyecto, se establecerán parámetros de control basados en la información recolectada en el capítulo anterior. Posterior a esa parte investigativa, se podrán establecer, además, las fases o etapas que compondrán el proceso, las cuales tendrán sus propios requerimientos.

Etapa del Proceso de Cultivo de Lombrices: Se analizarán las Variables Críticas de Ambiente, y las necesidades de Alimentación Automatizada para las lombrices, así como los criterios de Madurez del Humus.

Etapa del Proceso de Separación del Humus y Lombrices: Se seleccionará el método de Separación Automatizada, en base a lo investigado previamente.

Etapa del Proceso de Envasado: Se seleccionarán los distintos métodos tanto para garantizar la precisión de Pesaje, como la velocidad del envasado, y finalmente, el manejo del Humus Envasado.

Etapa de desarrollo del Sistema de Control y SCADA: Se manejarán las diferentes funcionalidades tanto del PLC como del sistema SCADA, y como estos dos apartados se comunicarán entre sí, y con el operador. Para esta fase se ha optado por usar el software de Siemens, tanto para la programación del PLC, como para el desarrollo de la interfaz SCADA. Este software es TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal) en su versión 18, WinCC (Windows Control Center) Runtime Advance. También se usará el programa AutoCAD en su versión 2025, para representar gráficamente las conexiones de los elementos de entrada y salida, al PLC.

4.2. Fase de Diseño Conceptual y Detallado del Sistema

4.2.1. Diseño de la Arquitectura del Sistema de Control

En la fase inicial de cultivo automatizado, el sistema demandará

- 4 entradas digitales (DI) para captar señales de posición y niveles de alimento.
- 2 entradas analógicas (AI) para el monitoreo preciso de temperatura y humedad ambiental.
- 4 salidas digitales (DQ) para activar el motor de recolección, controlar el avance y retroceso del sistema de dosificación de alimento, y gestionar la válvula de riego.

Pasando a la etapa de separación del humus, el sistema requerirá

- 2 entradas digitales (DI), 2 para confirmar la presencia de material en puntos clave.
- 2 salidas digitales (DQ) que gobernarán los motores de traslado y la zaranda rotatoria
- 1 salida analógica (AQ) para regular la velocidad de esta última, optimizando la separación.

Finalmente, en la etapa de pesaje y envasado, se necesitarán

- 3 entradas digitales (DI) para supervisar los niveles en la tolva y la presencia de sacos.
- 6 salidas digitales (DQ) que activarán la válvula de descarga, el sistema de sujeción de sacos, la selladora y la cinta transportadora de sacos.
- 1 salida analógica (AQ) modulará el alimentador vibratorio para un pesaje preciso.

- 1 entrada analógica (AI) conectada al sistema de celdas de carga del pesaje.

Adicionalmente, se usarán 8 entradas digitales (DI) de las cuales 4 estarán vinculadas a los botones físicos de reset de alarmas, paro de emergencia y selección de modos (automático/manual) y 4 estarán vinculadas a los sistemas de alarmas (salidas de los relés térmicos).

La totalidad de puntos de E/S demandados por el proyecto asciende a 17 Entradas Digitales (DI), 3 Entradas Analógicas (AI), 12 Salidas Digitales (DQ) y 2 Salidas Analógicas (AQ).

Para gestionar esta infraestructura de control de forma eficaz y adecuada, la elección del PLC recae en la CPU Siemens SIMATIC S7-1215C DC/DC/Rly. Esta unidad central cuenta con 14 DI, 10 DQ, 2 AI y 2 AQ ya integradas de fábrica.

Para cubrir el faltante de entradas digitales, salidas digitales requeridas y entrada analógica, se complementará la CPU con módulos de expansión: un SM 1222 Digital Output (8x24VDC), un SM 1231 AI (4x24VDC) y un SM 1221 Digital Input (8x24VDC Relay).

Con esto, se puede establecer el siguiente diseño de la Arquitectura de Control que complacerá los objetivos del proyecto.

Tabla 1

Diseño de la Arquitectura de Control

Nivel de Supervisión	Software SCADA: WinCC Runtime Advanced Hardware: PC industrial o estación de trabajo. Comunicación: Ethernet/PROFINET entre el PLC S7-1200 y el SCADA.
Nivel de Control	CPU: Siemens SIMATIC S7-1215C DC/DC/Rly Módulos de Expansión: 1x SM 1222 Digital Output (8x24VDC), 1x SM 1231 AI (4x24VDC), 1x SM 1221 Digital Input (8x24VDC Relay).

Nivel de Campo	<p>Sensores: PT100 con transmisor, sensor de humedad capacitivo, sensores de nivel capacitivos (ON/OFF), sensores de posición inductivos, transmisor de celdas de carga (conectado vía RS485).</p> <p>Actuadores: 6 Motorreductores AC (con contactores, 1 de ellos con contactores de inversión), 1 Motorreductor AC con VFD (para zaranda), 1 Alimentador vibratorio con control AQ, 1 válvula solenoide, 1 válvula neumática de descarga, 1 cilindro neumático de sujeción, 1 selladora industrial.</p>
-----------------------	--

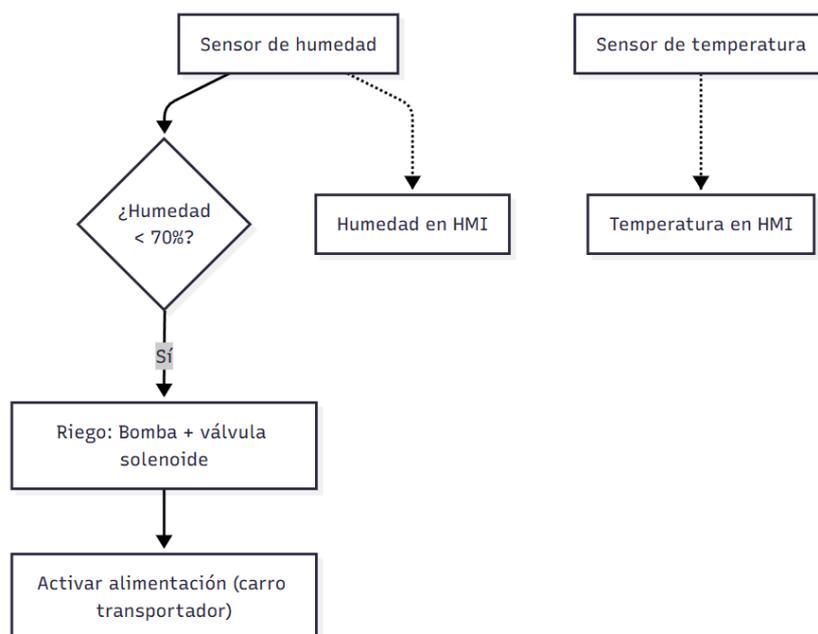
Nota: Elaborado por el autor

4.2.2. Diseño del Subsistema de Cultivo Automatizado

Para entender las necesidades del proceso en esta etapa inicial, necesitamos tener claro su desarrollo interno. Esto lo conoceremos de acuerdo con la siguiente imagen:

Imagen 24

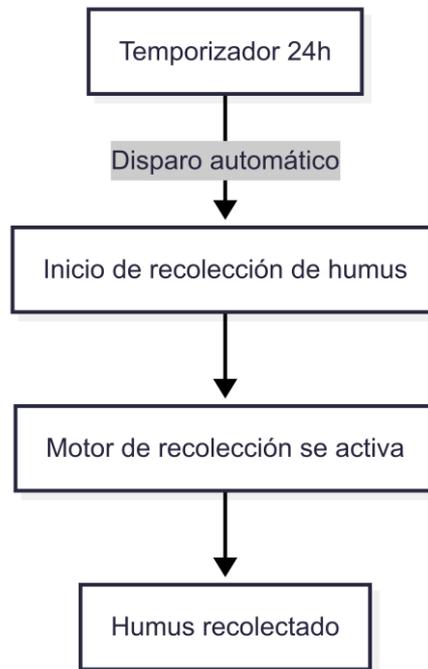
Diseño de diagrama de flujo para el desarrollo de la etapa 1 – Monitoreo de Condiciones ambientales



Nota: Elaborado por el autor

Imagen 25

Diseño de diagrama de flujo para el desarrollo de la etapa 1 – Disparo de recolección



Nota: Elaborado por el autor

Los equipos que han sido seleccionados y, posteriormente, codificados para el desarrollo de esta etapa, son los siguientes:

Sensores (Entradas al PLC):

- **PS-101:** Sensor de Presencia de Material en Tolva de Entrada.
- **LS-101:** Sensor de Nivel Bajo en Tolva de alimentación.
- **LS-CARRO-INI-101:** Sensor de Inicio de Posición del Carro de Alimentación.
- **LS-CARRO-FIN-101:** Sensor de Fin de Posición del Carro de Alimentación.
- **TT-101:** Transmisor de Temperatura del Lecho.
- **HT-101:** Transmisor de Humedad del Sustrato.

Actuadores (Salidas del PLC):

- **M-101:** Motor de Recolección.
- **M-102:** Motor de Carro de Alimentación (Avance).
- **M-103:** Motor de Carro de Alimentación (Retrosceso)
- **V-101:** Válvula de Riego.

Teniendo en cuenta los dispositivos a usar y si codificación, procederemos a establecer sus direcciones de conexión con el PLC, tal como lo indica la siguiente tabla:

Tabla 2

Relación de entradas analógicas y digitales de la etapa 1, con las direcciones físicas del PLC

Elemento	Codificación	Tipo de E/S	Dirección PLC	Descripción
Sensor de Presencia Material	PS-101	DI	%I0.0	Sensor de Presencia de Material en Carro de Alimentación
Sensor de Nivel Bajo	LS-101	DI	%I0.1	Sensor de Nivel Bajo en Tolva de Prepesaje
Sensor de Inicio Carro Alimentación	LS-CARRO- INI-101	DI	%I0.2	Sensor de Inicio de Posición del Carro de Alimentación
Sensor de Fin Carro Alimentación	LS-CARRO- FIN-101	DI	%I0.3	Sensor de Fin de Posición del Carro de Alimentación
Sensor de Temperatura	TT-101	AI	%IW64	Transmisor de Temperatura del Lecho
Sensor de Humedad	HT-101	AI	%IW66	Transmisor de Humedad del Sustrato

Motor Cinta Recolección	M-101	DQ	%Q0.0	Motor de Cinta de Recolección
Motor Carro Alimentación Avance	M-102	DQ	%Q0.1	Motor de Carro de Alimentación (Avance)
Motor Carro Alimentación Retroceso	M-103	DQ	%Q0.2	Motor de Carro de Alimentación (Retroceso)
Válvula de Riego	V-101	DQ	%Q0.3	Válvula de Riego

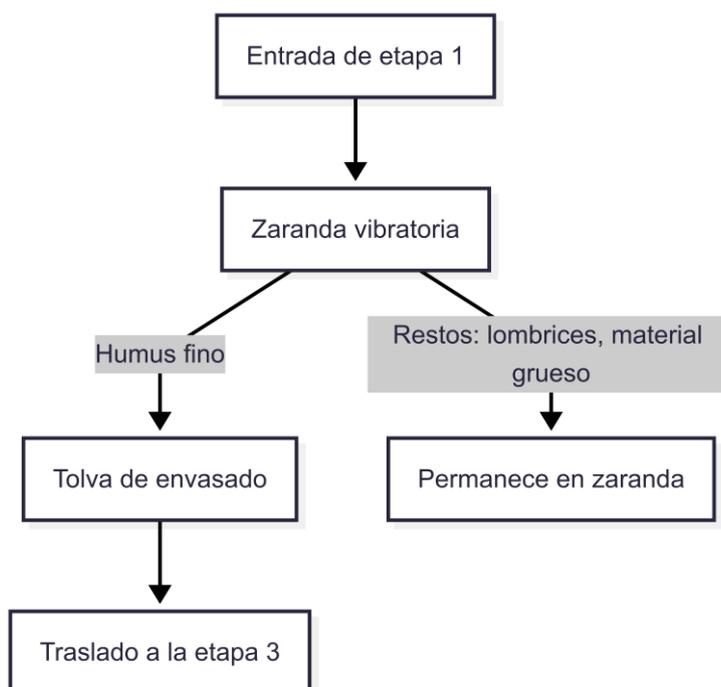
Nota: Elaborado por el autor

4.2.3. Diseño del Subsistema de Separación del Humus

Para entender las necesidades del proceso en esta etapa inicial, necesitamos tener claro su desarrollo interno. Esto lo conoceremos de acuerdo con la siguiente imagen:

Imagen 26

Diseño del Diagrama de flujo para la etapa 2



Nota: Elaborado por el autor

Los equipos que han sido seleccionados y, posteriormente, codificados para el desarrollo de esta etapa, son los siguientes:

Sensores (Entradas al PLC):

- **PS-201:** Switch de Presencia de Material - Traslado a Etapa 2.
- **PS-202:** Switch de Presencia de Material - Entrada Zaranda.

Actuadores (Salidas del PLC):

- **M-201:** Motor de Traslado a Etapa 2.
- **M-202:** Motor de Zaranda Rotatoria.
- **VF-202:** Control de Velocidad de Zaranda.

Teniendo en cuenta los dispositivos a usar y su codificación, procederemos a establecer sus direcciones de conexión con el PLC, tal como lo indica la siguiente tabla:

Tabla 3

Relación de entradas analógicas y digitales de la etapa 2, con las direcciones físicas del PLC

Elemento	Codificación	Tipo de E/S	Dirección PLC	Descripción
Sensor Material Traslado Etapa 2	PS-201	DI	%I0.4	Sensor de Presencia de Material Traslado a Etapa 2
Sensor Material Entrada Zaranda	PS-202	DI	%I0.5	Sensor de Presencia de Material a la Entrada de la Zaranda

Motor Transportador Principal	M-201	DQ	%Q0.4	Motor del Transportador Principal
Motor de Zaranda	M-202	DQ	%Q0.5	Motor de Zaranda (Activación/Paro)
Control Velocidad Zaranda	VF-202	AQ	%QW80	Control de Velocidad de Zaranda

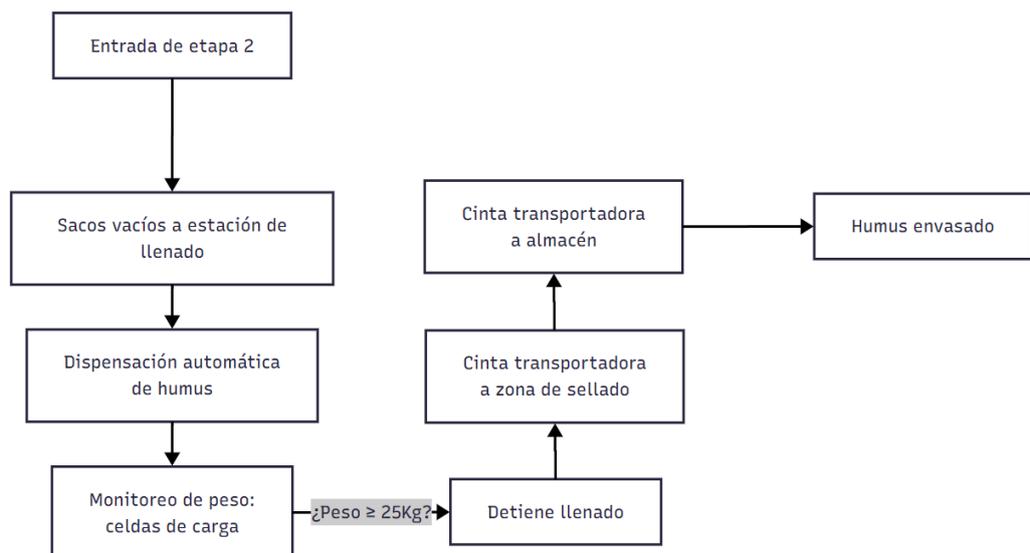
Nota: Elaborado por el autor

4.2.4. Diseño del Subsistema de Envasado Automatizado

Para entender las necesidades del proceso en esta última etapa, necesitamos tener claro su desarrollo interno. Esto lo conoceremos de acuerdo con la siguiente imagen:

Imagen 27

Diseño del Diagrama de flujo para la etapa 2



Nota: Elaborado por el autor

Sensores (Entradas al PLC):

- **PS-301:** Sensor de Presencia de Saco Lleno/Posicionado.
- **LS-301:** Sensor de Nivel en Tolva de Prepesaje (para Etapa 3).
- **PS-302:** Sensor de Presencia de Material a la Entrada de Tolva (para Etapa 3).
- **WT-304:** Transmisor de Peso (Célula de Carga) del Saco.

Actuadores (Salidas del PLC):

- **M-301:** Motor del Transportador de Sacos.
- **V-301:** Válvula de Corte de Tolva de Prepesaje.
- **CYL-301:** Cilindro de Sujeción de Saco.
- **V-302:** Válvula Dosificadora de Saco.
- **SELL-301:** Elemento Sellador de Sacos.
- **M-302:** Motor de Cinta de Sacos Llenos (Salida)
- **VF-203:** Control de Velocidad de Vibrador (Si aplica a Zaranda).

Teniendo en cuenta los dispositivos a usar y si codificación, procederemos a establecer sus direcciones de conexión con el PLC, tal como lo indica la siguiente tabla:

Tabla 4

Relación de entradas analógicas y digitales de la etapa 3, con las direcciones físicas del PLC

Elemento	Codificación	Tipo de E/S	Dirección PLC	Descripción
Sensor de Presencia de Saco	PS-301	DI	%I1.0	Sensor de Presencia de Saco Lleno/Posicionado
Sensor Nivel Tolva Prepesaje	LS-301	DI	%I0.7	Sensor de Nivel en Tolva de Prepesaje (para Etapa 3)
Sensor Material Entrada Tolva	PS-302	DI	%I0.6	Sensor de Presencia de Material a la Entrada de Tolva (para Etapa 3)
Transmisor de Peso	WT-304	AI	%IW112	Transmisor de Peso (Célula de Carga) del Saco
Motor Transportador de Sacos	M-301	DQ	%Q0.6	Motor del Transportador de Sacos
Válvula de Corte Tolva Prepesaje	V-301	DQ	%Q0.7	Válvula de Corte de Tolva de Prepesaje
Cilindro de Sujeción de Saco	CYL-301	DQ	%Q1.0	Cilindro de Sujeción de Saco
Válvula Dosificadora de Saco	V-302	DQ	%Q8.0	Válvula Dosificadora de Saco
Selladora de Sacos	SELL-301	DQ	%Q8.1	Elemento Sellador de Sacos
Motor Cinta Sacos Llenos	M-302	DQ	%Q8.2	Motor de Cinta de Sacos Llenos (Salida)
Control Velocidad Vibrador	VF-203	AQ	%QW82	Control de Velocidad de Vibrador

Nota: Elaborado por el autor

4.2.5. Diseño de la Interfaz de Sistema de control por botones físicos y sistema de alarmas

Botones de Control (Físicos - Interfaces de Operador)

- **BP-101:** Botón Físico de Arranque
- **BP-102:** Botón Físico de Paro
- **BP-103:** Botón Físico de Paro de Emergencia
- **BP-104:** Botón Físico de Reset de Alarmas.

Alarmas/Fallas (Físicas - Sensores de Diagnóstico)

- **FL-M201:** Falla de Motor del Transportador M201
- **FL-M202:** Falla de Motor de Zaranda M202.
- **FL-V301:** Falla/Atasco de Válvula de Corte V-301
- **FL-M302:** Falla/Atasco del motor M-302

Teniendo en cuenta los dispositivos a usar y su codificación, procederemos a establecer sus direcciones de conexión con el PLC, tal como lo indica la siguiente tabla:

Tabla 5

Relación de entradas digitales de la etapa de control, con las direcciones físicas del PLC

Elemento	Codificación	Tipo de E/S	Dirección PLC	Descripción
Botón Modo Automático	BP-101	DI	%I1.1	Botón Físico de Modo Automático
Botón Modo Manual	BP-102	DI	%I1.2	Botón Físico de Modo Manual

Botón Paro de Emergencia	BP-103	DI	%I1.3	Botón Físico de Paro de Emergencia
Botón Reset de Alarmas	BP-104	DI	%I1.4	Botón Físico de Reset de Alarmas
Sensor Falla Motor Transportador	FL-M201	DI	%I16.0	Falla de Motor del Transportador M201
Sensor Falla Motor Zaranda	FL-M202	DI	%I16.1	Falla de Motor de Zaranda M202
Sensor Falla/Atasco Válvula	FL-V301	DI	%I16.2	Falla/Atasco de Válvula de Corte V-301
Sensor de Nivel Alto	LS-102	DI	%I16.3	Sensor de Nivel Alto en Tolva de Entrada

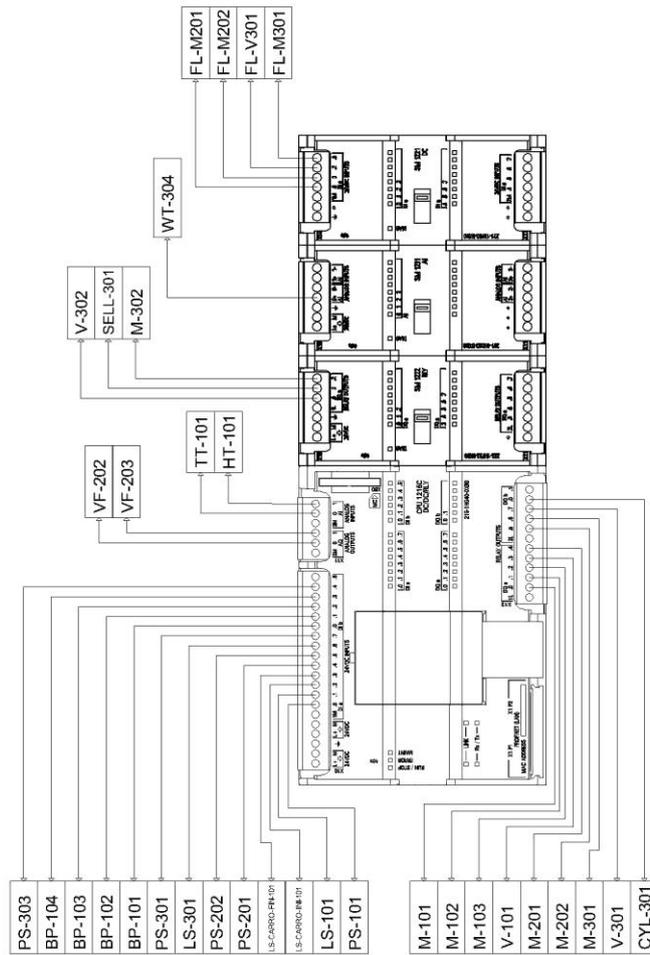
Nota: Elaborado por el autor

4.2.6. Vista general del PLC con sus módulos adicionales y sus variables de E/S correctamente direccionadas.

Imagen 28

Disposición de E/S vinculadas a los puertos físicos del PLC

Código	Descripción
PS-101	Sensor de Presencia Material
LS-101	Sensor de Nivel Bajo
LS-CARRO-INI-101	Sensor de Inicio Carro Alimentación
LS-CARRO-FIN-101	Sensor de Fin Carro Alimentación
PS-201	Sensor Material Traslado Etapa 2
PS-202	Sensor Material Entrada Zarándia
PS-302	Sensor Material Entrada Tolda
LS-301	Sensor Nivel Tolda Propelaje
PS-301	Sensor de Presencia de Sazo
BP-101	Botón Mocio Manual
BP-102	Botón Mocio Manual
BP-103	Botón Puro de Emergencia
BP-104	Botón Reset de Alarmas
FL-M201	Sensor Falla Motor Transportador
FL-M202	Sensor Falla Motor Zarándia
FL-V301	Sensor Falla/Aviso Válvula
LS-102	Sensor de Nivel Alto
WT-304	Transmisor de Peso
TT-101	Sensor de Temperatura
HT-101	Sensor de Humedad
M-101	Motor Cinta Recolección
M-102	Motor Carro Alimentación Avance
M-103	Motor Carro Alimentación Retroceso
V-101	Válvula de Riego
M-201	Motor Transportador Principal
M-202	Motor de Zarándia
M-301	Motor Transportador de Sazos
V-301	Válvula de Corte Tolda Propelaje
CYL-301	Cilindro de Sujeción de Sazo
V-302	Válvula Dosificadoras de Sazo
SELL-301	Selladores de Sazos
M-302	Motor Cinta Sazos Llenos
VF-202	Control Velocidad Zarándia
VF-203	Control Velocidad Vitrófor



e. Dimensiones en milímetros (mm) angegeben.
 l. Dimensionen in millimetern (mm).

Nota: Elaborado por el autor

4.2.7. Diseño de la Interfaz SCADA

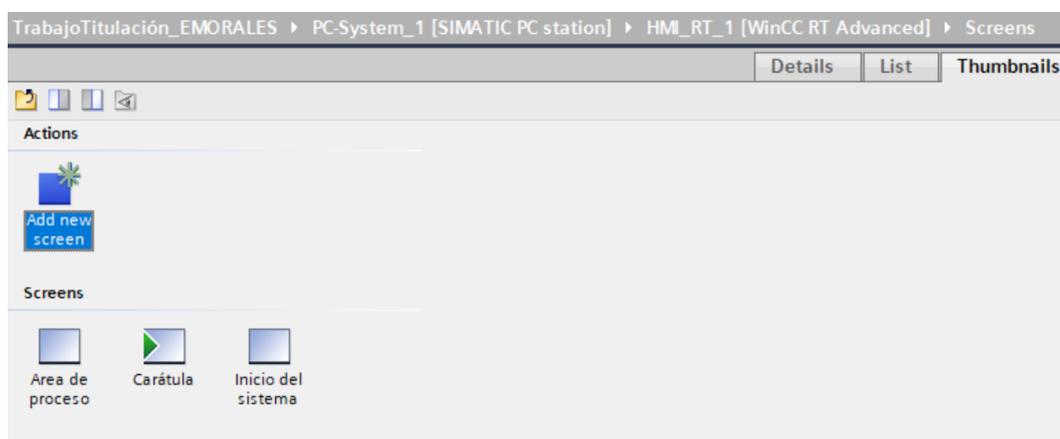
Para diseñar la interfaz del sistema SCADA, se consideró el uso de 3 pantallas para el sistema y una pantalla como carátula. Las pantallas del sistema estarán dispuestas para satisfacer las siguientes necesidades:

- Una pantalla principal de control, donde se ubiquen los botones de inicio y paro del sistema, la selección de modos automático/manual, una sección de visualización de parámetros ambientales en tiempo real, y las secciones de las alarmas y las fallas.
- Una pantalla donde se visualice la totalidad del proceso, incluidas las etapas, disposición de los sensores, disposición de los actuadores y otros elementos del proceso.
- Una pantalla de configuración de los parámetros de control: temperaturas y humedad máximas y mínimas, velocidad de rotación y vibración de la zaranda.

Para la pantalla principal y la pantalla de visualización de procesos, se configuraron en la sección de Screens, en el apartado de HMI_RT_1, como se observa en la siguiente imagen:

Imagen 29

Vista general de pantallas en el HMI

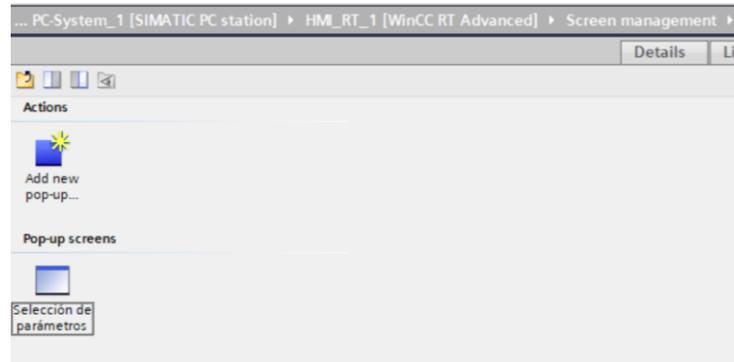


Nota: Elaborado por el autor

Para la pantalla que controla los parámetros del sistema, se configuró una ventana Pop-Up, la cuál esta vinculada a un botón llamado “Configurar parámetros del sistema”, ubicado en la pantalla “Área del proceso”.

Imagen 30

Vista general de pantallas Pop-up



Nota: Elaborado por el autor

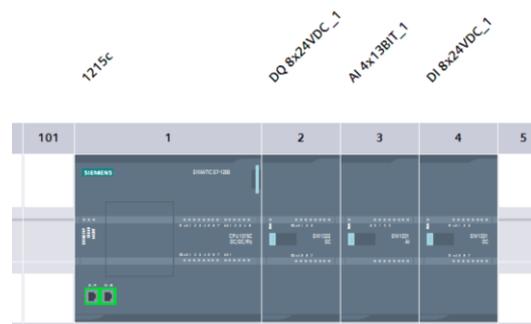
4.3. Fase de Diseño y Simulación

4.3.1. Programación de PLC

Al comenzar el programa, se debe añadir la CPU y sus periféricos. En este caso se establecieron el PLC S7-1200 1215C DC/DC/Rly, un módulo SM 1222 Digital Output (8x24VDC), un módulo SM 1231 AI (4x24VDC) y un módulo SM 1221 Digital Input (8x24VDC Relay).

Imagen 31

Vista de dispositivos en la ventana de programación del TIA Portal



Nota: Elaborado por el autor

Después, estableceremos las tablas de variables principal, llamada “Tabla de E/S Principales” la cual contiene todos las entradas y salidas establecidas con anterioridad.

Imagen 32

Tabla de variables E/S principales

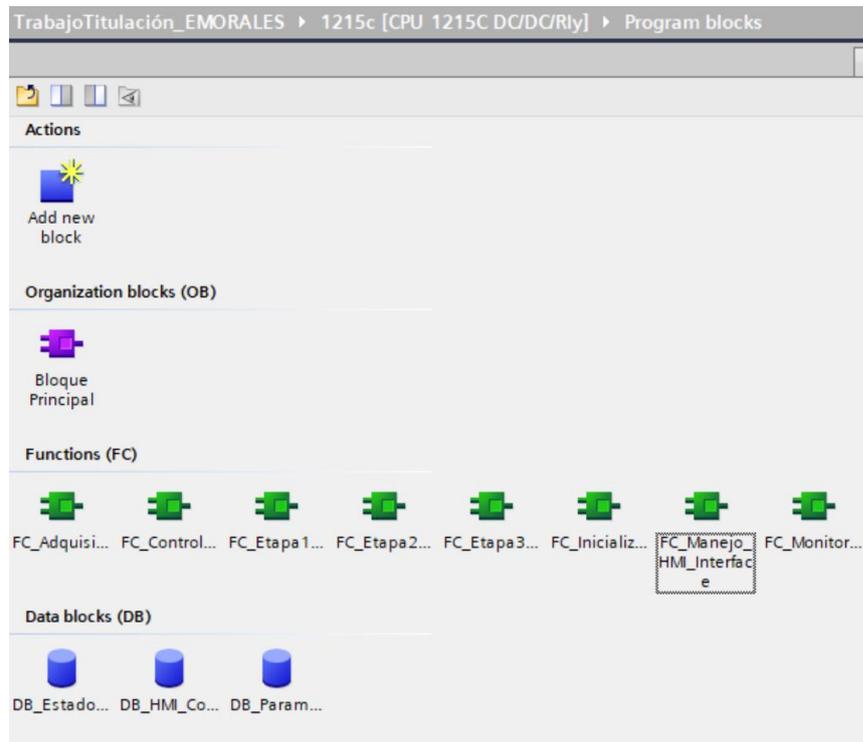
Tabla de E/S Principales							
	Name	Data type	Address ▲	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...
1	DI_LS_Alimento_Bajo	Bool	%I0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	DI_ZS_Cinta_Recoleccion_Seguridad	Bool	%I0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	DI_ZS_Carro_Alimento_Inicio	Bool	%I0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	DI_ZS_Carro_Alimento_Fin	Bool	%I0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	DI_PS_Material_TrasladoEtapa2	Bool	%I0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	DI_PS_Material_EntradaZaranda	Bool	%I0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7	DI_PS_Material_EntradaTolva	Bool	%I0.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8	DI_LS_Nivel_Tolva_Prepesaje	Bool	%I0.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
9	DI_PS_Saco_Presente	Bool	%I1.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
10	DI_Boton_Modo_Automatico	Bool	%I1.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
11	DI_Boton_Modo_Manual	Bool	%I1.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
12	DI_Boton_Paro_Emergencia	Bool	%I1.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
13	DI_Boton_Reset_Alarmas	Bool	%I1.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
14	DI_Falla_Transportador_M201	Bool	%I16.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
15	DI_Falla_Zaranda_M202	Bool	%I16.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
16	DI_Falla_Selladora	Bool	%I16.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
17	DI_Falla_Cinta_Sacos_Llenos	Bool	%I16.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
18	AI_Temperatura_Lecho_Raw	Int	%IW64	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
19	AI_Humedad_Sustrato_Raw	Int	%IW66	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
20	AI_Peso_Saco_Raw	Int	%IW112	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
21	DO_Motor_Cinta_Recoleccion	Bool	%Q0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
22	DO_Motor_Carro_Alimento_Avance	Bool	%Q0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
23	DO_Motor_Carro_Alimento_Retorno	Bool	%Q0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
24	DO_Valvula_Riego	Bool	%Q0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
25	DO_Motor_Transportador_M201	Bool	%Q0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
26	DO_Motor_Zaranda_M202	Bool	%Q0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
27	DO_Motor_Transportador_M301	Bool	%Q0.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
28	DO_Valvula_Corte_Tolva_Prepesaje	Bool	%Q0.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
29	DO_Valvula_Dosificadora_Saco	Bool	%Q1.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
30	DO_Cilindro_Sujecion_Saco	Bool	%Q8.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
31	DO_Selladora_Sacos	Bool	%Q8.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
32	DO_Motor_Cinta_Sacos_Llenos	Bool	%Q8.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
33	AQ_Velocidad_Zaranda	Int	%QW80	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
34	AQ_Velocidad_Vibrador	Int	%QW82	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Nota: Elaborado por el autor

Para la elaboración de los bloques de programación, se ha dividido el proceso en 12 bloques distintos: 1 bloque de organización (OB), 8 bloques de funciones (FC) y 3 bloques de datos (DB).

Imagen 33

Vista general de los bloques de programación a usar



Nota: Elaborado por el autor

Bloque Principal [OB1] Actuará como el "director de orquesta", donde se llamarán a todos los demás bloques de función (FCs) y bloques de datos (DBs) para su ejecución.

FC_Aquisicion_Entradas lee y procesa todas las señales de los sensores reales que están conectados al PLC.

FC_Manejo_HMI_Interface maneja las operaciones del operador desde el HMI y funciona como la conexión lógica entre la interfaz de usuario y el control de tareas de procesamiento interno.

FC_Inicializacion_Sistema todas las variables AOC críticas para la misión se inicializan con sus respectivos valores predeterminados, mientras que todos los contadores y banderas que son de solo lectura (es decir, que no retienen su estado anterior) se restablecen en este punto.

FC_Control_General_Modos se encarga de la gestión operativa global del sistema, permitiendo al operador seleccionar entre los modos Automático/Manual, también procesa las señales de paro de emergencia, activando mecanismos de seguridad para detener todos los actuadores, y gestiona el reinicio de alarmas.

FC_Etapa0_Cultivo contiene la lógica para el control de temperatura y humedad, activando el sistema de riego según los setpoints. También maneja la secuencia de dosificación de alimento.

FC_Etapa1_Recolección se encarga de recolectar el humus listo para procesar. Esto se puede hacer de forma automática con temporizadores o de forma manual, activando el botón de recolección.

FC_Etapa2_Separación maneja el transportador de material dependiendo de si la siguiente etapa está disponible. También controla la activación y la velocidad del motor de la zaranda, y puede incluir rampas para que funcione de manera más fluida.

FC_Etapa3_Pesaje_Envasado controla desde la alimentación del material a la tolva hasta la secuencia de llenado de sacos. Incluye el llenado grueso y fino con control del vibrador, la sujeción del saco, el ciclo de sellado y la expulsión del producto final.

FC_Monitoreo_Valores_AI_Alarmas se encarga de convertir los valores brutos de temperatura y humedad a unidades de ingeniería. Luego, compara estos valores con los límites preestablecidos para activar las alarmas necesarias.

DB_Estados_Sistema se dedica a almacenar flags y estados operativos generales del sistema que necesitan ser compartidos y consultados por múltiples FCs.

Imagen 34

Elementos del bloque de datos Estados del Sistema

Name	Data type	Start value	Retain
Aux_Riego_Completo_Reset	Bool	false	False
Aux_Alim_Completa_Reset	Bool	false	False
Aux_Humedad_Sobre_Max	Bool	false	False
Estado_Etapa2_EnProgreso	Bool	false	False
Estado_Etapa2_Habilitada	Bool	false	False
Estado_Etapa2_Completada	Bool	false	False
Alarm_Transportador_M201_Falla	Bool	false	False
Alarm_Zaranda_M202_Falla	Bool	false	False
Aux_Transportador_M201_Activo	Bool	false	False
Aux_Zaranda_M202_Activa	Bool	false	False
Aux_Transportador_M301_Activo	Bool	false	False
TON_M201_Arranque_DB	TON_TIME		False
TON_M201_Parada_DB	TON_TIME		False
TON_M202_Arranque_DB	TON_TIME		False
TON_M202_Parada_DB	TON_TIME		False
Aux_Etapa2_Completada_Reset	Bool	false	False
Alarm_Selladora_Falla	Bool	false	False
Alarm_Cinta_Sacos_Falla	Bool	false	False
Aux_Peso_Bruto_Sobre_SetPoint	Bool	false	False
Aux_Peso_Fino_Sobre_SetPoint	Bool	false	False
Aux_Etapa3_Completada_Reset	Bool	false	False
TON_Sujecion_Saco_DB	TON_TIME		False
TON_Sellado_Saco_DB	TON_TIME		False
TON_Sacando_Saco_DB	TON_TIME		False
Aux_Peso_Saco_Normalizado	Real	0.0	False
Pulso_Inicio_Ciclo	Bool	false	False
Pulso_Paro_Emergencia	Bool	false	False
Pulso_Reset_Alarmas	Bool	false	False
Pulso_Seleccion_Peso_5Kg	Bool	false	False
Pulso_Seleccion_Peso_10Kg	Bool	false	False
Seleccion_Peso_5Kg_Activa	Bool	false	True
Seleccion_Peso_10Kg_Activa	Bool	false	True
Alarm_Saco_No_Detectado	Bool	false	False

Nota: Elaborado por el autor

Imagen 35

Elementos del bloque de datos Estados del Sistema

Name	Data type	Start value	Retain
Aux_Riego_Completo_Reset	Bool	false	False
Aux_Alimentacion_Completa_Reset	Bool	false	False
Aux_Humedad_Sobre_Max	Bool	false	False
Estado_Etapa2_EnProgreso	Bool	false	False
Estado_Etapa2_Habilitada	Bool	false	False
Estado_Etapa2_Completada	Bool	false	False
Alarm_Transportador_M201_Falla	Bool	false	False
Alarm_Zaranda_M202_Falla	Bool	false	False
Aux_Transportador_M201_Activo	Bool	false	False
Aux_Zaranda_M202_Activa	Bool	false	False
Aux_Transportador_M301_Activo	Bool	false	False
TON_M201_Arranque_DB	TON_TIME		False
TON_M201_Parada_DB	TON_TIME		False
TON_M202_Arranque_DB	TON_TIME		False
TON_M202_Parada_DB	TON_TIME		False
Aux_Etapa2_Completada_Reset	Bool	false	False
Alarm_Selladora_Falla	Bool	false	False
Alarm_Cinta_Sacos_Falla	Bool	false	False
Aux_Peso_Bruto_Sobre_SetPoint	Bool	false	False
Aux_Peso_Fino_Sobre_SetPoint	Bool	false	False
Aux_Etapa3_Completada_Reset	Bool	false	False
TON_Sujecion_Saco_DB	TON_TIME		False
TON_Sellado_Saco_DB	TON_TIME		False
TON_Sacando_Saco_DB	TON_TIME		False
Aux_Peso_Saco_Normalizado	Real	0.0	False
Pulso_Inicio_Ciclo	Bool	false	False
Pulso_Paro_Emergencia	Bool	false	False
Pulso_Reset_Alarmas	Bool	false	False
Pulso_Seleccion_Peso_5Kg	Bool	false	False
Pulso_Seleccion_Peso_10Kg	Bool	false	False
Seleccion_Peso_5Kg_Activa	Bool	false	True
Seleccion_Peso_10Kg_Activa	Bool	false	True
Alarm_Saco_No_Detectado	Bool	false	False

Nota: Elaborado por el autor

DB_HMI_Control almacena variables para el intercambio de información bidireccional. Recopila entradas del operador como setpoints y comandos de botones, mientras que el PLC escribe aquí estados operativos, valores de proceso y mensajes para su visualización.

Imagen 36

Elementos del bloque de datos HMI Control

DB_HMI_Control			
	Name	Data type	Start value
1	▼ Static		
2	Boton_Inicio_Ciclo_HMI	Bool	false
3	Boton_Paro_Emergencia_HMI	Bool	false
4	Boton_Reset_Alarmas_HMI	Bool	false
5	Seleccion_Modo_Automatico_HMI	Bool	false
6	Seleccion_Modo_Manual_HMI	Bool	false
7	Seleccion_Peso_5Kg_HMI	Bool	false
8	Seleccion_Peso_10Kg_HMI	Bool	false
9	SetPoint_Velocidad_Zaranda_HMI	Real	50.0
10	Mensaje_Estado_Sistema	String	"
11	Alarmas_Activas_Display	Word	16#0
12	PV_Peso_Saco_Kg_Display	Real	0.0
13	PV_Temperatura_Celsius_Display	Real	0.0
14	PV_Humedad_Porcentaje_Display	Real	0.0
15	Aux_Boton_Inicio_Ciclo_HMI_reset	Bool	false
16	Aux_Boton_Paro_Emergencia_HMI_reset	Bool	false
17	Aux_Boton_Reset_Alarmas_HMI_reset	Bool	false
18	Aux_Seleccion_Peso_5Kg_HMI_reset	Bool	false
19	Aux_Seleccion_Peso_10Kg_HMI_reset	Bool	false

Nota: Elaborado por el autor

DB_Parámetros_Globales funciona como un repositorio central para todos los setpoints, tiempos, límites de alarma y otros parámetros de configuración del sistema que pueden ser ajustados por el operador a través del SCADA.

Imagen 37

Elementos del bloque de datos Parámetros Globales

DB_Parametros_Globales			
	Name	Data type	Start value
1	▼ Static		
2	SetPoint_Peso_Grueso_5Kg	Real	4.5
3	SetPoint_Peso_Fino_5Kg	Real	5.0
4	SetPoint_Peso_Grueso_10Kg	Real	9.5
5	SetPoint_Peso_Fino_10Kg	Real	10.0
6	SetPoint_Peso_Grueso_Kg	Real	0.0
7	SetPoint_Peso_Fino_Kg	Real	0.0
8	Tiempo_Sujecion_Saco_Ms	Time	T#15
9	Tiempo_Sellado_Saco_Ms	Time	T#35
10	Tiempo_Sacando_Saco_Ms	Time	T#55
11	Temp_Min_Alarma	Real	20.0
12	Temp_Max_Alarma	Real	30.0
13	Humedad_Min_Alarma	Real	50.0
14	Tiempo_Riego_Ms	Time	T#30S
15	Tiempo_Alimentacion_Ms	Time	T#15S
16	SetPoint_Humedad_Min_Riego	Real	50.0
17	SetPoint_Humedad_Max_Riego	Real	70.0
18	Velocidad_Zaranda_SP	Real	15000.0
19	Velocidad_Vibrador_SP_1	Real	10000.0
20	Tiempo_Arranque_Transportador_M201_Ms	Time	T#25
21	Tiempo_Parada_Transportador_M201_Ms	Time	T#55
22	Tiempo_Arranque_Zaranda_M202_Ms	Time	T#35
23	Tiempo_Parada_Zaranda_M202_Ms	Time	T#75

Nota: Elaborado por el autor

4.3.2. Desarrollo de la Aplicación SCADA

Antes de entrar al sistema, se diseñó una breve carátula indicando el nombre del proyecto. La configuración del botón de iniciar fue sencilla, solo se le agregó un evento "ActivateScreen" al hacer click, vinculado a la siguiente ventana del proceso "Inicio del sistema".

Imagen 38

Pantalla de carátula al iniciar el sistema SCADA



Nota: Elaborado por el autor

La segunda pantalla, llamada "Inicio de proceso", contiene todos los botones que establecen el inicio, paro, modo automático, etc. Para esta pantalla, se usó una totalidad de 9 botones, los cuales contienen los siguientes eventos:

Tabla 6

Eventos creados para la sección de botones en la pantalla "Inicio del sistema"

Botón	Evento	Función	Tag
Inicio	Press	SetBit	DB_HMI_Control_Boton_Inicio_Ciclo_H MI
	Release	ResetBit	DB_HMI_Control_Boton_Inicio_Ciclo_H MI

Paro	Press	SetBit	DB_HMI_Control_Boton_Paro_Emergencia_HMI
	Release	ResetBit	DB_HMI_Control_Boton_Paro_Emergencia_HMI
Modo Automático	Press	SetBit	DB_HMI_Control_Seleccion_Modo_Automatico_HMI
	Release	ResetBit	DB_HMI_Control_Seleccion_Modo_Automatico_HMI
Modo Manual	Press	SetBit	DB_HMI_Control_Seleccion_Modo_Manual_HMI
	Release	ResetBit	DB_HMI_Control_Seleccion_Modo_Manual_HMI
Iniciar Recolección	Press	SetBit	DB_HMI_Control_Boton_Recoleccion_Manual_HMI
	Release	ResetBit	DB_HMI_Control_Boton_Recoleccion_Manual_HMI
Activar Zaranda	Press	SetBit	DB_HMI_Control_Boton_Forzar_PS201_HMI
	Release	ResetBit	DB_HMI_Control_Boton_Forzar_PS201_HMI
Iniciar Envasado	Press	SetBit	DB_HMI_Control_Boton_Forzar_LS301_HMI
	Release	ResetBit	DB_HMI_Control_Boton_Forzar_LS301_HMI
Reset Alarmas	Press	SetBit	DB_HMI_Control_Boton_Reset_Alarmas_HMI

	Release	ResetBit	DB_HMI_Control_Boton_Reset_Alarmas_HMI
Siguiente Página (flecha derecha)	Click	ActivateScreen	Área de proceso

Nota: Elaborado por el autor

Para esta pantalla también se usaron indicadores LEDs, en total, 13, los cuales les fueron asignados una animación que le asigna un color dependiendo del valor del bit asignado a la variable. Los indicadores que se establecieron fueron los siguientes:

Tabla 7

Animaciones creadas para la sección de indicadores en la pantalla "Inicio del sistema"

Indicador	Tag vinculado
Inicio/Paro del sistema	DB_Estados_Sistema_Control_Sistema_Marcha
Modo Automático	DB_Estados_Sistema_Control_Modo_Automatico
Modo Manual	DB_Estados_Sistema_Control_Modo_Manual
Etapa 1 activa	DB_Estados_Sistema_Estado_Etapa1_EnProgreso
Etapa 2 activa	DB_Estados_Sistema_Estado_Etapa2_EnProgreso
Etapa 3 activa	DB_Estados_Sistema_Estado_Etapa3_EnProgreso
Alarma temperatura alta activa	DB_Estados_Sistema_Alarm_Temperatura_Alta
Alarma temperatura baja	DB_Estados_Sistema_Alarm_Temperatura_Baja

activa	
Alarma humedad baja activa	DB_Estados_Sistema_Alarm_Humedad_Baja
Fallo Transportador M-201	DB_Estados_Sistema_Alarm_Transportador_M201_Falla
Fallo Zaranda M-202	DB_Estados_Sistema_Alarm_Zaranda_M202_Falla
Fallo Sellador de sacos	DB_Estados_Sistema_Alarm_Selladora_Falla
Fallo Transportador de sacos	DB_Estados_Sistema_Alarm_Cinta_Sacos_Falla

Nota: Elaborado por el autor

Además, tenemos 3 indicadores de entradas/salidas, los cuales tienen la finalidad de mostrar los parámetros ambientales y el peso de los sacos que se están generando, todo en tiempo real. Esto mediante una propiedad de tipo "Process Value", de tipo output.

Las variables vinculadas a esos visualizadores son las siguientes:

Tabla 8

Propiedades creadas para la sección de visualizadores en la pantalla "Inicio del sistema"

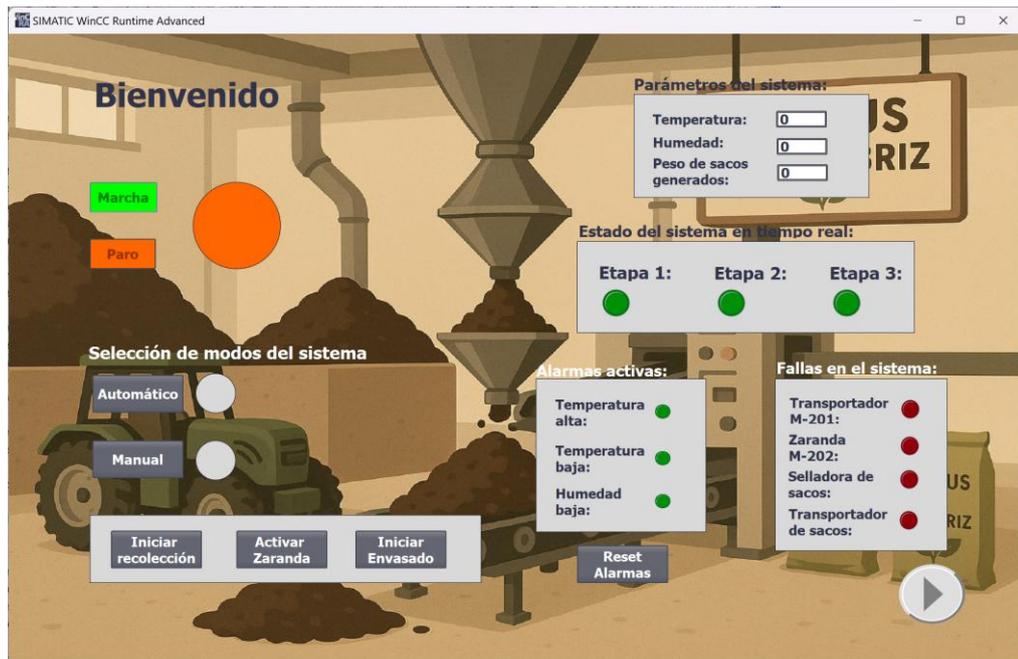
Indicador	Tag vinculado
Temperatura	DB_Estados_Sistema_PV_Temperatura_Celsius
Humedad	DB_Estados_Sistema_PV_Humedad_Porc
Peso de sacos generados	DB_Estados_Sistema_PV_Peso_Saco_Kg

Nota: Elaborado por el autor

Finalmente, agregándole los textos correspondientes a los botones, indicadores y visualizadores, y luego de ordenarlos, darles formato (modificar su tamaño, posición, diseño, etc), el diseño y configuración final se estableció de acuerdo con la siguiente imagen:

Imagen 39

Diseño final de la pantalla "Inicio del sistema"



Nota: Elaborado por el autor

La tercera pantalla, llamada "Área del proceso", contiene todos los elementos que reflejan el estado del sistema actual. Esto incluye indicadores para mostrar el estado de los sensores, animaciones para ocultar/mostrar elementos cuando estos no estén activos, y un botón que abre una ventana Pop-up. Los eventos y animaciones de los indicadores están configurados para comportarse de la siguiente manera:

Tabla 9

Eventos y animaciones configurados a los indicadores de la pantalla de Área del Proceso

Objeto	Acción	Descripción
Sensor posición inicio	Vinculada al tag DI_ZS_Carro_Alimento_Inicio	El led se activa cuando la variable vinculada está en estado activo

Sensor posición inicio	Vinculada al tag DI_ZS_Carro_Alimento_Fin	El led se activa cuando la variable vinculada está en estado activo
Flecha de dirección horaria	Animación de invisibilidad vinculada al tag DI_ZS_Carro_Alimento_Inicio	Invisible cuando Sensor posición final está activo
Flecha de dirección horaria	Animación de visibilidad vinculada al tag DI_ZS_Carro_Alimento_Final	Invisible cuando Sensor posición final está inicio
Chorro de agua	Animación de invisibilidad vinculada al tag DB_Estados_Sistema_Estado_Etapa1_Regando	Invisible cuando no está activado el tag de Regando
Motor recolección	Animación de apariencia vinculada al tag DO_Motor_Cinta_Recolección	El objeto se ilumina cuando el motor está activo
Motor cinta transportadora a Etapa 2	Animación de apariencia vinculada al tag DO_Motor_Transportador_M201	El objeto se ilumina cuando el motor está activo
Sensor humus en banda transportadora	Vinculada al tag DI_PS_Material_TrasladoEtapa2	El led se activa cuando la variable vinculada está en estado activo
Sensor entrada a Zaranda	Vinculada al tag DI_PS_Material_EntradaZaranda	El led se activa cuando la variable vinculada está en estado activo
Motor Zaranda	Animación de apariencia vinculada al tag DO_Motor_Zaranda_M202	El objeto se ilumina cuando el motor está activo
Sensor entrada a Tolva de Prepesaje	Vinculada al tag DI_PS_Material_EntradaTolva	El led se activa cuando la variable vinculada está en estado activo
Sensor de nivel de Tolva Prepesaje	Vinculada al tag DI_LS_Nivel_Tolva_Prepesaje	El led se activa cuando la variable vinculada está en estado activo
Valvula de dosificación de sacos	Animación de apariencia vinculada al tag DO_Valvula_Dosificadora_Saco	El objeto se ilumina cuando la válvula está activa

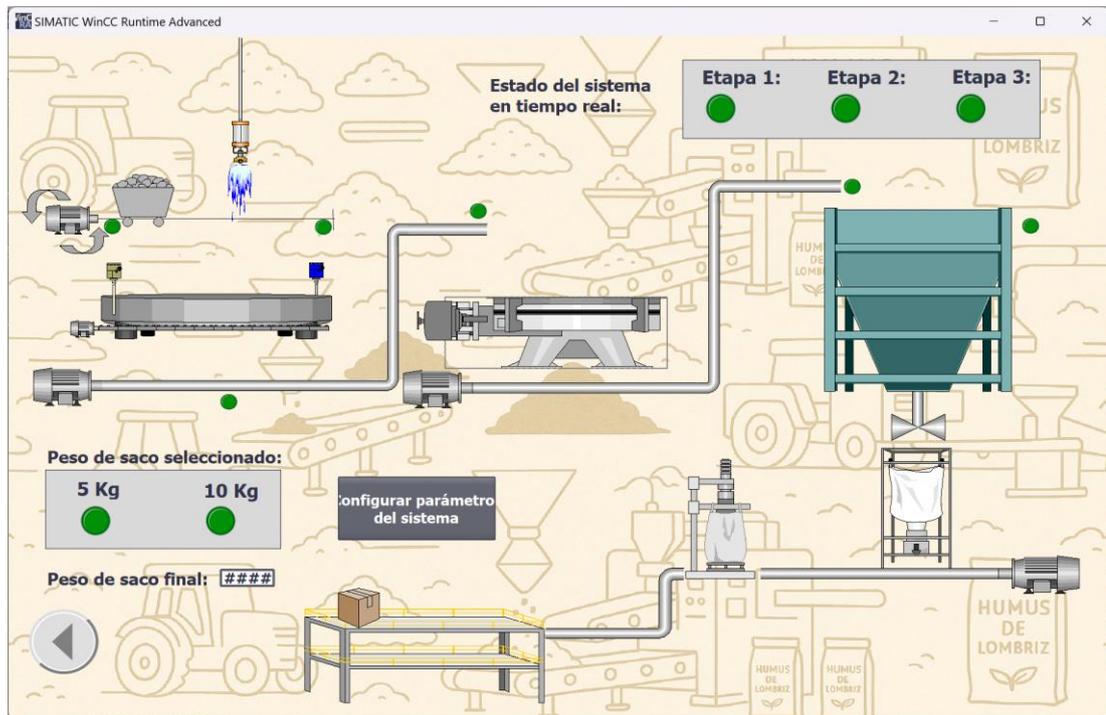
Motor Traslado de sacos a selladora	Animación de apariencia vinculada al tag DO_Motor_Cinta_Sacos_LIenos	El objeto se ilumina cuando el motor está activo
Motor Traslado de selladora a almacenamiento	Animación de apariencia vinculada al tag DO_Motor_Transportador_M301	El objeto se ilumina cuando el motor está activo
Indicador de selección de sacos 5kg	Vinculada al tag DB_Estados_Sistema_Pulso_Seleccion_Peso_5Kg	El led se activa cuando la variable vinculada está en estado activo
Indicador de selección de sacos 10kg	Vinculada al tag DB_Estados_Sistema_Pulso_Seleccion_Peso_10Kg	El led se activa cuando la variable vinculada está en estado activo
Indicador de Peso producido	Vinculada al tag DB_Estados_Sistema_PV_Peso_Saco_Kg	Indica el peso en kilogramos de los sacos producidos en tiempo real

Nota: Elaborado por el autor

Con estos elementos configurados, podemos establecer el siguiente diseño relacionado al área del proceso:

Imagen 40

Diseño final de la pantalla "Área del proceso"



Nota: Elaborado por el autor

La cuarta pantalla, llamada "Selección de parámetros", contiene los apartados que se pueden modificar, a consideración del operador. Esto incluye la selección de temperaturas y humedad mínimas y máximas, y los parámetros de la zaranda, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 10

Ventana Pop Up "Selección de parámetros"

Objeto	Acción	Descripción
Indicador de Entrada de Temperatura Mínima	Vinculado al tag DB_Parametros_Globales_Temp_Min_Alarma	Entrada de selección de temperatura mediante una lista de textos con los elementos 22, 24, 26, 28 y 30
Indicador de Entrada de Temperatura Máxima	Vinculado al tag DB_Parametros_Globales_Temp_Max_Alarma	Entrada de selección de temperatura mediante una lista de textos con los elementos 22, 24, 26, 28 y 30

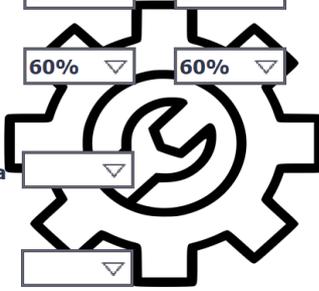
Indicador de Entrada de Humedad Mínima	Vinculado al tag DB_Parametros_Globales_Humedad_Min_Alarma	Entrada de selección de temperatura mediante una lista de textos con los elementos 40, 50, 60, 70 y 80
Indicador de Entrada de Humedad Máxima	Vinculado al tag DB_Parametros_Globales_SetPoint_Humedad_Max_Riego	Entrada de selección de temperatura mediante una lista de textos con los elementos 40, 50, 60, 70 y 80
Indicador de Entrada de Velocidad de rotación de la zaranda	Vinculado al tag DB_Parametros_Globales_Velocidad_Zaranda_SP	Entrada de selección de temperatura mediante una lista de textos con los elementos alto, medio y bajo
Indicador de Entrada de Vibración de la zaranda	Vinculado al tag DB_Parametros_Globales_Velocidad_Vibrador_SP_1	Entrada de selección de temperatura mediante una lista de textos con los elementos alto, medio y bajo
Indicador de selección de sacos 10kg	Vinculada al tag DB_Estados_Sistema_Puls o_Seleccion_Peso_10Kg	El led se activa cuando la variable vinculada está en estado activo
Indicador de Peso producido	Vinculada al tag DB_Estados_Sistema_PV_Peso_Saco_Kg	Indica el peso en kilogramos de los sacos producidos en tiempo real

Nota: Elaborado por el autor

Imagen 41

Diseño final de la pantalla Pop-Up "Selección de parámetros"

	Mínimo	Máximo
Temperatu	26°C ▾	26°C ▾
Humedad	60% ▾	60% ▾
Velocidad de rotación de la zaranda:	▾	
Velocidad de vibración de la zaranda:	▾	



Nota: Elaborado por el autor

4.4. Análisis de Viabilidad

4.4.1. Análisis de Impacto Ambiental

Para dimensionar el impacto ambiental que el producto realizará en el suelo, debemos primero considerar 4 aspectos: las condiciones de producción por kg de lombriz, la reproducción estimada de las mismas, la cantidad inicial de lombrices y el área de tierra mejorada por kg de humus (o viceversa).

Para calcular la producción de kg de humus de lombriz por cada lombriz, nos basamos en la información mencionada en el punto 2.2.5 del capítulo 2 del presente proyecto: 1kg de lombrices producen 0.5kg de humus de lombriz por ciclo de alimentación, aproximadamente. Es decir, 1 lombriz produce 0.0005kg humus/día

Para calcular la reproducción estimada de las mismas, nos basamos en la información mencionada en el punto 2.2.4 del capítulo 2 del presente proyecto, el cual indica: pueden duplicar su población aproximadamente cada 60 a 90 días. Esto lo podemos representar con la siguiente fórmula:

$$L(t) = L_0 \cdot 1.5^{t/T}$$

Donde:

- $L(t)$ = población de lombrices después de t días
- L_0 = población inicial (en este caso 60,000)
- T = periodo de duplicación (en días, entre 60 y 90)
- t = tiempo transcurrido en días

En la fórmula se asume un índice de mortalidad del 25%.

Para efectos del proyecto, se decidió iniciar con una cantidad de 60kg de lombrices.

Para calcular el área de tierra mejorada por kg de humus, nos basamos en la información mencionada en el punto 2.3.5 del capítulo 2 del presente proyecto, el cual indica: 1 kg podría mejorar entre 0.5 y 2 metros cuadrados de suelo.

Entonces, con la información previamente detallada, podemos establecer un cuadro con el rendimiento de producción de humus de lombriz cada trimestre del primer año:

Tabla 11

Producción anual de humus de lombriz, en kilogramos

Trimestre	Días	Población estimada (promedio)	Producción diaria (kg)	Producción mensual (kg)	Producción trimestral (kg)
T1	0-90	75000	37,5	1125	3375
T2	90-180	112500	56,25	1687,5	5062,5
T3	180-270	168750	84,375	2531,25	7593,75
T4	270-365	256585	128,29	3848,7	11546
Total, anual:					27577,5

Nota: Elaborado por el autor

Conociendo también la cantidad de suelo que puede ser mejorado con 1kg de humus de lombriz, se establece la siguiente tabla que representa la cantidad total de suelo que la producción puede mejorar al año:

Tabla 12

Área de suelo que podrá ser mejorado con respecto a la producción anual

Trimestre	Producción Humus (kg)	Ingresos (USD)
T0	3375	1890
T1	5062,5	2835

T2	7593,75	4252,5
T3	11546	6465,76
	Total	15443,26

Nota: Elaborado por el autor

4.4.2. Análisis de Costos

El costo de implementación considera todos los elementos de entradas y salidas, el PLC con sus módulos de expansión y fuente de voltaje, elementos industriales tales como la cama donde se desarrollará la etapa 1, la zaranda, cintas transportadoras, entre otros; la licencia del programa donde fue desarrollado el proceso, la computadora desde donde se tendrá instalado el programa y un HMI para controlar todo el proceso, y se puede observar en la tabla 13. Para la tabla con los valores detallados, consultar anexos.

Tabla 13

Costos de implementación totales del sistema

Precio unitario (USD)	Precio total (USD)
Sensores y actuadores	\$4.745,00
Componentes estructurales	\$5.300,00
Componentes de control	\$3.674
Total	\$13.718,97

Nota: Elaborado por el autor

Conociendo el precio de implementación, y la cantidad de producto procesado por trimestre, podremos hacer un cálculo del tiempo en que se podría recuperar la inversión, basándonos en un precio promedio del kilogramo de humus de lombriz en Ecuador, mismo el cuál será calculado de acuerdo con la siguiente tabla de precios actuales:

Tabla 14*Calculo del promedio del precio del humus de lombriz por kilogramos en Ecuador*

Empresa	Cantidad del producto (en kilogramos)	Precio del producto	Precio por kilogramo
CRIBOSOL	25	\$12,00	\$0,48
Huertos Ecuador	40	\$25,00	\$0,63
La Jardinería	25	\$20,00	\$0,80
LombriHumus	30	\$9,50	\$0,32
		Promedio	\$0,56

Nota: Elaborado por el autor

Como podemos observar en la siguiente tabla, entre el trimestre 3 y trimestre 4 del primer año estaríamos recuperando la inversión inicial (\$13.718,97):

Tabla 15*Cálculo de ganancias por trimestre, con proyección a un año*

Trimestre	Producción Humus (kg)	Ingresos (USD)
T1	3375	1890
T2	5062,5	2835
T3	7593,75	4252,5
T4	11546	6465,76
	Total	15443,26

Nota: Elaborado por el autor

4.4.3. Identificación de Riesgos y Limitaciones

La producción depende de una fuente constante y suficiente de residuos orgánicos. Variaciones estacionales o problemas logísticos pueden limitar la alimentación adecuada de las lombrices y reducir la producción.

La rápida reproducción de las lombrices puede causar sobrepoblación en los lechos, y si esto no se controla, compiten por el alimento y el espacio, haciendo que el sistema sea menos eficiente.

Además, si los sistemas de control fallan, todo el proceso de producción podría detenerse o generar errores graves en el riego, el transporte o el envasado, lo cual afectaría la operación continua.

El consumo de energía de los motores, variadores, selladoras y otros equipos podría convertirse en un gasto mensual considerable. Si las tarifas eléctricas cambian, la rentabilidad del proyecto a mediano plazo se podría ver afectada.

Además, el precio del humus de lombriz varía según las condiciones del mercado, la competencia y los cambios en la demanda agrícola local. Por eso, los márgenes de ganancia y las proyecciones de retorno no siempre son estables.

Por último, al pasar de un sistema piloto a una planta más grande, es posible que se requieran rediseños técnicos o ajustes de control que no se habían previsto, lo que podría impactar los costos y tiempos de implementación.

CONCLUSIONES

La automatización del proceso de producción de humus mediante PLC y sensores industriales permitió mejorar significativamente la eficiencia operativa, asegurando precisión en el control de variables críticas y reduciendo la intervención humana en tareas repetitivas.

El uso de residuos orgánicos como materia prima ofrece beneficios ambientales considerables, permitiendo transformar desechos biodegradables en fertilizante orgánico, lo que contribuye a la economía circular y a la mejora de suelos agrícolas empobrecidos.

La planta automatizada puede alcanzar altos niveles de rentabilidad, ya que, con una inversión inicial controlada y una buena gestión del crecimiento poblacional, es posible recuperar la inversión total en menos de doce meses.

El diseño modular y flexible del sistema permite su expansión y adaptación a diferentes escalas de producción, pudiendo ser replicado en entornos rurales o urbanos con variaciones mínimas en la arquitectura del control.

La proyección de fertilización indica que, con el sistema en régimen estable, se puede cubrir más de 1,500 m² mensuales, generando un impacto positivo en la producción agrícola local y reduciendo el uso de fertilizantes químicos.

RECOMENDACIONES

Instalar sistemas redundantes de medición y control en variables críticas como humedad y temperatura, para asegurar la continuidad operativa y prevenir condiciones adversas que puedan afectar la salud o reproducción de las lombrices.

Hay que implementar un plan de mantenimiento preventivo para los equipos, sensores y actuadores. Con esto no solo se busca alargar su vida útil, sino también evitar paradas inesperadas que puedan comprometer la estabilidad del proceso.

Además, es crucial crear una estrategia de manejo poblacional que incluya el traslado de las lombrices a nuevas camas cada 60 o 90 días. Así, se mantiene una densidad óptima para la producción y se evita la sobrepoblación.

Para el suministro de alimento, se deben formalizar acuerdos con municipalidades o mercados locales para asegurar una fuente constante y económica de residuos orgánicos, que alimentarán a las lombrices a largo plazo.

Se deben realizar campañas de promoción del producto final en ferias agrícolas, mercados orgánicos y plataformas digitales para fortalecer los canales de distribución y aumentar la demanda del humus.

REFERENCIAS

Adesanwo, M. D., Oyekunle, J. A. O., & Owolade, J. O. (2023). Vermicomposting of food waste using *Eisenia fetida*: An overview. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 11, 100311.

Adhikary, S., & Maity, C. (2021). Vermicomposting of different organic wastes: A review. *Journal of Environmental Management*, 280,

Al-Hajri, M., Al-Hinai, A., & Al-Manthari, N. (2023). A review on smart manufacturing and industry 4.0 applications in process industries. *Journal of Industrial Information Integration*, 32, 100424.

Bansal, R., Kumar, A., & Goyal, S. (2021). A comprehensive review on programmable logic controllers and their applications. *Journal of Engineering Research and Applications*, 11(6), 33-40.

Chen, Z., Cao, X., Gao, B., & Zhang, J. (2022). Effects of environmental factors on vermicomposting efficiency and vermicompost quality: A review. *Environmental Pollution*, 306, 119438.

Inductive Automation. (2022). Ignition User Manual (Version 8.1.18). Inductive Automation, LLC.

Joshi, R., Singh, R., & Kumar, S. (2021). Automation in agriculture: A review. *Journal of Physics: Conference Series*, 1950(1), 012028.

Kou, L., Wang, Y., & Li, C. (2022). Cybersecurity threats and countermeasures in industrial control systems: A review. *Journal of Network and Computer Applications*, 205, 103403.

Kumar, V., Gupta, S., & Singh, B. (2023). A comprehensive review on load cells: Types, working principles, and applications. *Sensors International*, 4, 100222.

Li, S., Zhang, W., & Xu, Y. (2021). Design and implementation of PLC-based control system for automated material handling. *Journal of Physics: Conference Series*, 1744(4), 042017.

Li, Z., Wang, X., & Zhang, T. (2021). Biochemical characteristics of vermicompost derived from different organic wastes and its effects on plant growth. *Journal of Cleaner Production*, 300, 126922.

Liu, J., Wang, Y., & Li, Q. (2024). Optimization of vermicomposting conditions for enhanced nutrient recovery from agricultural waste. *Waste Management*, 175, 239-247.

Liu, Y., & Ma, X. (2022). A review of sensor technologies for smart agriculture. *Sensors*, 22(16), 6296.

Ma, T., Han, Y., & Wang, L. (2023). Research on speed control system of AC motor based on VFD. *Journal of Physics: Conference Series*, 2541(1), 012019.

Rai, R., Singh, M., & Singh, V. (2020). Vermicomposting: A sustainable approach for organic waste management and nutrient recovery. *Journal of Environmental Management*, 269, 110756.

Rincones, P. A., Zapata, J. E., Figueroa, O. A., & Parra, C. (2023). "Evaluación de sustratos sobre los parámetros productivos de la lombriz roja californiana (*Eisenia fetida*)." ("Inf. tecnol. vol.34 número2; S0718-07642023000200011 - SciELO")

Saha, D., & Singh, A. (2020). Design and implementation of an automated PLC-SCADA based water purification system. *Journal of Physics: Conference Series*, 1531(1), 012053.

Sharma, P., Garg, S., & Bhardwaj, N. (2021). Earthworm gut microbiota: A key player in vermicomposting process. *Journal of Environmental Management*, 290, 112521.

Siemens AG. (2021). SIMATIC WinCC V7.5 SP2: Engineering Manual. Siemens Industry Online Support.

Singh, D., Kumar, P., & Verma, D. (2023). An overview of SCADA systems in industrial automation and control. *International Journal of*

Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, 12(4), 118-125.

Singh, S. P., Singh, J., & Singh, A. (2022). Vermicomposting of different organic wastes: Optimization and quality assessment. *Journal of Environmental Management*, 312, 114917.

Sinha, A., & Singh, B. (2022). A review on pneumatic and hydraulic systems in industrial automation. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 13(2), 1-8.

Wang, Y., Li, Q., & Zhang, J. (2022). Research on distributed I/O control system based on Ethernet. *Journal of Physics: Conference Series*, 2201(1), 012003.

Zhang, X., Li, Y., & Wang, H. (2020). Design and application of solenoid valve control system in industrial automation. *Journal of Physics: Conference Series*, 1676(1), 012015.

Zhang, Y., Wang, X., & Li, Y. (2023). Comparative study on vermicomposting of different agricultural wastes: Effects on compost quality and soil improvement. *Waste Management & Research*, 41(3), 263-272.

Zhao, X., Liu, Y., & Zhang, T. (2020). Design of signal conditioning circuit for sensor interface. *Journal of Physics: Conference Series*, 1578(1), 012061.

ANEXOS

Anexo 1

Tabla de costos de sensores y actuadores.

Elemento	Marca / Modelo específico	Cantidad	Precio unitario (USD)	Precio total (USD)
Botón arranque	Siemens 3SB3000-0AA41	1	\$25,00	\$25
Botón paro	Siemens 3SB3000-0AA42	1	\$25,00	\$25
Botón paro emergencia	Siemens 3SB3000-0AA21	1	\$40,00	\$40
Botón reset alarmas	Siemens 3SB3000-0AA45	1	\$25,00	\$25
Célula de carga (transmisor peso saco)	HBM PW10-5kg	1	\$150,00	\$150
Cilindro sujeción saco	Festo ADN-25-32-PPSA	1	\$50,00	\$50
Luces piloto	Siemens 3SB3... (luz roja)	4	\$10,00	\$40
Motor carro alimentación	SEW-Eurodrive 0.75 HP	1	\$400,00	\$400
Motor cinta sacos salida	SEW 0.25 HP	1	\$250,00	\$250
Motor recolección humus	Siemens 1LE0001-... 0.5 HP	1	\$300,00	\$300
Motor transportador sacos	SEW 0.5 HP	1	\$300,00	\$300
Motor traslado etapa 2	SEW-Eurodrive 0.25 HP	1	\$250,00	\$250
Motor zaranda rotatoria	Siemens motor 0.5 HP	1	\$300,00	\$300
Selladora sacos (band sealer)	All-Fill B/600	1	\$200,00	\$200
Sensor posición	Pepperl-Fuchs NBB5-V3-E0	2	\$75,00	\$150
Sensor presencia	Omron E3Z-D87	7	\$130,00	\$910
Transmisor humedad sustrato	E+E EE313 4-20 mA	1	\$150,00	\$150
Transmisor temperatura lecho	Autonics TCN61R-4-20mA	1	\$120,00	\$120
Válvula corte tolva prepesaje	Bürkert Type 6013	1	\$80,00	\$80
Válvula dosificadora saco	NEGLIA rotary valve 60 mm	1	\$200,00	\$200
Válvula riego	Bürkert Type 6013 (24 V DC)	1	\$80,00	\$80
Variador frecuencia	Siemens SINAMICS VFD 0.75 kW	2	\$350,00	\$700
			Total	\$4.745,00

Nota: Elaborado por el autor

Anexo 2

Tabla de costos de estructuras mecánicas.

Elemento	Marca / Modelo específico	Cantidad	Precio unitario (USD)	Precio total (USD)
Bandas transportadoras (metro)	estructura básica	5	\$230,00	\$1.150
Cables y accesorios eléctricos	—	—	\$200,00	\$200
Carro alimentación tipo tolva	local acero	1	\$200,00	\$200
Gabinete eléctrico IP65	Rittal AE-1035 o similar	1	\$150,00	\$150
Recipiente metálico 4x2x1.5 m	acero	1	\$800,00	\$800
Tolva inox 200 L	genérico industrial	1	\$600,00	\$600
Zaranda rotatoria	vermicompost sieve 1-2 t/h	1	\$2.200,00	\$2.200
			Total	\$5.300,00

Nota: Elaborado por el autor

Anexo 3

Tabla de costos de elementos de control

Elemento	Marca / Modelo específico	Cantidad	Precio unitario (USD)	Precio total (USD)
CPU PLC	Siemens SIMATIC S7-1215C DC/DC/Rly (6ES7215-1AG40-0XB0)	1	\$644,42	\$644
Módulo AI	Siemens SM 1231 AI – 4 AI (6ES7231-4HD32-0XB0)	1	\$232,20	\$232
Módulo E/SDI	Siemens SM 1221 DC – 8 DI (6ES7221-1BF32-0XB0)	1	\$112,50	\$113
Módulo E/SDO	Siemens SM 1222 DC – 8 DO (6ES7222-1BF32-0XB0)	1	\$124,85	\$125
Licencia software TIA Portal	Siemens TIA Portal STEP 7 Professional V18 (6ES7822-1AA08-0YA5)	1	\$ 640,00	\$ 640,00
Computadora industrial (PC)	Dell OptiPlex 7010 o similar (Intel i5, 8GB RAM, SSD)	1	\$ 700,00	\$ 700,00
HMI táctil 10"	Siemens KTP1000 Basic (6AV2123-2.B03-0AX0)	1	\$ 1.220,00	\$ 1.220,00
			Total	\$3.673,97

Nota: Elaborado por el autor

Anexo 4

Tabla de E/S Principales

Totally Integrated Automation Portal			
Tabla de E/S Principales [69]			
PLC tags			
PLC tags			
Name	Data type	Address	Retain
DI_LS_Alimento_Bajo	Bool	%I0.0	False
DI_ZS_Cinta_Recoleccion_Seguridad	Bool	%I0.1	False
DI_ZS_Carro_Alimento_Inicio	Bool	%I0.2	False
DI_ZS_Carro_Alimento_Fin	Bool	%I0.3	False
DI_PS_Material_TrasladoEtapa2	Bool	%I0.4	False
DI_PS_Material_EntradaZaranda	Bool	%I0.5	False
DI_PS_Material_EntradaTolva	Bool	%I0.6	False
DI_LS_Nivel_Tolva_Prepesaje	Bool	%I0.7	False
DI_PS_Saco_Presente	Bool	%M0.1	False
AI_Temperatura_Lecho_Raw	Int	%IW64	False
AI_Humedad_Sustrato_Raw	Int	%IW66	False
DO_Motor_Cinta_Recoleccion	Bool	%Q0.0	False
DO_Motor_Carro_Alimento_Avance	Bool	%Q0.1	False
DO_Motor_Carro_Alimento_Retorno	Bool	%Q0.2	False
DO_Valvula_Riego	Bool	%Q0.3	False
DO_Motor_Transportador_M201	Bool	%Q0.4	False
DO_Motor_Zaranda_M202	Bool	%Q0.5	False
DO_Motor_Transportador_M301	Bool	%Q0.6	False
DO_Valvula_Corte_Tolva_Prepesaje	Bool	%Q0.7	False
DO_Cilindro_Sujecion_Saco	Bool	%Q8.0	False
DO_Selladora_Sacos	Bool	%Q8.1	False
DO_Motor_Cinta_Sacos_Llenos	Bool	%Q8.2	False
AQ_Velocidad_Zaranda	Int	%QW80	False
AQ_Velocidad_Vibrador	Int	%QW82	False
System_Byte	Byte	%MB1	False
FirstScan	Bool	%M1.0	False
DiagStatusUpdate	Bool	%M1.1	False
AlwaysTRUE	Bool	%M1.2	False
AlwaysFALSE	Bool	%M1.3	False
DI_Boton_Marcha	Bool	%I1.1	False
DI_Boton_Paro	Bool	%I1.2	False
DI_Boton_Paro_Emergencia	Bool	%I1.3	False
DI_Boton_Reset_Alarmas	Bool	%I1.4	False
DO_Valvula_Dosificadora_Saco	Bool	%Q1.0	False
AI_Peso_Saco_Raw	Int	%IW112	False
DI_Falla_Transportador_M201	Bool	%I16.0	False
DI_Falla_Zaranda_M202	Bool	%I16.1	False
DI_Falla_Selladora	Bool	%I16.2	False
DI_Falla_Cinta_Sacos_Llenos	Bool	%I16.3	False

Nota: Elaborado por el autor

Anexo 5

Programación del Bloque Principal

Totally Integrated Automation Portal		
--------------------------------------	--	--

Bloque Principal [OB1]

Bloque Principal Properties					
General					
Name	Bloque Principal	Number	1	Type	OB
Language	LAD	Numbering	Automatic		
Information					
Title	"Main Program Sweep (Cycle)"	Author	Emanuel Morales	Comment	
Family		Version	0.1	User-defined ID	

Name	Data type	Default value
Temp		
Constant		

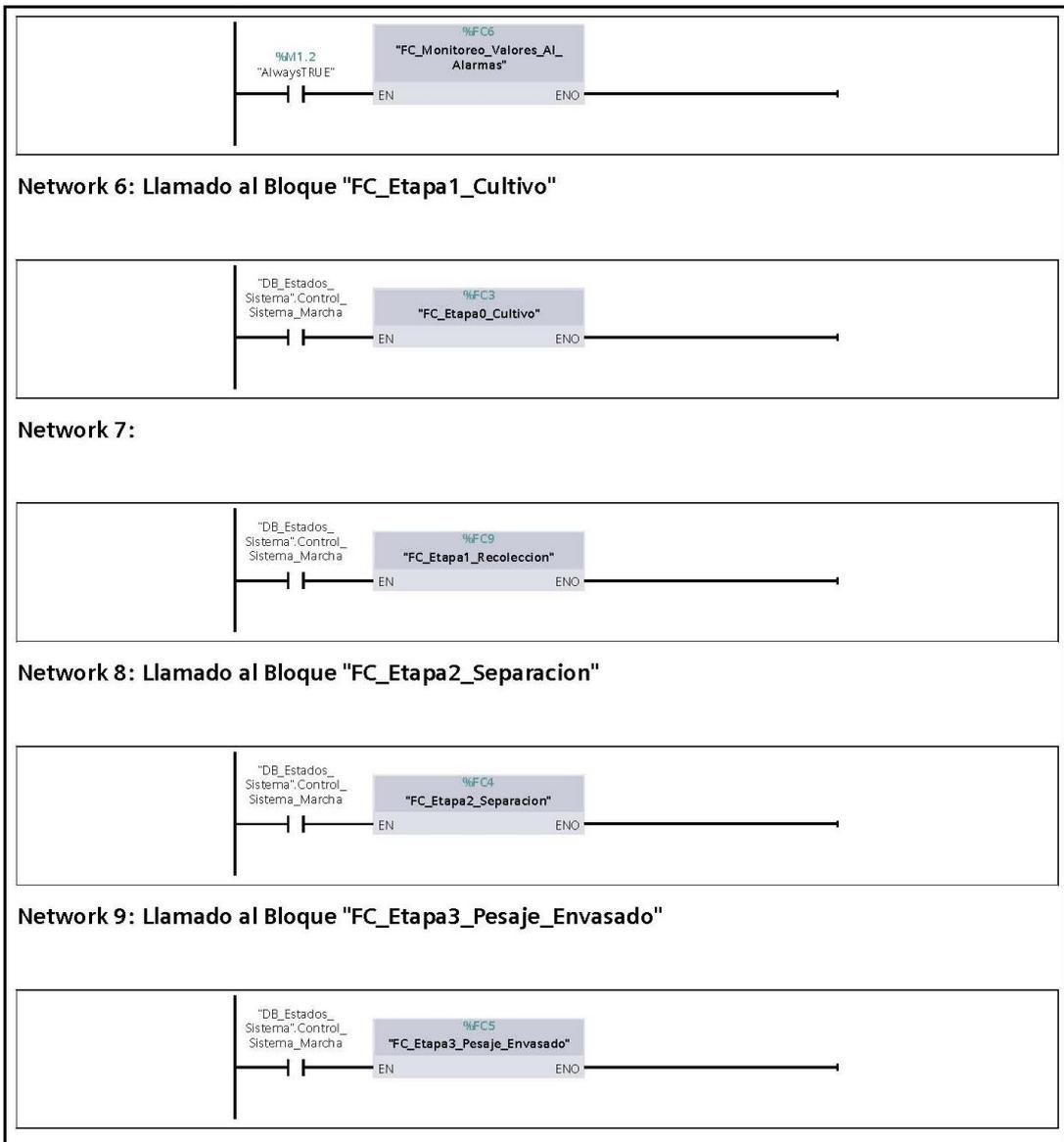
Network 1: Llamado al Bloque "FC_Adquisicion_Entradas"

Network 2: Llamado al Bloque "FC_Manejo_HMI_Interface"

Network 3: Llamado al Bloque "FC_Inicializacion_Sistema"

Network 4: Llamado al Bloque "FC_Control_General_Modos"

Network 5: Llamado al Bloque "FC_Monitoreo_Valores_AI_Alarmas"



Nota: Elaborado por el autor

Anexo 6

Programación del bloque Adquisición de Entradas

Totally Integrated Automation Portal		
--------------------------------------	--	--

FC_Adquisicion_Entradas [FC7]

FC_Adquisicion_Entradas Properties					
General					
Name	FC_Adquisicion_Entradas	Number	7	Type	FC
Language	LAD	Numbering	Automatic		
Information					
Title		Author	Emanuel Morales	Comment	
Family		Version	0.1	User-defined ID	

Name	Data type	Default value
Input		
Output		
InOut		
Temp		
Constant		
▼ Return		
FC_Adquisicion_Entradas	Void	

Network 1: Lectura de datos de la entrada analógica vinculada a la temperatura

```

graph LR
    true[true] --- EN[EN]
    subgraph MOVE_BLOCK [MOVE]
        IN[IN]
        OUT1[OUT1]
    end
    IW64["%IW64  
AI_Temperatura_Lecho_Raw"] --- IN
    OUT1 --- DB["DB_Estados_Sistema.PV_Temperatura_Raw"]
  
```


Network 2: Lectura de datos de la entrada analógica vinculada a la humedad

```

graph LR
    true[true] --- EN[EN]
    subgraph MOVE_BLOCK [MOVE]
        IN[IN]
        OUT1[OUT1]
    end
    IW66["%IW66  
AI_Humedad_Sustrato_Raw"] --- IN
    OUT1 --- DB["DB_Estados_Sistema.PV_Humedad_Raw"]
  
```


Network 3: Lectura de datos de la entrada analógica vinculada al peso de los sacos

```

graph LR
    true[true] --- EN[EN]
    subgraph MOVE_BLOCK [MOVE]
        IN[IN]
        OUT1[OUT1]
    end
    IW112["%IW112  
AI_Peso_Saco_Raw"] --- IN
    OUT1 --- DB["DB_Estados_Sistema.PV_Peso_sacos_raw"]
  
```

Nota: Elaborado por el autor

Anexo 7

Programación del bloque Control General de Modos

Totally Integrated Automation Portal			
--------------------------------------	--	--	--

FC_Control_General_Modos [FC2]

FC_Control_General_Modos Properties					
General					
Name	FC_Control_General_Modos	Number	2	Type	FC
Language	LAD	Numbering	Automatic		
Information					
Title		Author	Emanuel Morales	Comment	
Family		Version	0.1	User-defined ID	

Name	Data type	Default value
Input		
Output		
InOut		
Temp		
Constant		
▼ Return		
FC_Control_General_Modos	Void	

Network 1: Set/Reset del Sistema (Marcha/Paro)

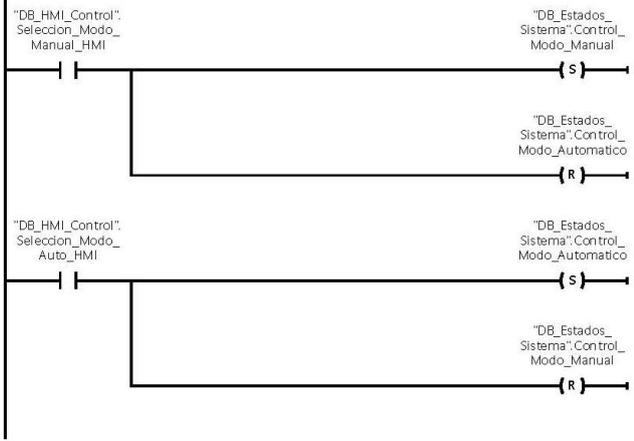
```

graph LR
    subgraph Network1 [Network 1: Set/Reset del Sistema (Marcha/Paro)]
        direction TB
        I1_1["%I1.1  
\"DI_Boton_Marcha\""]
        I1_2["\"DB_HMI_Control\".  
Boton_Inicio_Ciclo_HMI"]
        I1_3["%I1.2  
\"DI_Boton_Paro\""]
        I1_4["\"DB_HMI_Control\".  
Boton_Paro_Emergencia_HMI"]
        S1["\"DB_Estados_Sistema\".  
Control_Sistema_Marcha (S)"]
        R1["\"DB_Estados_Sistema\".  
Control_Sistema_Marcha (R)"]

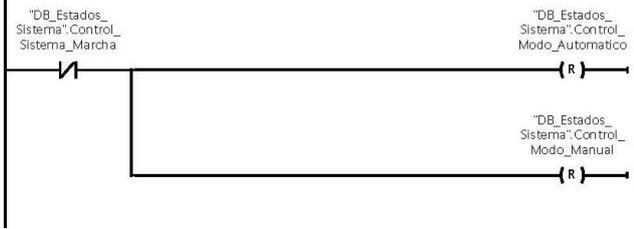
        I1_1 --- I1_2 --- S1
        I1_3 --- I1_4 --- R1
    end

```

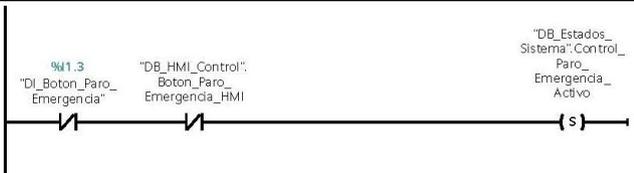

Network 2: Lógica de seteo de modos



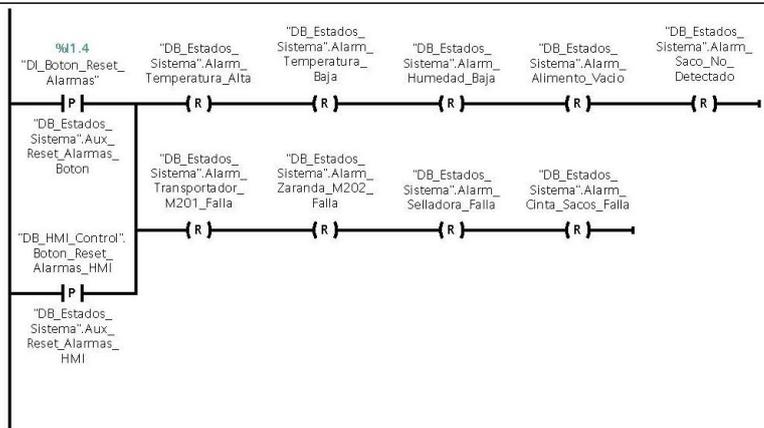
Network 3: Reseteo de Modos



Network 4: Seteo de la bandera Control_Paro_Emergencia_Activo



Network 5: Todas las alarmas listadas se RESETEAN a FALSE.



Nota: Elaborado por el autor

Anexo 8

Programación del bloque de Etapa 0 - Cultivo

Totally Integrated Automation Portal		
--------------------------------------	--	--

FC_Etapa0_Cultivo [FC3]

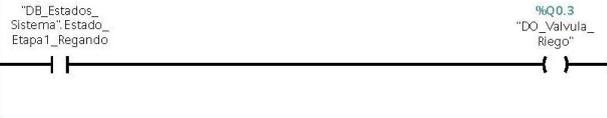
FC_Etapa0_Cultivo Properties					
General					
Name	FC_Etapa0_Cultivo	Number	3	Type	FC
Language	LAD	Numbering	Automatic		
Information					
Title		Author	Emanuel Morales	Comment	Este bloque gestionará la lógica de control para la etapa de cultivo de lombrices,
Family		Version	0.1	User-defined ID	

Name	Data type	Default value
Input		
Output		
InOut		
Temp		
Constant		
▼ Return		
FC_Etapa0_Cultivo	Void	

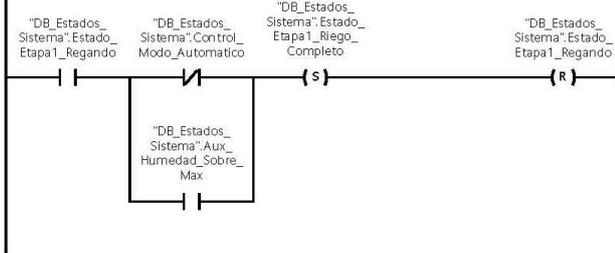
Network 1: Lógica de Riego Automático

Network 2: Cálculo de Aux_Humedad_Sobre_Max

Network 3: Control de la Válvula Solenoide V-106: Riego



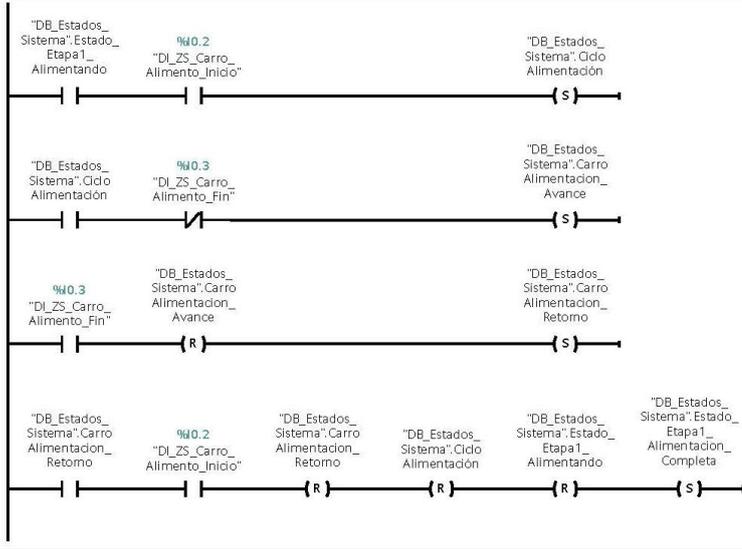
Network 4: Detener Riego Automático



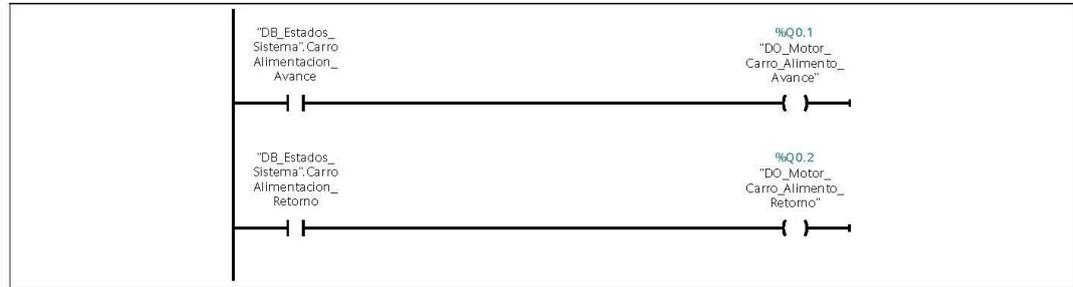
Network 5: Lógica de Alimentación Automática



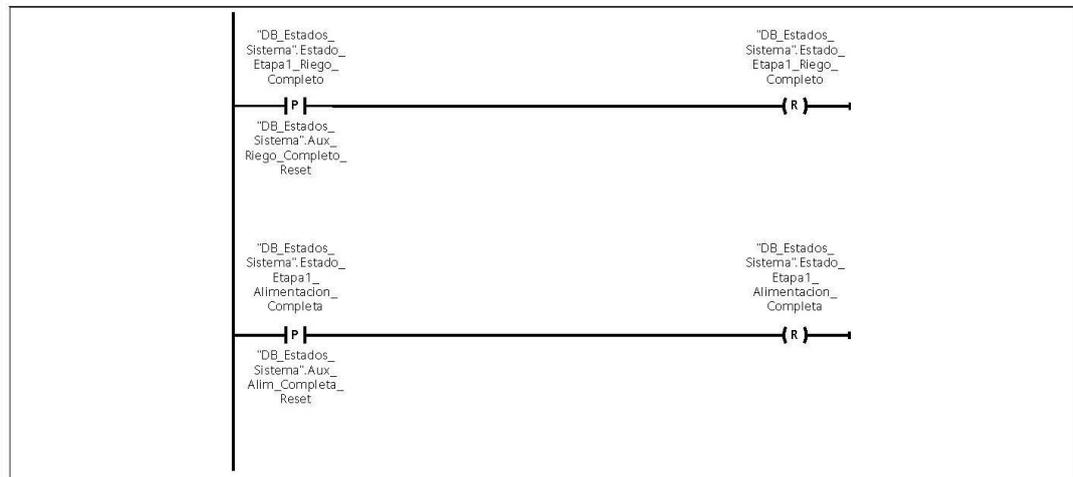
Network 6: Control del Motor del Carro de Alimento (Avance y Retorno)



Network 7: Salidas digitales de control del motor vinculadas a los flags de avance y retorno.



Network 8: Reset de banderas de "Ciclo Completo"



Nota: Elaborado por el autor

Anexo 9

Programación del bloque Etapa 1 - Recolección

Totally Integrated Automation Portal		
--------------------------------------	--	--

FC_Etapa1_Recoleccion [FC9]

FC_Etapa1_Recoleccion Properties					
General					
Name	FC_Etapa1_Recoleccion	Number	9	Type	FC
Language	LAD	Numbering	Automatic		
Information					
Title		Author		Comment	
Family		Version	0.1	User-defined ID	

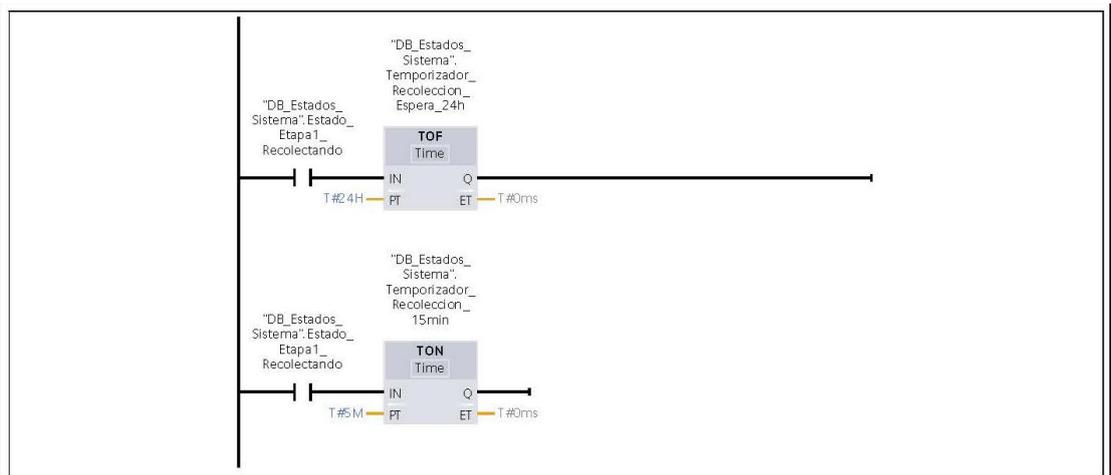
Name	Data type	Default value
Input		
Output		
InOut		
Temp		
Constant		
▼ Return		
FC_Etapa1_Recoleccion	Void	

Network 1: Disparo de la Recolección

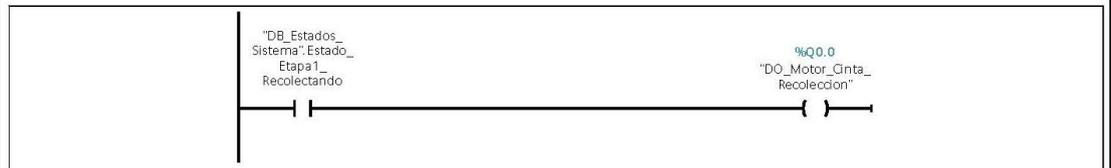
```

graph TD
    subgraph Network1 [Network 1: Disparo de la Recolección]
        direction LR
        C1["DB_Estados_Sistema'.Pulso_Recoleccion_Manual"]
        C2["DB_Estados_Sistema'.Control_Modo_Manual"]
        C3["DB_Estados_Sistema'.Temporizador_Recoleccion_Espera_24h.Q"]
        C4["DB_Estados_Sistema'.Control_Modo_Automatico"]
        C1 --- C2
        C3 --- C4
        C2 --- C4
        C4 --- Coil["DB_Estados_Sistema'.Estado_Etapa1_Recolectando (S)"]
    end
    
```


Network 2: Control de Temporizadores de Recolección



Network 3: Motor M-101: Cinta de recolección de humus



Network 4: Finalización de la Recolección



Nota: Elaborado por el autor

Anexo 10

Programación del bloque de Etapa 2 - Separación

Totally Integrated Automation Portal		
--------------------------------------	--	--

FC_Etapa2_Separacion [FC4]

FC_Etapa2_Separacion Properties					
General					
Name	FC_Etapa2_Separacion	Number	4	Type	FC
Language	LAD	Numbering	Automatic		
Information					
Title		Author	Emanuel Morales	Comment	
Family		Version	0.1	User-defined ID	

Name	Data type	Default value
Input		
Output		
InOut		
Temp		
Constant		
▼ Return		
FC_Etapa2_Separacion	Void	

Network 1: Control de Habilitación de la Etapa 2

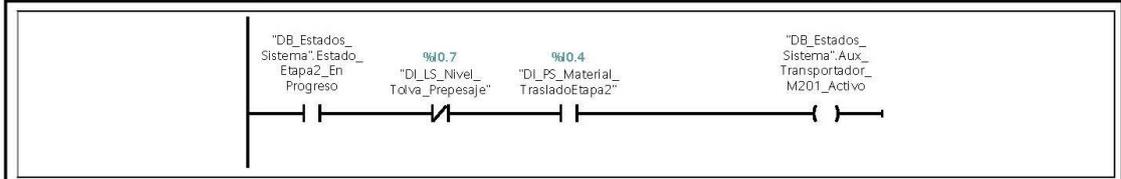
Resetea las banderas y temporizadores de la Etapa 2 si el sistema no está en marcha.

Network 2: Habilitación e Inicio de Etapa 2

Activa la bandera Estado_Etapa2_EnProgreso si la etapa está habilitada desde la secuencia principal, el sistema está en modo automático y hay material en la tolva de pre-pesaje.

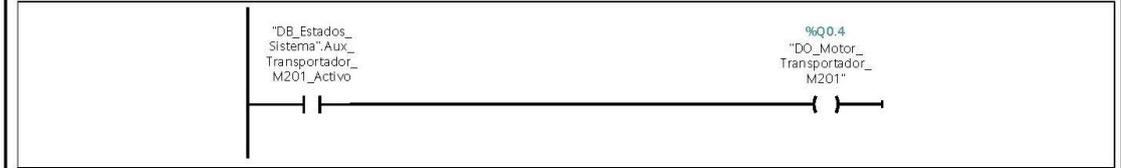
Network 3: Control del Transportador M201 (Habilitación)

Activa el transportador M201 si la etapa 2 está en progreso y hay material en la banda.



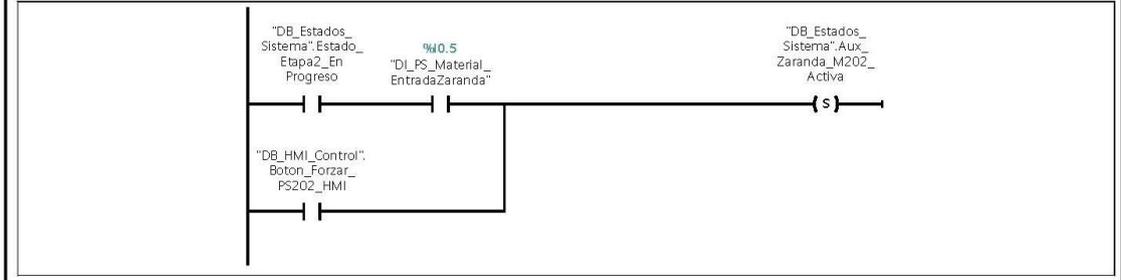
Network 4: Lógica de Arranque del Transportador M201

Activa la salida física del transportador M201



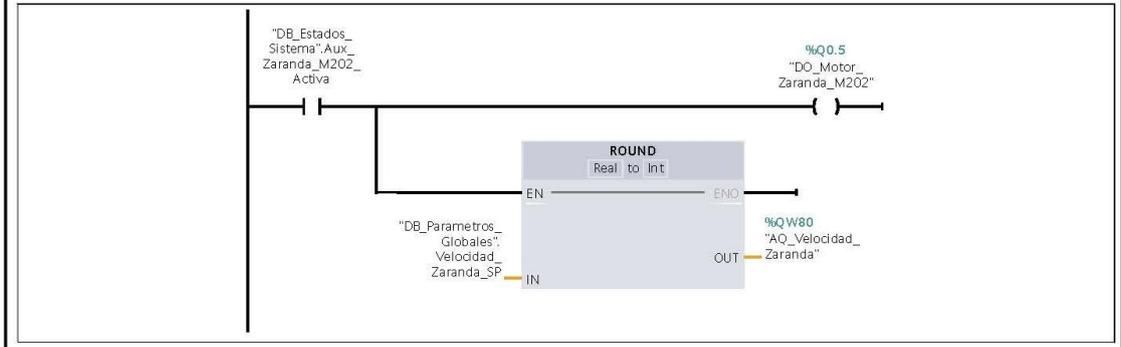
Network 5: Control de la Zaranda M202 (Habilitación) REVISAR

Activa la zaranda M202 si la Etapa 2 está en progreso, el transportador M201 está activo y hay material en la entrada de la zaranda.

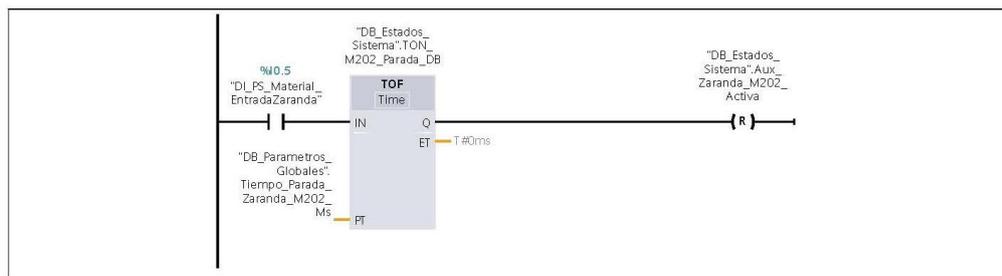


Network 6: Lógica de Arranque Retardado de la Zaranda M202 y Control de Velocidad

Activa la salida física de la zaranda M202 con un retardo y establece su velocidad analógica.

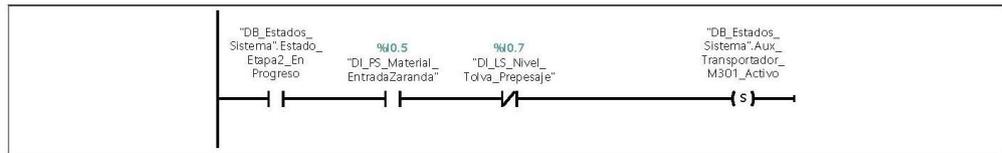


Network 7: Reseteo del Flag que controla el estado de la Zaranda



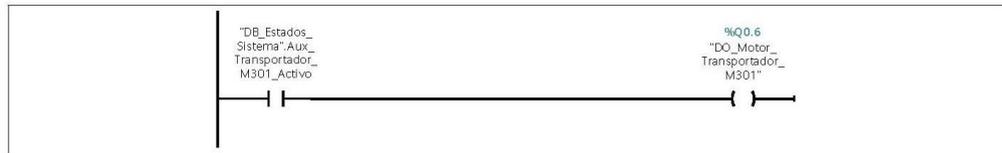
Network 8: Control del Transportador M301 OK

Activa el transportador M301 si la etapa 2 está en progreso y hay espacio en la tolva de pre-pesaje.

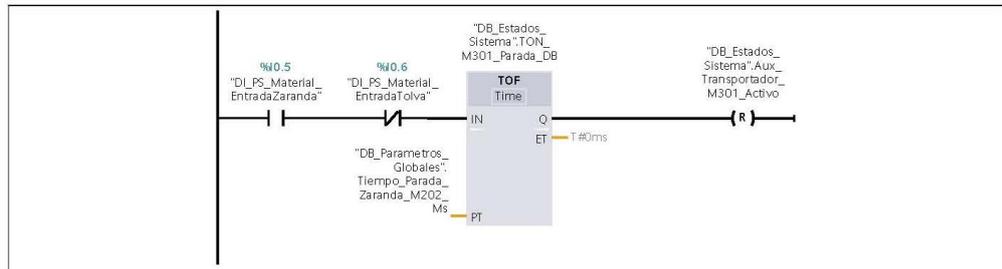


Network 9: Lógica de la Salida del Transportador M301

Activa la salida física del transportador M301

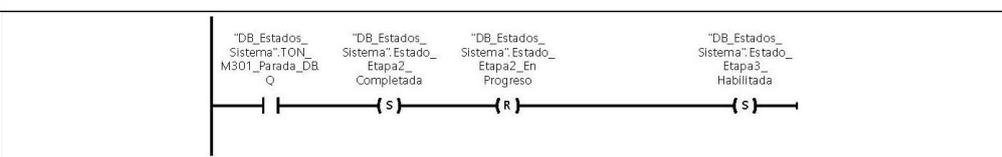


Network 10: Reseteo de Transportador M301

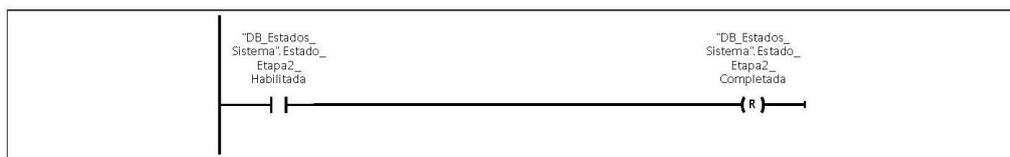


Network 11: Finalización de la Etapa 2 y Reset de Bandera de Habilitación

Marca la Etapa 2 como completada y resetea la bandera de habilitación para el próximo ciclo.



Network 12: Reseteo de Banderas para Nuevo Ciclo



Nota: Elaborado por el autor

Anexo 11

Programación del bloque de Etapa 3 - Pesaje y Envasado

Totally Integrated Automation Portal		
--------------------------------------	--	--

FC_Etapa3_Pesaje_Envasado [FC5]

FC_Etapa3_Pesaje_Envasado Properties					
General					
Name	FC_Etapa3_Pesaje_Envasado	Number	5	Type	FC
Language	LAD	Numbering	Automatic		
Information					
Title		Author	Emanuel Morales	Comment	
Family		Version	0.1	User-defined ID	

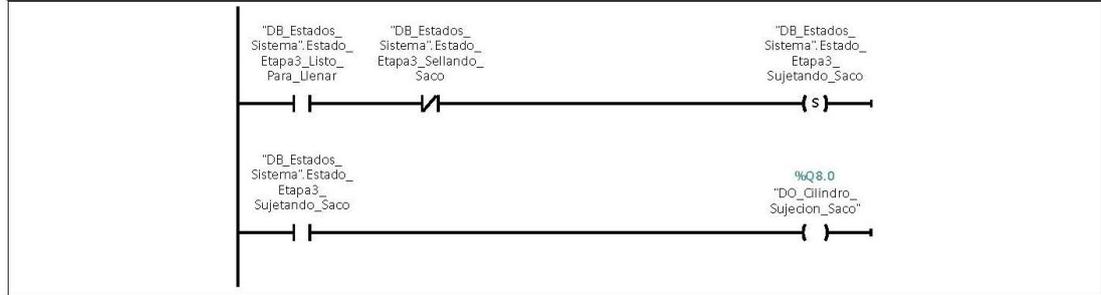
Name	Data type	Default value
Input		
Output		
InOut		
Temp		
Constant		
▼ Return		
FC_Etapa3_Pesaje_Envasado	Void	

Network 1: Control de Habilitación de la Etapa 3

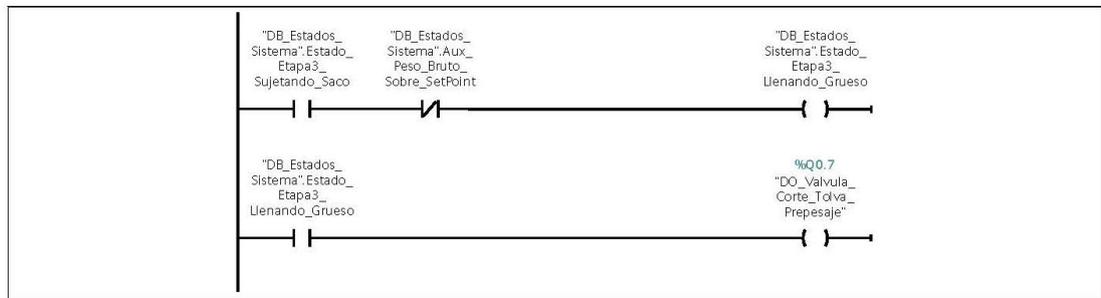
Resetea las banderas y temporizadores de la Etapa 3 si el sistema no está en marcha o la etapa no está habilitada.

Network 2: Inicio de la Etapa 3 y Detección de Saco Listo para Llenar

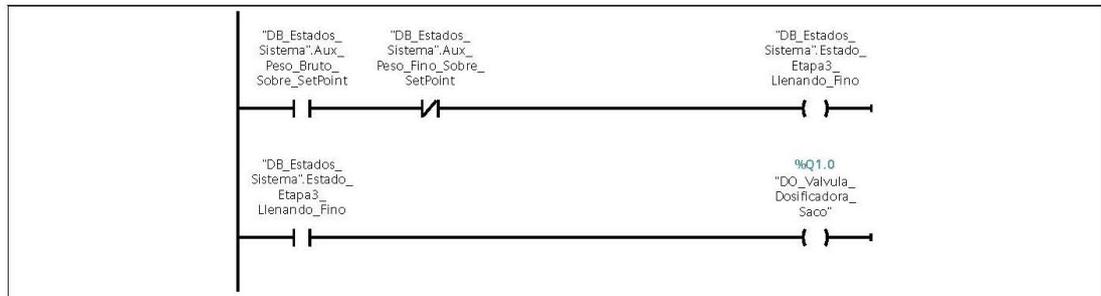
Network 3: Sujeción del Saco



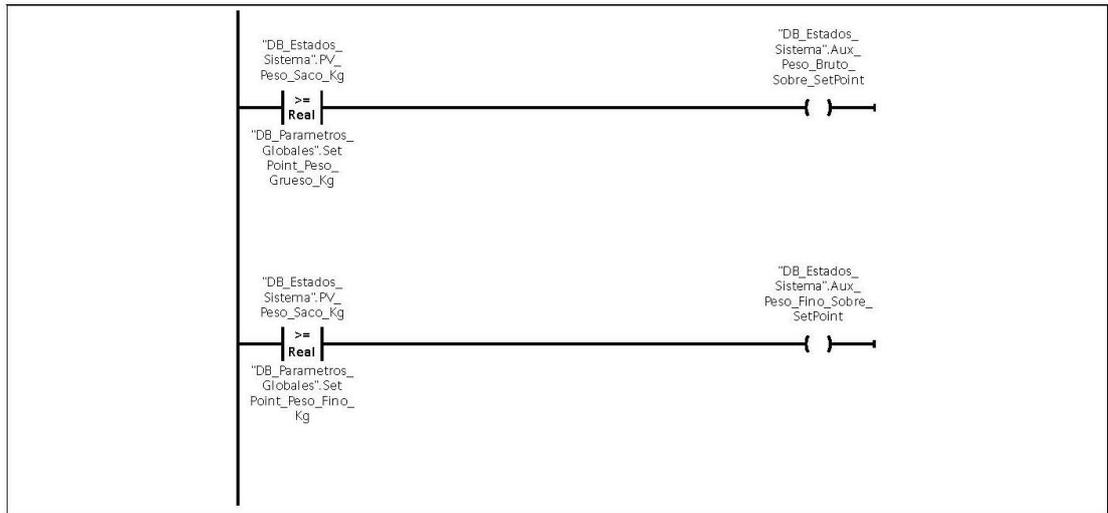
Network 4: Llenado grueso del saco



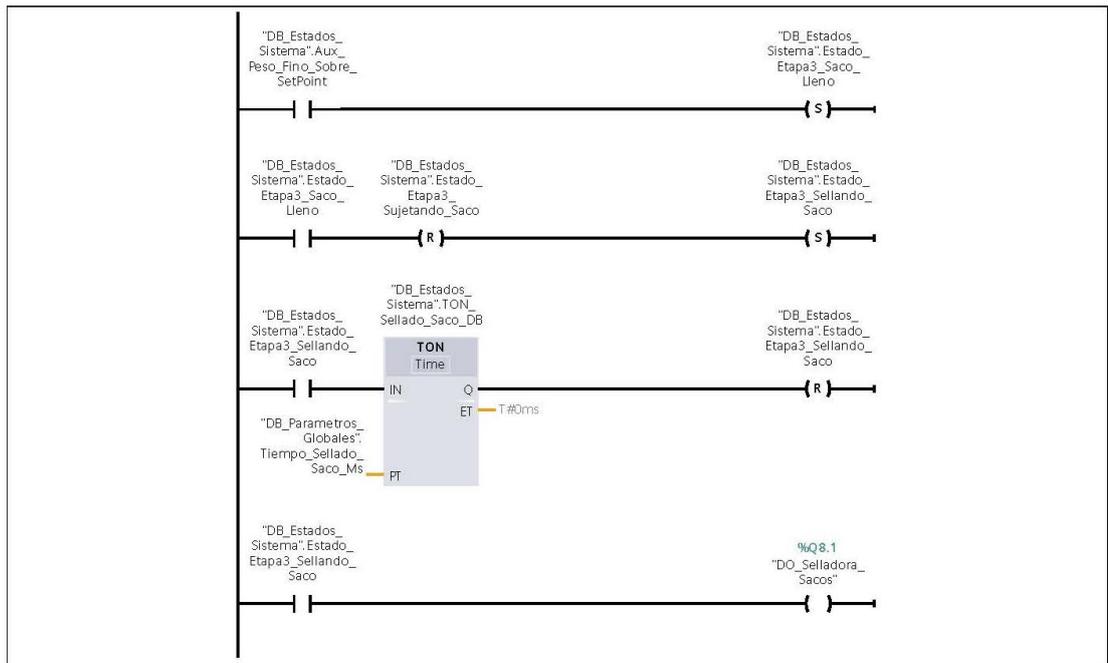
Network 5: Llenado Fino del Saco y Comprobación de Peso Final



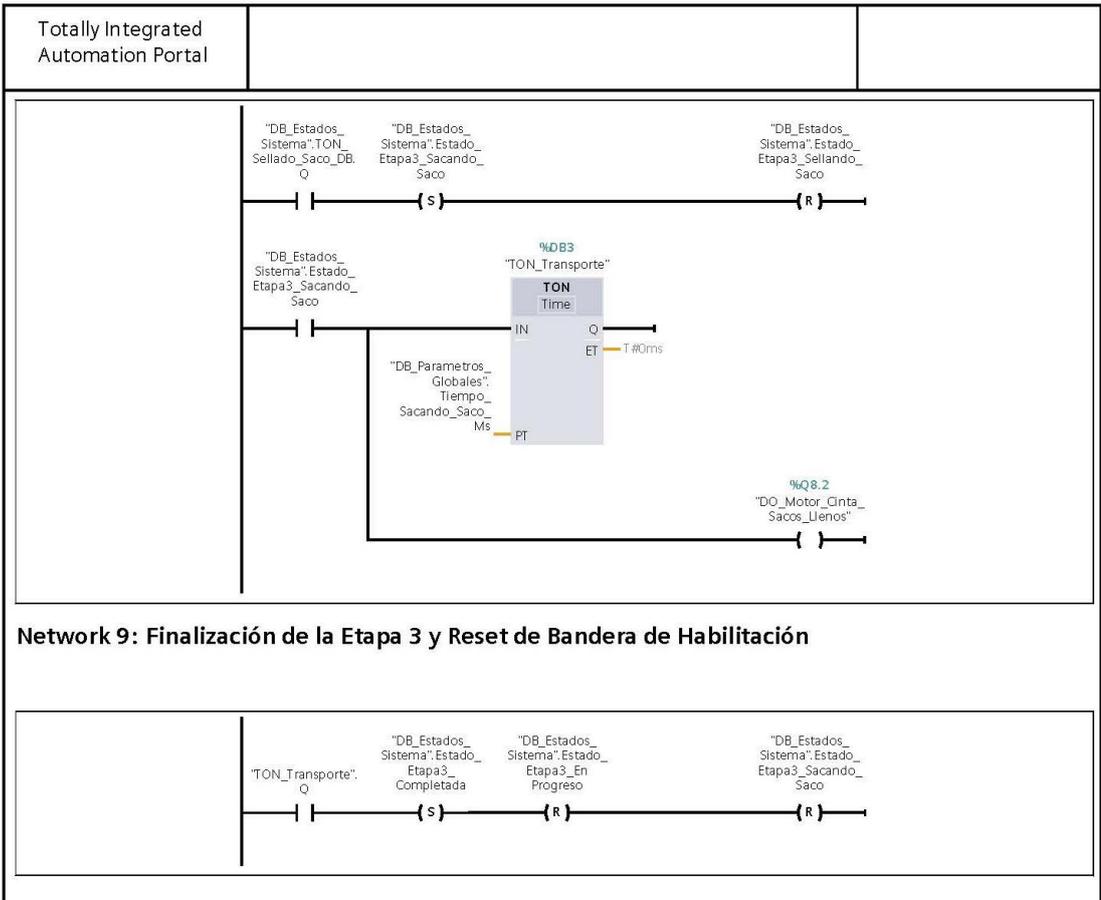
Network 6: Comparación de Pesos (Auxiliares)



Network 7: Saco Lleno y Sellado



Network 8: Salida de Saco Lleno



Nota: Elaborado por el autor

Anexo 12

Programación del bloque Inicialización del Sistema

Totally Integrated Automation Portal		
--------------------------------------	--	--

FC_Inicializacion_Sistema [FC1]

FC_Inicializacion_Sistema Properties					
General					
Name	FC_Inicializacion_Sistema	Number	1	Type	FC
Language	LAD	Numbering	Automatic		
Information					
Title		Author	Emanuel Morales	Comment	
Family		Version	0.1	User-defined ID	

Name	Data type	Default value
Input		
Output		
InOut		
Temp		
Constant		
▼ Return		
FC_Inicializacion_Sistema	Void	

Network 1: Reseto de las banderas de modo para evitar un arranque inesperado en un modo de operación

```

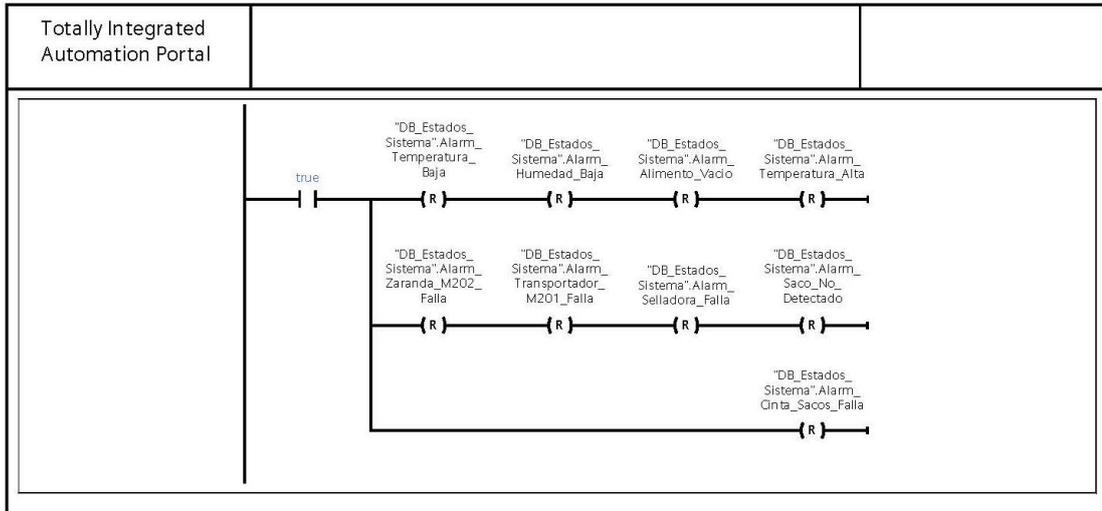
graph LR
    true((true)) --- R1((R))
    R1 --- R2((R))
    R1 --- DB1["DB_Estados_Sistema"]
    R2 --- DB2["DB_Estados_Sistema"]
    style DB1 fill:none,stroke:none
    style DB2 fill:none,stroke:none
  
```


Network 2: Reseteo a FALSE de todas las etapas del proceso

```

graph LR
    true((true)) --- R1((R))
    R1 --- DB1["DB_Estados_Sistema"]
    R1 --- DB2["DB_Estados_Sistema"]
    R1 --- DB3["DB_Estados_Sistema"]
    R1 --- DB4["DB_Estados_Sistema"]
    R1 --- DB5["DB_Estados_Sistema"]
    R1 --- DB6["DB_Estados_Sistema"]
    R1 --- DB7["DB_Estados_Sistema"]
    R1 --- DB8["DB_Estados_Sistema"]
    R1 --- DB9["DB_Estados_Sistema"]
    R1 --- DB10["DB_Estados_Sistema"]
    R1 --- DB11["DB_Estados_Sistema"]
    R1 --- DB12["DB_Estados_Sistema"]
    style DB1 fill:none,stroke:none
    style DB2 fill:none,stroke:none
    style DB3 fill:none,stroke:none
    style DB4 fill:none,stroke:none
    style DB5 fill:none,stroke:none
    style DB6 fill:none,stroke:none
    style DB7 fill:none,stroke:none
    style DB8 fill:none,stroke:none
    style DB9 fill:none,stroke:none
    style DB10 fill:none,stroke:none
    style DB11 fill:none,stroke:none
    style DB12 fill:none,stroke:none
  
```


Network 3: Reseteo a FALSE de todas las banderas de alarmas



Nota: Elaborado por el autor

Anexo 13

Programación del bloque Manejo de Interfaz HMI

Totally Integrated Automation Portal		
--------------------------------------	--	--

FC_Manejo_HMI_Interface [FC8]

FC_Manejo_HMI_Interface Properties					
General					
Name	FC_Manejo_HMI_Interface	Number	8	Type	FC
Language	LAD	Numbering	Automatic		
Information					
Title		Author	Emanuel Morales	Comment	
Family		Version	0.1	User-defined ID	

Name	Data type	Default value
Input		
Output		
InOut		
Temp		
Constant		
▼ Return		
FC_Manejo_HMI_Interface	Void	

Network 1: Detección de Pulso para Botón de Inicio de Ciclo

```

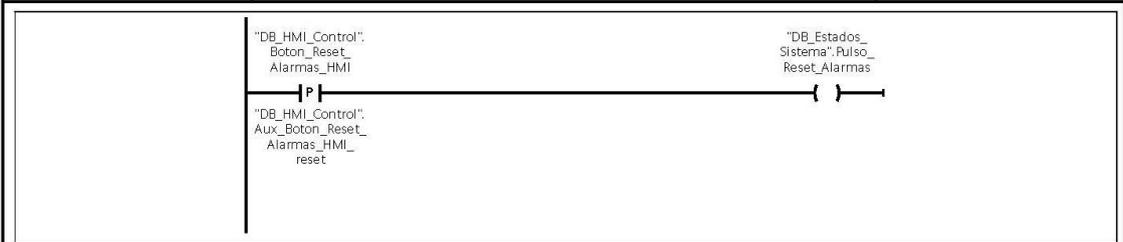
graph LR
    A["DB_HMI_Control.  
Boton_Inicio_Ciclo_HMI"] --- B["DB_Estados_Sistema.  
Pulso_Inicio_Ciclo"]
  
```


Network 2: Detección de Pulso para Botón de Paro de Emergencia

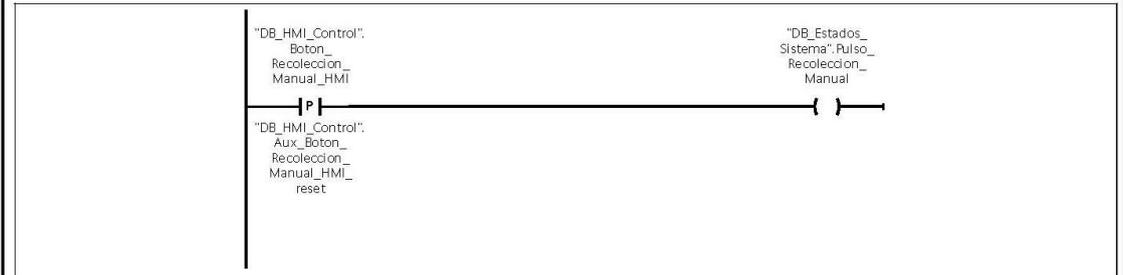
```

graph LR
    A["DB_HMI_Control.  
Boton_Paro_Emergencia_HMI"] --- B["DB_Estados_Sistema.  
Pulso_Paro_Emergencia"]
  
```

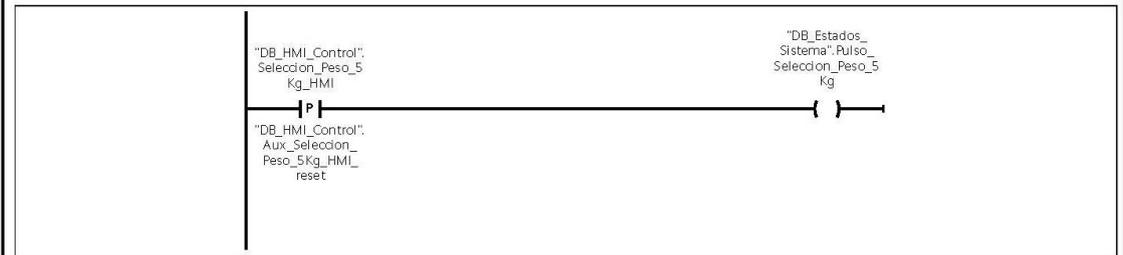

Network 3: Detección de Pulso para Botón de Reset de Alarmas



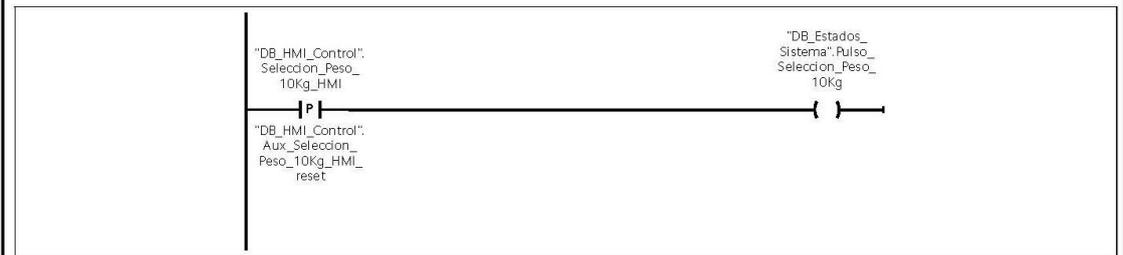
Network 4: Detección de Pulso para Recolección Manual



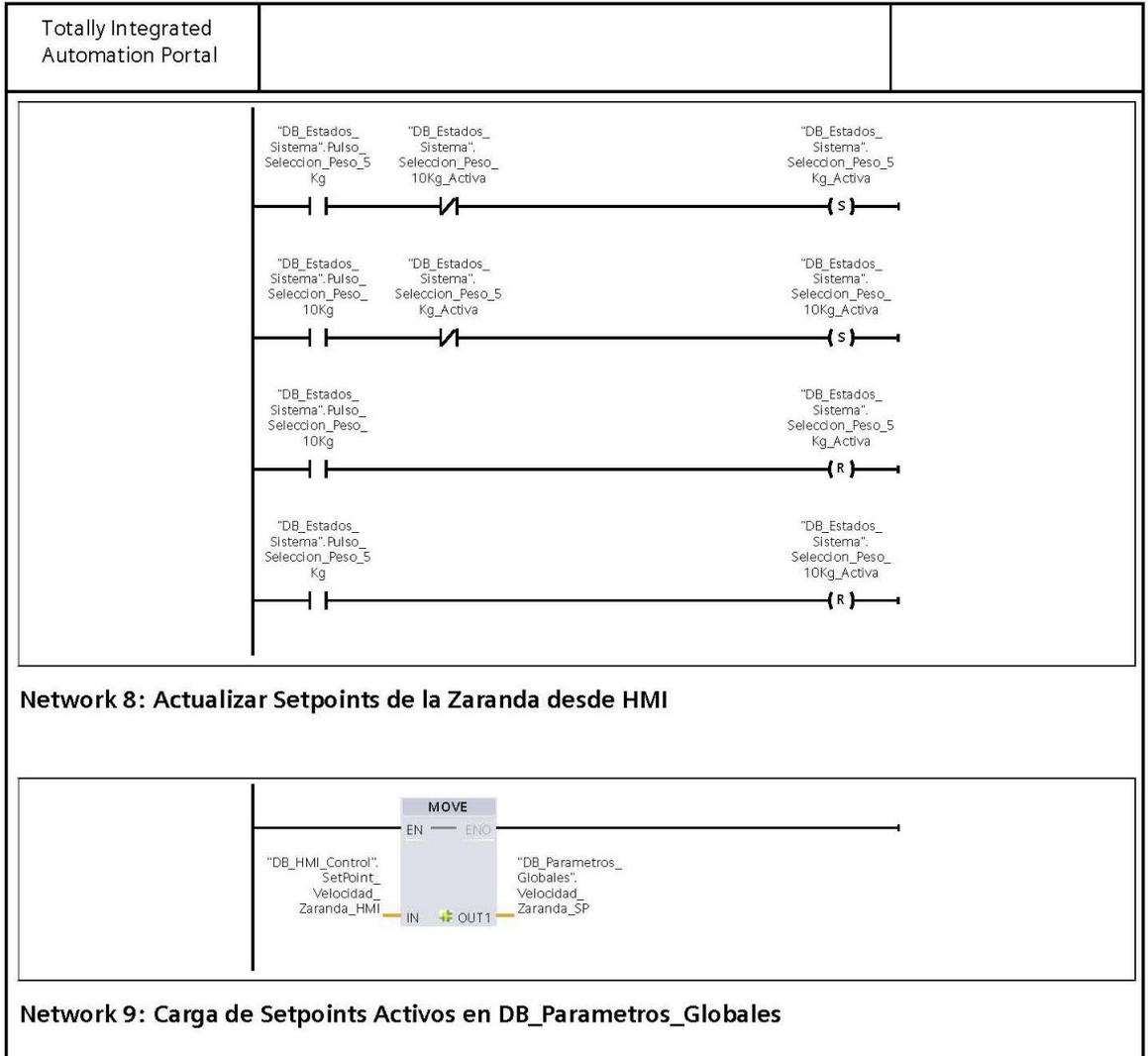
Network 5: Detección de Pulso para Selección de Peso 5Kg

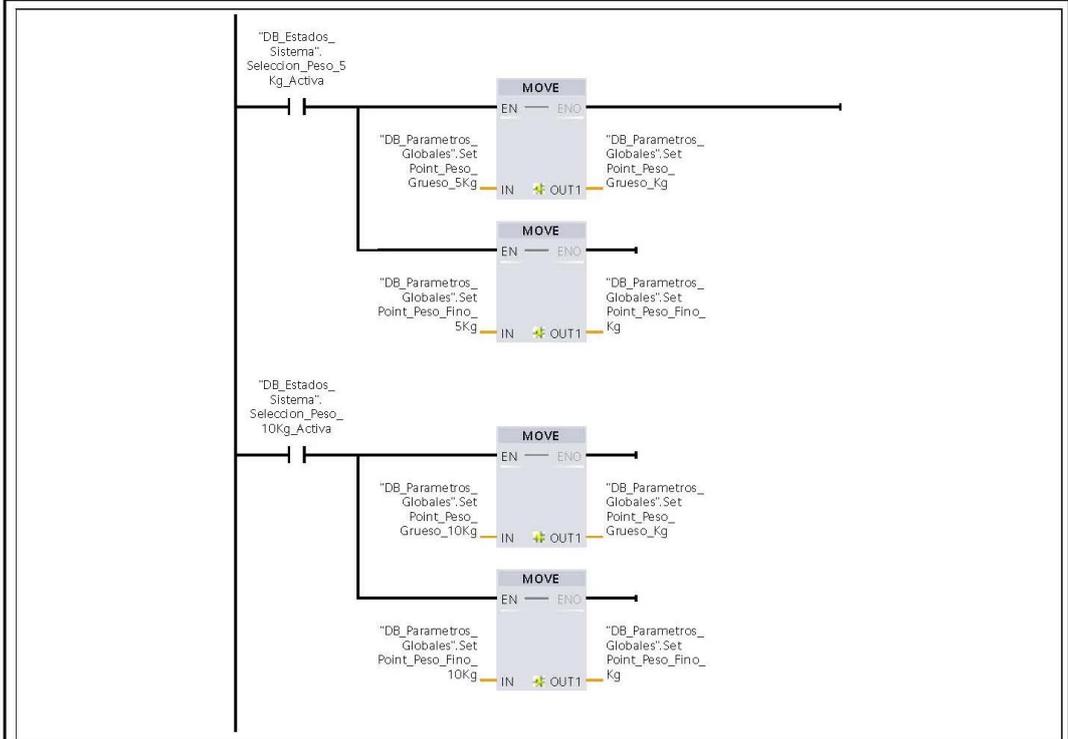


Network 6: Detección de Pulso para Selección de Peso 10Kg

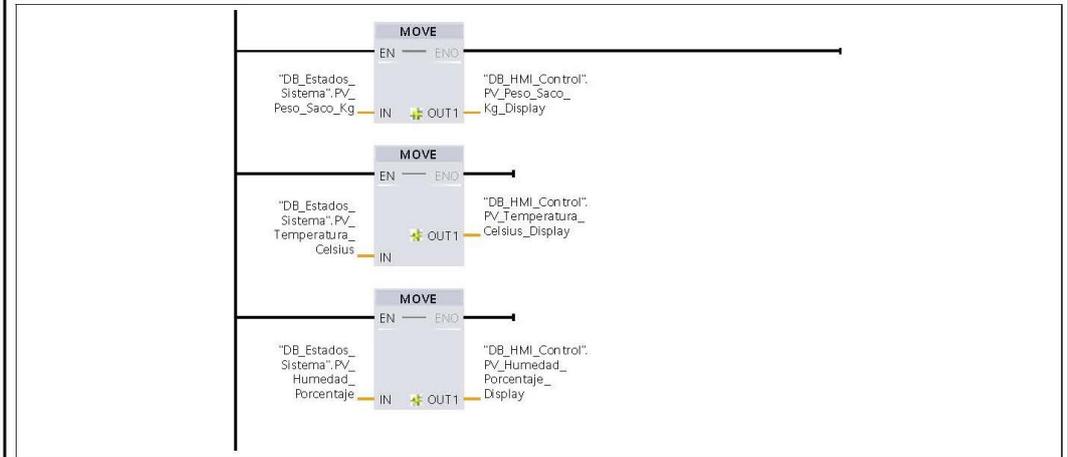


Network 7: Lógica de Enclavamiento Mutuo para Selección de Peso

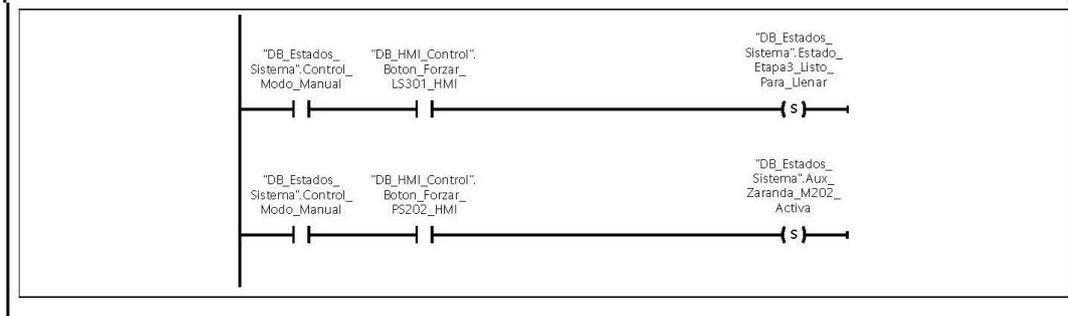




Network 10: Actualizar Valores de Proceso para HMI Display



Network 11: Lógica de Forzado de Procesos desde HMI



Nota: Elaborado por el autor

Anexo 14

Programación del bloque Monitoreo y Escalado de Valores Analógicos y Alarmas

Totally Integrated Automation Portal		
--------------------------------------	--	--

FC_Monitoreo_Valores_AI_Alarmas [FC6]

FC_Monitoreo_Valores_AI_Alarmas Properties					
General					
Name	FC_Monitoreo_Valores_AI_Alarmas	Number	6	Type	FC
Language	LAD	Numbering	Automatic		
Information					
Title		Author	Emanuel Morales	Comment	
Family		Version	0.1	User-defined ID	

Name	Data type	Default value
Input		
Output		
InOut		
Temp		
Constant		
▼ Return		
FC_Monitoreo_Valores_AI_Alarmas	Void	

Network 1: Escalado del valor bruto de la temperatura

```

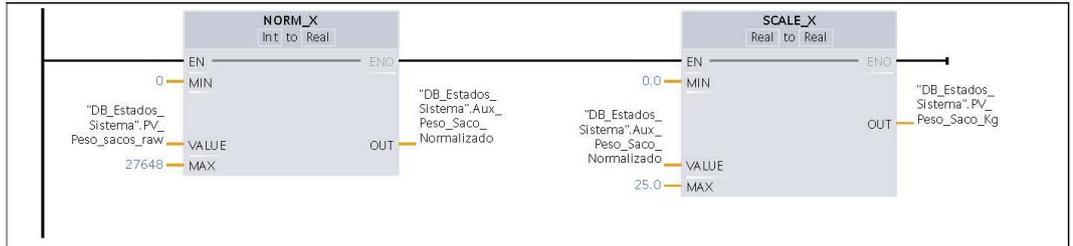
graph LR
    EN((EN)) --- MIN1[0] --- MIN1 --- NORM_X[NORM_X Int to Real]
    VALUE1[DB_Estados_Sistema.PV_Temperatura_Raw] --- VALUE1 --- NORM_X
    MAX1[27648] --- MAX1 --- NORM_X
    NORM_X --- ENO1((ENO)) --- ENO1 --- MIN2[0.0] --- MIN2 --- SCALE_X[SCALE_X Real to Real]
    VALUE2[Normalizada] --- VALUE2 --- SCALE_X
    MAX2[100.0] --- MAX2 --- SCALE_X
    SCALE_X --- ENO2((ENO)) --- ENO2 --- OUT[Celsius]
  
```


Network 2: Escalado del valor bruto de la humedad

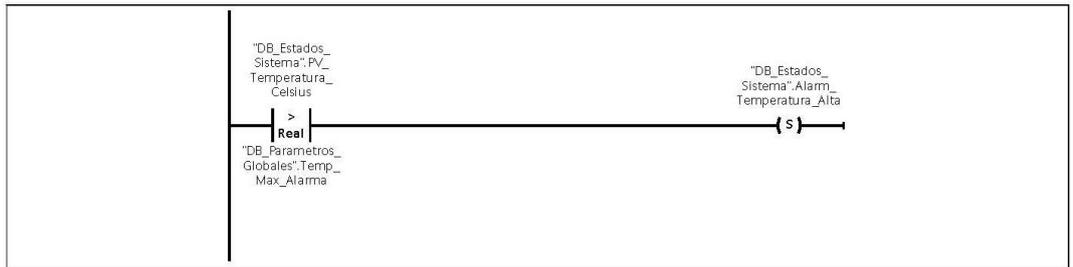
```

graph LR
    EN((EN)) --- MIN1[0] --- MIN1 --- NORM_X[NORM_X Int to Real]
    VALUE1[DB_Estados_Sistema.PV_Humedad_Raw] --- VALUE1 --- NORM_X
    MAX1[27648] --- MAX1 --- NORM_X
    NORM_X --- ENO1((ENO)) --- ENO1 --- MIN2[0.0] --- MIN2 --- SCALE_X[SCALE_X Real to Real]
    VALUE2[Normalizada] --- VALUE2 --- SCALE_X
    MAX2[100.0] --- MAX2 --- SCALE_X
    SCALE_X --- ENO2((ENO)) --- ENO2 --- OUT[Porcentaje]
  
```

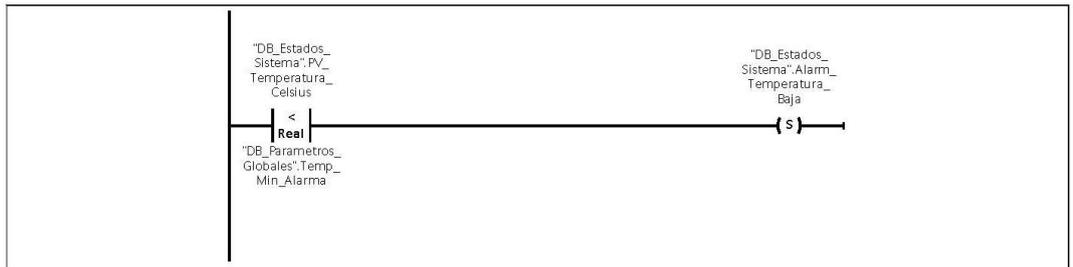

Network 3: Escalado del valor bruto del peso de los sacos



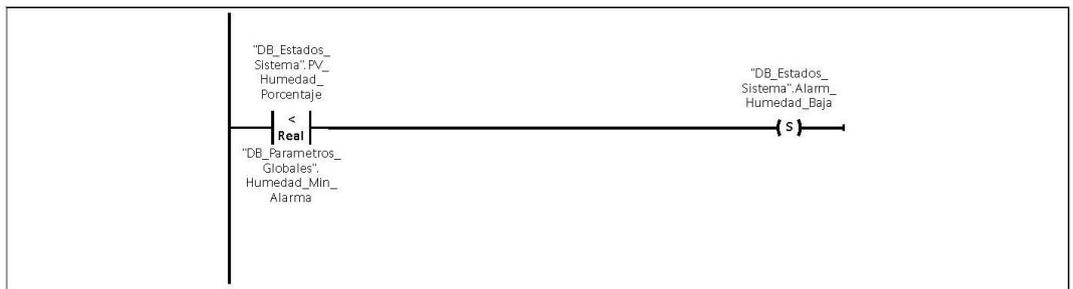
Network 4: Seteo de alarma de temperatura alta



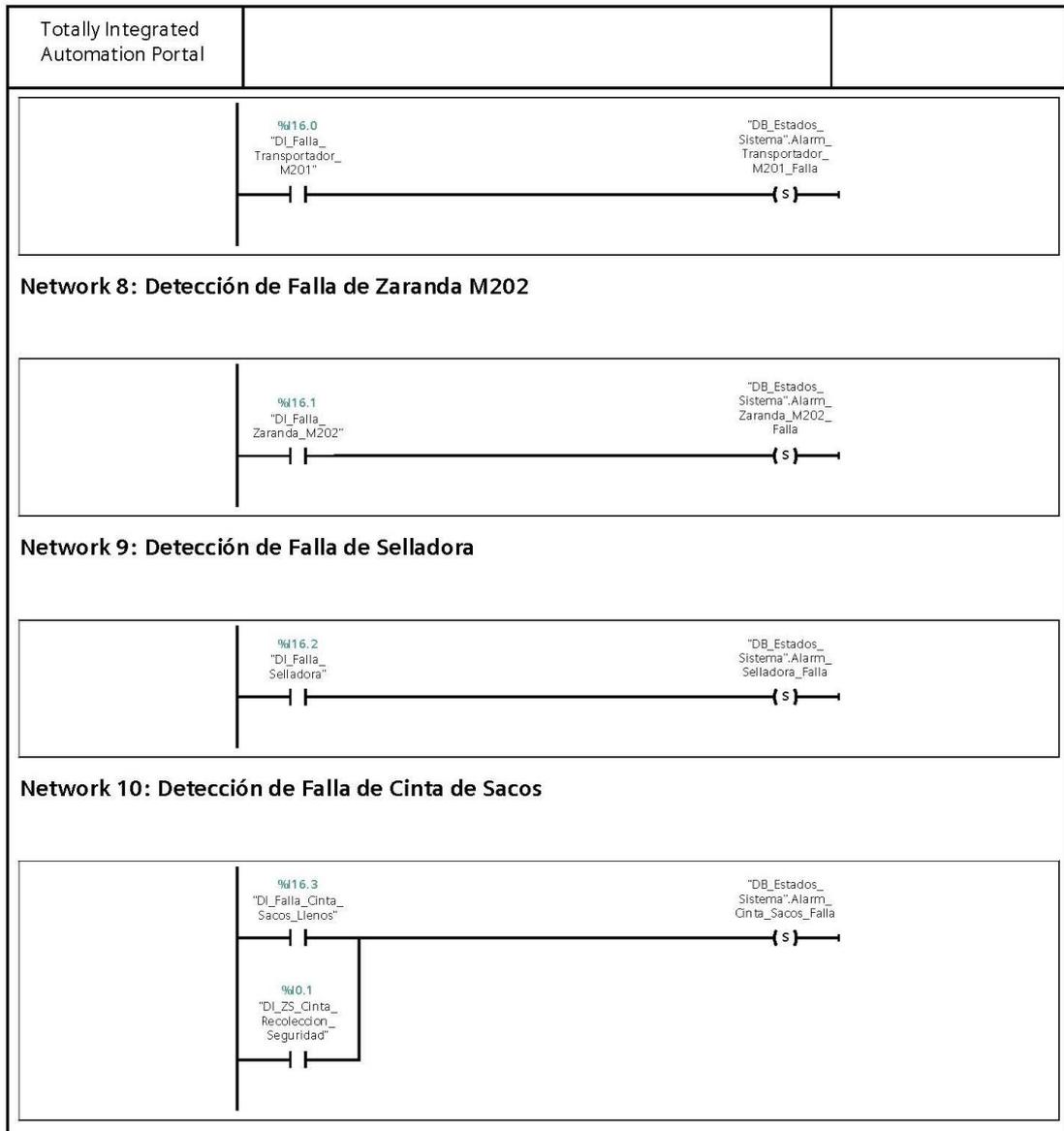
Network 5: Seteo de alarma de temperatura baja



Network 6: Seteo de alarma de humedad baja



Network 7: Detección de Falla de Transportador M201



Nota: Elaborado por el autor



**Presidencia
de la República
del Ecuador**



**Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes**



SENESCYT

Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Morales García, Julio Emanuel**, con C.C: # **200009119-5** autor del trabajo de titulación: **Diseño de un Sistema de Control de Producción y Envasado de Humus de Lombrices usando Sistemas SCADA**, previo a la obtención del título de **Ingeniero en Electrónica y Automatización** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 02 de septiembre de 2025

Nombre: **Morales García, Julio Emanuel**

C.C: **200009119-5**



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA Y SUBTEMA:	Diseño de un Sistema de Control de Producción y Envasado de Humus de Lombrices usando Sistemas SCADA.		
AUTOR(ES)	Morales García, Julio Emanuel		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ing. Palau de la Rosa, Luis Ezequiel, MsC.		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería en electrónica y automatización		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero en electrónica y automatización		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	02 de septiembre de 2025	No. DE PÁGINAS:	104
ÁREAS TEMÁTICAS:	Ingeniería, Vermicultura, SCADA		
PALABRAS CLAVES/KEYWORDS:	Automatización industrial, vermicompostaje, humus de lombriz, sostenibilidad, rentabilidad, control ambiental.		
RESUMEN/ABSTRACT:	<p>Este trabajo de titulación presenta el diseño e implementación de una planta automatizada para la producción y envasado de humus de lombriz, integrando tecnologías de automatización industrial, control ambiental y sostenibilidad agrícola. Se emplea un sistema basado en PLC Siemens S7-1215C y módulos de expansión, gestionado mediante el software TIA Portal, complementado con sensores de humedad, temperatura, peso y posición. El sistema automatiza desde la alimentación de residuos orgánicos hasta el sellado final del producto, con capacidad de escalarse a mayor volumen. Se analiza el impacto ambiental, proyectando la producción de humus y la superficie agrícola que puede beneficiarse del fertilizante orgánico. El sistema no solo funciona bien, sino que también es rentable. Se consideró el crecimiento poblacional natural de las lombrices y una tasa de mortalidad del 25%, y se observó que la inversión se recupera en menos de un año. Por supuesto, existen riesgos importantes: la automatización no está exenta de problemas, puede haber desafíos con el entorno donde criar las lombrices (como condiciones inadecuadas), y gestionar los residuos que producen también requiere planificación cuidadosa.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-991095182	E-mail: emanuelm129@gmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: Ing. Ubilla González, Ricardo Xavier, MsC.		
	Teléfono: +593-0999528515		
	E-mail: ricardo.ubilla@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			